



Universidade Técnica de Lisboa
Faculdade de Motricidade Humana



***Incorporação Perceptiva e Motora de um Instrumento
em Crianças e Adultos***

Dissertação apresentada com vista
à obtenção do grau de Doutor
em Motricidade Humana (*especialidade Ciências da Motricidade*)

Presidente – Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais – Doutor Carlos Alberto Ferreira Neto, professor catedrático da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa
Doutora Maria Olga Fernandes Vasconcelos, professora associada da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto
Doutor João Manuel Pardal Barreiros, professor associado da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa
Doutor Mário Adriano Bandeira Godinho, professor associado da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa
Doutor Rui Manuel Sousa Mendes, professor coordenador da Escola Superior de Educação de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra
Doutor Umberto César Correa, professor assistente da Universidade de São Paulo (Brasil)

David Paulo Ramalheira Catela

2007

Índice Geral

ÍNDICE GERAL	I
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABELAS	X
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
PREÂMBULO	XIII
CAPÍTULO 1 - INSTRUMENTO E USO DO INSTRUMENTO	1
O QUE É UM INSTRUMENTO	2
<i>Modus argumentandi</i> . Conceito de Instrumento e de Uso do Instrumento	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
Sistema Perceptivo e Propriedades dos Implementos	8
Manifestações Neurológicas no Uso de Instrumentos.....	11
Padrão de Comportamento Motor no Uso de Instrumentos	16
Desenvolvimento, Controlo e Aprendizagem do Uso do Instrumento	19
<i>Modus Faciendi / Modus Operandi</i> . Estudar o Uso do Instrumento	23
<i>A Deducto</i>	24
Referências Bibliográficas.....	25
CAPÍTULO 2 - AFFORDANCES E EFECTIVIDADES.....	32
INTRODUÇÃO	33
ESTUDO I - PERCEPÇÃO DA FUNCIONALIDADE DE UM IMPLEMENTO.....	35
Objectivos.....	36
Condições Experimentais e Materiais	36
<i>Adultos</i>	37
<i>Amostra</i>	37
<i>Procedimentos</i>	37
<i>Resultados</i>	38
<i>Crianças</i>	41
<i>Objectivos e Hipóteses</i>	42

<i>Condições Experimentais e Materiais</i>	42
<i>Amostra</i>	43
<i>Procedimentos</i>	43
<i>Resultados</i>	44
Discussão	47
ESTUDO II - PERCEPÇÃO NÃO-VISUAL DO COMPRIMENTO DE UM IMPLEMENTO	49
Objectivo	49
Adultos	50
<i>Situação Experimental</i>	50
<i>Materiais</i>	50
<i>Amostra</i>	50
<i>Procedimentos</i>	50
<i>Resultados</i>	52
Crianças	54
<i>Amostra</i>	54
<i>Procedimentos</i>	55
<i>Resultados</i>	56
Discussão	58
ESTUDO III - CONSTRANGIMENTOS MORFOLÓGICOS E CINEMÁTICA DA COMPONENTE DE TRANSPORTE	61
Objectivo	61
Metodologia	62
<i>Amostra</i>	62
<i>Procedimentos</i>	62
<i>Recolha dos Dados</i>	63
<i>Tratamento dos Dados</i>	63
Resultados	64
Discussão	65
ESTUDO IV - TAMANHO DO OBJECTO E CINEMÁTICA DA ACÇÃO DE AGARRAR.....	67
Objectivo	67
Metodologia	68
<i>Amostra</i>	68
<i>Condições Experimentais e Materiais</i>	68
<i>Procedimentos</i>	68
<i>Recolha dos Dados</i>	69
<i>Tratamento dos Dados</i>	69
Resultados.....	70
Discussão	71
ESTUDO V - OBSTÁCULOS E CINEMÁTICA DA ACÇÃO DE AGARRAR.....	73
Objectivo.....	73

Metodologia	74
<i>Amostra</i>	74
<i>Condições Experimentais e Materiais</i>	74
<i>Procedimentos</i>	74
<i>Recolha dos Dados</i>	75
<i>Tratamento dos Dados</i>	75
Resultados.....	76
Discussão	78
CONCLUSÕES	79
Referências Bibliográficas	80
CAPÍTULO 3 - INCORPORAÇÃO DO INSTRUMENTO.....	86
ENQUADRAMENTO	87
Pertinência do Estudo	89
Variáveis	91
Variáveis Dependentes	92
Hipóteses.....	96
<i>Hipóteses Operacionais</i>	96
Desenho Experimental	98
Metodologia	101
<i>Amostras</i>	101
<i>Procedimentos</i>	102
<i>Posição Inicial do Executante</i>	103
<i>Distância e Posição Relativa do Objecto-Alvo</i>	103
<i>Instrução</i>	104
<i>Número de Ensaios</i>	104
<i>Instrumentação e Equipamentos</i>	105
<i>Características do Objecto</i>	105
<i>Características e Posição Relativa dos Flanqueadores</i>	105
<i>Características do Instrumento</i>	106
<i>Sistema de Registo</i>	107
<i>Tratamento dos Dados</i>	108
Apresentação e Análise dos Resultados	109
<i>Hipótese Um</i>	109
<i>Número de Ensaios Falhados</i>	110
<i>Tempo de Movimento</i>	111
<i>Afastamento Máximo dos Dedos</i>	112
<i>Tempo Até ao Máximo Afastamento dos Dedos</i>	114
<i>Tempo Até à Velocidade Máxima de Afastamento dos Dedos</i>	115
<i>Tempo Após o Final do Transporte</i>	116
<i>Tempo Até à Velocidade Máxima do Cotovelo</i>	118
<i>Tempo Até o Final do Transporte</i>	118
<i>Discussão</i>	119
<i>Hipótese Dois</i>	122
<i>Retorno à Posição Inicial</i>	122
<i>Tempo de Movimento</i>	124

<i>Tempo Até à Máxima Velocidade de Extensão do Cotovelo</i>	124
<i>Tempo Até ao Final do Transporte</i>	126
<i>Tempo Até à Máxima Velocidade de Afastamento dos Dedos</i>	128
<i>Tempo Até ao Máximo Afastamento das Extremidades</i>	129
<i>Tempo Após o Final do Transporte</i>	131
<i>Máximo Afastamento das Extremidades Preêenseis</i>	132
<i>Deslocação do Ombro</i>	136
<i>Extensão do Cotovelo no Final do Transporte</i>	137
<i>Discussão</i>	138
<i>Hipótese 3</i>	146
<i>Flanqueadores</i>	146
<i>Flanqueadores e Pinças</i>	147
<i>Pinças</i>	149
<i>Discussão</i>	150
<i>Hipótese 4</i>	151
<i>Afastamento das Extremidades Preêenseis e Extensão do Cotovelo</i>	151
<i>Velocidade de Afastamento das Extremidades Preêenseis e Velocidade de Extensão do Cotovelo</i>	154
<i>Tempo Até ao Máximo Afastamento dos Dedos e Tempo Até ao Final do Transporte</i>	157
<i>Proporção Máximo Afastamento dos Dedos e Diâmetro da Esfera</i>	158
<i>Phase Plane - Velocidade de Afastamento das Extremidades/Afastamento das Extremidades</i>	158
<i>Discussão</i>	161
<i>Hipótese 5</i>	165
<i>Extensão do Cotovelo Relativa</i>	165
<i>Deslocação do Ombro</i>	166
<i>Condição Pessoal vs Condição Instrumento sem Flanqueadores</i>	166
<i>Espessura do Polegar</i>	168
<i>Discussão</i>	169
Referências Bibliográficas	171
CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÕES	181
DISCUSSÃO GERAL	182
CONCLUSÕES	191
Referências Bibliográficas	192
AGRADECIMENTOS	197
PUBLICAÇÕES	198

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 – PINÇAS USADAS E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	37
FIGURA 2.2 - EVOLUÇÃO DA PERCEPÇÃO “CONSEGUE” AGARRAR EM ADULTOS	40
FIGURA 2.3 - EVOLUÇÃO DA PERCEPÇÃO “CONSEGUE” AGARRAR EM CRIANÇAS.....	46
FIGURA 2.4 - ASPECTO INTERNO DAS PINÇAS	50
FIGURA 2.5 - SUJEITO EXPLORANDO PAR DE PINÇAS	51
FIGURA 2.6 – IMPLEMENTOS PARA AS CRIANÇAS	55
FIGURA 2.7 – ESTIMATIVAS MÉDIAS EM CADA ENSAIO POR IMPLEMENTO	57
FIGURA 2.8 – ESTIMATIVAS MÉDIAS E DESVIO-PADRÃO POR IMPLEMENTO.....	58
FIGURA 2.9 - PRINCIPAIS PROCEDIMENTOS EXPLORATÓRIOS IDENTIFICADOS	59
FIGURA 2.10 - RELAÇÃO ENTRE COMPRIMENTO DO MEMBRO SUPERIOR E MÁXIMO AFASTAMENTO EFECTIVO ENTRE ACRÓMIO E POLEGAR.....	64
FIGURA 3.1 – IMAGEM RECOLHIDA PELA CÂMARA SAGITAL	103
FIGURA 3.2 – PAR DE PINÇAS USADO PELAS CRIANÇAS.....	107
FIGURA 3.3 – CÂMARA SUSPensa LIGADA AO COMPUTADOR.....	108
FIGURA 3.4 – IMAGEM RECOLHIDA PELA CÂMARA SUSPensa.....	108
FIGURA 3.5 – FREQUÊNCIA DE CONTACTO COM OS FLANQUEADORES.....	110
FIGURA 3.6 – MÉDIA DO TEMPO DE MOVIMENTO NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	111
FIGURA 3.7 – MEDIANA DO TEMPO DE MOVIMENTO NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	111
FIGURA 3.8 – MÉDIA DO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NAS VÁRIAS CONDIÇÕES.....	112
FIGURA 3.10 - EVOLUÇÃO DO AFASTAMENTO ENTRE OS DEDOS POLEGAR E INDICADOR	113

FIGURA 3.11 - MÉDIA DO TEMPO ATÉ AO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES.....	114
FIGURA 3.12 – MEDIANA DA PERCETAGEM DE TEMPO ATÉ AO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES.....	115
FIGURA 3.13 - MEDIANA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DAS EXTREMIDADES NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	116
FIGURA 3.14 - MÉDIA DO TEMPO APÓS FINAL DO TRANSPORTE NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	117
FIGURA 3.15 - MÉDIA DA PERCENTAGEM DE TEMPO APÓS FINAL DO TRANSPORTE NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES.....	117
FIGURA 3.16 - MEDIANA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DO COTOVELO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	118
FIGURA 3.17 - MEDIANA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ AO FINAL DO TRANSPORTE NA CONDIÇÃO FLANQUEADORES E ENSAIOS INICIAIS E FINAIS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	119
FIGURA 3.18 - POSIÇÃO INICIAL E FINAL DAS EXTREMIDADES PREÊNSEIS NA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES.....	123
FIGURA 3.19 – FREQUÊNCIAS NAS CATEGORIAS “PONTA DOS DEDOS”, “MEIA DISTÂNCIA” E “PONTA DAS PINÇAS”	123
FIGURA 3.20 – MÉDIA DO TEMPO DE MOVIMENTO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL E INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	124
FIGURA 3.21 – MÉDIA DO TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DO COTOVELO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	125
FIGURA 3.22 – MÉDIA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DO COTOVELO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	125
FIGURA 3.23 – MÉDIA DO TEMPO ATÉ AO FINAL DO TRANSPORTE NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	126

FIGURA 3.24 – MÉDIA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ AO FINAL DO TRANSPORTE NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	127
FIGURA 3.25 – MÉDIA DO TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DAS EXTREMIDADES TTVMD NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	128
FIGURA 3.26 – MÉDIA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DAS EXTREMIDADES NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	129
FIGURA 3.27 – MÉDIA DO TEMPO ATÉ AO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, NOS PRIMEIROS E ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	130
FIGURA 3.28 – MÉDIA DA PERCENTAGEM DE TEMPO ATÉ AO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	131
FIGURA 3.29 – MÉDIA DO TEMPO APÓS O FINAL DO TRANSPORTE NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, NOS PRIMEIROS E ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	132
FIGURA 3.30 – MÉDIA DO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	133
FIGURA 3.31 – MEDIANA DA PROPORÇÃO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES/COMPRIMENTO DO POLEGAR NA CONDIÇÃO PESSOAL E DE MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES /COMPRIMENTO DAS PINÇAS NA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	134
FIGURA 3.32 – MÉDIA DO MÁXIMO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES/DIÂMETRO DA ESFERA NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	135
FIGURA 3.33 – MÉDIA DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	136
FIGURA 3.34 – MÉDIA DA EXTENSÃO DO COTOVELO NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	137

FIGURA 3.35 – MEDIANA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E A DESLOCAÇÃO DO OMBRO NAS CONDIÇÕES PERIPESSOAL E FLANQUEADORES	146
FIGURA 3.36 – MÉDIA DA EXTENSÃO DO COTOVELO RELATIVAMENTE À POSIÇÃO INICIAL NAS CONDIÇÕES PESSOAL, PERIPESSOAL, FLANQUEADORES, PRIMEIROS E ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	147
FIGURA 3.37 – MEDIANA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO NO PRIMEIRO E NO ÚLTIMO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	148
FIGURA 3.38 – MEDIANA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO NOS ÚLTIMOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES E NA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADOR	148
FIGURA 3.39 – MEDIANA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO NAS CONDIÇÕES PESSOAL E INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	149
FIGURA 3.40 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	152
FIGURA 3.41 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	152
FIGURA 3.42 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	153
FIGURA 3.43 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	154
FIGURA 3.44 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA VELOCIDADE DE EXTENSÃO DO COTOVELO E DA VELOCIDADE DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	154
FIGURA 3.45 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA VELOCIDADE DE EXTENSÃO DO COTOVELO E DA VELOCIDADE DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	155
FIGURA 3.46 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA VELOCIDADE DE EXTENSÃO DO COTOVELO E DA VELOCIDADE DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	155
FIGURA 3.47 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA VELOCIDADE DE EXTENSÃO DO COTOVELO E DA VELOCIDADE DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	156

FIGURA 3.48 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA VELOCIDADE DE EXTENSÃO DO COTOVELO E DA VELOCIDADE DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	156
FIGURA 3.49 – <i>PHASE-PLANE</i> DE VELOCIDADE DE AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES E AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NO ENSAIO DA CONDIÇÃO PESSOAL E NO SEGUNDO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	159
FIGURA 3.50 – <i>PHASE-PLANE</i> DE VELOCIDADE DE AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES E AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NO ENSAIO DA CONDIÇÃO PESSOAL E NO SEGUNDO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	159
FIGURA 3.51 – <i>PHASE-PLANE</i> DE VELOCIDADE DE AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES E AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NO ENSAIO DA CONDIÇÃO PESSOAL E NO SEGUNDO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	160
FIGURA 3.52 – <i>PHASE-PLANE</i> DE VELOCIDADE DE AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES E AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NO ENSAIO DA CONDIÇÃO PESSOAL E NO SEGUNDO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	160
FIGURA 3.53 – <i>PHASE-PLANE</i> DE VELOCIDADE DE AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES E AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NO ENSAIO DA CONDIÇÃO PESSOAL E NO SEGUNDO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	160
FIGURA 3.54 – MÉDIA DA EXTENSÃO DO COTOVELO EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO ANGULAR INICIAL PARA O PRIMEIRO E SEGUNDO ENSAIOS DE DAS CONDIÇÕES FLANQUEADORES E INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES.....	165
FIGURA 3.55 – MÉDIA DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO PARA O PRIMEIRO E SEGUNDO ENSAIOS DE DAS CONDIÇÕES FLANQUEADORES E INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	166
FIGURA 3.56 – MÉDIA DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO NA CONDIÇÃO PESSOAL E NOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	167
FIGURA 3.57 – MÉDIA DA EXTENSÃO DO COTOVELO NA CONDIÇÃO PESSOAL E NOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	167
FIGURA 3.58 – MÉDIA DA EXTENSÃO DO COTOVELO EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO ANGULAR INICIAL NA CONDIÇÃO PESSOAL E NOS ENSAIOS DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES	168
FIGURA 4.1 - POSIÇÃO INICIAL E FINAL DAS EXTREMIDADES PREÊNSEIS NA CONDIÇÃO INSTRUMENTO COM FLANQUEADORES	185
FIGURA 4.2 – MÉDIA DA DESLOCAÇÃO DO OMBRO E DA EXTENSÃO DO COTOVELO	186
FIGURA 4.3 - EVOLUÇÃO ASSOCIADA DA EXTENSÃO DO COTOVELO E DO AFASTAMENTO DAS EXTREMIDADES NA CONDIÇÃO PESSOAL E NO PRIMEIRO ENSAIO DA CONDIÇÃO INSTRUMENTO SEM FLANQUEADORES.....	189

Índice de Tabelas

TABELA 2.1 - ORDEM DE APRESENTAÇÃO DAS ESFERAS E DE INÍCIO DA TAREFA NAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	39
TABELA 2.2 - COMPARAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	39
TABELA 2.3 - ORDEM DE APRESENTAÇÃO DAS ESFERAS E DE INÍCIO DA TAREFA NAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	44
TABELA 2.4 - COMPARAÇÃO ENTRE CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	45
TABELA 2.5 – ASSOCIAÇÃO ENTRE ENSAIOS SUCESSIVOS, ADULTOS.....	52
TABELA 2.6 – ASSOCIAÇÃO ENTRE ENSAIOS SUCESSIVOS, CRIANÇAS	57
TABELA 2.7 – MÁXIMO AFASTAMENTO E PROPORÇÃO MÁXIMO AFASTAMENTO/DIÂMETRO DA ESFERA, POR ESFERA.....	70
TABELA 2.8 - VALORES MÉDIOS DO TEMPO ATÉ À VELOCIDADE MÁXIMA DO PULSO EFECTIVOS E PERCENTUAIS	77
TABELA 2.9 – VALORES MÉDIOS DO MÁXIMO AFASTAMENTO EFECTIVOS E PROPORCIONAIS AO DIÂMETRO DE CADA ESFERA.....	77
TABELA 3.1 - DESENHO EXPERIMENTAL PARA DOIS GRUPOS ETÁRIOS	100
TABELA 3.2 – PREDIÇÃO DO COMPRIMENTO DO POLEGAR A PARTIR DO AFASTAMENTO MÁXIMO DAS EXTREMIDADES	134
TABELA 3.3 – MÉDIA, DESVIO-PADRÃO, MÍNIMO E MÁXIMO DA EXTENSÃO DO COTOVELO	137
TABELA 3.4 – RELAÇÃO ENTRE ESPESSURA DO POLEGAR OU DO INDICADOR E EXTENSÃO DO COTOVELO NOS ADULTOS MASCULINOS	168
TABELA 4.1 – PREDIÇÃO DO COMPRIMENTO DO POLEGAR A PARTIR DO AFASTAMENTO MÁXIMO DAS EXTREMIDADES	187

Resumo

O instrumento é um objecto temporariamente anexado ao corpo que aumenta a capacidade de acção e de percepção. Pode ser incorporado no esquema corporal, transformando espaço peripessoal em espaço pessoal. O seu uso está dependente da aprendizagem e do desenvolvimento perceptivo e motor. Fomos verificar se crianças (5-6 anos) e adultos incorporavam na sua acção de preensão pequenas pinças acopladas e escaladas aos dedos polegar e indicador. Realizaram-se cinco estudos preliminares (Capítulo 2) onde se verificou que crianças e adultos: (i) detectaram visualmente a funcionalidade das pinças para agarrar pequenas esferas flanqueadas por obstáculos; (ii) detectaram não visualmente o comprimento das pinças acopladas aos dedos; (iii) gastaram tempo de movimento idêntico para agarrar esferas localizadas a distância individual confortável; e, (iv) as componentes de transporte e de agarrar foram afectadas pela presença de obstáculos. Através de uma gestão escalada da distância ao objecto-alvo conseguiu-se uma situação experimental redutora da influência de constrangimentos intrínsecos. Para assegurar funcionalidade do instrumento, no estudo principal (Capítulo 3) impusemos com flanqueadores pouco espaço para agarrar a esfera. Em cinco condições experimentais crianças e adultos agarraram: (i) no seu espaço pessoal a esfera com os dedos; (ii) no seu espaço peripessoal, com a esfera flanqueada ou não; e, (iii) com pinças, no seu espaço peripessoal, com a esfera flanqueada ou não. Os resultados demonstram que crianças e adultos incorporaram o comprimento do instrumento, alcançando o espaço peripessoal como pessoal. Nas crianças esta incorporação não aconteceu na componente de agarrar, apresentando prolongamento do tempo para o contacto e menos sucesso a agarrar a esfera. Os adultos conseguiram parcialmente uma incorporação temporal e espacial do uso efectivo do instrumento, com uma duração do tempo para o contacto e uma gestão bidimensional do afastamento das pinças similar à preensão natural. Nas crianças e nos adultos o uso inicial do instrumento quebrou as estruturas coordenativas da preensão natural, com os participantes a gerir alternadamente as componentes de transporte e de agarrar e a mobilizar mais o tronco.

Palavras-Chave: Incorporação, Uso de Instrumento, Crianças, Adultos

Abstract

Instruments are objects temporarily attached to the body that enhance perception and action. It can be incorporated on body schema, transforming peripersonal into personal space. Its use depends on motor and perceptual learning and development. We wanted to verify if children (5-6 years old) and adults would incorporate on prehension action small tongs connected to and scaled with index finger and thumb. Five preliminary studies were done (Chapter 2) where we have verified that children and adults: (i) visually detected tongs functionality to catch small flanked spheres; (ii) haptically identified tongs' length; (iii) spent identical movement time to catch spheres at a comfortable individual distance; and, (iv) were affected by flankers on transport and grasp components. Through a controlled scaled distance to object target we have achieved an experimental task less affected by intrinsic constraints. To ensure instrument functionality, on the principal study (Chapter 3) we have imposed with flankers little space to catch a small sphere. On five experimental conditions children and adults grasped the sphere with index finger and thumb: (i) on their individual personal space; (ii) on their peripersonal space, with the sphere flanked or not; and, (iii) with the small tongs on their peripersonal space, also with the sphere flanked or not. Images were collected directly to APAS movement analysis system, where were manually digitised from 6 coplanar points, at a 50Hz frequency. Trajectories were submitted to a *low pass* filter at a 5Hz frequency cut-off, determined from noise curves analysis. Results demonstrated that children and adults incorporated instrument length, transporting prehensile segment to peripersonal as to personal space. On children this incorporation didn't happened on grasp component, which revealed a lengthening of time to contact and less successful sphere grasp trials. Adults partially reached spatial and temporal incorporation of instrument effective use, expressed on a near normal time to contact duration and on tongs' bi-dimensional aperture management similar to their natural prehension. Children and adults initial instrument use brook natural prehension coordinative structures, with participants' alternately controlling transport and grasp components and mobilizing trunk more.

Key-Words: Incorporation, Tool Use, Children, Adults

Preâmbulo

O presente documento encontra-se dividido 4 capítulos. O primeiro capítulo aborda o conceito de instrumento e uso de instrumento e apresenta uma revisão comentada de estudos sobre esta temática organizados em cinco tópicos: (i) Capacidade do sistema perceptivo em detectar propriedades do implemento; (ii) Manifestações neurológicas decorrentes do uso de instrumentos; (iii) Padrão de comportamento motor no uso de instrumentos; (iv) Desenvolvimento motor, controlo motor, aprendizagem motora e uso do instrumento; (v) *Modus faciendi/modus operandi*. Estudar o uso do instrumento. No segundo capítulo são apresentados cinco estudos preliminares, em modo de artigo e que fundamentados em revisão bibliográfica específica analisam os seguintes problemas: (i) detecção da funcionalidade de um instrumento; (ii) detecção não visual do comprimento de um instrumento; (iii) distância confortável de objecto no espaço pessoal; (iv) relação entre tamanho de objecto-alvo a agarrar e constrangimentos intrínsecos; (v) influência de obstáculos na cinemática da acção de preensão. No terceiro capítulo é apresentado o estudo principal, sobre incorporação do instrumento na acção de preensão em crianças e adultos. Organizado a partir da informação obtida nos capítulos um e dois, está estruturado na forma clássica de tese. O último capítulo foi reservado para uma discussão conjunta dos resultados apresentados nos capítulos dois e três, em confronto hipóteses e modelos teóricos expostos no capítulo um, culminando nas conclusões finais.

Capítulo 1 - Instrumento e Uso do Instrumento

O Que é um Instrumento

Queremos agarrar uma pequena esfera enfiada num pequeno orifício e os nossos dedos não cabem. Como tirar a esfera? Recorremos a uma pinça. A pinça vai permitir-nos retirar a esfera do orifício, mas vai alterar as nossas referências corporais. A pinça prolonga-se para lá dos limites dos seus dedos, a parte que dela servir para “agarrar” a esfera tem dimensões e um atrito diferentes das polpas dos nossos dedos. A percepção que temos do peso e da textura da esfera faz-se já não directamente e através da nossa pele mas indirectamente através da pinça. Já não temos que decidir quantos dedos usar mas a que distância devemos parar. Podemos mesmo alcançar o objecto se ele estiver mais afastado de nós, como se de facto ele não estivesse. Incorporaremos nós o instrumento no nosso corpo, como se passássemos a possuir um outro eu corporal?

A finalidade deste estudo é a de verificar se quando usado activamente o instrumento é incorporado na acção motora, como se do próprio corpo ficasse efectivamente parte.

***Modus argumentandi.* Conceito de Instrumento e de Uso do Instrumento**

Os instrumentos são objectos temporariamente anexados ao nosso corpo, de modo a aumentar a nossa capacidade de acção (Gibson, 1979/1986) e de percepção (Reed, 1988). Podem ser encontrados ou feitos (Reed, 1988), mas quando concebidos revelam um estereótipo, isto é, correspondem a formas constantes, integradas na matéria que são compostos e na função para a qual foram concebidos (Leroi-Gourhan, s/d). Os instrumentos são objectos funcionais (Connolly & Elliott, 1972).

Não basta anexar um objecto ao organismo para o considerarmos instrumento. Simplesmente ligado ao corpo mas sem ser envolvido numa modificação do envolvimento denominamo-lo de implemento, e.g., a mochila. No uso de um implemento o nosso corpo também é modificado em termos dinâmicos e topológicos, por exemplo, precisamos de mais espaço e é necessária mais força para iniciar e travar um movimento. Transformar um implemento num instrumento implica incorporar um objecto na organização do nosso comportamento motor, mesmo que temporariamente (Smitsman, 1997). O objecto já não é um objecto

mas uma incorporação (in corporar quer dizer passar para dentro do corpo, tornar corpo).

Um instrumento segurado pode ser incorporado no esquema corporal (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002), de tal modo que a extremidade do instrumento se torna efectivamente uma extensão do efector que o sustenta (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996). O uso activo e prolongado de instrumentos pode modificar a integração visuo-táctil espacial, em conformidade com o conceito de uma alteração funcional progressiva do esquema corporal. Quando macacos são treinados a usar instrumentos para chegar a objectos que lhes estão distantes, o campo receptivo visual de células multimodais¹ do sulco intra parietal podem ser alargadas, de modo a incluir todo o comprimento do instrumento (Iriki et al., 1996, 2001). Este remapeamento pode ter uma utilidade funcional, como quando é necessário combinar a retroacção visual da extremidade distal do instrumento com o tacto para controlar o movimento, mas não uma utilidade estratégica, isto é, o fenómeno do remapeamento pode emergir automaticamente, sem intervenção cognitiva (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002).

Se nos baseamos no pressuposto que implemento e envolvimento constituem entidades separadas, tenderemos a analisar o uso do instrumento como um problema cognitivo sobre os meios a empregar para alcançar um objectivo (e.g., Piaget, 1954) (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson (1997). Para descobriremos o que transforma um objecto num instrumento, temos que focar a nossa atenção na actividade do uso do instrumento em si (Smitsman, 1997), pelo que o pressuposto passa a ser o do executor terminal ser transferido da mão para o instrumento. O uso do instrumento implica uma mudança da fronteira entre o sistema motor e o envolvimento; na manipulação directa, a acção é executada *num* objecto destacável do envolvimento; no uso de um instrumento, a acção é executada *com* um objecto destacável do envolvimento (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996).

A essência do uso de um instrumento baseia-se na manutenção de uma relação entre o sistema organismo/instrumento e o envolvimento e o controlo do

¹ As células multimodais encontram-se em várias regiões do cérebro e respondem tanto a estimulação táctil como visual. Os campos receptivos táctil e visual mantêm-se em correspondência, mesmo que a parte corporal em questão seja movida separadamente dos olhos (e.g., Fogassi et al., 1996).

instrumento está subordinado a esta relação (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997). A acção no instrumento está embutida na relação do instrumento com o objecto alvo (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). Quando a relação entre o instrumento e o envolvimento é disfuncional ou sem significado, o uso do instrumento como acção motora pode ser suspenso, e.g., Gibson e Yonas (1962, cit. Reed, 1988, p. 74), quando solicitaram a crianças de 2 anos de idade que riscassem com um estilete no ar, estes resistiram a fazê-lo. No entender pragmático de uma criança que não compreende o objectivo da investigação: Afinal, o instrumento estava lá para quê? O instrumento tem uma identidade própria que se manifesta na sua funcionalidade. A função de um instrumento revela-se de um modo intuitivo, porque transporta consigo a informação necessária para a detecção da sua affordance² (Gibson, 1979/1986), o que lhe dá um aspecto fenomenológico característico designado de “efeito do instrumento” (“fonction “outil””). O “efeito do instrumento” é um fenómeno não-derivativo que respeita à percepção da dinâmica e da temporalidade de um evento (Michotte, 1951/1991).

A habilidade para inferir a função a partir da estrutura, permite ao executante usar instrumentos não familiares e detectar usos alternativos de instrumentos familiares. Esta é a base da resolução de problemas mecânicos. A inferência directa da função pela estrutura permite identificar tanto as possíveis acções motoras associadas ao instrumento como o tipo de objectos com o qual pode ser combinado. Estes dois aspectos do significado funcional da estrutura estão relacionados. As acções motoras dependem da relação entre estruturas do instrumento e do objecto. Para instrumentos familiares, reconhecer a acção do instrumento implica reconhecer os objectos apropriados sobre os quais agir. Inversamente, reconhecer a função do objecto implica reconhecer os instrumentos apropriados com os quais actuar (Goldenberg & Hagmann, 1998).

² Affordance - aquilo que percebemos que um objecto nos permite fazer com ele. Está relacionado com as propriedades físicas desse objecto, as quais possuem informação relevante, que embora invariante para qualquer indivíduo é utilizada de forma individualizada, em função das características de cada um. Trata-se de uma potencial relação complementar entre o organismo e o envolvimento. As affordances percebidas têm o seu correspondente nas efectividades do organismo; tidas como o modo como o actor pode usar as características biomecânicas do seu corpo para agir. O princípio da dualidade das affordances e das efectividades (Shaw & Turvey, 1981) advoga que uma affordance não pode ser definida sem uma efectividade complementar.

Para Parker e Gibson (1977), o uso de um instrumento é uma forma complexa de manipulação de um objecto, intencional, dirigida a um objectivo, que envolve a manipulação do instrumento para alterar a posição, condição, ou acção de outro objecto. A diferença essencial entre o verdadeiro uso de instrumento e o proto-uso de instrumentos depende da relação entre o objecto e o agente da mudança. No caso do proto-uso de instrumento só o objecto a alterar é destacável e manipulável, enquanto que no uso verdadeiro de um instrumento tanto objecto como agente de mudança são destacáveis do envolvimento e manipuláveis. Tarefas motoras como arremessar nozes contra uma superfície dura ou lavar batatas-doces, são classificadas como proto-uso de instrumentos. A capacidade de uso de instrumentos está cativa da emergência da causalidade objectiva, que decorre entre os 10 e os 18 meses (Piaget, 1936, 1954). Por exemplo, puxar intencionalmente uma peça de roupa sobre a qual está o objecto desejado, ocorre mais cedo que o uso de uma vara para o alcançar (Gómez & Sarriá, 1991). O desenvolvimento da exploração de objectos-instrumento envolve uma espécie de relação de encaixe (“embedding”). Ao nível mais baixo, o uso do instrumento compreende a acção com um objecto externo ou destacado, o qual é sustentado para alterar a posição ou estado do objecto-alvo. A um nível intermédio encontra-se o conhecimento do executante acerca da acção específica ou do padrão de movimento para utilizar um instrumento específico designada de acção canónica. O nível mais elevado representa o conhecimento do executante sobre a coordenação espacial mais apropriada entre os complexos acção-objecto e objecto-alvo. Este último nível coloca problemas às crianças mais novas (Bushnell & Boudreau, 1998). No processo de desenvolvimento, a relação entre objectos particulares e as suas acções canónicas estabelece-se por volta dos 10-11 meses, quando as crianças começam a exhibir brincar funcional sabendo que acções executar com certos objectos. No entanto, as crianças pequenas falham na relação espacial entre objecto e objecto-alvo, por exemplo, quando a uma criança de 15 meses foi dada uma tenaz para salada gigante e lhe pediram que com ela agarrasse uma bola, ela agarrou o instrumento pela sua articulação com uma mão e colocou a bola nas conchas da tenaz com a outra mão (cf. Greenfield, 1991). Em cada momento do desenvolvimento motor o uso eficiente do instrumento só acontece se constituir com o corpo um sistema estável. “Rate controllers” (Thelen, 1986) constroem este processo, e.g., o desenvolvimento

da percepção háptica³ é condicionado pela habilidade motora de executar movimentos exploratórios com as mãos (Bushnell & Boudreau, 1993). Outro constrangimento decorre do desenvolvimento da atenção selectiva. A necessidade do pequeno executante ter que monitorizar mais do que um aspecto simultaneamente, por exemplo, o instrumento e o objecto, pode levá-lo a perder a intenção da tarefa ou o propósito das manipulações do instrumento. Quanto mais fases forem requeridas até alcançar o objectivo da tarefa, maior a dispersão da criança em fases intermédias (e.g., Koslowski & Bruner, 1972). As relações de complementaridade que se estabelecem entre o executante, o instrumento e o alvo respeitam o princípio da dualidade affordances-efectividades (Shaw & Turvey, 1981), segundo o qual uma affordance não pode ser definida sem a efectividade que lhe é complementar, i.e., o modo como o executante pode recorrer às suas capacidades para agir no envolvimento. As relações que se estabelecem não se podem limitar a conter informação em modo de escala corporal, mas também a conter informação acerca das propriedades dos objectos escaladas entre si, porque há não apenas uma mas pelo menos duas relações complementares entre o executante e o envolvimento (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen; 1994). Um instrumento é um objecto inserido num ciclo de uma acção, implicando aprendizagem perceptiva (Reed, 1988).

O processamento visual é suficiente para agarrarmos um instrumento mas o processamento semântico é necessário para o seu uso adequado (Creem & Proffitt, 2001), por exemplo, uma paciente com uma forma particular de agnósia visual pode pegar e utilizar adequadamente um instrumento, mas quando a pega do instrumento está afastada de si, agarra-o inapropriadamente (Carey, Harvey & Milner, 1996); ou, um paciente pode não conseguir discriminar a diferença de tamanho entre dois objectos, mas ao agarrá-los a configuração da mão adequar-se ao seu tamanho (Goodale, Milner, Jakobson & Carey, 1991), enquanto que outra paciente com lesão do lobo parietal posterior reconhecer a utilidade funcional de um objecto mas não conseguir utilizar esse conhecimento para configurar apropriadamente os seus dedos (Sirigu et al., 1995). No caso do uso

³ Capacidade perceptiva baseada em procedimentos exploratórios, i.e., padrões de movimentos das mãos estereotipados, que maximizam a entrada de informação sensorial correspondente a certas propriedades do objecto, e que propicia a discriminação dessas propriedades, como seja, tamanho (volume), temperatura, rigidez, textura, peso ou forma (cf. Bushnell & Boudreau, 1993).

de um instrumento o executante necessita adequar a acção sobre o objecto-instrumento à sua identidade específica, isto é, à sua função. A tomografia revelou a existência de uma área de representação da identidade funcional dos instrumentos no córtex pré-motor (Grafton, Fadiga, Arbib & Rizzolatti, 1997). Estes dados não são incompatíveis com a hipótese de affordance de um objecto porque ter a percepção de uma affordance não é classificar um objecto (Gibson, 1979, p. 134). Com base nas suas propriedades físicas um objecto pode proporcionar muitas acções, no entanto, há circunstâncias em que um objecto tem uma identidade funcional específica e, nesse caso, a pessoa tem que recuperar a informação semântica, respeitante a essa identidade, antes de poder utilizar apropriadamente esse objecto, tido socialmente como um instrumento.

Revisão Bibliográfica

Ao utilizar um instrumento os sistemas sensoriais vão captar informação através dele, o sistema muscular vai ajustar a produção de forças em função do peso e das propriedades inércias do instrumento e do objecto a agarrar, o sistema motor vai corrigir eventuais programas motores a alterações topológicas e físicas como o aumento do comprimento do segmento preênsil, a alteração da distância entre as extremidades preênsais, bem como da sua forma, superfície de contacto, mobilidade ou taxa de atrito. As consequências de todas estas mudanças no comportamento de um sistema motor constrangido pelas efectividades do executante têm sido estudadas, e que nesta revisão bibliográfica, necessariamente selectiva, damos a conhecer ao longo dos seguintes tópicos: (i) Capacidade do sistema perceptivo em detectar propriedades do implemento; (ii) Manifestações neurológicas decorrentes do uso de instrumentos; (iii) Padrão de comportamento motor no uso de instrumentos; (iv) Desenvolvimento motor, controlo motor, aprendizagem motora e uso do instrumento; (v) *Modus faciendi/modus operandi*. Estudar o uso do instrumento.

Sistema Perceptivo e Propriedades dos Implementos

Quando nos tornamos hábeis no uso de um instrumento ou de um implemento, podemos ter a percepção de ocorrências na superfície em que intervimos, com tanta eficiência como se realmente as nossas mãos estivessem em contacto directo com essa superfície do envolvimento. Esta capacidade é baseada em vibrações transmitidas e é enfraquecida se estas forem abafadas (Brisben, Hsiao & Johnson, 1999). A percepção das vibrações ocorre como se de facto acontecessem no implemento e não na mão. Yamamoto e Kitazawa (2001a) analisaram o julgamento de adultos destros com os olhos fechados, relativamente à ordem temporal de vibrações sucessivas, enviados para as pontas de baquetas de bateria, sustentadas em cada mão. Foram criadas quatro condições experimentais: membros superiores cruzados e não cruzados, e baquetas cruzadas e não cruzadas. Com os membros e as baquetas não cruzados houve aproximadamente 90% das respostas correctas, mesmo para intervalos temporais de 100ms. Quando os membros estiveram cruzados mas as baquetas não,

ocorreu um aumento da taxa de erro nos intervalos temporais moderadamente curtos (100-400ms); o mesmo ocorreu quando as baquetas foram cruzadas mas os membros não. Quando houve cruzamento tanto das baquetas como dos membros, ocorreu uma recuperação da taxa de julgamentos correctos. Se as vibrações fossem percebidas exclusivamente nas mãos e processados no cérebro como tal, a ordem temporal subjectiva nunca dependeria da configuração das baquetas, este julgamento dependeu principalmente de onde a extremidade distal das baquetas se situava, mesmo sem visão concorrente do toque (Farnè & Làvadas, 2000).

Tal como já havia sido estudado por Michotte (1951/1991) esta plasticidade perceptiva está condicionada por estrangimentos temporais (Yamamoto e Kitazawa, 2001a, b, 2002, 2004), ou seja, se o intervalo temporal entre dois estímulos sucessivos é muito alargado, é provável que o indivíduo passe a percebê-los como dois acontecimentos independentes.

É de admitir um remapeamento funcional do espaço pessoal, principalmente quando há cruzamento de informação táctil e visual. Maravita, Clarke, Husain e Driver (2002), colocaram adultos numa situação experimental de interferência visuo-táctil, na qual tinham que julgar se as vibrações chegavam ao polegar ou ao indicador através tacos de Golfe (75cm de comprimento), paralelos ou cruzados, enquanto ignoravam luzes distractivas que apareciam em localizações superiores e inferiores das extremidades distais dos tacos, 30ms antes da estimulação táctil, com várias combinações de relação espacial entre vibrações e sinais luminosos. Entre os ensaios, eram os sujeitos que cruzaram e descruzaram os tacos. Quando os tacos estavam paralelos, as distractivas visuais incongruentes com as vibrações, quebravam os julgamentos tácteis, principalmente quando eram ipsilaterais. No entanto, quando os tacos eram cruzados, conectando a estimulação táctil com o campo visual contralateral, passaram a ser as distractivas visuais contralaterais que passaram a quebrar os julgamentos tácteis, fenómeno que se foi acentuando com a prática. Este remapeamento pode ser expressão da existência de células multimodais, respondendo tanto a estimulação visual com táctil (Murata et al., 1997), cujo campo receptivo visual pode ser alargado, para passar a responder a estímulos visuais na extremidade distal do instrumento (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996).

Os estudos de Yamamoto e Kitazawa (2001a, b) e de Maravita, Clarke, Husain e Driver (2002) decorrem de contextos experimentais onde o indivíduo sustenta objectos reais, sendo as condições experimentais de manipulação de mecanismos perceptivos. A transição para um nível de análise menos baseado no conceito de estímulo e mais baseado no conceito de informação perceptiva origina a detecção de outros fenómenos para lá dos delimitados pelas leis da sensação (e.g., Klatzky et al., 1987).

O tamanho de um objecto sustentado firmemente na mão ou entre os dedos pode ser percebido com uma aproximação razoável, sem ter que se olhar para ele (Turvey, 1996). Esta percepção não-visual das dimensões espaciais de um objecto é alcançada através de um aspecto do tacto referido como tocar dinâmico (Gibson, 1961). Como subsistema da percepção háptica baseia-se mais nos estados musculares e tendinosos que nos estados da pele, distinguindo-se dos outros subsistemas nos quais os factores subcutâneos desempenham um papel predominante (Pagano, Carello & Turvey, 1996). Dada a variedade de direcções e sentidos que o manejo de um objecto permite, é provável que o executante consiga ter a percepção da constância de certa informação háptica e daí inferir o comprimento do objecto (Fitzpatrick, Carello & Turvey, 1994; Turvey, Park, Dumais & Niles, 1998), do peso do objecto (Amazeen & Turvey, 1996) e da localização relativa da mão no objecto (Pagano, Carello & Turvey, 1996). Este tipo de informação é particularmente importante em certas situações motoras onde a interacção com o envolvimento se faz através de um instrumento, por exemplo, o batimento bem sucedido numa bola, com uma raqueta ou um bastão, requer um alinhamento do instrumento com a trajectória da bola de modo a o contacto acontecer no centro de percussão do instrumento, ficando o executante com a impressão que o implemento cumpre a acção sem ajuda. Se a zona de contacto não é a ideal, a percepção que o executante tem é que o batimento requer esforço, acompanhada por uma sensação de formigueiro nas mãos. O centro de percussão de um instrumento não é detectável visualmente mas através da percepção háptica e a determinação da sua localização tem que ocorrer antes do contacto. Carello e colaboradores, e verificaram que através da sustentação e rotação livre de raquetas de ténis de campo, diferentes em tamanho e peso, os adultos conseguem determinar o seu

comprimento e a sua principal zona de percussão. Esta capacidade não depende da experiência de uso das raquetes (Thuot, Anderson & Turvey, 1999) nem da idade (Carello, Thuo & Turvey, 2000). A percepção destas distâncias, embora inexacta, não é arbitrária, porque as pessoas ordenam correctamente objectos com diferentes comprimentos (Cooper, Carello & Turvey, 2000). Girão, Catela e Seabra (2004) encontraram resultados similares em crianças de 12 anos, com raquetas de ténis de mesa e de modo menos consistente para a zona de percussão em raquetas de badmington. Portanto, a apropriação perceptiva das propriedades funcionais de um instrumento está dependente de um processo de desenvolvimento motor, por exemplo, Schwartz e Reilly (1981) solicitaram a crianças de 4, 6 e 8 anos, que tocassem o mais rápido possível no centro de um alvo de 10mm de diâmetro, com o indicador e com dois estiletos com comprimentos diferentes (51mm, 154mm). As crianças mais velhas foram significativamente mais precisas que as mais novas, e para o conjunto das crianças apontar com o dedo foi significativamente melhor que com o instrumento mais curto, e apontar com este último foi significativamente melhor que com o instrumento mais longo.

Manifestações Neurológicas no Uso de Instrumentos

Goodale e Milner (1992; Milner & Goodale, 1995) argumentam que o conjunto de descrições de um objecto que permitem a sua identificação e reconhecimento, pode ser processado independentemente do conjunto de descrições do objecto que permitem ao executante configurar adequadamente a mão ao objecto para o agarrar. Propõem que o sistema ventral, com projecções vindas do córtex estriado para o córtex temporal inferior, desempenha um papel principal na identificação perceptiva dos objectos, enquanto que o sistema dorsal, que se projecta do córtex estriado para a região parietal posterior, medeia as necessárias transformações sensório-motoras para uma acção visualmente conduzida ao objecto (cf. Hodges, Spatt & Patterson, 1999). Sugerem que deve ser dada menos ênfase às distinções de entrada, e.g., qualidades do objecto vs localização (“o quê” vs “onde”), e que se deve dar mais atenção às exigências das saídas - a distinção “o quê” vs “como” – a qual capta de modo mais apropriado a dicotomia funcional entre as projecções ventral e dorsal (cf. Goldenberg &

Hagmann, 1998). Observam que os módulos funcionais que suportam a experiência perceptiva podem ter evoluído mais recentemente que aqueles que controlam as acções (cf. Imamizu et al., 2000), e que na região parietal posterior há muitos neurónios que exibem actividade bimodal, i.e., tanto relacionada com a sensação como com o movimento (cf. Obayashy et al., 2001). O córtex parietal posterior pode receber este tipo de informação tanto das áreas visuais 3 e 4, através da área temporal mediana. Também deve ocorrer interacção entre estes dois sistemas (sulco temporal rostral superior) (cf. Fukutake, 2003). A informação seria processada no sistema dorsal sem alcançar a consciência, prevenindo-se, assim, a interferência de operações dentro do sistema ventral, que resultam em tomada de consciência. Assim, poderiam decorrer situações em que o executante não consciencialize alterações no arranjo visual (Gibson, 1986), ao qual o seu sistema motor se está a ajustar. Esta sugestão não implica que as entradas visuais sejam necessariamente bloqueadas da consciência durante acções visuomotoras, mas que esta solução pode ser uma opção útil. Os dois sistemas seriam frequentemente activados simultaneamente, com alguma informação visual diferente. Os dois sistemas estão envolvidos numa interacção directa, e ambos se projectam para áreas no sulco temporal superior, onde células altamente selectivas para a forma estão próximas de outras que têm especificidade motora.

Goldenberg e Hagmann (1998) estudaram a habilidade de inferir a função a partir da estrutura de um objecto, de modo a este poder ser usado como um instrumento, criando novos instrumentos semelhantes às chaves de fendas tradicionais excepto na zona de contacto com o alvo, para testar a capacidade perceptiva de detecção de affordances do objecto. Danos no hemisfério esquerdo afectaram inferências do uso do instrumento a partir da sua estrutura. Os pacientes conseguiam discriminar visualmente as formas dos instrumentos mas não eram capazes de lhes atribuir funcionalidade.

Nos humanos, o sulco intraparietal está associado ao uso de instrumentos, a sua zona mediana do lado esquerdo é activada no uso do instrumento tanto com a mão direita como com a mão esquerda. Inoue et al. (2001) solicitaram a adultos que conduzissem com a mão esquerda ou com a mão direita um pequeno cilindro, localizado no espaço peripessoal contralateral, com um par de pinças

(200mm de comprimento) ou com os dedos polegar e indicador, ao longo do espaço entre duas linhas paralelas, fixando visualmente o cilindro. Concluíram que o córtex parietal assegura a integração de informação multi-sensorial. Iriki, Tanaka e Iwamura (1996) e de Obayashi et al. (2000) treinaram macacos a usar um instrumento em forma de rodo para alcançar alimento distante, e verificaram que os neurónios activados no campo receptivo visual localizados no sulco intraparietal (extensão posterior da área somatosensorial primária) acompanhavam em extensão o uso do instrumento. Imamizu et al. (2000) também detectaram activação de partes filogeneticamente mais recentes do cerebelo, de modo epigenético, pois com localizações específicas diferentes entre indivíduos, e com transferência da representação neuronal para o instrumento (Yamamoto & Mitazawa, 2001b). Nos humanos, as conexões entre o cerebelo e o hemisfério esquerdo vão-se acentuando durante o processo de aprendizagem com o instrumento (Tamada et al., 1999); que Obayashi et al. (2002), no seu estudo com macacos, consideram estarem envolvidas nas funções do instrumentos. Estudos com macacos, como o de Obayashi et al. (2002), têm permitido detectar similaridades entre áreas do sistema nervoso daqueles com áreas no humanos (e.g., Fogassi et al., 1996), o que tem ajudado a interpretar comportamentos humanos (e.g., Farnè & Lavadas, 2000) e tem permitido desenvolver desenhos experimentais em humanos, com acrescidas vantagens reabilitacionais. Maravita, Clarke, Husain e Driver (2002) treinaram um paciente com lesões no hemisfério direito, lesão cortical occipitotemporal e subcortical parietal, (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2001) a usar o instrumento com a sua mão contralesional, a esquerda, para manipular objectos visuais no seu hemi-espaço ipsilesional, o direito, portanto com o instrumento sustentado numa posição cruzada em relação à sua linha mediana. Os resultados revelaram que a extinção⁴ do toque esquerdo foi reduzida significativamente, tendo subsistido na primeira sessão 20mn após o uso do instrumento e na segunda sessão 10mn após o uso do instrumento. O uso de um instrumento longo com a mão contralesional para tocar objectos no espaço ipsilesional alterou benéficamente o padrão de extinção modal cruzada entre o

⁴ Extinção - Após dano unilateral do cérebro, especialmente o direito, caracteriza-se pelo facto do paciente conseguir perceber um estímulo isolado do lado contrário à lesão, mas deixar de o perceber quando este estímulo é simultâneo a um do lado da lesão. Quando um paciente com lesão do hemisfério direito recebe um estímulo visual próximo da sua mão direita, pode não se aperceber de um estímulo táctil na mão esquerda, que sentiria se este lhe fosse dado isoladamente, este é o fenómeno de extinção modal cruzada.

estímulo visual ipsilesional e o estímulo táctil contralesional, sendo, portanto, de interesse reabilitacional (cf. Ackroyd et al., 2002).

A suposição que o uso do instrumento resulta num remapeamento da representação espacial da mão, integrando o espaço peripessoal como espaço pessoal (e.g., Berti & Frassinetti, 2000; Ackroyd et al., 2002) e facilitando a intervenção no envolvimento (e.g., Graham et al., 1999; Creem & Proffitt, 2001), reforçam a perspectiva ecológica do uso de instrumentos, no sentido que organismo, instrumento e envolvimento constituem um sistema unificado (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). Berti e Frassinetti (2000) questionaram se a diferenciação entre o espaço distante e o espaço peripessoal decorrem simplesmente do limite de alcance da mão ou se a codificação das posições espaciais não será uma operação mais dinâmica, por exemplo, influenciável pelo uso de instrumentos. Como consequência natural, o espaço alcançável pode ser estendido, podendo o distante ser remapeado como próximo. Uma paciente com lesão do aspecto lateral do lobo direito frontal temporal e occipital, do lobo inferior e superior parietal, da basal ganglia direita e da insula, afectada por negligência visual e distúrbios na exploração do espaço próximo contralesional, também se expressou de modo igualmente severo no espaço distante quando a paciente procedeu à bissecção de linhas orientadas horizontalmente com uma vara de 1000mm de comprimento. A estrutura do espaço peripessoal foi alterada tendo sido expandido para incluir o espaço distante, alcançável pelo instrumento. Farnè e Làvadas (2000) estudaram em pacientes com danos no cérebro direito e extinção táctil esquerda, mas sem perda somato-sensorial o efeito do uso de instrumento na extensão espacial da representação do espaço visual peripessoal em humanos, através de extinção modal cruzada, visual e táctil. A extensão da representação do espaço peripessoal pelo uso do instrumento é reforçado pelo facto de a extinção modal cruzada ter sido mais severa após o seu uso efectivo, induzindo uma modificação durável, embora curta, na representação do espaço peripessoal. Iriki, Tanaka e Iwamura (1996) também verificaram que os neurónios visuais deixavam de ser activados quando os macacos ainda sustentavam o rodo mas já não o usavam para recolher o alimento. A extensão espacial do espaço peripessoal representada no cérebro humano tem propriedades dinâmicas, expandindo-se

para incluir o instrumento, quando ele é activamente usado, e retraindo-se passado algum tempo após o uso do instrumento.

A formação da representação espacial do corpo⁵ mais o instrumento depende do seu uso efectivo e a sua conservação depende do uso sistemático do instrumento (Farnè & Lavadas, 2000). Percepcionar as propriedades físicas de um objecto (Turvey, Park, Dumais & Carello, 1998) ou de um instrumento (Carello, Thuot, Anderson & Turvey, 1999) não significa que o tenhamos incorporado. A premência desta assumpção é evidente no comportamento de um apráxico⁶ com lesões corticais bilaterais nos lóbulos parietais inferiores e unilaterais no lobo temporal direito, não revelando demência e tendo preservado a sua capacidade para identificar objectos e descrever a sua função, bem como imitar a maioria das pantominas do experimentador (Fukutake, 2003). O paciente agarrava frequentemente o objecto próximo do seu ponto de acção (cf. Achard & von Höfsten, 2002) ou de um modo inadequado para o seu uso, errava espacialmente a localização do objecto com o alvo ou a direcção do objecto com o alvo, e manipulava erradamente o instrumento na direcção necessária. Pontualmente, revelava perplexidade, alterando constantemente a posição do objecto nas suas mãos, frequentemente acompanhada de alternância de comportamento correcto com tentativas infrutíferas, até que o experimentador o interrompesse. Não foi capaz de usar objectos múltiplos (e.g., chave e fechadura, martelo e prego), por omissão, i.e., esquecimento de uma das acções da sequência, ou por alteração da ordem das acções. Também nas tarefas com objectos simples, e.g., abrir e posicionar o guarda-chuva, a sequência temporal não pôde ser analisada por omissão da acção final. A apraxia do uso de instrumento pode ter sido produzida pela lesão esquerda parieto-occipital e pela direita parieto-temporal. A lesão esquerda pode estar relacionada com

⁵ Esquema corporal - Codificação central volumétrica da configuração e posição do corpo no espaço, armazenada modularmente, incluindo o comprimento dos segmentos dos membros e a sua organização hierárquica; a qual é actualizada com o movimento e é adaptável às mudanças graduais ou momentâneas do corpo, sem o envolvimento da consciência, através de uma integração supramodal da informação, numa organização espacial coerente; sendo suporte para uma representação, também, do corpo dos outros e da consciência individual - "... every new posture or movement is recorded on this plastic schema..." (Head & Holmes, 1911, p. 187); "... a woman's power of localisation may extend to the feather in her hat." (idem, p. 188; cit. Ackroyd et al., 2002).

⁶ Apraxia - Sintoma de dano no cérebro esquerdo que afecta a imitação de gestos e o uso de objectos e instrumentos. A recuperação de instrução de uso a partir da memória semântica é frequentemente afectada pela apraxia. A dissociação pode indicar que a exploração tátil e visual do instrumento permite aos pacientes inferir a função do instrumento directamente da sua estrutura (Goldenberg & Hagmann, 1998).

deficiências nos elementos temporais do uso do instrumento e a direita com as deficiências nos elementos espaciais. Fukutake (2003), tal como van Leeuwen, Smitsman e van Leeuwen (1994), é insistente no facto do uso do instrumento requerer o processamento de informação de elementos espaciais e temporais, i.e., do número de relações de complementaridade entre executante, instrumento e objecto; tal como é por exemplo evidente no fenómeno de omissão de uma das acções sequenciais para poder usar um instrumento, revelado pelo seu paciente, que também tem algumas semelhanças com o tipo de comportamento inicial das crianças de Koslowski e Bruner (1972; cf. DeLoach & Brown, 1987), no sentido que o executante como que fica preso a um dos vários passos necessários que lhe permitiriam usufruir da funcionalidade do instrumento.

Padrão de Comportamento Motor no Uso de Instrumentos

É legítimo o argumento de Greenfield (1991) sobre o impacto dos constrangimentos do envolvimento, as regras sociais, no percurso epigenético de cada indivíduo e provavelmente uma das causas das diferenças entre indivíduos, dizemos nós (cf. Connolly, 1986). Greenfield (1991) observou que em 7 crianças (12 a 29 meses) de origens étnicas variadas, a de 18 meses tinha menos prática de uso da colher e era a única cuja mãe a ia alimentar ao centro infantil (cf. Connolly & Manoel, 1991). Este tipo de constrangimento não é exclusivo do processo de aprendizagem do uso do instrumento na criança. Creem e Proffitt (2001) mostram bem como as regras sociais sobre o modo como usar um instrumento condicionam os adultos, quando ocorre interferência na capacidade de processamento de informação. Creem e Proffitt (2001) pediram a adultos que agarrassem com a mão dominante instrumentos, cuja orientação foi manipulada, como se fossem usá-los, concomitantemente com tarefas de processamento semântico e de visualização espacial. Os resultados revelam da importância dos processos de recuperação de informação semântica da memória para uma apreensão apropriada de instrumentos e do efeito da informação visual na modelação da postura da mão. Embora o sistema visuomotor possa trabalhar por si a sua independência pode ser condicionada pelo sistema semântico, responsável que é pela identificação de um objecto e das suas qualidades funcionais. Este estudo também evidencia que nestas condições uma maior

proximidade física e uma orientação mais favorável mão-instrumento aumenta a resistência à interferência, resultado que consideramos vir na esteira de conceitos como reconhecimento perceptivo de Köhler (1927), descontinuidades de Gibson (1986), e de complementaridades de van Leeuwen, Smitsman e van Leeuwen (1994).

O problema das descontinuidades espaciais entre objecto e instrumento é um velho problema (e.g., Köhler, 1929), que persiste com novas abordagens. Para Bates, Carlson-Luden e Betherson (1980) a criança pequena usará o instrumento se instrumento e objecto forem distintos nas suas superfícies e estiverem próximos mas individualizáveis. Mais recentemente, van Leeuwen, Smitsman e van Leeuwen (1994) afirmaram que, paralelamente a uma dimensão espacial, há uma dimensão temporal, i.e., qual é a ordem das acções para podermos usar um instrumento, por exemplo, para podermos disparar com um arco, primeiro temos que lhe pegar, seguidamente colocar a flecha, depois traccionar a corda e orientá-lo e finalmente libertar a corda. Mas também há instrumentos que implicam menos e outros que implicam mais descontinuidades temporais (Fukutake, 2003), e.g., a borracha e o saca-rolhas. Poucos são os estudos que conscientemente analisam as descontinuidades (e.g., Michotte, 1951/1991; Koslowsky & Bruner, 1972; Fukutake, 2003). Só van Leeuwen, Smitsman e van Leeuwen (1994) concebem um modelo teórico para as estudar. Foi esta inovação que lhes permitiu verificar que são as crianças (8 meses a 3,4 anos) que exploram as diferentes combinações das descontinuidades temporais que têm mais sucesso, e com soluções motoras que os próprios não tinham previsto. Com base no pressuposto segundo o qual se só uma estrutura de affordance é relevante em cada situação só uma solução o será, variaram na relação espacial entre um gancho e o objecto a alcançar o número de descontinuidades entre instrumento e objecto. Menor o número de descontinuidades, menor a complexidade da estrutura da affordance do instrumento⁷, maior o sucesso. Emergiu também o recurso ao instrumento no modo de vara, o que requer que a acção de manutenção do contacto com o objecto e a acção da sua aproximação ao executante sejam realizadas em

⁷ Lei da Proximidade - A proximidade espacial ou o contacto entre instrumento e objecto-alvo propicia a percepção de um único objecto (Bates, Carlson-Luden & Bretherton, 1980).

simultâneo, em sincronia, enquanto que no modo de gancho as acções são realizadas sequencialmente, em diacronia; a integração sincrónica é mais complexa que a integração diacrónica, na acção motora e na percepção.

