

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

ANDREIA NOGUEIRA MIANA

**Comparação entre protocolos de
marcadores anatômicos e técnicos
para análise cinemática na marcha
e na corrida**

Campinas
2007

ANDREIA NOGUEIRA MIANA

**Comparação entre protocolos de
marcadores anatômicos e técnicos
para análise cinemática na marcha
e na corrida**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Pós-Graduação da Faculdade de
Educação Física da Universidade
Estadual de Campinas para obtenção do
título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas
2007

ANDREIA NOGUEIRA MIANA

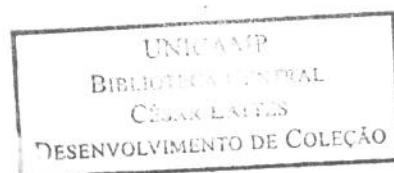
**Comparação entre protocolos de marcadores
anatômicos e técnicos para análise
cinemática na marcha e na corrida**

Este exemplar corresponde à redação
final da Dissertação de Mestrado
defendida por Andreia Nogueira Miana e
aprovada pela Comissão julgadora em:
03/08/2007.



Ricardo Machado Leite de Barros
Orientador

Campinas
2007



UNIDADE BC
Nº CHAMADA: _____
T/UNICAMP M58c
V. _____ EX. _____
TOMBO BCCL 74566
PROC 16.145-07
C _____ D x
PREÇO 1149,9
DATA 10/10/07
BIB-ID 445665

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

M58c Miana, Andréia Nogueira.
Comparação entre protocolos de marcadores anatômicos e técnicos para análise cinemática na marcha e na corrida / Andréia Nogueira Miana. - Campinas, SP: [s.n], 2007.

Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros.
Dissertação (mestrado) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Marcha. 2. Corrida. 3. Membros inferiores. 4. Membros superiores.
I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

(asm/fef)

Título em inglês: Comparison of technical and anatomical markers protocols for kinematical analysis in the walking and in the running.

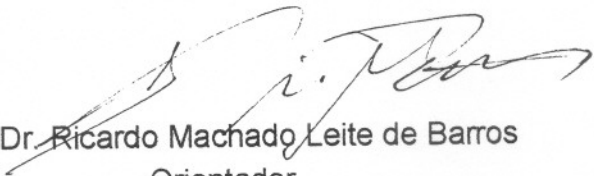
Palavras-chaves em inglês (Keywords): Running; Kinematics; Euler angles; Upper and Lower extremity.

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento Humano.

Titulação: Mestrado em Educação Física.

Banca Examinadora: Ricardo Machado Leite de Barros. Hans-Joachim Menzel. Luciano Allegretti Mercadante. Marcos Duarte. Sérgio Augusto Cunha.

Data da defesa: 03/08/2007.

COMISSÃO JULGADORA

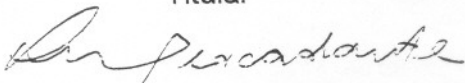
Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Orientador



Prof. Dr. Hans-Joachim Menzel

Titular



Prof. Dr. Luciano Allegretti Mercadante

Titular

*Dedico este trabalho a meus queridos pais e ao
Leandro que muito me apoiaram e me ajudaram a
enfrentar todos os obstáculos desta jornada.*

Dedicatória

Dedico este trabalho a meus queridos pais e ao Leandro que muito me apoiaram e me ajudaram a enfrentar todos os obstáculos desta jornada.

Agradecimentos

Ao meu orientador Ricardo que muito contribuiu não só para meu conhecimento em biomecânica, mas também para meu crescimento como pessoa;

A minha irmã Carol que me ajudou nas inúmeras traduções e que sempre ficou do meu lado;

Aos professores Luciano, Sérgio e René pelo carinho, amabilidade e pelos ricos ensinamentos em biomecânica;

A Karine pela amizade, paciência, grande apoio nas horas difíceis e por contribuir para meu conhecimento na área de biomecânica;

A Angélica pelo companherismo, incentivo e pelas sábias palavras de consolo nos momentos difíceis;

A Aline pela amizade e por sempre ter acreditado no sucesso do meu trabalho;

Ao Márcio pela grande ajuda durante as coletas, medições e análise dos dados;

A Jeruza pelo apoio, amizade e grande ajuda durante as coletas;

A Amanda, Milton, Tiago, Pascual, Mário, Marcelo e Rafael por compartilharem seus conhecimentos na área contribuindo para o crescimento do trabalho;

Ao prof. Marcos Duarte e Hans Joachim Menzel pelas ricas contribuições para este trabalho;

Aos atletas velocistas e aos técnicos Evandro e Ricardo da equipe União Esportiva Funilense;

A Empresa Pró-Fitness Equipamentos para ginástica pelo empréstimo da esteira ergométrica e especialmente ao Afonso e ao Roberto que possibilitaram este vínculo;

A UNESP de Rio Claro pelo empréstimo de quatro câmeras digitais e especialmente ao prof. Sérgio que possibilitou este vínculo;

Aos funcionários da UNICAMP que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

MIANA, N. Andreia. **Comparação entre protocolos de marcadores anatômicos e técnicos para análise cinemática na marcha e na corrida.** 2007. 105f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

RESUMO

O propósito deste trabalho foi comparar dois protocolos para análise cinemática de velocistas em função das velocidades, segmentos corporais e ângulos articulares durante a marcha e a corrida. Um protocolo utiliza marcadores fixados diretamente sobre a pele e outro utiliza marcadores montados sobre estruturas rígidas fixadas no segmento corporal. Seis velocistas do sexo masculino, usando ambos os protocolos, andaram a 5 Km/h e correram a 20 Km/h, em uma esteira ergométrica. Os velocistas foram representados por um modelo tridimensional constituído por quinze segmentos corporais: cabeça, tórax, pelve, pés, pernas, coxas, braços e antebraços. Foram utilizadas oito câmeras de vídeo digital (120 Hz) para aquisição das imagens e a calibração das câmeras e reconstrução das coordenadas 3D dos marcadores foram feitas no software Dvideo[®]. O tratamento e análise dos dados foram feitos em ambiente Matlab[®] 7.0. Os resultados mostraram que a variabilidade do comprimento dos segmentos e das distâncias entre os marcadores e a diferença máxima entre os ângulos obtidos por cada protocolo foram maiores com o aumento da velocidade, mostrando que os erros na análise do movimento durante a corrida foram maiores que estes durante a marcha. Não houve efeito das velocidades na correlação entre os ângulos obtidos por cada protocolo. A variabilidade da distância entre os marcadores foi maior nos membros inferiores do que nos membros superiores e a variabilidade do comprimento da perna foi maior do que esta nos outros segmentos. Os resultados também mostraram que a maior correlação foi encontrada entre os ângulos de flexão/extensão (0,99) obtidos por cada protocolo e para cada articulação, seguido dos ângulos de adução/abdução (0,78) e dos ângulos de rotação interna/externa (0,65). E os menores valores encontrados na diferença angular máxima foram entre os ângulos de flexão/extensão ($6,3^\circ \pm 3,4^\circ$) obtidos por cada protocolo e para cada articulação, seguido dos ângulos de adução/abdução ($13,2^\circ \pm 7,9^\circ$) e dos ângulos de rotação interna/externa ($17,2^\circ \pm 8,4^\circ$). Os protocolos não apresentaram diferenças na variabilidade do comprimento dos segmentos e também na análise da cinemática angular, porém os ângulos de adução/abdução e rotação externa/interna devem ser observados com mais cautela.

Palavras-Chaves: marcha, corrida, cinemática, ângulos de Euler, membros superiores e inferiores.

MIANA, N. Andreia. **Comparison of technical and anatomical markers protocols for kinematical analysis in the walking and in the running.** 2007. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare two protocols for kinematical analysis of sprinters according to velocities, body segments and joint angles during walking and running. The first protocol uses retroreflective markers mounted on fixtures attached to the body segment and the second uses retroreflective markers directly located on the skin surface. Six male athletes were studied during treadmill running at 5 and 20 Km/h and recorded with eight 120 Hz video cameras. A three-dimensional model constituted by fifteen segments represented the sprinters: head, thorax, pelvis, the right and left feet, shanks, thighs, scapulas, arms and forearms. The calibration of the cameras, the synchronization of the registrations and the 3D reconstruction of the coordinates of the markers were done in the Dvideo[®] software. All data were analyzed using Matlab[®] 7.0. The results show that the variability of the length of the segments and of the distances between the markers and the maximum difference maximum between the angles obtained by each protocol were higher with the increase of the velocities, showing that the errors in the analysis of the movement during the running were larger than these ones during the gait. There was no effect of the velocities in the correlation between the angles obtained by each protocol. The variability of the distances between the markers in the lower limb were higher than this one in the upper limbs and the variability of the length of the shank was higher than this one in the other segments. The results also showed a higher correlation was found between the flexion/extension angles (0,99) obtained by each protocol and for each joint, followed by the abduction/adduction angles (0,78) and the angles of internal/external rotation (0,65). The lower values found in the maximum angular difference were between the flexion/extension angles ($6,3^{\circ} \pm 3,4^{\circ}$) obtained by each protocol and for each articulation, followed by the abduction/adduction angles ($13,2^{\circ} \pm 7,9^{\circ}$) and the angles of internal/external rotation ($17,2^{\circ} \pm 8,4^{\circ}$). No differences were found in the variability of the length of the segments and also in the analysis of the angular kinematics, however the adduction/abduction and internal/external rotation angles should be regarded with much more caution.

Keywords: running, kinematics, Euler angles, upper and lower extremity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ambiente da coleta.	25
Figura 2 - Esteira ergométrica usada na coleta.	26
Figura 3 - Interface do sistema Dvideo® mostrando um atleta correndo a 20 Km/h.	29
Figura 4 - Calibrador da coleta.	30
Figura 5 - Modelo de representação do corpo humano (Araújo, 2002).	34
Figura 6 - Localização dos marcadores nos dois protocolos. As siglas c1, c2 e c3 pertencem ao protocolo de marcadores técnicos e as siglas d1, d2 e d3 ao protocolo de marcadores anatômicos. As outras siglas representam os marcadores virtuais e os marcadores localizados em proeminências ósseas pertencentes ao protocolo de marcadores anatômicos: CAQ(Centro articular do quadril), GT(trocânter maior), LC(côndilo lateral do fêmur), TT(tuberosidade da tíbia), TU(tubérculo tibial), LM(maléolo lateral), CAO(centro articular do ombro), ID(insersão do músculo deltóide), LE(epicôndilo lateral do úmero), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio).	35
Figura 7 - Localização dos marcadores anatômicos em todos os segmentos corporais. As siglas representam a localização dos marcadores anatômicos: C7(processo espinhoso 7ª vértebra), IJ(incisura jugular), T8(processo espinhoso 8ª vértebra), PX(processo xifóide), CAQ(centro articular do quadril), MC(côndilo medial do fêmur), LC(côndilo lateral do fêmur), TT(tuberosidade tibial), HF(cabeça da fíbula), MM(maléolo medial), LM(maléolo lateral), CAO(centro articular do ombro), ME(epicôndilo medial), LE(epicôndilo lateral), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio), PSIS(espinha ilíaca pósterio superior), ASIS(espinha ilíaca ântero superior), AC(acrômio), AA(ângulo acromial), PC(processo coracóide), TS(borda medial da escápula), AI(ângulo inferior da escápula), TA(túber parietal), ZA(arco zigomático), H1(cabeça do 1º metatarso), H2(cabeça do 2º metatarso), H5(cabeça do 5º metatarso), CL(calcâneo).	37
Figura 8 - Protocolo de marcadores e protocolo de marcadores anatômicos na tomada dinâmica.	39
Figura 9 - Eixo de rotação e nomenclatura dos movimentos (Vaughan <i>et al.</i>, 1999).	40
Figura 10 - Distâncias entre os marcadores do protocolo de marcadores anatômicos no antebraço em azul (d1,d2, d3) e distância entre os marcadores do protocolo de marcadores técnicos no antebraço em vermelho (d1', d2', d3'). As siglas representam a localização dos marcadores anatômicos no antebraço: LE(epicôndilo lateral), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio).	43
Figura 11 - Comprimento dos segmentos delimitados pelos centros articulares adjacentes. L1, L4, L6 e L8 representam os comprimentos dos segmentos coxa, perna, braço e antebraço respectivamente calculados através do protocolo de marcadores anatômicas. L2, L3, L5 e L7 representam os comprimentos dos segmentos coxa, perna, braço e antebraço respectivamente calculados através do protocolo de marcadores técnicas. CAO(centro articular do ombro), CAC(centro articular do cotovelo), CAP(centro articular do punho), CAQ(centro articular do quadril),	

CAJ (centro articular do joelho), CAT(centro articular do tornozelo).....	45
Figura 12 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].	51
Figura 13 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: protocolos, com dois níveis (MT e MA); contra velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)].	52
Figura 14 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: protocolos, com dois níveis (MT e MA); contra segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].....	52
Figura 15 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] contra segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].	53
Figura 16 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação do comprimento dos segmentos (CVL) de acordo com dois fatores: velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].	57
Figura 17 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo com dois fatores: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris(Q); ombros (O); cotovelos (V)].	61
Figura 18 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo a interação: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] contra articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].	61
Figura 19 - Representação em forma de Box Plot das diferenças máximas entre os ângulos articulares (dam) em graus de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].....	66
Figura 20 - Representação em forma de Box Plot das diferenças máximas entre os ângulos articulares (dam) em graus de acordo a interação: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] contra articulações com cinco níveis [tornozelos(T); joelhos (J); quadris (Q); ombros(O); cotovelos (V)].	66

Figura 21 - Média e desvio padrão dos ângulos de flexão/extensão dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).....	69
Figura 22 - Média e desvio padrão dos ângulos de abdução/adução dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).	70
Figura 23 - Média e desvio padrão dos ângulos de rotação interna/externa dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).	71
Figura 24 - Média e desvio padrão dos ângulos de flexão/extensão dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20Km/h para cada protocolo (MT e MA).....	72
Figura 25 - Média e desvio padrão dos ângulos de abdução/adução dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20 Km/h para cada protocolo (MT e MA).	73
Figura 26 - Média dos ângulos de rotação interna/externa dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20Km/h para cada protocolo (MT e MA).	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual (%) dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores de cada protocolo (MT e MA) dos membros inferiores de cada sujeito para ambas as velocidades.	49
Tabela 2 - Percentual (%) dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores de cada protocolo (MT e MA) dos membros superiores de cada sujeito para ambas as velocidades.	50
Tabela 3 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].	50
Tabela 4 - Percentual (%) dos coeficientes de variação do comprimento de cada segmento dos membros inferiores de cada sujeito, calculado para cada protocolo (MT e MA) e para ambas as velocidades.	55
Tabela 5 - Percentual (%) dos coeficientes de variação do comprimento de cada segmento dos membros superiores de cada sujeito, calculado para cada protocolo (MT e MA) e para ambas as velocidades.	56
Tabela 6 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de variação do comprimento dos segmentos (CVL) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].	56
Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 5 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.	58
Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 20 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.	59
Tabela 9 - Valores médios dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para todas as articulações e para a ambas as velocidades. .	59
Tabela 10 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos(T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].	60
Tabela 11 - Diferenças máximas (graus) entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 5 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.	63
Tabela 12 - Diferenças máximas (graus) entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 20 Km/h. TD = tornozelo direito;	

TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo. 64

Tabela 13 - Diferença angular máxima (DAM) entre as curvas médias dos seis atletas obtidos por cada protocolo para cada articulação e em ambas as velocidades e a amplitude (AM) de uma destas curvas médias obtidas por um dos protocolos que possuía o maior valor da diferença entre o valor máximo e mínimo desta curva..... 64

Tabela 14 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para a diferença máxima entre os ângulos articulares (dam) de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)]...... 65

LISTA DE SIGLAS

SIGLAS	DESCRIÇÃO
A	Antebraços
AA	Ângulo acromial
AB/AD	Ângulo de abução/adução
AC	Acrômio
AM	Amplitude da curva angular
AI	Ângulo inferior da escápula
ASISd	Espinha ilíaca antero-superior direita
ASISe	Espinha ilíaca antero-superior esquerda
B	Braços
C	Coxas
CAQ	Centro articular do quadril
CAO	Centro articular do ombro
CD	Cotovelo direito
CE	Cotovelo esquerdo
CL	Calcâneo
C7	Processo espinhoso da 7ª vértebra torácica
CV _D	Coefficiente de variação das distâncias entre os marcadores
CV _L	Coefficiente de variação do comprimento dos segmentos
dam	Diferença angular máxima
FL/EX	Ângulo de flexão/extensão
GT	Trocânter maior do fêmur
HF	Cabeça da fíbula
H1	Cabeça do primeiro metatarso
H2	Cabeça do segundo metatarso
H5	Cabeça do quinto metatarso
IJ	Incisura jugular
IN/EX	Ângulo de rotação interna/externa
J	Joelhos
JD	Joelho direito
JE	Joelho esquerdo
LC	Côndilo lateral do fêmur
LE	Epicôndilo lateral do úmero
LM	Maléolo lateral
MC	Côndilo medial do fêmur
ME	Epicôndilo medial do úmero
MM	Maléolo medial
MA	Protocolo de marcas anatômicas
MT	Protocolo de marcas técnicas
O	Ombros
OD	Ombro direito
OE	Ombro esquerdo
P	Pernas
PC	Processo coracóide
PSISd	Espinha ilíaca postero-superior direita

PSISe	Espinha ilíaca postero-superior esquerda
PX	Processo xifóide
QD	Quadril direito
QE	Quadril esquerdo
r	Coefficiente de correlação de Pearson
RS	Processo estilóide do rádio
SNR	Razão sinal/ruído
T	Tornozelos
TA	Túber parietal
TD	Tornozelo direito
TE	Tornozelo esquerdo
TS	Borda medial da escápula
TT	Tuberosidade da tíbia
TU	Tubérculo tibial
T8	Processo espinhoso da 8ª vértebra torácica
US	Processo estilóide da ulna
V	Cotovelos
V5	Velocidade de 5 Km/h
V20	Velocidade de 20 Km/h
ZAd	Arco zigomático direito
ZAe	Arco zigomático esquerdo

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE SIGLAS	13
1 Introdução	17
2 Objetivos.....	23
3 Métodos	25
3.1. Ambiente	25
3.2. Caracterização dos sujeitos.....	25
3.3. Esteira ergométrica	26
3.4. Aquisição das imagens	27
3.5. Sistema de análise cinemática e medição das coordenadas	27
3.6. Calibração e sincronização das câmeras	29
3.7. Tratamento dos dados	31
3.8. Procedimentos experimentais.....	31
3.9. Modelo de representação do corpo humano	32
3.10. Protocolos de posicionamento dos marcadores e orientação dos segmentos corporais.....	34
3.11. Ângulos articulares.....	39
3.12. Variáveis experimentais	41
3.12.1. Coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades	42
3.12.2. Coeficiente de variação do comprimento de cada segmento calculado a partir de cada protocolo em ambas as velocidades	43
3.12.3. Coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação.....	45
3.12.4. Diferença máxima entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para cada articulação	46
3.13. Análise estatística.....	46
4 Resultados.....	49
4.1. Coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades.....	49
4.2. Coeficiente de variação do comprimento de cada segmento calculado a partir de cada protocolo em cada velocidade.....	55
4.3. Coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação.....	58
4.4. Diferença máxima entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação	63
4.5. Cinemática angular	68
5 Discussão	75

6 Conclusão.....	82
7 Referências Bibliográficas.....	85
ANEXOS	88
ANEXO A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	89
ANEXO B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	90
ANEXO C: POSICIONAMENTO DOS MARCADORES DOS DOIS PROTOCOLOS NA TOMADA ESTÁTICA	91
ANEXO D: POSICIONAMENTO DOS MARCADORES DOS DOIS PROTOCOLOS NA TOMADA DINÂMICA.....	94
ANEXO E: CÁLCULO DOS CENTROS ARTICULARES DOS TORNOZELOS JOELHOS, QUADRIS, OMBROS, COTOVELOS E PUNHOS.	97
ANEXO F: CÁLCULO DA ORIENTAÇÃO TÉCNICA DE CADA SEGMENTO CORPORAL PARA CADA PROTOCOLO.....	98
ANEXO G: CÁLCULO DA ORIENTAÇÃO ANATÔMICA DE CADA SEGMENTO CORPORAL DURANTE A TOMADA ESTÁTICA	99
ANEXO H: CÁLCULO DE MUDANÇA DE SISTEMAS DE COORDENADAS.....	101
ANEXO I: CÁLCULO DOS ÂNGULOS ARTICULARES.....	102
ANEXO J: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES PARA CADA SEGMENTO	103
ANEXO K: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO COMPRIMENTO DOS SEGMENTOS DE CADA PROTOCOLO.....	107
ANEXO L: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	109

1 Introdução

Com o passar dos anos, vários estudos sobre a cinemática da marcha e da corrida têm sido realizados com o objetivo de fornecer informações úteis sobre padrões normais de locomoção durante a marcha (KADABA *et al.*, 1990; DAVIS, 1997), obter um melhor entendimento da cinemática articular durante a corrida (ESLAMI *et al.* 2007), avaliar o tratamento de pacientes com lesões neurológicas (YAVUZER *et al.*, 2007) ou estudar a possível relação entre parâmetros cinemáticos e lesões esportivas durante a corrida (MCLEAN *et al.* 2006).

O primeiro passo para analisar a cinemática do movimento humano é a definição de um modelo para representar o corpo humano. Frequentemente, um modelo de representação constituído por um conjunto de segmentos rígidos articulados é adotado nos estudos de marcha e corrida. Depois disto, a cada segmento corporal do modelo associa-se um sistema local de coordenadas que define sua posição e orientação, em função do tempo, em relação a um sistema global fixo ou a um sistema associado a outro segmento do modelo. A orientação de cada sistema local de coordenadas deve respeitar, na medida do possível, eixos e planos anatômicos, considerando a condição matemática de independência linear entre os vetores da base associada a cada segmento. Definido o modelo, é necessária a montagem de um protocolo experimental de colocação de marcadores sobre o corpo do sujeito estudado. Estes marcadores devem ser identificáveis por um sistema de análise cinemática e devem permitir a definição do sistema local para o posicionamento e a orientação dos segmentos do modelo a cada instante do movimento. Posteriormente os dados são filtrados e finalmente analisados.

Os modelos de representação do corpo humano encontrados na literatura diferem quanto ao número de segmentos usados para representar o corpo humano, quanto aos graus de liberdade

associados a cada articulação do modelo e quanto à forma de orientação de cada sistema de referência.

Muitos trabalhos sobre corrida, descritos na literatura, ainda apresentam uma forma bastante simplificada da análise do movimento corporal, pois consideraram os segmentos corporais como segmentos de reta utilizando somente dois marcadores em cada segmento, analisando apenas um grau de liberdade associado a cada articulação (CAVANAGH, 1987; WIT *et al.*, 2000; PARADISIS e COOKE, 2001 e KARAMANIDIS *et al.*, 2003). Entretanto, na análise da marcha, estudos bidimensionais ou mesmo tridimensionais que modelam as articulações com apenas um grau de liberdade, são cada vez menos aceitos, pelos erros associados e por limitarem demasiadamente a análise do movimento (AREBRAD *et al.*, 1990).

Visando obter um melhor entendimento da cinemática articular, trabalhos mais recentes analisaram a marcha e a corrida de forma mais complexa, onde cada articulação foi caracterizada com três graus de liberdade de rotação sendo associado um sistema local de coordenadas a cada segmento do modelo (HINGTGEN *et al.*, 2006; MC LEAN *et al.*, 2006). Este sistema de coordenadas deve possuir uma orientação anatômica, ou seja, deve respeitar os planos e eixos anatômicos de cada segmento. O cálculo deste sistema é realizado a partir das coordenadas tridimensionais de marcadores posicionados geralmente em proeminências ósseas. Além dos sistemas anatômicos, alguns protocolos também utilizam sistemas de coordenadas técnicas, associado a cada segmento, visando diminuir o número de marcadores a serem rastreados durante o movimento e minimizar os movimentos entre os marcadores e os ossos. O sistema de coordenadas técnicas possui posição e orientação arbitrária em relação ao segmento e é calculado a partir das coordenadas tridimensionais de pelo menos três marcadores não colineares associados a cada segmento corporal (CAPPOZZO *et al.*, 2005). Em uma tomada estática, a posição e orientação do sistema de coordenadas anatômicas são calculadas simultaneamente ao

sistema de coordenadas técnicas. Como os segmentos são considerados corpos rígidos e admite-se não haver movimentação relativa entre os marcadores, é possível remover os marcadores usados para a construção dos sistemas de coordenadas anatômicas durante o movimento, recalculando a posição e orientação destes sistemas com base nos sistemas de coordenadas técnicas (ARAÚJO *et al.*, 2004). Esta técnica foi proposta por Cappozzo *et al.* (1995) e é chamada técnica de calibração do sistema anatômico (CAST).

A movimentação entre os marcadores e os ossos, conhecida na literatura como *soft tissue artefact* (STA), é considerada uma grande fonte de erro na análise do movimento humano (LUNDBERG, 1996). Portanto, vários pesquisadores têm usado métodos invasivos para estudar este problema. Porém, poucos estudos como estes são encontrados na análise da corrida, sendo a maioria realizada em movimentos lentos como a marcha (REINSCHMIDT *et al.*, 1997a). Estes métodos incluem, entre outros, pinos intra-corticais (FULLER *et al.*, 1997; REINSCHMIDT *et al.*, 1997a,b e BENOIT *et al.*, 2006), fixadores externos (CAPPOZZO *et al.*, 1996), técnicas de fluoroscopia (STIEHL *et al.*, 1995), rastreamento percutâneo (HOLDEN *et al.*, 1997 e MANAL, *et al.*, 2003) e raio X (TRANBERG e KARLSSON, 1998 e SUDHOFF *et al.*, 2007). Apesar desses métodos medirem diretamente o movimento humano, a aplicabilidade deles é limitada, pois podem causar dor, risco de infecção ou expõe o sujeito a radiações. Também impedem padrões de movimentos naturais e restringem o número de sujeitos estudados. Além do mais, estes métodos também podem gerar erros associados à instrumentação, como no caso dos pinos intra-corticais, devido ao excesso de vibração destes, ou se um pino se solta ou quebra (ANDRIACCHI *et al.*, 1998 e 2000). Devido a estes fatores, os métodos invasivos também apresentam restrição quanto à medição real do movimento (LUNDBERG, 1996).

Os protocolos que utilizam marcadores invasivos são usados como referência do movimento real do esqueleto humano e consequentemente, como parâmetro de comparação para

analisar outros protocolos que utilizam marcadores não-invasivos. Estes últimos podem posicionar os marcadores de duas formas: montados sobre estruturas rígidas fixadas no segmento corporal, chamados neste trabalho de protocolos de marcadores técnicos (ARAÚJO *et al.*, 2004, ANDRADE *et al.*, 2004; BUTLER *et al.*, 2006, FERBER *et.al.*, 2002, 2003, 2005 and WILLIAMS *et.al.*, 2004) ou fixados diretamente sobre a pele, chamados neste trabalho de protocolos de marcadores anatômicos (HINGTGEN *et al.*, 2006, RAB *et al.*, 2002, ESLAMI *et al.*, 2007, QUEEN *et al.*, 2006, HUNTER *et.al*, 2004, MCCLAY e MANAL, 1998).

Vários trabalhos sobre marcha, encontrados na literatura, utilizam protocolos de marcadores técnicos (KADABA *et al.*, 1990, DAVIS, 1997; ARAÚJO *et. al*, 2004, ANDRADE *et al*, 2004). Um dos protocolos mais difundidos para a análise de marcha foi proposto por Kadaba *et al.* (1990) e é constituído por quinze marcadores, onde alguns são fixados em pequenas varas. Diferentemente de outros trabalhos que utilizam protocolos de marcadores técnicos, os marcadores posicionados nas pequenas varas são usados, juntamente com os marcadores anatômicos, para a construção dos sistemas de coordenadas anatômicas, pois as varas são alinhadas ao plano anatômico frontal de cada segmento.

Na análise da marcha, protocolos de marcadores técnicos são mais usados que protocolos de marcadores anatômicos, pois a movimentação relativa entre os marcadores montados sobre estruturas rígidas e os ossos é menor do que este movimento entre marcadores localizados diretamente sobre a pele e os ossos; tanto nos membros inferiores quanto nos superiores (CAPPOZZO *et al.*, 1995 e CUTTI *et al.*, 2006). Além do mais, marcadores montados sobre estruturas facilitam sua visibilidade pelas câmeras, são mais fáceis de colocar nos sujeitos e suas tiras elásticas ajudam a reduzir o movimento entre os marcadores e os ossos (CUTTI *et al.*, 2005).

Porém, na análise da corrida, ainda não está claro se estes argumentos também são válidos, pois o uso de estruturas rígidas em movimentos que exijam altas velocidades e grandes amplitudes articulares pode restringir ou até mesmo interferir na realização de padrões naturais do movimento. Além do mais, a acurácia dos resultados pode ser prejudicada pela possível movimentação destas estruturas em relação aos ossos, devido ao impacto com o solo.

Portanto, o intuito deste trabalho foi comparar dois protocolos (de marcadores anatômicos e de marcadores técnicos) para análise cinemática na marcha e na corrida em esteira ergométrica. É importante salientar que nenhum dos protocolos foi usado como padrão ouro do movimento, pois ambos não medem diretamente o movimento do esqueleto humano. Desta forma, para a comparação entre os protocolos foram feitas três análises: 1ª) Cálculo das distâncias entre os marcadores de cada protocolo durante o movimento com o intuito de avaliar a condição de rigidez dos segmentos e as incertezas relacionadas à calibração e medição. Quanto maior a variabilidade destas distâncias, maior o erro na análise do movimento humano; 2ª) Cálculo do comprimento dos segmentos durante o movimento, medido através de ambos os protocolos, com o intuito de analisar a variabilidade na determinação dos centros articulares usados na definição dos sistemas anatômicos. Quanto maior a variabilidade destes comprimentos, maior a imprecisão dos resultados obtidos pelo protocolo; 3ª) Cálculo dos ângulos articulares a partir de ambos os protocolos. Estes ângulos foram comparados através da diferença angular máxima e correlação entre eles.

2 Objetivos

Objetivo geral:

Comparação entre um protocolo de marcadores anatômicos e um protocolo de marcadores técnicos para análise cinemática na marcha e na corrida em esteira ergométrica.

Objetivos específicos:

- Analisar o efeito dos protocolos em diferentes velocidades;
- Analisar o efeito dos protocolos nos comprimentos dos segmentos coxas, pernas, braços e antebraços;
- Analisar o efeito dos protocolos sobre a cinemática angular das articulações dos tornozelos, joelhos, quadris, ombros e cotovelos.

3 Métodos

3.1. Ambiente

A coleta de dados deste trabalho foi realizada no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física (FEF) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O volume destinado para a execução da marcha e corrida numa esteira ergométrica foi aproximadamente 1,15 m de comprimento, 0,58 m de largura e 2,00 m de altura (Figura 1). O laboratório foi circundado com cortinas pretas de um tecido fosco e para o chão foi utilizado um tapete antiderrapante com as mesmas características das cortinas.

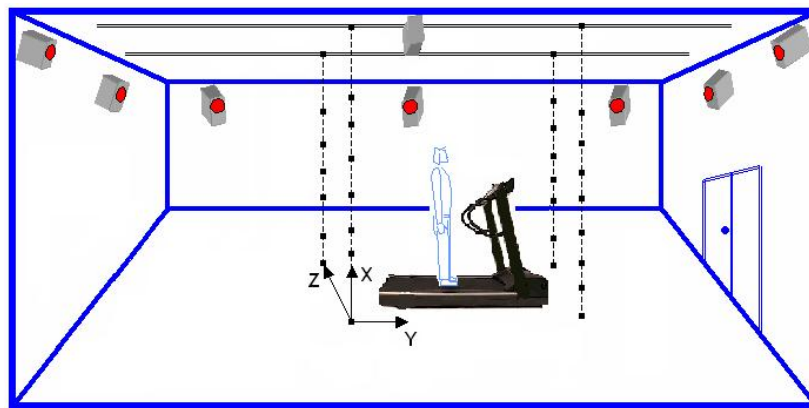


Figura 1 - Ambiente da coleta.

3.2. Caracterização dos sujeitos

Participaram dessa pesquisa seis atletas velocistas de nível nacional (sexo: masculino; idade: $18 \pm 2,41$ anos; altura: $1,75 \pm 0,07$ m; massa: $67,97 \pm 6,94$ Kg) da equipe de atletismo União Esportiva Funilense, que treinam cinco vezes por semana, uma sessão por dia, na pista de

atletismo da FEF da UNICAMP. Todos eles realizam a prova de 200 e 400 metros rasos, treinam a $4 \pm 2,5$ anos e correm aproximadamente 17 km por semana. O critério de inclusão foi a ausência de lesões músculos-esqueléticas agudas que poderiam interferir na dinâmica do atleta durante a marcha ou corrida.

3.3. Esteira ergométrica

Os atletas usaram uma esteira ergométrica Pró-Fitness, modelo AP 10.500, com 1290 mm de altura, 740 mm de largura e 2090 mm de comprimento, cedida pela empresa Pró-Fitness Equipamentos para Ginástica LTDA-ME (Figura 2). A massa da esteira era 170 Kg e a superfície de corrida 53 cm x 160 cm. A capacidade de massa suportada e a velocidade máxima atingida pela esteira eram respectivamente 220 kg e 25 Km/h. Durante o procedimento experimental, a esteira foi posicionada de maneira que o sujeito se movimentasse somente dentro do volume calibrado.



Figura 2 - Esteira ergométrica usada na coleta.

3.4. Aquisição das imagens

Para a aquisição das imagens foram utilizadas 8 câmeras digitais da marca JVC modelo GR-DVL 9.500 fixadas na parede por um suporte a 2,35 metros do chão, dispostas três em cada lateral do comprimento e uma em cada lateral da largura de modo a permitir que cada marcador fosse visto simultaneamente por no mínimo duas câmeras durante o movimento. Quatro destas câmeras foram cedidas pelo departamento de Educação Física da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro, S.P. e as outras quatro pertenciam ao laboratório onde foram realizadas as coletas.

Cada câmera foi conectada a um computador através de uma placa de comunicação padrão IEEE 1394 (responsável pela transferência do sinal de vídeo das câmeras para o computador) e os computadores entre si estavam conectados por meio de uma intranet, comandados por um computador designado como *master*, permitindo que as coletas fossem on-line.

O shutter utilizado foi de 1/500s e a frequência de aquisição das imagens de 120 hz., devido à alta velocidade que os atletas correram na esteira ergométrica.

Os dados capturados foram armazenados na forma de um arquivo AVI (*Áudio Video Interleaved*).

3.5. Sistema de análise cinemática e medição das coordenadas

Para a obtenção das coordenadas tridimensionais dos marcadores foi usado o sistema Dvideo® (FIGUEROA *et al.*, 2003) que utiliza câmeras de vídeo para a aquisição das imagens. Os procedimentos de reconstrução tridimensional utilizado neste trabalho foram inicialmente

propostos por Abdel-Aziz e Karara (1971) e são conhecidos como *DLT* (*Direct Linear Transformation*).

Devido ao tamanho da imagem e a oclusão de marcadores pelos membros superiores do atleta ou pelos braços da esteira, a obtenção da maioria das coordenadas de tela dos marcadores foi realizada de forma semi-automática (Figura 3). Poucos marcadores foram rastreados de forma totalmente manual em todos os atletas, como o marcador localizado na inserção do músculo deltóide, acrômio e ângulo acromial (estes marcadores serão definidos no item 3.9). Esta forma de medição foi utilizada devido a dificuldades na diferenciação entre estes marcadores e os demais marcadores posicionados muito próximos. Alguns marcadores puderam ser rastreados de forma automática utilizando o algoritmo de perseguição (*tracking*) baseado em morfologia matemática descrito por Figueroa *et al.* (2003). São eles: cabeças dos quintos metatarsos, maléolos laterais, côndilos laterais dos fêmures, epicôndilos laterais dos úmeros, processos coracóides, vértex do osso parietal, regiões laterais dos arcos zigomáticos e marcadores colocados na posição posterior superior das estruturas rígidas dos membros inferiores (estes marcadores serão definidos no item 3.9). Os algoritmos aplicados para o *tracking* das imagens, neste trabalho, foram inversão, erosão e “*get markers*” (Figueroa *et al.*, 2003).

Aproximadamente 15 horas foram necessárias para rastrear todos os marcadores de um atleta durante um ciclo da direita e um da esquerda para uma velocidade.

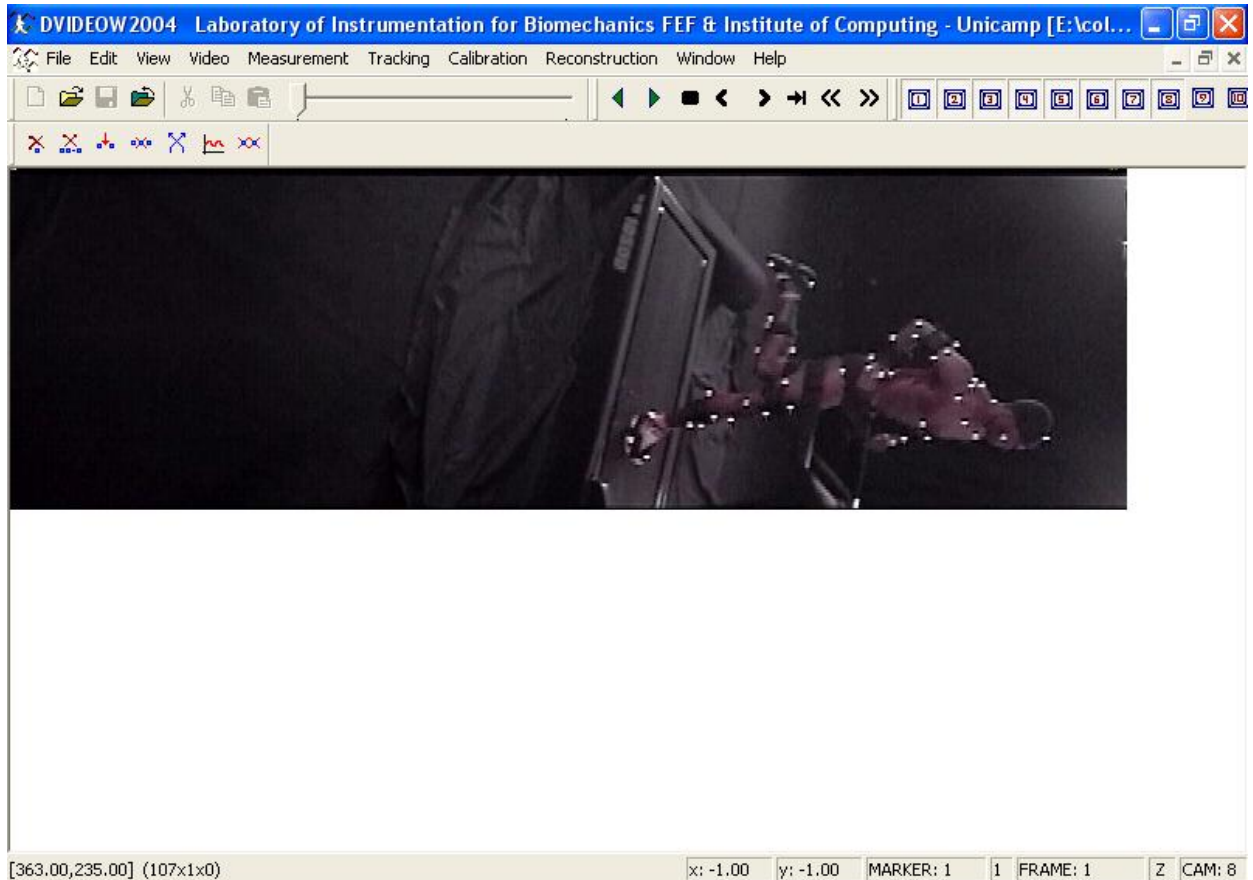


Figura 3 - Interface do sistema Dvideo® mostrando um atleta correndo a 20 Km/h.

3.6. Calibração e sincronização das câmeras

Para a calibração das câmeras foi usado um calibrador que consiste em quatro fios de prumo com 27 marcadores esféricos revestidos de fita retrorefletida em cada fio (ANDRADE, 2002). Os marcadores destes calibradores estão verticalmente distantes 10 cm um dos outros, como mostra a Figura 4. Os fios do calibrador foram encaixados em trilhos específicos fixados no teto do laboratório de maneira a formar o volume desejado para a coleta. Foi definida uma origem para o sistema de coordenadas global do laboratório e então, definido um sistema de coordenadas com três eixos ortogonais entre si. A vertical foi definida como o eixo X, a horizontal, da direita para a esquerda do sujeito como eixo Z e a direção pósterio-anterior como sendo o eixo Y. A

calibração das câmeras foi feita inicialmente, antes que o sujeito realizasse o procedimento necessário. Para isto, os prumos foram posicionados e filmados.

A sincronização das câmeras de vídeo é necessária dada à dificuldade de se estabelecer o início do registro de todas as câmeras no mesmo instante, originando assim um atraso ou avanço nos registros das câmeras (defasagem temporal). O método de sincronização de câmeras utilizado neste trabalho foi realizado por um evento visual. Este evento foi o fechamento de uma claquete que foi usada antes de qualquer procedimento da coleta. O som da claquete gerava um sinal de áudio que era mostrado em um *frame* específico para cada câmera no *software* Dvideo[®]. Através deste sinal de áudio as imagens foram sincronizadas (BARROS *et.al.*, 2006).

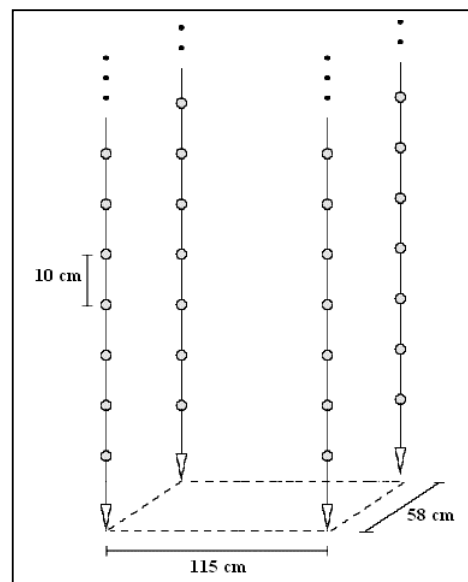


Figura 4 - Calibrador da coleta.

3.7. Tratamento dos dados

As coordenadas tridimensionais dos marcadores foram filtradas a fim de minimizar as variações provenientes de erros de medição. O filtro utilizado para o tratamento dos dados foi o filtro digital Butterworth de 5ª ordem, com uma frequência de corte de 6 Hz. Somente para o cálculo do coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores, os dados não foram filtrados.

Na apresentação dos resultados da cinemática angular, os ângulos foram plotados em função da porcentagem do ciclo de marcha e de corrida que foi selecionado visualmente na imagem.