Mas se o processo de aquisição do uso do instrumento é epigenético, também é condicionado por algumas variáveis comuns a todos os nichos ecológicos, e.g., as propriedades dos objectos.

Achard e von Hofstën (2002) observaram crianças dos 12 aos 17 meses na adaptação ao uso de uma colher através uma tampa com uma ranhura, para retirar comida de um prato. As crianças foram agrupados em três níveis etários (1- 12/13 meses; 2- 14/15 meses; e 3- 16/17 meses). Todas as crianças já usavam a colher com a pega radial ou a de punho (Connolly & Dalgleish, 1989). Com a introdução da tampa, o nível etário 1 recorreu mais à mão não dominante, que na condição de controlo nunca foi usada e aumentou o número de pegas mais imaturas, e.g., agarrar a colher pelo meio do cabo. Para introduzir a concha da colher na ranhura a frequência de rotações da mão aumentou com a idade, embora as rotações só ocorressem perto da ranhura. Aparentemente, cada fase da acção motora ia sendo planeada, sem um planeamento integrado prévio (cf. McCarty, Clifton & Collard, 1999).

Van der Kamp, Steenbergen e Smitsman (1993) confrontaram crianças entre os 2 e os 4 anos com colheres com 6 configurações diferentes na relação espacial do cabo e da concha para transportar arroz de um balde à sua frente. Todas as crianças possuíam a pega de precisão (Connolly & Dalgleish, 1989). Para colheres com a concha rodada 90° em relação ao cabo para a direita ou para trás, as crianças optaram por uma pega com toda a mão, equivalente a uma redução dos graus de liberdade, e mais próxima da concha, i.e., do ponto de interacção instrumento-objecto. Assim, o modo como a colher foi pegada dependeu da articulação entre a sua função e o objectivo da tarefa, ou seja, a relação com o envolvimento estabelece-se *com* o instrumento (cf. Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997). Maiores constrangimentos na colher levaram as crianças a bloquear parte das articulações inicialmente disponíveis. Mas algumas foram conservadas disponíveis para a busca de novas soluções motoras, indicando que o organismo necessita estabelecer um equilíbrio entre os graus de liberdade que preserva e o potencial que estes possuem para variar a resposta motora em função dos constrangimentos da tarefa (cf. Rosenbaum et al.,

1995). Por exemplo, van der Kamp e Steenbergen (1999) observaram adultos a transportar a colher para a boca, cheia com substância sólida ou líquida. Na condição líquido o tempo de movimento e número de sub-movimentos aumentaram, a intensidade do pico de velocidade e a flexão do cotovelo diminuíram. Para 3 dos 5 adultos a distância percorrida pelo pulso diminuiu enquanto que a percorrida pela cabeça e pelo ombro aumentou. Os resultados dão suporte ao princípio da direcção próximo-distal da organização do movimento (cf. Steenbergen, Marteniuk & Kalbfleisch, 1995) e à ideia que as componentes corporais proximais e distais envolvidas no movimento estão coordenadas. Para a condição líquido, a fase de desaceleração da aproximação da colher à boca é mais próxima de uma “colisão” suave (Lee, 1976).

Os ajustamentos durante o uso de um instrumento também são intrínsecos ao sistema motor, sem que tal represente uma aprendizagem mas mais uma adaptação. Connolly e Dalglish (1993) encontraram uma criança que se manteve numa solução motora mais “primitiva”, levar a boca à colher em vez de levar a colher à boca, a qual deve ter funcionado como um atrator mais forte (cf. Kamm, Thelen & Jensen, 1990).

Este tipo de ocorrências pode não ser definitivo mas um recurso de facto. Achard e von Höfsten (2002) e van der Kamp, Steenbergen e Smitsman (1993) verificaram que perante os constrangimentos da tarefa as crianças passaram a segurar o instrumento mais perto do ponto de acção, i.e., com a mão mais perto da concha da colher, e regrediram para padrões de agarrar com envolvimento de menos graus de liberdade da mão (cf. Bernstein, 1967). No entanto, a suspensão de graus de liberdade só foi até ao ponto em que foi preservada alguma margem de variação da resposta motora. Van der Kamp e Steenbergen (1999) verificaram também que o aumento da dificuldade da tarefa resultou no envolvimento de outros segmentos corporais, i.e., a gestão dos graus de liberdade não passa exclusivamente pela sua suspensão mas também pode passar pela sua reorganização (cf. Bernstein, 1967).

Desenvolvimento, Controlo e Aprendizagem do Uso do Instrumento

Não podemos dissociar controlo e aprendizagem do movimento e desenvolvimento motor (Barreiros, 1992).

De entre os estudos mais significativos sobre desenvolvimento do uso de instrumentos que se basearam na análise do comportamento motor, mesmo que este não seja o foco de pesquisa, pontuam os de Connolly e colaboradores. Connolly e Dalgleish (1989) estudaram a emergência do uso da colher entre os 12 e os 23 meses. Nas crianças mais velhas a diversidade de padrões motores foi menor e a consistência no seu uso mais elevada. Para encher a colher, gastaram mais tempo, usaram mais a mão contralateral como suporte e exibiram maior rotação do pulso. Para levar a colher à boca, envolveram progressivamente os segmentos mais distais, olharam durante mais tempo para a colher e abriram a boca mais tarde. No conjunto das crianças, a trajectória da colher para a boca foi-se tornando mais linear. Connolly e Dalgleish (1993) observaram 4 crianças na utilização da colher nos primeiros 6 meses do 2.º ano de vida. No transporte da colher para a boca, todas revelaram uma redução do número de correcções no seu transporte, havendo tendência para corrigir primeiro as que ocorrem mais perto da boca. Para introduzir a colher na boca, ocorreu uma redução do número de posições. Para a tirar da boca, ocorreu um aumento da rotação do pulso. Três crianças foram aumentando a flexão do cotovelo e reduzindo os movimentos da cabeça, enquanto que a 4.ª fez a evolução inversa. Todas abriram cada vez mais cedo a boca. Nas primeiras 13 semanas do estudo todas aumentaram o tempo despendido a encher a colher e nas últimas 13 semanas reduziram o tempo a transportar a colher e a esvaziá-la na boca. Connolly e Elliott (1972) observaram crianças entre os 2 anos e 10 meses e os 4 anos e 10 meses no uso sem restrições do pincel. Com a idade ocorreu um declínio na flexão acentuada dos dedos, com conseqüente eliminação da produção de força supérflua. Aos 4 anos as crianças ainda não concluíam o uso funcional do pincel.

Para colheres e pincéis, e em termos motores, vamos perdendo variabilidade de padrões, centramo-nos mais nos alvos, escolhemos o caminho mais curto, recorremos aos segmentos corporais mais leves; ou seja, vamos tornando-nos mais monótonos, mais periféricos e menos dispendiosos, salvo raras excepções. As crianças usam os mesmos instrumentos que os adultos mas não se polarizam tanto nem são tão consistentes na exibição de padrões motores (e.g., Achard & von Höfsten, 2002).

No entanto, não aprendemos a usar uma colher fechados num cubículo, nós e a colher. O genótipo por si não pode prever a forma que o fenótipo adquire

e não há fenótipo sem envolvimento: a colher deu-nos a nossa progenitura. Organismo e envolvimento estão inseparavelmente ligados, formam conjuntos recíprocos (Dent-Read & Zukow-Goldring, 1997).

Existe, contudo, uma responsabilidade de socialização nesta matéria. Por exemplo, Connolly e Manoel (1991) consideram que a ausência de estratégias mais maduras do uso da colher pode ser atribuída aos pais. Greenfield (1991) observou 7 crianças de origens étnicas variadas, com idades entre os 12 e os 29 meses. A de 18 meses revelou menos prática de uso da colher e a sua mãe era a única que a ia alimentar ao centro infantil.

Não se pode, em contrapartida, ignorar que os constrangimentos na apropriação do uso do instrumento não se resumem às regras sociais; a sua génese pode encontrar-se na própria coexistência topológica corpo-instrumento-objecto. Van Leeuwen, Smitsman e van Leeuwen (1994) variaram o número de descontinuidades espaciais⁸ entre um cabo com um gancho e um brinquedo (hipótese de número). Com crianças entre os 8 meses e os 3.4 anos, e para 8 das 10 relações espaciais entre o instrumento e o objecto, o aumento do número de descontinuidades diminuiu a percentagem de sucesso. As crianças mais velhas recorreram mais vezes ao instrumento. No entanto, o instrumento também propiciava a acção de ser usado como uma vara, o que requer que a manutenção do contacto com o objecto e a sua aproximação sejam realizadas em simultâneo, em sincronia. No modo gancho as acções são realizadas sequencialmente, em diacronia, i.e., primeiro encaixar e depois puxar. Para tal diferença deram a designação de tipo de integração temporal. Para as duas soluções funcionais, gancho ou vara, em crianças entre os 17 e os 48 meses emergiram três grupos, os que só recorreram a uma das soluções e um que alternou entre as duas. Foi este último grupo o que revelou maior percentagem de sucesso. Portanto, as affordances inerentes às características geométricas do instrumento e do objecto propiciaram a emergência de mais que um padrão de comportamento motor; embora só certas crianças as tenham detectado. Assim, o sistema criança-instrumento-alvo, observou o princípio da dualidade (Shaw & Turvey, 1981), i.e., a detecção das affordances do instrumento depende das efectividades de cada

⁸ Os eventos têm descontinuidades no fluxo de informação (Gibson, 1986), as quais podem ser mudanças na relação topológica entre objectos, e.g., se o gancho está encostado mas não encaixado no objecto a puxar existe uma descontinuidade, mas se a abertura do gancho também não está orientado para o objecto existe mais que uma descontinuidade.

criança, umas usam-no, outras nem por isso, outras ainda exploraram modos diferentes de o usar.

O desenvolvimento motor do uso do instrumento requer um mesoprocessamento de aprendizagem motora que implica: (i) a exploração das propriedades físicas do objecto, através da sua manipulação; (ii) a detecção das suas affordances funcionais, logo, o que podemos fazer com ele; e (iii) a aquisição das suas affordances técnicas, relativo ao como o devo usar.

Mesmo que só considerássemos os constrangimentos inerentes à tarefa, este processo não é linear, pois é constante a mudança de estado no sistema organismo-instrumento-envolvimento, e.g., alimentar-se com a colher esvazia o prato, então há menos alimento a colectar, logo é necessário procurar novas soluções motoras (Connolly & Dalglish, 1989). Com a aprendizagem ocorre um processo de discriminação perceptiva (Gibson & Gibson, 1955) que sustenta uma evolução nas soluções motoras para um uso mais eficiente do instrumento - menos sopa para apanhar com a colher requer novos modos de orientação da concha e do prato e de rotação do cabo da colher. Podemos ainda analisar os processos de aprendizagem descritos por Connolly e Dalglish (1989, 1993) como constatações do princípio de mutualidade - apanhar a comida requer ajustar a orientação da concha da colher; e do princípio de reciprocidade - quanto menos sopa há no prato, maior o recurso ao membro contralateral (Shaw & Turvey, 1981).

O processo de recurso ao uso do instrumento é o de uma delegação de acções motoras com o próprio corpo para acções motoras com um objecto, durante o qual devem decorrer fases de transição. Segundo Greenfield (1991) estas transições fazem-se de um modo hierarquizado e progressivamente mais complexo (cf. McCarty, Clifton & Collard, 1999), primeiro a criança come com a mão, depois com a mão e com a colher, e finalmente só com a colher. Assim, a transição de um padrão de comportamento para outro é caracterizada por um período de bimodalidade, i.e., com a mão e com a colher.

Este é um padrão típico de transições não-lineares em sistemas dinâmicos (van Geert, Savelsbergh & van der Maas, 1999). Mais, é nas fases de transição, onde vão sendo detectadas as affordances e os constrangimentos da tarefa, que ocorre a emergência das soluções motoras, sem que necessariamente estas tenham sido planeadas antecipadamente (cf. Koslowsky & Bruner, 1972).

Modus Faciendi / Modus Operandi. Estudar o Uso do Instrumento

Não é conveniente avançar para um estudo sobre o uso do instrumento ou recorrer ao uso do instrumento para estudar o comportamento motor, sem olhar para informação científica um pouco mais acima e um pouco mais abaixo do nosso nível de análise. Se o nosso estrato de estudo é o comportamento motor, a informação sobre aspectos neuromotores e sociais do uso do instrumento não é de desprezar. Por exemplo, só por si, sustentar um instrumento mesmo sem o ver, permite o acesso a informação sobre propriedades intrínsecas, como seja o seu comprimento (Cooper, Carello & Turvey, 2000). Por outro lado, a simples verbalização do nome de um instrumento que nos é familiar activa áreas neuronais responsáveis pelo seu uso, sustentando uma perspectiva representacional da produção de movimentos (Tyler et al., 2003). Portanto, constrangimentos do envolvimento, como as regras sociais sobre o uso do instrumento e constrangimentos do organismo, como a capacidade de detecção de características intrínsecas do instrumento ou a fase de desenvolvimento motor, devem ser metodologicamente variáveis de controlo.

O objecto usado como instrumento pode não ser produzido ou conhecido, por vezes nem convém (e.g., Goldenberg & Hagmann, 1998), mas o seu uso tem que fazer sentido, o instrumento tem que ser necessário (Reed, 1988). Um instrumento só o é se nele detectarmos uma função (Gibson, 1986).

É através de instrumento que agimos (Maravita, Spence, Kennett & Driver, 2002) e no instrumento que percebemos as propriedades do envolvimento (Yamamoto & Kitazawa, 2001a), portanto, as condições experimentais devem ser concebidas segundo o critério da transferência para a interacção do instrumento com o envolvimento e não do corpo com o envolvimento. Por exemplo, Steenbergen, van der Kam, Smitsman e Carson (1997) alteraram a posição relativa da concha em relação ao cabo da colher e Achard e von Hofstën (2002) variaram a posição da ranhura onde a concha da colher devia passar.

Agir com o instrumento significa que actor e instrumento formam um sistema. Assumir esta perspectiva teórica obriga a constrangimentos metodológicos. Para actor e instrumento se constituírem num único sistema motor, então têm que haver condições para se gerarem sinergias e estas passam por compatibilidades físicas e geométricas entre si. Se temos crianças e adultos,

então as mãos são diferentes no tamanho e na força, logo o instrumento também terá que o ser no tamanho e no peso (e.g., Kuhtz-Bushbeck et al., 1998).

Assumir como área de estudo a aprendizagem motora e o desenvolvimento motor implica rever pressupostos metodológicos por necessidade, não por presunção. O percurso epigenético motor individual é temporalmente distinto (e.g., Connolly & Dalglish, 1993), logo a constituição dos grupos experimentais deve respeitar este princípio, i.e., devemos observar o nível de domínio motor e funcional do instrumento, mais do que a idade cronológica (e.g., van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994).

A Deducto

Instrumentos são objectos destacáveis do envolvimento, com os quais o transformamos de um modo mais eficiente. Os comportamentos humanos evoluíram conjugadamente com os utensílios, e esta interdependência é tão intensa que muitas acções não poderiam ser imaginadas sem os instrumentos que as materializam. De tal modo esta relação é antiga que se tornou natural a nossa capacidade perceptiva para detectar potencialidades em certos objectos, em função das nossas capacidades motoras, das nossas características morfológicas, dos desejos e circunstâncias.

As sinergias que estabelecemos com os objectos, transformados em instrumentos, reflectem seguramente mecanismos e princípios do controlo, da aprendizagem e do desenvolvimento do movimento humano. Estas relações fortes são um campo de investigação fabuloso, pois reflectem toda uma evolução biossocial e um processo de recíproca adaptação. Os instrumentos são o que deles fazemos, e simultaneamente, somos os que eles nos permitem fazer. A nós, que os criámos.

Por este motivo, a análise do uso do instrumento pode ser frutuosa para os estudiosos do comportamento motor. Como assumimos que a interacção com o envolvimento é transferida para o instrumento, é na relação deste com o envolvimento que deve ser colocado o fulcro da manipulação de condições experimentais. O realismo e a finalidade são elementos a considerar, sem os quais o estudo pode perverter toda a relação instrumental.

Na constituição de amostras devemos prever a diferença de prestação

motora entre fases do desenvolvimento motor, bem como a dinâmica adaptativa do aprendiz de novos problemas. Na recolha dos dados devemos admitir a capacidade do actor detectar outras affordances no instrumento, para lá das que havíamos previsto. Os instrumentos são assim: opções multidimensionais e facultativas.

Referências Bibliográficas

- Achard, B., & von Höfsten, C. (2002). Development of the Infant's Ability to Retrieve Food Through a Slit. *Infant and Child Development*, 11, 43-56.
- Ackroyd, K., Riddoch, M., Nightingale, S., & Townsend, S. (2002). Widening the sphere of influence: Using a tool to extend extrapersonal visual space in a patient with severe neglect. *Neurocase*, 8, 1-12.
- Amazeen, E., & Turvey, M.T. (1996). Weight perception and the haptic "size-weight illusion" are functions of the inertia tensor. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 213-232.
- Barreiros, J.M.P. (1992). *Aprendizagem Motora: Variabilidade das condições de prática e interferência contextual*. Tese de doutoramento. Não publicada. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana- Universidade Técnica de Lisboa.
- Bates, E., Carlson-Luden, E., & Bretherton (1980). Perceptual aspects of tool using in infancy. *Infant Behaviour and Development*, 3, 127-140.
- Bennett, K.M.B., Mucignat, C., Waterman, C., & Castiello, U. (1994). Vision and the reach to grasp movement. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the reach to grasp movement* (pp. 171-195). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Bernstein, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, London: Pergamon.
- Berti, A., & Frassinetti, F. (2000). When far becomes near: remapping of space by tool use. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 3, 415-420.
- Binkofski, F., Kunesch, E., Classen, J., Seitz, R.J., & Freund, H.-J. (2001). Tactile apraxia. Unimodal apractic disorder of tactile object exploration associated with parietal lobe lesions. *Brain*, 124, 132-144.
- Brisben, A.J., Hsiao, S.S., & Johnson, K.O. (1999). Detection of Vibration Transmitted Through an Object Grasped in the Hand. *Journal of Neurophysiology*, 81, 1548-1558.
- Bushnell, E.W., & Boudreau, J.P. (1998). Exploring and exploiting objects with the hands during infancy. In K.S. Connolly (Ed.), *The Psychobiology of the Hand* (pp. 144-

- 161). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carello, C., Thuot, S., Anderson, K.L. & Turvey, M.T. (1999). Perceiving the sweet spot. *Perception*, 28, 307-320.
- Carello, C., Thuot, S., & Turvey, M.T. (2000). Aging and the perception of a racket's sweet spot. *Human Movement Science*, 19, 1-20.
- Carey, D.P., Harvey, M., & Milner, A.D. (1996). Visuomotor sensitivity for shape and orientation in a patient with visual form agnosia. *Neuropsychologia*, 34, 5, 329-337.
- Connolly, K.J. (1986). A perspective on motor development. In M.G. Wade & H.A.T. Whiting, *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 3-22). Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Connolly, K.J., & Dalglish, M. (1989). The emergence of tool using skill in infancy. *Developmental Psychology*, 25, 894-912.
- Connolly, K.J., & Dalglish, M. (1993). Individual patterns of tool use by infants. In A. F. Kalverboer, B. Hopkins & R. Geuze (Eds.), *Motor Development in early and later childhood: Longitudinal approaches* (pp. 174-204). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Connolly, K.J., & Elliott, J.M. (1972). The evolution and ontogeny of hand function. In N. Blurton Jones (Ed.), *Ethological studies of child behavior* (pp. 329-383). Cambridge: Cambridge University Press.
- Connolly, K.J., & Manoel, E.J. (1991). Hierarchies and tool-using strategies. *Behavioral and Brain Sciences*, 14, (Open Peer Commentary) 554-555.
- Creem, S.H., & Proffitt, D.R. (2001). Grasping objects by their handles: A necessary interaction between cognition and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 218-228.
- DeLoache, J.S., & Brown, A.L. (1987). The early emergence of planning skills in infancy. In J. Bruner & H. Haste (Eds.), *Making sense: The child construction of the world* (pp. 108-130). New York: Methuen.
- Dent-Read, C., & Zukow-Goldring, P. (1997). Introduction: Ecological Realism, Dynamic Systems, and Epigenetic Systems Approaches to Development. In C. Dent-Read & P. Zukow-Goldring (Eds.), *Evolving Explanations of Development: Ecological Approaches to Organism-Environment Systems* (pp. 1-22). Washington, DC: American Psychological Association.
- Farnè, A., & Làdavas, E. (2000). Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use. *Neuroreport*, 11, 8, 1645-1649.
- Fitzpatrick, P., Carello, C., & Turvey, M.T. (1994). Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense". *Neuroscience*, 60, 551-568.
- Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Luppino, G., Matelli, M., & Rizzolatti, G. (1996).

- Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of Neurophysiology*, 76, 1, 141-157.
- Fukutake, T. (2003). Apraxia of tool use: an autopsy case of biparietal infarction. *European Neurology*, 49, 1, 45-52.
- Gibson, J.J. (1961). Ecological optics. *Vision Research*, 1, 253-259.
- Gibson, J.J. (1979/1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Gibson, J.J., & Gibson, E.J. (1955). Perceptual learning- differentiation or enrichment? *Psychological Review*, 62, 32-41.
- Gibson, J.J., & Yonas, P. (1962). A new theory of scribbling and drawing in children. In *The Analysis of Reading Skill* (pp. 355-370). Relatório final, Projecto n.º 5-1213. Ithaca, NY: Cornell University & U.S. Office of Education.
- Girão, J., Catela, D, & Seabra, A.P. (2004). Percepção háptica de características intrínsecas das raquetas de ténis de mesa e de badminton em crianças. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, 4, 2, 287S-288S.
- Goldberg, G., & Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia*, 36, 581-589.
- Gómez, J.C., & Sarriá, E. (1991). Gestures, persons and communication: Sociocognitive factors in the development and evolution of linguistic abilities. *Behavioral and Brain Sciences*, 14, (Open Peer Commentary) 562-563.
- Goodale, S.T., Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 1, 20-25.
- Goodale, S.T., Milner, A.D., Jakobson, L.S., & Carey, D.P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349, 154-156.
- Graham, N.L., Zeman, A., Young, A.W., Patterson, K., & Hodges, J.R. (1999). Dyspraxia in a patient with corticobasal degeneration: the role of visual and tactile inputs to action. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 67, 334-344.
- Grafton, S.T., Fadiga, L., Arbib, M.A., & Rizzolatti, G. (1997). Premotor cortex activation during observation and naming of familiar tools. *Neuroimage*, 6, 231-236.
- Graziano, M.S. (1999). Where is my arm? The relative role of vision and proprioception in the of limb position. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 10211-10418.
- Greenfield, P.M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 14, 531-595.
- Haggard, P. (1994). Perturbation studies of coordinated prehension. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the reach to grasp movement* (pp. 151-170).

- Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Head, H., & Holmes, G. (1911). Sensory disturbances from cerebral lesion. *Brain*, 34, 102-254.
- Hodges, J.R., Spatt, J., & Patterson, K. (1999). "What" and "how": Evidence for the dissociation of object knowledge and mechanical problem-solving skills in the human brain. *Proceedings Natural Academy of Sciences*, 96, 9444-9448.
- Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, S., Sasaki, Y., Takino, R., Pütz, B., Yoshioka, T., & Kawato, M. (2000). Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature*, 403, 192-195.
- Inoue, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Ogawa, A., Schormann, T., Zilles, K., & Fukuda, H. (2001). Activation in the ipsilateral posterior parietal cortex during tool use: a PET study. *Neuroimage*, 14, 6, 1469-1475.
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, 7 (14), 2325-2330.
- Ishibashi, H., Hihara, S., & Atsushi, I. (2000). Acquisition and development of monkey tool-use: behavioural and kinematic analyses. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 78, 958-966.
- Ishibashi, H., Hihara, S., & Iriki, A. (2000). Acquisition and development of monkey tool-use: behavioral and kinematic analyses. *Canadian Journal of Physiol. Pharmacol.*, 78, 958-966.
- Johnson-Frey, S.T. (2004). The neural bases of complex tool use in humans. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 71-78.
- Kamm, K., Thelen, E., & Jensen, J.L. (1990). A dynamical system approach to motor development. *Physical Therapy*, 70, 12, 763-775.
- Klatzky, R.L., McCloskey, B., Doherty, S., Pellegrino, J., & Smith, T. (1987). Knowledge About Hand Shaping and Knowledge About Objects. *Journal of Motor Behavior*, 19, 2, 187-213.
- Köhler, W. (1927). *The mentality of apes*. Harcourt, New York: Humanities Press.
- Köhler, W. (1929). *Gestalt Psychology*. Liveright.
- Koslowski, B., & Bruner, J.S. (1972). Learning to use a lever. *Child Development*, 43, 790-799.
- Kuhtz-Buschbeck, J.P., Stolze, H., Jöhnk, K., Boczek-Funcke, A., & Illert, M. (1998). Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, 122, 424-432.
- Lee, D.N. (1976). A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.
- Leroi-Gourhan, A. (s/d). *O gesto e a palavra: 1- Técnica e linguagem*. Lisboa: Edições 70.

- Maravita, A., Clarke, K., Husain, M., & Driver, J. (2002). Active tool use with the contralesional hand can reduce cross-modal extinction of touch on that hand *Neurocase*, 8, 411-416.
- Maravita, A., Husain, M., Clarke, K., & Driver, J. (2001). Reaching with a tool extends interaction into far space: evidence from cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, 39, 580-585.
- Maravita, A., Spence, C., Kennett, S. & Driver, J. (2002). Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans. *Cognition*, 83, 2, B25-B34.
- Markze, M. (1994). Evolution. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the Reach to Grasp Movement* (pp. 19-35). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B. V.
- McCarty, M.E., Clifton, R.K., & Collard, R.R. (1999). Problem solving in infancy: the emergence of an action plan. *Developmental Psychology*, 35, 1091-1101.
- Michotte, A. (1951/1991). The perception of the "tool effect". In G. Thinès & A. Costtal (Eds.), *Michotte's experimental phenomenology of perception* (pp. 87-102). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Milner, A.D., & Goodale, M.A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Milner, T.E. (1992). A model for the generation of movements requiring endpoint precision. *Neuroscience*, 49, 487-496.
- Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., & Rizzolatti G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (Area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*, 78, 2226-2230.
- Obayashi, S., Suhara, T., Nagai, Y., Maeda, J., Hihara, S., Iriki, A. (2002). Macaque prefrontal activity associated with extensive tool use. *Neuroreport*, 13, 17, 2349-2354.
- Pagano, C.C., Carello, C., & Turvey, M.T. (1996). Extero- and exproprio-perception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor. *Perception and Psychophysics*, 54, 1191-1202.
- Paillard, J. (1993). The hand and the tool : the functional architecture of human skills. In A. Berthelet & J. Chavallon (Eds.), *The Use of Tools by Humans and Non-Human Primates* (pp. 36-50). Oxford: Clarendon Press.
- Parker, S.T., & Gibson, K.R. (1977). Object manipulation, tool use and sensorimotor intelligence as feeding adaptations in cebus monkeys and great apes. *Journal of Human Evolution*, 6, 623-641.
- Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Delachaux.

- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.
- Reed, E.S. (1988). Applying the theory of action systems to the study of motor skills. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex Movement Behaviour: "The" motor-action controversy* (pp. 45-86). North-Holland: Elsevier Publishers B. V.
- Rosenbaum, D.A., Loukopoulos, L.D., Meulenbroek, R.J.G., Vaughan, J., & Engelbrecht, S.E. (1995). Planning reaches by evaluating stored postures. *Psychological Review*, *102* (1), 28-67.
- Shaw, R., & Turvey, M.T. (1981). Coalitions as models for ecosystems: A realist perspective on perceptual organization. In M. Kubovy & J.R. Pomeranz (Eds.), *Perceptual organization* (pp. 343-416). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sirigu, A., Cohen, L., Duhamel, J., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex*, *31*, 41-55.
- Smitsman, A.W. (1997). The Development of Tool Use: Changing Boundaries Between Organism and Environment. In C. Dent-Read & P. Zukow-Goldring, *Evolving Explanations of Development: Ecological Approaches to Organism Environment Systems* (pp. 301-329). USA, Washington, DC: American Psychological Association.
- Steenbergen, B., Marteniuk, R.G., & Kalbfleisch, L.E. (1995). Achieving Coordination in Prehension: Joint Freezing and Postural Contributions. *Journal of Motor Behavior*, *27*, 4, 333-348.
- Steenbergen, B., van der Kamp, J., Smitsman, A.W., & Carson, R.G. (1997). Spoon handling in two- to four-year-old children. *Ecological Psychology*, *9*, 113-129.
- Tamada, T., Miyauchi, S., Imamizu, H., Yoshioka, T., & Kawato, M. (1999). Cerebro-cerebellar functional connectivity revealed by the laterality index in tool-use learning. *Neuroreport*, *5*, 10, 325-331.
- Thelen, E. (1986). Treadmill-elicited stepping in seven-month-old-infants. *Child Development*, *57*, 1498-1506.
- Turvey, M.T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, *51*, 1134-1152.
- Turvey, M.T., Park, H., Dumais, S.M., & Carello, C. (1998). Nonvisible perception of segments of a hand-held object and the attitude spinor. *Journal of Motor Behavior*, *30*, 1, 3-19.
- Tyler, L.K., Stamatakis, E.A., Dick, E., Bright, P., Fletcher, P., & Moss, H. (2003). Objects and their actions: evidence for a neurally distributed semantic system. *NeuroImage*, *18*, 542-557.
- van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (1999). The kinematics of eating with a spoon: bringing the food to the mouth, or the mouth to the food? *Experimental Brain Research*, *129*, 68-76.

- van der Kamp, J., Steenbergen, B., & Smitsman, A.W. (1993). Preliminaries for a natural physical approach to tool-use in children. In S.S. Valenti & J.B. Pittenger (Eds.), *Studies in perception and action II* (pp. 329-332). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- van Geert, P., Savelsbergh, G., & van der Maas, H. (1999). Transition and non-linear dynamics in developmental psychology. In G. Savelsbergh, van der Maas, H. & P. van Geert (Eds.), *Non-linear developmental processes* (pp. XI-XX). Amsterdam, Netherlands: Royal Netherlands Academy of Arts and Science.
- van Leeuwen, L., Smitsman, A.W., & van Leeuwen, C. (1994). Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 174-191.
- von Höfsten, C., & Rönqvist, L. (1988). Preparation for Grasping an Object: A Developmental Study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 4, 610-621.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001a). Sensation at the tips of invisible tools. *Nature Neuroscience*, 4, 10, 979-980.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001b). Reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *Nature Neuroscience*, 4 (7), 759-765.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2002). Reversal of subjective temporal order due to arm and stick crossing. *Technical Report on Attention and Cognition*, 1.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2005). Referral of tactile sensation to the tips of L-shaped sticks. *Journal of Neurophysiology*, 93, 2856-2863.

Capítulo 2 - Affordances e Efectividades

Introdução

Uma variedade enorme de constrangimentos extrínsecos influencia a acção de preensão (Weir, 1994; Haggard, 1994; Bennett, Mucignat, Waterman & Castiello, 1994; Mon-Williams & McIntosh, 2000), à qual é transversal o processo de desenvolvimento e a experiência da pessoa (Kuhtz-Buschbeck et al., 1999; Berthier & Keen, 2006; Tresilian, Mon-Williams, Coopard & Carson, 2005). Alguns padrões cinemáticos estão associados a estes constrangimentos, como, por exemplo, a ocorrência de um duplo pico de velocidade na componente de agarrar (e.g., Castiello, Bennett & Stelmach, 1993; Roy, Paulignan, Meunier & Boussaoud, 2007).

À medida que introduzimos variáveis num estudo a noção que podemos ter da influência de cada uma delas naquelas que estamos a estudar mistura-se e/ou dilui-se. Tentar controlar todas as variáveis envolvidas é impossível, no entanto, algumas são preponderantes na preensão, umas mais linearizáveis e previsíveis, como a distância ao objecto-alvo e a dimensão deste (Fitts, 1954; Jakobson & Goodale, 1991), outras mais não-lineares e muito dependentes de constrangimentos intrínsecos ao executante, como a percepção da funcionalidade de um instrumento (van der Kamp, Steenbergen & Smitsman, 1993).

Com os objectivos de conhecer antecipadamente a influência de certas variáveis na acção de preensão em crianças de 5-6 anos, e poder tomar decisões sobre aspectos relevantes para a organização do contexto experimental, realizámos uma série de cinco estudos preliminares. O conjunto dos três primeiros estudos centra-se na influência de constrangimentos perceptivos, motores e morfológicos, intrínsecos à criança (Newell, 1986). No primeiro estudo testámos se as crianças percepcionavam visualmente a funcionalidade de um implemento numa acção de preensão (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997); no segundo, fomos verificar se as crianças percepcionavam hapticamente o comprimento desse mesmo implemento (Bushnell & Boudreau, 1998; Striano & Bushnell, 2005); no terceiro, analisámos a distância a que as crianças pousavam confortavelmente uma esfera pequena e leve (Kuhtz-Buschbeck et al., 1998; Wimmers, Savelsbergh, Beek & Hopkins, 1995). Os dois

restantes são estudos cinemáticos e focam a influência de constrangimentos da tarefa, extrínsecos à criança. Na sequência, no penúltimo estudo recuperámos a tradicional análise da influência do tamanho do objecto-alvo nas componentes de transporte e agarrar das crianças (Pryde, Roy & Campbell, 1998; Kuhtz-Buschbeck et al., 1999), mas com diâmetros e forma geométrica de não muito usuais em estudos sobre este assunto (Paulignan, Jeannerod, MacKenzie & Marteniuk, 1991; Marteniuk, Leavitt, MacKenzie & Athenes, 1990). No último estudo recuperámos a problemática da influência na acção de apreensão das crianças da presença de obstáculos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005), mas com idades de executantes e espaços disponíveis para agarrar o objecto-alvo ainda não estudados.

Estudo I - Percepção da Funcionalidade de um Implemento

Quando há uso de um instrumento o sistema affordances-effectividades altera-se (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997); a interação é entre o instrumento e o envolvimento, isto é, o controlo da relação entre o executante e o instrumento é subordinado ao controlo sobre a relação entre instrumento e envolvimento. Para podermos examinar se uma affordance do instrumento é percebida, teremos que manipular a relação entre o instrumento e o envolvimento. Se apesar das manipulações experimentais a relação funcional entre instrumento e envolvimento se mantiverem, então as propriedades funcionais do objecto, nomeadamente, a sua affordance, foram percebidas (van der Kamp, Steenbergen & Smitsman, 1993).

Percebemos se há constrangimentos morfológicos mesmo antes de agirmos (Warren & Wang, 1987), sabemos se conseguimos agarrar um objecto identificando as suas propriedades e o contexto em que está. Se usarmos um instrumento podemos aumentar a nossa capacidade de intervenção sobre o objecto (Gibson, 1986), ultrapassando eventuais constrangimentos morfológicos naturais, como por exemplo, o objecto encontrar-se enclausurado. Mas esta affordance que é inerente ao uso do instrumento tem que ser percebida antes de iniciarmos a nossa intervenção sobre o objecto (Carello, Thuot, Anderson & Turvey, 1999). Se o objectivo da tarefa é retirar um objecto enclausurado por flaqueadores, a utilização do instrumento é pertinente se este nos permitir retirar o objecto quando não o conseguimos retirar com os dedos. Um objecto para ser tido como instrumento tem que propiciar a detecção de uma função, tem que ser necessário (Reed, 1988).

O espaço individual entre flaqueadores laterais e o objecto a agarrar condiciona de modo diferenciado o comportamento motor (Jackson, Jackson & Rosicky, 1995; Mon-Williams & McIntosh, 2000) e deve ser constrangedor da acção motora conforme as medidas antropométricas e funções dos dedos directamente envolvidos. Se o instrumento não possuir diferenças físicas nas zonas preênsis, esta diferença “morfológica” deve ser detectada através da confrontação que o sujeito faz entre a nova topologia da sua extremidade preênsil e os condicionalismos impostos pelos flaqueadores.

Objectivos

O objectivo deste estudo foi verificar se os sujeitos detectam a affordance de um instrumento preênsil perante os limites impostos pelos flaqueadores.

Para uma tarefa em que cada sujeito teve que decidir se conseguia ou não agarrar um pequeno cilindro ladeado por flaqueadores através da observação dos intervalos espaciais entre estes e uma esfera, definimos as seguintes hipóteses: i) a transição da possibilidade para a impossibilidade de agarrar com os dedos o objecto flanqueado é idêntica entre os sujeitos; ii) a transição da possibilidade para a impossibilidade de agarrar com as pinças o objecto flanqueado é idêntica entre os sujeitos; iii) há diferença significativa entre a estimativa dos sujeitos sobre a possibilidade de agarrar com os dedos e com as pinças.

Condições Experimentais e Materiais

As condições experimentais foram duas: i) apreciação da possibilidade de agarrar com os dedos; ii) apreciação da possibilidade de agarrar com as pinças. Em cada uma das condições experimentais, os sujeitos foram confrontados com combinações de espaços entre as faces internas dos flaqueadores até ao eixo vertical de duas esferas, para uma esfera com um diâmetro de 8mm, dos 5 aos 20mm de cada lado, em intervalos de 5mm, e para outra esfera de 16mm de diâmetro, dos 10 aos 20mm de cada lado, em intervalos de 5mm.

As esferas são de madeira envernizada e pesam menos de 5g cada. Têm dois círculos negros marcados em extremos opostos e paralelos ao plano frontal do sujeito. As pinças são de construção artesanal, em arame; possuem um comprimento de 50mm, para lá das extremidades dos dedos polegar e indicador, aos quais são acopladas por uma cinta de velcro, sem prejuízo da mobilidade articular. Na sua extremidade distal as pinças estão revestidas internamente por uma capa de borracha. No conjunto, as pinças e qualquer das esferas pesam menos que 10g. As pinças estão diferenciadas conforme o dedo a que se destinam em função de medidas antropométricas da mão, retiradas previamente a uma amostra de jovens adultos (Figura 2.1). A referência básica para o comprimento das pinças é a relativa ao comprimento do polegar, que varia entre

50 e 65mm. A extremidade preênsil para o indicador tem um comprimento de 30mm, uma largura de 21mm e uma espessura de 4mm; a extremidade preênsil para o polegar diferencia-se na largura que é de 23mm. Os flanqueadores são dois poliedros rectangulares de madeira pintados de encarnado, com 90mm de altura, 15mm de largura e 30mm de profundidade quando posicionados perpendicularmente ao plano frontal do sujeito.

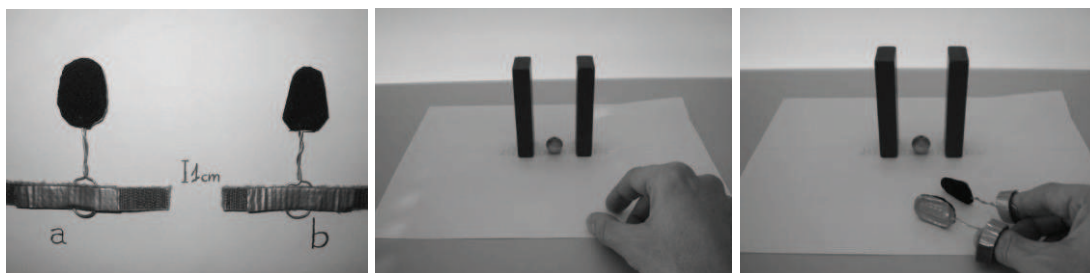


Figura 2.1 – Pinças usadas e condições experimentais. Imagem da esquerda - diferença entre extremidade das pinças do polegar (a) e do indicador (b), na base as cintas de velcro, abertas, para fixar as pinças aos dedos. Imagem do centro condição sem pinças, imagem da direita condição com pinças, esfera 16mm, intervalos 20/20mm.

Adultos

Amostra

A amostra compôs-se de oito estudantes do ensino superior, destrímanos, idade de 21(\pm 1,19) anos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino. Os sujeitos participaram voluntariamente, não receberam recompensa e desconheciam o objectivo do estudo. A lateralidade dominante foi determinada pela mão usada na escrita.

Procedimentos

O sujeito está sentado, com a mão direita pousada na mesa, sendo solicitado que avaliasse se conseguia agarrar a esfera pelos círculos marcados para a retirar de lá. Esta condição repetiu-se com as pinças colocadas nos dedos polegar e indicador. Previamente, foi permitido ao sujeito afastar e juntar os dedos com as pinças colocadas e pôde experimentar agarrar uma das esferas sem a presença de flanqueadores. Foi realizada uma única estimativa por situação experimental. Quando o sujeito declarou não ter a certeza se conseguiria ou não retirar a esfera, foi-lhe solicitado que mesmo assim fizesse uma estimativa, após a qual lhe foi pedido que tentasse efectivamente agarrar a esfera. Não houve constrangimento temporal para o cumprimento da tarefa.

Antes da tarefa foram retiradas as seguintes medidas antropométricas na mão direita de cada sujeito: a largura do polegar (LP) e do indicador (LI), pela máxima largura da articulação interfalângica; a máxima espessura polegar (EP) e do indicador (EI), na articulação interfalângica distal. As recolhas foram realizadas com um nónio da marca GPM.

As condições “só com os dedos” (D) ou “com pinças” (P) foram alternadas entre os sujeitos. A ordem de apresentação das esferas foi alternada entre os sujeitos. Na esfera de 8mm, a apresentação dos espaços entre o eixo da esfera e os flaqueadores para o indicador e para o polegar foi a seguinte (em mm): 5/5, 5/10, 5/15, 5/20, 10/10, 10/15, 10/20, 15/5, 15/10, 15/15, 15/20, 20/20, 20/10, 20/15. Na esfera de 16mm, a apresentação começou na combinação de espaços 10/10, e também não foi apresentado a de 15/5, por serem incompatíveis com o diâmetro da esfera.

Os dados foram tratados através do programa SPSS, versão 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0.05. Para determinar a possível influência da ordem de apresentação das condições experimentais e das esferas e para verificar diferenças entre sexos nas respostas e nas medidas antropométricas foi usado o teste U de Mann-Whitney. Para verificar eventuais diferenças entre as condições experimentais foi usado o teste de Friedman, seguido do teste de Wilcoxon Signed Ranks. Para verificar a relação entre espaço disponível por condição experimental e a frequência de respostas sobre a possibilidade de agarrar a esfera, foi empregue a correlação Spearman. Não há normalidade da distribuição dos dados experimentais (teste Shapiro-Wilk).

Resultados

As mulheres revelaram significativamente menores dimensões antropométricas (LP- $z = 2,381$, $p < 0,05$; LI- $z = 2,139$, $p < 0,05$; EP- $z = 2,013$, $p < 0,05$; EI- $z = 2,139$, $p < 0,05$); no entanto, na percepção da possibilidade de agarrar, com ou sem pinças, tanto a esfera grande como a pequena, não se diferenciaram dos homens, principalmente aquando do uso das pinças (D esfera 16mm- $z = 1,528$, $p > 0,05$; D esfera 8mm- $z = 0,316$, $p > 0,05$; P esfera 16mm- $z = 0,000$, $p > 0,05$; P esfera 8mm- $z = 0,000$, $p > 0,05$). Decidimos juntar os participantes dos dois sexos numa mesma amostra.

A ordem de apresentação das esferas não influenciou significativamente a percepção da possibilidade de as agarrar. O início da tarefa com ou sem pinças

também não influenciou significativamente a percepção da possibilidade de agarrar as pinças (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Ordem de apresentação das esferas e de início da tarefa nas condições experimentais com pinças (P) ou com dedos (D), resultados (z, p) para o conjunto da amostra (N= 8).

Condições	Apresentação das esferas	Início com ou sem pinças
D Esfera 16mm	1,528, > 0,05	1,528, > 0,05
D Esfera 8mm	1,107, > 0,05	1,739, > 0,05
P Esfera 16mm	0,000, > 0,05	0,000, > 0,05
P Esfera 8mm	0,000, > 0,05	0,000, > 0,05

Como é evidente pelos resultados estatísticos em qualquer das esferas, o uso das pinças torna nulo qualquer resquício de influência das condições experimentais iniciais. Aparentemente, tal como para as diferenças morfológicas entre sexos, também aqui a presença das pinças iguala a apreciação de todos os sujeitos sejam quais forem os constrangimentos iniciais, morfológicos ou da tarefa.

Cingindo-nos à testagem das hipóteses colocadas, quando aplicámos o teste de Friedman para o conjunto das combinações das condições experimentais, verificámos que há diferença significativa na percepção da possibilidade de agarrar as esferas ($\chi^2 = 23,368$, $p < 0,05$). De facto, qualquer comparação entre as combinações das condições experimentais revela diferença significativa, com excepção para a percepção de conseguir agarrar a esfera grande com pinças e a esfera pequena sem pinças (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Comparação entre condições experimentais, para o conjunto da amostra (N= 8).

Combinações	(Z, p)
P Esfera 16mm vs D Esfera 16mm	2,640, < 0,05
D Esfera 8mm vs D Esfera 16mm	2,565, < 0,05
P Esfera 8mm vs D Esfera 16mm	2,640, < 0,05
P Esfera 8mm vs P Esfera 16mm	2,828, < 0,05
D Esfera 8mm vs P Esfera 16mm	1,890, > 0,05
D Esfera 8mm vs P Esfera 8mm	2,565, < 0,05

Estes resultados permitem-nos afirmar que as várias combinações das condições experimentais produzem frequências de respostas distintas, em função do conjunto de constrangimentos espaciais apresentados. Há diferenças na

estimativa dos sujeitos sobre a possibilidade de agarrar com os dedos e com as pinças. Deste facto concluímos que a affordance do instrumento foi percebida.

Se representarmos graficamente as frequências das respostas dos sujeitos sobre a possibilidade de agarrar as esferas, verificamos que a transição entre a percepção de “não conseguem” para a percepção de “conseguem” agarrar a esfera ocorre mais cedo e é abrupta aquando do uso das pinças (Figura 2.2).

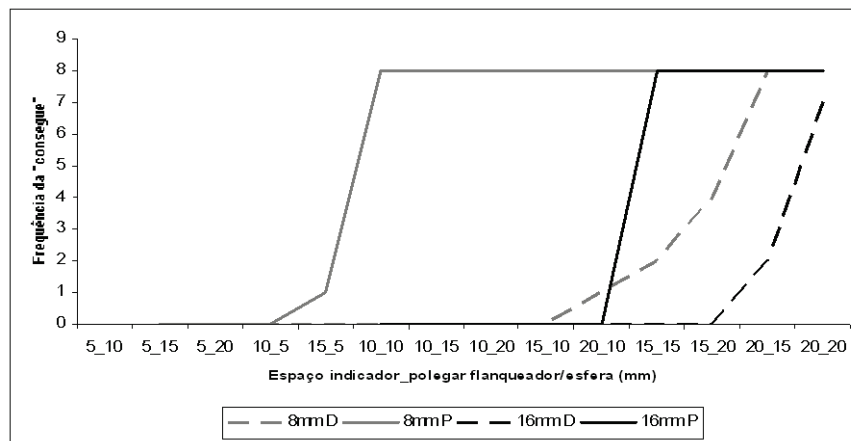


Figura 2.2 - Evolução da percepção “consegue” agarrar em adultos, na combinação de espaços entre esfera (8mm, 16mm) e flanqueadores, para o polegar e o indicador, aqui ordenadas em função da crescente frequência de respostas afirmativas, nas condições com dedos (D) e com pinças (P).

A transição de “não consegue” para “consegue” agarrar com os dedos o objecto flanqueado é idêntica entre os sujeitos, e a transição de “consegue” para “não consegue” agarrar com as pinças o objecto flanqueado é igual entre os sujeitos (Figura 2.2), tal como havíamos definido nas nossas hipóteses. Estes resultados vêm também reforçar a nossa convicção que os sujeitos perceberam a affordance do instrumento.

O motivo para a transição entre percepção de “não consegue” agarrar para “consegue” agarrar as esferas ter um padrão diferenciado entre o uso dos dedos, com respostas bimodais no conjunto da amostra, e o uso das pinças, com mudança abrupta de “não consegue” para “consegue”, pode estar relacionado com o facto das combinações de espaço para o polegar e para o indicador serem distintas. Excluimos a hipótese destas diferenças se deverem a características morfológicas individuais, pois já havíamos observado que entre sexos, onde

essas diferenças são patentes, não houve diferenças significativas na percepção de “consegue” agarrar sem pinças tanto a esfera grande como a pequena. É sabido que o indicador contorna naturalmente o objecto a agarrar enquanto que o polegar não (Smeets & Brenner, 1999). Assim, fomos relacionar separadamente as frequências das respostas “consegue” agarrar para cada uma das esferas com o espaço disponível entre o flaqueador e o eixo da esfera para o polegar ou para o indicador. O que encontramos foi que sem pinças e para as esferas de 8 e 16mm de diâmetro o espaço para indicador está significativamente relacionado com a frequência da percepção de conseguir agarrar a esfera (respectivamente, $\rho = 0,830$, $p < 0,05$, $\rho = 0,619$, $p < 0,05$), enquanto que para o polegar a relação é menos intensa e não significativa ($\rho = 0,547$, $p > 0,05$, $\rho = 0,408$, $p > 0,05$). Este resultado a nível perceptivo está em conformidade com a observação do padrão cinemático distintivo do indicador; este dedo carece de mais espaço para preparar o contacto com o objecto a agarrar.

Se combinarmos este resultado com o observado na Figura 2.2, para a condição experimental com dedos para a esfera de 8mm, onde a transição da percepção de impossibilidade de agarrar para a de possibilidade de agarrar é mais prolongada, podemos deduzir que a esfera de 8mm permite uma maior discriminação entre sujeitos, provavelmente devido a diferenças morfológicas. O facto de ser a esfera com menor diâmetro comporta uma maior dificuldade para os sujeitos (Fitts, 1954), despoletando uma transição entre os dois tipos de resposta mais contínua, em confronto com a observada com o uso das pinças, onde é abrupta.

Crianças

A sensibilidade aos constrangimentos de uma tarefa pode estar associada ao conhecimento prévio dessa tarefa e à estabilidade das acções motoras, indirectamente, ao nível de proficiência. Provavelmente, as crianças são mais sensíveis aos constrangimentos da tarefa que os adultos. Os estudos sobre preensão com crianças e adultos têm revelado que as crianças mais novas, com 6-7 anos, se sustentam mais na informação visual (Rösblad, 1996) e quinestésica (Hay & Redon, 2001) para a organização da acção. O estudo mais recente de Tresilian, Mon-Williams, Coppard e Carson (2005), sobre a proficiência de crianças e adultos em agarrar objectos entre os flaqueadores laterais, mostrou

que as crianças mais novas, de 7-8 anos, continuaram a ser sensíveis ao flaqueador à direita do objecto a agarrar, reduzindo o afastamento dos dedos e aumentando o tempo do movimento, mesmo quando este se encontrava a 9cm⁹.

Objectivos e Hipóteses

Os objectivos e as hipóteses deste estudo foram os mesmos que para os adultos.

Condições Experimentais e Materiais

As condições experimentais foram as mesmas que nos adultos: i) apreciação da possibilidade de agarrar com os dedos; ii) apreciação da possibilidade de agarrar com as pinças. Em cada uma das condições experimentais, os sujeitos foram confrontados com combinações de espaços entre as faces internas dos flaqueadores até ao eixo vertical de duas esferas, para uma esfera com um diâmetro de 8mm, dos 5 aos 20mm de cada lado, em intervalos de 5mm, e para outra esfera de 16mm de diâmetro, dos 10 aos 20mm de cada lado, em intervalos de 5mm. Embora se tenha conservado o intervalo de 5mm de aumento do espaço entre objecto e flaqueadores, alterou-se a ordem destas conforme estão descritos nos procedimentos, para reduzir o tempo e simplificar a recolha.

Os materiais foram os mesmos que os usados com os adultos, esferas de madeira envernizada com peso inferior a 5g cada. Têm dois círculos negros marcados em extremos opostos e paralelos ao plano frontal do sujeito. As pinças são de construção artesanal, em arame; possuem um comprimento de 50mm, para lá das extremidades dos dedos polegar e indicador, aos quais são acopladas por uma cinta de velcro, sem prejuízo da mobilidade articular. Na sua extremidade distal as pinças estão revestidas internamente por uma capa de borracha. No conjunto, as pinças e qualquer das esferas pesam menos que 10g. As pinças estão diferenciadas conforme o dedo a que se destinam. A extremidade preênsil para o indicador tem um comprimento de 30mm, uma largura de 21mm e uma espessura de 4mm; a extremidade preênsil para o polegar diferencia-se na

⁹ Os executantes alcançaram um cilindro de 3cm de diâmetro a uma distância fixa em 5 condições: (a) sem obstáculos, (b) obstáculo 3cm à esquerda do alvo, (c) obstáculo 3cm à direita do alvo, (d) obstáculo 6cm à direita do alvo, (e) obstáculo 9cm à direita do alvo.

largura que é de 23mm. Os flanqueadores são dois poliedros rectangulares de madeira pintados de encarnado, com 90mm de altura, 15mm de largura e 30mm de profundidade quando posicionados perpendicularmente ao plano frontal do sujeito.

Amostra

A amostra compôs-se de oito crianças, destrímanas, idade média de 5,38 ($\pm 0,52$) anos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino. As crianças desconheciam o objectivo do estudo. Os encarregados de educação foram genericamente informados sobre a natureza da participação dos filhos e obtido consentimento. Foram ainda excluídas as crianças que declararam não querer participar. As recolhas foram realizadas num Jardim-de-Infância, em ambiente e condição normal de actividade, sempre à mesma hora, sempre com a presença de um adulto conhecido da criança. Motivação adicional das crianças foi garantida pela oferta de um pequeno brinquedo no final da experiência. Juntamente com a ficha de pedido de autorização, foram solicitados dados sobre peso e altura ao nascimento, resultados dos testes de APGAR, e profissão dos encarregados de educação. Em nenhuma das crianças envolvidas nos estudos foram detectados casos de índice do APGAR com valor inferior a 9, peso ou comprimento ao nascimento abaixo do percentil 25 ou acima do percentil 75. Os encarregados de educação distribuem-se por profissões desde o tipo indiferenciado até ao tipo especializado.

Algumas crianças revelaram sinais de aborrecimento nos momentos finais das recolhas, expressas em frases do género “quando é que acabamos?” ou “quando é que volto para a sala?”; explicado que estávamos quase a terminar e questionadas se desejavam parar, não foi, no entanto, necessário interromper qualquer uma destas recolhas.

Tal como com os adultos, foram sempre recolhidas medidas antropométricas da mão direita.

Procedimentos

Foram mantidos os procedimentos do estudo com os adultos. Na esfera de 8mm, a apresentação dos espaços entre o eixo da esfera e os flanqueadores para o indicador e para o polegar foi a seguinte (em mm), respectivamente: 5/5, 10/5,

15/5, 20/5, 5/10, 5/15, 5/20, 10/10, 15/10, 20/10, 10/15, 10/20, 15/15, 15/20, 20/15, 20/20. Na esfera de 16mm, a apresentação começou na combinação de espaços 10/10, por as anteriores serem incompatíveis com o diâmetro da esfera.

Os dados foram tratados através do programa SPSS, versão 13.0, para um grau de significância bicaudal de 0.05. Para determinar a possível influência da ordem de apresentação das condições experimentais e das esferas e para verificar diferenças entre sexos nas respostas prestadas e nas medidas antropométricas foi usado o teste U de Mann-Whitney. Para verificar diferenças entre as condições experimentais foi usado o teste de Friedman, seguido do teste de Wilcoxon Signed Ranks. Para verificar a relação entre espaço disponível por condição experimental e a frequência de respostas sobre a possibilidade de agarrar a esfera, foi empregue a correlação Spearman. Foi testada a normalidade da distribuição dos dados antropométricos e experimentais através do teste Shapiro-Wilk. As crianças apresentam uma distribuição não normal na espessura do polegar e do indicador.

Resultados

Não foram detectadas diferenças morfológicas significativas entre sexos. Também não foram detectadas diferenças na percepção de conseguir agarrar, com ou sem pinças, tanto a esfera grande como a pequena (D esfera 16mm- $z = 0,929$, $p > 0,05$; D esfera 8mm- $z = 0,581$, $p > 0,05$; P esfera 8mm- $z = 0,296$, $p > 0,05$; P esfera 16mm- $z = 0,000$, $p > 0,05$). Portanto, decidimos juntar ambos os sexos numa mesma amostra. A ordem de apresentação das esferas não influenciou significativamente a percepção da possibilidade de as agarrar (Tabela 2.3). O uso ou não de pinças no início da tarefa também não influenciou significativamente a percepção de conseguir agarrar as pinças (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Ordem de apresentação das esferas e de início da tarefa nas condições experimentais com pinças (P) ou com dedos (D), resultados (z, p) para o conjunto da amostra (N= 8).

Condições	Apresentação das esferas	Início com ou sem pinças
D Esfera 16mm	0,774, > 0,05	0,155, > 0,05
D Esfera 8mm	0,145, > 0,05	0,871, > 0,05
P Esfera 16mm	1,384, > 0,05	0,615, > 0,05
P Esfera 8mm	1,183, > 0,05	0,237, > 0,05

Verificámos que há diferença significativa na percepção de conseguir agarrar as esferas no conjunto das combinações das condições experimentais ($\chi^2 = 18,039$, $p < 0,001$). De facto, qualquer comparação entre as combinações das condições experimentais revela diferença significativa, com excepção da diferença entre a percepção da possibilidade de agarrar a esfera grande com pinças e esfera pequena sem pinças (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Comparação entre condições experimentais, para o conjunto da amostra (N= 8).

Combinações	(z, p)
P Esfera 16mm vs D Esfera 16mm	2,226, < 0,05
D Esfera 8mm vs D Esfera 16mm	2,371, < 0,05
P Esfera 8mm vs D Esfera 16mm	2,527, < 0,05
D Esfera 8mm vs P Esfera 16mm	0,986, > 0,05
P Esfera 8mm vs P Esfera 16mm	2,524, < 0,05
D Esfera 8mm vs P Esfera 8mm	2,205, < 0,05

Estes resultados permitem-nos afirmar que não só as várias combinações das condições experimentais produzem frequências de respostas distintas, em função do conjunto de constrangimentos espaciais apresentados, como também que os sujeitos perceberam a affordance do instrumento. Embora a sequência e o número de variações tenha sido diferente para os adultos e para as crianças, o padrão de resultados foi o mesmo, principalmente no que toca à paridade de percepção conseguir agarrar a esfera pequena sem pinças com a de agarrar a esfera maior com as pinças, o que vem reforçar a nossa suposição que ocorreu uma percepção da funcionalidade dos implementos, porque as crianças supõem que agarrar a esfera de 16mm de diâmetro com as pinças, a qual pela sua dimensão daria menos oportunidades de ser agarrada, é tão provável como agarrar a esfera com 6mm de diâmetro com os dedos, a qual é a que mais vezes poderia ser agarrada dada a sua dimensão e a dimensão dos próprios dedos das crianças.

Se representarmos graficamente as frequências das respostas das crianças sobre a possibilidade de agarrar as esferas (Figura 2.3), verificamos que a percepção da transição entre “agarrar possível” e “agarrar não-possível” não é tão clara como nos adultos. No entanto, é evidente a precocidade da vantagem do uso das pinças, de modo mais acentuado para a esfera pequena.