3.8. Procedimentos experimentais

Inicialmente cada atleta assinou um termo de consentimento livre e esclarecido e os dados antropométricos (idade, massa corporal e estatura) de cada um foram coletados. Os velocistas menores de idade assinaram o termo contido no anexo A e os maiores de idade assinaram o termo contido no anexo B. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, conforme protocolo número 224/227.

Posteriormente, foi feita a familiarização dos atletas com a esteira ergométrica. Para isso, eles andaram a 5 Km/h e correram a 20 Km/h durante o tempo necessário para que cada atleta se sentisse confortável com o uso da esteira. O objetivo da escolha das duas velocidades foi analisar os dois protocolos durante dois movimentos extremos como a marcha e a corrida.

Após este primeiro contato, os marcadores foram fixados ao corpo do sujeito que trajava uma sunga preta, toca de banho preta e tênis. Quando necessário, o tênis era recoberto por tiras de tecido preto fosco para facilitar o rastreamento automático.

Então, eram captados dois tipos de aquisição de imagem do sujeito: tomada estática e tomada dinâmica. Primeiramente foi realizada a tomada estática, onde os atletas permaneceram parados com um membro inferior à frente do outro, em cima da esteira por aproximadamente 5 segundos. Os atletas estavam paramentados com 79 marcadores, sendo 55 fixados sobre a pele e 24 montados sobre estruturas rígidas fixadas aos segmentos corporais (Anexo C).

Na tomada dinâmica, eram retirados 10 marcadores anatômicos fixados sobre a pele, conforme será descrito no item 3.9. Então, cada atleta andou a 5 Km/h e logo depois correu a 20 Km/h num período correspondente a pelo menos 10 ciclos de marcha e corrida para cada velocidade. Para isso, cada atleta tinha um tempo de aproximadamente 10 e 20 segundos para a marcha e para a corrida respectivamente.

Para fins de comparação, os dois protocolos foram usados simultaneamente em ambas as tomadas. Na tomada dinâmica, para cada atleta e para cada velocidade foram rastreados 69 marcadores (Anexo D).

3.9. Modelo de representação do corpo humano

O corpo humano foi modelado como um sistema de quinze corpos rígidos articulados por juntas esféricas ideais. Esses elementos do modelo foram denominados segmentos corporais, sendo eles: cabeça, tórax e pelve do esqueleto axial; e do esqueleto apendicular os segmentos direito e esquerdo da escápula, braço, antebraço, coxa, perna e pé. Estes segmentos, considerados como corpos rígidos, foram modelados com seis graus de liberdade, ou seja, três coordenadas

cartesianas e três ângulos de rotação, que foram referidos, neste caso, aos ângulos de Euler (ANDRADE, 2002).

A cada segmento corporal foi associado um sistema local de coordenadas definindo sua posição e orientação no espaço em relação a um sistema global fixo ou a um sistema associado a outro segmento do modelo. A orientação de cada sistema local de coordenadas foi feita respeitando-se, na medida do possível, eixos e planos anatômicos, considerando a condição matemática de ortonormalidade entre os vetores básicos (ANDRADE, 2002).

A Figura 5 apresenta os segmentos modelados neste trabalho, as articulações estudadas e a representação das siglas abaixo.

S₁/S₂ – Pé direito/Pé esquerdo

S₃/S₄ – Perna direita/Perna esquerda

S₅/S₆ – Coxa direita/Coxa esquerda

S₇/S₈ – Antebraço direito/Antebraço esquerdo

S₉/S₁₀ – Braço direito/Braço esquerdo

S₁₁/S₁₂ – Escápula direita/Escápula esquerda

S₁₃ – Tórax

S₁₄ – Cabeça

S₁₅ – Pelve

a1/a2 – Tornozelo direito/Tornozelo esquerdo

a3/a4 – Joelho direito/Joelho esquerdo

a5/a6 – Quadril direito/Quadril esquerdo

a7/a8 – Cotovelo direito/Cotovelo esquerdo

a9/a10 – Gleno-umeral direita/Gleno-umeral esquerda

a11/a12 – Escápulo-torácica direita/Escápulo-torácica esquerda

a13 – Cabeça/Tórax

a14 – Pelve/Tórax

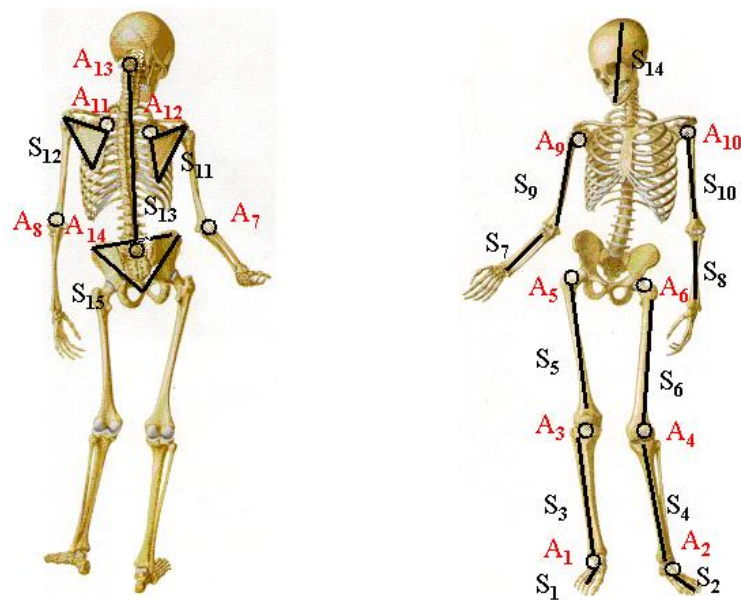


Figura 5 - Modelo de representação do corpo humano (ARAÚJO, 2002).

3.10. Protocolos de posicionamento dos marcadores e orientação dos segmentos corporais

Os marcadores usados na coleta consistiam em esferas de plástico revestidas com fita adesiva retrorefletida, cada uma com 15mm de diâmetro (ANDRADE, 2002).

O protocolo de marcadores técnicos analisado neste trabalho utilizava marcadores montados sobre estruturas rígidas em forma de cruz, com dimensões de 15 cm de comprimento, fixadas no segmento corporal por meio de um neoprene. Neste protocolo, três marcadores foram colocados em cada uma das oito estruturas rígidas fixadas às coxas, pernas, braços e antebraços (figura 6). O protocolo de marcadores anatômicos utilizava marcadores localizados sobre a pele das coxas (trocanter maior do fêmur e côndilo lateral do fêmur), das pernas (maléolo lateral, tuberosidade da tibia e tubérculo tibial), dos braços (inserção do músculo deltóide e epicôndilo

lateral do úmero) e dos antebraços (processo estilóide do rádio e da ulna, epicôndilo lateral do úmero). Como já foi mencionado, são necessários pelo menos três marcadores em cada segmento para a construção do sistema de coordenadas técnicas. Portanto, no protocolo de marcadores anatômicos, adicionalmente aos dois marcadores de cada coxa e braço, foram utilizados também marcadores, chamados virtuais (CAPPOZZO *et al.*, 2005). Para a coxa, o centro articular do quadril (CAQ) foi usado como marcador virtual e foi calculado pela equação de regressão proposta por Bell *et al.* (1990), definida no anexo E. Para o braço, o centro articular do ombro (CAO) foi usado como marcador virtual e foi calculado pela equação de regressão proposta por Meskers *et al.* (1998), definida também no anexo E. A Figura 6 apresenta os dois protocolos comparados neste trabalho.

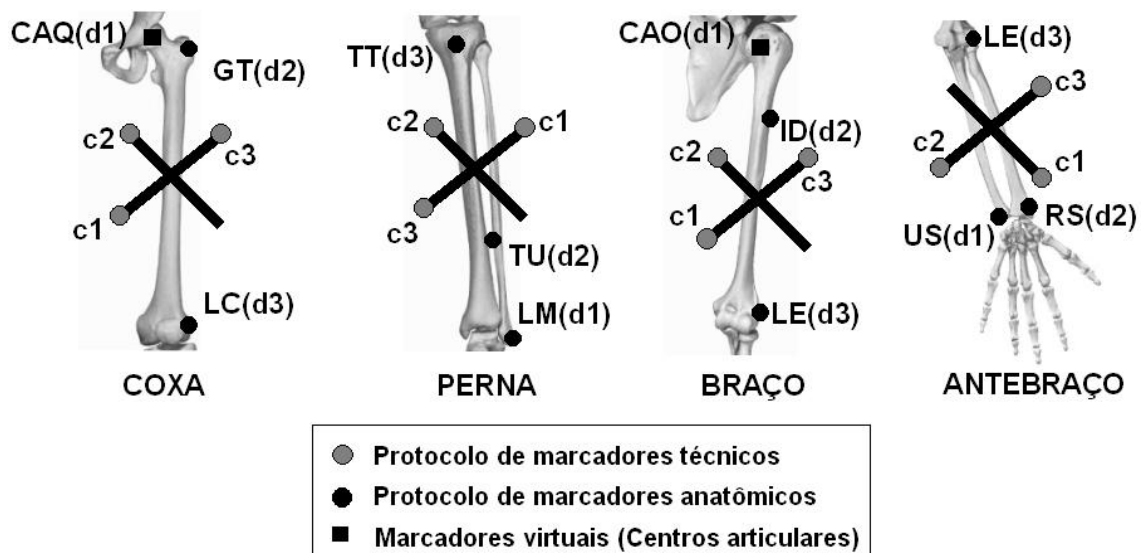


Figura 6 - Localização dos marcadores nos dois protocolos. As siglas c1, c2 e c3 pertencem ao protocolo de marcadores técnicos e as siglas d1, d2 e d3 ao protocolo de marcadores anatômicos. As outras siglas representam os marcadores virtuais e os marcadores localizados em proeminências ósseas pertencentes ao protocolo de marcadores anatômicos: CAQ(Centro articular do quadril), GT(trocânter maior), LC(côndilo lateral do fêmur), TT(tuberosidade da tíbia), TU(tubérculo tibial), LM(maléolo lateral), CAO(centro articular do ombro), ID(inserção do músculo deltóide), LE(epicôndilo lateral do úmero), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio).

A diferença entre os protocolos, além do posicionamento dos marcadores, estava consequentemente, na construção dos sistemas de coordenadas técnicas das coxas, pernas, braços e antebraços, que foi descrito no anexo F para cada protocolo.

O protocolo de marcadores técnicos também possuía marcadores anatômicos. Estes marcadores foram usados para a orientação anatômica dos sistemas de coordenadas associados aos segmentos. Entretanto, o protocolo de marcadores anatômicos, como o próprio nome diz, possuía somente marcadores anatômicos que foram usados tanto para a orientação anatômica quanto para a orientação técnica dos sistemas de coordenadas associados aos segmentos.

A orientação anatômica dos sistemas de coordenadas associados a todos os segmentos corporais era a mesma em ambos os protocolos. A Figura 7 apresenta a localização dos marcadores anatômicos em todos os segmentos corporais.

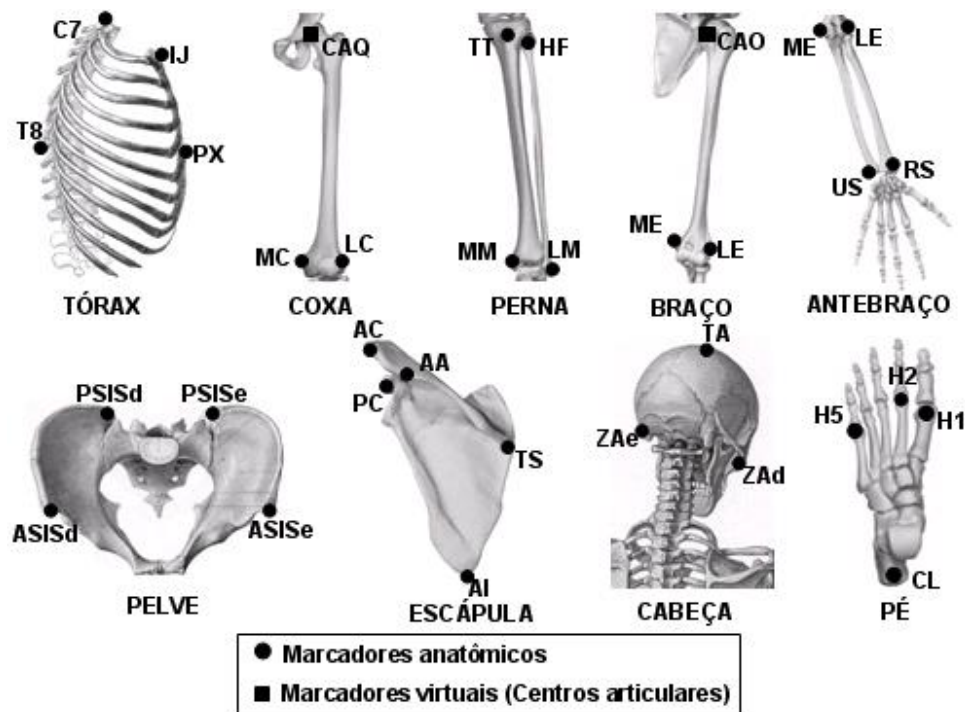


Figura 7 - Localização dos marcadores anatômicos em todos os segmentos corporais. As siglas representam a localização dos marcadores anatômicos: C7(processo espinhoso 7^a vértebra), IJ(incisura jugular), T8(processo espinhoso 8^a vértebra), PX(processo xifóide), CAQ(centro articular do quadril), MC(côndilo medial do fêmur), LC(côndilo lateral do fêmur), TT(tuberosidade tibial), HF(cabeça da fíbula), MM(maléolo medial), LM(maléolo lateral), CAO(centro articular do ombro), ME(epicôndilo medial), LE(epicôndilo lateral), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio), PSIS(espina ilíaca pósterio superior), ASIS(espina ilíaca ântero superior), AC(acrômio), AA(ângulo acromial), PC(processo coracóide), TS(borda medial da escápula), AI(ângulo inferior da escápula), TA(túber parietal), ZA(arco zigomático), H1(cabeça do 1^o metatarso), H2(cabeça do 2^o metatarso), H5(cabeça do 5^o metatarso), CL(calcâneo).

A orientação anatômica foi baseada na anatomia de cada segmento, ou seja, os eixos e planos dos sistemas de coordenadas locais dos segmentos foram construídos respeitando, na medida do possível, eixos e planos anatômicos. O cálculo dos sistemas de coordenadas anatômicas para cada segmento foi descrito no anexo G.