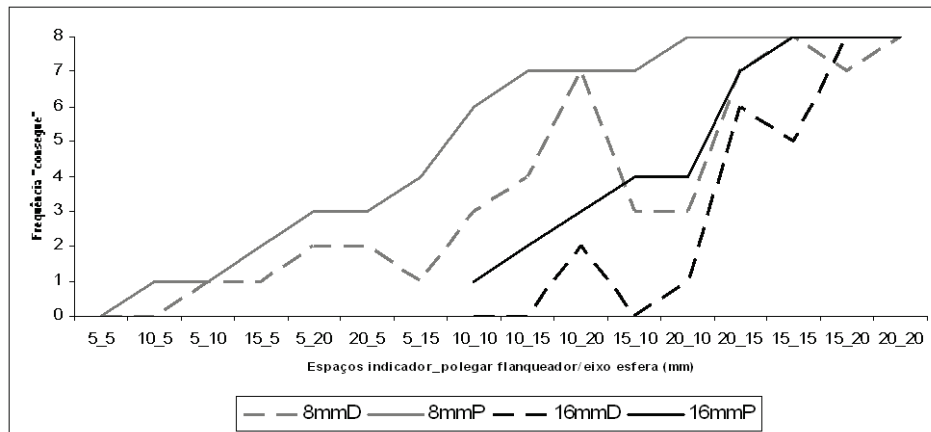


Figura 2.3 - Evolução da percepção “consegue” agarrar em crianças, na combinação de espaços entre esfera (8mm, 16mm) e flanqueadores, para o polegar e o indicador, aqui ordenadas em função da crescente frequência de respostas afirmativas, nas condições com dedos (D) e com pinças (P).

Com exceção da condição com a esfera de 16mm sem pinças, a transição entre percepção de “agarrar não possível” para “agarrar possível” não se revela abrupta, como aconteceu com os adultos, mas progressiva, no conjunto da amostra. Nem tão pouco é evidente a predominância da possibilidade de agarrar a esfera com o aumento de espaço para o indicador.

Do mesmo modo que fizemos com os resultados dos adultos, relacionámos separadamente as frequências das respostas afirmativas à possibilidade de agarrar cada uma das esferas com o espaço disponível entre o flanqueador e o eixo da esfera para o polegar ou para o indicador. Os resultados são distintos dos obtidos com os adultos. Sem pinças, e para a esfera de 8mm de diâmetro, é o espaço para o polegar que está significativamente relacionado com a frequência da percepção de conseguir agarrar a esfera ($\rho = 0,778$, $p < 0,001$), enquanto que para o indicador a relação é menos intensa e não significativa ($\rho = 0,429$, $p > 0,05$), exactamente o contrário que nos adultos. Este padrão repete-se para a esfera de 16mm: sem as pinças, o polegar está significativamente relacionado com a frequência da percepção de conseguir agarrar a esfera ($\rho = 0,754$, $p < 0,05$), mas para o indicador não se verifica relação significativa ($\rho = 0,565$, $p > 0,05$). Já para as condições com pinças é o espaço para o indicador que se torna mais relevante na admissão da agarrabilidade das esferas, de 8 ou de 16mm (respectivamente, $\rho = 0,725$, $p < 0,001$; $\rho = 0,747$, $p < 0,05$). O espaço para o polegar tem uma influência menos intensa (respectivamente, $\rho = 0,576$, $p < 0,05$;

$\rho = 0,442$, $p > 0,05$). Dada a maior espessura do polegar em relação ao indicador ($z = 2,565$, $p < 0,01$) é compreensível o primeiro resultado, os constrangimentos morfológicos condicionam a tomada de decisão das crianças. O segundo resultado pode significar que as crianças detectam a affordance das pinças como solução para o problema da espessura do polegar, percebendo uma maior capacidade de intervenção no envolvimento, e que transferem para a ponta da pinça do indicador as necessidades funcionais que este dedo costuma ter neste tipo de preensão e que é envolver o objecto a agarrar, necessitando assim de mais espaço.

Discussão

Os adultos perceberam a affordance inerente às pinças como um instrumento para conseguirem retirar a esfera de um espaço muito constrangedor. Esta percepção ocorre para uma mesma limitação espacial, sejam quais forem as características individuais dos sujeitos da nossa amostra. Inversamente, a percepção de conseguir agarrar com recurso exclusivo aos dedos está dependente principalmente do espaço disponível para o indicador e provavelmente de diferenças morfológicas entre os sujeitos.

Para o conjunto de respostas da amostra, o tipo de transição entre a percepção de “não consegue” para “consegue” retirar a esfera, é diferente entre o uso dos dedos e o uso das pinças. Para o uso da pinça a transição é descontínua, abrupta e igual para todos os sujeitos, enquanto que para o uso dos dedos ela é progressiva e ocorre em momentos diferentes entre os sujeitos. Deste modo, é evidente que não só os sujeitos captaram a affordance inerente ao possível uso das pinças como o fizeram em função das características topológicas destas e não das suas características morfológicas ou, eventualmente, da sua habilidade motora. Ou seja, aquando da posse das pinças transferiram a apreciação da sua capacidade de intervenção no envolvimento para as extremidades destas, i.e., passaram a apreciar a sua capacidade de agarrar das polpas dos seus dedos para as extremidades das pinças (e.g., Yamamoto & Kitazawa, 2001a). Portanto, as pinças são assumidas como um instrumento e a sua potencialidade para actuar no envolvimento é apreciada por todos de modo semelhante.

O facto de, na condição de agarrar com os dedos, os sujeitos terem respostas diferentes conforme o espaço para indicador, embora tal seja menos evidente quando é considerada a alteração do espaço para o polegar, leva-nos a afirmar que o espaço para o indicador é um parâmetro de controlo, ou se desejarmos uma variável independente prioritária, e tal constrangimento espacial é percebido pelos sujeitos (Biegstraaten, Smeets & Brenner, 2003).

Tal como os adultos, as crianças perceberam a *affordance* inerente às pinças como um instrumento para conseguirem retirar a esfera de um espaço muito constrangedor. No entanto, o espaço disponível para o indicador só se torna relevante aquando da posse das pinças. As crianças captaram a *affordance* inerente ao possível uso das pinças e, portanto, tal como havia acontecido com os adultos, transferiram a apreciação da sua capacidade de intervenção no envolvimento para as extremidades daquelas (Yamamoto & Kitazawa, 2001a). As pinças são assumidas como um instrumento e a sua potencialidade para actuar no envolvimento é apreciada por todos de modo semelhante.

Estudo II - Percepção Não-Visual do Comprimento de um Implemento

Os estudos sobre percepção háptica têm revelado que temos a capacidade de determinar certas propriedades físicas intrínsecas a um objecto que sustentamos e/ou movimentamos activamente, como por exemplo o seu comprimento. Esta capacidade manifesta-se principalmente se o objecto tiver uma distribuição e massa relativamente uniforme, for longilíneo e se for agarrado numa das extremidades (Carello, Thuot, Anderson & Turvey, 1999). Sabemos também que isso se deve à disponibilidade de informação captada através de mecanismos sensoriais localizados a nível muscular e tendinoso, e se baseia no facto de sermos capazes de captar a resistência oferecida pelo objecto à deslocação que lhe queremos imprimir (Turvey, 1996). Se estamos visualmente centrados num objecto que vamos agarrar com um instrumento, o sistema háptico deve ajudar a assegurar a integração da nova extensão do membro preênsil, através da localização alterada do ponto de acção, que não são mais as polpas dos dedos mas as extremidades distais do implemento preênsil. Isto é, devemos conseguir incorporar o comprimento do instrumento no nosso esquema corporal (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996) de modo a podermos executar o movimento contemplando o novo comprimento segmento preênsil.

Objectivo

O objectivo deste estudo foi o de verificar se os sujeitos conseguem aperceber-se do comprimento de um implemento através da percepção háptica e táctil.

Para uma tarefa em que cada sujeito estimou através da livre movimentação de dois pares de pinças acopladas aos dedos polegar e indicador, idênticas no formato mas distintas no comprimento, definimos as seguintes hipóteses: i) as estimativas do comprimento de cada par de pinças estão relacionadas com o seu comprimento efectivo; ii) há consistência na estimativa de comprimento nos dois pares de pinças, conservando-se o enviesamento de estimativa em pinças de comprimento diferente; iii) há diferença significativa entre as estimativas do comprimento dos dois pares de pinças.

Adultos

Situação Experimental

Os sujeitos foram confrontados sequencialmente com dois pares de pinças acopladas aos dedos polegar e indicador da mão direita. A experiência decorreu sem acesso a informação visual. As pinças têm 50 ou 105mm de comprimento (P50, P105) para lá das extremidades distais dos dedos.

Materiais

As pinças são iguais às usadas no estudo anterior, só que para este estudo foi construído outro par de pinças com um comprimento de 105mm para lá das extremidades dos dedos polegar e indicador, pesando menos de 5g. A referência básica para as pinças mais compridas foi a relativa aos dados recolhidos anteriormente sobre o afastamento máximo entre o polegar e o indicador e que variou entre um mínimo de 111mm e um máximo de 154mm (Figura 2.4).

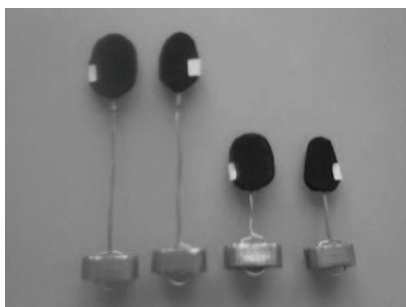


Figura 2.4 - Aspecto interno das pinças. Para cada par, as da esquerda são do polegar e as da direita do indicador. As pinças estão diferenciadas conforme o dedo a que se destinam em função de medidas antropométricas retiradas a uma amostra de jovens adultos.

Amostra

A amostra compôs-se de dezasseis estudantes do ensino superior, dos quais três sinistrómanos, com a média de idades de 23,5(\pm 3,53) anos, oito do sexo masculino e oito do sexo feminino. Todos os sujeitos participaram voluntariamente, não receberam recompensa e desconheciam o objectivo do estudo. Nenhum deles participou no estudo anterior.

Procedimentos

Vendado e com as pinças colocadas nos dedos polegar e indicador da mão direita, foi solicitado ao sujeito que após ter movimentado como entendesse o par de pinças, indicasse através do afastamento do polegar e do indicador da mão

esquerda aquele que supusesse ser o comprimento das pinças, para lá dos dedos (Figura 2.5). Os sinistrómanos também exploraram as pinças com a mão direita, tal como os destrímanos. Não foi permitido ao sujeito tocar ou mexer nas pinças com a mão esquerda, mas este pôde explorá-las com a mão direita como desejasse, sem limitação de tempo. Cada sujeito fez três estimativas por par de pinças. Após cada estimativa foi solicitado ao sujeito que descontraísse a mão esquerda e a pousasse de palma para baixo no tampo da mesa. Os sujeitos estavam sentados e nunca viram as pinças.



Figura 2.5 - Sujeito explorando par de pinças com mão direita e indicando estimativa do seu comprimento com afastamento de polegar e indicador da mão esquerda.

Antes da tarefa foram retiradas as seguintes medidas antropométricas na mão direita de cada sujeito: comprimento do polegar (CP) e do indicador (CI), medido entre a linha mediana da prega cutânea da articulação cárpico-falângica e a extremidade distal do dedo; e afastamento máximo entre polegar e indicador (AM), pela distância entre os cantos laterais radiais das unhas do polegar e do indicador (Kuhntz et al., 1998, 1999). As recolhas foram realizadas com um nónio da marca GPM. Foi também determinada a lateralidade dominante de cada sujeito pela mão usada na escrita.

A ordem de apresentação dos dois pares de pinças foi alternada entre os sujeitos.

Os dados foram tratados através do programa SPSS, versão 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Para verificar a normalidade de distribuição dos dados antropométricos e das estimativas feitas pelos sujeitos foi empregue o teste Shapiro-Wilk. Para determinar possíveis influências da ordem de apresentação dos pares de pinças, diferenças entre sexos e diferenças da estimativa do comprimento das pinças pela lateralidade dominante foi usado o

teste U de Mann-Whitney. Para determinar a relação entre características antropométricas e as estimativas feitas por par de pinças, e para determinar a consistência das estimativas de cada sujeito por par de pinças foi empregue a correlação Spearman. Para comparar a estimativa e o comprimento efectivo de cada par de pinças foi empregue o teste *t* para uma amostra e para comparar as estimativas para o par de pinças pequenas e para o par de pinças grandes foi empregue o teste *t* de pares. Foi determinada a percentagem de erro da estimativa por ensaio e para a média dos três ensaios por par de pinças.

Resultados

As mulheres revelaram significativamente menores dimensões antropométricas (CP- $z = 3,213$, $p < 0,05$; CI- $z = 2,326$, $p < 0,05$; AM- $z = 2,049$, $p < 0,05$); no entanto, na percepção do comprimento das pinças não se diferenciaram dos homens, excepto no segundo ensaio com as pinças maiores ($z = 2,051$, $p < 0,05$)¹⁰. Decidimos juntar os participantes dos dois sexos numa mesma amostra.

As estimativas por ensaio e a média das estimativas para o conjunto dos 3 ensaios têm distribuição normal. A lateralidade não influenciou as estimativas feitas¹¹. A ordem de apresentação dos pares de pinças não influenciou a percepção do seu comprimento em qualquer dos ensaios.

Ao longo dos ensaios, os sujeitos foram bastante consistentes nas suas estimativas, uma percepção de maior comprimento no primeiro ensaio corresponde uma percepção no mesmo sentido nos ensaios seguintes, principalmente para as pinças mais curtas (P50) (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Associação (r, p) entre ensaios sucessivos (E1, E2, E3) com as P50 e P105, para o conjunto da amostra (N= 16).

Ensaio	P50	P105
E1-E2	0,861, < 0,05	0,705, < 0,05
E2-E3	0,869, < 0,05	0,740, < 0,05

¹⁰ O AM médio nas jovens adultas é de 125,75±0,937mm e o comprimento a estimar no par de pinças mais compridas é de 105mm, daí o interesse de analisar esta questão. Para o sexo masculino, na P105 encontramos associação significativa inversa ($p < 0,05$) entre o CP e as segunda e terceira estimativa ($\rho = (-) 0,731$, $\rho = (-) 0,729$, respectivamente), e, para o sexo feminino na P50 entre o AM e a terceira estimativa ($\rho = (-) 0,778$), i.e., maiores dimensões corporais estimativas mais conservadoras.

¹¹ Os sinistrómanos exploraram as pinças com a mão direita, tal como os destrímanos (cf. Castiello, Bennett & Stelmach, 1993).

Não há diferença significativa nas três estimativas para as P50 ($F(1,13) = 0,300$, $p > 0,05$) e P105 ($F(1,13) = 1,827$, $p > 0,05$). No entanto, para as P105 a média das estimativas vai sempre aumentando e o desvio à média vai diminuindo ($E1 = 102,1 \pm 14,8\text{mm}$, $E2 = 105,7 \pm 14,1\text{mm}$, $E3 = 106,1 \pm 13,6\text{mm}$). Para as P50 este padrão não é tão consistente ($E1 = 59,0 \pm 16,9\text{mm}$, $E2 = 60,3 \pm 19,2\text{mm}$, $E3 = 58,2 \pm 17,3\text{mm}$). O erro determinado através da percentagem da estimativa média do comprimento das pinças esclarece que as P105 são percebidas adequadamente ($99,46 \pm 12,30\%$) mas as P50 são estimadas por excesso e de modo mais variável ($118,88 \pm 34,32\%$).

Quando comparamos a média das três estimativas para cada par de pinças com o comprimento efectivo destes pares, verificamos que a amostra obtém um estimativa muito próxima do comprimento efectivo das P105 ($104,44 \pm 12,91\text{mm}$) cuja diferença não é significativa ($t(15) = 0,174$, $p > 0,05$), enquanto que a estimativa média para as P50 ($59,44 \pm 17,16\text{mm}$) é significativamente superior ao comprimento efectivo ($t(15) = 2,200$, $p < 0,05$). Este resultado confirma-se se considerarmos o erro percentual da estimativa média do comprimento das pinças ($P50 - t(15) = 2,200$, $p < 0,05$; $P105 - t(15) = 0,174$, $p > 0,05$).

Quando comparamos as estimativas médias da amostra para os dois pares de pinças verificamos que a diferença entre elas é significativa ($t(15) = 10,661$, $p < 0,001$), ou seja, os sujeitos diferenciam os dois pares de pinças no que toca ao seu comprimento, ou ao erro expresso em percentagem do seu comprimento ($t(15) = 2,463$, $p < 0,05$); no entanto, a correlação para amostras emparelhadas revela-nos que o seu comportamento não é consistente ($r = 0,398$, $p > 0,05$), i.e., um indivíduo que percebeu as pinças menos compridas como sendo mais compridas do que realmente o são pode não ter percebido com o mesmo sentido de erro as pinças mais compridas e vice-versa. Portanto, quando confrontada com pares de pinças de comprimentos diferentes a amostra não foi consistente no seu erro de estimativa, embora o tenha sido para as estimativas em cada par de pinças.

Para o erro percentual da estimativa por ensaio, para as P105 não ocorrem diferenças significativas, mas para as P50 nos dois primeiros ensaios a diferença é significativa ($E1 - t(15) = 2,134$, $p = 0,05$, $E2 - t(15) = 2,138$, $p < 0,05$) e no último ensaio não é ($t(15) = 1,188$, $p > 0,05$).

Crianças

A percepção háptica atinge níveis de desenvolvimento bastante elevados nos primeiros anos de vida (Bushnell & Boudreau, 1998; Striano & Bushnell, 2005). Mas as crianças não têm a mesma capacidade de discriminação perceptiva que os adultos, principalmente antes dos 8 anos de idade, e.g., Sigmundsson, Whiting e Loftesnes (2000), em tarefas proprioceptivas de ajustamento do dedo grande do pé com base numa indicação da localização com um dedo da mão, tanto ipsi- como contra-laterais, aplicadas a crianças dos 5,8 aos 12,8 anos, encontraram que até aos 7,8 anos ocorreu uma evolução na precisão proprioceptiva de localização espacial do dedo do pé, essencialmente determinados pelas meninas (cf. von Hofsten & Rösblad, 1988). A aquisição motora do uso de um implemento está dependente de um processo de desenvolvimento motor (Schwartz & Reilly, 1981; Bushnell & Boudreau, 1998) e as situações experimentais podem requerer procedimentos diferenciados dos usados para os adultos (Klatzky, Lederman & Mankinen, 2005), caso contrário, poder-se-á falhar a detecção de competências, que de facto as crianças já possuem (DeLoach & Brown, 1987; Bushnell & Boudreau, 1998).

Amostra

A amostra compôs-se de oito crianças, uma das quais sinistrómana, com média de idades de 5,38(\pm 0,52) anos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino. As crianças desconheciam o objectivo do estudo. Os encarregados de educação foram genericamente informados sobre a natureza da participação dos filhos e obtido consentimento. Foram ainda excluídas as crianças que declararam não querer participar. As recolhas foram realizadas num Jardim-de-Infância, em ambiente e condição normal de actividade, sempre à mesma hora, sempre com a presença de um adulto conhecido da criança. Motivação adicional das crianças foi garantida pela oferta de um pequeno brinquedo no final da experiência. Juntamente com a ficha de pedido de autorização, foram solicitados dados sobre peso e altura ao nascimento, resultados dos testes de APGAR, e profissão dos encarregados de educação. Em nenhuma das crianças envolvidas nos estudos foram detectados casos de índice do APGAR com valor inferior a 9, peso ou comprimento ao nascimento abaixo do percentil 25 ou acima do percentil 75. Os

encarregados de educação distribuem-se por profissões desde o tipo indiferenciado até ao tipo especializado.

Cada recolha durou sensivelmente 15 minutos. As tarefas foram apresentadas como um jogo ou um desafio.

Procedimentos

Tal como nos adultos, sem acesso a informação visual, as crianças foram confrontadas sequencialmente com dois pares de prolongamentos acopladas aos dedos polegar e indicador da mão direita, com 35 (I35) e 70mm (I70) de comprimento para lá das extremidades distais dos dedos (Figura 2.6), determinado em função do CP médio nestas idades ($37,25 \pm 1,58$ mm, presente amostra). O par de implementos mais comprido está dentro dos valores obtidos para o afastamento máximo entre o polegar e o indicador (mínimo - 70mm, máximo - 95mm, presente amostra). Na forma, os implementos não possuem “polpas”, porque vários adultos cruzavam e prendiam involuntariamente as extremidades, uma na outra, e concentravam parte da sua atenção na sua forma.

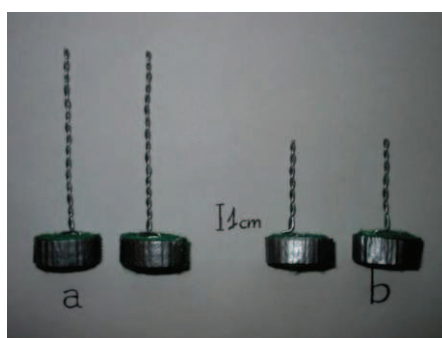


Figura 2.6 – Implementos para as crianças, com as cintas fechadas, de 70mm (a) e de 35mm (b).

Os procedimentos foram idênticos aos usados com os adultos. No entanto, o experimentador propôs a cada criança modos de exploração dos implementos, como aqueles que foram observados nos adultos, por exemplo, movimentar os dedos livremente, deslizar os prolongamentos um no outro, bater com as extremidades no tampo da mesa.

Enquanto eram retiradas as medidas antropométricas, estabeleceu-se um diálogo com a criança sobre os nomes e designações populares dos dedos

envolvidos na tarefa, a qual foi explicada como um jogo (tentar acertar no tamanho dos prolongamentos). No final das respostas com o segundo par de prolongamentos foi explicitamente pedido à criança que dissesse se achava que aquele era maior ou menor que o experimentado anteriormente.

Os dados foram tratados através do programa SPSS, versão 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Para verificar a normalidade de distribuição dos dados antropométricos e das estimativas feitas pelos sujeitos foi empregue o teste Shapiro-Wilk. Para determinar possíveis influências da ordem de apresentação dos pares de implementos, diferenças entre sexos e diferenças da estimativa do comprimento dos implementos pela lateralidade dominante foi usado o teste U de Mann-Whitney. Para determinar a relação entre características antropométricas e as estimativas feitas por par de implementos, e para determinar a consistência das estimativas de cada sujeito por par de implementos foi empregue a correlação Bravais-Pearson. Para comparar a estimativa e o comprimento efectivo de cada par de implementos foi empregue o teste *t* para uma amostra e para comparar as estimativas entre pares de implementos foi empregue o teste *t* de pares. Foi determinada a percentagem de erro da estimativa por ensaio e para a média dos três ensaios por par de implementos.

Resultados

No conjunto das crianças e por implemento, as estimativas por ensaio e a média das estimativas apresentam uma distribuição normal. Meninas e meninos não se diferenciam nas medidas antropométricas AM ($z = 1,155$, $p > 0,05$), CP ($z = 0,449$, $p > 0,05$) e CI ($z = 0,292$, $p > 0,05$), nem na estimativa do comprimento dos implementos (I70: E1 - $z = 0,289$, $p > 0,05$, E2 - $z = 0,000$, $p > 0,05$, E3 - $z = 0,145$, $p > 0,05$; I35: E1 - $z = 0,000$, $p > 0,05$, E2 - $z = 0,866$, $p > 0,05$, E3 - $z = 1,443$, $p > 0,05$)¹². No entanto, os meninos tendem a aumentar progressivamente as suas estimativas, enquanto que as meninas não, no I70 mantêm-se regulares e o I35 tendem a reduzi-las, aproximando-se do comprimento verdadeiro (Figura 2.7). Decidimos juntar ambos os sexos numa mesma amostra.

¹² Para o conjunto da amostra (N= 8) encontrámos uma relação inversa significativa entre o CI e o primeiro ensaio da condição I35 ($\rho = (-) 0,735$, $p < 0,05$), quem tem CI maior fez estimativas mais curtas em relação ao comprimento efectivo dos implementos.

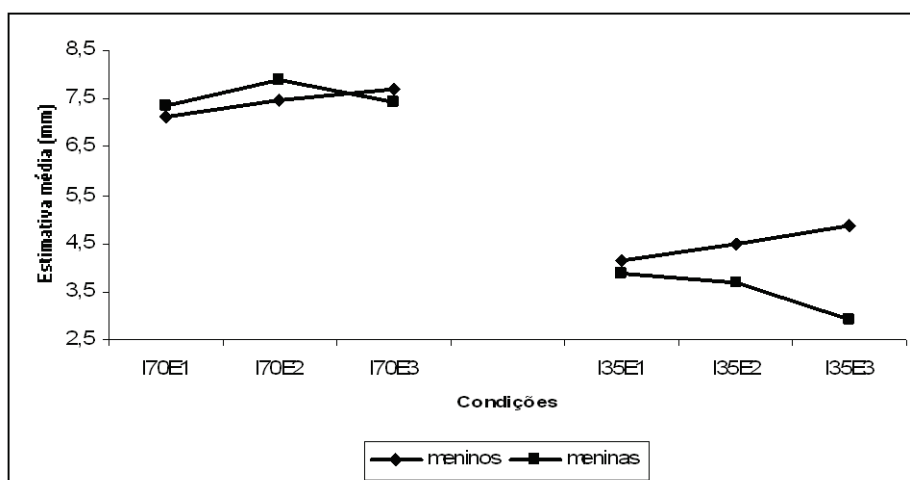


Figura 2.7 – Estimativas médias em cada ensaio por implemento (I70, I35) e por sexo.

A lateralidade não influenciou as estimativas feitas pelas crianças (I70 e I35 - $z = 0,218$, $p > 0,05$). A ordem de apresentação não influenciou as estimativas feitas pelas crianças (I70 - $z = 0,000$, $p > 0,05$; I35 - $z = 1,155$, $p > 0,05$).

Para o I70 as estimativas entre ensaios são bastante consistentes, i.e., quem percebe maior no primeiro ensaio também o faz no segundo e assim sucessivamente; para o I35 também mas de modo menos intenso (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 – Associação (r , p) entre ensaios sucessivos (E1, E2, E3) com as I35 e I70, para o conjunto da amostra ($N= 8$).

Ensaio	I35	I70
E1-E2	0,892, < 0,05	0,896, < 0,05
E2-E3	0,794, < 0,05	0,898, < 0,05

Não há diferença significativa nas três estimativas para o I70 ($F(1,7) = 0,269$, $p > 0,05$) e I35 ($F(1,7) = 0,030$, $p > 0,05$). No entanto, para o I70 o desvio-padrão vai sempre aumentando (E1 = $72,4 \pm 20,8$ mm, E2 = $76,8 \pm 22,1$ mm, E3 = $75,6 \pm 27,8$ mm), bem como para o I35 mas com uma menor amplitude (E1 = $40,0 \pm 15,9$ mm, E2 = $41,0 \pm 16,3$ mm, E3 = $39,0 \pm 23,3$ mm). O erro determinado através da percentagem da estimativa média do comprimento das pinças esclarece que o I70 é percebido por excesso ($107,02 \pm 32,05\%$) mas menos e de modo menos variável que as P50 ($114,29 \pm 49,09\%$).

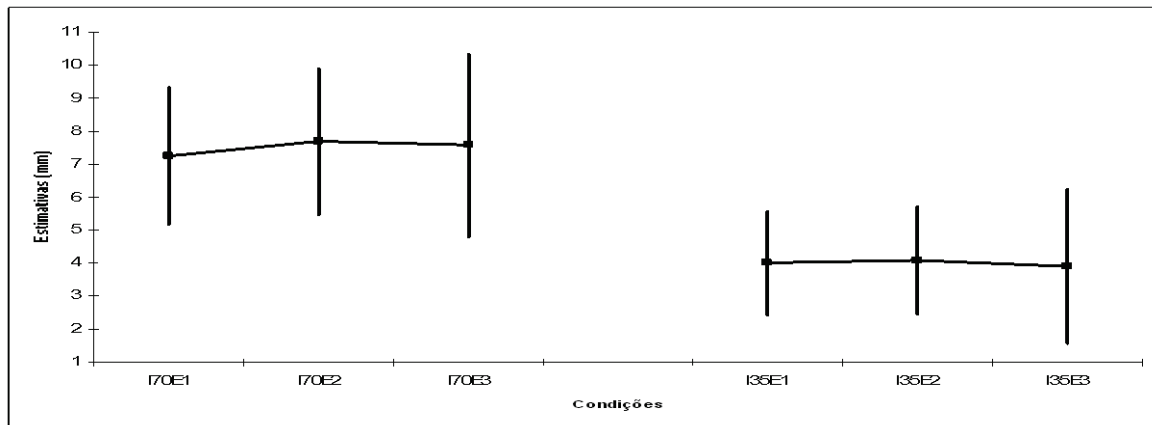


Figura 2.8 – Estimativas médias e desvio-padrão por implemento (I70, I35) e por ensaio para o conjunto da amostra (N = 8).

Quando comparamos a média das três estimativas para cada par de implementos com o comprimento efectivo destes pares, verificamos que a amostra obtém um estimativa muito próxima do comprimento efectivo do I70 ($74,9 \pm 22,4 \text{mm}$) cuja diferença não é significativa ($t(7) = 0,620$, $p > 0,05$), enquanto que a estimativa média para o I35 ($40,0 \pm 17,2 \text{mm}$) é superior ao comprimento efectivo mas não de modo significativo ($t(7) = 0,824$, $p > 0,05$). Este resultado é igual se considerarmos o erro percentual da estimativa média do comprimento das pinças (I70 – $t(7) = 0,620$, $p > 0,05$; I35 - $t(7) = 0,824$, $p > 0,05$).

Quando comparamos as estimativas médias da amostra para os dois pares de implementos verificamos que a diferença entre elas é significativa ($t(7) = 6,321$, $p < 0,001$) e consistente ($r = 0,719$, $p < 0,05$), ou seja, as crianças diferenciam os dois pares de implementos no que toca ao seu comprimento, mas não relativamente ao erro expresso em percentagem do seu comprimento ($t(7) = 0,600$, $p > 0,05$), i.e., a expressão do erro na determinação do comprimento do I35 não é significativamente superior à do I70.

Discussão

Através da percepção háptica e táctil, crianças e adultos conseguiram ter uma ideia bastante próxima do real comprimento dos implementos. A consistência nas estimativas suporta a hipótese de uma percepção não-visual na determinação das propriedades de um implemento sustentado (Carello, Thuot, Anderson &

Turvey, 1999). A diferença significativa entre as estimativas do comprimento dos dois pares de implementos foi reforçada pela identificação verbal por todas as crianças de qual teria o par de implementos mais longo, quando lhes foi explicitamente pedido, após a exploração dos prolongamentos. Anedoticamente, foi verificado que só pelo peso alguns dos adultos identificaram imediatamente a existência de diferença entre os dois tamanhos de pinças, embora o seu peso não se diferencie mais que 5g; adicionalmente, os adultos revelaram procedimentos exploratórios¹³ (Lederman & Klatsky, 1987) para estimar o comprimento das pinças (Figura 2.9).

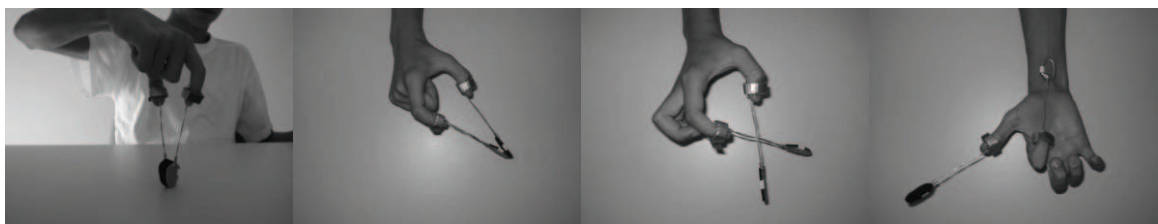


Figura 2.9 - Principais procedimentos exploratórios identificados.

Os procedimentos mais frequentes foram o pressionar as extremidades contra o topo da mesa, o bater as extremidades, uma na outra, repetidamente, o fazer deslizar as hastes uma na outra, ou o tocar com as extremidades no antebraço flectindo o pulso.

Os adultos estimaram adequadamente os implementos mais longos e por excesso os mais curtos, enquanto que as crianças estimaram sempre por excesso os seus implementos. Ambos os grupos etários revelam uma maior variabilidade de erro de resposta para os implementos mais curtos, para os quais é possível que precisem de mais ensaios para aproximarem a sua estimativa do comprimento efectivo das pinças. Recordamos que os sujeitos não receberam retroacção acrescida após cada ensaio e nunca viram as pinças.

Meninas e meninos não se diferenciaram significativamente, embora as meninas tenham estado em média mais próximas do comprimento real do implemento mais curto (cf. Sigmundsson, Whiting & Loftesnes, 2000).

¹³ Padrões especializados de movimento que são típicos, ou ótimos, para extrair informação sobre os objectos ou superfícies (Lederman & Klatsky, 1987).

Tendo presente que os implementos foram diferentes na forma e no comprimento para as crianças e para os adultos, e que, portanto, uma comparação directa não é possível, registamos que as crianças revelaram desvios-padrão do erro de estimativa maiores que os adultos, principalmente para os implementos mais compridos. Para objectos menores houve dificuldade acrescida de discriminação.

Nas crianças e nos adultos todas as relações significativas encontradas entre estimativas e comprimentos efectivos dos implementos foram inversas. É possível de haja uma influência morfológica no processo avaliativo proprioceptivo individual, com a tendência para indivíduos maiores serem mais conservadores na percepção das propriedades físicas dos objectos.

Estudo III - Constrangimentos Morfológicos e Cinemática da Componente de Transporte

Os estudos sobre preensão que variam a distância ao objecto de modo igual para todos os executantes, obtêm resultados cinemáticos diferentes para as componentes de transporte e agarrar (Jakobson & Goodale, 1991). Contudo, estas metodologias não consideram relevantes as variações dimensionais individuais. A influência de variáveis morfológicas é acentuada para objectos com diâmetros inferiores a 20mm (Chieffi & Gentilucci, 1993). Um modo de reduzir o efeito destas diferenças é o de adequar, por escalamento proporcional, a distância às medidas antropométricas de cada executante (Cesari & Newell, 1999). Este procedimento pode fazer realçar diferenças e semelhanças entre grupos etários (Haywood, 1979), e pode ser afinado se nos reportarmos a valores relativos. Por exemplo, não se encontraram diferenças significativas quando numa tarefa de preensão o pico de velocidade da componente de transporte crianças de 4, 5, 7 e 12 anos (Kuhtz-Buschbeck et al., 1998) ou o tempo de movimento entre crianças (4-5 anos) e adultos (Kuhtz-Buschbeck et al., 1999) foi normalizado para 60% da distância individual entre o acrómio e o processo estilóide do rádio.

Actualmente, a distância a que é colocado o objecto do executante tende a ser definido em função do comprimento de segmentos do membro superior (Wimmers, Savelsbergh, Beek & Hopkins, 1995); no entanto, não há um critério uniforme. A localização do objecto a uma distância confortável pode ser um critério vantajoso em termos de análise cinemática. Num estudo longitudinal sobre o desenvolvimento do alcançar para agarrar, com crianças entre as 16 e as 64 semanas, o objecto foi colocado a sensivelmente 85% do espaço de trabalho ("workspace") da criança, com o argumento que esta distância é suficiente para eliciar uma resposta motora visível mas evita translações indesejadas do ombro (Konczak, Borutta, Topka & Dichgans, 1995).

Objectivo

O presente estudo utilizou uma tarefa de transporte de uma esfera, colocada a distâncias relativas do sujeito variáveis, mas semelhantes segundo um critério de conforto. Admitiu-se que o tempo de movimento seria semelhante para distâncias escaladas à dimensão do sujeito. Supondo que parte da diferença é

atribuível a efeitos maturacionais (Haywood, 1979), se não houver imposição de velocidade de execução, crianças e adultos colocarão a esfera à sua frente a distâncias diferentes mas gastarão um tempo de movimento idêntico.

Metodologia

Amostra

Oito adultos, 21,38(±1,92) anos, estudantes do ensino superior, destrímanos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino, e cinco crianças, 5,6(±0,54) anos, três do sexo feminino e dois do sexo masculino, uma delas sinistrómana. A lateralidade dominante foi determinada pelo questionamento da mão usada na escrita e pelo lançamento uma bola. Foram respeitados princípios de confidencialidade e registado consentimento informado.

Procedimentos

O sujeito esteve sentado, ficando pelo menos dois terços das coxas totalmente assentes no tampo da cadeira (Teyssède, Lino, Zattara & Bouisset, 2000; Schneiberg et al., 2002). O antebraço em semi-pronação, tronco afastado do bordo mesa, de modo que ângulo braço-antebraço seja de aproximadamente 90°. As polpas de polegar e indicador da mão direita estão em contacto com a esfera, sobre a posição de partida marcada no tampo da mesa (Mon-Williams, Tresilian, Coppard & Carson, 2001). A mão de acção tem a face palmar do osso pisiforme apoiado no tampo da mesa (Kritikos, Jackson & Jackson, 1998).

Foi solicitado ao sujeito que estendesse o braço na direcção de uma lâmpada, colocada no alinhamento do seu ombro, transportando uma esfera para a pousar a uma distância confortável. Foi pedido aos sujeitos que executassem a tarefa a uma velocidade confortável e que a iniciassem quando quisessem após sinal visual (Kuhtz-Buschbeck et al., 1998), através de lâmpada activada por controlo remoto.

Foi ainda medido o comprimento do membro superior direito, em posição antropométrica, entre a bordo superior do acrómio e a extremidade mais distal do polegar (van der Heide, Otten, van Eykern & Hadders-Algra, 2003), com equipamento da marca GPM.

A esfera é de madeira envernizada, pesa menos que 5g e tem um diâmetro de 8mm. Este valor foi definido por referência a 10% do maior afastamento

possível médio entre o polegar e o indicador das crianças (Kuhtz-Buschbeck et al., 1999).

Recolha dos Dados

Os marcadores (9x9mm) foram colocados: i) no canto inferior lateral radial da unha do indicador; ii) no canto inferior lateral radial do polegar; e, c) no aspecto superior do bordo do acrómio. O registo cinemático do movimento foi realizado por uma câmara DCR, directamente para PC através de um cabo USB, para o módulo CapDv, do programa APAS System da Ariel Dynamics. A câmara estava suspensa 2200mm acima da mesa, perpendicularmente ao tampo da mesa ao plano horizontal do executante, focada na zona de ocorrência do movimento. O cubo de calibração tinha 1180mm de altura, distando entre si 1185mm, com pontos (12mmx9mm) de 100 em 100mm.

Tratamento dos Dados

Foi tratado um ensaio por sujeito. Para a digitalização manual, foram definidos 6 pontos co-planares a uma frequência de recolha de 50Hz. As trajectórias foram filtradas digitalmente, com um *low pass* numa frequência de corte de 5Hz.

O início do movimento corresponde ao momento em que num dos marcadores se regista uma alteração sistemática dos dados, em pelo menos 1mm; o final do movimento corresponde ao momento em que o último dos dedos revela o seu valor limite, ao qual se segue uma constância provisória ou uma alteração sistemática dos dados no sentido inverso. A distância efectiva, no final do movimento, foi o valor obtido pela diferença entre os marcadores do polegar e do acrómio. A distância relativa foi determinada a partir da proporção entre a distância efectiva e o comprimento do membro superior.

O tratamento estatístico foi realizado através do programa SPSS, v. 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Foi confirmada a normalidade da distribuição dos dados antropométricos e cinemáticos (teste Shapiro-Wilk). A comparação entre grupos etários utilizou o teste U de Mann-Whitney. Para a relação entre comprimento do membro superior e distância percorrida foi empregue a correlação produto-momento de Bravais-Pearson.

Resultados

Não foram encontradas diferenças significativas no tempo do movimento entre grupos etários ($z = 1,757$, $p > 0,05$), tendo as crianças gasto em média menos tempo ($644,00 \pm 202,682\text{ms}$) que os adultos ($951,50 \pm 393,760\text{ms}$). Todos os sujeitos deslocaram o ombro (acrômio) (crianças - $44,66 \pm 15,108\text{mm}$; adultos - $40,84 \pm 19,232\text{mm}$), sem diferença significativa entre os grupos etários ($z = 0,293$, $p > 0,05$). Os grupos etários diferenciaram-se significativamente ($z = 2,928$, $p < 0,05$) na distância efectiva (crianças - $305,90 \pm 30,63\text{mm}$; adultos - $513,50 \pm 29,87\text{mm}$) e na distância relativa ($z = 2,489$, $p < 0,05$; crianças - $66,69 \pm 3,57\%$; adultos - $74,99 \pm 4,60\%$).

Os *clusters* presentes na Figura 2.10 são a evidência de dois grupos distintos e também de dimorfismo sexual. As crianças têm um comprimento de membro superior ($305,90 \pm 30,639\text{mm}$) significativamente inferior ($z = 2,928$, $p < 0,05$) aos adultos ($513,50 \pm 29,879\text{mm}$). Nas crianças, o sexo feminino apresentou maiores comprimentos de membro superior ($z = 1,732$, $p > 0,05$) e poisam a esfera mais longe. Nos adultos, todas as mulheres têm comprimentos de membro inferiores aos homens ($z = 2,928$, $p < 0,05$) e poisam a esfera mais perto. Por grupo etário, o género revelou uma influência significativa na distância relativa, corrigida com o deslocamento do ombro, para os adultos ($z = 2,309$, $p < 0,05$), mas não para as crianças ($z = 1,732$, $p > 0,05$).

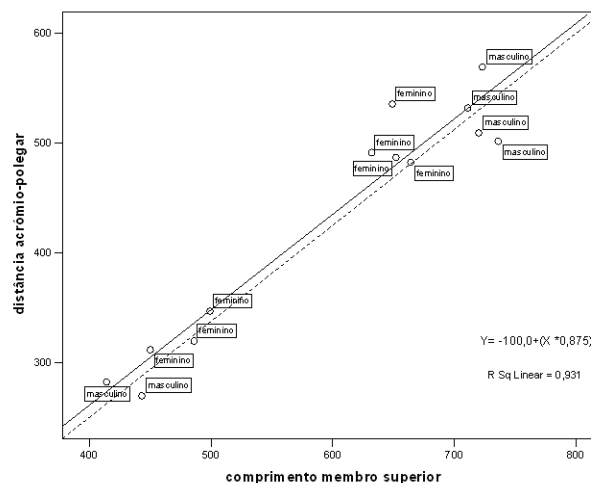


Figura 2.10 - Relação entre comprimento do membro superior e máximo afastamento efectivo entre acrómio e polegar (mm) no momento em que cada sujeito poisou a esfera na mesa, para o conjunto da amostra (N=13) (linha contínua - assentamento de recta para conjunto dos sujeitos; linha a tracejado - referência para a equação).

Para o conjunto dos sujeitos (N=13), há uma relação directa elevada entre comprimento do membro superior e distância a que foi pousada a esfera ($r^2=0,931$), expressa na seguinte equação:

$$Y = (-) 100,0 + (X * 0,875)$$

Por grupo etário, não foi encontrada relação entre tempo de movimento e comprimento do membro superior (crianças: $r = 0,538$, $p > 0,05$; adultos: $r = (-) 0,103$, $p > 0,05$).

Discussão

Ambas as hipóteses deste estudo se confirmaram: as crianças percorrem distâncias efectivas menores mas não gastam um tempo significativamente diferente ao dos adultos. A distância efectiva está relacionada com o comprimento do membro superior, pelo que as distâncias efectivas diferentes parecem atribuíveis a esta variável. Contudo, algo mais as diferencia dos adultos, pois a sua distância relativa, i.e., corrigida pelo comprimento do membro superior, é inferior à dos adultos em quase 8%. Estádios de maturação e desenvolvimento motor distintos são a explicação mais provável (Haywood, 1979). Os valores obtidos nas crianças são 5 a 10% superiores a alguns estudos (Kultz-Buschbeck et al., 1998, 1999), cujo critério foi a distância entre o acrómio e o processo estilóide do rádio, e inferior a outros (Wimmers, Savelsbergh, Beek & Hopkins, 1995), cujo critério foi o comprimento do membro superior. A discrepância de critérios pode explicar a diferença.

Para o conjunto dos sujeitos (N= 13), a correlação entre comprimento do membro superior e distância a que foi pousada a esfera confirma a hipótese dos constrangimentos morfológicos na acção motora (Newell, 1986). A equação obtida, sustentada nesta elevada correlação, permite-nos uma previsão da distância a que devemos colocar uma esfera pequena a agarrar ou a distância a que ela vai ser pousada. A opção pela medição do comprimento do membro superior até ao polegar é funcional. O polegar é mais curto que o indicador, tornando-se um constrangimento físico na cinemática da acção de preensão. Parte da relação obtida pode dever-se a este pormenor metodológico.

O reconhecimento da influência das diferenças morfológicas entre as crianças e os adultos permite afinar as condições experimentais em que são confrontados estes dois grupos etários. Os resultados obtidos são compatíveis com o conceito de escala corporal (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987), e se aplicados em estudos sobre preensão, permitem reduzir os efeitos das variações morfológicas nas componentes de transporte e de agarrar.

Estudo IV - Tamanho do Objecto e Cinemática da Acção de Agarrar

O tamanho do objecto-alvo afecta a organização da acção de agarrar (Wallace & Weeks, 1988). Esta relação pode ser observada em diferentes aspectos: o máximo afastamento dos dedos covaria positivamente com o tamanho do objecto (Jeannerod, 1984), o tempo até ao máximo afastamento dos dedos aumenta com o tamanho do objecto, e o pico de velocidade da mão na fase de transporte ocorre mais tarde em objectos maiores (Marteniuk, MacKenzie & Leavitt, 1990; Jakobson & Goodale, 1991; Castiello, Bennett & Stelmach, 1993). As crianças parecem ser mais afectadas que os adultos pelo tamanho do objecto: apresentam fases de desaceleração mais prolongadas e atingem o máximo afastamento dos dedos mais cedo (Pryde, Roy & Campbell, 1998). Alguns efeitos de desenvolvimento são também observáveis entre crianças de diferentes idades: crianças de 4-5 anos afastam significativamente mais os dedos que crianças de 12 anos (Kuhtz- Buschbeck et al., 1998) e que adultos (Kuhtz- Buschbeck et al., 1999).

Os estudos sobre a variação do tamanho do objecto-alvo também evidenciaram alguma relação entre as duas componentes da preensão. A duração da fase de desaceleração, que aumenta em objectos mais pequenos, é uma medida fiável das exigências da precisão da tarefa (Gentilucci et al., 1991; Marteniuk et al., 1987).

Objectivo

O objectivo do presente estudo foi o de analisar o padrão cinemático de crianças e adultos na acção de preensão de um objecto-alvo com dimensões variáveis. Assumimos as seguintes proposições: i) as acções de crianças têm duração total superior à de adultos (Rösblad, 1996); ii) as crianças apresentam um maior afastamento máximo dos dedos (MA) que os adultos (Kuhtz- Buschbeck et al., 1999); iii) as crianças atingem o pico de velocidade na componente de transporte mais cedo que os adultos (Pryde, Roy & Campbell, 1998).

Metodologia

Amostra

Oito adultos, 21,38(\pm 1,92) anos, estudantes do ensino superior, destrímanos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino, e cinco crianças 5,6(\pm 0,54) anos, três do sexo feminino e duas do sexo masculino, uma delas sinistrómana. A lateralidade dominante foi determinada pelo questionamento da mão usada na escrita e pelo lançamento de uma bola. Foram respeitados princípios de confidencialidade e registado consentimento informado.

Condições Experimentais e Materiais

A tarefa consistia em agarrar duas esferas, com 8mm e 16mm de diâmetro. As esferas são de madeira e pesam menos de 5g cada; têm dois círculos negros marcados em extremos opostos e paralelos ao plano frontal do sujeito. O diâmetro da esfera mais pequena corresponde a 10% do maior afastamento possível médio entre o polegar e o indicador das crianças (Kuhtz- Buschbeck et al., 1999) encontrado numa amostra de crianças em estudo anterior (86,3 \pm 0,734mm). O diâmetro da esfera maior é o dobro do da esfera mais pequena e sensivelmente 3mm mais que 10% do MA, encontrado numa amostra de adultos de um estudo anterior (133,0 \pm 1,303mm).

Procedimentos

O sujeito está sentado com pelo menos dois terços das coxas totalmente assentes no tampo da cadeira. Antebraço em semi-pronação, tronco afastado do bordo mesa de modo a que o ângulo braço-antebraço seja de aproximadamente 90°. As polpas de polegar e indicador da mão de acção estão em contacto, e pousadas sobre a posição de partida, marcada no tampo da mesa. A mão de acção tem a face palmar do osso pisiforme apoiado no tampo da mesa. A mão de acção e o objecto a agarrar estão alinhados em relação ao ombro ipsilateral. A esfera está colocada a uma distância confortável, definida individualmente (Catela, Seabra & Barreiros, 2007a).

Foi solicitado ao sujeito que agarrasse a esfera pelos círculos marcados, e a transportasse para dentro de uma pequena caixa de porcelana, 60x60x14mm, localizada na sua linha mediana e alinhada com a posição inicial dos dedos polegar e indicador. Não foi dada informação quanto ao tipo de pega, nem os executantes foram impedidos de apoiarem a mão de acção na mesa durante a

execução da tarefa. Foi pedido aos executantes que executassem a tarefa a uma velocidade confortável e que a iniciassem quando quisessem após ocorrência do sinal visual, através de uma lâmpada activada por controlo remoto, localizada por detrás da esfera. A tarefa foi realizada com o membro superior direito. A ordem de apresentação das esferas foi alternada entre os sujeitos.

Foi medido previamente o afastamento máximo polegar-indicador no membro superior direito de cada sujeito, com equipamento da marca GPM, correspondendo à distância entre os cantos laterais radiais das unhas do polegar e do indicador, com toda a mão apoiada sobre o tampo da mesa e dedos indicador, médio, anelar e mínimo juntos.

Recolha dos Dados

Os marcadores (9x9mm) foram colocados: i) no canto inferior lateral radial da unha do indicador; ii) no canto inferior lateral radial do polegar; e, c) no aspecto superior do bordo do acrómio. O registo cinemático do movimento foi realizado por uma câmara DCR, directamente para PC através de um cabo USB, para o módulo CapDv, do programa APAS System da Ariel Dynamics. A câmara estava suspensa 2200mm acima da mesa, perpendicularmente ao tampo da mesa ao plano horizontal do executante, focada na zona de ocorrência do movimento. O cubo de calibração tinha 1180mm de altura, distando entre si 1185mm, com pontos (12mmx9mm) de 100 em 100mm.

Tratamento dos Dados

Foi tratado um ensaio por sujeito. Para a digitalização manual, foram definidos 6 pontos co-planares a uma frequência de recolha de 50Hz. As trajectórias foram filtradas digitalmente, com um *low pass* numa frequência de corte de 5Hz. O início do movimento corresponde ao momento em que num dos marcadores se regista uma alteração sistemática dos dados, em pelo menos 1mm, no sentido do movimento; o final do movimento foi definido pelo momento em que é atingido o valor mínimo de afastamento entre os marcadores do polegar e do indicador, seguido de uma constância provisória ou uma inversão dos valores.

O tratamento estatístico foi realizado através do programa SPSS, v. 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Foi confirmada a normalidade da distribuição dos dados cinemáticos (teste Shapiro-Wilk). Para a comparação

entre grupos etários e verificação da influência da ordem de apresentação das esferas foi empregue o teste U de Mann-Whitney. Para a comparação das variáveis dependentes entre esferas, por grupo etário, foi usado o teste Wilcoxon Signed Ranks. A relação entre o máximo afastamento dos dedos e o diâmetro das esferas foi obtida pelo coeficiente de correlação produto-momento de Bravais-Pearson. Para a relação entre diâmetro da esfera e variáveis cinemáticas foi empregue a correlação rho de Spearman. Foi ainda determinada a proporção entre o MA e o diâmetro de cada esfera em cada sujeito.

Resultados

Uma análise prévia mostrou que a ordem de apresentação das esferas não influenciou o tempo do movimento (TM), a máxima abertura dos dedos, ou o tempo até à máxima abertura dos dedos (TtMA), em ambos os grupos etários e em ambas as esferas.

Crianças e adultos não se diferenciaram significativamente no TM, no TtMA e na percentagem de tempo até ao máximo afastamento dos dedos (%TtMA).

Na esfera de 8mm as crianças despenderam em média mais 320ms que os adultos, e atingem o MA proporcionalmente mais cedo (10%) (respectivamente, $z = 1,610$, $p > 0,05$, $z = 0,878$, $p > 0,05$). Crianças e adultos revelaram um maior MA para a esfera de 16mm ($Z = 2,032$, $p < 0,05$; $Z = 2,371$, $p < 0,05$, respectivamente). Paradoxalmente, este resultado inverte-se se considerarmos a proporção entre afastamento efectivo dos dedos e o diâmetro da esfera (MA/D) ($Z = 2,023$, $p < 0,05$; $Z = 2,524$, $p < 0,05$, respectivamente), isto é, os sujeitos afastaram proporcionalmente mais os dedos para a esfera mais pequena (8mm) que para a maior (16mm) (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 – Máximo afastamento (MA) e proporção máximo afastamento/diâmetro da esfera (MA/D), por esfera (8mm; 16mm), em crianças e adultos.

	MA (mm)		MA/D	
	8mm	16mm	8mm	16mm
Crianças	24±6,24	30±5,00	3,07±0,77	1,89±0,31
Adultos	22±5,07	33±5,11	2,85±0,63	2,07±0,31

Crianças e adultos não apresentaram diferenças significativas nestas variáveis, nem na esfera de 8mm, ($z = 0,806$, $p > 0,05$, $z = 0,881$, $p > 0,05$) nem na esfera de 16mm ($z = 1,028$, $p > 0,05$, $z = 1,026$, $p > 0,05$).

Relativamente à componente de transporte, na esfera de 8mm, as crianças atingiram o pico de velocidade no pulso (VMP) ($220 \pm 58,30$ ms) significativamente mais cedo que os adultos ($340 \pm 89,44$ ms), tanto em termos efectivos ($z = 2,066$, $p < 0,05$) como percentuais ($z = 2,199$, $p < 0,05$). Embora na esfera de 16mm as crianças também tenham atingido o VMP mais cedo ($252 \pm 38,98$ ms) que os adultos ($335 \pm 86,02$ ms), esta diferença não é significativa, nem em termos efectivos ($z = 1,779$, $p > 0,05$) nem percentuais ($z = 1,173$, $p > 0,05$). Na esfera de 8mm de diâmetro as crianças atingiram percentualmente mais cedo o pico de velocidade do pulso ($16,29 \pm 7,96\%$) que para a de 16mm de diâmetro ($20,36 \pm 9,22\%$) ($Z = 1,753$, $p > 0,05$). Os adultos revelaram uma maior constância na ocorrência do pico de velocidade do pulso entre esferas (8mm – $29,74 \pm 7,41\%$; 16mm - $28,70 \pm 2,65\%$; $Z = 0,420$, $p > 0,05$).

No conjunto dos sujeitos ($N = 13$), a relação entre MA e o diâmetro da esfera é directa e significativa ($r^2 = 0,422$, $F(1,24) = 17,497$, $p < 0,05$), e pode ser representada pela equação:

$$MA = 1,071 * \text{diâmetro da esfera} + 14,954\text{mm}$$

Em todos os sujeitos a VMP (componente de transporte) ocorreu antes do MA (componente de agarrar). Para a esfera de 8mm, as crianças revelaram uma relação inversa entre MA e o valor da VMP ($\rho = (-) 1,000$, $p < 0,001$) e para a esfera de 16mm uma relação directa entre o MA e o tempo até à VMP ($\rho = 0,918$, $p < 0,05$). Para a esfera de 8mm, os adultos apresentaram uma relação inversa entre o MA e a %TtMA ($\rho = (-) 0,857$, $p < 0,01$).

Discussão

As crianças e os adultos não se diferenciaram nas variáveis das componentes de transporte e de agarrar estudadas, em ambas as esferas, com excepção na esfera 8mm, para o momento em que ocorre o pico de velocidade da componente de transporte. Portanto, só a terceira hipótese se confirma. Estes

resultados são explicáveis segundo o conceito de índice de dificuldade da lei de Fitts (Fitts, 1954); tendo cada sujeito definido a distância da sua mão à esfera só a variável tamanho do alvo (diâmetro da esfera) pode influenciar o comportamento das crianças. Nesta esfera as crianças gastaram mais tempo de movimento, afastaram mais os dedos e atingiram o máximo afastamento dos dedos mais cedo que os adultos. A opção de escolha de uma distância individual confortável para alcançar o objecto e agarrá-lo, sem constrangimento temporal externo, pode ter contribuído para as reduzidas diferenças encontradas. Factores associados ao desenvolvimento motor da criança impedem-na de agir de modo tão eficiente como o adulto, embora seja possível reduzir o impacto dessas diferenças adequando o contexto de acção em função dos seus constrangimentos intrínsecos.

O tempo até ao afastamento máximo dos dedos e a proporção com o afastamento máximo dos dedos encontrados não se diferenciam dos de Castiello, Bennett & Stelmach (1993), apesar da diferença nos objectos-alvo usados.

A relação entre máximo afastamento dos dedos e o diâmetro da esfera é confirmada (Jeannerod, 1984) mas distinta das encontradas noutros estudos, onde foram usados cilindros e incluídos diâmetros maiores (Paulignan, Jeannerod, MacKenzie & Marteniuk, 1991; Marteniuk, Leavitt, MacKenzie & Athenes, 1990).

As relações encontradas entre variáveis cinemáticas das componentes de transporte e de agarrar indicam uma necessidade de articulação entre estas duas componentes da acção de apreensão (Gentilucci et al., 1991; Marteniuk et al., 1987), e sustentam a hipótese de uma configuração gradual da mão durante a acção de apreensão (Mason, Gomez & Ebner, 2001).

Estudo V - Obstáculos e Cinemática da Acção de Agarrar

As acções de preensão são frequentemente realizadas em contextos com constrangimentos. Uma forma de manipular esse constrangimento é a limitação do espaço disponível para a acção dos dedos com a utilização de obstáculos (flanqueadores). A presença de um único flanqueador provoca o aumento do tempo do movimento e a diminuição do máximo afastamento dos dedos. A sua localização à direita do objecto a agarrar acentua o efeito no máximo afastamento dos dedos (Mon-Williams, Tresilian, Coppard & Carson, 2001), com contribuição mais nítida do indicador, que contorna e envolve o objecto a agarrar. As alterações são observáveis no máximo afastamento dos dedos (MA) e no tempo do movimento (TM) (Jackson, Jackson & Rosicky, 1995; Mon-Williams & McIntosh, 2000). Nas crianças (7 a 12 anos) a presença de flanqueadores condiciona o mesmo padrão de comportamento motor observado nos adultos. Este efeito diminui à medida que os flanqueadores vão sendo afastados do objecto-alvo, mas as crianças mais novas (7-8 anos) são mais sensíveis à presença dos flanqueadores, mesmo quando estes estão a 9cm do objecto-alvo e já têm pouco efeito nos adultos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005).

Objectivo

Algumas variáveis são utilizadas frequentemente para caracterizar padrões de preensão: o TM, o pico de velocidade na componente de transporte, e a variação do afastamento dos dedos. Neste estudo pretendemos estudar o padrão de preensão de crianças e de adultos, na acção de agarrar duas pequenas esferas, ladeadas de flanqueadores. Colocámos as seguintes hipóteses: i) as crianças apresentam um menor MA que os adultos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005); ii) as crianças apresentam TM superiores aos adultos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005); e, iii) as crianças atingem o pico de velocidade na componente de transporte mais cedo que os adultos (Pryde, Roy & Campbell, 1998).

Metodologia

Amostra

Oito adultos 21,38(\pm 1,92) anos, estudantes do ensino superior, destrímanos, quatro do sexo masculino e quatro do sexo feminino, e cinco crianças 5,6(\pm 0,54) anos, três do sexo feminino e duas do sexo masculino, uma delas sinistrómana. A lateralidade dominante foi determinada pelo questionamento da mão usada na escrita e pelo lançamento de uma bola. Foram respeitados princípios de confidencialidade e registado consentimento informado.

Condições Experimentais e Materiais

A tarefa consistia em agarrar duas esferas, com 8mm e 16mm de diâmetro, ladeadas por flanqueadores. Os flanqueadores são paralelepípedos vermelhos, com 10cm de altura e 2,5cm por 2,5cm de base, e estão localizados lateralmente ao objecto a agarrar e perpendicularmente ao plano frontal do executante. As esferas são de madeira e pesam menos de 5g cada; têm dois círculos negros marcados em extremos opostos e paralelos ao plano frontal do sujeito. O diâmetro da esfera mais pequena corresponde a 10% do maior afastamento possível médio entre o polegar e o indicador das crianças (Konczak, Borutta, Topka & Dichgans, 1995), encontrado em Catela, Seabra e Barreiros (2007b) (86,3 \pm 7,34mm). O diâmetro da esfera maior é o dobro do da esfera mais pequena e sensivelmente 3mm mais que 10% do afastamento máximo, encontrado em Catela, Seabra e Barreiros (2007b) (133,0 \pm 13,03mm). O critério para a definição do espaço mínimo entre a superfície da esfera e dos flanqueadores foi a espessura média do polegar, por grupo etário (crianças: 11,80 \pm 1,30mm; adultos: 15,63 \pm 1,41mm). Estes valores são inferiores aos usados noutros estudos similares, e.g., Tresilian, Mon-Williams, Coppard e Carson (2005).

Procedimentos

Os procedimentos são iguais aos descritos por Catela, Seabra e Barreiros (2007b). Essencialmente concebeu-se uma tarefa que relativizava as principais variáveis morfológicas intervenientes na acção. Crianças e adultos foram confrontados com um espaço disponível para agarrar diferente e esferas colocadas a distâncias diferenciadas, contornando o efeito de variáveis moderadoras e assegurando um critério de relativismo conforme ao conceito de escala corporal (Warren, 1984).

Recolha dos Dados

Os marcadores (9x9mm) foram colocados: i) no canto inferior lateral radial da unha do indicador; ii) no canto inferior lateral radial do polegar; e, c) no aspecto superior do bordo do acrómio. O registo cinemático do movimento foi realizado por uma câmara DCR, modelo Sony HC30-E, para um PC, através de um cabo USB, directamente para o módulo CapDv, do programa APAS System da Ariel Dynamics. A câmara estava suspensa 2200mm acima da mesa, perpendicularmente ao tampo da mesa, e focada na zona de ocorrência do movimento. O cubo de calibração tinha 1180mm de altura por 1185mm de largura, com pontos (12mmx9mm) de 100 em 100mm. As medidas dos dedos foram na articulação interfalângica.

Tratamento dos Dados

Foi tratado um ensaio por sujeito. Para uma digitalização manual, foram definidos 6 pontos co-planares e uma frequência de filmagem de 50Hz. As trajectórias foram filtradas digitalmente, com um *low pass* numa frequência de corte de 5Hz. O início do movimento corresponde ao momento em que num dos marcadores se regista uma alteração sistemática dos dados, em pelo menos 1mm, no sentido do movimento; o final do movimento foi definido pelo momento em que é atingido o valor mínimo de afastamento entre os marcadores do polegar e do indicador, seguido de uma constância provisória ou uma inversão dos valores.

O tratamento estatístico foi realizado através do programa SPSS, v. 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Foi testada a normalidade da distribuição dos dados cinemáticos (teste Shapiro-Wilk). Para a comparação entre grupos etários e verificação da influência da ordem de apresentação das esferas foi empregue o teste U de Mann-Whitney. Por grupo etário, para a comparação das variáveis dependentes entre esferas, foi usado o teste Wilcoxon Signed Ranks. Para a comparação entre géneros foi usado o teste U de Mann-Whitney. Para a relação entre o MA e o diâmetro das esferas e entre diâmetro da esfera e variáveis cinemáticas foi empregue a correlação *rho* de Spearman. Por sujeito, foi determinada a proporção entre o máximo afastamento dos dedos e o diâmetro de cada esfera (MA/D). A confrontação directa com os resultados encontrados por Catela, Seabra e Barreiros (2007b) é possível porque se trata da mesma amostra

e se recorreu a uma adaptação do método de replicação cruzada no desenho experimental, i.e., a ordem das condições de agarrar as esferas isoladas e de as agarrar flanqueadas foi alternada entre os sujeitos.

Resultados

Para ambas as esferas e em ambos os grupos etários os valores das variáveis cinemáticas revelaram distribuição normal, excepto, nos adultos o TtMA para a esfera de 8mm e o MA para a de 16mm. A ordem de apresentação das esferas não teve influência nas variáveis cinemáticas. Na esfera maior, as crianças revelaram uma relação igual da largura do polegar e do indicador com o TtMA ($\rho = 0,894$, $p < 0,05$). Na esfera menor, os adultos revelaram uma relação entre a espessura do polegar e a percentagem de tempo até ao máximo afastamento dos dedos (%TtMA) ($\rho = 0,738$, $p < 0,05$).

Na esfera menor, o TM é mais elevado nas crianças ($1960 \pm 588,72\text{ms}$) que nos adultos ($1772 \pm 889,10\text{ms}$). No entanto esta diferença não é significativa. Crianças e adultos registaram tempos superiores com a esfera menor que com a maior (crianças - $1656 \pm 445,28\text{ms}$, $z = 2,023$, $p < 0,05$; adultos - $1625 \pm 688,58\text{ms}$, $z = 1,014$, $p > 0,05$); esta diferença é significativa nas crianças. Comparativamente com Catela, Seabra e Barreiros (2007b), os adultos revelaram um TM significativamente superior tanto na esfera menor ($z = 2,328$, $p < 0,05$) como na maior ($z = 2,328$, $p < 0,05$), e o conjunto da amostra ($N = 13$) despendeu significativamente mais TM com a esfera de 8mm ($z = 2,622$, $p < 0,05$) mas não com a de 16mm ($z = 1,782$, $p > 0,05$).

Contrariamente ao encontrado por Catela, Seabra e Barreiros (2007b), o TtVMP ocorreu sempre mais cedo nas crianças, com excepção do tempo efectivo para a esfera de 8mm (Tabela 2.8), provavelmente devido ao elevado desvio-padrão no grupo de adultos. Não foram detectadas diferenças entre esferas nas variáveis TtVMP e na %TtVMP (respectivamente, crianças: $z = 0,406$, $p > 0,05$; $z = 0,135$, $p > 0,05$; e, adultos: $z = 0,840$, $p > 0,05$; $z = 1,120$, $p > 0,05$).

Tabela 2.8 - Valores médios do tempo até à velocidade máxima do pulso (TtVMP) efectivos e percentuais, por esfera e por grupo etário.

	8mm (ms)	16mm (ms)	8mm (%)	16mm (%)
Crianças	244±118,65	188±46,04	12,42±4,33	11,88±3,82
Adultos	357±169,51	300±74,83	22,54±8,52	19,80±4,00
z, p	1,248, > 0,05	2,049, < 0,05	2,509, < 0,05	2,635, < 0,05

As diferenças de MA registadas entre adultos e crianças em ambas as esferas (Tabela 2.9), não são estatisticamente significativas¹⁴.

Tabela 2.9 – Valores médios do máximo afastamento (MA) efectivos e proporcionais ao diâmetro de cada esfera (8mm, 16mm; MA/D - 8mm; MA/D - 16mm), por grupo etário.

	8mm (mm)	16mm (mm)	MA/D - 8mm	MA/D - 16mm
Crianças	16,50±2,23	21,75±3,09	2,06±0,28	1,36±0,19
Adultos	19,08±3,36	23,67±3,63	2,38±0,42	1,48±0,22

Em ambos os grupos etários foi encontrado um MA maior na esfera maior (crianças - $z = 2,023$, $p < 0,05$; adultos - $z = 2,521$, $p < 0,05$). Paradoxalmente, se considerarmos a MA/D, crianças e adultos revelam um valor significativamente superior para a esfera menor ($z = 2,032$, $p < 0,05$; $z = 2,524$, $p < 0,05$, respectivamente) (Tabela 2.9). Em relação a Catela, Seabra e Barreiros (2007b), em ambas as esferas o conjunto da amostra ($N = 13$) afastou significativamente menos os dedos em termos efectivos (8mm - $z = 2,667$, $p < 0,05$; 16mm - $z = 3,181$, $p < 0,05$), e em termos relativos (MA/D - 8mm - $z = 2,667$, $p < 0,05$; MA/D - 16mm - $z = 3,185$, $p < 0,05$).

Os dois grupos etários gastaram mais TtMA com a esfera menor. Esta diferença não é significativa para crianças ($z = 1,214$, $p > 0,05$) nem para adultos ($z = 0,421$, $p > 0,05$). Por comparação com Catela, Seabra e Barreiros (2007b), o conjunto da amostra ($N = 13$) despendeu significativamente mais TtMA com a esfera menor ($z = 2,621$, $p < 0,05$) e com a maior ($z = 2,551$, $p < 0,05$). No entanto, quando esse tempo é relativo à duração total do movimento, as diferenças deixam de ser significativas.

¹⁴ Nos adultos, os marcadores dos dedos estão naturalmente mais afastados, o que poderia ter influenciado os resultados. De facto, os valores médios são sempre superiores aos das crianças (Tabela 12). Aparentemente, tal não teve influência estatística nos resultados obtidos.

Discussão

As hipóteses formuladas não tiveram confirmação estatística inferencial, embora as crianças tenham revelado em média menor afastamento dos dedos, mais TM e menos TtMA e TtVMP, principalmente com a esfera de 8mm de diâmetro. Estes resultados estão em conformidade com os encontrados por Pryde, Roy e Campbell (1998). As crianças foram mais sensíveis aos constrangimentos da tarefa, provavelmente por se sustentarem mais na informação visual disponível em cada momento da acção motora que os adultos para a planearem (Rösblad, 1996). As crianças revelaram uma menor %TtVMP (componente de transporte), em qualquer das esferas. Os ajustamentos metodológicos às características morfológicas de cada grupo etário e a ausência de constrangimentos temporais na tarefa podem ter contribuído para uma aproximação do padrão de comportamento entre crianças e adultos.

A comparação dos resultados com Catela, Seabra e Barreiros (2007b) confirma que os flaqueadores actuam como um constrangimento muito poderoso em ambas as componentes da acção de prensão, o qual deve ter interagido com o maior índice de dificuldade imposto pela esfera mais pequena. Os resultados obtidos com a esfera de 8mm são coincidentes com os encontrados por Jackson, Jackson e Rosicky (1995) e por Tresilian (1998). O efeito da variável diâmetro de esfera está patente, por exemplo, no maior afastamento relativo dos dedos na esfera menor, provavelmente para assegurar uma margem de segurança maior para a preparação do contacto dos dedos com o objecto.

As relações entre características antropométricas dos dedos e alguns parâmetros cinemáticos das componentes de transporte e de agarrar confirmam a influência dos constrangimentos morfológicos na acção motora (Newell, 1986).

Conclusões

Crianças e adultos perceberam visualmente a affordance das pinças para agarrar a esfera, comparativamente ao uso dos dedos, i.e., reconheceram-lhes uma função (Estudo I), e determinaram hapticamente o seu comprimento (Estudo II), ou seja, tanto o sistema perceptivo visual como o háptico permitiram a adultos e crianças identificar propriedades funcionais e físicas de um objecto, que desempenhará o papel de instrumento.

Como o nosso problema principal é a capacidade que teremos de incorporar o instrumento na nossa acção motora, e como o comprimento do par de pinças ou de prolongamentos mais compridos foi mais fácil e de uma forma mais precisa de determinar hapticamente, elegemo-lo como preferencial para o último estudo, pois poderá permitir-nos uma análise menos prolongada do processo de incorporação do instrumento durante a fase inicial da sua utilização e uma maior diferenciação das várias condições de prática.

O espaço entre o objecto e os flaqueadores será condicionado pela espessura do polegar. Este dedo é o mais espesso e o mais largo dos dois dedos que estarão envolvidos na componente de agarrar. A opção pelo critério espessura e não largura, prende-se com o facto de, decorrente da organização dos constrangimentos espaciais da tarefa, os dedos terem que ser posicionados de perfil, postura que, aliás, é a mais frequente na pega em pinça. O espaço assim definido, é inferior aos 20mm e, portanto, abaixo da percepção quase unânime que é possível agarrar o objecto sem pinças (Estudo I), o que assegura a utilidade do instrumento, no entanto, permitindo o agarrar do objecto sem o uso do instrumento (Estudo IV).

O objecto a agarrar será a esfera de 16mm de diâmetro, pois é com esta que as crianças mais se aproximam perceptivamente e cinematicamente dos adultos. No estudo I, é com esta esfera que as crianças revelaram uma transição abrupta entre as opções “consegue”/”não consegue” agarrar, embora só na condição de uso dos dedos. Nos estudos IV e V, é com esta esfera que as

crianças revelam diferenças cinemáticas nulas ou não significativas em relação aos adultos. O mesmo não acontecendo para a esfera de 8mm de diâmetro onde principalmente a percentagem de tempo até ao pico de velocidade da componente de transporte é significativamente inferior, decorrendo deste dado uma maior necessidade das crianças prepararem o contacto com a esfera.

Relativamente à distância ao objecto, ela também será determinada em função das características morfológicas individuais de cada sujeito. A equação obtida, sustentada na elevada correlação ($Y=(-)100,0+(X*0,875)$; $r^2= 0,931$), aparenta permitir-nos uma previsão da distância a que devemos colocar uma esfera pequena a agarrar, de um qualquer sujeito, a partir da distância entre o acrómio e a extremidade do polegar. Mas, como já argumentámos, se pedir ao sujeito que pouse a esfera a uma distância que lhe seja confortável nos permitiu tal resultado, vamos usá-la como tarefa critério para determinar a distância a que devemos poisar a esfera que cada sujeito deve agarrar. Este critério respeita o conceito de escala corporal (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987), e permite respeitar a diferença percentual que subsiste entre crianças e adultos.

A opção pela medição do comprimento do membro superior até ao polegar, justifica-se pelo facto do polegar ser mais curto que o indicador e estar morfológicamente mais recuado. Em termos funcionais, para a acção de agarrar é um constrangimento importante na cinemática deste comportamento motor.

Referências Bibliográficas

- Bennett, K.M.B., Mucignat, C., Waterman, C., & Castiello, U. (1994). Vision and the reach to grasp movement. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the reach to grasp movement* (pp. 171-195). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Berthier, N.E., & Keen, R. (2006). Development of reaching in infancy. *Experimental Brain Research*, 169, 507-518.
- Biegstraaten, M., Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (2003). The influence of obstacles on the speed of grasping. *Experimental Brain Research*, 149, 530-534.
- Bushnell, E.W., & Boudreau, J.P. (1993). Motor development and the mind: the potential role of motor abilities as a determinant of aspects of perceptual development. *Child Development*, 64, 1005-1021.

- Bushnell, E.W., & Boudreau, J.P. (1998). Exploring and exploiting objects with the hands during infancy. In K. S. Connolly (Ed.), *The Psychobiology of the Hand* (pp. 144-161). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carello, C., Thuot, S., & Turvey, M.T. (2000). Aging and the perception of a racket's sweet spot. *Human Movement Science, 19*, 1-20.
- Carello, C., Thuot, S., Anderson, K.L. & Turvey, M.T. (1999). Perceiving the sweet spot. *Perception, 28*, 307-320.
- Castiello, U., Bennett, K.M.B., & Stelmach, G.E. (1993). Reach to grasp: the natural response to perturbation of object size. *Experimental Brain Research, 94*, 163-178.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007a). Constrangimentos morfológicos e cinemática do transporte de um objecto em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 261-266). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007b). Tamanho do objecto e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 267-272). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007c). Obstáculos e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 273-278). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Cesari, P., & Newell, K.M. (1999). The Scaling of Human Grip Configurations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*, 4, 927-935.
- Chieffi, S., & Gentilucci, M. (1993). Coordination between the transport and the grasp components during prehension movements. *Experimental Brain Research, 94*, 471-477.
- DeLoache, J.S., & Brown, A.L. (1987). The early emergence of planning skills in infancy. In J. Bruner & H. Haste (Eds.), *Making sense: The child construction of the world* (pp. 108-130). New York: Methuen.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology, 47*, 381-391.
- Gentilucci, M., Castiello, U., Corradini, M.L., Scarpa, M., Umiltà, C., & Rizzolatti, G. (1991). Influence of Different Types of Grasping on the Transport Component of Prehension Movements. *Neuropsychologia, 29*, 5, 361-378.
- Gibson, J.J. (1979/1986). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.

- Haggard, P. (1994). Perturbation studies of coordinated prehension. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the reach to grasp movement* (pp. 151-170). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Hay, L. & Redon, C. (2001). Development of postural adaptation to arm raising. *Experimental Brain Research*, *139*, 224-232.
- Haywood, K. (1979). Age differences in movement time over distances proportional to size. *Perceptual and Motor Skills*, *48*, 309-310.
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, *7*, 14, 2325-2330.
- Jackson, S.R., Jackson, G.M., & Rosicky, J. (1995). Are non-relevant objects represented in working memory? The effect of non-target objects on reach and grasp kinematics. *Experimental Brain Research*, *102*, 519-530.
- Jackson, S.R., Jackson, G.M., & Rosicky, J. (1995). Are non-relevant objects represented in working memory? The effect of non-target objects on reach and grasp kinematics. *Experimental Brain Research*, *102*, 519-530.
- Jakobson, L.S., & Goodale, M.A. (1991). Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Experimental Brain Research*, *86*, 199-208.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movement. *Journal of Motor Behavior*, *26*, 3, 235-254.
- Klatzky, R.L., Lederman, S.J., & Mankinen, J.M. (2005). Visual and haptic exploratory procedures in children's judgments about tool function. *Infant Behavior & Development*, *28*, 240-249.
- Konczak, J., Borutta, M., Topka, H., & Dichgans, J. (1995). The development of goal-directed reaching in infants: hand trajectory formation and joint torque control. *Experimental Brain Research*, *106*, 156-168.
- Kritikos, A., Jackson, G.M., & Jackson, S.R. (1998). The influence of initial hand posture on the expression of prehension parameters. *Experimental Brain Research*, *119*, 9-16.
- Kuhtz- Buschbeck, J.P., Boczek-Funcke, A., Illert, M., Joehnk, K., & Stolze, H. (1999). Prehension movements and motor development in children. *Experimental Brain Research*, *128*, 65-68.
- Kuhtz- Buschbeck, J.P., Stolze, H., Jöehnk, K., Boczek-Funcke, A., & Illert, M. (1998). Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, *122*, 424-432.
- Lederman, S., & Klatzky, R. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, *19*, 342-368.

- Marteniuk, R.G., MacKenzie, C.L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Duglas, C. (1987). Constraints on Human Arm Movements. *Canadian Journal of Psychology*, *41*, 365-378.
- Marteniuk, R.G., MacKenzie, C.L., Leavitt, J.L. (1990). The inadequacies of a straight physical account of motor control. I H.T.A. Whiting, O.G. Meijer, & P.C.W. van Wieringer (Eds.), *The natural physical approach to movement control* (pp. 95-115). Amsterdam: Free University Press.
- Mason, C.R., Gomez, J.E., & Ebner, T.J. (2001). Hand synergies during reach-to-grasp. *Journal of Neurophysiology*, *86*, 2896-2910.
- Mon-Williams, M., & McIntosh, R.D. (2000). A test between two hypotheses and a possible third way for the control of prehension. *Experimental Brain Research*, *134*, 268-273.
- Mon-Williams, M., Tresilian, J.R., Coppard, V.L., & Carson, R.G. (2001). The effect of obstacle position on reach-to-grasp movement. *Experimental Brain Research*, *137*, 497-501.
- Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Withing (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Paulignan, Y., Jeannerod, M., MacKenzie, C., & Marteniuk, R. (1991). Selective perturbation of visual input during prehension movements. 2. The effects of changing object size. *Experimental Brain Research*, *87*, 407-420.
- Pryde, K.M., Roy, E.A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science*, *17*, 743-752.
- Reed, E.S. (1988). Applying the theory of action systems to the study of motor skills. In O G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex Movement Behaviour: "The" motor-action controversy* (pp. 45-86). North-Holland: Elsevier Publishers B. V.
- Rösblad, B. (1996). Roles of Visual Information for Control of Reaching Movements in Children. *Journal of Motor Behavior*, *29*, 2, 174-182.
- Roy, A.C., Paulignan, I., Meunier, M., & Boussaoud, D. (2007). Prehension movements in the macaque monkey: effects of perturbation of object size and location. *Experimental Brain Research*, *169*, 182-193.
- Schneiberg, S., Sveistrup, H., McFayen, B., McKinley, P., & Levin, M.F. (2002). The development of coordination for reach-to-grasp movements in children. *Experimental Brain Research*, *146*, 142-154.

- Schwartz, R.K., & Reilly M.A. (1981). Learning Tool Use: Body Scheme Recalibration and the Development of Hand Skill. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 1, 13-29.
- Sigmundsson, H., Whiting, H.T.A., & Loftness, J.M. (2000). Development of proprioceptive sensitivity. *Experimental Brain Research*, 135, 348-352.
- Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (1999). A New View on Grasping. *Motor Control*, 3, 237-271.
- Steenbergen, B., van der Kamp, J., Smitsman, A.W., & Carson, R.G. (1997). Spoon handling in two- to four-year old children. *Ecological Psychology*, 9, 113-129.
- Striano, T., & Bushnell, E. (2005). Haptic perception of material properties by 3-month-old infants. *Infant Behavior & Development*, 28, 266-289.
- Teyssèdre, C., Lino, F., Zattara, M, & Bouisset, S. (2000). Anticipatory EMG patterns associated with preferred and non-preferred arm pointing movement. *Experimental Brain Research*, 134, 435-440.
- Tresilian, J.R. (1998). Attention in action or obstruction of movement? A kinematic analysis of avoidance behavior in prehension. *Experimental Brain Research*, 120, 352-368.
- Tresilian, J.R., Mon-Williams, M., Coppard, V.L., & Carson, R.G. (2005). Developmental changes in the response to obstacles during prehension. *Journal of Motor Behavior*, 37, 103-110.
- Turvey, M.T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51, 1134-1152.
- van der Heide, J.C., Otten, B., van Eykern, L.A., & Hadders-Algra, M. (2003). Development of postural adjustments during reaching in sitting children. *Experimental Brain Research*, 151, 32-45.
- van der Kamp, J., Steenbergen, B., & Smitsman, A.W. (1993). Preliminaries for a natural physical approach to tool-use in children. In S.S. Valenti & J.B. Pittenger (Eds.), *Studies in perception and action II* (pp. 329-332). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- von Höfsten, C., & Rönqvist, L. (1988). Preparation for Grasping an Object: A Developmental Study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 4, 610-621.
- Wallace, S.A., & Weeks, D.L. (1988). Temporal constraints in the control of prehensile movement. *Journal of Motor Behavior*, 20, 81-105.
- Warren, Jr., W.H. (1984). Perceiving Affordances: Visual Guidance of Stair Climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 5, 683-703.

- Warren, Jr., W.H., & Whang, S. (1987). Visual Guidance of Walking Through Apertures: Body-Scaled Information for Affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 3, 371-383.
- Weir, P. (1994). Object property and task effects on prehension. In K.M.B. Bennett & U. Castiello (Eds.), *Insights into the reach to grasp movement* (pp. 129-150). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Wimmers, R.H., Savelsbergh, G.J.P., Beek, P.J., & Hopkins, B. (1995). Preliminary Evidence for a Developmental Transition from Reaching to Grasping Proper. In B.G. Bardy, R.J. Bootsman, and Y. Guiard (Eds.), *Studies in Perception and Action III* (pp. 107-110). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001). Sensation at the tips of invisible tools. *Nature Neuroscience*, 4, 10, 979-980.

Capítulo 3 - Incorporação do Instrumento

Enquadramento

Se o executante não tiver que manipular o instrumento, mas se ele estiver ligado a si, não iremos encontrar padrões de pega de orientação do instrumento na mão ou de localização da pega mas padrões de acção motora. Então, o foco da observação não incide no modo de manipular o instrumento ou como este modo evolui, mas no modo como o sistema preênsil se ajusta para utilizar o instrumento. O foco da observação incide sobre o sistema motor em si. Acoplar o instrumento ao membro preênsil também resulta na anulação de eventuais graus de liberdade inerentes ao próprio instrumento (e.g., Dingwell, Mah & Mussa-Ivaldi, 2002), tornando a acção predominantemente motora. A fixação do instrumento aos dedos também nos poderá permitir suspender alguma actividade neuro-motora associada à componente de agarrar o instrumento (Sirigu et al., 1995), permitindo ao executante centrar a sua atenção perceptiva¹⁵ na componente de transporte do instrumento e na componente de agarrar o objecto.

Se o instrumento está acoplado ao sistema motor preênsil e o executante tem que executar a acção motora de preensão, reduzimos o número de complementaridades espaciais e temporais entre organismo e instrumento, mas mantemos as relativas à relação entre instrumento e objecto a ser manipulado (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). Então, a questão centra-se na relação espacial e temporal entre executante mais instrumento e objecto, mantendo no entanto, a diferenciação entre o objecto causal motor, o sistema motor, e o objecto intermediário passivo, o instrumento (Michotte, 1951/1991).

Se o instrumento que está acoplado ao sistema motor preênsil não tiver a forma de qualquer instrumento culturalmente concebido e socialmente introduzido nos hábitos motores do executante (Creem & Proffitt, 2001), mas se no entanto possuir características que justifiquem a sua utilização, o problema não se situa ao nível do processo de aculturação ou de combinação de sub-acções para ter a percepção da sua função (Greenfield, 1991), mas à inferência directa da função do instrumento pela sua estrutura (Goldenberg & Hagmann, 1998; Hodges, Spatt & Patterson, 1999). O recurso a affordances será intrínseco à acção motora, a

¹⁵ A atenção perceptiva não tem limiar de estímulo detectável, como acontece com a atenção sensorial. Depende da idade, da qualidade da aprendizagem e da motivação do indivíduo. Estar atento às propriedades das superfícies pode designar-se por ver, por distinção a olhar. É às affordances que normalmente prestamos atenção num objecto (Gibson, 1986).

habilidade de resolução do problema mecânico é a da capacidade de transferir o acto de agarrar das polpas dos dedos para as extremidades do instrumento, sem a possibilidade de agarrar o instrumento perto do seu ponto de acção (Achard & von Höfsten, 2002).

O reajustamento do sistema motor a um aumento brusco do comprimento do membro preênsil, que é um constrangimento da tarefa (Newell, 1986) decorrente do acoplar do instrumento, vai requerer uma adaptação motora na acção de preensão e supostamente uma alteração das representações modulares do espaço pessoal e peripessoal do executante (Obayashi et al., 2001; Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001).

As ilações de Imamizu et al. (2003) e de Yamamoto e Kitazawa (2001a) sobre a transição da relação com o envolvimento da mão para o instrumento, vêm sobrepor-se aos resultados nos estudos de extinção modal cruzada (e.g., Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001, 2002), no sentido de reforçar o conceito de capacidade de plasticidade na representação do corpo, mais conhecida por esquema corporal, e que permite questionar se também não seremos capazes de reescalar as nossas acções no espaço, aquando do uso do instrumento. Se os constrangimentos da tarefa e executante formarem um sistema, é porque a acção motora é escalada, i.e., as propriedades do envolvimento são escaladas às partes do corpo que estão envolvidas na acção motora (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987). No caso dos mantídeos, nos quais há saltos de crescimento, a percepção da distância que a acção de alcançar a presa permite mantém-se estável. A hipótese de adaptação automática (Maldonado, Rodriguez & Balderrama, 1974), que postula que as estruturas envolvidas na percepção da distância apresentam elas próprias alterações dimensionais, que acompanham o crescimento físico, sustenta esta adaptação automática da percepção (Michaels, Prindle & Turvey, 1985). O padrão de crescimento do ser humano é tanto positivo como negativo entre os segmentos do corpo humano (Bogin, 1988), pelo que não nos parece que o exemplo dos mantídeos se possa aplicar ao ser humano. Quando utilizamos um instrumento para agarrar um objecto, o que acontece é uma alteração momentânea do comprimento do membro preênsil. Talvez aconteça que a informação seja reescalada à métrica corporal, mesmo que a relação escalar tenha que ser alterada em termos motores e perceptivos e de modo transitório (Barreiros, 2004).

Não conhecemos estudos em que crianças tenham desempenhado a mesma tarefa sem e com utensílio. Se a introdução do utensílio afectar o recurso a medições intrínsecas e ao ajustamento da mão, vista como uma unidade funcional, então importa-nos saber como a criança se comporta e se adapta a esta nova situação.

Do exposto, as principais questões que colocamos são:

Pode o instrumento ser visto como um elemento que é integrado no sistema motor, quando activamente usado?

A ocorrer esta integração, ela acontece de modo diferenciado entre crianças e adultos?

Esta reflexão é viável através da análise cinemática do uso de um instrumento. Durante a fase de aquisição, uma incorporação do instrumento e a emergência de uma nova efectividade deve resultar na componente de transporte numa progressiva diminuição do tempo de movimento, na ocorrência de um único pico de velocidade mais tardio. Na componente de agarrar deve verificar-se uma diminuição do afastamento das extremidades do instrumento preênsil, a ocorrência de uma única abertura máxima e um afastamento máximo mais tardio. Comparativamente e se o uso do instrumento for funcionalmente necessário, a sua ausência resultará num comportamento motor com um tempo de movimento mais longo e um pico de velocidade das componentes de transporte e agarrar a ocorrer mais cedo.

Pertinência do Estudo

No estudo do uso do instrumento, o que nos interessa é a solução motora *per se* - como é que o sistema motor resolve os problemas funcionais que o uso do instrumento coloca. Van der Kamp, Steenbergen e Smitsman (1993), abordam a questão a este nível; perante colheres que seriam cognitivamente classificáveis como disfuncionais, as crianças pequenas procuram soluções motoras no tipo de pega e na sua localização, através de uma reorganização das componentes - mão, dedos, colher, braço, antebraço, tronco, cabeça; como, por exemplo, o bloqueio de articulações e a escolha de pegas mais estáveis. Também no estudo

de Connolly e Elliott (1993) encontramos a emergência de soluções motoras, como levar a boca à colher e não a colher à boca, tidas como mais primitivas, mas reconhecidas como menos dispendiosas em termos de processamento de informação. Por ser uma solução motora mais económica não tem que ser considerada mais primitiva; talvez o seja socialmente mas não deixa de ser uma solução motora, resultante da interacção entre affordances, detectadas pelo executante no instrumento e de efectividades no seu sistema motor (cf. van der Kamp & Steenbergen, 1999). Mesmo que definamos essas efectividades como as diferentes posturas a partir da configuração anatómica dos segmentos corporais, como fizeram Connolly e Elliott (1972), a configuração anatómica da mão deve ser tida como um constrangimento morfológico natural que sustenta potenciais soluções motoras (e.g., Rosenbaum et al., 1995). Embora Smitsman et al. defendam a necessidade de numa perspectiva ecológica se questionar sobre que capacidades perceptivas são necessárias para ter a percepção de um objecto como um instrumento e que tipo de informação está disponível numa situação que especifica a affordance de um instrumento, em termos de relações complementares entre executante, instrumento e alvo, o que pretendemos reforçar é que o elemento que faz a ligação do nicho ecológico executante-instrumento-alvo é a acção motora (cf. Michotte, 1951/1991) e é na sua análise e compreensão que está a génese do desenvolvimento do uso do instrumento (cf. Bushnell & Boudreau, 1998). O pressuposto segundo o qual o comportamento motor é guiado pela percepção (e.g., Gibson, 1979/1986), deve ser acompanhado pelo pressuposto segundo o qual a percepção acontece porque a acção motora a justifica e desta depende para se desenvolver (Held & Hein, 1963). Acção motora e percepção constituem-se como um sistema.

Se o instrumento é incorporado no sistema motor (Inoue et al., 2001; Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001), então este adquire novas efectividades e a sua interacção com o envolvimento também se altera.

Não é a detecção da função do instrumento o cerne do presente estudo. Seguindo a lógica do princípio da dualidade entre affordance e efectividade (Shaw & Turvey, 1981), tentamos controlar experimentalmente a affordance inerente ao instrumento, para analisar o que acontece a nível da emergência de uma nova efectividade, isto é, dos ajustamentos ocorridos no comportamento motor, quando potenciado pelo uso do instrumento. Tal como no estudo de van der Kamp e

Steenbergen (1999), podemos recorrer à análise cinemática do movimento para deduzir como o instrumento é incorporado pelo sistema motor e no caso de o ser, como é que esse processo decorre nas crianças e nos adultos.

Variáveis

Como necessitamos de constituir amostras com estádios de desenvolvimento da preensão distintos, somos confrontados com uma variável fixa, porventura antecedente, genericamente associada à idade cronológica¹⁶, que, de facto, se coloca na cadeia causal antes da nossa variável independente.

O uso do instrumento é o *leitmotiv* deste estudo mas tem que ser justificado por um certo constrangimento na tarefa (Smitsman, 1997). De modo a assegurar o papel funcional do instrumento, introduzimos uma variável moderadora, o espaço disponível para agarrar o objecto, definido por flaqueadores, que embora também afecte a variável dependente (e.g., Jackson, Jackson & Rosicky, 1995; Mon-Williams & McIntosh, 2000), é, neste estudo, de importância secundária em relação à variável independente. A sua presença deve ser a despoletadora de um atrator motivacional (Thelen & Smith, 2002). Dada a sua relevância, a ela foi reservado um estudo preliminar.

A variável dependente é, no essencial, o padrão cinemático produzido durante a acção de preensão, e será especificada em certos fenómenos experimentalmente já identificados por outros, como o afastamento máximo dos dedos ou o momento de máxima velocidade de transporte do membro (e.g., Marteniuk, MacKenzie & Leavitt, 1990). À variável dependente reservaremos uma análise mais pormenorizada.

¹⁶ A idade dos executantes será a cronológica, por excesso ou por defeito em relação a uma idade motora que desconhecemos à partida, mas que só é possível determinar em estudos longitudinais (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). Reconhecemos fragilidade neste critério de constituição das amostras e que é anulador de uma eventual pretensão em classificar este estudo como sendo fundamentalmente sobre desenvolvimento motor, que não é a nossa (cf. Schneider, 1993).

Uma potencial variável interveniente¹⁷ é a percepção háptica. É possível que os dados obtidos resultem da capacidade perceptiva háptica de cada grupo etário em detectar propriedades físicas do instrumento (Bushnell & Boudreau, 1998).

Da revisão bibliográfica mais alargada que realizámos sobre a preensão, detectámos um conjunto de variáveis que pretendemos que sejam de controlo, isto é, que tentaremos neutralizar *a priori*, pois poderão intervir na relação entre a variável dependente e independente. A título de exemplo identificamos as seguintes: superfície de apoio da coxa, na posição de sentado (Teyssèdre, Lino, Zattara & Bouisset, 2000); peso de objectos acoplados ao membro preênsil (Weir et al., 1991b); forma do objecto a agarrar (Tresilian & Stelmach, 1997); distância da mão ao objecto a agarrar (Konczak, 1990). Durante a descrição da metodologia anotaremos os aspectos que nos mereceram maior atenção e forneceremos referências bibliográficas quando foi possível sustentar ou reflectir sobre as nossas opções.

Variáveis Dependentes

Jeannerod (1984) salienta três elementos essenciais: a) a acção de preensão pode subdividir-se em duas componentes- a de transporte e a de agarrar, b) a acção de preensão é composta por duas fases- uma inicial rápida, sensivelmente até à abertura máxima dos dedos, e uma final lenta, até ao contacto com o objecto, c) nos objectos visualizamos propriedades extrínsecas, e.g., distância ou orientação, que estão relacionadas com a activação dos músculos proximais, i.e., com a componente de transporte, e propriedades intrínsecas ao objecto alvo, e.g., forma ou textura, que estão relacionadas com a activação dos segmentos distais, i.e., com a componente de agarrar.

¹⁷ Não prevemos que a percepção háptica seja a verdadeira variável independente. Bushnell e Boudreau (1998) defendem que nos dois primeiros anos de vida esta capacidade perceptiva está suficientemente desenvolvida. Outros autores demonstram que sustentar e movimentar um objecto propicia informação háptica (Carello, Thuo, Anderson & Turvey, 1999) e que a acção motora é influenciada por esta (Bootsma & van Wieringen, 1990). Catela, Seabra & Barreiros (2007b) mostraram que crianças de 5-6 anos de idade conseguem determinar labilmente o comprimento de pequenos implementos acoplados aos dedos polegares e indicadores (Estudo II).

Na fase rápida do movimento o sistema motor funcionará em circuito aberto, concomitantemente com a orientação do membro e a modelação da posição relativa dos vários segmentos da mão, passando depois a funcionar em circuito fechado, o que permitirá correcções da trajectória durante a aproximação ao alvo e o posicionamento definitivo da mão e dos dedos para o agarrar (Paillard, 1982).

O tamanho do objecto a agarrar afecta a fase da componente de transporte, e.g., menor objecto resulta em mais tempo entre a abertura máxima dos dedos e o contacto (Marteniuk, MacKenzie & Leavitt, 1990).

A existir coordenação entre as componentes de transporte e de agarrar, perturbações durante o movimento resultarão em adaptações nas componentes de transporte e de agarrar (Bootsma & van Wieringen, 1992). De facto, a deslocação do objecto a agarrar, durante a execução do movimento, afecta a componente de agarrar (Paulignan et al., 1990), o que significa que é a informação recolhida pelo sujeito-actor que regula esta fase da acção de apreensão, e que portanto estamos perante um verdadeiro ciclo acção-percepção (Gibson, 1979/1986).

Arbib e Hoff (1994) assumem que as fases lenta e rápida do movimento do membro não dependem da actividade de controladores separados, pelo que é duvidoso que seja a transição articulada daquelas duas fases que resulta no início do fecho dos dedos (Hoff & Arbib, 1992).

Smeets e Brenner (1999) recorrem aos estudos de Wing et al. (1986, 1983) para defender que polegar e indicador são controlados do mesmo modo, mas a sua trajectória difere devido a diferenças na orientação e superfície de contacto das extremidades bem como nos perfis de velocidade, o indicador atinge um pico de velocidade mais elevado e que ocorre mais cedo. O seu modelo permite prever que a abertura dos dedos aumenta e ocorre *mais cedo* se o parâmetro

de aproximação¹⁸ é aumentado devido a constrangimentos da tarefa. Mon-Williams e McIntosh (2000) testaram este modelo colocando flaqueadores a distâncias variadas do objecto a ser agarrado. Recorreram à equação da Lei de Fitts e remodelaram-na de modo a prever o tempo de movimento a partir da variação do espaço deixado pelos flaqueadores para o indicador e o polegar. Interpretam os resultados que obtiveram como indicando que o sistema nervoso selecciona um dos dedos para o transporte para o objecto a ser agarrado e que esta selecção depende dos constrangimentos da tarefa. Mais recentemente, Smeets e Brenner (2001) sustentaram a independência motora entre os dois dedos; para qualquer das mãos os movimentos do polegar são mais variáveis e este revela um mais precoce início de afastamento, adicionalmente, o momento de máximo afastamento dos dois dedos ocorreu separadamente. Biegstraaten, Smeets e Brenner (2003) replicaram estes resultados usando flaqueadores em várias posições relativamente ao objecto a agarrar; mas ao invés de Mon-Williams e McIntosh (2000) recorreram a uma adaptação da equação de Welford et al. (1969), onde a amplitude do movimento e a largura do alvo são factores independentes.

Rosenbaum et al. (1995, 1999), com um modelo concebido para executar o alcançar com uma mão no plano sagital, alinhado com o ombro ipsilateral, predizem que: a) as velocidades angulares das articulações estão linearmente relacionadas, o que significa reduzir o número de graus de liberdade a controlar; b) quando o custo de uma articulação aumenta, e.g., perda de mobilidade, outras são envolvidas; c) quando é necessária precisão espacial, os custos de percurso são desvalorizados, pelo que efectores com custos maiores podem ser mais usados; e, d) saltos de crescimento resultam numa redução na precisão e alterações na velocidade do alcançar.

Com base na investigação existente sobre o padrão da acção de preensão¹⁹ e as premissas mais relevantes dos principais modelos teóricos,

¹⁸ O valor do parâmetro de aproximação depende da relação entre precisão do posicionamento dos dedos e da variabilidade da sua trajectória. Quanto mais perpendicular for a aproximação, maior a precisão do contacto, maior o valor do parâmetro de aproximação.

¹⁹ Para uma revisão bibliográfica detalhada sugerimos o livro de MacKenzie e Iberall (1994) e o número 3 da revista *Motor Control* (1997).

elegemos como variáveis dependentes as seguintes características cinemáticas:

1- Tempo do movimento (TM) (Arbib & Hoff, 1994). O tempo do movimento está directamente relacionado com a dificuldade da tarefa (Fitts, 1954), se o instrumento é útil e é integrado na acção motora, então o tempo de movimento confirmará uma redução da dificuldade da tarefa.

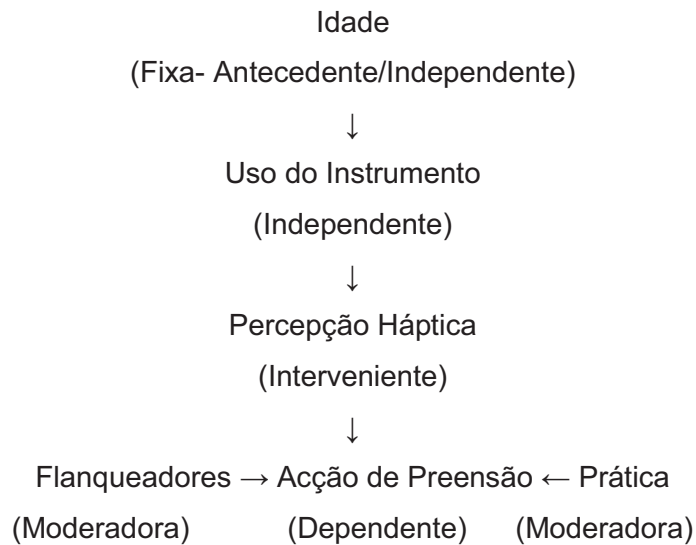
2- Tempo até ao pico de velocidade na componente de transporte (TtVMC) e tempo até ao pico de velocidade na componente de agarrar (TtVMD) (Jeannerod, 1984). Se houver uma reorganização funcional dos graus de liberdade mecânicos (Bernstein, 1967), estas variáveis relacionar-se-ão (Bootsma & van Wieringen, 1992).

3- Máximo afastamento dos dedos (MA) e das extremidades do instrumento (ME). O MA está relacionado com tamanho do objecto a agarrar (Marteniuk et al., 1990) e é condicionado pela presença de flanqueadores (Jackson, Jackson & Rosicky, 1995). Se o instrumento for incorporado haverá tendência para apresentar um valor idêntico ao revelado aquando do não uso do instrumento (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004).

4- Máxima distância percorrida pelo tronco (DO) (Rosenbaum et al., 1995). O objecto no espaço peripessoal implicará a mobilização mais dispendiosa do tronco, o que não deverá verificar-se aquando do uso do instrumento. Adicionalmente, é de prever uma articulação entre a DO e as componentes de transporte e de agarrar (Wang e Stelmach, 2001).

5- Máximo afastamento do ângulo do cotovelo (EC). Se o início da prática com instrumento implicar uma congelação de graus de liberdade distais e mobilização de graus de liberdade proximais (Wickstrom, 1983; van der Kam & Steenbergen, 1999), então a DO será privilegiada em detrimento da EC. Quando é necessária precisão espacial, os custos de percurso são desvalorizados, pelo que efectores com custos maiores podem ser mais usados (Rosenbaum et al., 1995).

Em termos esquemáticos, podemos representar do seguinte modo a relação entre as variáveis do estudo, excluindo as de controlo:



Hipóteses

Para a formulação das hipóteses temos que respeitar essencialmente duas dimensões: a da aprendizagem motora e a do desenvolvimento motor. Ambas estão intrinsecamente relacionadas com a variável idade e com a prática.

Submetendo qualquer pessoa a uma situação que lhe é inabitual, ela mobilizar-se-á num processo de reajustamento motor, através da procura e selecção de novas soluções motoras; este é um processo de aquisição visuomotora que poderá resultar em aprendizagem motora (Clower & Boussard, 2000).

Confrontando executantes em diferentes fases do desenvolvimento motor perante uma mesma situação motora, devem emergir na prestação motora traços caracterizadores dos constrangimentos do organismo de cada uma dessas fases (e.g., Haywood, 1979; Ulrich, Thelen & Niles, 1990; Konczak, 1990).

Portanto, também na formulação das hipóteses teremos que contemplar estes dois níveis de abordagem, tendo sempre presente que o objectivo deste estudo é de verificar se o instrumento é incorporado na acção motora.

Hipóteses Operacionais

Em termos cinemáticos:

1- Confrontado com um constrangimento espacial e aquando do uso do instrumento, o executante revela um padrão motor mais eficiente (novas efectividades; Reed, 1988; Ackroyd et al., 2002, com implemento).

2- Confrontado com um constrangimento espacial, no final da prática com o instrumento, o executante aproxima-se do padrão de execução motora que revela aquando da ausência do uso do instrumento e de constrangimento espacial (plasticidade da representação do corpo; Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001; Obayashi et al., 2001 e Ishibashi, Hihara & Iriki, 2000).

3- No início da prática com instrumento, em termos cinemáticos o executante revela um padrão motor com congelação distal de graus de liberdade e mobilização proximal de graus de liberdade (graus de liberdade- Bernstein, 1967; Rosenbaum et al., 1995; van der Kamp & Steenbergen, 1999).

4- Confrontado com um constrangimento na tarefa, no final da prática com o instrumento, a mobilização de graus de liberdade decorre de forma coordenada (estruturas coordenativas- Bernstein, 1967; Connolly & Dalglish, 1993; Ishibashi, Hihara & Iriki, 2000, com macacos; Wang & Stelmach, 2001, para o agarrar).

5- Confrontadas com um constrangimento espacial na tarefa, no início da prática com instrumento, as crianças revelam uma mais acentuada congelação de graus de liberdade distais e mobilização de graus de liberdade proximais (desenvolvimento neuromuscular próximo-distal- Wickstrom, 1983; van der Kam & Steenbergen, 1999, com adultos).

A primeira hipótese testa a funcionalidade do instrumento e é condição *sine qua non* para o objecto ser considerado como tal. O modo como a formulamos enquadra-se na perspectiva que o instrumento é um objecto funcional (Connolly & Elliot, 1972), que aumenta a nossa capacidade de acção (Gibson, 1986) e cujo uso é subordinado à relação como envolvimento (van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997).

A segunda hipótese testa o objectivo do estudo - a capacidade de incorporação do instrumento na acção motora - porque assumimos que o uso do instrumento implica uma mudança da fronteira entre o sistema motor e o envolvimento (Steengergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997), sustentada na capacidade bimodal de células cerebrais (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996).

Com a terceira hipótese abordamos o problema não da capacidade mas do processo de incorporação do instrumento. Embora alguns estudos revelem que

este processo emerja automaticamente e sem intervenção cognitiva (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002), sustentado na capacidade do córtex parietal em proceder a uma integração multissensorial (Inoue et al., 2001), Bernstein (1967) postulou que na fase de aquisição de uma habilidade motora ocorre uma congelação de graus de liberdade mecânicos, a qual no estudo com instrumento de van der Kamp e Steenbergen (1999) aponta para uma estratégia de congelação de graus de liberdade distais e mobilização dos proximais, o que também é preconizado no modelo teórico de Rosenbaum et al. (1995).

A quarta hipótese também decorre de uma análise do processo de incorporação do instrumento, mas num momento em que a supressão de certos e a mobilização de outros graus de liberdade mecânicos, dá lugar a uma reorganização funcional (Bernstein, 1987), neste caso do sistema motor com o instrumento acoplado, ou, se desejarmos, incorporado.

Introduzimos a quinta hipótese para observar o reconhecimento do papel de constrangimentos orgânicos (Newel, 1986) no processo de aquisição de uma habilidade motora (Konczak, 1990), neste caso com um instrumento.

A terceira e a quarta hipótese são condicionadas por questões da aprendizagem motora e equacionam o processo de incorporação do instrumento, e a última por questões do desenvolvimento motor. Para melhor compreensão do assunto que pretendemos abordar com cada uma das hipóteses formuladas, identificamos entre parêntesis o problema subjacente, um autor de referência para esse problema e um estudo característico.

Desenho Experimental

Tratando-se de um estudo em que se pretende observar o processo de adaptação do executante ao uso do instrumento e como este ocorre em determinados momentos do processo de desenvolvimento motor, carecemos de um desenho experimental que contemple uma dimensão microgenética e uma dimensão transversal (Kalverboer, 1993).

Estando os elementos de cada amostra consignados a um determinado momento do desenvolvimento motor, estamos perante grupos não-equivalentes,

ou seja grupos que já possuem uma característica que lhes é inerente. Só deste modo será possível testar a hipótese 5.

Embora cada grupo etário seja sujeito a programas experimentais, como o agarrar com um instrumento acoplamento, não teremos grupo de controlo. Por isso, é essencial a realização de uma medida do comportamento motor na tarefa sem constrangimentos experimentais, o que de certa forma compensará a ausência de um grupo de controlo e reduzirá maior fragilização da validade interna do estudo. Este é um estudo quasi-experimental.

As condições a que submetemos as nossas amostras neste estudo são as seguintes:

1) Preensão sem instrumento e sem obstáculos no espaço pessoal - Agarrar uma esfera pousada no tampo da mesa, a uma distância confortável (Catela, Seabra & Barreiros, 2007a, b), transportá-la e pousá-la numa caixa, localizada no plano mediano do executante e alinhada com a posição de partida; e voltar com mão à posição inicial; adiante identificada como “P”;

2) Preensão sem instrumento e sem obstáculos no espaço peripessoal - Agarrar uma esfera pousada no tampo da mesa, à distância de alcance do polegar mais o comprimento do polegar (média por grupo etário), transportá-la e pousá-la como anteriormente descrito; adiante identificada como “PP”;

3) Preensão sem instrumento e com obstáculos no espaço peripessoal – Similar à condição 2 mas com a esfera ladeada por flanqueadores (espaço disponível igual à media da espessura do polegar por grupo etário); adiante identificada como “F”;

4) Preensão com instrumento e com obstáculos no espaço peripessoal – Similar à condição 3 mas com pinças acopladas aos dedos polegar e indicador (espaço disponível igual à media da espessura do polegar por grupo etário); adiante identificada como “ICF”;

4) Preensão com instrumento e sem obstáculos no espaço peripessoal – Similar à condição 4 mas sem a presença de flanqueadores; adiante identificada como “ISF”.

O estudo resultou numa expansão do desenho experimental a nível dos grupos (Tabela 3.1), ajudando a prevenir algumas ameaças à validade interna do estudo, como, por exemplo, o de aprendizagem pela experiência na testagem ou o relativo à experiência prévia com a instrumentação. Num desenho experimental sem a protecção de grupos de controlo esta é uma necessidade efectiva. A existência de outros efeitos poderá ser detectada através da aplicação da Anova Two-Way de medidas repetidas mista (grupo etário x estudos) para despistar a plausibilidade de interacções.

Tabela 3.1 - Desenho experimental para dois grupos etários ($N_{crianças}$; $N_{adultos}$) e respectivo tamanho de amostra (N), com a identificação temporal da ocorrência das condições experimentais (P, PP, F, ICF, ISF).

Amostra	N	Condições Experimentais						
$N_{crianças}$	11	P	PP	ICF	PP	F	PP	ISF
	11	P	PP	F	PP	ICF	PP	ISF
$N_{adultos}$	11	P	PP	ICF	PP	F	PP	ISF
	12	P	PP	F	PP	ICF	PP	ISF

Para compensar a inexistência de grupos de controlo no presente estudo, recorreremos às condições P e PP, isto é, sem flaqueadores e sem instrumento, o que resulta nalguma expansão temporal das recolhas (Tabela 1); comparando com a condição PP com as condições F e ICF podemos testar as nossas hipóteses 2 e 3.

Para lá do risco de contaminação dos resultados pela experiência adquirida nas condições experimentais anteriores pode também acontecer risco de regressão da média, ocultando influências reais da variável independente, quer por indivíduo quer eventualmente no conjunto de cada amostra, pois os indivíduos não foram seleccionados de forma verdadeiramente aleatória. Para obviar estes fenómenos, incluímos uma replicação alternada; através da divisão de cada grupo etário em dois sub-grupos, os quais experimentaram na ordem inversa o impacto da variável moderadora (condição F) e da variável independente (condição ICF) (Tabela 1). Caso não existam diferenças significativas na comparação dos resultados na variável dependente entre os sub-grupos de cada grupo etário, tal significa que os riscos mencionados não ocorreram e que poderemos juntar os sub-grupos, aumentando o tamanho da amostra.

A hipótese 1, detecção da funcionalidade dos objectos acoplados aos dedos como um instrumento (Smitsman, 1997), deve ficar expressa na similaridade dos padrões de movimento da variável dependente quando compararmos os dados obtidos aquando do uso exclusivo do instrumento (condição ISF) e do seu não uso (condição P); e, da sua dissimilaridade aquando do seu não uso mas com constrangimentos espaciais (condição F).

A implementação neste estudo de um maior número de ensaios para a variável independente (condição ICF) permite testar as hipóteses 3 e 4, ao comparar a prestação no início e no fim de cada programa, e a hipótese 5, por comparação da prestação entre grupos etários nos ensaios iniciais.

O facto de se tratar de um estudo de dimensão microgenética, em que os resultados são recolhidos numa única sessão, anula riscos associados a experiências fora do contexto experimental ou ao processo de desenvolvimento dos indivíduos, tal como riscos associados à mortalidade na amostra. A difusão da experiência vivida entre elementos do mesmo grupo etário é possível, mas não o é entre grupos etários distintos. Proceder-se-á a observações individuais e isoladas para prevenção de eventuais efeitos de aprendizagem por observação.

Metodologia

Amostras

A escolha dos intervalos etários justifica-se pelo facto das crianças poderem ser afectadas pela eclosão do salto intermédio no crescimento físico, por volta dos 7-8 anos de idade (Bogin, 1988), e por volta dos 10 anos de idade já tenderem para apresentar um padrão temporal de preensão idêntico ao dos adultos (e.g., Seabra, 1997). Pretende-se assim observar um padrão de preensão não afectado por alterações significativas no crescimento físico. A lateralidade dos executantes foi determinada através da mão dominante para a escrita.

A amostra das crianças compôs-se inicialmente de vinte e dois elementos, dois dos quais sinistrómanos, com média de idades de 5,62(±0,49) anos, do nove sexo masculino e treze do sexo feminino. Uma das meninas sinistrómanas foi excluída da amostra, por ter declarado não querer experimentar as tarefas. As

crianças desconheciam o objectivo do estudo. Nenhuma delas participou nos estudos anteriores. Os encarregados de educação foram genericamente informados sobre a natureza da participação dos filhos e obtido consentimento. As recolhas foram realizadas num laboratório, sempre à mesma hora, sempre com a presença de um adulto conhecido da criança. Motivação adicional das crianças foi garantida pela oferta de um pequeno brinquedo no final da experiência. Juntamente com a ficha de pedido de autorização, foram solicitados dados sobre peso e altura ao nascimento, resultados dos testes de APGAR, e profissão dos encarregados de educação. Em nenhuma das crianças envolvidas nos estudos foram detectados casos de índice do APGAR com valor inferior a 9, peso ou comprimento ao nascimento abaixo do percentil 25 ou acima do percentil 75. Os encarregados de educação distribuem-se por profissões desde o tipo indiferenciado até ao tipo especializado.

A amostra dos adultos compôs-se de vinte e três estudantes do ensino superior, dos quais um sinistrómano, com a média de idades de 22,70(\pm 3,73) anos, catorze do sexo masculino e nove do sexo feminino. Todos os sujeitos participaram voluntariamente, com uma recompensa de pontuação complementar numa disciplina do curso. Desconheciam o objectivo do estudo. Nenhum deles participou nos estudos anteriores.

Cada recolha durou sensivelmente 20 minutos. As tarefas foram apresentadas como um jogo ou um desafio.

Procedimentos

O executante procedeu à lavagem prévia das mãos (Johansson & Wrestring, 1984). A esfera encontrava-se previamente pousada sobre a mesa.

Inicialmente foram recolhidas, com um nónio da marca GPM, as medidas antropométricas: (i) Afastamento máximo polegar-indicador- considerando-se que este afastamento corresponde à distância entre os cantos laterais radiais das unhas do polegar e do indicador (e.g., Kutzt et al., 1998, 1999); (ii) Espessura do dedo polegar (EP) - tirada na articulação interfalângica; (iii) Espessura do dedo indicador (EI) - tirada na articulação interfalângica distal.

Enquanto eram retiradas as medidas antropométricas, estabeleceu-se um diálogo com a criança sobre histórias e designações populares dos dedos envolvidos na tarefa.

Posição Inicial do Executante

A altura da cadeira foi ajustada de modo a que a pessoa pudesse ficar com o braço e o antebraço a 90 graus e com os pés apoiados. Um mínimo de dois terços das coxas totalmente assente no tampo da cadeira (Teyssède, Lino, Zattara & Bouisset, 2000; Schneiberg et al., 2002). Antebraço em semi-pronação, tronco afastado do bordo mesa de modo que o cotovelo possa ficar flectido aproximadamente a 90°.

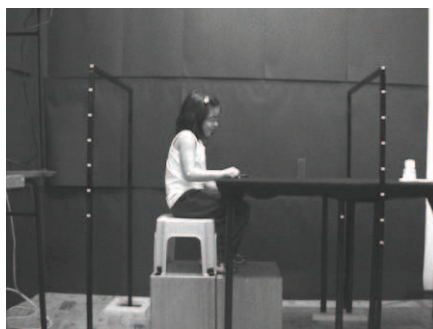


Figura 3.1 – Imagem recolhida pela câmara sagital, na condição F, onde é visível o cubo de calibração, a posição inicial da executante, os marcadores e a lâmpada para o sinal visual.

Polpas do polegar e do indicador em contacto, sobre a posição de partida definida pela junção de um “T” marcado no tampo da mesa (e.g., Mon-Williams, Tresilian, Coppard & Carson, 2001); nas condições experimentais com instrumento (ICF e ISF), as extremidades das pinças estão em contacto mas o alinhamento na posição de partida é o mesmo, i.e., com as polpas do polegar e indicador em contacto sobre a posição de partida definida pela junção de um “T”. Mão com face palmar do osso pisiforme apoiado no tampo da mesa (Kritikos, Jackson & Jackson, 1998). Mão esquerda repousa sobre coxa ipsilateral.

Distância e Posição Relativa do Objecto-Alvo

Mão preênsil e esfera a agarrar alinhadas com o ombro ipsilateral. A esfera distou a uma distância confortável, escolhida individualmente (Catela, Seabra & Barreiros, 2007a, b). O critério para a definição desta distância é o do reconhecimento dos constrangimentos morfológicos na prestação motora. Respeita o conceito de escala corporal (Warren, 1984; Warren & Whang, 1987) mas também vai ao encontro do facto de não ser possível sem rotação do tronco

ou avanço do ombro alcançar com o polegar um objecto a uma maior distância²⁰. Pretendemos também evitar o enviesamento dos resultados, decorrente da diferença morfológica existente entre grupos etários (Catela, Seabra & Barreiros, 2007b, c).