Desta forma, para cada protocolo, foram definidos dois tipos de sistema de coordenadas associadas ao mesmo segmento, sistema anatômico e técnico, em relação ao sistema de

coordenadas do laboratório. Na tomada estática, os marcadores que definiam o sistema anatômico (que eram iguais para ambos os protocolos) e os marcadores que definiam os dois sistemas técnicos de cada protocolo estavam presentes. Porém durante na tomada dinâmica, apenas os marcadores que definiam os sistemas técnicos de cada protocolo permaneceram. Desta forma, o número total de marcadores dos membros superiores e inferiores a serem rastreados pelo sistema de análise cinemática diminuiu, facilitando o processo de identificação de marcadores na imagem. Os 10 marcadores anatômicos retirados na tomada dinâmica, mencionados no item 3.7, foram: cabeças do 2ºs metatarsos, maléolos mediais, cabeças das fíbulas, côndilos mediais dos fêmures e epicôndilos mediais dos úmeros. Os outros marcadores anatômicos localizados nos pés, coxas, pernas, braços e antebraços não foram retirados porque eram usados também para a orientação técnica dos sistemas de coordenadas dos segmentos do protocolo de marcadores anatômicos. Além das coxas, pernas, braços e antebraços, os pés também possuíam orientação técnica, porém os marcadores usados para a construção dos sistemas de coordenadas técnicas, em ambos os protocolos, foram localizados sobre o tênis (cabeça do 1º metatarso, cabeça do 5º metatarso e calcâneo). Os marcadores dos segmentos cabeça, tórax, escápula e pelve permaneceram os mesmos durante a tomada estática e dinâmica em ambos os protocolos, pois estes segmentos não possuíam orientação técnica (Figura 8).

Considerando o segmento como corpo rígido, admiti-se que orientação relativa entre os sistemas de coordenadas construídos para mesmo segmento não se altere durante o movimento. Portanto, utilizamos o cálculo de mudança de sistema de coordenadas, para que a partir dos sistemas de coordenadas técnicos construídos na tomada estática, obtidos por cada protocolo, fosse possível encontrar durante a tomada dinâmica, os sistemas de coordenadas anatômicos dos segmentos, que definem suas orientações anatômicas. Como já foi dito esta técnica é chamada de CAST. Este cálculo foi definido no anexo H.

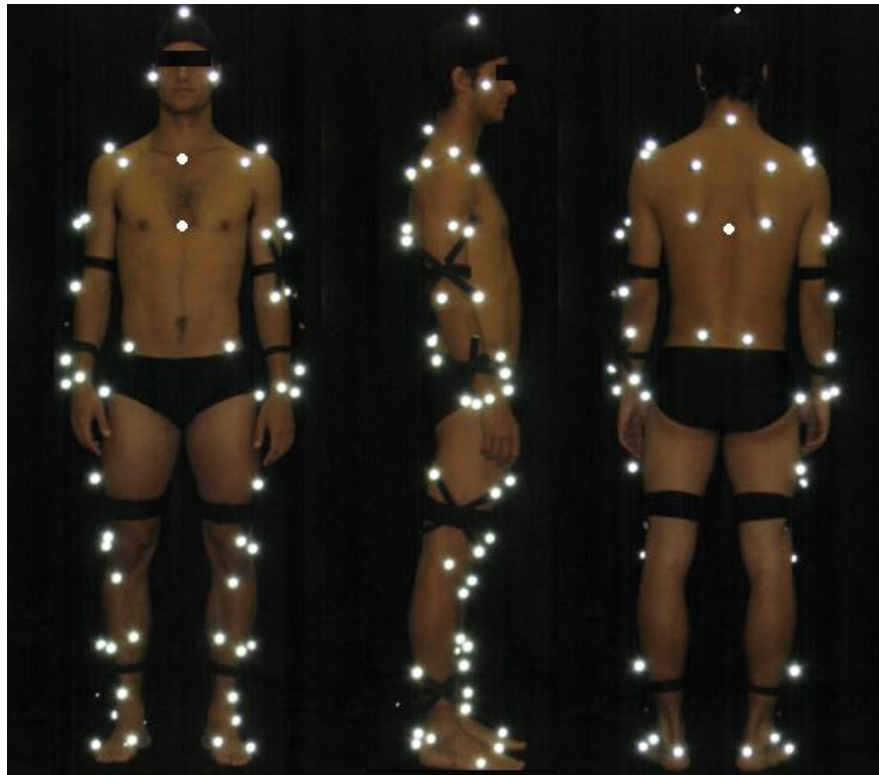


Figura 8 - Protocolo de marcadores e protocolo de marcadores anatômicos na tomada dinâmica.

3.11. Ângulos articulares

A partir da definição de um sistema de coordenadas para cada segmento proximal e distal, as bases destes sistemas foram construídas de forma que os eixos x, y e z representassem respectivamente os eixos longitudinal, sagital e transversal dos movimentos que de acordo com a nomenclatura clínica podem ser descritos como (Figura 9):

- Flexão e extensão: movimento do segmento proximal em torno do eixo médio-lateral (Z);
- Rotação interna e rotação externa: movimento do segmento distal em torno do eixo longitudinal (X);

- Abdução e adução: movimento em torno de um eixo flutuante (Y), que é ortogonal aos outros dois eixos descritos anteriormente.

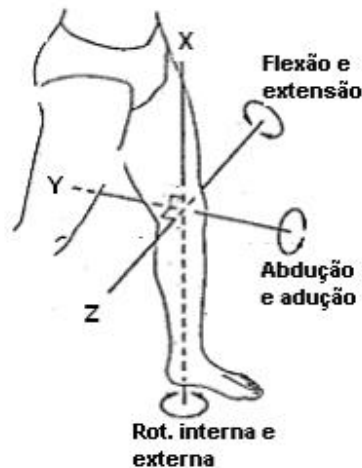


Figura 9 - Eixo de rotação e nomenclatura dos movimentos (VAUGHAN *et al.*, 1999).

A análise tridimensional do movimento permite a medida simultânea de três movimentos angulares independentes com respeito aos três eixos de rotação especialmente orientados. A descrição da orientação angular relativa a dois corpos rígidos conectados por uma articulação é geralmente feita pelos ângulos de Euler (CHAO, 1980).

Qualquer orientação da base do segmento distal em relação à base do segmento proximal pode ser obtida através do resultado de três rotações sucessivas. Os três ângulos obtidos são usados para descrever a orientação instantânea da articulação (CAPPOZZO *et al.*, 2005).

A convenção dos ângulos de Euler utilizada para calcular os ângulos articulares deste trabalho segue a seqüência z, y' e x''.

Esta seqüência é definida da seguinte forma: a primeira rotação ocorre em torno do eixo z do segmento proximal, em torno de um ângulo ϕ , depois em torno do eixo atual y, chamado flutuante, em torno de um ângulo θ e finalmente em torno do eixo x atual (que coincide com o eixo x do segmento distal), em torno de um ângulo ψ .

As matrizes que representam as rotações nos eixos z , y' e x'' e a matriz de rotação que determina a orientação do segmento distal em relação ao segmento proximal são definidas no Anexo I.

Os ângulos articulares foram definidos como:

ϕ = ângulo de flexão / extensão

θ = ângulo de abdução / adução

ψ = ângulo de rotação interna / rotação externa

Os ângulos de flexão, abdução e rotação externa foram considerados positivos e os ângulos de extensão, adução e rotação interna, negativos.

O cálculo utilizado para a obtenção destes três ângulos de rotação foi definido no Anexo I.

3.12. Variáveis experimentais

Para a comparação dos dois protocolos foram analisadas quatro variáveis experimentais durante a marcha e a corrida. Todas elas foram calculadas no período de um ciclo da marcha ou corrida. Este ciclo foi delimitado pelo primeiro contato de um pé com o solo até este mesmo pé tocar o solo novamente. A visualização do ciclo foi feita através das imagens obtidas pelo software Dvideo[®]. O cálculo das quatro variáveis será detalhado nos itens 3.12.1, 3.12.2, 3.12.3 e 3.12.4, a seguir.

3.12.1. Coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades

Esta variável foi calculada com o intuito de analisar a variabilidade das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo durante o movimento (Figura 10). Como os segmentos corporais são considerados corpos rígidos, a variabilidade das distâncias entre os marcadores em cada protocolo foi uma forma encontrada de comparar os dois protocolos, pois quanto maior a variabilidade, maior o erro na análise do movimento (SUDHOFF et al., 2007).

O coeficiente de variação é calculado pela divisão do desvio padrão pela média. Portanto, primeiramente, a média e o desvio padrão de cada distância entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo em função do tempo foram calculados (Estes valores foram mostrados no Anexo J). Então, três valores de coeficiente de variação foram obtidos para cada segmento, pois foram calculadas três distâncias entre cada um dos três marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades. Finalmente, a média dos três valores de coeficiente de variação para cada segmento foi calculada, obtendo, portanto, o valor médio do coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades.

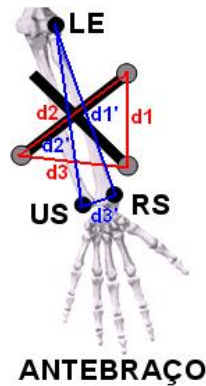


Figura 10 - Distâncias entre os marcadores do protocolo de marcadores anatômicos no antebraço em azul (d1,d2, d3) e distância entre os marcadores do protocolo de marcadores técnicos no antebraço em vermelho (d1', d2', d3'). As siglas representam a localização dos marcadores anatômicos no antebraço: LE(epicôndilo lateral), US(processo estilóide da ulna), RS(processo estilóide do rádio).

3.12.2. Coeficiente de variação do comprimento de cada segmento calculado a partir de cada protocolo em ambas as velocidades

O coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores apenas permite a análise da movimentação entre os marcadores em cada protocolo e não da movimentação dos marcadores em relação ao segmento corporal. Portanto foi feito o cálculo do coeficiente de variação do comprimento de cada segmento, em função do tempo, a partir dos dois protocolos.

Esta variável permite analisar a variabilidade na determinação de pontos usados na definição dos sistemas anatômicos através do cálculo das distâncias entre os centros articulares que delimitam os segmentos, definindo, portanto o comprimento de cada segmento. Estes centros foram calculados a partir dos sistemas de coordenadas técnicas de cada protocolo durante o movimento. Quanto maior a variabilidade da distância entre os centros articulares, menor será a definição dos sistemas anatômicos obtidos por cada protocolo, pois esta variabilidade representa a movimentação dos marcadores como um todo em relação aos segmentos. Quanto maior esta movimentação maior a imprecisão dos resultados obtidos pelo protocolo.

Os centros articulares dos joelhos, tornozelos, cotovelos e punhos foram calculados na tomada estática (Anexo E) e recalculados na tomada dinâmica a partir dos sistemas de coordenadas técnicas da coxa, perna, braço e antebraço respectivamente, de cada protocolo. Os centros articulares dos quadris e dos ombros foram calculados através das equações de regressão de Bell (1990) e Meskers (1998) respectivamente (Anexo E).

A distância entre o centro articular do quadril e do joelho delimita o comprimento da coxa e a distância entre o centro articular do joelho e do tornozelo delimita o comprimento da perna. Para delimitar o comprimento do braço foi calculada a distância entre o centro articular do ombro e cotovelo e finalmente a distância entre o centro articular do cotovelo e do punho delimita o comprimento do antebraço (Figura 11).

Então, a média e o desvio padrão do comprimento dos segmentos corporais (coxa, perna, braço e antebraço) foram obtidas através do cálculo das distâncias entre os centros articulares adjacentes de cada segmento para cada velocidade e para cada protocolo (As médias e desvios padrão do comprimento dos segmentos foram mostradas no Anexo K). Finalmente, o coeficiente de variação do comprimento dos segmentos obtidos por cada protocolo e para cada velocidade foi calculado.

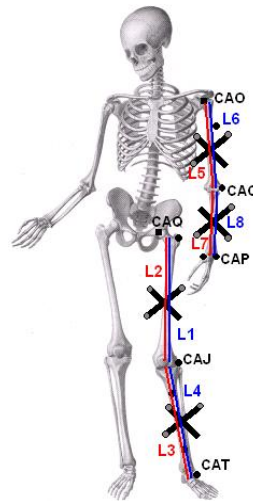


Figura 11 - Comprimento dos segmentos delimitados pelos centros articulares adjacentes.
L1, L4, L6 e L8 representam os comprimentos dos segmentos coxa, perna, braço e antebraço respectivamente calculados através do protocolo de marcadores anatômicos.
L2, L3, L5 e L7 representam os comprimentos dos segmentos coxa, perna, braço e antebraço respectivamente calculados através do protocolo de marcadores técnicos.
CAO(centro articular do ombro), **CAC**(centro articular do cotovelo), **CAP**(centro articular do punho), **CAQ**(centro articular do quadril), **CAJ** (centro articular do joelho), **CAT**(centro articular do tornozelo).

3.12.3. Coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação

Esta variável foi calculada porque ela mostra a correlação entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para cada articulação, permitindo, desta forma, a análise das diferenças entre os sinais de cada ângulo articular obtido por cada protocolo.

O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado a partir da equação definida no Anexo L.

3.12.4. Diferença máxima entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para cada articulação

Para complementar a análise da correlação entre os ângulos de rotação é necessário calcular a diferença máxima entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação. Este cálculo é importante porque o coeficiente de correlação de Pearson não analisa as diferenças entre amplitudes máximas de movimento de cada ângulo articular e sim somente a correlação entre estes ângulos. Para este cálculo, o valor absoluto máximo das diferenças entre as curvas angulares, obtidas por cada protocolo e para cada articulação foi calculado durante todo o movimento. As diferenças máximas foram apresentadas em graus.

3.13. Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) multifatorial foi utilizada para analisar as quatro variáveis experimentais definidas no item 3.11. Esta ferramenta estatística permite a análise de cada fator de interesse independente dos outros fatores e também permite analisar a interação entre eles. Portanto, foi possível analisar o efeito dos protocolos separadamente em cada fator estudado e também este efeito nas interações entre os fatores.

Considerando que o coeficiente de correlação e o de variação não apresentam distribuição normal, foram aplicadas respectivamente a estes coeficientes, a transformação de Fisher, z-coeficiente de correlação (BROWNLEE, 1960), e a transformação $\sin^{-1}$ (ZAR, 1999), antes de utilizar a ANOVA.

O coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores de cada protocolo e o coeficiente de variação do comprimento de cada segmento, obtidos por cada protocolo foram

analisados de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (protocolo de marcadores técnicos (MT) e protocolo de marcadores anatômicos (MA)); velocidades, com dois níveis [5 Km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)]. Estes fatores foram escolhidos baseados nos objetivos específicos deste trabalho.

A diferença angular máxima e o coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos de rotação obtido por cada protocolo para cada articulação também foram analisados de acordo com outros três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)]. A escolha destes fatores também corrobora com os objetivos específicos deste trabalho.

Inicialmente, um modelo completo foi usado para testar todas as interações. Posteriormente, as interações não significativas foram removidas do modelo e a ANOVA foi recalculada. Então, o teste de Tukey ($p < 0,05$) foi realizado nestes dados.

Os valores de todas as quatro variáveis experimentais para cada atleta foram representados em tabelas e *Box plot* foram usados para representar a distribuição das quatro variáveis experimentais de acordo com a análise estatística.

O *Box plot* é uma forma gráfica de apresentar os resultados estatísticos. Através dele foi possível visualizar informações diretas sobre a forma da distribuição de frequências das variáveis para cada fator estudado.

4 Resultados

Os resultados estatísticos serão apresentados para cada uma das quatro variáveis experimentais separadamente nos itens 4.1 a 4.4; em forma de tabelas e *Box plots*. Posteriormente, no item 4.5 serão apresentados os gráficos da cinemática angular em função da porcentagem do ciclo de marcha e de corrida de todas as articulações estudadas.

4.1. Coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores associados aos segmentos para cada protocolo e em ambas as velocidades

As Tabelas 1 e 2 mostram os valores percentuais médios dos três coeficientes de variação de cada uma das três distâncias entre os marcadores de cada protocolo, para ambas as velocidades, para cada um dos seis atletas e respectivamente para os membros inferiores e os membros superiores.

Tabela 1 - Percentual (%) dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores de cada protocolo (MT e MA) dos membros inferiores de cada sujeito para ambas as velocidades.

Atletas	Velocidades (Km/h)	Coxa D		Coxa E		Perna D		Perna E		Valor médio velocidades	Valor médio atletas
		MT	MA	MT	MA	MT	MA	MT	MA		
A	5,00	2,5	2,5	2,8	2,1	2,6	2,3	2,8	2,4	2,5	2,7
	20,00	2,8	3,0	2,8	3,1	2,8	3,2	3,1	3,2	3,0	
B	5,00	2,4	2,8	2,1	1,9	2,3	2,2	2,2	1,7	2,2	2,4
	20,00	2,6	3,4	2,5	2,6	2,5	3,4	3,1	2,2	2,7	
C	5,00	2,7	2,0	2,7	2,0	2,2	2,3	2,2	1,2	2,1	2,4
	20,00	2,8	3,3	2,5	2,9	2,6	3,4	2,2	2,9	2,8	
D	5,00	2,2	2,4	2,0	2,1	2,2	1,9	2,1	1,9	2,1	2,4
	20,00	2,6	3,0	2,5	2,6	2,7	3,2	2,3	3,1	2,7	
E	5,00	2,5	2,8	2,2	2,3	2,3	2,1	2,5	2,1	2,3	2,3
	20,00	2,3	2,5	2,2	2,5	2,5	3,0	2,4	2,5	2,4	
F	5,00	2,3	2,3	2,7	1,7	2,4	1,7	2,3	2,3	2,2	2,3
	20,00	2,5	2,5	2,8	2,1	2,6	2,3	2,8	2,4	2,5	
Valor médio protocolos		2,5	2,7	2,4	2,3	2,4	2,5	2,5	2,3		
Valor médio segmentos		2,6		2,4		2,5		2,4			

Tabela 2 - Percentual (%) dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores de cada protocolo (MT e MA) dos membros superiores de cada sujeito para ambas as velocidades.

Atletas	Velocidades (Km/h)	Braço D		Braço E		Antebraço D		Antebraço E		Valor médio velocidades	Valor médio atletas
		MT	MA	MT	MA	MT	MA	MT	MA		
A	5,00	2,2	2,0	2,2	1,6	2,2	2,9	2,5	2,7	2,3	2,2
	20,00	2,5	2,6	2,0	2,4	1,9	2,2	2,1	2,2	2,2	
B	5,00	1,8	1,8	1,8	2,0	1,8	2,4	2,1	1,7	1,9	2,2
	20,00	2,2	3,1	2,4	3,0	2,2	3,1	2,1	3,1	2,6	
C	5,00	2,5	2,6	2,0	2,2	2,6	3,2	2,1	2,8	2,5	2,4
	20,00	2,0	3,5	2,3	2,7	2,1	2,3	2,6	2,0	2,4	
D	5,00	1,7	2,3	1,5	2,2	2,2	2,0	2,7	1,7	2,0	2,2
	20,00	2,3	3,2	2,3	2,9	2,3	1,9	2,5	2,0	2,4	
E	5,00	2,1	2,3	1,7	2,5	2,3	2,5	2,2	1,6	2,1	2,2
	20,00	2,0	2,4	2,2	2,9	2,5	2,4	2,2	1,7	2,3	
F	5,00	1,6	1,9	1,9	2,5	2,2	2,3	2,1	2,2	2,1	2,2
	20,00	2,2	2,0	2,2	1,6	2,2	2,9	2,5	2,7	2,3	
Valor médio protocolos		2,2	2,4	2,2	2,3	2,2	2,5	2,3	2,2		
Valor médio segmentos		2,3		2,2		2,3		2,2			

A Tabela 3 resume os resultados da ANOVA e teste de Tukey para esta variável experimental.

Tabela 3 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

Fatores	Diferenças Estatísticas Significativas ($p < 0.05$)	
	CV _D	
Protocolos	MT(2,3±0,3)<MA(2,5±0,5)	
Velocidades	V5(2,2±0,3)<V20(2,6±0,4)	
Segmentos	P(2,5±0,4)=C(2,5±0,3)>B(2,3±0,4)=A(2,3±0,3)	
Protocolos x Velocidades	MA: V5(2,2±0,3)<V20(2,8±0,4); V20: MT(2,4±0,2)<MA(2,8±0,4)	
Protocolos x Segmentos	MT: P(2,5±0,2)=C(2,5±0,2)>B(2,0±0,2)=A(2,3±0,2); MA: P(2,5±0,6)>A(2,3±0,4); B: MT(2,3±0,26)<MA(2,4±0,4)	
Velocidades x Segmentos	C,P,B: V5<V20; A: V5(2,3±0,4)=V20(2,3±0,3)	

A Figura 12 apresenta os valores dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores em forma de *Box plot* para os fatores protocolos, velocidades e segmentos. As Figuras 13, 14 e 15 apresentam os valores dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores em forma de *Box plot* para as interações: protocolos x velocidades, protocolos x segmentos e velocidades x segmentos, respectivamente.

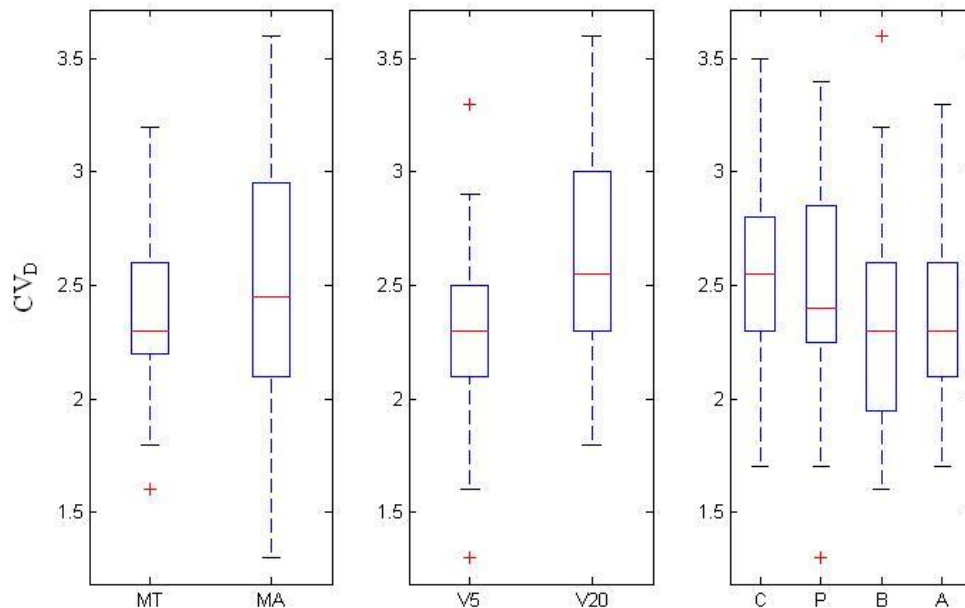


Figura 12 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

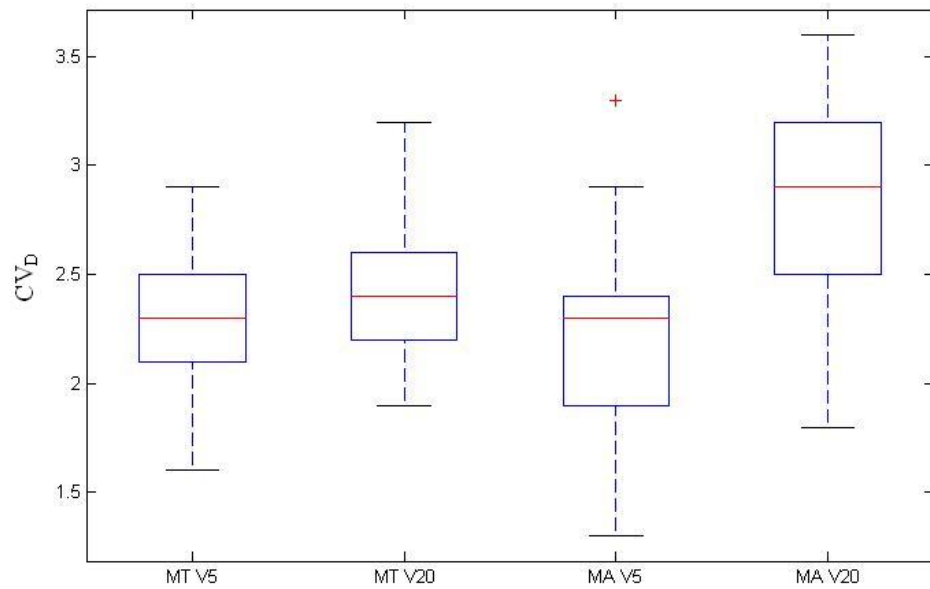


Figura 13 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: protocolos, com dois níveis (MT e MA); contra velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)].

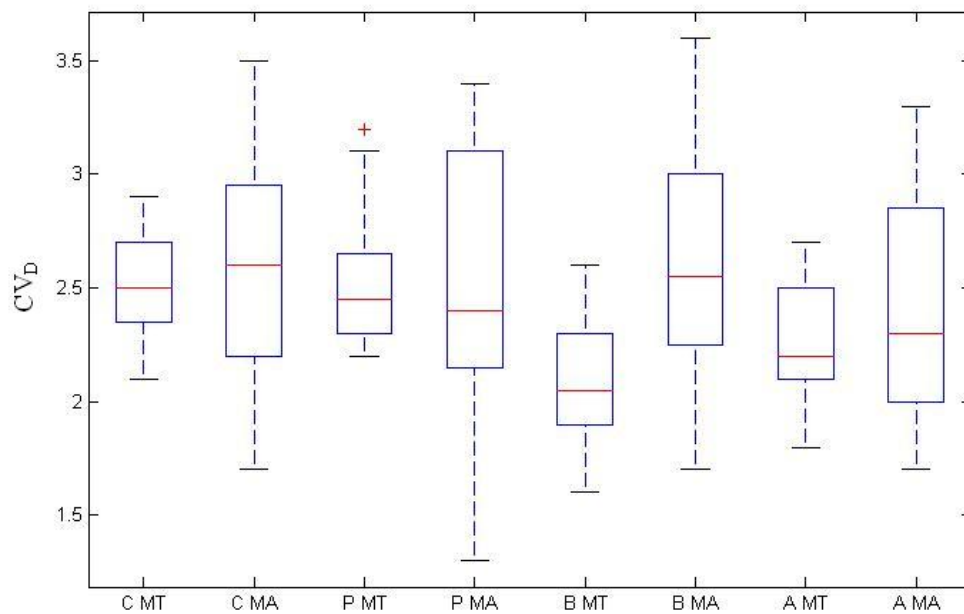


Figura 14 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: protocolos, com dois níveis (MT e MA); contra segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

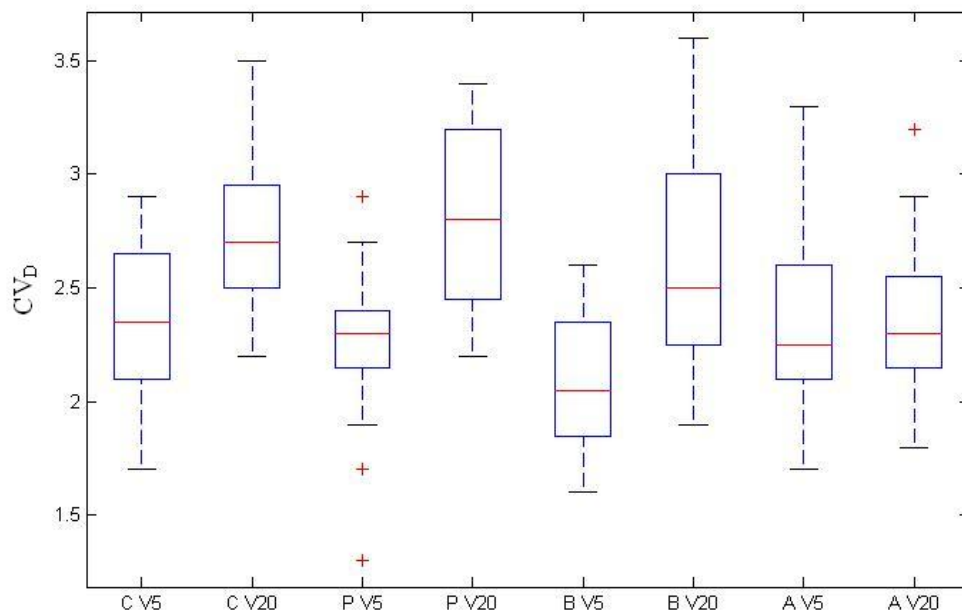


Figura 15 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores (CVD) de acordo a interação: velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] contra segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

De acordo com a Tabela 3, diferenças estatísticas significativas foram encontradas nos valores de coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores para os três fatores: protocolos ($F=10,23$; $P<0,0017$), velocidades ($F=62,41$; $P<0,0001$) e segmentos ($F=4,52$; $P<0,0001$) e para as três interações: protocolos contra velocidades ($F=20,67$; $P<0,0001$), protocolos contra segmentos ($F=3,79$; $P=0,0008$) e velocidades contra segmentos ($F=2,65$; $P=0,0126$).