Instrução

Foi solicitado ao sujeito que agarrasse a esfera pelas marcações²¹, sem tocar nos obstáculos, nas condições experimentais em que estes estão presentes, a transportasse para a caixa e trouxesse de novo a mão à posição inicial. Os sujeitos executaram as tarefas conforme sequência definida no desenho experimental (Tabela 3.1), em função dos sub-grupos a que ficaram adstritos. Não foi dada informação quanto ao tipo de pega, nem os executantes foram impedidos de apoiarem a mão preênsil na mesa durante a execução da tarefa. Foi pedido aos executantes que executassem a tarefa a uma velocidade confortável e que a iniciassem quando quisessem após sinal visual, que ocorreu através de uma lâmpada activada por controlo remoto, a qual se encontrava por detrás e ao lado da esfera.

Número de Ensaios

Nas condições P, PP, F e ISF, cada participante executou um máximo de 2 ensaios, e na condição ICF executou 10 ensaios. Acresce a estas condições uma inicial para determinação da distância a que cada executante preferia que estivesse a esfera.

Não temos outro critério para o número de ensaios para a condição experimental ICF que não seja o facto de no nosso segundo estudo preliminar (Capítulo 2) adultos e crianças terem revelado uma imediata capacidade de determinação háptica do comprimento dos implementos e de Gentilucci, Roy e Stefanini (2004), no seu estudo com dedos mecânicos, terem verificado que após 10 ensaios, mas não mais do que isso, ocorreu uma aproximação no máximo

²⁰ Schneiberg et al. (2002) num estudo com crianças dos 4 aos 11 anos e adultos, colocou o objecto a várias distâncias, sendo que a distância equivalente ao comprimento do membro superior, medido do bordo mediano da axila até à prega distal do pulso, foi a que permitiu maior diferenciação cinemática do alcançar entre os grupos etários.

²¹ Mon-Williams, Tresilian, Coppard e Carson (2001) referem que temos a tendência para colocar o polegar mais perto de nós próprios e o indicador ligeiramente por detrás do objecto e que portanto os dedos são posicionados assimetricamente. Quando agarramos naturalmente a trajectória do polegar torna-se mais linear que a do indicador. A pega assimétrica do objecto pode ser evitada se for indicado onde o polegar e o indicador o devem contactar. Se o polegar e o indicador se moverem para posições equivalentes no objecto os constrangimentos da tarefa são similares para ambos os dedos e a influência do obstáculo também.

afastamento dos dedos ao valor revelado aquando do uso dos dedos para agarrar o objecto. É aparente a capacidade do sistema motor se adaptar com alguma rapidez a características intrínsecas ao objecto (e.g., Salimi, Hollender, Frazier & Gordon, 2000).

Instrumentação e Equipamentos

Características do Objecto

Esfera de madeira, superfície sem tratamento, um máximo de 0.5% do peso total do executante (van der Fits, 1999; Weir et al., 1991b; Gachoud, Mounoud, Hauert & Viviani, 1983). O diâmetro é de 16mm, aproximadamente 18% do maior afastamento possível entre polegar e indicador nas crianças (e.g., Kutzt-Buschbeck et al., 1999, 1998) e 12% nos adultos. A escolha da forma do objecto é fundamentada pelo facto de permitir uma preensão manual do tipo "precisão longa", "prismática", de oposição "polegar-indicador", segundo a classificação de Cutkosky e Howe (1990). Adicionalmente, os objectos poliedros resultam em diferentes perfis cinemáticos espaciais (Smeets & Brenner, 1999; Mamassian, 1997). Dos objectos não poliedros, os mais usados em estudos sobre preensão são os cilindros (e.g., Gentilucci et al., 1991).

Marcações das zonas de contacto diametralmente opostas, paralelas à superfície da mesa e ao plano frontal do executante (e.g., Mon-Williams & Tresilian, 2001) condicionarão orientação e configuração da pega de modo a homogeneizar padrão de comportamento e facilitar captação dos marcadores dos dedos.

Com a escolha da forma esférica, procuramos manter idêntica a área de preensão, seja qual for o diâmetro do objecto (ver Zaal & Bootsma, 1993). É sabido que a área de contacto entre polpas dos dedos e objecto tem influência no perfil cinemático das componentes da acção de preensão (e.g., Tresilian & Stelmach, 1997; cf. Hoffmann & Sheikh, 1991). Esta opção é particularmente válida relativamente ao uso do instrumento porque as suas extremidades são planas e rígidas, contrariamente às polpas dos dedos (cf. Goodwin, Macefield & Bisley, 1997).

Características e Posição Relativa dos Flanqueadores

Paralelepípedos em madeira natural, com 10cm de altura e 2.5cm por 2.5cm de base, localizados lateralmente ao objecto a agarrar e paralelamente ao

plano frontal do executante, cujos espaços até à superfície da esfera são de 16mm para as crianças e 20mm para os adultos (Catela, Seabra & Barreiros, 2007c; cf. Mon-Williams, Tresilian, Coppard & Carson, 2001). Embora o polegar tenha uma trajectória mais linear e menos variável que o indicador (Santello, Flanders e Soechting, 1998) e este último tender a contornar o objecto a agarrar neste tipo de pega (Smeets e Brenner, 1999), preferimos a opção de igualdade de espaço para ambos os dedos, devido ao facto de Catela, Seabra e Barreiros (2007c) não terem encontrado nas crianças uma predominante relação entre espaço para o indicador e percepção de agarrabilidade da esfera com os dedos. Em consequência do efeito da presença de flaqueadores na cinemática do agarrar com os dedos, comparativamente aos ensaios sem flaqueadores, poderá ocorrer um aumento do tempo total de movimento e uma redução no máximo afastamento dos dedos ou das pinças (Catela, Seabra & Barreiros, 2007c; cf. Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005).

Características do Instrumento

O instrumento é composto por pinças em arame de construção artesanal. As pinças possuem um comprimento equivalente a sensivelmente 90% do comprimento médio do polegar, para cada sub-amostra etária experimental, medido do aspecto radial da base do primeiro metacarpo (prega cutânea) até à extremidade distal do polegar; dado que tem sido sugerido que a componente de transporte tem como referencial o polegar (Wing, Turton & Frazer, 1986; Haggard & Wing, 1995). Consideramos que menos aproximaria demasiado o ponto de acção, a extremidade distal da pinça, da referência corporal básica, a polpa do dedo (e.g., Achard & von Höfsten, 2002), obviando expressões cinemáticas mais acentuadas de uma necessidade de incorporação do instrumento. As pinças são acopladas por uma cinta de velcro às polpas dos dedos polegar e indicador, sem prejuízo da mobilidade articular. Na sua extremidade distal as pinças estão revestidas internamente por uma capa de borracha, para elevar o coeficiente de fricção (cf. Fikes, Klatzky, & Lederman, 1994; Weir, MacKenzie, Marteniuk & Cargoe, 1991a). Qualquer par de pinças, em conjunto com a esfera, pesa menos que 10g. As pinças estão diferenciadas conforme o dedo a que se destinam em função de medidas antropométricas médias da mão, retiradas previamente nos estudos preliminares. Para os adultos, a extremidade preênsil para o indicador tem um comprimento de 30mm, uma largura de 21mm e uma espessura 3mm; a

extremidade preênsil para o polegar diferencia-se na largura que é de 23mm. Para as crianças a extremidade preênsil para o indicador tem um comprimento de 20mm, uma largura de 11mm e uma espessura 3mm; a extremidade preênsil para o polegar diferencia-se na largura que é de 15mm (Figura 3.2).

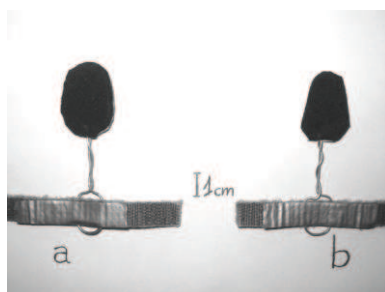


Figura 3.2 – Par de pinças usado pelas crianças, à esquerda a do polegar e à direita a do indicador.

Em consequência do acréscimo do peso do instrumento, comparativamente aos ensaios sem instrumento, poderá ocorrer um aumento do tempo total de movimento (Anson, 1989; cf. Schmidt, Corey, Fitzpatrick & Riley, 1995); embora tenha sido respeitado um máximo de 0.5% do peso total do executante (van der Fits, 1999; Weir et al., 1991b; Gachoud, Mounoud, Hauert e Viviani, 1983).

Sistema de Registo

O registo cinemático do movimento foi realizado por duas câmaras DCR, modelo Sony HC30-E, para dois PC, através de um cabo USB, directamente para o módulo CapDv, do programa APAS System da Ariel Dynamics. Uma câmara foi suspensa 2,20m acima da mesa, perpendicularmente ao tampo da mesa e ao plano horizontal do executante; outra câmara foi colocada lateralmente a 2,20m da mesa, perpendicular ao plano sagital do executante. Ambas as câmaras ficaram centradas com a zona central de ocorrência do movimento.



Figura 3.3 – Câmara suspensa ligada ao computador no local das recolhas.

O cubo de calibração do espaço experimental tinha 1850mm de altura por 1185mm de largura, centrando o contexto experimental, com marcadores (12mmx9mm) de 100 em 100mm²² (Figura 3.4).

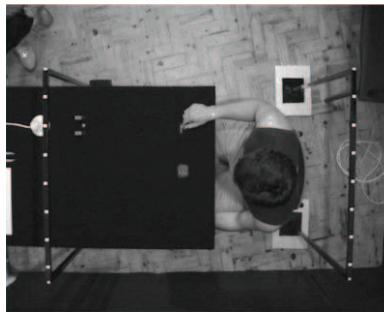


Figura 3.4 – Imagem recolhida pela câmara suspensa (plano horizontal), na condição F, onde é visível o cubo de calibração, os flaqueadores, a esfera, a posição inicial do executante, os marcadores e a lâmpada para o sinal visual.

Os marcadores (9x9mm) foram colocados: a) no canto inferior lateral radial da unha do indicador; b) no canto inferior lateral radial do polegar; c) no processo estilóide do rádio; d) na projecção mais distal do epicôndilo lateral do húmero, e) no aspecto superior do bordo do acrómio, e, f) nas extremidades distais das pinças, quando presentes (Figura 3.4).

Tratamento dos Dados

Para uma digitalização manual, foram definidos 6 pontos co-planares e uma frequência de filmagem de 50Hz. As trajectórias foram filtradas através do módulo DLT (Abdel-Aziz & Karara, 1971), com um *low pass* numa frequência de corte de 5Hz, determinada a partir da análise das curvas de ruído, no módulo

²² O sistema de registo empregue permite a memorização destes pontos de referência, o que possibilita a ausência do sistema de calibração durante as recolhas, no entanto, ele esteve sempre presente e fixo ao solo, bem como a mesa.

Filter, do programa APAS System da Ariel Dynamics. O início do movimento corresponde ao momento em que num dos marcadores se regista uma alteração sistemática dos dados, em pelo menos 1mm, no sentido do movimento; o final do movimento foi definido pelo momento em que é atingido o valor mínimo de afastamento entre os marcadores do polegar e do indicador, seguido de uma constância provisória ou uma inversão dos valores.

O tratamento estatístico foi realizado através do programa SPSS, v. 14.0, para um grau de significância bidireccional de 0,05. Foi testada a normalidade da distribuição dos dados antropométricos e cinemáticos através do teste Shapiro-Wilk. No caso de ausência de normalidade de distribuição, foi experimentada a transformação dos dados, prioritariamente através da raiz quadrada e subsequentemente através do log 10. Foi testada a homoscedasticidade das variâncias dos dados de cada variável dependente por grupo etário através do teste Levene. A escolha das técnicas estatísticas para verificação das hipóteses foi feita em função dos resultados obtidos nos testes Shapiro-Wilk, Levene e nas transformações. Durante a apresentação dos resultados e quando necessário serão prestadas informações sobre as opções tomadas e limitações detectadas.

Apresentação e Análise dos Resultados

Hipótese Um – A introdução de um constrangimento espacial na tarefa (limitação da acção por uso de flanqueadores), altera a funcionalidade do uso de pinças por comparação com o uso dos dedos?

Para testar esta hipótese privilegiámos a confrontação dos resultados entre as condições experimentais *uso de flanqueadores* (F) e *instrumentos com flanqueadores* (ICF). Em ambas a esfera a agarrar está à mesma distância dos dedos polegar e indicador e estão presentes os flanqueadores. A diferença está na introdução das pinças; se estas forem funcionais, i.e., proporcionarem uma acção de preensão confortável, então, será esperado que os executantes tirem partido desta *affordance*, ultrapassando os constrangimentos inerentes à presença dos flanqueadores. Por vezes, os ensaios nestas condições experimentais serão apresentados individualmente, mas outras vezes serão agrupados em médias, para a condição F numa média única, para a condição ICF numa média para os primeiros ensaios (ICFp) e noutra para os últimos ensaios

(ICFu). As variáveis cinemáticas serão apresentadas em milésimos de segundo para fases do movimento, milímetros para o afastamento dos dedos, e em valores relativos – percentagem do tempo de movimento e afastamento dos dedos proporcionalmente ao diâmetro da esfera).

Número de Ensaios Falhados

Na condição flanqueadores (F), em que os executantes tinham que agarrar a esfera com os dedos, em média os adultos tocaram significativamente mais vezes nos flanqueadores ($1,04 \pm 1,107$) que as crianças ($0,62 \pm 0,805$) ($z = 4,481$, $p < 0,001$). Este comportamento foi extremamente irregular nos adultos (Figura 3.5).

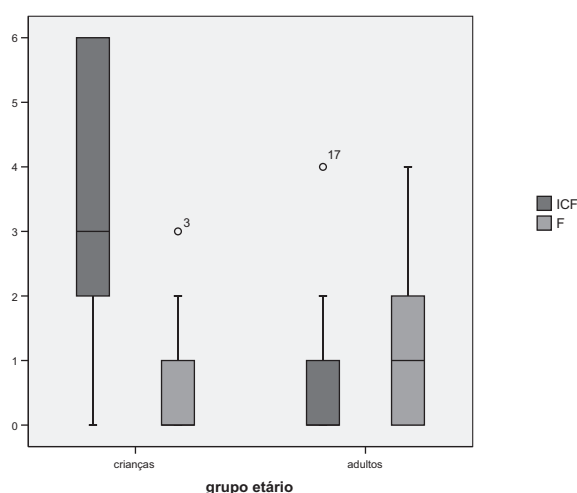


Figura 3.5 – Frequência de contacto com os flanqueadores, nas condições flanqueadores (F) e instrumentos com flanqueadores (ICF), por grupo etário.

Na condição instrumentos com flanqueadores (ICF), em que os executantes tinham que agarrar a esfera com as pinças, as crianças tocaram, em média, significativamente mais vezes nos flanqueadores ($3,62 \pm 2,133$) que os adultos ($0,70 \pm 1,020$) ($z = 1,314$, $p > 0,05$) (Figura 3.5).

Na condição ICF, o número de ensaios em que as crianças tocaram nos flanqueadores foi significativamente superior ao ocorrido na condição F ($z = 3,563$, $p < 0,001$); tal diferença não aconteceu nos adultos ($z = 1,087$, $p > 0,05$), os quais, em média, reduziram a frequência de contacto com os flanqueadores.

Tempo de Movimento

Foi aplicada uma ANOVA de medidas repetidas mista à média dos ensaios nas condições F, ICFp e ICFu, como níveis do tempo do movimento (TM) com factor intra-sujeitos, com o grupo etário como factor entre-sujeitos. Não houve interacção do TM com a idade, i.e., crianças e adultos realizaram a acção de apreensão com TM similares ($F(1,42) = 2,923$, $p = 0,095$). O TM em ICFu é significativamente superior a F, embora menor que em relação a ICFp (Figura 3.6).

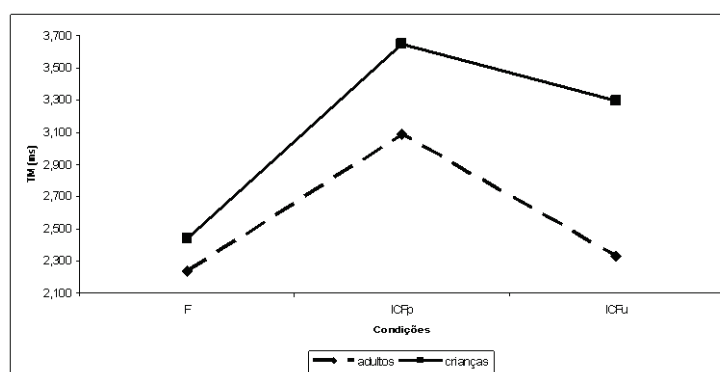


Figura 3.6 – Média do tempo de movimento (TM) na condição flangeadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flangeadores (ICFp e ICFu), por grupo etário.

Nos adultos a mediana em ICFu foi inferior a F (Figura 3.7).

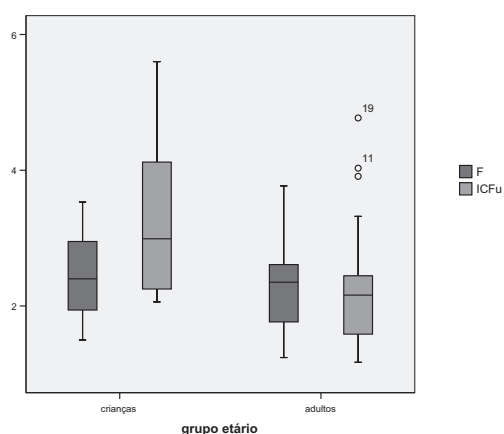


Figura 3.7 – Mediana do tempo de movimento (ms) na condição flangeadores (F) e últimos ensaios da condição instrumento com flangeadores (ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Afastamento Máximo dos Dedos

A ANOVA de medidas repetidas mista, com as condições P, PP, F, ICFu e ISF como factores intra-sujeitos, o grupo etário como factor entre-sujeitos e a espessura dos dedos polegar e indicador como covariantes, revelou não haver interacção com a idade ($F(1,40) - 0,358, p = 0,553$)²³. Em média as crianças revelam sempre um menor afastamento máximo dos dedos (MA), excepto na condição ISF, mas no geral seguem o padrão de comportamento dos adultos. Perante os flaqueadores, para agarrar com os dedos (condição F) ou com as pinças (condição ICF) reduzem significativamente o MA ($p < 0,0001$), para na condição ISF as afastarem significativamente mais que em qualquer outra condição experimental ($p < 0,0001$) (Figura 3.8).

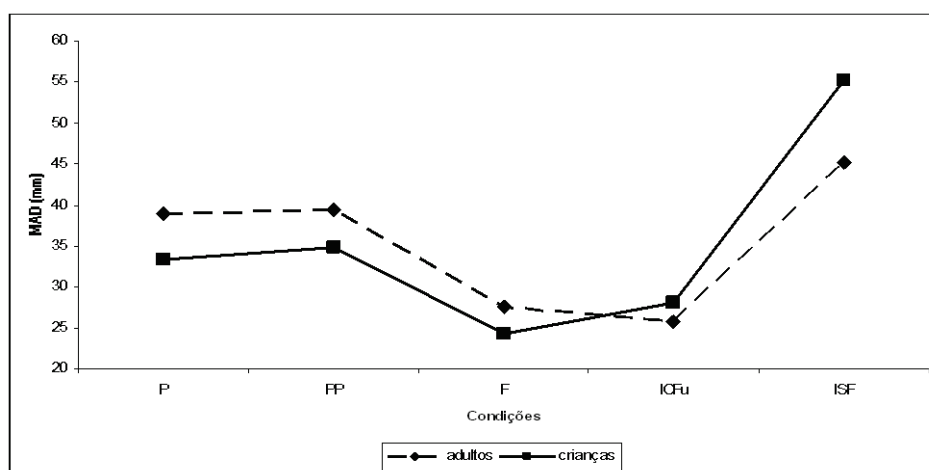


Figura 3.8 – Média do máximo afastamento das extremidades (MAD) nas várias condições, por grupo etário.

Na condição F o comportamento de crianças e adultos é muito consistente entre todos os sujeitos (crianças $\pm 2,45\text{mm}$ e adultos $\pm 2,53\text{mm}$); observe-se também que da condição F para a ICFu as crianças afastam significativamente mais as extremidades préênses ($t(20) - 3,271, p = 0,004$), mas os adultos não

²³ Teste de esfericidade de Mauchly - 0,359, $p = 0,0001$; Épsilon Huynh-Feldt = 0,741. Adicionalmente, observe-se que a correcção dos dados em função da espessura dos dedos é essencial porque nos adultos a distância efectiva entre os marcadores dos dedos é maior que nas crianças.

seguem esta tendência. Estes resultados persistem mesmo que usemos como referência a mediana (Figura 3.9)²⁴.

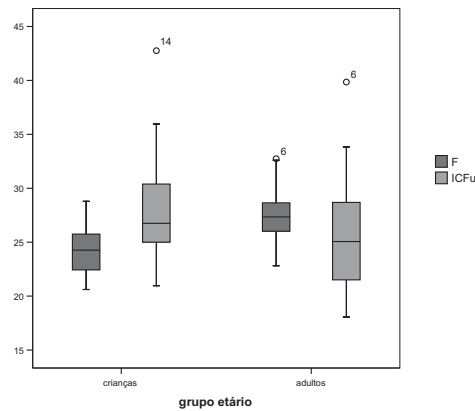


Figura 3.9 – Mediana do máximo afastamento das extremidades (MAD) na condição flaqueadores (F) e últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Na condição ICF, durante o transporte do membro para a esfera, 19 em 21 crianças revelaram mais que um afastamento acentuado dos dedos polegar e indicador, fenómeno que só se observou em 5 adultos (N = 23) (Figura 3.10).

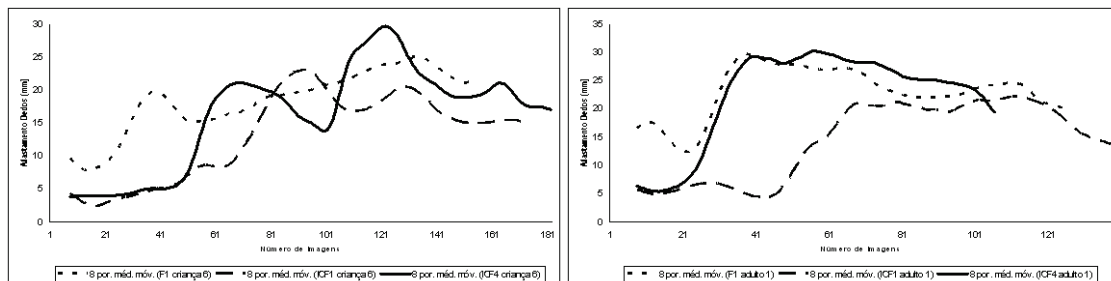


Figura 3.10 - Evolução do afastamento entre os dedos polegar e indicador no primeiro ensaio da condição flaqueadores (F1, linha a tracejado) e das extremidades das pinças no primeiro e último ensaio da condição instrumento com flaqueador (ICF1, linha a semi-tracejado; ICF4, linha a cheio) (média móvel, período 8), para a criança 6 e para o adulto 1.

²⁴ Foi-nos colocada a seguinte questão: O coeficiente de variação (CV) também varia entre condições ou é só o desvio-padrão (DP)? Porque o DP pode variar porque varia a amplitude do afastamento de dedos mas se isso for escalado à abertura média pode ter exactamente a mesma amplitude de variação. Se os CV forem idênticos entre condições a afirmação sobre variabilidade interindividual em certas condições é abusiva. Determinámos o CV por grupo etário em cada uma das condições:

	P	PP	F	ICFu	ISF
Crianças	6,50	9,88	5,66	4,07	6,09
Adultos	7,94	10,89	4,92	3,66	7,77

Em ambos os grupos etários o padrão é consistente, nas condições com flaqueadores (F, ICFu) o CV é mais baixo que nas sem flaqueadores. Adicionalmente, O CV das condições P e ISF é idêntico.

Enquanto que nos adultos este fenómeno só subsistiu nos primeiros ensaios, em várias crianças ele perdurou até aos últimos ensaios da condição ICF (Figura 3.10, ICF4 criança 6). Na condição F, algumas crianças também revelaram mais que um afastamento dos dedos, mas não de modo tão acentuado e seguido como na condição ICF.

Tempo Até ao Máximo Afastamento dos Dedos

Foi aplicada uma ANOVA de medidas repetidas mista à média dos ensaios nas condições F e ICFu, tendo como níveis do tempo até ao máximo afastamento dos dedos (TtMAD) do factor intra-sujeitos, com o grupo etário como factor entre-sujeitos, e a espessura do polegar e do indicador como covariantes²⁵. Houve interacção com a idade para o TtMAD ($F(1,41) - 6,227, p = 0,017$). A Figura 3.11 mostra que a discrepância maior entre crianças e adultos se encontra na condição F, as crianças atingem o MAD significativamente mais tarde ($1,639 \pm 0,514\text{ms}$) que os adultos ($0,813 \pm 0,241\text{ms}$) ($t(42) - 2,774, p = 0,008$), mas não na condição ICFu ($t(42) - 0,238, p = 0,813$) (crianças - $1,499 \pm 0,570\text{ms}$, adultos - $1,331 \pm 0,560\text{ms}$).

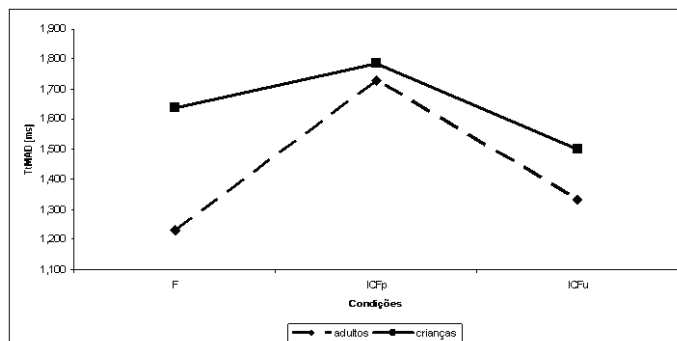


Figura 3.11 - Média do tempo até ao máximo afastamento das extremidades (TtMAD) na condição flangeadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flangeadores (ICFp e ICFu), por grupo etário.

Na percentagem TtMAD (%TtMAD) a tendência das medianas revela um padrão algo diferente da evolução das médias (Figura 3.12). Na condição ICF as crianças antecipam a %TtMAD, enquanto que os adultos a retardam em relação à condição F.

²⁵ Nos adultos foi encontrada uma relação directa significativa entre o TtMAD e a espessura do polegar para o primeiro ensaio da condição F ($r = 0,442, p = 0,035$), e nas mulheres tanto para a espessura do polegar ($r = 0,692, p = 0,039$) como do indicador ($r = 0,794, p = 0,011$). Homens e mulheres diferenciaram-se significativamente na espessura do polegar ($z = 3,352, p = 0,001$) e do indicador ($z = 2,241, p = 0,025$) e no TtMAD ($z = 2,175, p = 0,028$). Nenhuma destas expressões foi encontrada nas crianças.

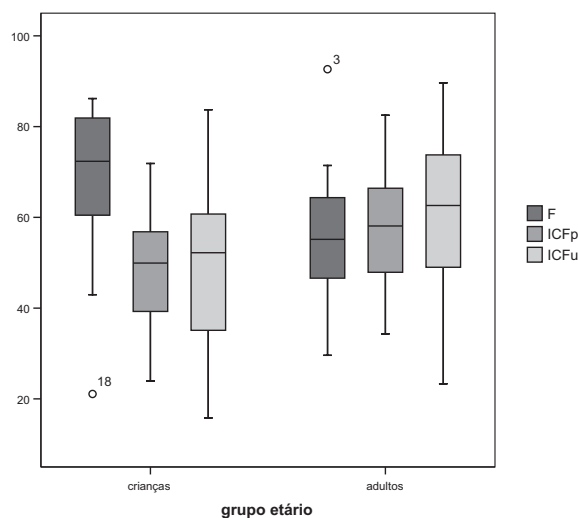


Figura 3.12 – Mediana da percentagem de tempo até ao máximo afastamento das extremidades (%TtMAD) na condição flaqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flaqueadores (ICFp e ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais - valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Comparativamente com a condição F as crianças reduziram significativamente a %TtMAD na ICFp ($z = 2,521$, $p < 0,012$) mas não na ICFu ($z = 1,505$, $p = 0,132$), o que reflecte a tendência para inverter a antecipação do TtMAD (Figura 3.12).

Tempo Até à Velocidade Máxima de Afastamento dos Dedos

No tempo relativo até à velocidade máxima de afastamento dos dedos (%TtVMD), crianças e adultos comportaram-se similarmente nas condições pessoal (P) ($t(42) - 1,502$, $p = 0,141$), peripessoal (PP) ($z - 1,187$, $p = 0,235$) e F ($t(42) - 1,083$, $p = 0,285$), na qual se anteciparam significativamente em relação à primeira (Pairwise Comparisons - $p = 0,029$)²⁶.

A ANOVA de medidas repetidas mista²⁷ revelou que comparativamente com a condição flaqueadores, a introdução das pinças, provocou um padrão de comportamento invertido entre crianças (de 34,5% para 25,7%) e adultos (de

²⁶ A ausência de diferença significativa entre os grupos etários nas condições P, PP e F permitiu-nos fazer uma ANOVA de medidas repetidas, com os valores das condições como níveis da %TatêMVD do factor intra-sujeitos.

²⁷ Teste de esfericidade de Mauchly - 0,789, $p = 0,008$; Épsilon Greenhouse-Geisser = 0,826.

29,8% para 38,7%) ($F(1,42) - 4,190, p = 0,047$). As crianças anteciparam o pico de velocidade mas os adultos retardaram-no²⁸ (Figura 3.13).

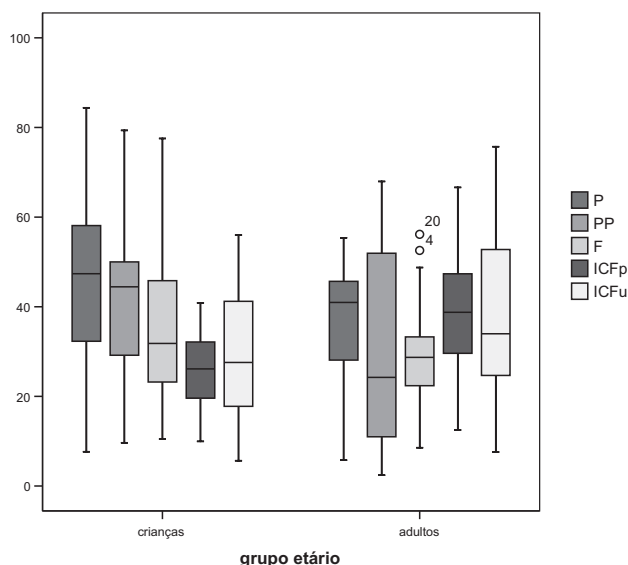


Figura 3.13 - Mediana da percentagem de tempo até à velocidade máxima das extremidades (%TatéVMD) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flanqueadores (ICFp e ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

As crianças só apresentam esta tendência de retardamento da %TtVMD em ICFu (em média a 29,7% do TM) e os adultos preservam este comportamento (em média a 37% do TM).

Os resultados sobre a %TtVMD são semelhantes aos do TtMAD.

Tempo Após o Final do Transporte

O tempo após o final do transporte (TpFT) representa a fracção reservada para o contacto com a esfera: os segmentos proximais do membro preênsil estão praticamente imobilizados, e só os dedos se ajustam para agarrar o objecto. Uma maior dificuldade na tarefa resulta num prolongamento deste tempo, o que se verificou em ICFp (Figura 3.14). Na percentagem de TpFT (%TpFT) a ANOVA de medidas repetidas mista²⁹ revelou interacção do grupo etário, com as crianças mais morosas nesta fase final da acção de preensão ($F(1, 41) - 4,955, p = 0,032$).

²⁸ Admitindo algum efeito de erro tipo I, os adultos retardam significativamente a %TatéVMD em ICFp comparativamente a F ($t(23) - 2,159, p = 0,042$), enquanto que as crianças tendem a antecipá-lo ($t(21) - 2,051, p = 0,054$).

²⁹ Tendo como níveis da %TpFT do factor intra-sujeitos, com o grupo etário como factor entre-sujeitos, e a condição PP como covariante, porque embora os grupos etários não se tenham diferenciado na condição P

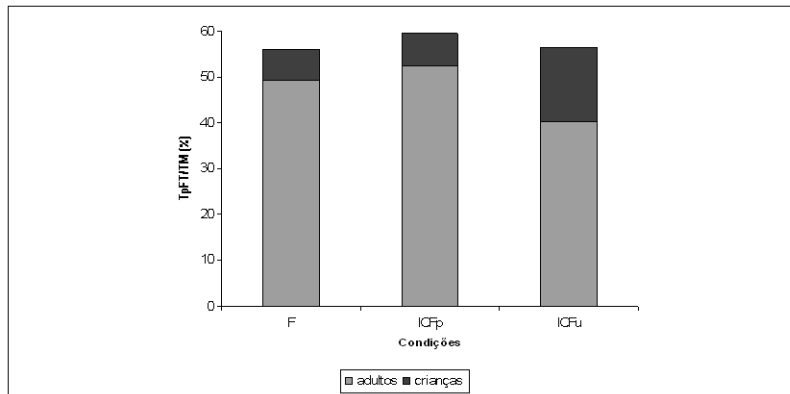


Figura 3.14 - Média do tempo após final do transporte (TpFT) na condição flaqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flaqueadores (ICFp e ICFu), por grupo etário.

Nos adultos a comparação directa entre a condição ICFu e as F e ICFu revelou reduções significativas da %TpFT (respectivamente, $z = 2,312$, $p = 0,021$ e $t(22) - 3,058$, $p = 0,006$)³⁰. As crianças não revelaram alteração significativa na %TpFT (F(1) - 0,006, $p = 0,939$) (Figura 3.15).

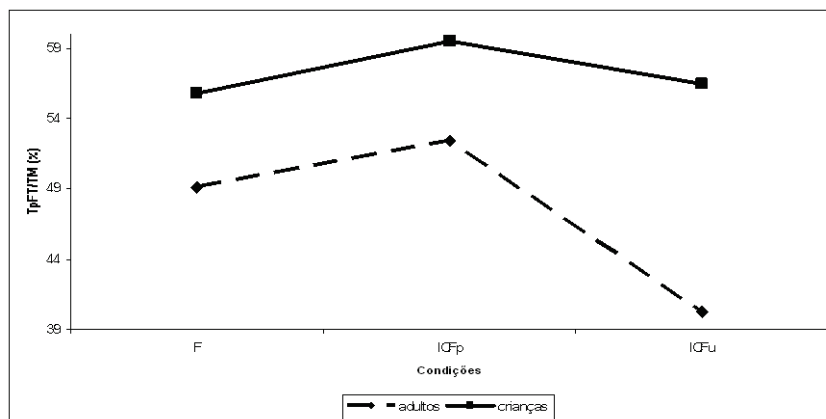


Figura 3.15 - Média da percentagem de tempo após final do transporte (%TpFT) na condição flaqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flaqueadores (ICFp e ICFu), por grupo etário.

($z = 1,281$, $p = 0,200$), a situação inverteu-se na condição PP ($z = 2,174$, $p = 0,030$) (a única diferença entre estas duas condições é a distância a que a esfera está dos dedos), e na condição F ($z = 2,103$, $p = 0,035$). Da condição PP para a condição F, as quais só se diferenciam pela introdução dos flaqueadores, as crianças aumentam significativamente a %TpFT ($t(21) - 4,049$, $p = 0,001$) bem como os adultos ($z = 3,893$, $p = 0,0001$).

³⁰ Ausência de normalidade da distribuição de dados na condição F, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

Tempo Até à Velocidade Máxima do Cotovelo

A percentagem de tempo até à velocidade máxima do cotovelo (%TtVMC) é similar em crianças e adultos nas condições P ($z = 0,070$, $p = 0,944$) e PP ($z = 1,633$, $p = 0,102$), as quais também não se diferenciam entre si ($t(43) = 1,744$, $p = 0,088$)³¹. No entanto, esta invariante altera-se na condição F com as crianças a atingirem a %TtVMC significativamente mais cedo que os adultos ($t(42) = 3,153$, $p = 0,003$) (Figura 3.16).

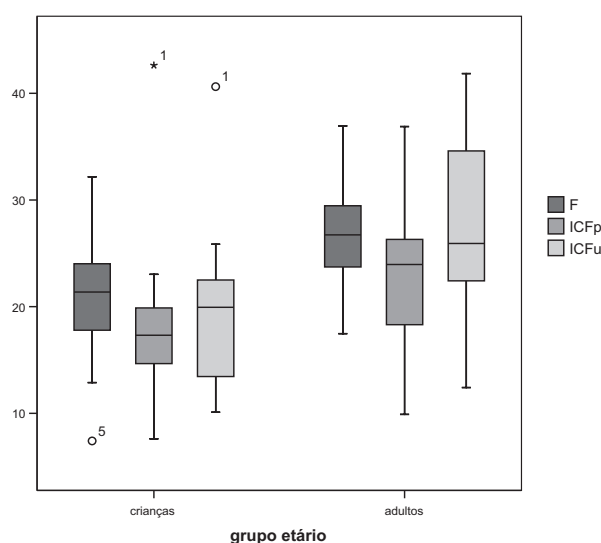


Figura 3.16 - Mediana da percentagem de tempo até à velocidade máxima do cotovelo (%TtVMC) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flanqueadores (ICFp e ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

A ANOVA de medidas repetidas mista³² revelou interação com a idade e ausência de diferença significativa entre F e ICFu.

Tempo Até o Final do Transporte

A evolução da percentagem de tempo até o final do transporte (%TtFT) é igual à evolução da %TtVMC; a ANOVA de medidas repetidas mista revelou

³¹ Ausência de normalidade da distribuição de dados na condição PP, para os adultos, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10. No entanto, nas condições P e PP a junção dos dados das crianças com os adultos resultou em distribuições normais.

³² Tendo como níveis da %TtVMC do factor intra-sujeitos as condições F, ICFp e ICFu, e o grupo etário como factor entre-sujeitos. Teste de esfericidade de Mauchly – 0,789, $p = 0,008$; Épsilon Greenhouse-Geisser = 0,826. Em termos efectivos (TtVMC) não se verifica diferença entre crianças e adultos na condição F ($z = 1,776$, $p = 0,076$), nem na ICFu ($z = 0,035$, $p = 0,972$), as quais também não se diferenciam entre si ($z = 1,697$, $p = 0,090$). No entanto, se considerarmos isoladamente as crianças verificamos que elas aumentam significativamente o TtVMC da condição F para a ICFu ($t(20) = 2,636$, $p = 0,016$).

interacção com a idade e ausência de diferença significativa entre F e ICFu. As crianças atingem significativamente mais cedo o TtFP ($F(1,42) = 6,668, p = 0,013$).

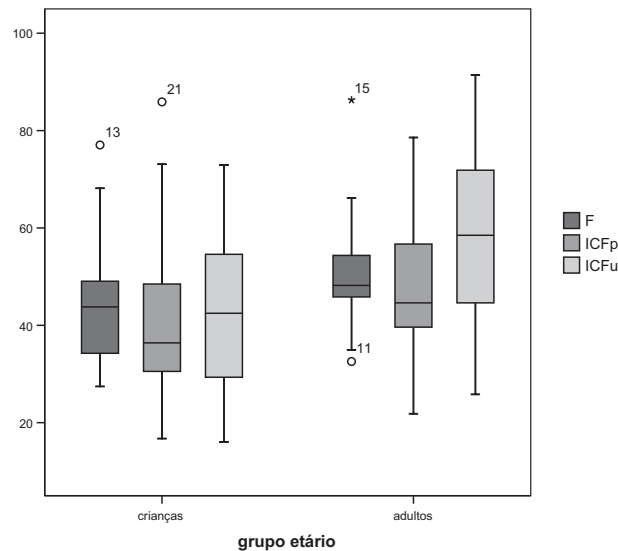


Figura 3.17 - Mediana da percentagem de tempo até ao final do transporte (%TtFT) na condição flaqueadores (F) e ensaios iniciais e finais da condição instrumento com flaqueadores (ICFp e ICFu) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais - valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados, asteriscos - outliers severos).

Em termos efectivos, verificou-se um aumento significativo da condição F para a condição ICFu em crianças ($z = 2,801, p = 0,002$).

Discussão

Na condição com flaqueadores (F), uma frequência de contacto similar entre os dois grupos etários pode significar que é semelhante a dificuldade imposta pela presença dos flaqueadores e a sua distância à esfera que, como vimos, foi distinta por grupo etário. No entanto, na condição ICF as crianças colidem com os flaqueadores com mais frequência, quando estes lhes deviam proporcionar maior facilidade de contacto com a esfera, pois são menos espessos que os dedos. Este resultado pode reflectir apenas uma deficiente regulação de trajectórias pela existência de mecanismos coordenativos e correctivos da acção menos eficientes. Na condição ICF, e durante o movimento, as crianças revelam sistematicamente dois acentuados picos de afastamento das pinças, tal como é reportado nos estudos clássicos sobre a acção de preensão com perturbação

(Castiello, Bennett & Mucignac, 1993; Paulignan et al., 1991). A ocorrência de dois picos em adultos é ocasional.

Comparativamente com a condição peripessoal (PP), a introdução dos flaqueadores levou crianças e adultos a alterar significativamente o seu comportamento mas em sentidos opostos: as crianças aumentaram a %TtMAD ($z = 2,311$, $p = 0,021$), e os adultos diminuíram-na ($z = 2,281$, $p = 0,023$). Os flaqueadores podem ter uma influência visual superior nas crianças (Rösblat, 1996), levando-as a conservarem os dedos juntos durante mais tempo (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005; Catela, Seabra & Barreiros, 2007c). Os adultos seguiram a estratégia esperada em condições de aumento de dificuldade da tarefa, antecipando o máximo afastamento dos dedos, de modo a melhor preparar o contacto com o objecto a agarrar (e.g., Marteniuk et al., 1990; Jakobson & Goodale, 1991; Castiello, Bennett & Mucignat, 1993). Com o uso das pinças as crianças inverteram o seu padrão de comportamento, antecipando significativamente a %TtMAD, enquanto que os adultos a retardaram. Portanto, a introdução das pinças foi interpretada pelas crianças como um aumento da dificuldade da tarefa, enquanto que os adultos tenderam a recuperar um agarrar mais funcional, menos sujeito aos limites impostos pelos flaqueadores. As crianças, mais influenciadas pela presença dos flaqueadores, não-de ter passado a ser mais influenciadas pela dificuldade da tarefa em si, e essa deve ser a explicação para o aumento do TM (Fitts, 1954) e para a antecipação do pico de velocidade de afastamento dos dedos (e.g., Pryde, Roy & Campbell, 1998). No entanto, as pinças permitiram às crianças afastar as extremidades preênsais mais e mais cedo, de modo a terem mais tempo para preparar o contacto com a esfera.

Para as crianças as pinças não foram uma alternativa vantajosa ao uso dos dedos. No entanto, e com a prática, o aumento da %TtMAD e da %TtVMD pode indicar que está em curso um processo de aprendizagem.

Perante a presença dos flaqueadores e com a utilização das pinças, a proporção do tempo após o final do transporte relativamente ao tempo do movimento vai sempre aumentando em ambos os grupos etários, e só declina na condição ICFu. Para os adultos esta diminuição (42%) é significativa em relação a F (49%), enquanto que as crianças somente almejam no final da prática uma proporção (57%) pouco inferior a ICFp (60%) e próxima da revelada na condição F (56%). Esta variável é sensível ao aumento da dificuldade da tarefa,

principalmente à introdução de flanqueadores. Se para os adultos o tempo após final do transporte diminuiu é porque agarrar a esfera com instrumentos se tornou mais fácil que com os dedos. Nos adultos a funcionalidade das pinças é evidente, mas não nas crianças. O aumento médio de tempo para o contacto, nas crianças, mostra que usar as pinças para agarrar a esfera é funcionalmente mais difícil que agarrá-la com os dedos, mesmo após prática, embora se possa admitir que um processo de aprendizagem esteja em curso.

O tempo até pico de velocidade de extensão do cotovelo é um bom candidato a invariante desta acção de prensão; ocorre em tempos similares nas condições P e PP, seja qual for o grupo etário. No entanto, à medida que a dificuldade da tarefa foi aumentando (amplitude do alvo, uso do instrumento), o seu tempo relativo foi regredindo, e as crianças foram-se distanciando dos adultos. Na condição F as crianças anteciparam significativamente mais este tempo (21%) que os adultos (26%) (Pryde, Roy, e Campbell, 1998), e ambos se anteciparam significativamente mais que na condição pessoal. Esta tendência mantém-se na condição ICF. As crianças carecem de mais tempo para preparar o contacto com a esfera. Esta variável da componente de transporte é afectada pelo aumento da dificuldade da tarefa e de modo mais acentuado nas crianças, provavelmente devido à sua menor experiência motora. Os resultados sugerem que o efeito diferenciado do aumento da dificuldade é mais notório em indivíduos com menor nível de desenvolvimento.

No entanto, crianças e adultos, no uso final das pinças recuperam valores idênticos aos observados na condição com flanqueadores, o que pode ser expressão de menor necessidade de antecipar o início da fase lenta da componente de transporte. Este resultado, associado à redução do tempo após final do transporte, reforça o valor funcional das pinças.

Os resultados sugerem também que a componente de transporte (%TtVMC e a %TtFT) foi afectada pelos constrangimentos da tarefa, sobretudo em crianças.

Em adultos, as pinças facilitaram a tarefa de alcançar e preparar o contacto com a esfera, quando esta se encontrava rodeada de flanqueadores. Perante os constrangimentos impostos pelos flanqueadores, o aproveitamento desta affordance (funcionalidade) das pinças é detectada nas crianças na componente de transporte, mas não na componente de agarrar. Este resultado pode dever-se aos escalonamentos corporais por grupo etário que realizámos na distância da

mão à esfera, já que o espaço disponível entre esfera e flanqueadores não chegou para proporcionar igual eficiência no agarrar. De salientar que enquanto na condição com flanqueadores os adultos revelaram uma relação sistemática entre a espessura do polegar e variáveis da componente de agarrar, as crianças não a manifestam, portanto, não se pode atribuir ao espaço disponível para agarrar a dificuldade que elas sentiram em contactar a esfera.

Os resultados indiciam a ocorrência de um processo de aprendizagem, por exemplo, na evolução do tempo até à velocidade máxima do cotovelo nas crianças. O facto do número de ensaios não ter sido suficiente para estabilizar a apropriação das pinças pode afectar a expressão e a clareza de tendências dos resultados obtidos.

Os flanqueadores parecem exercer forte constrangimento sobre a organização da acção, nomeadamente sobre a componente de agarrar. Mesmo com pinças, adultos e crianças pouco afastaram os dedos, provavelmente porque os teriam que juntar novamente pelo constrangimento imposto. Na condição F eles tenderam a não afastar os dedos, e conservaram esse comportamento na condição ICF, para a extremidade das pinças.

Hipótese Dois – Ocorreu incorporação das pinças após período de prática?

Retorno à Posição Inicial

Depois de poisarem a esfera na taça, os executantes foram instruídos a retomarem a posição inicial, a qual foi sempre a colocação das pontas dos dedos polegar e indicador juntas sobre a ligação do “T”. Na condição ICF houve executantes que em vez de poisarem sobre esta localização as pontas dos dedos (categoria “pontas dos dedos”) poisaram as pontas das pinças (categoria “pontas das pinças”) (Figura 3.18), ou então a meia distância entre a ponta dos dedos e das pinças ou ainda iniciavam o repouso da mão tendo como referência as pontas das pinças mas corrigiam e ajustavam a localização final à ponta dos dedos (categoria “meia distância”).

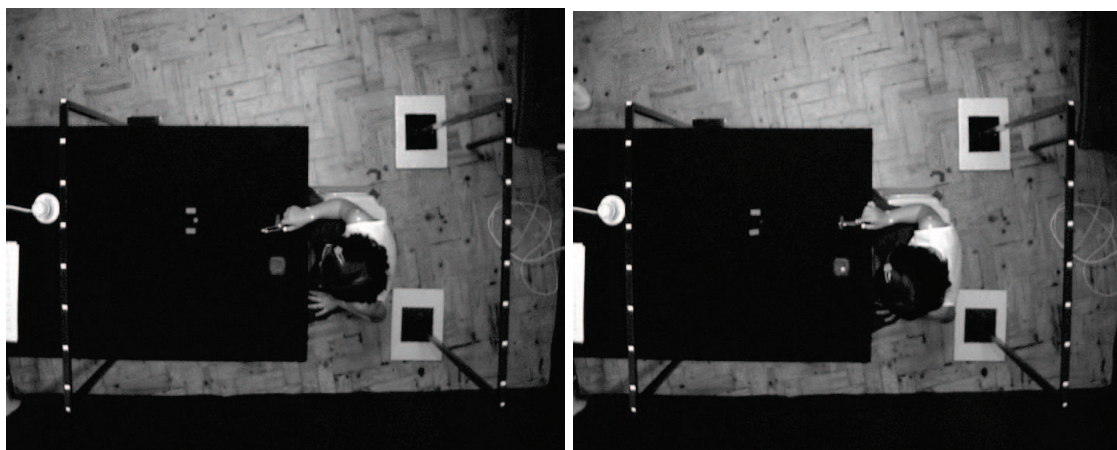


Figura 3.18 - Posição inicial e final das extremidades preênsais na condição instrumento com flaqueadores (respectivamente, imagem da esquerda e da direita), criança 2.

A análise da frequência das três categorias mostra que quase todas as crianças que se reportam à ponta das pinças (17/21) e que os adultos também tendem a reportar-se ou reportam-se a esta referência (13/23) (Figura 3.19).

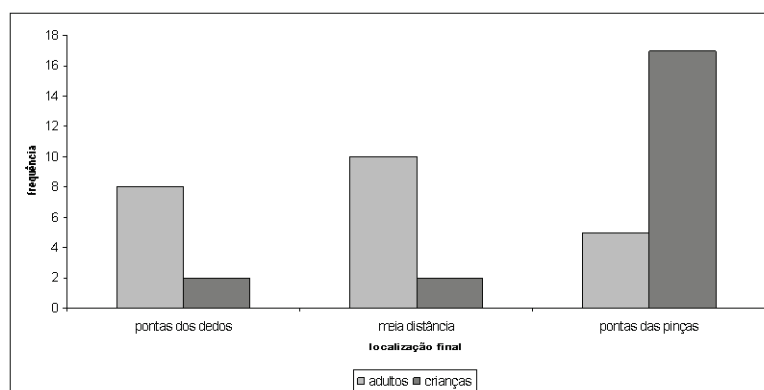


Figura 3.19 – Frequências nas categorias “ponta dos dedos”, “meia distância” e “ponta das pinças” (imagem da direita), por grupo etário.

A comparação entre as categorias “ponta dos dedos” e “ponta das pinças” deu diferença significativa ($\chi^2 = 4,500$, $p = 0,034$)³³. A comparação entre as categorias “ponta dos dedos” e “ponta das pinças” deu diferença significativa entre os grupos etários ($p = 0,005$)³⁴.

³³ Qualquer outra comparação seria possível mas para este estudo o mais importante é a diferença entre colocar novamente as pontas dos dedos na posição inicial (ausência de incorporação) ou as pontas das pinças (ocorrência de incorporação).

³⁴ Prova exacta de Fisher.

Tempo de Movimento

As crianças e os adultos não se diferenciam na condição P ($z = 0,153$, $p = 0,879$), mas as crianças despendem significativamente mais tempo que os adultos na condição ISF ($t(42) = 3,335$, $p = 0,002$), e despendem significativamente mais TM na condição ISF que na condição P e PP, as quais não se diferenciam entre si (Figura 3.20)³⁵.

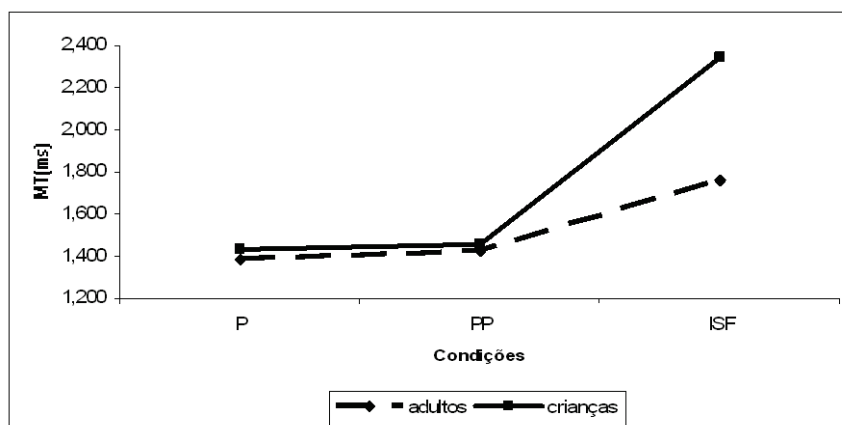


Figura 3.20 – Média do tempo de movimento (MT) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP) e instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Na condição ISF a ausência de flanqueadores propiciou uma redução significativa do TM às crianças e aos adultos comparativamente com ICFu ($p = 0,0001$), logo, os flanqueadores ocultam parte da incorporação temporal que possa ter ocorrido³⁶.

Tempo Até à Máxima Velocidade de Extensão do Cotovelo

Crianças e adultos não se diferenciam entre si nas condições P e ISF ($F(1,42) = 0,184$, $p = 0,640$) e levam significativamente mais TtVMC na condição ISF que na P ($p = 0,011$) (Figura 3.21).

³⁵ Ausência de homoscedasticidade na condição P. Por grupo etário, a ANOVA de medidas repetidas, revelou ausência de diferença entre as condições P e PP ($p = 1,000$) mas diferença significativa entre estas condições e a condição ISF ($p < 0,003$). Nos adultos o teste de esfericidade foi significativo ($W = 0,705$, $p = 0,025$) mas com um Épsilon Huynh-Felt = 0,819 (Poder Observado = 0,998).

³⁶ A ANOVA de medidas repetidas, com o grupo etário como factor entre-sujeitos revelou que as crianças despendem significativamente mais tempo que os adultos ($F(1,42) = 8,884$, $p = 0,005$).

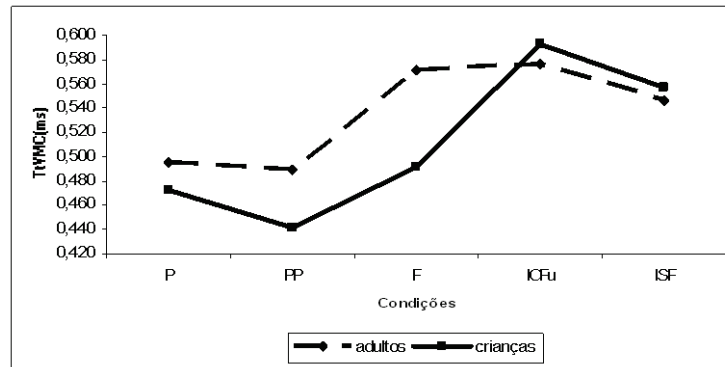


Figura 3.21 – Média do tempo até à velocidade máxima do cotovelo (TtVMC) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

No entanto, entre a condição F e a condição ICFu não há alteração significativa do TtVMC nas crianças ($z = 0,803$, $p = 0,422$) e nos adultos ($z = 1,745$, $p = 0,081$). Na realidade, entre as condições F e ISF não há diferenças significativas ($p = 0,341$) nem interação com o grupo etário ($F(1,42) = 1,237$, $p = 0,272$).

Estes resultados efectivos evidenciam o arrasto provocado pelos flaqueadores e pelas pinças no aumento da dificuldade da tarefa, mas ocultam aquilo que os resultados relativos revelam e que é uma antecipação do TtVMC (Figura 3.22).

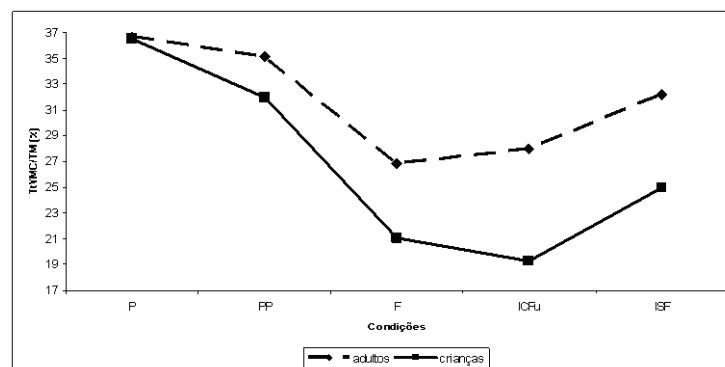


Figura 3.22 – Média da percentagem de tempo até à velocidade máxima do cotovelo (%TtVMC) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

Na condição P, crianças e adultos revelam o mesmo dispêndio de %TtVMC (36,5%, $z = 0,070$, $p = 0,944$), paridade que ainda é preservada na condição PP

(33%, $z = -1,633$, $p = 0,102$)³⁷. Esta paridade indica uma proximidade no padrão de comportamento motor, na ausência de constrangimentos extrínsecos acentuados. Comparativamente à condição P, o uso das pinças sem flanqueadores (condição ISF), obriga crianças (25%) e adultos (32%) a antecipar significativamente este pico de velocidade (respectivamente, $t(20) = 4,421$, $p = 0,0001$ e $t(22) = 2,686$, $p = 0,014$), afastando também significativamente as crianças dos adultos ($t(42) = 3,809$, $p = 0,0001$)³⁸. Em relação ao simples uso das pinças, a presença adicional de flanqueadores acentuou significativamente mais este padrão, com as crianças (19%) a anteciparem-se significativamente aos adultos (28%) ($F(1,42) = 17,361$, $p = 0,0001$)³⁹.

Tempo Até ao Final do Transporte

Em termos de tempo efectivo a evolução da condição P para a ISF é a mesma que a observada para o TtVMC. Crianças e adultos não se diferenciam entre si nas condições P e ISF ($F(1,42) = 1,061$, $p = 0,309$)⁴⁰ e levam significativamente mais tempo até ao final do transporte (TtFT) na condição ISF que na P ($p = 0,0001$) (Figura 3.23).

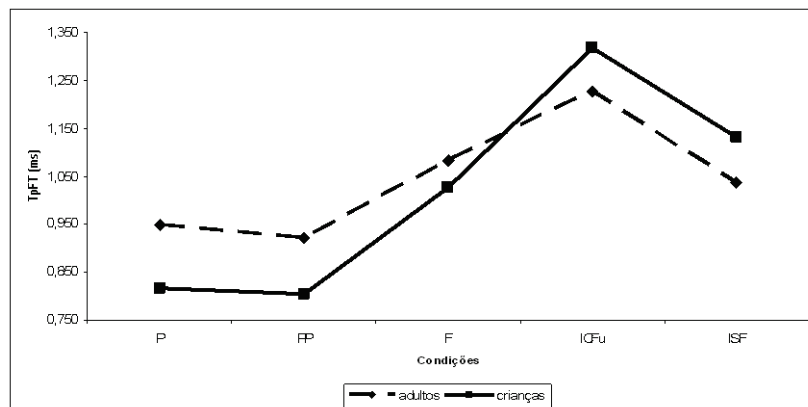


Figura 3.23 – Média do tempo até ao final do transporte (TtFT) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (IFCu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

³⁷ Ausência de homoscedasticidade nas condições P e PP, mas normalidade da distribuição garantidas.

³⁸ De realçar que crianças e adultos preservaram significativas correlações emparelhadas (respectivamente, $r = 0,461$, $p = 0,035$ e $r = 0,450$, $p = 0,031$).

³⁹ Detectada influência da ordem de apresentação, que entrou como covariante na ANOVA de medidas repetidas mista, com grupo etário como factor inter-sujeitos.

⁴⁰ Teste Box significativo ($M = 10,213$, $p = 0,021$), Traço Pillai com poder observado de 0,995.