Os resultados da análise estatística de acordo com os protocolos, removendo os efeitos da velocidade e dos segmentos, mostraram que os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores do MT ($2,3 \pm 0,3$) foram menores que estes no MA ($2,5 \pm 0,5$); (Figura 12). De acordo com a ANOVA, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores em V5

($2,2 \pm 0,3$) foram menores que estes valores em V20 ($2,6 \pm 0,4$), independentemente dos fatores protocolos e segmentos (Figura 12). Entre os segmentos, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores das pernas ($2,5 \pm 0,4$) e coxas ($2,5 \pm 0,3$) foram significativamente maiores que estes nos braços ($2,3 \pm 0,4$) e antebraços ($2,3 \pm 0,3$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre as pernas e coxas e entre os braços e antebraços (Figura 12). As interações protocolos contra velocidades revelaram os seguintes resultados: no MA, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores em V5 ($2,2 \pm 0,3$) foram menores que em V20 ($2,8 \pm 0,4$) e em V20, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores do MT ($2,4 \pm 0,2$) foram menores que estes valores no MA ($2,8 \pm 0,4$); (Figura 13). A interação protocolos contra segmentos mostrou diferenças significativas no MT, onde os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores das pernas ($2,5 \pm 0,2$) e coxas ($2,5 \pm 0,2$) foram maiores que estes valores nos braços ($2,0 \pm 0,2$) e antebraços ($2,3 \pm 0,2$). Em MA, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores das pernas ($2,5 \pm 0,6$) foram maiores que estes valores nos antebraços ($2,3 \pm 0,4$). Nos braços, os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores do MT ($2,3 \pm 0,2$) foram menores que estes valores no MA ($2,36 \pm 0,4$); (Figura 14). Finalmente, a interação velocidades contra segmentos revelou que os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores das coxas ($2,3 \pm 0,3$), pernas ($2,2 \pm 0,3$) e braços ($2,0 \pm 0,3$), em V5, foram menores que estes valores nas coxas ($2,7 \pm 0,3$), pernas ($2,7 \pm 0,4$) e braços ($2,5 \pm 0,4$), em V20. Para o antebraço, não houve diferença estatística entre os coeficientes de variação das distâncias entre os marcadores em V5 ($2,3 \pm 0,4$) e em V20 ($2,3 \pm 0,3$); (Figura 15).

4.2. Coeficiente de variação do comprimento de cada segmento calculado a partir de cada protocolo em cada velocidade

As Tabelas 4 e 5 mostram os valores percentuais dos coeficientes de variação do comprimento de cada segmento calculado para cada protocolo, para ambas as velocidades, para cada um dos seis atletas e respectivamente para os membros inferiores e os membros superiores.

Tabela 4 - Percentual (%) dos coeficientes de variação do comprimento de cada segmento dos membros inferiores de cada sujeito, calculado para cada protocolo (MT e MA) e para ambas as velocidades.

Atletas	Velocidades (Km/h)	Coxa D		Coxa E		Perna D		Perna E		Valor médio velocidades	Valor médio atletas
		MT	MA	MT	MA	MT	MA	MT	MA		
A	5,00	1,5	1,2	1,6	0,8	1,6	1,5	3,7	2,1	1,7	1,9
	20,00	1,7	2,2	1,6	1,5	2,8	3,2	2,6	2,2	2,2	
B	5,00	1,3	1,4	1,3	1,2	2,0	1,7	1,1	1,0	1,4	1,8
	20,00	2,3	3,3	2,4	3,2	2,2	2,0	1,5	1,4	2,3	
C	5,00	1,1	1,0	1,7	1,6	1,9	1,9	1,4	1,8	1,5	1,9
	20,00	1,1	1,6	0,8	1,7	3,2	3,1	4,0	3,3	2,3	
D	5,00	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,5	1,3	1,4
	20,00	1,9	1,6	1,1	1,9	2,2	1,2	1,3	1,1	1,5	
E	5,00	1,6	2,2	1,7	2,5	3,5	2,8	1,8	2,3	2,3	2,3
	20,00	1,6	2,7	1,6	2,5	4,0	3,5	1,5	1,6	2,4	
F	5,00	1,4	1,0	2,2	1,4	2,3	1,5	1,9	2,1	1,7	1,7
	20,00	1,5	1,2	1,6	0,8	1,6	1,5	3,7	2,1	1,7	
Valor médio protocolos		1,5	1,7	1,6	1,7	2,4	2,1	2,1	1,9		
Valor médio segmentos		1,6		1,6		2,2		2,0			

Tabela 5 - Percentual (%) dos coeficientes de variação do comprimento de cada segmento dos membros superiores de cada sujeito, calculado para cada protocolo (MT e MA) e para ambas as velocidades.

Atletas	Velocidades (Km/h)	Braço D		Braço E		Antebraço D		Antebraço E		Valor médio velocidades	Valor médio atletas
		MT	MA	MT	MA	MT	MA	MT	MA		
A	5,00	1,2	1,3	0,6	1,1	2,4	1,6	2,3	1,6	1,5	1,4
	20,00	2,1	1,7	1,1	1,7	1,2	1,5	0,9	0,6	1,3	
B	5,00	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	1,4
	20,00	2,6	2,2	1,3	1,9	1,9	2,4	2,8	2,6	2,2	
C	5,00	1,8	1,5	1,2	1,5	1,4	1,0	1,8	1,1	1,4	1,5
	20,00	2,9	2,1	1,5	1,9	0,7	0,7	1,5	1,6	1,6	
D	5,00	1,0	1,4	1,6	1,7	1,4	1,3	1,6	2,0	1,5	1,8
	20,00	2,1	2,0	2,1	1,7	2,7	2,4	1,6	2,0	2,1	
E	5,00	1,8	1,6	1,2	2,1	0,9	0,7	0,8	0,8	1,2	1,4
	20,00	1,8	1,7	1,6	2,4	1,0	1,7	2,1	1,7	1,7	
F	5,00	1,7	1,3	1,8	2,2	0,5	0,5	1,1	0,9	1,2	1,3
	20,00	1,2	1,3	0,6	1,1	2,4	1,6	2,3	1,6	1,5	
Valor médio protocolos		1,7	1,5	1,2	1,7	1,4	1,3	1,6	1,4		
Valor médio segmentos		1,6		1,5		1,3		1,5			

A Tabelas 6 resume os resultados da ANOVA e teste de Tukey para esta variável experimental.

Tabela 6 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de variação do comprimento dos segmentos (CVL) de acordo com três fatores: protocolos, com dois níveis (MT e MA); velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

Fatores	Diferenças Estatísticas Significativas ($p < 0.05$)
	CV _L
Protocolos	Não houve diferenças estatísticas
Velocidades	V5(1,4±0,6) < V20(1,9±0,7)
Segmentos	P(2,09±0,8) > C(1,68±0,5) = B(1,65±0,5) = A(1,39±0,6)
Protocolos x Velocidades	Não houve diferenças estatísticas
Protocolos x Segmentos	Não houve diferenças estatísticas
Velocidades x Segmentos	Não houve diferenças estatísticas

A Figura 16 apresenta os valores dos coeficientes de variação do comprimento dos segmentos em forma de *Box plot* para os fatores velocidades e segmentos.

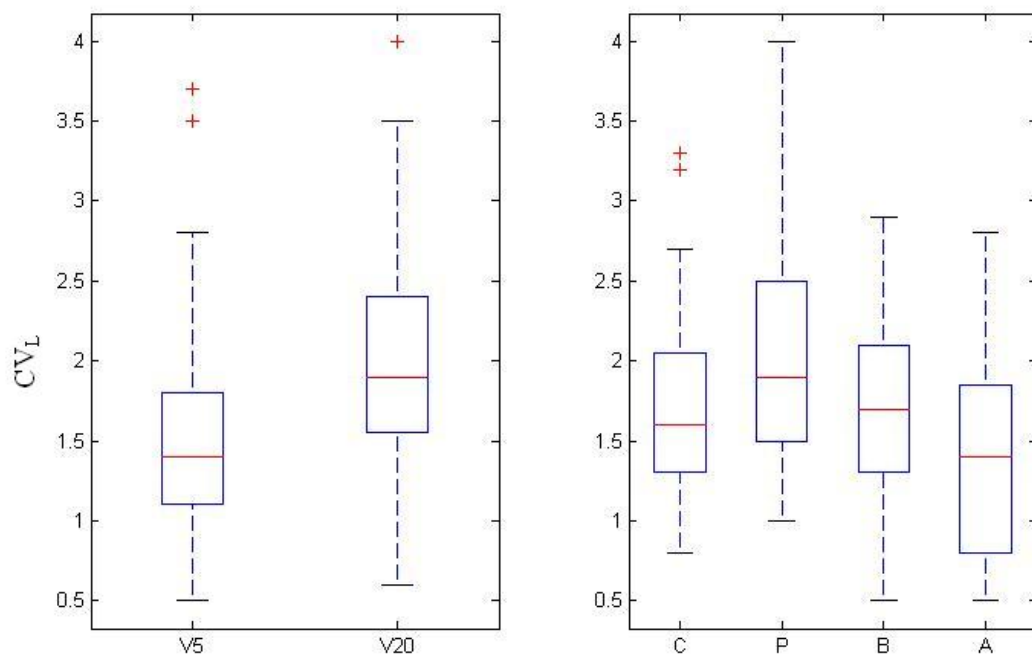


Figura 16 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de variação do comprimento dos segmentos (CVL) de acordo com dois fatores: velocidades, com dois níveis [5 km/h (V5) e 20 Km/h (V20)] e segmentos, com quatro níveis [coxas (C), pernas (P), braços (B) e antebraços (A)].

De acordo com a Tabela 6, diferenças estatísticas significativas foram encontradas nos valores de coeficientes de variação do comprimento dos segmentos para dois fatores: velocidades ($F=33,02$; $P<0,0001$) e segmentos ($F=5,43$; $P<0,0001$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada entre os coeficientes de variação do comprimento dos segmentos em relação ao fator protocolo e também em relação às interações entre os fatores.

Os resultados da análise estatística de acordo com as velocidades, removendo os efeitos dos protocolos e dos segmentos, mostraram que os coeficientes de variação do comprimento dos segmentos em V5 ($1,4 \pm 0,6$) foram menores que estes valores em V20 ($1,96 \pm 0,7$); (Figura 16). De acordo com a ANOVA, independentemente dos fatores velocidades e protocolos, os coeficientes de variação do comprimento das pernas ($2,09 \pm 0,8$) foram maiores que estes valores

nas coxas ($1,68 \pm 0,5$), braços ($1,65 \pm 0,5$) e antebraços ($1,39 \pm 0,6$), sendo que entre estes três últimos segmentos, não houve diferenças estatísticas (Figura 16).

4.3. Coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação

As Tabelas 7 e 8 mostram os coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações, para cada um dos seis atletas e respectivamente para as velocidades 5 Km/h e a velocidade 20 Km/h. A Tabela 9 mostra a média dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares para ambas as velocidades.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 5 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE = ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.

Ângulos	Sujeitos	TD	TE	JD	JE	QD	QE	OD	OE	CD	CE
ABD	A	0,46	0,53	0,83	0,52	0,95	0,73	0,96	0,92	0,91	0,63
	B	0,27	0,38	0,92	0,55	0,95	0,76	0,63	0,88	0,26	0,42
	C	0,47	0,41	0,09	0,12	0,93	0,95	0,97	0,97	0,66	0,73
	D	0,66	0,12	0,21	0,87	0,96	0,88	0,95	0,98	0,06	0,38
	E	0,30	0,15	0,52	0,40	0,98	0,86	0,98	1,00	0,57	0,63
	F	0,13	0,48	0,28	0,43	0,53	0,95	0,97	0,89	0,77	0,40
ROT	A	0,90	0,96	0,85	0,30	0,57	0,82	0,37	0,78	0,30	0,10
	B	0,96	0,94	0,65	0,51	0,36	0,31	0,67	0,50	0,37	0,42
	C	0,94	0,92	0,60	0,40	0,65	0,84	0,02	0,54	0,26	0,53
	D	0,77	0,96	0,16	0,24	0,56	0,13	0,27	0,23	0,98	0,69
	E	0,97	0,78	0,81	0,39	0,39	0,26	0,55	0,67	0,38	0,35
	F	0,92	0,90	0,22	0,09	0,27	0,04	0,77	0,33	0,37	0,15
FLX	A	0,94	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99
	B	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,99	0,99	0,98
	C	0,98	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00	0,96	0,98	1,00	0,99
	D	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
	E	0,93	0,96	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,98	0,99
	F	0,97	0,93	1,00	0,99	0,99	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 20 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.

Ângulos	Sujeitos	TD	TE	JD	JE	QD	QE	OD	OE	CD	CE
ABD	A	0,75	0,93	0,78	0,58	0,91	0,25	0,98	0,97	0,78	0,30
	B	0,46	0,15	0,71	0,37	0,90	0,86	0,96	0,96	0,83	0,77
	C	0,12	0,51	0,59	0,56	0,92	0,81	0,92	1,00	0,48	0,19
	D	0,29	0,50	0,85	0,49	0,93	0,82	0,98	0,96	0,58	0,09
	E	0,53	0,07	0,50	0,05	0,94	0,80	0,99	0,96	0,87	0,16
	F	0,28	0,21	0,16	0,81	0,91	0,92	0,99	0,92	0,44	0,69
ROT	A	0,97	0,99	0,85	0,07	0,70	0,72	0,86	0,29	0,53	0,47
	B	0,87	0,95	0,02	0,13	0,00	0,20	0,95	0,65	0,74	0,59
	C	0,47	0,99	0,32	0,13	0,25	0,51	0,26	0,90	0,70	0,81
	D	0,88	0,96	0,32	0,29	0,57	0,71	0,47	0,68	0,88	0,09
	E	0,80	0,83	0,20	0,49	0,13	0,43	0,86	0,57	0,61	0,77
	F	0,92	0,69	0,11	0,31	0,64	0,10	0,50	0,38	0,50	0,24
FLX	A	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,99	0,99	0,89	0,99
	B	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	0,99	0,96	0,99
	C	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,98	0,99	0,90
	D	0,96	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,97
	E	0,97	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,99
	F	1,00	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	0,85	0,99

Tabela 9 - Valores médios dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para todas as articulações e para a ambas as velocidades.