A comparação por grupo etário revelou que são as crianças que mais contribuem para esta diferença ($t(20) - 4,059$, $p = 0,001$), enquanto que os adultos recuperam o tempo despendido na condição P ($t(22) - 2,008$, $p = 0,057$) e a correlação de amostras emparelhadas mostra que o fazem de modo consistente ($r = 0,423$, $p = 0,044$), ao passo que nas crianças esta correlação revela ruptura de comportamento ($r = 0,068$, $p = 0,769$).

A redução observada entre as condições ICFu e ISF (Figura 3.23) é significativa ($p = 0,0001$) e a variável grupo etário não interagiu com os resultados ($F(1,42) - 0,676$, $p = 0,415$). Esta redução deve atribuir-se ao desaparecimento dos flanqueadores. O importante é que as crianças apresentam uma eficiência idêntica à dos adultos. Em ambas as condições estão a usar as pinças.

Embora o arrastamento temporal do final do transporte, os resultados sobre o tempo relativo até ao final do transporte (%TtFT) acompanham os obtidos na %TtVMC, comparativamente com a condição P, na condição ISF crianças e adultos necessitaram antecipar significativamente o momento mais lento do final transporte da mão (respectivamente, $t(20) - 2,875$, $p = 0,009$, $t(22) - 4,446$, $p = 0,0001$)⁴¹(Figura 3.24).

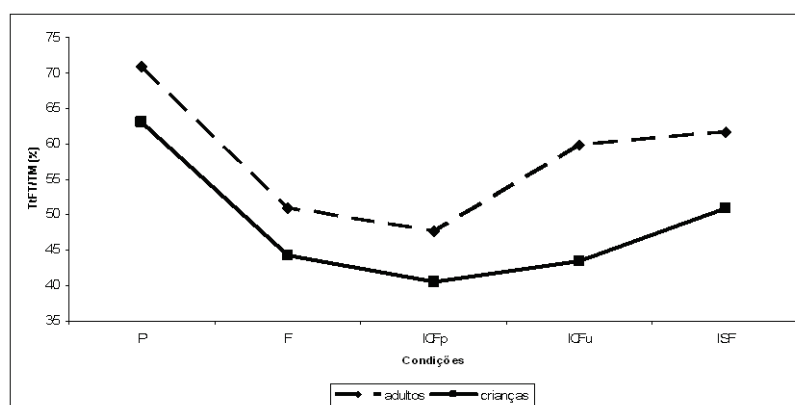


Figura 3.24 – Média da percentagem de tempo até ao final do transporte (%TtFT) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Como na condição P crianças e adultos não se diferenciam ($z - 1,281$, $p = 0,200$), esta antecipação é mais acentuada nas crianças, pois estas adiantam-se

⁴¹ Ausência de homoscedasticidade na condição P, normalidade da distribuição assegurada. Tal como na %TtVMC, crianças e adultos preservaram significativas correlações emparelhadas (respectivamente, $r = 0,443$, $p = 0,045$ e $r = 0,522$, $p = 0,011$).

aos adultos significativamente ($t(42) - 2,881, p = 0,006$). A comparação entre as condições ICFu e ISF confirma este comportamento das crianças ($F(1,42) - 10,683, p = 0,002$), mas também um retardamento significativo na condição ISF do final do transporte ($p = 0,037$), mais atribuível às crianças pois os adultos já em ICFu o revelam (Figura 3.24). De facto, a ANOVA de medidas repetidas indica que as crianças de ICFp e de ICFu para ISF aumentaram significativamente a %TtFT ($F(1,1) - 97,686, p = 0,0001$, respectivamente, $p = 0,013$ e $p = 0,038$) enquanto que os adultos já o haviam feito entre ICFp e ICFu ($p = 0,017$) ($F(1,1) - 289,396, p = 0,0001$).

Tempo Até à Máxima Velocidade de Afastamento dos Dedos

Crianças e adultos não se diferenciam no tempo até à máxima velocidade de afastamento dos dedos (TtVMD), nas condições P ($z - 0,047, p = 0,962$)⁴² e ISF ($t(42) - 0,120, p = 0,905$). Nesta variável, não há diferença significativa entre condições P e ISF, tanto nas crianças ($z - 0,579, p = 0,583$) como nos adultos ($t(22) - 0,446, p = 0,660, r = 0,513, p = 0,012$)⁴³ (Figura 3.25). Neste aspecto da componente de agarrar houve incorporação temporal do uso das pinças, em ambos os grupos etários.

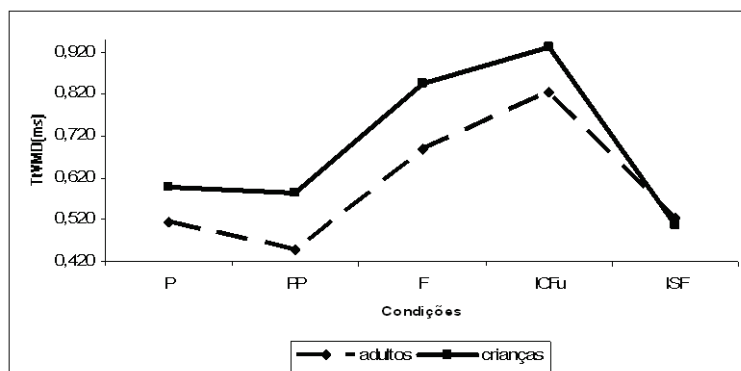


Figura 3.25 – Média do tempo até à velocidade máxima das extremidades TtVMD nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (IFCu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

⁴² Condição P com ausência de normalidade de distribuição nas crianças.

⁴³ Embora não haja diferença entre grupos etários nas condições P e ISF, a junção de ambos os grupos etários não permitiu alcançar normalidade da distribuição, pelo que se optou por uma análise por grupo etário.

A comparação entre ICFu e ISF mostra que foram os flaqueadores que mais condicionaram de igual modo os grupos etários ($F(1,42) - 0,266, p = 0,609$) o TtVMD, retardando-o ($p = 0,0001$) (Figura 18).

Na comparação da percentagem de TtVMD (%TtVMD) entre as condições P e ISF, crianças e adultos não se diferenciam ($F(1,42) - 0,083, p = 0,774$) mas contrariamente aos resultados obtidos com TtVMD há uma antecipação significativa do pico de velocidade de afastamento dos dedos ($p = 0,0001$)⁴⁴ (Figura 3.26).

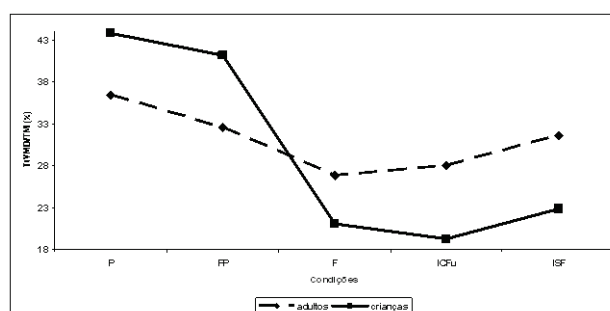


Figura 3.26 – Média da percentagem de tempo até à velocidade máxima das extremidades (%TtVMD) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

No entanto, houve uma adiantamento deste momento de ICFu para ISF ($p = 0,004$), com tendência para uma diferença significativa entre os grupos etários ($F(1,42) - 4,031, p = 0,051$).

Tempo Até ao Máximo Afastamento das Extremidades

Nas condições P e ISF, crianças e adultos não se diferenciam significativamente no tempo até ao máximo afastamento das extremidades (TtMAE) (respectivamente, $z - 0,388, p = 0,698, z - 0,423, p = 0,672$)⁴⁵. O TtMAE reservado em ambas as condições foi idêntico ($z - 0,805, p = 0,421$) (Figura 3.27).

⁴⁴ A comparação entre as condições P e ISF por grupo etário indica que é às crianças que se deve atribuir esta diferença ($t(20) - 4,558, p = 0,0001, r = 0,190, p = 0,410$), pois nos adultos ela não se verifica ($t(22) - 1,741, p = 0,096$) mas também não é consistente ($r = 0,294, p = 0,173$). Admitimos ocultação de erro tipo I na aplicação do t depois da ANOVA, do primeiro interessa a correlação da segunda a interacção.

⁴⁵ Nas crianças ausência de normalidade da distribuição de dados na condição P, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10. A junção dos dados de ambos os grupos etários também não surtiu normalidade da distribuição, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

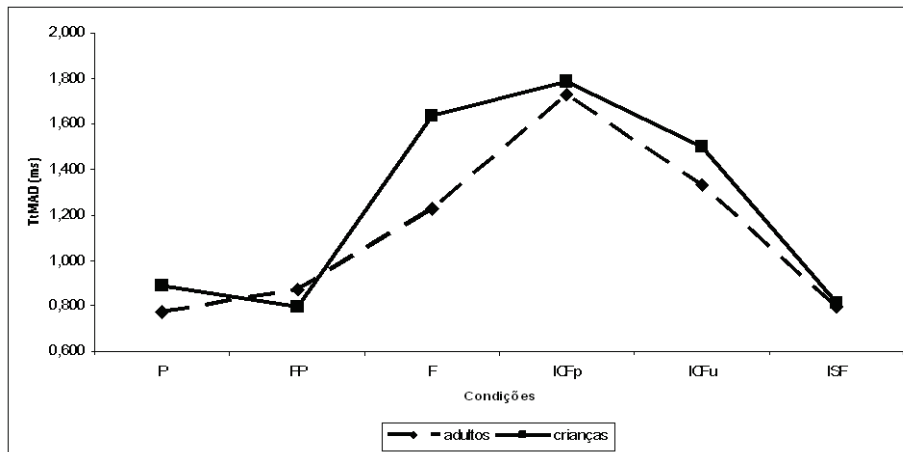


Figura 3.27 – Média do tempo até o máximo afastamento das extremidades (TtMAE) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flangeadores (F), nos primeiros e últimos ensaios da condição instrumento com flangeadores (ICFu) e condição instrumento sem flangeadores (ISF), por grupo etário.

Para a comparação entre as condições ICFu e ISF, a ANOVA de medidas repetidas mista também revelou ausência de interação com o grupo etário ($F(1,42) - 0,984, p = 0,327$)⁴⁶ e uma redução significativa do TtMAE ($p = 0,0001$) (Figura 3.27).

Outra ANOVA de medidas repetidas mista entre as condições ICFp, ICFu e ISF, revelou ausência de interação com o grupo etário ($F(1,42) - 2,979, p = 0,092$) e um aumento significativo da condição F para ICFp ($p = 0,009$), que se mantém comparativamente com ICFu ($p = 0,004$), enquanto que a condição F e ICFu não se diferenciam significativamente ($p = 1,000$) (Figura 3.27)⁴⁷.

Os resultados da percentagem de TtMAE (%TtMAE) coincidem com os do %TtVMD, não há interação com o grupo etário ($F(1,42) - 0,691, p = 0,411$) e o máximo afastamento das pinças ocorre significativamente mais cedo na condição ISF que na condição P ($p = 0,0001$) (Figura 3.28).

⁴⁶ Transformação pelo log 10 devido distribuição de dados dos adultos na condição ISF.

⁴⁷ A transformação pelo log 10 para as condições F, ICFp, ICFu e ISF, para uma análise das variâncias conjunta, revelou-se infrutífera pois no teste de Levene para ICFp resulta numa diferença significativa ($F(1,42) - 6,763, p = 0,013$).

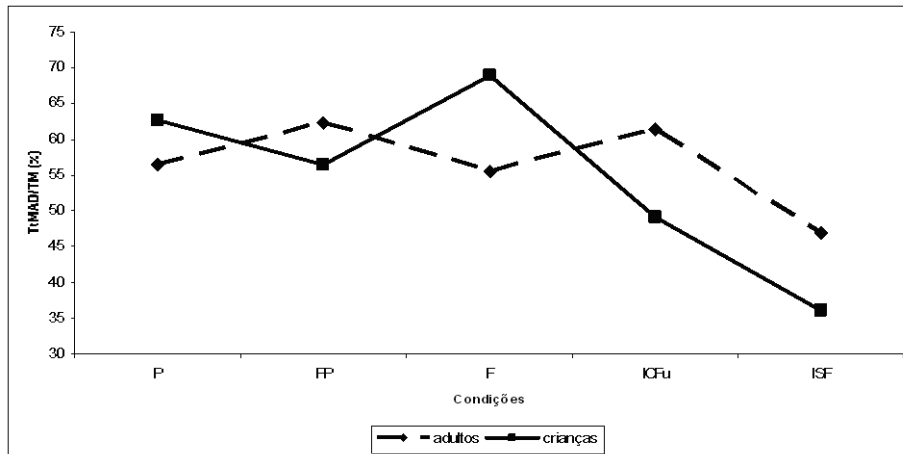


Figura 3.28 – Média da porcentagem de tempo até ao máximo afastamento das extremidades (%TtMAE) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

No entanto, contrariamente à %TtVMD houve um retardamento deste momento de ICFu para ISF ($p = 0,0001$), confirmando-se uma diferença significativa entre os grupos etários ($F(1,42) - 6,947$, $p = 0,012$) (Figura 3.28).

Tempo Após o Final do Transporte

A ANOVA de medidas repetidas revelou que as crianças gastam significativamente mais tempo após o final do transporte (TpFT) na condição ISF que na condição P ($p = 0,0001$) mas também significativamente mais TpFT na condição ICFu que na ISF ($p = 0,0001$). Os adultos também gastam mais TpFT na condição ISF que na condição P ($p = 0,0001$) mas também menos tempo na condição ISF que na F ($p = 0,001$)⁴⁸. Nesta variável as crianças não se diferenciaram dos adultos na condição P ($z - 0,494$, $p = 0,621$), mas gastaram significativamente mais TpFT na condição ISF ($t(42) - 3,456$, $p = 0,001$)⁴⁹ (Figura 3.29).

⁴⁸ A ANOVA não pôde ser feita com o grupo etário como factor inter-sujeitos porque não se verificou homoscedasticidade na condição P, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10. Nos adultos o teste Mauchly deu significativo ($W - 0,379$, $p = 0,002$) mas com um Épsilon Huynh-Feldt igual a 0,740 e poder observado de 0,998.

⁴⁹ Transformação pela raiz quadrada para assegurar homoscedasticidade. Normalidade da distribuição assegurada.

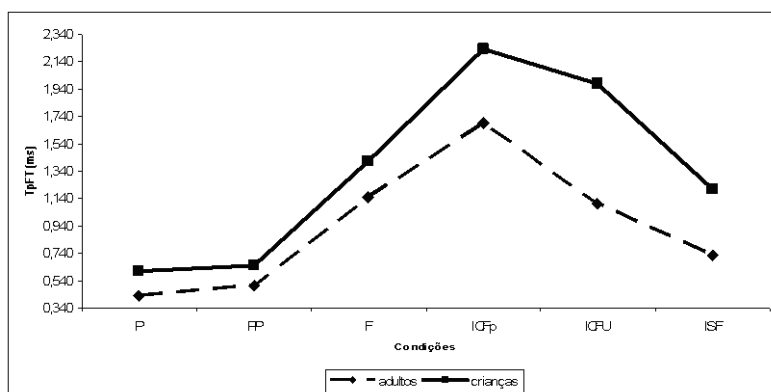


Figura 3.29 – Média do tempo após o final do transporte (TpFT) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), nos primeiros e últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Os resultados da percentagem de TpFT (%TpFT) sobrepõem-se aos efectivos, as crianças gastam significativa e consistentemente mais %TpFT na condição ISF que na condição P ($t(20) - 2,875, p = 0,009; r - 0,443, p = 0,045$). Os adultos também gastam significativa e consistentemente mais %TpFT na condição ISF que na condição P ($t(22) - 4,446, p = 0,0001; r - 0,552, p = 0,011$), mas também menos tempo na condição ISF que na F ($p = 0,001$)⁵⁰. Nesta variável as crianças não se diferenciaram dos adultos na condição P ($z - 1,281, p = 0,200$), mas gastaram significativamente mais %TpFT na condição ISF ($t(42) - 2,881, p = 0,006$)⁵¹. Na comparação entre as condições ICFu e ISF, a ANOVA de medidas repetidas mista revelou interacção com o grupo etário ($F(1,42) - 10,955, p = 0,002$), com as crianças a gastarem mais %TpFT que os adultos, e também uma redução significativa da %TpFT da condição ICFu para a ISF ($p = 0,038$)⁵².

Máximo Afastamento das Extremidades Preênsais

Nas condições P, PP e F os marcadores nos dedos dos adultos estão naturalmente mais afastados que nos das crianças, no entanto, os resultados

⁵⁰ A ANOVA não pôde ser feita com o grupo etário como factor inter-sujeitos porque não se verificou homoscedasticidade na condição P, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

⁵¹ As crianças também se diferenciam significativamente dos adultos na condição PP ($z - 2,174, p = 0,030$, ausência de homoscedasticidade) e na condição F ($z - 2,103, p = 0,035$, ausência de normalidade da distribuição nos adultos), o que nos faz supor que esta variável é muito sensível à interacção entre desenvolvimento motor e constrangimentos extrínsecos.

⁵² Admitindo acumulação de erro de tipo I, verificámos que é às crianças que se deve atribuir esta diferença e que ela decorre de uma mudança de comportamento muito consistente nos executantes ($t(20) - 2,560, p = 0,019, r - 0,641, p = 0,002$).

obtidos não aparentam ter sido afectados por esta diferença⁵³. Nas condições com pinças (ICF e ISF) esta diferença deixa de condicionar os resultados.

Na comparação entre as condições P e ISF, a ANOVA de medidas repetidas mista revelou ausência de interacção com o grupo etário ($F(1,40) = 0,113$, $p = 0,739$)⁵⁴, mas um máximo afastamento das extremidades preênsais (MAE) significativamente superior na condição ISF ($p = 0,0001$) (Figura 3.30).

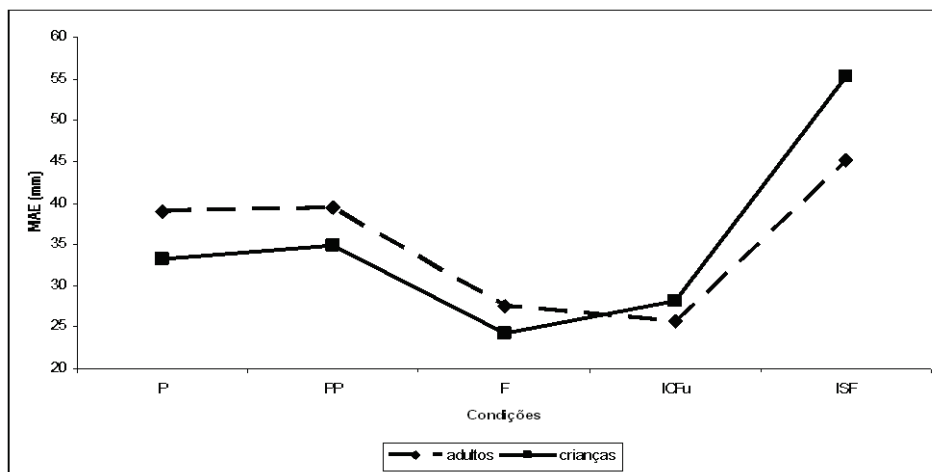


Figura 3.30 – Média do máximo afastamento das extremidades (MAE) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flangeadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flangeadores (ICFu) e condição instrumento sem flangeadores (ISF), por grupo etário.

Este resultado poderia ser ainda mais representativo se considerarmos que na condição ICFu não há diferença significativa entre crianças e adultos ($t(42) = 1,589$, $p = 0,120$)⁵⁵.

Como nas condições com pinças o MAE podia dever-se simplesmente a um aumento do comprimento das extremidades preênsais, decidimos proceder às comparações através da proporção entre o MAE e o comprimento destas (Gentilucci, Roy & Stefanini 2004)⁵⁶ (Figura 3.31).

⁵³ Gentilucci, Roy e Stefanini (2004) subtraíram o valor da distância entre os marcadores na posição inicial ao encontrado no MAE, de modo a obter a distância entre as superfícies das polpas dos dedos polegar e indicador. Infelizmente, não implementámos esta astuciosa solução.

⁵⁴ Espessura do polegar e do indicador como covariantes.

⁵⁵ Transformação pela raiz quadrada para normalidade da distribuição dos dados das crianças na condição ICFu.

⁵⁶ Os valores de Gentilucci, Roy e Stefanini (2004, p. 500) são 0,40 para os dedos e 0,38 para as pinças, com uma prática de 15 ensaios, para agarrar paralelepípedos 20, 40 e 60mm de lado e 10mm de altura. As pinças tinham 150mm de comprimento.

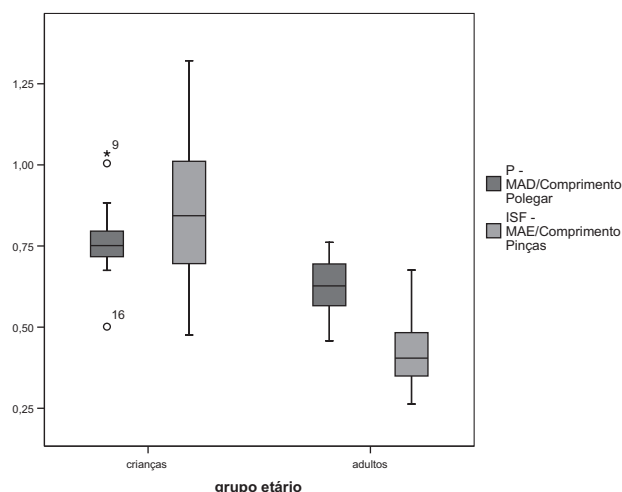


Figura 3.31 – Mediana da proporção máximo afastamento das extremidades/comprimento do polegar na condição pessoal (P) e de máximo afastamento das extremidades /comprimento das pinças na condição instrumento sem flanqueadores (ISF) (linha horizontal), por grupo etário.

Os resultados são substancialmente diferentes, os adultos reduzem significativamente o MAE relativo na condição ISF em relação à condição P ($t(22) - 8,255, p = 0,0001$) e as crianças não apresentam diferenças significativas ($z - 1,825, p = 0,068$), finalmente, as crianças apresentam um MAE relativo significativamente superior aos adultos na condição ISF ($z - 8,904, p = 0,0001$)⁵⁷ (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Predição do comprimento do polegar a partir do máximo afastamento das extremidades na condição instrumento sem flanqueadores (Predição Cpol), e proporção máximo afastamento das extremidades/comprimento do polegar (Cpol) (condição pessoal) e máximo afastamento das extremidades/comprimento das pinças (Cpin) (condição instrumento sem flanqueadores), por grupo etário.

Grupo Etário	Comprimento Polegar (mm)	Proporção MAE/CPol	Comprimento Pinças (mm)	Proporção MAE/Cpin	Determinação Cpol (mm)
Adultos	62,7±5,91	0,63±0,08	105	0,43±0,12	43,1
Crianças	43,1±2,53	0,77±0,11	65	0,85±0,21	47,5

Se a proporção MAE/Cpin (condição ISF) fosse equivalente à proporção MAE/Cpol (condição P) tal significaria que o afastamento dos dedos polegar e indicador tinha sido similar nas duas condições experimentais, ou que poderíamos determinar um comprimento de polegar similar a partir da relação entre as proporções obtidas; é o que acontece com as crianças, proporções idênticas, estimativa de comprimento do polegar próxima mas significativamente superior

⁵⁷ Nas crianças ausência de normalidade da distribuição na condição P, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

($t(20) - 7,985$, $p = 0,0001$), mas não com os adultos, proporções distintas, estimativa do comprimento do polegar significativamente inferior ($t(22) - 15,897$, $p = 0,0001$)⁵⁸.

A análise do MAE relativo ao diâmetro da esfera (MAE/D) confirmam os obtidos com os valores efectivos. Embora a diferença morfológica entre a espessura dos dedos das crianças e dos adultos, a ANOVA de medidas repetidas mista para a comparação entre as condições P, PP e F da proporção entre o MAE e o diâmetro da esfera (MAE/D) revelou não haver interacção com o grupo etário ($F(1,40) - 3,083$, $p = 0,087$)⁵⁹, ausência de diferença entre as condições P e PP ($p = 0,606$) mas ambas a apresentarem um MAE/D significativamente superior à condição F ($p = 0,0001$). Comparativamente com a condição F as crianças aumentaram significativamente o MAE/D em ICFp ($z - 3,581$, $p = 0,0001$)⁶⁰ e em ICFu ($t(20) - 3,252$, $p = 0,004$); enquanto que os adultos o reduziram significativamente em ICFp ($t(22) - 2,880$, $p = 0,009$) (Figura 3.32).

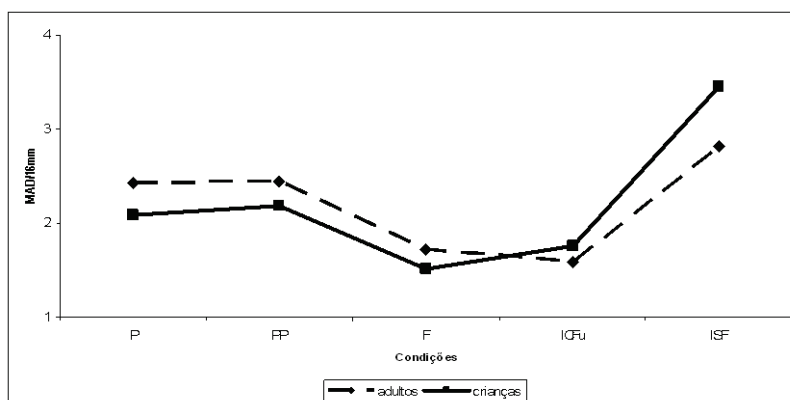


Figura 3.32 – Média do máximo afastamento das extremidades/diâmetro da esfera nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

No entanto, as crianças não se diferenciam significativamente dos adultos em ICFu ($t(42) - 1,509$, $p = 0,139$).

⁵⁸ Ambos os grupos etários têm uma distribuição normal nos valores do comprimento do polegar pelo que aplicámos o teste t para uma amostra, usando como valor teste o obtido na determinação do comprimento do polegar (ver Tabela 1).

⁵⁹ Espessura do polegar e do indicador como covariantes.

⁶⁰ Transformações pela raiz quadrada, devido a ausência de normalidade da distribuição na condição PP, nos adultos. Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M - 16,582$, $p = 0,018$), poder observado do Traço Pillai para DO de 1,000 e para a interacção com o grupo etário de 0,998.

Deslocação do Ombro

Crianças e adultos não se diferenciam na deslocação do ombro (DO) (plano do movimento) nas condições P, PP e ISF ($F(1,42) - 2,048, p = 0,160$)⁶¹. Crianças e adultos deslocam significativamente mais o ombro na condição PP que na P ($p = 0,0001$). A diferença registada da DO média entre a condição P e a PP aproxima-se do comprimento das pinças para cada grupo etário (crianças – 53,60mm; adultos – 98,33mm)⁶². Crianças e adultos deslocam significativamente menos o ombro em ISFu que na condição PP ($p = 0,0001$), a redução de DO é menor que a do comprimento das pinças (crianças – 40,78mm; adultos – 72,35mm); o que resulta numa DO significativamente superior à ocorrida na condição P ($p = 0,0001$) (Figura 3.33).

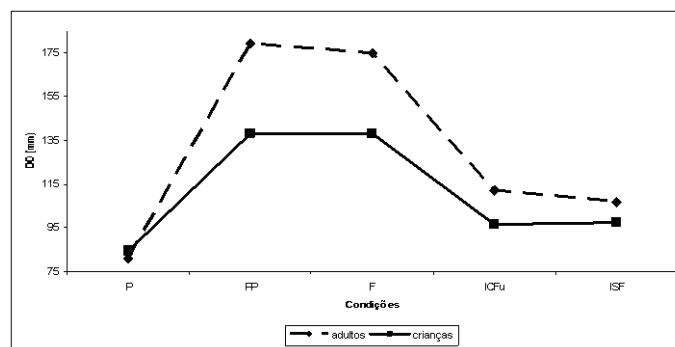


Figura 3.33 – Média da deslocação do ombro (DO) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

Nas condições com flaqueadores (F, ICFu e ISF) houve interacção com o grupo etário, as crianças deslocaram significativamente menos o ombro ($F(1,42) - 5,289, p = 0,027$). A ANOVA de medidas repetidas por grupo etário, tendo como factor intra-sujeitos as condições P, F, ICFp, ICFu e ISF, revelou que nas crianças a DO na condição F foi significativamente superior às restantes ($p = 0,0001$) as quais não se diferenciaram entre si, e que nos adultos a DO na condição F também foi significativamente superior às restantes ($p = 0,0001$) enquanto que a na condição P foi significativamente inferior às restantes ($p = 0,0001$), as quais não se diferenciaram entre si.

⁶¹ Espessura do polegar e do indicador como covariantes.

⁶² Comprimento das pinças das crianças 65mm e dos adultos 105mm, para lá da ponta dos dedos. Observe-se que ocorre sempre alguma DO natural (Catela, Seabra & Barreiros, 2006b).

Extensão do Cotovelo no Final do Transporte

Em média as crianças fazem uma menor extensão do cotovelo no final do transporte (EC) nas condições P e PP (não significativo), nas restantes condições a EC é em média superior. A EC nas crianças só é significativamente superior aos adultos na condição ICFu ($t(42) - 2,659$, $p = 0,011$), tendendo a diferenciar-se significativamente na condição ICFp ($t(42) - 2,011$, $p = 0,051$) (Figura 3.34).

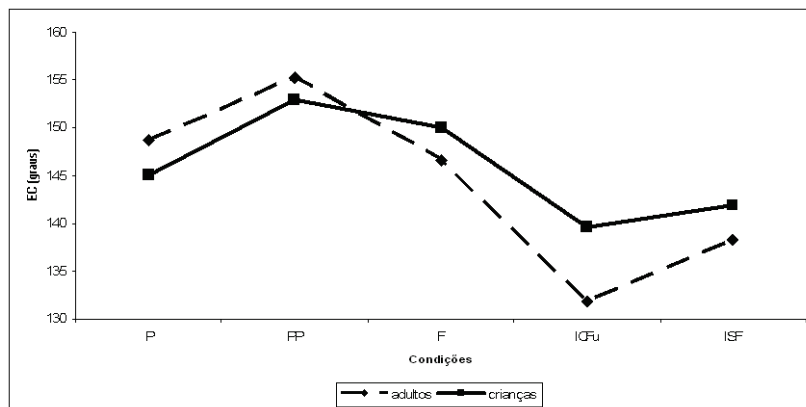


Figura 3.34 – Média da extensão do cotovelo (EC) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Os executantes fazem uma significativamente menor EC na condição ISF que na condição P ($z - 3,711$, $p = 0,0001$)⁶³; mas se compararmos estas duas condições por grupo etário verificamos que é aos adultos que se deve esta diferença ($z - 4,167$, $p = 0,0001$). As crianças estendem pouco menos o membro ($3,15^\circ$) enquanto que nos adultos esta diferença é mais evidente ($10,46^\circ$), adicionalmente, nas crianças os valores mínimo e máximo são superiores aos ocorridos na condição P, enquanto que nos adultos ocorre o inverso.

Tabela 3.3 – Média, desvio-padrão, mínimo e máximo da extensão do cotovelo (graus) nas condições pessoal (P) e instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Grupo Etário	Condição P			Condição ISF		
	Média±DP	Mínimo	Máximo	Média±DP	Mínimo	Máximo
Crianças	145,11±12,99	121,1	170,2	141,11±14,38	126	177
Adultos	148,74±7,28	135,2	163,1	138,28±9,45	124	156

⁶³ Ausência de homoscedasticidade na condição P, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

A ANOVA de medidas repetidas mista revelou que na condição F a EC é significativamente maior que em todas as outras condições com instrumentos (ICFp, ICFu e ISF) ($p = 0,0001$).

Como cada executante tem a sua posição angular do cotovelo própria, decidimos determinar a proporção de EC relativamente à posição angular inicial (ECP). No geral, os resultados confirmam os obtidos com a EC; no entanto, as crianças revelaram uma ECP significativamente inferior para todas as condições ($F(1,42) - 9,950, p = 0,003$)⁶⁴. Uma ANOVA de medidas repetidas mista⁶⁵ revelou também a ECP no último ensaio da condição F foi significativamente superior à ocorrida no primeiro ($p = 0,027$) e segundo ensaio ($p = 0,045$) da condição ICF.

Discussão

O fenómeno verificado no RPI é a expressão qualitativa da incorporação das pinças na topologia do membro preênsil como se dele fizessem parte. Que esta expressão é por vezes persistentemente não consciente⁶⁶ ou consciencializada e corrigida, sustenta a hipótese de um sistema visual dorsal (“como”) baseado em coordenadas egocêntricas e sem envolvimento da consciência e de um sistema ventral (“o quê”) que pode ser activado simultaneamente, fazendo intervir a consciência e interagir com o sistema dorsal (Goodale & Milner, 1992), promovendo os ajustamentos necessários para corresponder às instruções do experimentador, i.e., colocar a ponta dos dedos na marca do posição inicial e não a das pinças⁶⁷.

Na condição ISF a esfera fica à mesma distância do executante que na condição P, portanto, os executantes gastaram mais TM para percorrer a mesma distância,

⁶⁴ Transformações pelo log 10, devido a ausência de homoscedasticidade na condição P e normalidade da distribuição nos adultos nas condições P e ICFu. Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M - 70,420, p = 0,0001$), poder observado do Traço Pillai para ECP de 1,000 e para a interacção com o grupo etário de 0,554. Teste Mauchly deu significativo ($W - 0,458, p = 0,005$), Épsilon Huynh-Feldt igual a 0,892 e poder observado de 1,000 para a ECP e de 0,409 para a interacção com o grupo etário.

⁶⁵ Transformações pelo log 10, devido a ausência de normalidade da distribuição nos adultos no segundo ensaio da condição F. Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M - 35,220, p = 0,0001$), poder observado do Traço Pillai para ECP de 0,999.

⁶⁶ Na condição ICF, a criança 2 repôs sempre a extremidade das pinças (e não dos dedos) na posição inicial, mesmo que o experimentador lhe corrigisse a posição da mão antes de cada ensaio.

⁶⁷ As representações egocêntricas localizar-se-ão no sistema dorsal, para subservir acções dirigidas para um objectivo, e as allocêntricas no sistema ventral, para subservir a percepção consciente dos objectos (Neggers, Van der Lubbe, Ramsey & Postma, 2006).

o que é expressão de maior dificuldade na execução da tarefa (Marteniuk et al., 1987). Agarrar com pinças não foi o mesmo que agarrar com os dedos. Tal pode dever-se à ausência de prática suficiente para aprender a usar as pinças para alcançar e agarrar a esfera. Os resultados na variável TM não sustentam a hipótese de uma incorporação das pinças na temporalidade da acção de alcançar para agarrar a esfera.

Por outro lado, o TtVMC revelou-se como uma âncora. Nas condições P e PP a diferença de distância a percorrer não afectou significativamente esta variável. Os flaqueadores, na condição F, e as pinças, na condição ISF, tiveram influência semelhante nesta variável, o aumento do TtVMC e uma antecipação relativa da %TtVMC. A nossa interpretação é que quando há flaqueadores os executantes estiveram mais atentos aos constrangimentos que estes impõem que àqueles impostos pelas pinças, contribuindo estas pouco para o aumento do tempo nesta variável. Na ausência dos flaqueadores, os executantes centraram a sua atenção nos constrangimentos impostos pelas pinças, passando estas a contribuir para o aumento de tempo nesta variável. Na presença dos flaqueadores a incorporação pode ser bem mais efectiva que na sua ausência, provavelmente, porque a presença de flaqueadores justifica a funcionalidade das pinças, mais que a atenção nas próprias pinças⁶⁸. As pinças impuseram alteração na gestão da componente de transporte, que é parcialmente responsável pelo aumento do TM (Carnahan, Goodale & Marteniuk, 1993); este constrangimento foi semelhante para os dois grupos etários.

A paridade de dispêndio de %TtVMC nas condições P e PP entre crianças e adultos asseguram que a antecipação que as crianças fazem na condição ISF reforçam a ideia que a prática permitida não foi suficiente para o domínio motor da acção com pinças, e a hipótese de este ser um problema particular das crianças (Bushnell & Boudreau, 1991). A presença adicional de flaqueadores este padrão de comportamento, os flaqueadores são uma variável moderadora (Jackson, Jackson & Rosicky, 1995; Mon-Williams, Tresilian, Coppard & Carson, 2001), à qual as crianças são mais sensíveis (Tresilian, Mon-Williams, Coopard & Carson, 2005; Catela, Seabra & Barreiros, 2007c).

⁶⁸ Um dos adultos fez o seguinte comentário: "No início olhei mais para as pinças, depois deixei de olhar para elas."

No TtFT (componente de transporte) os adultos revelam incorporação do uso temporal das pinças. A incapacidade das crianças o fazerem revela uma diferença entre estes dois grupos etários, nelas a componente de transporte é muito influenciada pela tentativa de uso efectivo do instrumento. No entanto, e embora a redução observada entre as condições ICFu e ISF se deva atribuir ao desaparecimento dos flaqueadores, as crianças apresentam-se com uma eficiência idêntica à dos adultos, e em ambas as condições estão a usar as pinças, i.e., estão a aprender a usá-las.

Os resultados sobre o tempo relativo até ao final do transporte (%TtFT) não acompanham totalmente os obtidos na %TtVMC. A incorporação da dinâmica temporal da componente de transporte da acção de preensão com pinças pode ter ocorrido parcialmente. Nas condições P e ISF a esfera ficou a uma distância proporcionalmente similar das extremidades preênsais, não havendo limitações extrínsecas, mas os executantes necessitaram antecipar significativamente o final da componente de transporte, reservando assim mais tempo para o ajustamento do contacto com a esfera. Segundo o nosso critério, o final do transporte é a cessação da extensão do cotovelo, portanto, todo o tempo restante é reservado predominantemente para estabelecimento do contacto com a esfera, para o qual na condição ISF as crianças despenderam 50% do tempo de movimento e os adultos 40%, em contraste com 37% e 30%, respectivamente, na condição P. Para o uso das pinças, a componente de transporte foi gerida em função da componente de agarrar (Hoff & Arbib, 1992), de modo ainda mais agudo pelas crianças, no sentido de dar tempo à fase lenta desta última, a qual corresponde ao uso efectivo das pinças ainda só para agarrar a esfera. A estratégia das crianças deve ter sido – primeiro chegar lá, depois logo se vê (McCarty, Clifton & Collard, 1999; Connolly & Dalgleish, 1989). No entanto, em ambos os grupos etários é evidente uma tendência significativa para uma redução do tempo relativo reservado à componente de transporte.

Na variável da componente de agarrar TtVMD, crianças e adultos revelaram um comportamento idêntico nas condições P e ISF, sem se diferenciarem significativamente entre si, tudo indicando que houve incorporação temporal do uso das pinças na fase rápida da componente de agarrar. Os resultados da %TtVMD podem significar que crianças e adultos usam a mesma estratégia em função da situação experimental. No caso da condição ISF é a de

antecipar esta fase rápida da componente de agarrar, mais acentuada nas crianças. Nos estudos sobre preensão um aumento de exigência de precisão está associado a uma antecipação do afastamento máximo dos dedos (Jakobson & Goodale, 1991; Smeets & Brenner, 1999).

Os resultados reforçam os encontrados nas variáveis da componente de transporte, os executantes reservam mais tempo do movimento para a fase lenta, neste caso a da componente de agarrar, aquela onde é preparado o contacto com o objecto a agarrar. Esta necessidade é mais premente nas crianças, as quais nas condições sem instrumentos (P, PP, F) têm em média um valor de %TtVMD sempre superior aos adultos mas nas com instrumentos (ICFp, ICFu, ISF) sempre inferior; para a fase lenta da componente de agarrar, as crianças precisam de reservar mais tempo que os adultos. Reforça-se a ideia da estratégia das crianças ser não a de um planeamento antecipado mas a de uma antecipação para poder depois planear – “primeiro afasto os dedos, depois logo vejo”.

Tal como no TtVMD, a confrontação da condição P com a ISF mostra que no TtMAD ocorreu incorporação do uso temporal das pinças; crianças e adultos modelaram os tempos relacionados com o afastamento dos dedos. A discrepância dos resultados entre as condições ICFu e ISF, mostra como os flaqueadores condicionaram crianças e adultos a retardar afastamento das pinças, tal como aconteceu na condição F (uso dos dedos para agarrar a esfera). Interpretamos este padrão de comportamento como uma prova da transferência da referência espacial da ponta dos dedos para a ponta das pinças, as coordenadas egocêntricas prolongaram-se para a extremidade das pinças, não num processo de remapeamento coordenativo entre diferentes representações perceptivas visuais e proprioceptivas (recalibração perceptiva - Schwartz & Reilly, 1981; Bedford, 1993), mas num processo de aquisição de uma habilidade visuomotora (Clower & Boussaoud, 2000), ou seja, através de um ajustamento da resposta motora a um constrangimento da tarefa, numa relação não-topológica entre a informação visual e a produção motora. Em defesa desta hipótese está o facto de haver sempre mudanças abruptas de comportamento cinemático entre condições experimentais distintas, como se os executantes possuíssem (ou adquirissem momentaneamente) diferentes mapeamentos visuomotores, e da

lateralidade não se ter revelado uma variável influente⁶⁹ (Imamizu & Shimojo, 1995).

As %TtVMD e %TtMAE na condição ICF ocorre significativamente mais tarde que na condição ISF. Este padrão de comportamento é comum aos dois grupos etários. Os flaqueadores impeliram os executantes a manter as pinças unidas durante mais tempo e na ausência destes os executantes reorganizaram a estrutura temporal da componente de agarrar. Se crianças e adultos não conseguiram aproximar-se do padrão de execução motora que revelaram na condição P tal poderá dever-se a uma prática insuficiente (Obayashi et al., 2001; Ishibashi, Hihara & Iriki, 2000), o que não significa ausência de possibilidade de plasticidade de representação de um corpo com o instrumento incorporado (Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001), pois a alteração do padrão de comportamento é a prova da tentativa de integração das novas dimensões morfológicas num ciclo de percepção-acção, onde cada executante sente a necessidade de procurar um novo arranjo temporal da componente de agarrar.

Na fase lenta (TpFT), de preparação de contacto com a esfera (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004), as crianças e os adultos são muito sensíveis ao uso das pinças. Esta é uma fase de efectiva aproximação e preparação de manipulação da esfera e não tanto de transporte do membro preênsil até próximo do objecto-alvo. O problema principal passa a ser como agarrar a esfera e não ir para onde a esfera está. Supomos que aqui o sistema visual ventral é predominante (Goodale & Milner, 1992). Mesmo assim, libertos da presença dos flaqueadores na condição ISF, as crianças conseguem reduzir significativamente este tempo em relação à condição ICFu e os adultos em relação à condição F. Na presença de flaqueadores, as crianças despendem significativamente mais tempo que os adultos nesta variável. O uso de pinças para agarrar a esfera foi, por si, uma tarefa difícil, principalmente para as crianças, muito mais que as transportar como um mero implemento. Incorporar o comprimento físico das pinças no membro preênsil (implemento) e usá-las como um instrumento preênsil, *de facto*, são dimensões de apropriação distintas (Bushnell & Boudreau, 1991). Contactar e

⁶⁹ No conjunto dos executantes tivemos dois sinistrómanos, uma criança e um adulto. Como foi referido na metodologia todos os executantes realizaram a tarefa com o membro direito. Os sinistrómanos nunca se diferenciaram dos destrímanos. A única comparação digna de nota ocorreu no segundo ensaio da condição ISF, na variável TtMAD com uma tendência para diferença significativa entre os dois grupos de lateralidade manual ($z = 1,889$, $p = 0,059$).

agarrar a esfera com pinças não é o mesmo que com os dedos (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004); a apropriação de novas efectividades (Reed, 1988; Ackroyd et al., 2002) através da incorporação das pinças requer mais que a detecção visual e háptica das suas dimensões físicas, requer mais prática que aquela disponibilizada aos executantes, mesmo sem a presença dos flaqueadores. Percepção e acção têm que estar articuladas para que o executante possa ir construindo novas estruturas coordenativas.

Os resultados obtidos em torno do MAE mostram que as crianças afastam mais as pinças que adultos, embora só significativamente na condição ISF, provavelmente, porque na condição ICF lutam entre dois constrangimentos, o dos flaqueadores forçando a não abrirem e a dificuldade da tarefa impelindo-as a abrirem. Libertas dos flaqueadores, a pressão da dificuldade da tarefa afasta-as dos adultos em 10mm. De facto, mesmo para os adultos esta tarefa é difícil, pois também eles afastam significativamente mais as extremidades na condição ISF que na P, hipótese corroborada por na condição ISF ter aumentado o TpFT e por o TtMAD ter passado a surgir em média primeiro que o TtVMC, i.e., ocorreu uma antecipação da preparação da componente agarrar, tida como indicador de maior índice de dificuldade da tarefa (Jakobson & Goodale, 1991).

O que a confrontação das proporcionalidades do MAE das condições P e ISF nos oferecem é a suposição que os adultos incorporaram o afastamento das pinças no dos seus próprios dedos, enquanto que as crianças não. Esta é uma gestão espacial perpendicular ao sentido do movimento de agarrar e não alinhado com este; requer um alargamento da percepção das pinças, como objecto incorporado, num segundo plano, o plano frontal do executante, transportado até à extremidade das pinças. Aparentemente, os adultos evoluíram através duma representação aloccêntrica da acção de apreensão, no sentido de uma incorporação motora consciente nos planos sagital (implemento) e frontal (uso do instrumento). No entanto, os adultos transferiram a referência na acção da ponta dos dedos para a ponta das pinças (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996; Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002), a interacção com o envolvimento passou a ser com e no instrumento (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997), potenciando uma representação egocêntrica do espaço peripessoal. O sistema dorsal deve ter sido preponderante nas crianças, a incorporação no plano sagital (comprimento das pinças, implemento) verificou-se, mas não houve indícios de

ajustamentos à deslocação da extremidade das pinças no plano frontal, aparentemente, a referência para o afastamento e fecho dos dedos continuou centrada numa representação egocêntrica, i.e., nas pontas dos dedos. Os nossos resultados são coincidentes com os de Ferrel, Bard e Fleury (2001)⁷⁰, as crianças usaram uma representação unidireccional para converter a informação visual em acção motora, enquanto que os adultos conseguiram usar uma representação bidireccional.

Nas condições F e ICF os adultos implementaram a solução motora “não vale a pena afastar o que depois se terá que juntar”; mas as crianças em ICF aumentaram o MAE/D. Esta diferença não pode dever-se a diferenças morfológicas, a espessura das pinças dos adultos e das crianças era igual. Se elas afastaram proporcionalmente mais as pinças ganharam uma margem de segurança para as poder fechar (Catela, Seabra & Barreiros, 2007b). A fractura entre efectividades e affordances é revelador da perturbação de estruturas coordenativas existentes.

Crianças e adultos não se diferenciam na DO nas condições P, PP e ISF, portanto, o escalonamento a efectividades antropométricas e motoras de cada grupo experimental permitiu excluir a influência destas nos resultados obtidos (Catela, Seabra & Barreiros, 2006a, 2006b). A condição PP assegurou o necessário afastamento da esfera de modo a ocorrer uma significativa DO (Levin, Michaelson, Cirstela & Roby-Brami, 2002; Mark et al., 1997). A redução da DO entre as condições PP e ISF só pode significar que os executantes contaram com o comprimento das pinças para alcançar a esfera, i.e., incorporaram o comprimento das pinças no comprimento do seu membro preênsil. Esta redução de DO é significativamente menor que na condição P e deve resultar da dificuldade da tarefa associada ao uso efectivo das pinças, o que implicou uma mobilização de segmentos mais distais (tronco), embora o seu maior custo energético (Rosenbaum et al., 1995). Este fenómeno deve ter um equivalente na

⁷⁰ Ferrel, Bard e Fleury (2001) fizeram um estudo sobre as modificações das representações visuo-motoras, onde crianças, entre os 6 e 11 anos de idade, e adultos durante a apresentação de uma localização num ecrã vertical, a qual era perturbada, tiveram que deslocar um estilete para a correspondente localização num plano horizontal no seu espaço pessoal. Encontraram que as crianças de 6 anos apresentaram uma precisão muito fraca aos 180°, interpretada como revelando um predomínio de representações unidireccionais, que as de 8 anos apresentaram uma redução significativa do erro neste ângulo, interpretada como revelando uma transição de representações unidireccionais para bidireccionais, e que as de 11 anos apresentaram representações bidireccionais.

redução de abertura do ângulo do cotovelo, de modo a assegurar uma distância adequada à esfera.

Os resultados da EC correspondem à preferência das crianças em colocar a esfera um pouco mais perto de si que os adultos (Catela, Seabra & Barreiros, 2006a). O resultado da comparação da EC entre as condições P e ISF complementa os obtidos para a DO e sustenta a hipótese de incorporação do comprimento das pinças. Na condição F a EC é significativamente maior que em todas as outras condições com instrumentos. Ora se na condição F o ombro é deslocado mais e o cotovelo é estendido mais e nas condições ICF e ISF o ombro é deslocado menos e o cotovelo estendido menos, então, só há uma resposta para explicar o espaço que sobra para alcançar a esfera entre estas duas situações experimentais - os executantes completam-no com o comprimento das pinças. Em termos de comportamento, a combinação destes dois conjuntos de resultados é a confirmação que há uma incorporação espacial das pinças na percepção que os executantes têm do comprimento do seu membro preênsil, e a presença dos flaqueadores não foi suficiente para inibir este processo da incorporação física das pinças. A ECP confirma a incorporação do comprimento das pinças na acção de prensão em ambos os grupos etários. Deduzimos que, em termos espaciais, para a dimensão física comprimento do instrumento, o sistema neuro-motor destes executantes teve plasticidade para a representação de um corpo que incorporou no seu esquema um instrumento (Head & Holmes, 1911; Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001; Obayashi et al., 2001; Ishibashi, Hihara & Iriki, 2000), mas um corpo dinâmico, no sentido de um corpo envolvido numa acção motora. A comparação da ECP entre o final da condição F e o princípio da condição ICF demonstra que este processo de incorporação é imediato, ou seja, crianças e adultos não só percebem a *affordance* inerente ao comprimento do instrumento (Gibson, 1979/1986; Goldenberg & Hagmann, 1998) como a apropriam como uma efectividade (Shaw & Turvey, 1981). O espaço peripessoal tornou-se um espaço pessoal (Farnè & Làvadas, 2000; Berti & Frassinetti, 2000).

Hipótese 3 – Há congelação distal de graus de liberdade e mobilização proximal de graus de liberdade no uso inicial do instrumento.

Como o objectivo principal é verificar se existe alteração no comportamento motor perante a introdução de constrangimentos extrínsecos, demos atenção à comparação entre ensaios nas e das condições experimentais. De salientar que só as condições F e ICF foram alternadas entre os sujeitos, e que as condições P e PP estiveram sempre no início das recolhas, por esta ordem, e que a condição ISF esteve sempre no fim. Os resultados são apresentados em função dos constrangimentos extrínsecos envolvidos.

Flanqueadores

Na transição da condição PP para a condição F, crianças e adultos revelam uma redução da EC e um aumento da DO (Figura 3.35).

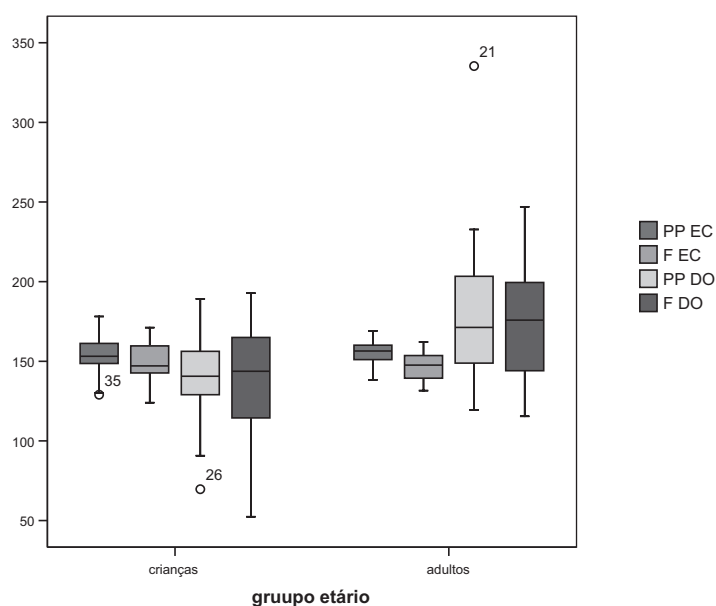


Figura 3.35 – Mediana da extensão do cotovelo (EC) e a deslocação do ombro (DO) nas condições peripessoal (PP) e flanqueadores (F) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Só a redução da extensão do cotovelo nos adultos é significativa ($t(22) - 6,013, p = 0,0001$).

A ECP diminui em média da condição PP para a condição F em ambos os grupos etários (Figura 3.36).

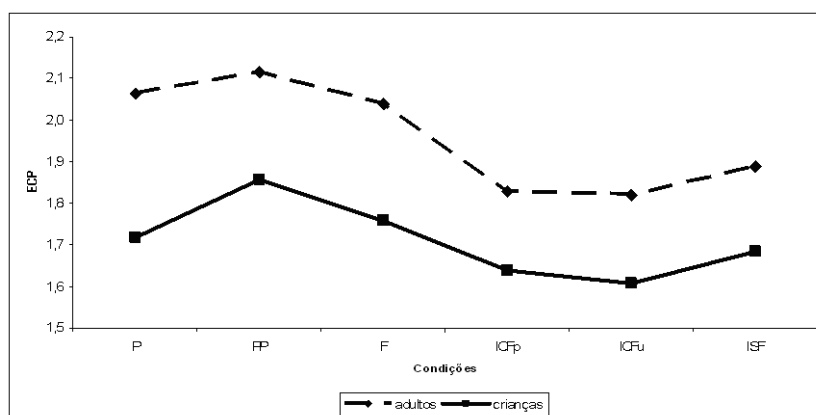


Figura 3.36 – Média da extensão do cotovelo relativamente à posição inicial (ECP) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F), primeiros e últimos ensaios da condição instrumento com flaqueadores (ICFu) e condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

Nos adultos a ANOVA de medidas repetidas revelou uma redução significativa para o 2.º ensaio da condição F ($p = 0,037$)⁷¹.

De ICFu para ISF as crianças e os adultos aumentam consistentemente a ECP (respectivamente, $r = 0,691$, $p = 0,001$; e $r = 0,948$, $p = 0,0001$), sendo nos adultos significativo ($t(22) - 4,149$, $p = 0,0001$).

Flaqueadores e Pinças

Da condição F para ICFp a ECP diminui significativamente nas crianças ($t(20) - 2,134$, $p = 0,045$, $r = 0,511$, $p = 0,018$) e nos adultos ($t(22) - 7,977$, $p = 0,0001$, $r = 0,920$, $p = 0,0001$) (Figura 3.36).

Na condição ICF do 1.º para o último ensaio, os executantes aumentam consistentemente a DO (crianças, $r = 0,640$, $p = 0,002$; e $r = 0,906$, $p = 0,0001$), no caso das crianças significativamente ($t(20) - 3,167$, $p = 0,005$). A EC não sofre alterações significativas nas crianças ($z = 0,956$, $p = 0,339$) e nos adultos ($t(22) - 0,628$, $p = 0,398$, $r = 0,813$, $p = 0,0001$) (Figura 3.37).

⁷¹ Transformação pela raiz quadrada devido a ausência de normalidade da distribuição de dados no 2.º ensaio da condição F. Teste de esfericidade de Mauchly - 0,642, $p = 0,015$; Épsilon Huynh-Feldt = 0,860.

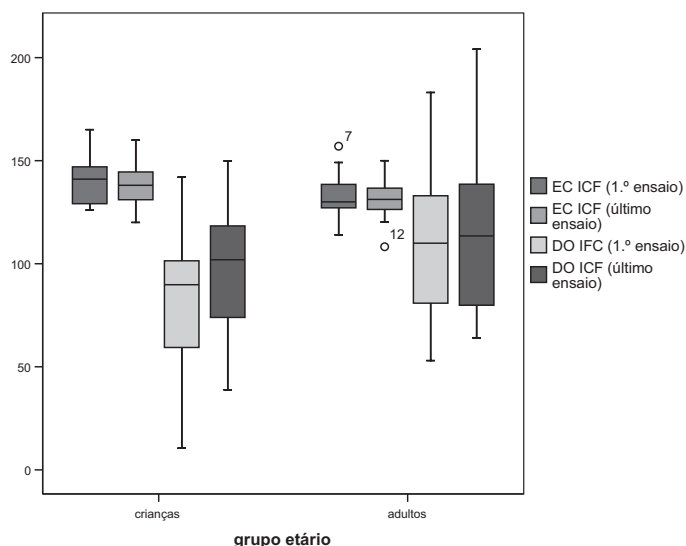


Figura 3.37 – Mediana da extensão do cotovelo (EC) (º) e da deslocação do ombro (DO) (mm) no primeiro e no último ensaio da condição instrumento com flangeadores (ICF) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Do último ensaio da condição ICF para o 1.º ensaio da condição ISF os adultos aumentaram significativamente a EC ($t(22) - 5,868, p = 0,0001, r = 0,843, p = 0,0001$) e reduziram em média e de modo consistente o DO ($t(22) - 1,546, p = 0,136, r = 0,908, p = 0,0001$). As crianças mantêm-se idênticas (Figura 3.38).

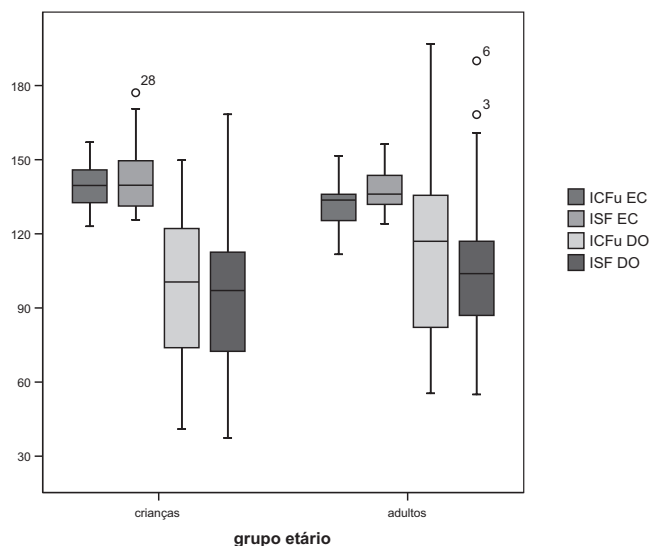


Figura 3.38 – Mediana da extensão do cotovelo (EC) (º) e da deslocação do ombro (DO) (mm) nos últimos ensaios da condição instrumento com flangeadores (ICFu) e na condição instrumento sem flangeador (ISF) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

Pinças

Na transição da condição P para o 1.º ensaio da condição ISF, crianças e adultos revelam uma consistente redução da EC (respectivamente, $r = 0,584$, $p = 0,005$; e $r = 0,800$, $p = 0,0001$) só significativa nos adultos ($t(22) - 8,850$, $p = 0,0001$) (Figura 3.39).

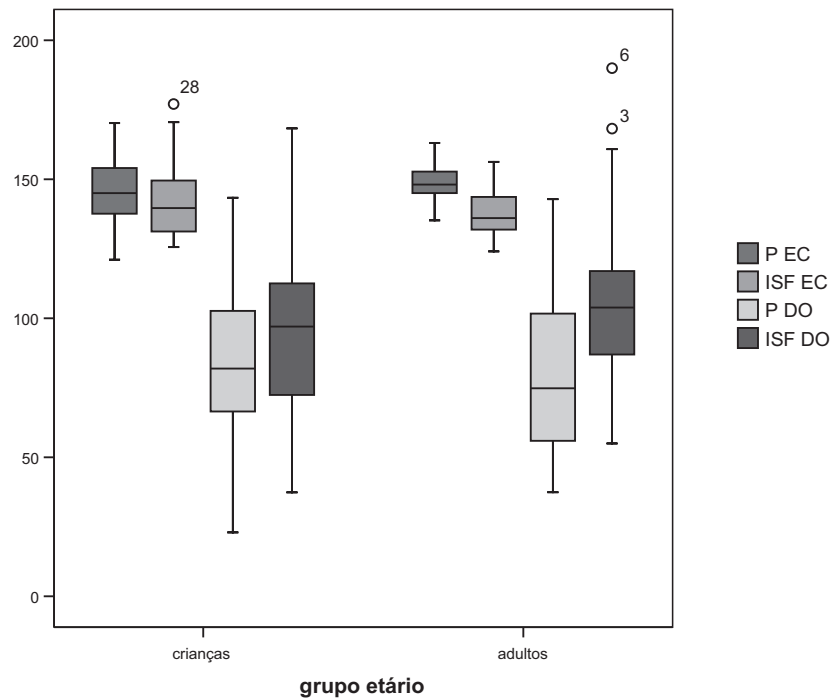


Figura 3.39 – Mediana da extensão do cotovelo (EC) (º) e da deslocação do ombro (DO) (mm) nas condições pessoal (P) e instrumento sem flanqueadores (ISF) (linha horizontal), por grupo etário (topo e fundo das caixas - limite superior e inferior de 50% dos valores, linhas verticais -valores mínimo e máximo, círculos - outliers moderados).

A EC é acompanhada de um aumento significativo da DO nas crianças ($t(20) - 2,592$, $p = 0,017$, $r = 0,607$, $p = 0,004$) e nos adultos ($t(22) - 8,531$, $p = 0,0001$, $r = 0,882$, $p = 0,0001$) (Figura 3.39).

Da condição F para ICFp houve uma redução significativa da ECP nas crianças ($t(20) - 2,134$, $p = 0,045$, $r = 0,511$, $p = 0,018$) e nos adultos ($t(22) - 7,977$, $p = 0,0001$, $r = 0,920$, $p = 0,0001$). E na condição ICF do 1.º para o 2.º ensaio as crianças revelam nova redução significativa da ECP ($t(20) - 3,347$, $p = 0,003$, $r = 0,551$, $p = 0,010$).

Discussão

A introdução dos flaqueadores perturbou a gestão dos segmentos corporais mais proximais (braço e antebraço), no sentido da sua congelação, mas não nos distais (tronco). A mobilização das articulações do pulso e dos dedos pode explicar como foi compensada a distância não coberta, de facto, perante os flaqueadores os executantes realizam uma dorsiflexão da mão (cf. Tresilian, Mon-Williams, Coopard & Carson, 2005, Figura 1; Mon-Williams et al., 2001, Figuras 1A-D e 2) e uma hiperextensão nas articulações interfalângicas dos dedos polegar e indicador. Da condição PP para a condição F a distância dos dedos à esfera é a mesma, portanto, a redução da ECP significa que aconteceu uma congelação da EC devido ao aumento da dificuldade da tarefa. Dada a grande amplitude de valores da espessura do polegar nos adultos, o índice de dificuldade há-de ter sido diferente entre eles; o espaço disponível deveria ter sido definido em função desta variável antropométrica, à semelhança do que fizemos para a distância da esfera ao executante. O que estes resultados evidenciam é a emergência da interação entre efectividades e affordances (Shaw & Turvey, 1981).

Do 1.º para o último ensaio da condição ICF, crianças e adultos aumentam a DO. Após um primeiro confronto com o aumento do membro preênsil, ao qual responderam com uma adequada EC que conservaram até ao último ensaio, crianças e adultos aumentaram o envolvimento do tronco, provavelmente associado à precisão espacial requerida pela tarefa (Rosenbaum et al., 1995, 1999). Este resultado reforça a ideia que as pinças, como implemento, foram espacialmente incorporadas, essencialmente na componente de transporte, pelo que o ângulo do cotovelo se mantém praticamente inalterado, mas, na componente de agarrar, as pinças não foram totalmente incorporadas como instrumento, pelo que a dificuldade imposta pelo uso das pinças para agarrar a esfera obriga o executante a mobilizar o tronco. Este efeito é mais acentuado nas crianças; reforça-se a ideia que as pinças só por si são suficientemente condicionadoras da sua acção, i.e., a acção motora com instrumentos é, *per se*, um constrangimento extrínseco para as crianças (Bushnell & Boudreau, 1998).

Da condição P para a condição ISF, o aumento da DO e a redução da EC são significativos em crianças e adultos. Para assegurar a acção de preensão os

executantes necessitaram fixar e manter rígida a EC (Bernstein, 1967). Nas crianças e nos adultos a introdução das pinças criou significativa perturbação na gestão dos segmentos corporais mais distais (tronco) no sentido da sua mobilização, e nos proximais no sentido da sua congelação. Quando é necessária precisão espacial, os custos de percurso são desvalorizados e os efectores com maiores custos de percurso são mobilizados (Rosenbaum et al., 1995, 1999).

No uso das pinças e libertos do constrangimento dos flaqueadores, na componente de transporte, os adultos descongelaram a articulação distal (cotovelo), acompanhada por uma redução da mobilização do segmento proximal (ombro), embora menos expressiva. As crianças não alteram significativamente o seu padrão de comportamento; as pinças só por si são suficientemente condicionadoras da sua acção. Portanto, os adultos entraram numa segunda fase de gestão dos graus de liberdade (Bernstein, 1967) mas as crianças mantiveram-se numa primeira fase de rigidez articular.

Hipótese 4 – A prática do uso do instrumento promove a coordenação de graus de liberdade.

Afastamento das Extremidades Préênsais e Extensão do Cotovelo

Na condição P (linha tracejada) a extensão do cotovelo (EC) e o afastamento das extremidades préênsais (AE) acontecem de um modo articulado e contínuo, com predomínio proximal na fase inicial do movimento e distal na fase final. Ocorre um único MAD e durante todo o movimento a evolução da articulação entre dedos e cotovelo resulta numa linha suave. No 1.º ensaio da condição ISF (linha contínua) a articulação entre a EC e o AE sofre momentâneas perturbações durante todo o movimento, com extensões faseadas e algo abruptas do cotovelo e mais que um AE. No final do movimento o fecho das AE é fragmentado e assente numa articulação do cotovelo bloqueada (Figura 3.40).

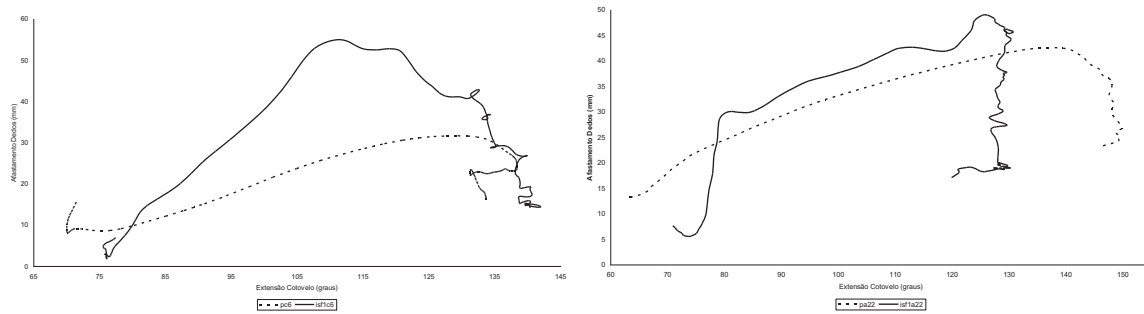


Figura 3.40 - Evolução associada da extensão do cotovelo (EC) e do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flangeadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 6 (imagem da esquerda) e do adulto 22 (imagem da direita).

Comparativamente com o ensaio na condição P, o ensaio na ISF foi iniciado com o ângulo do cotovelo mais fechado por metade das crianças (11/21) e terminado mais fechado pela maioria dos adultos (18/23) e também por muitas crianças (9/21), as extremidades preênsais foram mais afastadas (crianças – 18/21; adultos - 15/23) e o seu máximo afastamento foi com frequência antecipado (crianças – 10/21; adultos - 10/23). No final do movimento descreve-se um rasurado, indicador de repetidas tentativas de apreensão da esfera (Figura 3.40).

Em alguns casos, a evolução das linhas é similar e o contacto com a esfera sofre poucas perturbações (Figura 3.41).

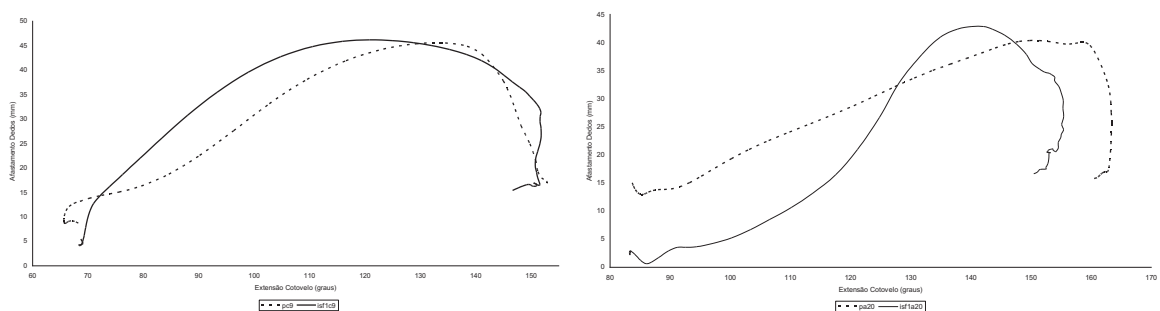


Figura 3.41 - Evolução associada da extensão do cotovelo (EC) e do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flangeadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 9 (imagem da esquerda) e do adulto 20 (imagem da direita).

Noutros casos, na condição ISF o AE é totalmente retardado ou adiado (Figura 3.42).

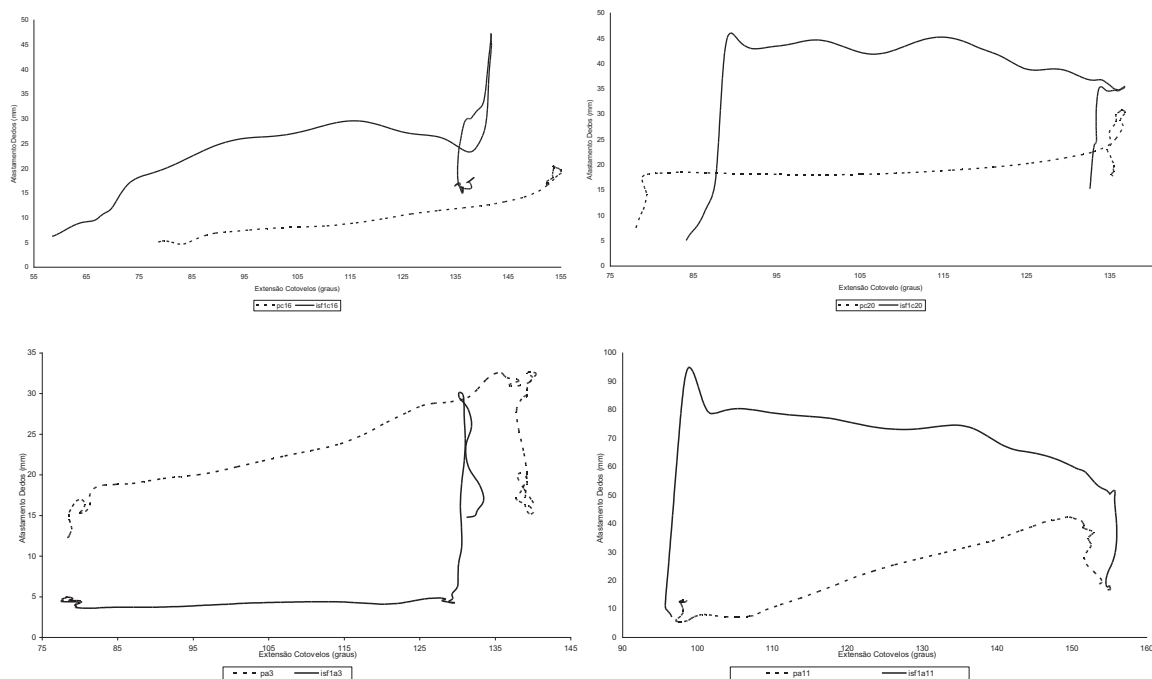


Figura 3.42 - Evolução associada da extensão do cotovelo (EC) e do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), das crianças 16 e 20 (imagens superiores) e dos adultos 3 e 11 (imagens inferiores).

Na condição ISF também observámos casos mais raros de contenção motora (Figura 3.43, imagens superiores) ou de excesso motor (Figura 3.43, imagens inferiores).

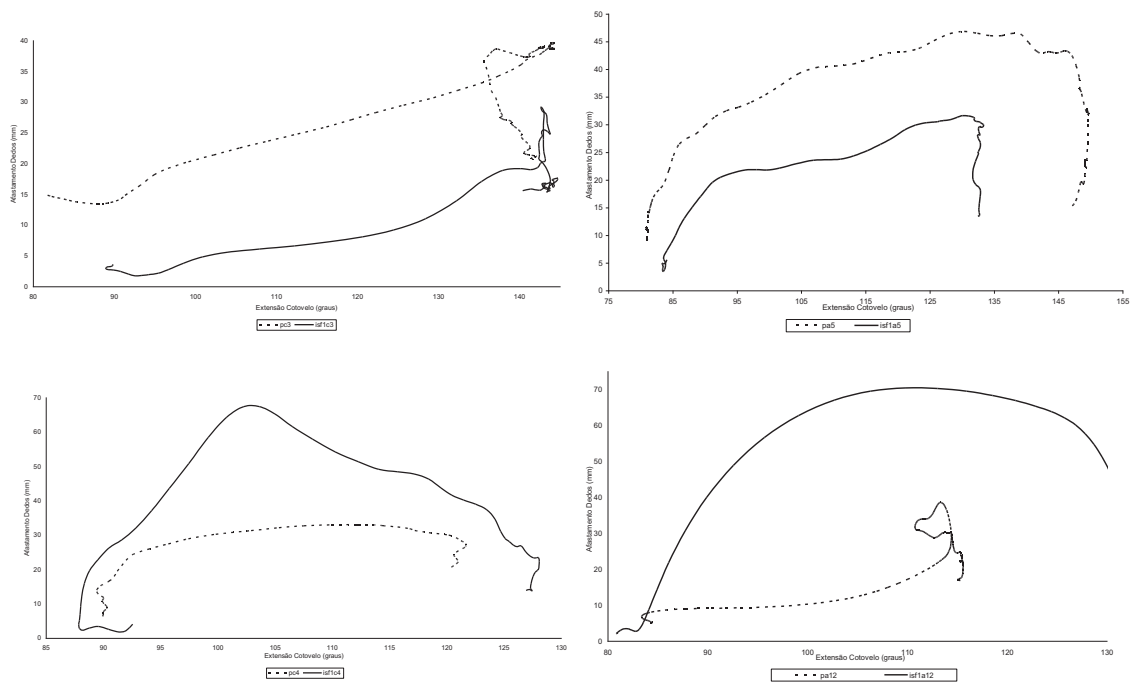


Figura 3.43 - Evolução associada da extensão do cotovelo (EC) e do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), das crianças 3 e 4 (imagens da esquerda) e dos adultos 5 e 12 (imagens da direita).

Velocidade de Afastamento das Extremidades Préênsais e Velocidade de Extensão do Cotovelo

A representação gráfica da evolução associada da velocidade de afastamento das extremidades préênsais (VAE) e da extensão do cotovelo (VEC) revela na condição P maior frequência de linhas espiraladas ou circulares enquanto que na condição ISF são mais frequentes traços lineares e perpendiculares (Figura 3.44).

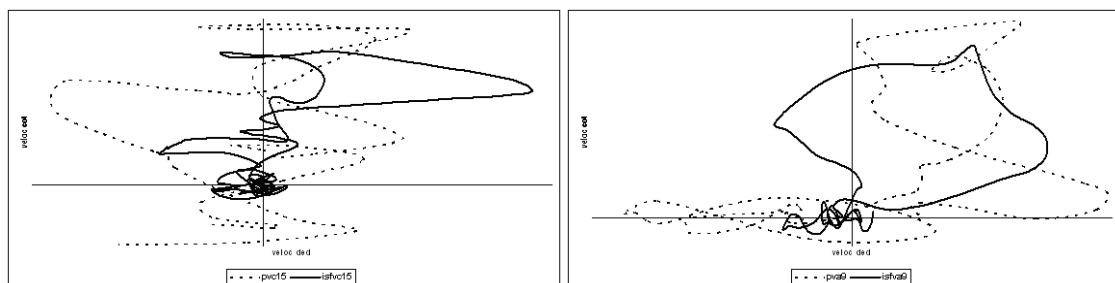


Figura 3.44 - Evolução associada da velocidade de extensão do cotovelo (VEC) e da velocidade do afastamento das extremidades (VAE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 15 (imagem da esquerda) e do adulto 9 (imagem da direita).

Na condição ISF é frequente um pico de VAE superior ao da condição P, principalmente nas crianças (crianças - 16/21; adultos - 13/23); e, um pico de VEC inferior, mais frequente nos adultos (crianças - 13/21; adultos - 20/23).

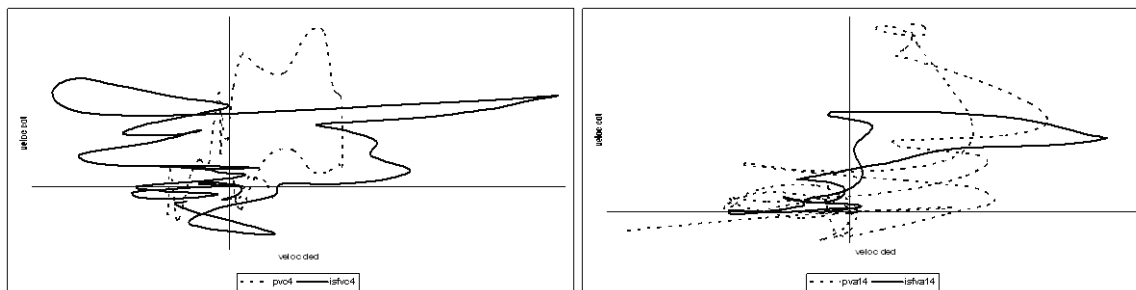


Figura 3.45 - Evolução associada da velocidade de extensão do cotovelo (VEC) e da velocidade do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 4 (imagem da esquerda) e do adulto 14 (imagem da direita).

Na condição ISF, após o final do transporte é particularmente evidente um rasurado, em contraste com a condição pessoal particularmente limpa na ponta do novelo (Figura 3.46).

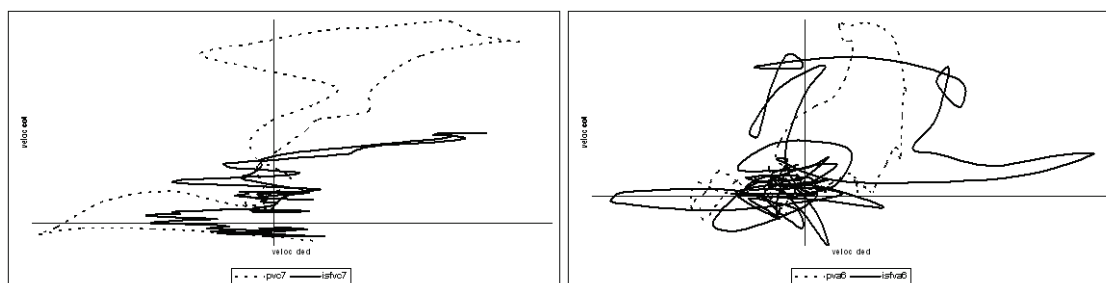


Figura 3.46 - Evolução associada da velocidade de extensão do cotovelo (VEC) e da velocidade do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 7 (imagem da esquerda) e do adulto 6 (imagem da direita).

Em certos executantes a similaridade destas linhas é identificável, embora distendidas e/ou comprimidas (Figura 3.47).

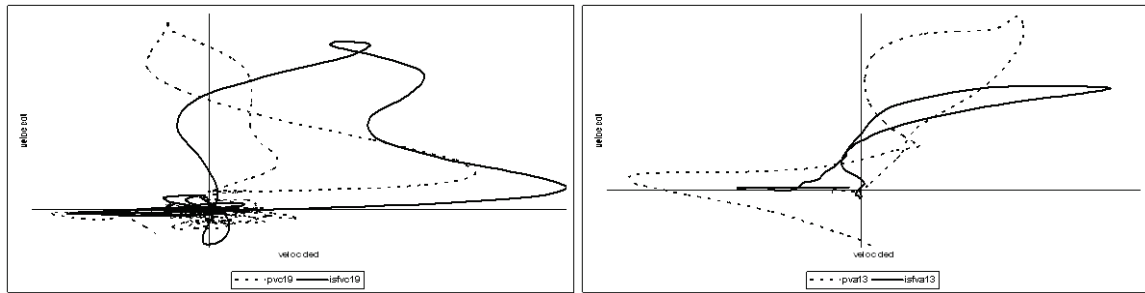


Figura 3.47 - Evolução associada da velocidade de extensão do cotovelo (VEC) e da velocidade do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), da criança 19 (imagem da esquerda) e do adulto 13 (imagem da direita).

Noutros casos, existe evolução para soluções motoras minimalistas (Figura 3.48, imagens superiores) ou prolixas (Figura 3.48, imagens inferiores).

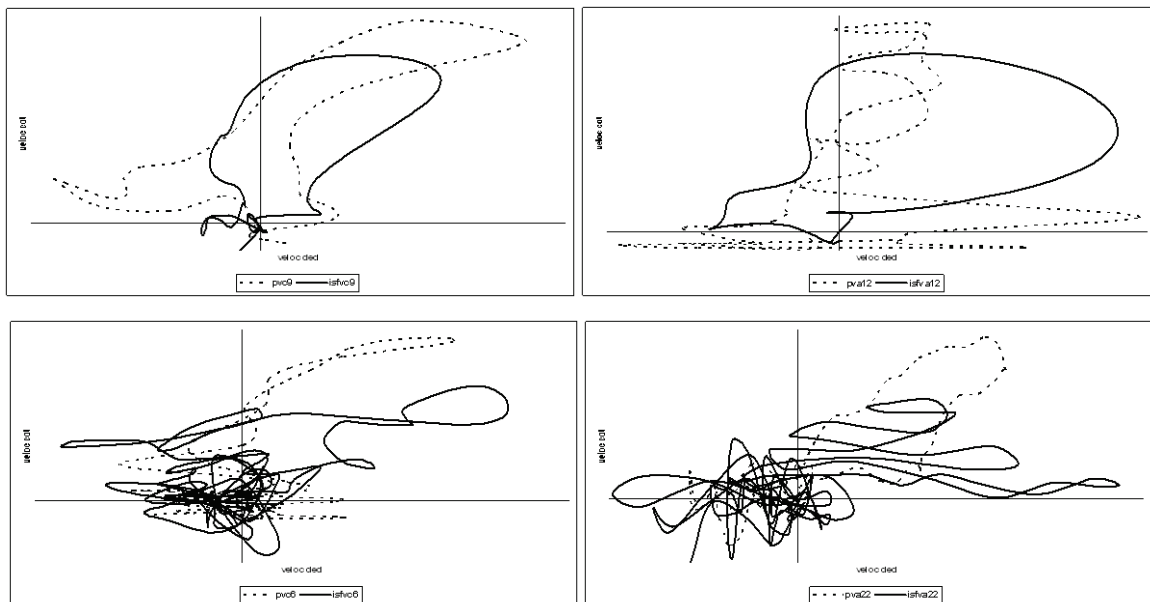


Figura 3.48 - Evolução associada da velocidade de extensão do cotovelo (VEC) e da velocidade do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF) (respectivamente, linha tracejada e contínua), das crianças 9 e 6 (imagens da esquerda) e dos adultos 12 e 22 (imagens da direita).

Na condição P a relação entre o TtVMD e o TtVMC é significativa nas crianças ($\rho = 0,558, p = 0,009$)⁷² e nos adultos ($r = 0,555, p = 0,006$), que é confirmada na relação entre a %TtVMD e a %TtVMC para as crianças ($r = 0,583$,

⁷² Nas crianças ausência de normalidade da distribuição de dados na condição P do TtVMD e na condição PP do TtVMC, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

$p = 0,006$)⁷³. No 2.º ensaio da condição ISF a relação entre o TtVMD e o TtVMC ressurge nas crianças ($r = 0,586$, $p = 0,005$), bem como na relação entre a %TtVMD e a %TtVMC em ambos os ensaios da condição ISF (1.º ensaio - $r = 0,554$, $p = 0,009$; 2.º ensaio - $r = 0,436$, $p = 0,048$), mas nunca nos adultos.

Da condição P para o 1.º ensaio da condição ISF, ambos os grupos etários conservam a %TtVMC (crianças - $r = 0,491$, $p = 0,024$; adultos - $r = 0,466$, $p = 0,025$) mas nenhum deles conserva a %TtVMD; no entanto, nos adultos emerge uma relação entre a condição P e o 2.º ensaio da condição ISF ($r = 0,501$, $p = 0,015$), bem como entre os dois ensaios desta condição ($r = 0,606$, $p = 0,002$)⁷⁴. Adicionalmente, na condição ISF ambos os grupos etários revelaram relação na %TtVMC entre o 1.º e o 2.º ensaio (crianças - $r = 0,640$, $p = 0,002$; adultos - $r = 0,688$, $p = 0,0001$)⁷⁵.

Na condição ICF entre o 1.º e o último ensaio também sobrevive a relação na %TtVMC nas crianças ($r = 0,606$, $p = 0,002$)⁷⁶ e nos adultos ($r = 0,438$, $p = 0,037$) mas não na %TtVMD.

Tempo Até ao Máximo Afastamento dos Dedos e Tempo Até ao Final do Transporte

Nas condições P e PP, entre o TtMAD e o TtFT há uma relação directa significativa, em crianças (respectivamente, $\rho = 0,452$, $p = 0,04$ e $r = 0,781$, $p = 0,0001$)⁷⁷ e adultos (respectivamente, $r = 0,686$, $p = 0,0001$ e $r = 0,579$, $p = 0,004$). Esta relação desaparece no 1.º ensaio da condição F, mas nos adultos torna a emergir no 2.º ensaio ($\rho = 0,775$, $p = 0,0001$), no 1.º da condição ICF

⁷³ Na condição PP também encontramos relação significativa entre o TtVMD e o TtVMC nas crianças ($\rho = 0,690$, $p = 0,001$) que é confirmada na relação entre a %TtVMD e a %TtVMC ($r = 0,468$, $p = 0,032$) e que também surge nos adultos ($r = 0,560$, $p = 0,005$). Nenhuma destas relações se observa no 1.º ensaio da condição F nas crianças e nos adultos.

⁷⁴ Nos adultos transformação pelo log 10 devido a ausência de normalidade da distribuição no 1.º ensaio da condição ISF. Para os adultos também encontramos uma relação entre a condição P e o 1.º ensaio da condição ISF na variável %TtFT ($r = 0,536$, $p = 0,008$).

⁷⁵ Nas crianças transformação pela raiz quadrada devido a ausência de normalidade da distribuição no 1.º ensaio da condição ISF.

⁷⁶ Nas crianças transformação pelo log 10 devido a ausência de normalidade da distribuição no 1.º ensaio da condição ICF.

⁷⁷ Ausência de normalidade da distribuição na condição P, mesmo com transformações pelo raiz quadrada ou pelo log 10.

($\rho = 0,434$, $p = 0,039$) e nos dois ensaios da condição ISF ($r = 0,570$, $p = 0,005$ e $r = 0,694$, $p = 0,0001$)⁷⁸.

Na relação entre %TtMAD e %TtFT estes resultados são confirmados para os adultos nas condições P e PP ($r = 0,495$, $p = 0,016$ e $r = 0,550$, $p = 0,007$) e no 2.º ensaio da condição ISF ($r = 0,666$, $p = 0,001$), enquanto que nas crianças somente na condição PP ($r = 0,725$, $p = 0,0001$).

Proporção Máximo Afastamento dos Dedos e Diâmetro da Esfera

Ao estabelecermos relação entre a condição P e os primeiros ensaios das condições F, ICF (e último ensaio – ICF4) e ISF da proporção do máximo afastamento dos dedos e diâmetro da esfera (MA/D) encontramos exclusivamente nos adultos uma relação significativa entre P e ISF ($\rho = 0,488$, $p = 0,018$). As crianças não revelaram qualquer relação significativa. Nos adultos o 2.º ensaio da condição ISF está associado a todos os outros, excepto a P (F - $\rho = 0,473$, $p = 0,023$; ICF1 - $\rho = 0,609$, $p = 0,002$; ICF4 - $\rho = 0,458$, $p = 0,028$), e o 1.º ensaio da condição ICF também está associado ao ICF4 ($\rho = 0,489$, $p = 0,018$) e ao 1.º ensaio da condição ISF ($\rho = 0,759$, $p = 0,0001$)⁷⁹.

Phase Plane - Velocidade de Afastamento das Extremidades/Afastamento das Extremidades

Através de uma simulação da técnica *phase plane* e embora sem filtragem de dados complementar, questionámo-nos se seria possível visualizar a emergência de uma estrutura coordenativa na componente de agarrar. Para tal recorreremos aos dados no ensaio da condição P e do 2.º ensaio da condição ISF.

Não encontramos evidência topológica de uma região particular, indicadora de atractor. As trajectórias não são aleatórias, revelando-se as da condição P habitualmente com mais invaginações até ao MAE que as da condição ISF, a qual as revela principalmente na fase lenta, i.e., após o MAE (Figura 3.49, imagem da esquerda); embora (menos frequentemente) possa ser a condição P que revela uma trajectória mais circular (Figura 3.49, imagem da direita).

⁷⁸ Transformação pela raiz quadrada devido a ausência de normalidade da distribuição no 2.º ensaio da condição F e ausência de normalidade da distribuição no 1.º ensaio da condição ICF, mesmo com transformações pelo raiz quadrada ou pelo log 10.

⁷⁹ Ausência de normalidade da distribuição no 1.º ensaio da condição ICF, em crianças e adultos mesmo com transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10.

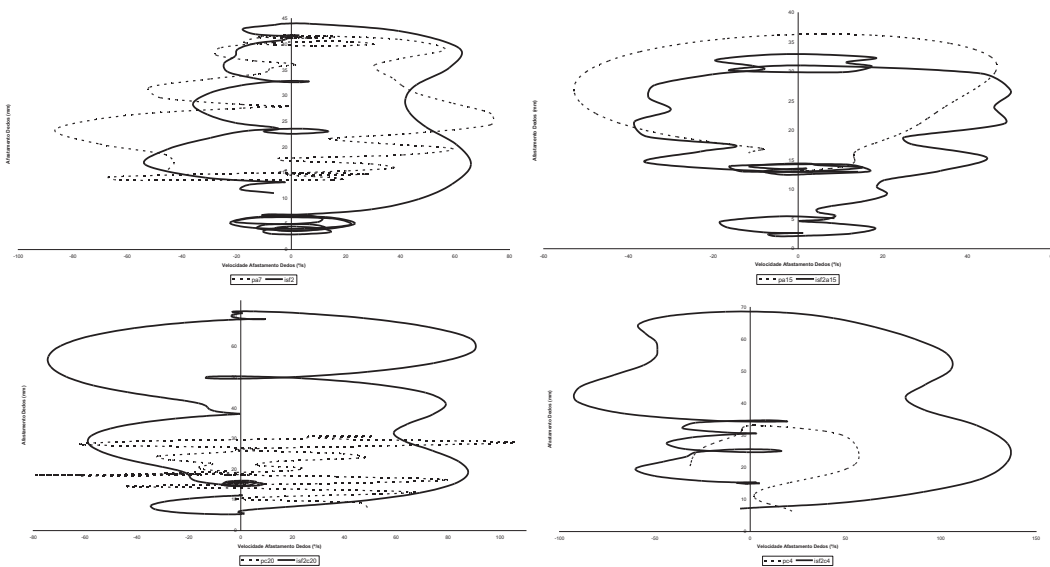


Figura 3.49 – *Phase-plane* de velocidade de afastamento das extremidades e afastamento das extremidades (VAE-AE) no ensaio da condição pessoal (P) e no segundo ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), nos adultos 7 e 15 (imagens superiores) e nas crianças 20 e 4 (imagens inferiores).

A proximidade das trajetórias é habitualmente maior nos adultos que nas crianças (Figura 3.49).

Por vezes, na condição ISF parece estarmos perante um movimento harmónico idealizado (Figura 3.50).

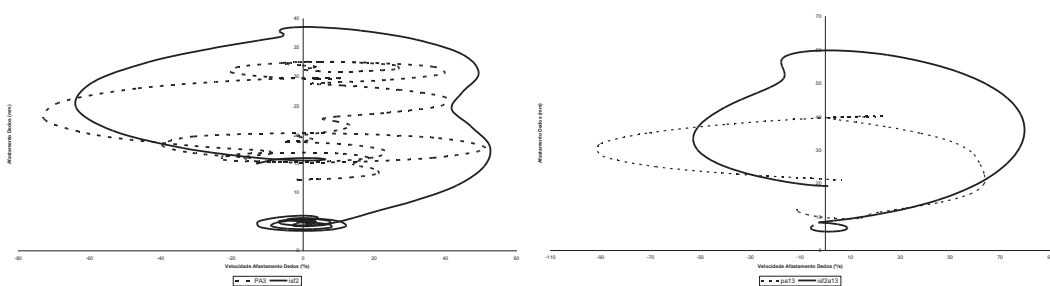


Figura 3.50 – *Phase-plane* de velocidade de afastamento das extremidades e afastamento das extremidades (VAE-AE) no ensaio da condição pessoal (P) e no segundo ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), nos adultos 3 e 13.

Outras vezes, perante um movimento harmónico amortizado (*damped*) (Figura 3.51).

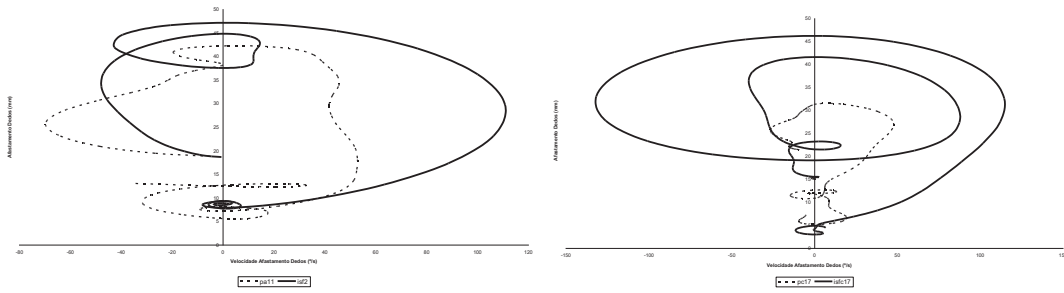


Figura 3.51 – *Phase-plane* de velocidade de afastamento das extremidades e afastamento das extremidades (VAE-AE) no ensaio da condição pessoal (P) e no segundo ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), no adulto 11 e na criança 7.

Outras ainda, uma complexa combinação de trajectórias (Figura 3.52).

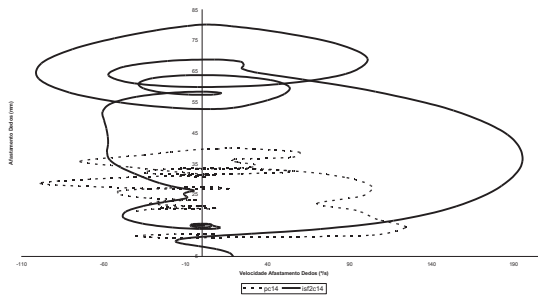


Figura 3.52 – *Phase-plane* de velocidade de afastamento das extremidades e afastamento das extremidades (VAE-AE) no ensaio da condição pessoal (P) e no segundo ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), na criança 14.

É difícil encontrar um sujeito em que as trajectórias sejam semelhantes e ajustadas espacialmente (Figura 3.53).

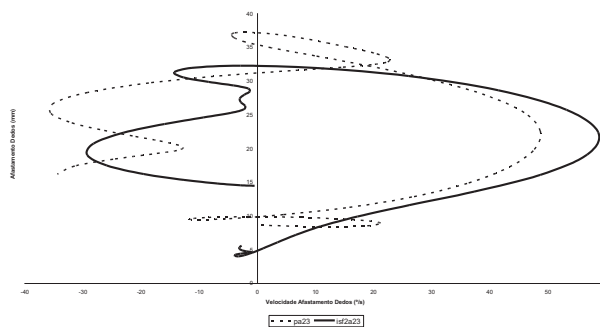


Figura 3.53 – *Phase-plane* de velocidade de afastamento das extremidades e afastamento das extremidades (VAE-AE) no ensaio da condição pessoal (P) e no segundo ensaio da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), no adulto 23.

Discussão

Crianças e adultos revelam entre a condição P e a condição ISF perfis distintos de articulação entre a EC e o AE; ambas as componentes da preensão foram perturbadas com a introdução das pinças (instrumento) que aumentou o índice de dificuldade da tarefa. Na condição ISF as crianças sentem-se constrangidas a bloquear a EC tanto no início como no final do movimento, enquanto que nos adultos tal é mais visível no final do movimento. O contacto com a esfera através do instrumento revela limitações proprioceptivas. Em termos motores e perceptivos, o uso do instrumento constrangeu as efectividades do executante. No uso das pinças não houve uma solução comum para resolver a coordenação entre a articulação do cotovelo (componente de transporte) e as dos dedos (componente de agarrar) (Bernstein, 1967), ao contrário do que se observa na preensão natural (condição P).

A representação gráfica da evolução associada da VEC e da VAE revela que na condição P são mais frequentes traços espiralados ou circulares, que interpretamos como resultantes de um processamento em paralelo das duas componentes da preensão, pois VEC e VAE evoluem simultaneamente. Na condição ISF são mais frequentes traços lineares e perpendiculares, que interpretamos como resultantes de um processamento em série das duas componentes da preensão, pois VEC e VAE evoluem alternadamente. O uso das pinças obrigou vários executantes a gerir as componentes de transporte e de agarrar separadamente, talvez de modo parcialmente independente (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004). Este resultado é indicador de uma incorporação motora do instrumento ainda no início e de uma ruptura de uma estrutura coordenativa existente na ausência de constrangimentos extrínsecos. Na condição ISF a introdução das pinças afectou a componente de transporte, obrigando os executantes a reduzirem a VEC, e a componente de agarrar, levando-os a aumentarem a VAD. Este resultado é a expressão de um aumento da dificuldade da tarefa, preferencialmente gerido de modo diferente por cada escalão etário, os adultos na componente de transporte e as crianças na componente de agarrar. Nesta condição experimental (ISF), após o final do transporte, o aumento de dificuldade é particularmente evidente pelo rasurado identificador do elevado tempo de gestão do afastamento e fecho das pinças para contactar e agarrar a

esfera antes de a elevar, em contraste com a condição P particularmente limpa na ponta do novelo. Nalguns executantes é identificável a tentativa de preservação do modo de gerir estas variáveis; a similaridade na forma destas assinaturas sustenta a hipótese de pertencerem a um mesmo programa motor, cujos parâmetros são ajustados (Schmidt, 1988) conforme os constrangimentos do contexto onde decorre a acção (equivalência motora). Noutros casos, não existem outras similaridades que não seja a do aumento e diminuição das velocidades dos graus de liberdade analisados. O desenho produzido por cada executante é bastante específico, revelador da individualidade do comportamento motor e expressão da propriedade de equifinalidade (Bernstein, 1967).

Da condição P para a condição ISF, ambos os grupos etários conservam %TtVMC e nenhum deles conserva a %TtVMD. No uso das pinças, a componente de agarrar foi mais perturbada que a componente de transporte, principalmente nas crianças. Aparentemente, o TtVMC foi uma invariante da acção de apreensão destes executantes, indicador da ocorrência inicial de transferência, seguida da procura de uma nova organização (formação?) da coordenação entre as duas componentes da acção de apreensão. Considerando as associações expressas pelos adultos na %TtVMD entre as várias condições experimentais, esta reorganização, a ser real, é mais consistente que nas crianças. Este facto também é evidente na condição ICF. Seja qual for o grupo etário, os executantes conservaram o seu modo de gerir a %TtVMC mas não a %TtVMD. Transportar as extremidades apreensíveis até à esfera de modo temporalmente consistente abona a favor da hipótese da incorporação do comprimento das pinças e revela da menor perturbação motora da componente de transporte. Afastar as extremidades apreensíveis de modo temporalmente não consistente reforça a hipótese da componente de agarrar ter sido perturbada pelo uso do instrumento.

Nas condições P e PP, crianças e adultos revelam consistente associação entre a componente de transporte e a componente de agarrar (Jeannerod, 1984). O constrangimento espacial da condição F perturbou-lhes esta associação, mas nos primeiros ensaios com pinças esta associação surge pontualmente talvez devido à percepção da funcionalidade do instrumento perante o constrangimento extrínseco. No entanto, nos ensaios finais esta associação desaparece por completo, provavelmente, porque perante as dificuldades de uso efectivo das

pinças para agarrar e transportar a esfera, estivessem em busca de um novo modo de acção. Finalmente, na condição ISF, libertos dos flanqueadores, a associação entre as duas componentes reaparece nos adultos, talvez porque puderam reorganizar funcionalmente os graus de liberdade envolvidos (Bernstein, 1967). Este padrão de comportamento é indicador que nos adultos a fase associativa da aprendizagem está em curso.

No caso dos TtVMC e TtVMD, estamos perante uma fase do movimento balística, por ventura em circuito aberto, representando a primeira fase da acção de prensão. Dada a quantidade de associações significativas que encontrámos supomos que, para resolver os problemas motores que lhes colocámos, a estratégia das crianças se baseou nesta fase do movimento, antecipando o seu fim, enquanto que os adultos abdicam completamente dela. No caso dos TtMAD (componente de agarrar) e TtFT (estabilização da máxima extensão do cotovelo - componente de transporte) são os adultos que mais associações revelam e que se distribuem pelas várias condições experimentais, num padrão muito parecido com o que encontrámos nas crianças aquando da análise da associação entre TtVMC e TtVMD. Logo, também nos adultos podemos estar perante uma estratégia motora; esta baseada na associação da duração dos tempos das componentes de transporte e de agarrar, onde há mais condições para um controlo do movimento em circuito fechado. A diferença entre estas duas estratégias é que a primeira se baseia na associação entre as fases balísticas das componentes de transporte e de agarrar, em princípio realizadas em circuito aberto, pelo menos para as condições mais naturais (P e PP), enquanto que a segunda se baseia na associação entre os produtos das fases balísticas, o término do afastamento dos dedos e da extensão do cotovelo, onde já é parcialmente possível corrigir o movimento. Qualquer destas estratégias expressa interacção entre as componentes de transporte e de agarrar. O que as distingue é não só o momento como também o modo de controlar a acção motora. As crianças preferem articular as duas componentes na fase de maior dificuldade de possíveis correcções do movimento, na balística, e nunca conseguem articulá-las quando os flanqueadores estão presentes. Os flanqueadores perturbaram este seu modo de controlo das componentes da prensão, mas não as pinças isoladamente. Os adultos preferem articular as duas componentes da acção de prensão já após a fase balística do movimento, a presença dos flanqueadores

corrompe esta solução, só a conseguindo recuperar quando só as pinças estão presentes. A recuperação dos seus modos próprios de articulação entre as duas componentes da acção de prensão aquando do uso das pinças, como o fizeram nas condições mais naturais, sustenta a hipótese de uma certa capacidade de incorporação da temporalidade coordenativa do uso das pinças como instrumento, desde que não estejam presentes os flanqueadores. O que é irónico é que introduzimos condições com flanqueadores no desenho experimental para justificar a funcionalidade do uso das pinças, quando o domínio destas se revelou por si um desafio suficiente para os executantes; a incorporação efectiva, física e motora, do instrumento é um processo complexo e moroso que não convém ser complementado com outros constrangimentos extrínsecos.

Na componente de agarrar, as estratégias também foram diferentes por grupo etário, as crianças não conseguiram preservar a MA/D existente na condição P, i.e., não transferiram este afastamento proporcional quando tiveram que usar as pinças, nos adultos inúmeras associações surgiram envolvendo todas as condições experimentais (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004). Nos adultos, os resultados da MA/D confirmam a hipótese da preservação motora desta variável da componente de agarrar, o que revela uma capacidade de resistir à perturbação provocada pelos flanqueadores e pelo uso efectivo das pinças, e uma transferência para a extremidade das pinças da gestão espacial do afastamento das extremidades preênsais durante a acção de prensão (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996; Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002).

Se considerarmos que a tarefa a submetemos os executantes é discreta, podemos admitir que é o resultado da interacção entre os regimes de um ponto fixo e um ciclo limite de um único sistema dinâmico (Schöner, 1990). Se considerarmos que a esfera a agarrar funciona como um atractor o movimento das extremidades preênsais deve ser controlado por ela. Ao introduzir as pinças perturbámos o sistema motor (dinâmico), alterámos as condições iniciais. Se houvesse um atractor inerente ao sistema motor ele deveria emergir nas trajectórias, muito embora a perturbação introduzida. Sabemos que a componente de agarrar foi mais perturbada que a de transporte, e, no entanto, os executantes conseguiam agarrar a esfera com as pinças. As pinças provocaram problemas de

coordenação aos executantes, colocando a componente de agarrar *out of phase* (e.g., Heriza, 1988). O uso do instrumento obrigou os executantes a procurarem novas estruturas coordenativas. Se considerarmos que a variável que muda qualitativamente é aquela que é relevante para o sistema (Kelso, 1994), então, é a componente de agarrar que foi relevante nesta situação motora, é para ela que temos que olhar para compreender o que é que muda quando usamos um instrumento para agarrar. O sistema em análise gerou aleatoriedade, estamos perante um sistema dinâmico caótico (Tsonis & Tsonis, 1989).

Hipótese 5 – No início do uso do instrumento as crianças revelam congelação de graus de liberdade distais e mobilização de graus de liberdade proximais.

Extensão do Cotovelo Relativa (Condição F vs. Condição ICF)

Nos ensaios da condição F e nos primeiros ensaios da condição ICF, os adultos revelam uma extensão do cotovelo relativamente à posição inicial (ECP) significativamente superior às crianças ($F(1,42) - 8,287, p = 0,006$)⁸⁰ (Figura 3.54).

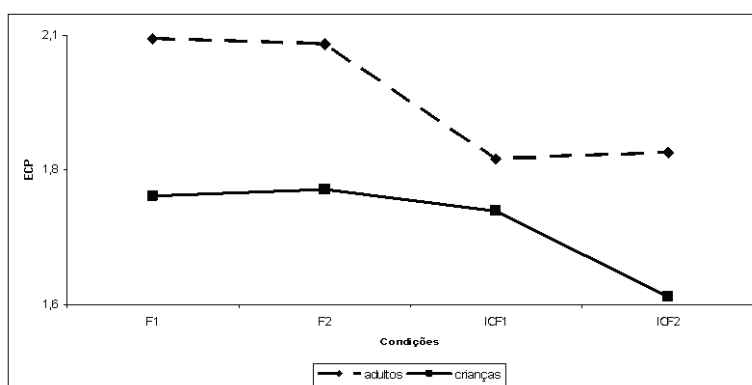


Figura 3.54 – Média da extensão do cotovelo em função da posição angular inicial (ECP) para o primeiro e segundo ensaios de das condições flanqueadores (F) e instrumento com flanqueadores (IFC), por grupo etário.

Com a introdução das pinças, os adultos reduzem imediatamente de modo significativo e consistente a ECP ($t(22) - 8,379, p = 0,0001, r = 0,926, p =$

⁸⁰ Transformação pela raiz quadrada no 2.º ensaio da condição F devido a ausência de normalidade da distribuição de dados nos adultos. Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M - 60,950, p = 0,0001$), poder observado do Traço Pillai para ECP de 1,000 e para a interacção com o grupo etário de 0,787. Teste Mauchly deu significativo ($W - 0,741, p = 0,032$) mas com um Épsilon Huynh-Feldt igual a 0,879 e poder observado de 1,000 para a ECP e de 0,731 para a interacção com o grupo etário.

0,0001)⁸¹. As crianças só o fazem significativamente no 2.º ensaio com pinças ($t(20) - 3,438$, $p = 0,003$, $r = 0,497$, $p = 0,022$) (Figura 3.54).

As crianças revelam uma ECP significativa e consistentemente inferior do 1.º para o 2.º ensaio da condição ICF ($t(20) - 3,347$, $p = 0,003$, $r = 0,551$, $p = 0,01$).

Deslocação do Ombro (Condição F vs. Condição ICF)

Nos ensaios da condição F e nos primeiros ensaios da condição ICF, os adultos revelam uma ECP significativamente superior às crianças ($F(1,42) - 6,781$, $p = 0,013$)⁸² (Figura 3.55)

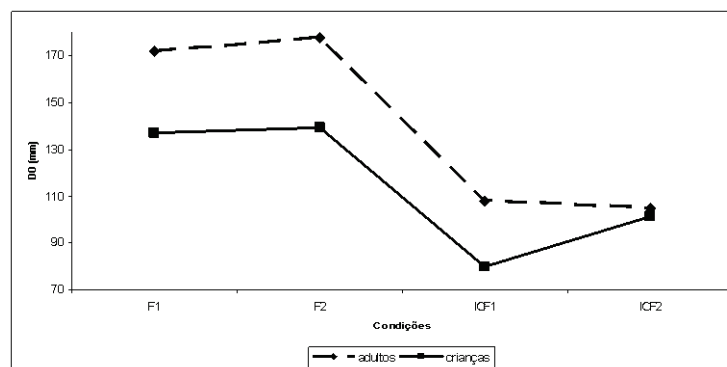


Figura 3.55 – Média da deslocação do ombro (DO) para o primeiro e segundo ensaios de das condições flanqueadores (F) e instrumento com flanqueadores (IFC), por grupo etário.

Não há diferença significativa na DO entre os ensaios da condição F ($p = 1,000$) mas ambos revelam uma DO significativamente superior aos dois primeiros ensaios da condição ICF ($p = 0,0001$).

As crianças revelam uma DO significativa e consistentemente superior do 1.º para o 2.º ensaio da condição ICF ($t(20) - 3,738$, $p = 0,001$, $r = 0,720$, $p = 0,0001$).

Condição Pessoal vs Condição Instrumento Sem Flanqueadores

A ANOVA de medidas repetidas mista para a condição P e os ensaios 1 e 2 da condição ISF, revelou que crianças e adultos não se diferenciam

⁸¹ Transformação pela raiz quadrada no 2.º ensaio da condição F devido a ausência de normalidade da distribuição de dados nos adultos.

⁸² Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M - 38,670$, $p = 0,0001$), poder observado do Traço Pillai para DO de 1,000 e para a interação com o grupo etário de 0,997.

significativamente ($F(1,42) = 0,355$, $p = 0,554$)⁸³; no entanto, no 1.º e 2.º ensaios da condição ISF deslocaram significativamente mais o ombro (respectivamente, $p = 0,0001$, $p = 0,001$) (Figura 3.56).

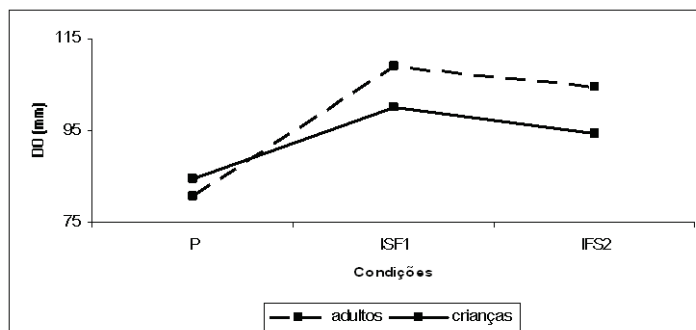


Figura 3.56 – Média da deslocação do ombro (DO) na condição pessoal (P) e nos ensaios da condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Este aumento da DO é acompanhado por uma redução da EC, a qual é significativa para os adultos ($F(1,22) = 75,061$, $p = 0,0001$)⁸⁴. Crianças e adultos não se diferenciam significativamente em qualquer das variáveis e condições (EC, DO) (Figura 3.57).

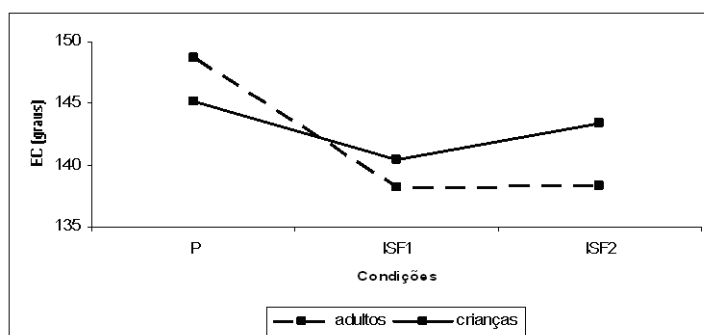


Figura 3.57 – Média da extensão do cotovelo (EC) na condição pessoal (P) e nos ensaios da condição instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Quando consideramos a EC em função da posição angular inicial (ECP), a ANOVA de medidas repetidas mostra que as crianças não alteram significativamente a ECP entre a condição P e os dois ensaios da condição ISF

⁸³ Transformação pela raiz quadrada devido a ausência de normalidade da distribuição de dados no 2.º ensaio da condição ISF nos adultos. Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M = 18,721$, $p = 0,008$), poder observado do Traço Pillai para DO de 1,000.

⁸⁴ Ausência de homoscedasticidade na condição P e no 1.º ensaio da condição ISF, mesmo se submetidos a transformações pela raiz quadrada ou pelo log 10 mas normalidade da distribuição garantidas.

($F(1,20) - 2,895, p = 0,104$) mas que os adultos a reduzem significativamente ($F(1,22) - 38,362, p = 0,0001$). Considerando a posição angular inicial do cotovelo, as crianças estendem significativamente menos o cotovelo na condição P ($t(42) - 3,945, p = 0,0001$), no 1.º ensaio da condição ISF ($t(42) - 2,994, p = 0,005$)⁸⁵ mas não no 2.º ensaio desta condição ($t(42) - 1,582, p = 0,121$) (Figura 3.58).

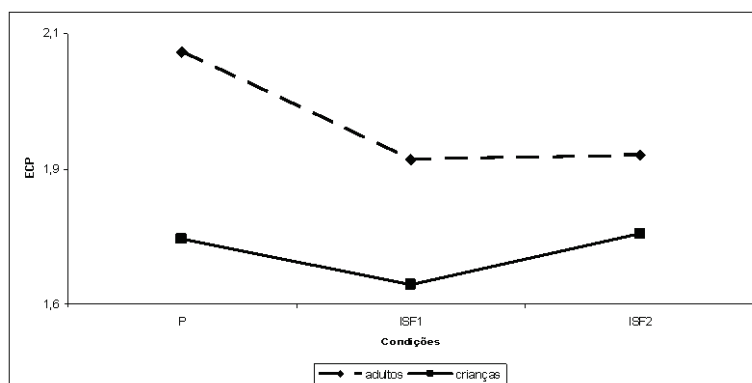


Figura 3.58 – Média da extensão do cotovelo em função da posição angular inicial (ECP) na condição pessoal (P) e nos ensaios da condição instrumento sem flaqueadores (ISF), por grupo etário.

Espessura do Polegar

Na condição F (1.º ensaio) a espessura do polegar (EP) nos adultos relacionou-se directamente com a DO ($\rho = 0,419, p = 0,047$)⁸⁶. Os adultos masculinos revelam sistemática relação inversa significativa entre a EP ou do indicador (EI) e a EC (Tabela 3.4), tal nunca se verifica para as mulheres e para as crianças em ambos os sexos.

Tabela 3.4 – Relação entre espessura do polegar (EP) ou do indicador (EI) e extensão do cotovelo (EC) nos adultos masculinos, nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flaqueadores (F) (1.º e 2.º ensaios), instrumento com flaqueadores (ICF) (1.º, 2.º, penúltimo e último ensaios) e instrumento sem flaqueadores (ISF) (1.º e 2.º ensaios) ($p < 0,05 - s; p > 0,05 - ns$).

	P	PP	F1	F2	ICF1	ICF2	ICFp	ICFu	ISF1	ISF2
EP	-0,552 s	-0,559 s	-0,700 s	-0,775 s	-0,483 ns	-0,422 ns	-0,676 s	-0,630 s	-0,611 s	-0,650 s
EI	-0,331 ns	-0,473 ns	-0,626 s	-0,677 s	-0,364 ns	-0,447 ns	-0,614 s	-0,695 s	-0,647 s	-0,556 s

⁸⁵ Transformação pelo log 10 devido a ausência de normalidade da distribuição de dados a condição P nos adultos e no 1.º ensaio da condição ISF nos adultos e nas crianças.

⁸⁶ Ausência de normalidade da distribuição nos dados do polegar.

Nos dois primeiros ensaios da condição ICF a EP e a EI deixam de estar significativamente associadas à EC, o que também acontece com a EI nas condições P e PP (Tabela 3.4).

Discussão

A evolução da ECP permite-nos considerar a posição angular inicial da articulação do cotovelo. Sabemos que as crianças estendem naturalmente menos o cotovelo que os adultos (Catela, Seabra & Barreiros, 2007a)⁸⁷; este dado deve ser tido em conta quando se comparam crianças e adultos em estudos sobre preensão. Intriga-nos o comportamento das crianças no 1.º ensaio de ICF; não houve interação com a ordem de apresentação das condições experimentais, tanto as crianças como os adultos reduzem a DO em relação aos ensaios da condição F e as crianças deslocam sempre menos o ombro que os adultos, portanto, as crianças não ajustaram imediatamente a EC ao novo comprimento do membro preênsil (articulação distal) mas incorporaram este comprimento pois não deslocaram o ombro (segmento proximal). Com este conjunto destes dados sentimo-nos tentados a sustentar a hipótese de desenvolvimento neuromuscular próximo-distal (Wickstrom, 1983; van der Kamp & Steenbergen, 1999); inicialmente, foi no ombro que as crianças fizeram o ajustamento espacial. Note-se que no 2.º ensaio da condição ICF as crianças passam a mobilizar mais o ombro e a estender menos o cotovelo; expressão de uma congelação da articulação do cotovelo (distal) e mobilização do ombro (proximal) (Rosenbaum et al., 1995; van der Kamp & Steenbergen, 1999). Estes resultados evidenciam que as crianças, bem como os adultos, articulam a gestão da mobilização do ombro e do cotovelo e fazem-no não eliminando graus de liberdade mas reduzindo a amplitude de mobilização da articulação do cotovelo (Vereijken et al., 1992); portanto, a hipótese mais plausível é que os executantes procederam a uma organização do cotovelo e do ombro numa unidade estrutural (sinergia funcional) de modo a assegurar uma execução estável (Latash, Scholz & Schönner, 2002).

⁸⁷ Se considerarmos a condição P como covariante a diferença entre os grupos etários desaparece ($F(1,41) = 0,030$, $p = 0,863$). Teste Box da igualdade das matrizes de covariância significativo ($M = 32,767$, $p = 0,0001$), poder observado do Traço Pillai para a interação com o grupo etário de 0,711.

A comparação do DO e da EC (e ECP) entre a condição P e a condição ISF revela que ambos os grupos etários deslocam mais o ombro e que os adultos estendem menos o cotovelo (ECP) na condição ISF. As crianças não geriram os graus de liberdade proximais e distais do mesmo modo que os adultos, aparentemente limitaram a EC e mobilizaram o tronco; a deslocação do tronco foi privilegiada em detrimento da do cotovelo. Para as crianças este resultado sustenta a hipótese do modelo Rosenbaum et al. (1995) - quando é necessária precisão espacial, os custos de percurso são desvalorizados, pelo que um efector com custos maiores, o tronco, foi mais mobilizado. Os adultos responderam com uma necessidade de estar mais perto da esfera, tal como aconteceu no estudo de van der Kamp e Steenbergen (1999). Os grupos etários responderam diferentemente ao mesmo problema motor (Konczak, 1990).

A associação inversa entre a EP (e a EI) e a EC nos adultos masculinos é uma evidência da interação entre constrangimentos morfológicos e constrangimentos da tarefa (Newell, 1986; Konczak, 1990), dedos mais espessos (maiores) terão dificultado o contacto com as zonas de definidas na esfera (Hoffmann & Sheikh, 1991) e a penetração no espaço entre a esfera e os flaqueadores. Nos dois primeiros ensaios da condição ICF as associações desaparecem, provavelmente porque os executantes detectaram a *affordance* inerente à reduzida espessura da extremidade das pinças (Gibson, 1979/1986; Goldenberg & Hagmann, 1998) e às suas novas efectividades (Reed, 1988; Ackroyd et al., 2002). Mais difícil de explicar é o retorno destas associações nos últimos ensaios da condição ICF e nos da condição ISF, excepto se os executantes transferiram para a extremidade das pinças o seu modo de sentir (Yamamoto & Kitazawa, 2001) e de agir (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997), como elas fossem a extremidade dos seu próprios dedos (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996; Imamizu et al., 2000).

Referências Bibliográficas

- Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In *Symposium on Close Range Photogrammetry*. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Achard, B., & von Höfsten, C. (2002). Development of the Infant's Ability to Retrieve Food Through a Slit. *Infant and Child Development*, 11, 43-56.
- Ackroyd, K., Riddoch, M., Nightingale, S., & Townsend, S. (2002). Widening the sphere of influence: Using a tool to extend extrapersonal visual space in a patient with severe neglect. *Neurocase*, 8, 1-12.
- Anson, G.J. (1989). Effect of Moment of Inertia on Simple Reaction Time. *Journal of Motor Behavior*, 21, 1, 60-71.
- Arbib, M.A., & Hoff, B. (1994). Trends in neural modeling for reach to grasp. In K.M.B. Bennett, & U. Castiello (Eds.), *Insights into the Reach and Grasp Movement* (pp. 311-344). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science B. V.
- Barreiros, J. (2004). A escala corporal das acções motoras: Uma perspectiva de desenvolvimento. In J. Barreiros, M. Godinho, F. Melo, & C. Neto (Eds.), *Desenvolvimento e Aprendizagem: Perspectivas Cruzadas* (pp. 239-260). Cruz Quebrada, Lisboa: FMH Edições.
- Bedford, F.L. (1993). Perceptual and cognitive spatial learning. *Journal of Experimental Psychology*, 19, 517-530.
- Bernstein, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, London: Pergamon.
- Berti, A., & Frassinetti, F. (2000). When far becomes near: remapping of space by tool use. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 3, 415-420.
- Bogin (1988). *Patterns of human growth*. Cambridge, GB: Cambridge University Press
- Bootsma, R.J., & van Wieringen, P.C.W. (1990). Timing and attacking forehand drive in table-tennis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 507-528.
- Bootsma, R.J., & van Wieringen, P.C.W. (1992). Spatial-temporal organisation of natural prehension. *Human Movement Science*, 11, 205-215.
- Bushnell, E.W., & Boudreau, J.P. (1998). Exploring and exploiting objects with the hands during infancy. In K. S. Connolly (Ed.), *The Psychobiology of the Hand* (pp. 144-161). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carello, C., Thuot, S., Anderson, K.L. & Turvey, M.T. (1999). Perceiving the sweet spot. *Perception*, 28, 307-320.

- Carnahan, H., Goodale, M.A., & Marteniuk, R.G. (1993). Grasping versus pointing and the differential use of visual feedback. *Human Movement Science, 12*, 219-234.
- Castiello, U., Bennett, K.M.B., & Mucignat, G.E. (1993). The reach to grasp movement of blind subjects. *Experimental Brain Research, 96*, 152-162.
- Castiello, U., Bennett, K.M.B., & Stelmach, G.E. (1993). Reach to grasp: the natural response to perturbation of object size. *Experimental Brain Research, 94*, 163-178.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007a). Constrangimentos morfológicos e cinemática do transporte de um objecto em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 261-266). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007b). Tamanho do objecto e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 267-272). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007c). Obstáculos e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 273-278). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Clower, D.M., & Boussaoud, D. (2000). Selective use of perceptual recalibration versus visuomotor skill acquisition. *Journal of Neurophysiology, 84*, 2703-2708.
- Connolly, K.J., & Dalglish, M. (1989). The emergence of tool using skill in infancy. *Developmental Psychology, 25*, 894-912.
- Connolly, K.J., & Dalglish, M. (1993). Individual patterns of tool use by infants. In A. F. Kalverboer, B. Hopkins & R. Geuze (Eds.), *Motor Development in early and later childhood: Longitudinal approaches* (pp. 174-204). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Connolly, K.J., & Elliott, J.M. (1972). The evolution and ontogeny of hand function. In N. Blurton Jones (Ed.), *Ethological studies of child behavior* (pp. 329-383). Cambridge: Cambridge University Press.
- Creem, S.H., & Proffitt, D.R. (2001). Grasping objects by their handles: A necessary interaction between cognition and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27*, 218-228.
- Cutkosky, M.R., & Howe, R.D. (1990). Human grasp choice and robotic grasp analysis. In S.T. Venkataraman & T. Iberall (Eds.), *Deft robot hands* (pp. 5-31). NY: Springer-Verlag.

- Dingwell, J.B., Mah, C.D., & Mussa-Ivaldi, F.A. (2002). Manipulating objects with internal degrees of freedom: Evidence for model-based control. *Journal of Neurophysiology*, 88, 222-235.
- Farnè, A., & Làdavas, E. (2000). Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use. *Neuroreport*, 11, 8, 1645-1649.
- Ferrel, C., Bard, C., & Fleury, M. (2001). Coordination in childhood: modification of visuomotor representations in 6- to 11-year-old children. *Experimental Brain Research*, 138, 313-321.
- Fikes, G.T., Klatzky, R.L., & Lederman, S.J. (1994). Effects of Object Texture on Precontact Movement Time in Human Prehension. *Journal of Motor Behavior*, 26, 4, 325-332.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Gachoud, J.P., Mounoud, P., Hauert, C.A., & Viviani, P. (1983). Motor Strategies in Lifting Movements: A Comparison of Adult and Child Performance. *Journal of Motor Behavior*, 15, 3, 202-216.
- Gentilucci, M., Castiello, U., Corradini, M.L., Scarpa, M., Umiltà, C., & Rizzolatti, G. (1991). Influence of Different Types of Grasping on the Transport Component of Prehension Movements. *Neuropsychologia*, 29, 5, 361-378.
- Gentilucci, M., Negrotti, A., & Gangitano (1997). Planning an action. *Experimental Brain Research*, 115, 116-128.
- Gentilucci, M., Roy, A.C., & Stefanini, S. (2004). Grasping an object naturally or with a tool: are these tasks guided by a common motor representation? *Experimental Brain Research*, 157, 496-506.
- Gibson, J.J. (1979/1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Goldenberg, G., & Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia*, 36, 581-589.
- Goodale, S.T., Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 1, 20-25.
- Goodwin, A.W., Macefield, V.G., & Bisley, J.W. (1997). Encoding of Object Curvature by Tactile Afferents From Human Fingers. *Journal of Neurophysiology*, 78, 2881-2888.
- Greenfield, P.M. (1991). Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, 14, 531-595.
- Haggard, P., & Wing, A. (1998). Coordination of hand aperture with the spatial path of

- hand transport. *Experimental Brain Research*, 118, 286-292.
- Haywood, K. (1979). Age differences in movement time over distances proportional to size. *Perceptual and Motor Skills*, 48, 309-310.
- Head, H., & Holmes, G. (1911). Sensory disturbances from cerebral lesion. *Brain*, 34, 102-254.
- Held, R., & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56, 607-613.
- Heriza, C.B. (1988). Organization of leg movements in preterm infants. *Physical Therapy*, 68, 1340-1346.
- Hodges, J.R., Spatt, J., & Patterson, K. (1999). "What" and "how": Evidence for the dissociation of object knowledge and mechanical problem-solving skills in the human brain. *Proceedings Natural Academy of Sciences*, 96, 9444-9448.
- Hoff, B., & Arbib, A.A. (1992). Control of arm movement in space: Neurophysiological and computational approaches. *Experimental Brain Research (Supplement)*, 22, 285.
- Hoffman, E.R., & Sheikh, I.H. (1991). Finger Width Corrections in Fitts' Law: Implications for Speed-Accuracy Research. *Journal of Motor Behavior*, 23, 4, 259-262.
- Imamizu, H., & Shimojo, S. (1995). The locus of visuomotor learning at the task or manipulartort level: implicatons from intermanual transfer. *Journal of Experimental Psychology: Hman Perception and Performance*, 21, 719-733.
- Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, S., Sasaki, Y., Takino, R., Pütz, B., Yoshioka, T., & Kawato, M. (2000). Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature*, 403, 192-195.
- Inoue, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Ogawa, A., Schormann, T., Zilles, K., & Fukuda, H. (2001). Activation in the ipsilateral posterior parietal cortex during tool use: a PET study. *Neuroimage*, 14, 6, 1469-1475.
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, 7, 14, 2325-2330.
- Ishibashi, H., Hihara, S., & Iriki, A. (2000). Acquisition and development of monkey tool-use : behavioral and kinematic analyses. *Canadian Journal of Physiol. Pharmacol.*, 78, 958-966.
- Jackson, S.R., Jackson, G.M., & Rosicky, J. (1995). Are non-relevant objects represented in working memory? The effect of non-target objects on reach and grasp kinematics. *Experimental Brain Research*, 102, 519-530.
- Jakobson, L.S., & Goodale, M.A. (1991). Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Experimental Brain Research*, 86, 199-208.

- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movement. *Journal of Motor Behavior*, 26, 3, 235-254.
- Johansson, R.S., & Westling, G. (1984a). Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects. *Experimental Brain Research*, 56, 550-564.
- Kalverboer, A.F. (1993). Motor development in children at risk: two decades of research in experimental clinical psychology. In A.F. Kalverboer, B. Hopkins & R. Geuze (Eds.), *Motor Development in Early and Later Childhood: Longitudinal Approaches* (pp. 1-14). Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press.
- Kelso, J.A.S. (1984). The informational character of self-organized coordination dynamics. *Human Movement Science*, 13, 393-413.
- Konczak, J. (1990). Toward an ecological theory of motor development: The relevance of the Gibsonian approach to vision for motor development research. In Clark, J.; & Humphrey, J. H., *Advances in Motor Development Research*, 3 (pp. 201-224). NY: AMS Press.
- Kritikos, A., Jackson, G.M., & Jackson, S.R. (1998). The influence of initial hand posture on the expression of prehension parameters. *Experimental Brain Research*, 119, 9-16.
- Kuhtz-Buschbeck, J.P., Boczek-Funcke, A., Illert, M., Joehnk, K., & Stolze, H. (1999). Prehension movements and motor development in children. *Experimental Brain Research*, 128, 65-68.
- Kuhtz-Buschbeck, J.P., Stolze, H., Jöhnk, K., Boczek-Funcke, A., & Illert, M. (1998). Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, 122, 424-432.
- Latash, M.L., Scholz, J.P., Schöner, G. (2002). Motor control strategies in the structure of motor variability. *Exercise Sport Sciences Review*, 30, 26-31.
- Levin, M.F., Michaelsen, S.M., Cirstea, C.M., & Roby-Brami, A. (2002). Use of the trunk for reaching targets placed within and beyond the reach in adult hemiparesis. *Experimental Brain Research*, 143, 171-180.
- MacKenzie, C.L., & Iberall, T. (1994). *The Grasping Hand*. Amsterdam: Elsevier Science B. V.
- MacKenzie, I.S. (1989). A Note on the Information-Theoretic Basis for Fitts' Law. *Journal of Motor Behavior*, 21, 3, 323-330.
- Maldonado, H., Rodriguez, E., & Balderrama, N. (1974). How mantids gain insight into the new maximum catching distance after each ecdysis. *Journal of Insect Physiology*, 20, 591-603.

- Mamassian, P. (1997). Prehension of objects oriented in three-dimensional space. *Experimental Brain Research*, 114, 235-245.
- Maravita, A., Husain, M., Clarke, K., & Driver, J. (2001). Reaching with a tool extends interaction into far space: evidence from cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, 39, 580-585.
- Mark, L.S., Nemeth, K., Gardner, D., Dainoff, M.j., Paasche, J., Duffy, M., & Grandt, K. (1997). Postural dynamics and the preferred critical boundary for visually guided reaching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1365-1379.
- Marteniuk, R.G., MacKenzie, C.L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Duglas, C. (1987). Constraints on Human Arm Movements. *Canadian Journal of Psychology*, 41, 365-378.
- Marteniuk, R.G., MacKenzie, C.L., Leavitt, J.L. (1990). The inadequacies of a straight physical account of motor control. In H.T.A. Whiting, O.G. Meijer, & P.C.W. van Wieringer (Eds.), *The natural physical approach to movement control* (pp. 95-115). Amsterdam: Free University Press.
- McCarty, M.E., Clifton, R.K., & Collard, R.R. (1999). Problem solving in infancy: the emergence of an action plan. *Developmental Psychology*, 35, 1091-1101.
- Michaels, C.F., Prindle, S., & Turvey, M.T. (1985). A note on the natural basis of action categories: The catching distance of mantids. *Journal of Motor Behavior*, 17 (2), 255-264.
- Michotte, A. (1951/1991). The perception of the "tool effect". In G. Thinès & A. Costtal (Eds.), *Michotte's experimental phenomenology of perception* (pp. 87-102). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mon-Williams, M., & McIntosh, R.D. (2000). A test between two hypotheses and a possible third way for the control of prehension. *Experimental Brain Research*, 134, 268-273.
- Mon-Williams, M., & Tresilian, J.R. (2001). A simple rule of thumb for elegant prehension. *Current Biology*, 11, 1058-1061.
- Mon-Williams, M., Tresilian, J.R., Coppard, V.L., & Carson, R.G. (2001). The effect of obstacle position on reach-to-grasp movement. *Experimental Brain Research*, 137, 497-501.
- Neggers, S.F.W., Van der Lubbe, R.H.J., Ramsey, N.F., & Postma, A. (2006). Interactions between ego- and allocentric neuronal representations of space. *Neuroimage*, 31, 320-331.
- Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination*

- and Control* (pp. 341-360). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Obayashi, S., Sahara, T., Nagai, Y., Maeda, J., Hihara, S., Iriki, A. (2002). Macaque prefrontal activity associated with extensive tool use. *Neuroreport*, *13*, 17, 2349-2354.
- Paillard, J. (1982). Apraxia and the neurophysiology of motor control. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, B, Biological Sciences*, *298*, 111-134.
- Paulignan, Y., Jeannerod, M., MacKenzie, C., & Marteniuk, R. (1991). Selective perturbation of visual input during prehension movements. 2. The effects of changing object size. *Experimental Brain Research*, *87*, 407-420.
- Paulignan, Y., MacKenzie, C., Marteniuk, R. & Jeannerod, M. (1990). The coupling of arm and finger movements during prehension. *Experimental Brain Research*, *79*, 431-435.
- Pryde, K.M., Roy, E.A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science*, *17*, 743-752.
- Reed, E.S. (1988). Applying the theory of action systems to the study of motor skills. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex Movement Behaviour: "The" motor-action controversy* (pp. 45-86). North-Holland: Elsevier Publishers B. V.
- Rosenbaum, D.A., Loukopoulos, L.D., Meulenbroek, R.J.G., Vaughan, J., & Engelbrecht, S.E. (1995). Planning reaches by evaluating stored postures. *Psychological Review*, *102*, 1, 28-67.
- Rosenbaum, D.A., Meulenbroek, R.J.G., Vaughan, J., & Elsinger, C. (1999). Approaching grasping from different perspectives. *Motor Control*, *3*, 289-297.
- Salimi, I., Hollender, I., Frazier, W., & Gordon, A.M. (2000). Specificity of Internal Representations Underlying Grasping. *Journal of Neurophysiology*, *84*, 2390-2397.
- Santello, M., Flanders, M., & Soetching, J.F. (1998). Postural hand synergies for tool use. *The Journal of Neuroscience*, *18*, 10105-10115.
- Schmidt, R.A. (1988). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, Inc.
- Schmidt, R.A., Corey, D., Fitzpatrick, P., & Riley, M. (1995). The oscillatory basis of Fitt's Law. In B.G. Bardy, R.J. Bootsman, and Y. Guiard (Eds.), *Studies in Perception and Action III* (pp. 95-98). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Schneiberg, S., Sveistrup, H., McFayen, B., McKinley, P., & Levin, M.F. (2002). The development of coordination for reach-to-grasp movements in children. *Experimental Brain Research*, *146*, 142-154.
- Schneider, W. (1993). The longitudinal study of motor development: methodological issues. In A.F. Kalverboer, B. Hopkins & R. Geuze (Eds.), *Motor Development in*

- Early and Later Childhood: Longitudinal Approaches* (pp. 317-342). Cambridge, Great Britain: Cambridge University Press.
- Schöner, G. (1990). A dynamic theory of coordination of discrete movement. *Biological Cybernetics*, 63, 257-270.
- Schwartz, R.K., & Reilly M.A. (1981). Learning Tool Use: Body Scheme Recalibration and the Development of Hand Skill. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 1, 13-29.
- Seabra, A.P.L.T. (1997). *Influência do tamanho do objecto na organização temporal da acção de apreensão em adultos e em crianças*. Dissertação de Mestrado, não publicada. Cruz Quebrada: Faculdade de Motricidade Humana- Universidade Técnica de Lisboa.
- Shaw, R., & Turvey, M.T. (1981). Coalitions as models for ecosystems: A realist perspective on perceptual organization. In M. Kubovy & J.R. Pomeranz (Eds.), *Perceptual organization* (pp. 343-416). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sirigu, A., Cohen, L., Duhamel, J., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex*, 31, 41-55.
- Smeets, J.B.J., & Brenner, E. (1999). A New View on Grasping. *Motor Control*, 3, 237-271.
- Smitsman, A.W. (1997). The Development of Tool Use: Changing Boundaries Between Organism and Environment. In C. Dent-Read & P. Zukow-Goldring, *Evolving Explanations of Development: Ecological Approaches to Organism Environment Systems* (pp. 301-329). USA, Washington, DC: American Psychological Association.
- Steenbergen, B., van der Kamp, J., Smitsman, A.W., & Carson, R.G. (1997). Spoon handling in two- to four-year old children. *Ecological Psychology*, 9, 113-129.
- Teyssède, C., Lino, F., Zattara, M, & Bouisset, S. (2000). Anticipatory EMG patterns associated with preferred and non-preferred arm pointing movement. *Experimental Brain Research*, 134, 435-440.
- Thelen, E., & Smith, L.B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Tresilian, J.R., & Stelmach, G.E. (1997). Common organization for unimanual and bimanual reach-to-grasp tasks. *Experimental Brain Research*, 115, 283-299.
- Tresilian, J.R., Mon-Williams, M., Coppard, V.L., & Carson, R.G. (2005). Developmental changes in the response to obstacles during prehension. *Journal of Motor Behavior*, 37, 103-110.
- Tsonis, P.A., & Tsonis, A.A. (1989). Chaos: principles and implications in biology. *Computer Application in the Biosciences*, 5, 1, 27-32.

- Ulrich, B.D., Thelen, E., & Niles, D. (1990). Perceptual determinants of action: stair-climbing choices of infants and toddlers. In J.E. Clark & J.H. Humphrey (Eds.), *Advances in Motor Development Research* 3 (pp. 1-15). New York: AMS Press.
- Van der Fits, I.B.M., Otten, E., Klip, A.W.J., Van Eykern, L.A., & Hadder-Algra, M. (1999). The development of postural adjustments during reaching in 6- to 18-month-old infants. *Experimental Brain Research*, 126, 517-528.
- van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (1999). The kinematics of eating with a spoon: bringing the food to the mouth, or the mouth to the food? *Experimental Brain Research*, 129, 68-76.
- van der Kamp, J., Steenbergen, B., & Smitsman, A.W. (1993). Preliminaries for a natural physical approach to tool-use in children. In S.S. Valenti & J.B. Pittenger (Eds.), *Studies in perception and action II* (pp. 329-332). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- van Leeuwen, L., Smitsman, A.W., & van Leeuwen, C. (1994). Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 174-191.
- Vereijken, B., van Emmerik, R., Withing, H., & Newell, K. (1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24, 133-142.
- Wang, J., & Stelmach, G.E. (2001). Spatial and temporal control of trunk-assisted prehensile actions. *Experimental Brain Research*, 136, 231-240.
- Warren, Jr., W.H. (1984). Perceiving Affordances: Visual Guidance of Stair Climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 5, 683-703.
- Warren, Jr., W.H., & Whang, S. (1987). Visual Guidance of Walking Through Apertures: Body-Scaled Information for Affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 3, 371-383.
- Weir, P.L., MacKenzie, C.L., Marteniuk, R.G., & Cargoe, S.L. (1991). Is Object Texture a Constraint on Human Prehension: Kinematic Evidence. *Journal of Motor Behavior*, 23, 3, 205-210.
- Weir, P.L., MacKenzie, C.L., Marteniuk, R.G., Cargoe, S.L., & Frazer, M.B. (1991). The Effects of Object Weight on the Kinematics of Prehension. *Journal of Motor Behavior*, 23, 3, 192-204.
- Welford, A.T. (1960). The measurement of sensory-motor performance: Survey and reappraisal of twelve years progress. *Ergonomics*, 3, 189-230.
- Wickstrom, R.L. (1983). *Fundamental Motor Patterns*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Wing, A.M., & Fraser, C. (1983). The contribution of the thumb to reaching movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 297-309.

- Wing, A.M., Turton, A. & Fraser, C. (1986). Grasp Size and Accuracy of Approach in Reaching. *Journal of Motor Behavior*, 18, 3, 245-260.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001a). Sensation at the tips of invisible tools. *Nature Neuroscience*, 4, 10, 979-980.
- Zaal, F.J.M., & Bootsma, R.J. (1993). Accuracy demands in natural prehension. *Human Movement Science*, 12, 339-345.

Capítulo 4 - Discussão Geral e Conclusões

Discussão Geral

Defendemos que um implemento funcional é um instrumento, e que quando este é usado é incorporado no esquema corporal (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002), de tal modo que a extremidade do instrumento se torna efectivamente uma extensão do efector que o sustenta (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996); o espaço pessoal expande-se (Berti & Frasseneti, 2000; Holmes, Calvert & Spence, 2004). O campo receptivo visual de células multimodais⁸⁸ do sulco intraparietal pode ser alargado, de modo a incluir todo o comprimento de um instrumento (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996; Inoue et al., 2001). Este remapeamento tem uma utilidade funcional, como quando é necessário combinar a retroacção visual da extremidade distal do instrumento com o tacto para controlar o movimento, e pode emergir automaticamente, sem intervenção cognitiva (Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002; Milner & Goodale, 1995).

Concebemos um implemento funcional (Connolly & Elliott, 1972), cuja affordance é detectável (Gibson, 1986) e cujo estereótipo é familiar (Leroi-Gourhan, s/d) mas não habitual (Goldenbergen & Haggmann, 1988). Concebemos um situação experimental em que o implemento fica acoplado ao sistema motor, deixando-nos na fronteira entre o proto-uso e o uso de um instrumento (Parker & Gibson, 1977). Para assegurar a relação funcional entre o sistema corpo/implemento e o envolvimento (Reed, 1988) criámos um problema motor, pouco espaço para agarrar objecto-alvo com os dedos, de modo que percepção do e acção com o implemento estivessem embutidas na relação do implemento com o objecto-alvo (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). O objectivo foi propiciar a transformação do implemento num instrumento através da sua incorporação na organização do comportamento motor (Smitsman, 1997).

Crianças e adultos detectaram visualmente a affordance de pinças acopladas aos dedos (Estudo I), revelando os adultos maior capacidade de discriminação perceptiva (Gibson & Gibson, 1955). As pinças possuem a

⁸⁸ As células multimodais encontram-se em várias regiões do cérebro e respondem tanto a estimulação táctil como visual. Os campos receptivos táctil e visual mantêm-se em correspondência, mesmo que a parte corporal em questão seja movida separadamente dos olhos (e.g., Fogassi et al., 1996).

informação necessária para a detecção da sua affordance (Gibson, 1979/1986), foram assumidas como funcionais (Connolly & Elliott, 1972), como instrumento *de facto*, embora a sua característica não familiar (Goldenberg & Hagmann, 1998).

Embora as pinças estivessem acopladas aos dedos, através da percepção háptica e tátil, crianças e adultos também conseguiram detectar adequadamente o seu comprimento (Turvey, 1996) (Estudo II). Os adultos revelaram procedimentos exploratórios diversos e voluntários (Lederman & Klatsky, 1987), as crianças foram menos consistentes nas suas estimativas.

As affordances percebidas carecem de efectividades correspondentes. O princípio da dualidade das affordances e das efectividades (Shaw & Turvey, 1981) advoga que uma affordance não pode ser definida sem uma efectividade complementar. Os Estudos I e II revelam que crianças e adultos possuem capacidade perceptiva visual e lábil para detectar adequadamente affordance e propriedades das pinças acopladas aos dedos.

Entre crianças e adultos as diferenças dos constrangimentos morfológicos (Newell, 1986; Konczak, 1990) podem ser parcialmente compensados na acção de preensão, através da adequação da situação experimental assente no conceito de escala corporal (Warren, 1984). A distância de um objecto a alcançar baseada num critério de conforto, reduz substancialmente a influência dos constrangimentos morfológicos na cinemática da acção de preensão (Estudo III), embora algumas efectividades perceptivas e motoras distintas persistam, por exemplo, perante o tamanho do objecto-alvo (Pryde, Roy & Campbell, 1998) (Estudo IV) e a presença de obstáculos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005) (Estudo V).

Do conjunto dos cinco estudos apresentados no Capítulo II, sobressaem diferenças entre os dois grupos etários em ambas as componentes da acção de preensão, as quais se acentuam perante objecto-alvo menor e/ou obstáculos; no entanto, a gestão escalada da distância ao objecto-alvo atenua-as significativamente.

Acoplar o instrumento ao membro preênsil resulta na anulação de eventuais graus de liberdade inerentes ao próprio instrumento (e.g., Dingwell, Mah & Mussa-Ivaldi, 2002), tornando a acção predominantemente motora. A fixação do instrumento aos dedos também poderá permitir suspender alguma

actividade neuro-motora associada à componente de agarrar o instrumento (Sirigu et al., 1995), permitindo ao executante centrar a sua atenção na componente de transporte do instrumento e na componente de agarrar o objecto. Reduzimos o número de complementaridades espaciais e temporais entre organismo e instrumento, mas mantemos as relativas à relação entre instrumento e objecto a ser manipulado (van Leeuwen, Smitsman & van Leeuwen, 1994). A questão centra-se na relação espacial e temporal entre executante mais instrumento e objecto, mantendo-se a diferenciação entre o objecto causal motor, o sistema motor, e o objecto intermediário passivo, o instrumento (Michotte, 1951/1991). O recurso a affordances será intrínseco à acção motora, a habilidade de resolução do problema mecânico será a da capacidade de transferir o acto de agarrar das polpas dos dedos para as extremidades do instrumento, sem a possibilidade de agarrar o instrumento perto do seu ponto de acção (Achard & von Höfsten, 2002). Este é um traço de originalidade deste trabalho, ao qual associámos o envolvimento simultâneo de dois grupos etários distintos, crianças de 5-6 anos de idade e adultos. Será que há uma adaptação perceptiva automática (Michaels, Prindle & Turvey, 1985) e que a acção motora é reescalada à métrica corporal (Barreiros, 2004)? Será que incorporamos o instrumento no nosso ciclo de percepção-acção, como se ele ao nosso corpo sempre tivesse pertencido (Head & Holmes, 1911)?

Em cinco condições experimentais (Capítulo III) pedimos a crianças e adultos que agarrassem com os dedos uma esfera localizada no seu espaço pessoal (P), e no seu espaço peripessoal flanqueada (F) ou não (PP); e, com pinças acopladas e escaladas aos seus dedos polegar e indicador no seu espaço peripessoal flanqueada (ICF) ou não (ISF).

Crianças e adultos colidiram similarmente em número com os obstáculos na condição F, mas os adultos significativamente menos na condição ICF, na qual as crianças revelaram sistematicamente dois acentuados picos de velocidade na componente de agarrar (Castiello, Bennett & Mucignac, 1993; Paulignan et al., 1991). Comparativamente com a condição PP, na condição F as crianças aumentaram a percentagem de tempo até ao máximo afastamento dos dedos. Os obstáculos tiveram a influência visual superior nas crianças (Rösblat, 1996), levando-as a conservarem os dedos juntos durante mais tempo (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005; Catela, Seabra & Barreiros, 2007c). Com o

uso das pinças as crianças inverteram o seu padrão de comportamento, antecipando significativamente a percentagem de tempo até ao máximo afastamento dos dedos (Pryde, Roy & Campbell, 1998), enquanto que os adultos a retardaram. A introdução das pinças foi interpretada pelas crianças como um aumento da dificuldade da tarefa, perdendo a sua dimensão funcional (Hipótese 1). Os resultados sugerem também que a componente de transporte foi afectada pelos constrangimentos da tarefa, sobretudo nas crianças. De salientar que enquanto na condição F os adultos revelaram uma relação sistemática entre a espessura do polegar e variáveis da componente de agarrar, as crianças não a manifestaram, portanto, não se pode atribuir ao espaço disponível para agarrar a dificuldade que elas sentiram em contactar a esfera.

Depois de poisarem a esfera na taça, os executantes foram instruídos a retomarem a posição inicial, a qual foi sempre a colocação das pontas dos dedos polegar e indicador juntas sobre a ligação do “T”. Na condição ICF houve executantes que em vez de poisarem sobre esta localização as pontas dos dedos poisaram as pontas das pinças, ou então a meia distância entre a ponta dos dedos e das pinças ou ainda iniciavam o repouso da mão tendo como referência as pontas das pinças mas corrigiam e ajustavam a localização final à ponta dos dedos. A análise da frequência das três categorias mostra que quase todas as crianças que se reportaram à ponta das pinças (17/21) e que os adultos também tenderam a reportar-se ou reportaram-se a esta referência (13/23).

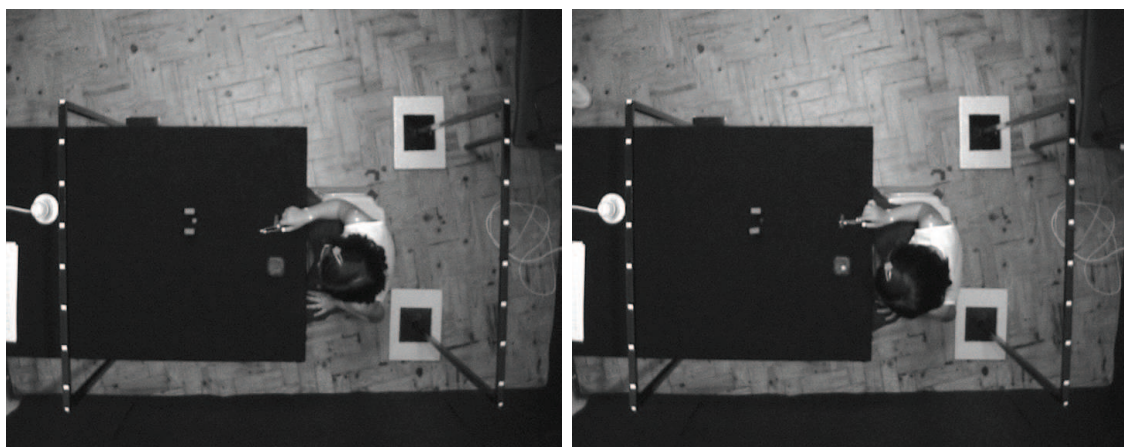


Figura 4.1 - Posição inicial e final das extremidades preênsais na condição instrumento com flaqueadores (ICF) (respectivamente, imagem da esquerda e da direita), criança 2.

Que esta expressão foi por vezes persistente ou consciencializada e corrigida, sustenta a hipótese de um sistema visual dorsal (“como”) baseado em coordenadas egocêntricas e sem envolvimento da consciência e de um sistema ventral (“o quê”) que pode ser activado simultaneamente, fazendo intervir a consciência e interagir com o sistema dorsal (Goodale & Milner, 1992), promovendo os ajustamentos necessários para corresponder às instruções do experimentador, i.e., colocar a ponta dos dedos na marca do posição inicial e não a das pinças. A redução da deslocação do ombro (DO) entre as condições PP e ISF só pode significar que os executantes contaram com o comprimento das pinças para alcançar a esfera, i.e., incorporaram o comprimento das pinças no comprimento do seu membro preênsil. Esta redução de DO é significativamente menor que na condição P e deve resultar da dificuldade da tarefa associada ao uso efectivo das pinças, o que implicou uma mobilização de segmentos mais distais (tronco), embora o seu maior custo energético (Rosenbaum et al., 1995). A comparação da extensão do cotovelo (EC) entre as condições P e ISF complementa os obtidos para a DO e sustenta a hipótese de incorporação do comprimento das pinças. Na condição F a EC é significativamente maior que em todas as outras condições com instrumentos.

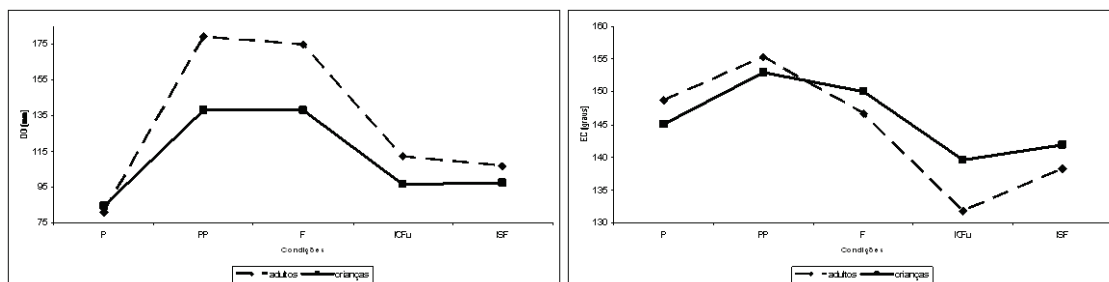


Figura 4.2 – Média da deslocação do ombro (DO) e da extensão do cotovelo (EC) (respectivamente imagem da esquerda e da direita) nas condições pessoal (P), peripessoal (PP), flanqueadores (F), últimos ensaios da condição instrumento com flanqueadores (ICFu) e instrumento sem flanqueadores (ISF), por grupo etário.

Se na condição F o ombro é deslocado mais e o cotovelo é estendido mais e nas condições ICF e ISF o ombro é deslocado menos e o cotovelo estendido menos, então, só há uma resposta para explicar o espaço que sobra para alcançar a esfera entre estas duas situações experimentais - os executantes completam-no com o comprimento das pinças. A combinação destes dois

conjuntos de resultados é a confirmação que há uma incorporação espacial das pinças na percepção que os executantes têm do comprimento do seu membro preênsil, e a presença dos flaqueadores não foi suficiente para inibir este processo da incorporação física das pinças. Em termos espaciais, para a dimensão física comprimento do instrumento, o sistema neuro-motor destes executantes teve plasticidade para a representação de um corpo que incorporou no seu esquema um instrumento (Head & Holmes, 1911; Maravita, Husain, Clarke & Driver, 2001; Obayashi et al., 2002; Ishibashi, Hihara & Iriki, 2000). A comparação da EC entre o final da condição F e o princípio da condição ICF demonstra que este processo de incorporação foi imediato. Crianças e adultos perceberam a affordance inerente ao comprimento do instrumento (Gibson, 1979/1986; Goldenberg & Hagmann, 1998) e apropriam-na como uma efectividade (Shaw & Turvey, 1981). O espaço peripessoal tornou-se um espaço pessoal (Farnè & Lávadas, 2000; Berti & Frassinetti, 2000).

A confrontação das proporcionalidades do máximo afastamento das extremidades (MAE) das condições P e ISF mostra que os adultos incorporaram o afastamento das pinças no dos seus próprios dedos, enquanto que as crianças não.

Tabela 4.1 – Predição do comprimento do polegar a partir do máximo afastamento das extremidades na condição instrumento sem flaqueadores (Predição Cpol), e proporção máximo afastamento das extremidades/comprimento do polegar (Cpol) (condição pessoal) e máximo afastamento das extremidades/comprimento das pinças (Cpin) (condição instrumento sem flaqueadores), por grupo etário.

Grupo Etário	Comprimento Polegar (mm)	Proporção MAE/CPol	Comprimento Pinças (mm)	Proporção MAE/Cpin	Determinação Cpol (mm)
Adultos	62,7±5,91	0,63±0,08	105	0,43±0,12	43,1
Crianças	43,1±2,53	0,77±0,11	65	0,85±0,21	47,5

Esta é uma gestão espacial perpendicular ao sentido do movimento de agarrar e não alinhado com este; requer um alargamento da percepção das pinças, como objecto incorporado, num segundo plano, o plano frontal do executante, transportado até à extremidade das pinças. Aparentemente, os adultos evoluíram através duma representação aloccêntrica da acção de preensão, no sentido de uma incorporação motora consciente nos planos sagital (implemento) e frontal (uso do instrumento), transferindo a referência na acção da ponta dos dedos para a ponta das pinças (Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996;

Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002). A interação com o envolvimento passou a ser *com* e *no* instrumento (Steenbergen, van der Kamp, Smitsman & Carson, 1997), potenciando uma representação egocêntrica do espaço peripessoal. Nas crianças, a incorporação no plano sagital (comprimento das pinças, implemento) verificou-se, mas não houve indícios de ajustamentos à deslocação da extremidade das pinças no plano frontal, aparentemente, a referência para o afastamento e fecho dos dedos continuou centrada numa representação egocêntrica, i.e., nas pontas dos dedos (Hipótese 2). As crianças usaram uma representação unidireccional para converter a informação visual em acção motora, enquanto que os adultos conseguiram usar uma representação bidireccional (Ferrel, Bard & Fleury, 2001).

Na transição da condição PP para a condição F, crianças e adultos revelam uma redução da EC e um aumento da DO. A introdução dos flaqueadores perturbou a gestão dos segmentos corporais mais proximais (braço e antebraço), no sentido da sua congelação, mas não nos distais (tronco). A gestão dos graus de liberdade foi flexível e articulada (Latash, Scholz & Schönner, 2002) e a sua congelação foi parcial (Vereijken et al., 2002). Do 1.º para o último ensaio da condição ICF, crianças e adultos aumentam a DO. Após um primeiro confronto com o aumento do membro preênsil, ao qual responderam com uma adequada EC que conservaram até ao último ensaio, crianças e adultos aumentaram o envolvimento do tronco, provavelmente associado à precisão espacial requerida pela tarefa. Quando foi necessária precisão espacial, os custos de percurso foram desvalorizados e os efectores com maiores custos de percurso mobilizados (Rosenbaum et al., 1995, 1999). Na componente de agarrar, as pinças não foram totalmente incorporadas, a dificuldade imposta pelo uso das pinças para agarrar a esfera obrigou os executantes a mobilizar o tronco. Este efeito é mais acentuado nas crianças; a acção motora com instrumentos foi, *per se*, um constrangimento extrínseco para as crianças (Bushnell & Boudreau, 1998). Na condição ISF os adultos descongelaram a articulação distal (cotovelo), acompanhada por uma redução da mobilização do segmento proximal (ombro), embora menos expressiva. Portanto, entraram numa segunda fase de gestão dos graus de liberdade (Bernstein, 1967). As crianças mantiveram a rigidez articular (Hipótese 3).

Crianças e adultos revelaram entre a condição P e a condição ISF perfis distintos de articulação entre a EC e o AE; ambas as componentes da acção de preensão foram perturbadas com a introdução das pinças. O contacto com a esfera através do instrumento revela limitações proprioceptivas, particularmente evidentes pelo rasurado identificador do elevado tempo de gestão do afastamento e fecho das pinças para contactar e agarrar a esfera antes de a elevar, em contraste com a condição P particularmente limpa. Não houve uma solução comum para resolver a coordenação entre a articulação do cotovelo (componente de transporte) e as dos dedos (componente de agarrar) (Bernstein, 1967), ao contrário do que se observa na preensão natural (condição P).

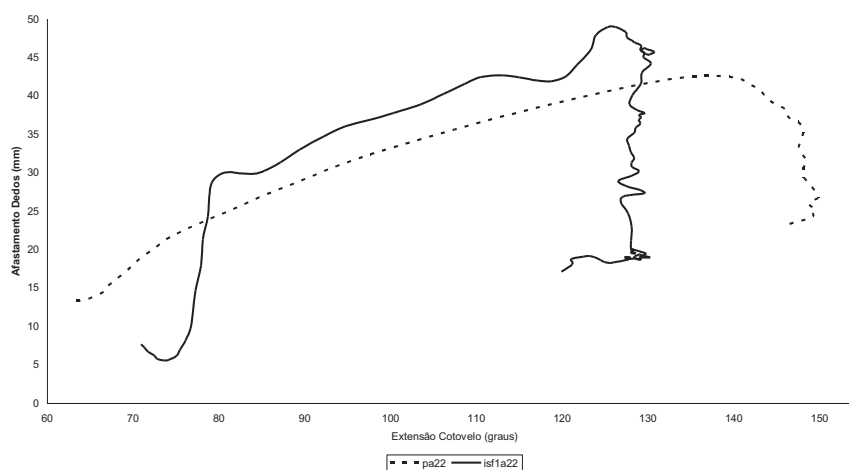


Figura 4.3 - Evolução associada da extensão do cotovelo (EC) e do afastamento das extremidades (AE) na condição pessoal (P) e no primeiro ensaio da condição instrumento sem flangeadores (ISF) (respectivamente, linhas tracejada e contínua), do adulto 22.

O uso das pinças obrigou vários executantes a gerir as componentes de transporte e de agarrar separadamente (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004). Este resultado é indicador de uma incorporação motora do instrumento ainda no início e de uma ruptura de uma estrutura coordenativa existente (Hipótese 4).

No 1.º ensaio da condição ICF tanto as crianças como os adultos reduzem a DO (segmento proximal) em relação aos ensaios da condição F, mas as crianças não ajustaram imediatamente a EC (articulação distal). Este resultado sustenta a hipótese de desenvolvimento neuromuscular próximo-distal do uso do instrumento (Wickstrom, 1983; van der Kamp & Steenbergen, 1999), inicialmente foi no ombro que as crianças fizeram o ajustamento espacial (Hipótese 5). No 2.º

ensaio da condição ICF já as crianças mobilizaram mais o ombro e estenderam menos o cotovelo; as crianças e os adultos articularam a mobilização do ombro e do cotovelo. A hipótese mais plausível é que os executantes procederam a uma organização do cotovelo e do ombro numa unidade estrutural (sinergia funcional) de modo a assegurar uma execução estável (Latash, Scholz & Schönner, 2002) (Hipótese 4).

Comparativamente com os adultos, no uso das pinças as crianças antecipam o término da fase rápida (Jeannerod, 1984) das componentes de transporte e de agarrar e reservam mais tempo para a fase lenta, a de preparação de contacto com o objecto. Uma antecipação da preparação da componente agarrar é tida como indicador de maior índice de dificuldade da tarefa (Jakobson & Goodale, 1991). O uso das pinças significou em termos motores para as crianças como um aumento da dificuldade da tarefa, enquanto que os adultos tenderam a recuperar um agarrar mais funcional, menos sujeito aos limites impostos pelos flaqueadores. Essa é a explicação para o aumento do TM (Fitts, 1954) e para a antecipação do pico de velocidade de afastamento dos dedos (e.g., Pryde, Roy & Campbell, 1998). No uso das pinças a componente de transporte foi gerida em função da componente de agarrar (Hoff & Arbib, 1992), de modo ainda mais agudo pelas crianças, no sentido de dar tempo à fase lenta da última, a qual corresponde ao uso efectivo das pinças para agarrar a esfera. A estratégia das crianças deve ter sido – primeiro chegar lá, depois logo se vê. As crianças não revelaram possuir estratégias antecipativas (McCarty, Clifton & Collard, 1999; Connolly & Dalgleish, 1989). Incorporar o comprimento físico das pinças no membro preênsil (implemento) e usá-las como um instrumento preênsil, *de facto*, são dimensões de apropriação distintas (Bushnell & Boudreau, 1991). Contactar e agarrar a esfera com pinças não é o mesmo que com os dedos (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004); a apropriação de novas efectividades (Reed, 1988; Ackroyd et al., 2002) através da incorporação das pinças requer mais que a detecção visual e háptica das suas dimensões físicas, requer mais prática que aquela disponibilizada aos executantes, mesmo sem a presença dos flaqueadores. Percepção e acção têm que estar articuladas para que o executante possa ir construindo novas estruturas coordenativas.

Da condição P para a condição ISF, ambos os grupos etários conservam percentagem de tempo até à velocidade máxima do cotovelo (%TtVMC) e

nenhum deles conserva a percentagem de tempo até à velocidade máxima dos dedos (%TtVMD). No uso das pinças, a componente de agarrar foi mais perturbada que a componente de transporte. Aparentemente, o TtVMC foi uma invariante da acção de preensão. Transportar as extremidades preênsais até à esfera de modo temporalmente consistente abona a favor da hipótese da incorporação do comprimento das pinças e revela da menor perturbação motora da componente de transporte. Afastar as extremidades preênsais de modo temporalmente não consistente reforça a hipótese da componente de agarrar ter sido perturbada pelo uso do instrumento.

Conclusões

Crianças e adultos incorporaram imediatamente o comprimento do instrumento (Turvey, 1996), integrando o espaço peripessoal alcançável com o instrumento no seu espaço pessoal (Iriki, Tanaka & Iwamura, 1996; Maravita, Clarke, Husain & Driver, 2002). O processo de incorporação espacial foi não consciente, por ventura regulado pelo sistema visual dorsal (Goodale & Milner, 1992), evidente na tendência que os executantes tiveram em se reportar à extremidade do instrumento (Yamamoto & Mitazawa, 2001) quando voltaram à posição inicial. Esta incorporação não assegurou a transferência da cinemática da acção natural de preensão, principalmente na componente de agarrar (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004). Este facto é mais evidente nas crianças que tiveram mais problemas no uso motor do instrumento, revelando maior congelação dos graus de liberdade, prolongamento temporal das componentes de transporte e de agarrar e menor sucesso no agarrar do objecto-alvo (Achard & von Hofstën, 2002). O uso do instrumento quebrou as estruturas coordenativas entre as componentes de transporte e de agarrar da acção de preensão natural. Os executantes regrediram para uma cinemática mais simples, baseada na gestão alternada das componentes de transporte e de agarrar e na mobilização de graus de liberdade proximais (Steenbergen, Marteniuk & Kalbfleisch, 1995). A extensão da prática facultada não foi suficiente mas os adultos conseguiram uma incorporação temporal e espacial parcial do uso motor do instrumento (Gentilucci, Roy & Stefanini, 2004), por exemplo, expressa numa duração do tempo para o contacto e numa gestão bidireccional do afastamento das pinças tendencialmente

similar à preensão natural (Ferrel, Bard & Fleury, 2001). Os obstáculos foram uma variável moderadora, influenciando as componentes de transporte e de agarrar (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2001), quebrando estruturas coordenativas e restringindo graus de liberdade. Mais que os adultos, as crianças ficaram presas à influência visual (Rösblad, 1996) dos obstáculos (Tresilian, Mon-Williams, Coppard & Carson, 2005; Catela, Seabra & Barreiros, 2007a) e do instrumento, patente no modo como geriram a fase rápida do movimento e o afastamento relativo dos dedos (Wing & Frazer, 1983).

Referências Bibliográficas

- Achard, B., & von Höfsten, C. (2002). Development of the Infant's Ability to Retrieve Food Through a Slit. *Infant and Child Development*, 11, 43-56.
- Ackroyd, K., Riddoch, M., Nightingale, S., & Townsend, S. (2002). Widening the sphere of influence: Using a tool to extend extrapersonal visual space in a patient with severe neglect. *Neurocase*, 8, 1-12.
- Barreiros, J. (2004). A escala corporal das acções motoras: Uma perspectiva de desenvolvimento. In J. Barreiros, M. Godinho, F. Melo, & C. Neto (Eds.), *Desenvolvimento e Aprendizagem: Perspectivas Cruzadas* (pp. 239-260). Cruz Quebrada, Lisboa: FMH Edições.
- Bernstein, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, London: Pergamon.
- Berti, A., & Frassinetti, F. (2000). When far becomes near: remapping of space by tool use. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 3, 415-420.
- Bushnell, E.W., & Boudreau, J.P. (1998). Exploring and exploiting objects with the hands during infancy. In K. S. Connolly (Ed.), *The Psychobiology of the Hand* (pp. 144-161). Cambridge: Cambridge University Press.
- Castiello, U., Bennett, K.M.B., & Mucignat, G.E. (1993). The reach to grasp movement of blind subjects. *Experimental Brain Research*, 96, 152-162.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007a). Constrangimentos morfológicos e cinemática do transporte de um objecto em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 261-266). Lisboa, Portugal: IST Press.

- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007b). Tamanho do objecto e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 267-272). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007c). Obstáculos e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 273-278). Lisboa, Portugal: IST Press.
- Connolly, K.J., & Dalgleish, M. (1989). The emergence of tool using skill in infancy. *Developmental Psychology*, *25*, 894-912.
- Connolly, K.J., & Elliott, J.M. (1972). The evolution and ontogeny of hand function. In N. Blurton Jones (Ed.), *Ethological studies of child behavior* (pp. 329-383). Cambridge: Cambridge University Press.
- Dingwell, J.B., Mah, C.D., & Mussa-Ivaldi, F.A. (2002). Manipulating objects with internal degrees of freedom: Evidence for model-based control. *Journal of Neurophysiology*, *88*, 222-235.
- Farnè, A., & Làdavas, E. (2000). Dynamic size-change of hand peripersonal space following tool use. *Neuroreport*, *11*, 8, 1645-1649.
- Ferrel, C., Bard, C., & Fleury, M. (2001). Coordination in childhood: modification of visuomotor representations in 6- to 11-year-old children. *Experimental Brain Research*, *138*, 313-321.
- Fitts, P.M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, *47*, 381-391.
- Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Luppino, G., Matelli, M., & Rizzolatti, G. (1996). Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of Neurophysiology*, *76*, 1, 141-157.
- Gentilucci, M., Roy, A.C., & Stefanini, S. (2004). Grasping an object naturally or with a tool: are these tasks guided by a common motor representation? *Experimental Brain Research*, *157*, 496-506.
- Gibson, J.J. (1979/1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Gibson, J.J., & Gibson, E.J. (1955). Perceptual learning- differentiation or enrichment? *Psychological Review*, *62*, 32-41.
- Goldenberg, G., & Hagmann, S. (1998). Tool use and mechanical problem solving in apraxia. *Neuropsychologia*, *36*, 581-589.
- Goodale, S.T., Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 1, 20-25.

- Head, H., & Holmes, G. (1911). Sensory disturbances from cerebral lesion. *Brain*, 34, 102-254.
- Hoff, B., & Arbib, A.A. (1992). Control of arm movement in space: Neurophysiological and computational approaches. *Experimental Brain Research (Supplement)*, 22, 285.
- Holmes, N.P., Calvert, G.A., & Spence, C. (2004). Extending or projecting peripersonal space with tools? Multisensory interactions highlight only the distal and proximal ends of tool. *Neuroscience Letters*, 372, 62-67.
- Inoue, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Ogawa, A., Schormann, T., Zilles, K., & Fukuda, H. (2001). Activation in the ipsilateral posterior parietal cortex during tool use: a PET study. *Neuroimage*, 14, 6, 1469-1475.
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, 7, 14, 2325-2330.
- Ishibashi, H., Hihara, S., & Iriki, A. (2000). Acquisition and development of monkey tool-use : behavioral and kinematic analyses. *Canadian Journal of Physiol. Pharmacol.*, 78, 958-966.
- Jakobson, L.S., & Goodale, M.A. (1991). Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Experimental Brain Research*, 86, 199-208.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movement. *Journal of Motor Behavior*, 26, 3, 235-254.
- Konczak, J. (1990). Toward an ecological theory of motor development: The relevance of the Gibsonian approach to vision for motor development research. In Clark, J.; & Humphrey, J. H., *Advances in Motor Development Research*, 3 (pp. 201-224). NY: AMS Press.
- Latash, M.L., Scholz, J.P., Schöner, G. (2002). Motor control strategies in the structure of motor variability. *Exercise Sport Sciences Review*, 30, 26-31.
- Lederman, S., & Klatzky, R. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19, 342-368.
- Leroi-Gourhan, A. (s/d). *O gesto e a palavra: 1- Técnica e linguagem*. Lisboa: Edições 70.
- Maravita, A., Clarke, K., Husain, M., & Driver, J. (2002). Active tool use with the contralesional hand can reduce cross-modal extinction of touch on that hand. *Neurocase*, 8, 411-416.
- McCarty, M.E., Clifton, R.K., & Collard, R.R. (1999). Problem solving in infancy: the emergence of an action plan. *Developmental Psychology*, 35, 1091-1101.
- Michaels, C.F., Prindle, S., & Turvey, M.T. (1985). A note on the natural basis of action categories: The catching distance of mantids. *Journal of Motor Behavior*, 17, 2, 255-264.

- Michotte, A. (1951/1991). The perception of the “tool effect”. In G. Thinès & A. Costtal (Eds.), *Michotte’s experimental phenomenology of perception* (pp. 87-102). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Milner, A.D., & Goodale, M.A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Newell, K.M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M.G. Wade & H.T.A. Withing (Eds.), *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control* (pp. 341-360). Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.
- Obayashi, S., Suhara, T., Nagai, Y., Maeda, J., Hihara, S., Iriki, A. (2002). Macaque prefrontal activity associated with extensive tool use. *Neuroreport*, 13 (17), 2349-2354.
- Parker, S.T., & Gibson, K.R. (1977). Object manipulation, tool use and sensorimotor intelligence as feeding adaptations in cebus monkeys and great apes. *Journal of Human Evolution*, 6, 623-641.
- Paulignan, Y., Jeannerod, M., MacKenzie, C., & Marteniuk, R. (1991). Selective perturbation of visual input during prehension movements. 2. The effects of changing object size. *Experimental Brain Research*, 87, 407-420.
- Pryde, K.M., Roy, E.A., & Campbell, K. (1998). Prehension in children and adults: The effects of object size. *Human Movement Science*, 17, 743-752.
- Reed, E.S. (1988). Applying the theory of action systems to the study of motor skills. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex Movement Behaviour: “The” motor-action controversy* (pp. 45-86). North-Holland: Elsevier Publishers B. V.
- Rosenbaum, D.A., Loukopoulos, L.D., Meulenbroek, R.J.G., Vaughan, J., & Engelbrecht, S.E. (1995). Planning reaches by evaluating stored postures. *Psychological Review*, 102, 1, 28-67.
- Rosenbaum, D.A., Meulenbroek, R.J.G., Vaughan, J., & Elsinger, C. (1999). Approaching grasping from different perspectives. *Motor Control*, 3, 289-297.
- Shaw, R., & Turvey, M.T. (1981). Coalitions as models for ecosystems: A realist perspective on perceptual organization. In M. Kubovy & J.R. Pomeranz (Eds.), *Perceptual organization* (pp. 343-416). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sirigu, A., Cohen, L., Duhamel, J., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1995). A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex*, 31, 41-55.
- Smitsman, A.W. (1997). The Development of Tool Use: Changing Boundaries Between Organism and Environment. In C. Dent-Read & P. Zukow-Goldring, *Evolving Explanations of Development: Ecological Approaches to Organism Environment Systems* (pp. 301-329). USA, Washington, DC: American Psychological

Association.

- Steenbergen, B., Marteniuk, R.G., & Kalbfleisch, L.E. (1995). Achieving Coordination in Prehension: Joint Freezing and Postural Contributions. *Journal of Motor Behavior*, 27, 4, 333-348.
- Steenbergen, B., van der Kamp, J., Smitsman, A.W., & Carson, R.G. (1997). Spoon handling in two- to four-year old children. *Ecological Psychology*, 9, 113-129.
- Tresilian, J.R., & Stelmach, G.E. (1997). Common organization for unimanual and bimanual reach-to-grasp tasks. *Experimental Brain Research*, 115, 283-299.
- Tresilian, J.R., Mon-Williams, M., Coppard, V.L., & Carson, R.G. (2005). Developmental changes in the response to obstacles during prehension. *Journal of Motor Behavior*, 37, 103-110.
- Turvey, M.T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51, 1134-1152.
- van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (1999). The kinematics of eating with a spoon: bringing the food to the mouth, or the mouth to the food? *Experimental Brain Research*, 129, 68-76.
- van Leeuwen, L., Smitsman, A.W., & van Leeuwen, C. (1994). Affordances, perceptual complexity, and the development of tool use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 174-191.
- Vereijken, B., van Emmerik, R., Withing, H., & Newell, K. (1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24, 133-142.
- Warren, Jr., W.H. (1984). Perceiving Affordances: Visual Guidance of Stair Climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 5, 683-703.
- Wickstrom, R. L. (1983). *Fundamental Motor Patterns*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Wing, A.M., & Fraser, C. (1983). The contribution of the thumb to reaching movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 297-309.
- Yamamoto, S., & Kitazawa, S. (2001). Sensation at the tips of invisible tools. *Nature Neuroscience*, 4, 10, 979-980.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor João Barreiros, pela paciência atemporal, pelas imaginativas sugestões, pelo apoio incondicional em momentos difíceis da minha vida pessoal.

Às minhas eternas e queridas tias Catarina, Zeta e Xana, pelo maternal amparo naquele que foi o momento mais difícil da nossa vida familiar e que ia deitando por terra este projecto pessoal.

À colega Rita Santos Rocha, sem a qual seria um tormento a preparação da recolha e do tratamento cinematográfico das imagens.

Aos ex-alunos Marco Branco e Carla Gonçalves, sem a ajuda dos quais a recolha dos dados teria sido impossível.

À Dr.^a Maria do Amparo, bibliotecária da Faculdade da Motricidade Humana, e ao amigo e colega Joaquim Carmelo Rosa, pela insubstituível colaboração no acesso a quiméricas bibliografias.

Ao Director da minha Escola, Professor José Rodrigues, por ter tentado proporcionar-me as condições mínimas para a recolha dos dados.

À Direcção, às Educadoras, às Auxiliares, aos Pais e, particularmente, às Crianças do Jardim-de-Infância “O Ninho”, da Santa Casa da Misericórdia de Rio Maior, pela confiança e colaboração.

Ao Sr. Júlio Monteiro, por me ter ajudado a realizar o sonho de ter uma câmara suspensa.

Aos colegas e funcionários da minha Escola, dos quais gostaria de destacar o colega Nuno Pimenta, que com pequenos e, por vezes, anónimos gestos contribuíram para que esta minha morosa cruzada não fosse em vão.

Publicações

Da produção desta tese resultaram as seguintes publicações, todas apresentadas em comunicações:

Catela, D. (2004). O uso do instrumento e o estudo do comportamento motor. In Barreiros, J., Godinho, M., Melo, F., & Neto, C. (Eds.), *Desenvolvimento e Aprendizagem. Perspectivas Cruzadas* (pp. 119-138). Cruz Quebrada, Lisboa: FMH Edições.

Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007a). Constrangimentos morfológicos e cinemática do transporte de um objecto em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 261-266). Lisboa, Portugal: IST Press.

Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007b). Tamanho do objecto e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 267-272). Lisboa, Portugal: IST Press.

Catela, D.P.R., Seabra, A.P.L.T., & Barreiros, J.M.P. (2007c). Obstáculos e cinemática da acção de agarrar em crianças e adultos. In H.C. Rodrigues, P.R. Fernandes, A.P. Veloso, J.A. Simões, & M.A. Vaz (Eds.), *Actas do 2.º Encontro Nacional de Biomecânica 2007* (pp. 273-278). Lisboa, Portugal: IST Press.