Articulações	Adução/Abdução		Rotação int/ext		Flexão/Extensão	
	5 Km/h	20 Km/h	5 Km/h	20 Km/h	5 Km/h	20 Km/h
Tornozelo D	0,38	0,40	0,91	0,82	0,96	0,98
Tornozelo E	0,35	0,39	0,91	0,90	0,97	0,99
Joelho D	0,48	0,60	0,55	0,30	0,99	0,99
Joelho E	0,48	0,47	0,32	0,24	0,99	0,99
Quadril D	0,88	0,92	0,47	0,38	0,99	0,99
Quadril E	0,86	0,74	0,40	0,44	0,99	0,99
Ombro D	0,91	0,97	0,44	0,65	0,96	0,99
Ombro E	0,94	0,96	0,51	0,58	0,99	0,99
Cotovelo D	0,54	0,66	0,44	0,66	0,99	0,93
Cotovelo E	0,53	0,37	0,37	0,49	0,99	0,97

A Tabela 10 resume os resultados da ANOVA e teste de Tukey para esta variável experimental.

Tabela 10 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para o coeficiente de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos(T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].

Fatores	Diferenças Estatísticas Significativas ($p < 0.05$)
	r
Velocidades	Não houve diferenças estatísticas
Ângulos articulares	FL/EX(0,99) > AB/AD(0,78) > IN/EX(0,65)
Articulações	Q(0,94) = O(0,95) > T(0,90) = J(0,90) > V(0,84)
Ângulos articulares x Articulações	T: FL/EX(0,98) > IN/EX(0,93) > AB/AD(0,42)
	J: FL/EX(0,99) > AB/AD(0,57) = IN/EX(0,39)
	Q: FL/EX(0,99) > AB/AD(0,89) > IN/EX(0,469)
	O: FL/EX(0,99) > AB/AD(0,97) > IN/EX(0,61)
	V: FL/EX(0,98) > AB/AD(0,58) = IN/EX(0,56)
Velocidades x Ângulos articulares	Não houve diferenças estatísticas
Velocidades x Articulações	Não houve diferenças estatísticas

A Figura 17 apresenta os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares em forma de *Box plot* para os fatores ângulos articulares e articulações. A Figura 16 apresenta os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares em forma de *Box plot* para a interação: ângulos articulares x articulações.

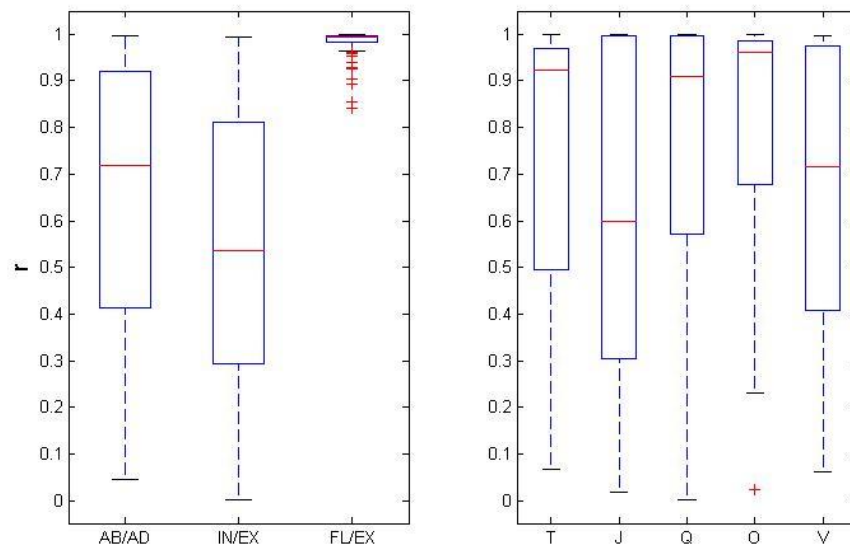


Figura 17 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo com dois fatores: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris(Q); ombros (O); cotovelos (V)].

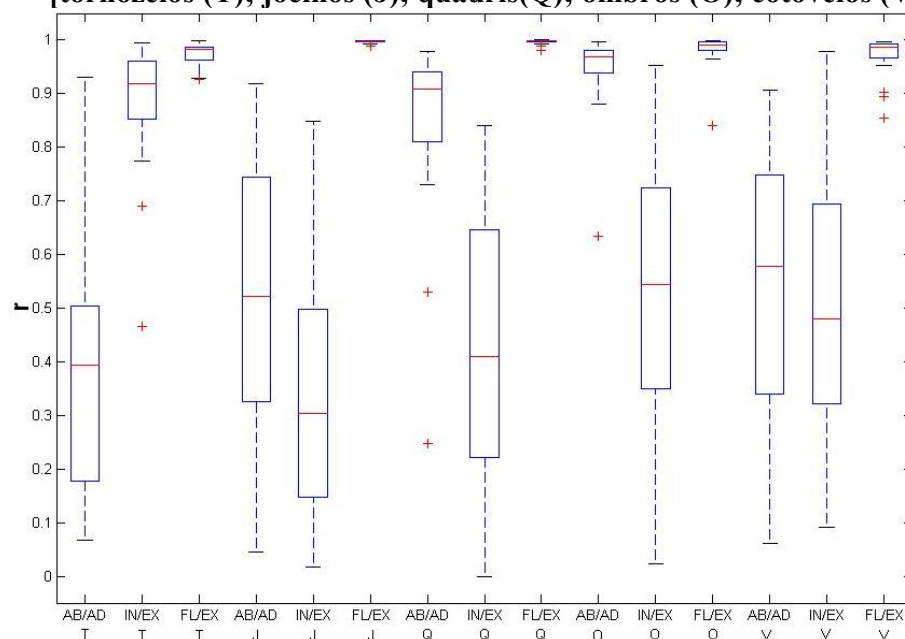


Figura 18 - Representação em forma de Box Plot dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares (r) de acordo a interação: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] contra articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].

De acordo com a Tabela 10, diferenças estatísticas significativas foram encontradas nos valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares para dois fatores: ângulos articulares ($F=718,83$; $P<0,0001$) e articulações ($F=10,73$; $P<0,0001$) e para uma interação: ângulos articulares contra articulações ($F=20,43$; $P<0,0001$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada nos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares em relação ao fator velocidade e também em relação às interações: velocidades contra ângulos articulares e velocidades contra articulações.

De acordo com a ANOVA, independentemente dos fatores velocidades e articulações, diferenças estatísticas foram encontradas nos coeficientes de correlação de Pearson entre todos os três ângulos articulares calculados por MT e MA. Os maiores valores foram encontrados em FL/EX (0,99), seguidos por AB/AD (0,78) e IN/EX (0,65); (Figura 17). Removendo os efeitos dos fatores velocidades e ângulos articulares, os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre os ângulos articulares dos quadris (0,94) e ombros (0,95), calculados por MT e MA, foram significativamente maiores do que estes valores nos tornozelos (0,90), joelhos (0,90) e cotovelos (0,84). Não houve diferença estatística entre os coeficientes de correlação de Pearson dos três ângulos articulares, calculados por MT e MA, para os quadris e ombros e também para os joelhos e tornozelos (Figura 17).

A interação, ângulos de rotação contra articulações, revelou os seguintes resultados: os valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre FL/EX (0,98) dos tornozelos, calculados por MT e MA, foram maiores que estes valores entre IN/EX (0,93) que foram maiores que estes valores entre AB/AD (0,42). Para os joelhos e cotovelos, estes valores entre FL/EX, respectivamente, (0,99 / 0,98) foram maiores que os entre AB/AD, respectivamente, (0,57 / 0,58) e IN/EX, respectivamente, (0,39 / 0,56). Para os quadris e ombros, os valores de coeficientes de correlação de Pearson entre IN/EX, respectivamente, (0,46 / 0,61) foram menores que os valores

entre AB/AD, respectivamente, (0,89 / 0,97) que foram menores que os valores entre FL/EX, respectivamente (0,99 / 0,99); (Figura 18).

4.4. Diferença máxima entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo para cada articulação

As Tabelas 11 e 12 mostram as diferenças máximas entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações, para cada um dos seis atletas e respectivamente para as velocidades 5 Km/h e a velocidade 20 Km/h. A tabela 13 mostra a diferença angular máxima (**DAM**) entre as duas curvas médias dos seis atletas obtidas por cada protocolo, para cada articulação em ambas as velocidades e a amplitude (**AM**) de uma destas curvas médias obtidas por um dos protocolos que possuía o maior valor da diferença entre o valor máximo e mínimo desta curva.

Tabela 11 - Diferenças máximas (graus) entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 5 Km/h. TD=tornozelo direito; TE=tornozelo esquerdo; JD=joelho direito; JE=joelho esquerdo; QD=quadril direito; QE=quadril esquerdo; OD=ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD=cotovelo direito; CE=cotovelo esquerdo.

Ângulos	Sujeitos	TD	TE	JD	JE	QD	QE	OD	OE	CD	CE
ABD	A	22,7	22,3	10,9	15,8	6,3	12,4	3,2	8,3	14,2	25,5
	B	15,5	18,8	6,1	7,5	6,3	5,4	3,2	7,0	4,8	15,6
	C	12,1	16,4	9,2	15,9	8,7	4,2	6,6	8,7	12,3	6,9
	D	15,7	14,0	11,2	7,6	3,9	4,7	8,7	5,6	13,9	17,4
	E	17,6	25,7	9,8	12,3	4,3	6,1	4,5	6,2	15,6	17,0
	F	15,1	10,7	17,8	10,2	15,3	5,3	4,0	9,7	8,7	12,5
ROT	A	11,0	10,2	23,9	30,2	18,1	6,7	14,8	35,8	14,3	28,5
	B	3,6	5,8	9,3	22,5	10,1	8,0	16,8	15,5	25,0	13,1
	C	5,9	8,2	17,6	15,7	8,7	6,1	11,5	13,2	19,7	17,3
	D	4,1	3,7	20,9	12,4	13,0	9,1	11,5	25,8	17,7	16,4
	E	6,1	13,9	10,4	26,4	10,3	9,9	25,4	18,0	25,4	8,6
	F	11,7	7,4	21,1	13,5	30,0	11,6	15,9	23,4	30,8	27,0
FLX	A	4,6	5,7	7,3	4,5	1,4	4,7	3,4	3,7	4,7	16,0
	B	4,6	2,6	8,0	2,4	4,7	3,2	4,0	1,4	2,8	4,9
	C	3,1	2,8	4,7	5,7	3,9	3,7	4,3	7,1	5,9	5,3
	D	2,8	2,9	4,1	7,2	3,2	3,6	2,2	6,6	9,3	7,2
	E	5,2	5,5	9,9	3,8	7,5	3,0	4,1	3,3	6,3	3,4
	F	1,9	4,3	5,3	8,3	7,1	6,0	5,6	4,6	3,6	3,6

Tabela 12 - Diferenças máximas (graus) entre os ângulos articulares obtido por cada protocolo para todas as articulações de cada sujeito para a velocidade 20 Km/h. TD = tornozelo direito; TE = tornozelo esquerdo; JD = joelho direito; JE = joelho esquerdo; QD = quadril direito; QE = quadril esquerdo; OD = ombro direito; OE=ombro esquerdo; CD = cotovelo direito; CE = cotovelo esquerdo.

Ângulos	Sujeitos	TD	TE	JD	JE	QD	QE	OD	OE	CD	CE
ABD	A	10,3	13,4	18,7	7,9	5,3	20,0	7,1	3,6	23,0	34,7
	B	28,7	18,7	14,0	15,5	6,5	11,3	5,8	9,2	18,6	19,7
	C	30,9	25,1	14,0	13,9	8,1	4,8	7,9	8,7	28,7	22,7
	D	18,2	21,9	6,1	11,5	8,7	6,4	9,5	5,7	21,3	38,9
	E	34,0	24,5	18,4	8,0	5,2	6,0	5,1	8,3	5,5	28,8
	F	19,5	19,3	19,9	20,1	14,2	7,2	4,6	11,1	26,3	33,4
ROT	A	6,5	7,9	25,7	25,4	22,0	10,2	20,9	34,8	9,1	18,4
	B	8,3	7,7	24,4	25,3	15,4	15,6	17,9	22,7	14,2	13,4
	C	15,3	10,7	38,2	25,2	10,1	11,1	32,6	17,3	5,3	22,6
	D	8,8	6,5	20,6	26,0	13,6	11,2	20,3	38,9	30,7	23,4
	E	8,2	11,9	25,8	27,5	17,3	19,2	10,2	23,6	15,2	10,9
	F	13,2	13,1	28,7	26,0	30,1	12,6	24,7	36,5	31,1	15,6
FLX	A	6,4	3,6	10,8	7,8	7,3	10,9	11,2	10,9	13,6	14,1
	B	4,6	4,8	6,9	6,2	3,1	3,9	7,9	6,2	6,2	9,4
	C	5,7	6,4	9,3	4,6	5,7	2,5	12,9	3,5	21,0	11,6
	D	6,5	10,5	8,9	10,6	4,1	6,4	5,3	10,0	8,6	9,3
	E	9,6	4,3	17,0	7,1	7,6	3,0	9,6	8,2	13,5	5,5
	F	3,9	3,7	9,0	5,5	7,7	5,1	6,0	1,9	8,9	3,7

Tabela 13 - Diferença angular máxima (DAM) entre as duas curvas médias dos seis atletas obtidos por cada protocolo para cada articulação e em ambas as velocidades e a amplitude (AM) de uma destas curvas médias obtidas por um dos protocolos que possuía o maior valor da diferença entre o valor máximo e mínimo desta curva.

Articulações	Adução/Abdução				Rotação interna/externa				Flexão/Extensão			
	5 Km/h		20 Km/h		5 Km/h		20 Km/h		5 Km/h		20 Km/h	
	DAM	AM	DAM	AM	DAM	AM	DAM	AM	DAM	AM	DAM	AM
Tornozelo D	11,8	8,5	14,3	16,3	18,7	7,9	5,3	20,0	3,1	17,0	4,6	40,4
Tornozelo E	15,9	18,1	17,9	16,4	14,0	15,5	6,5	11,3	2,2	17,2	4,4	32,3
Joelho D	9,5	11,7	6,9	13,5	14,0	13,9	8,1	4,8	5,4	65,1	6,1	98,5
Joelho E	10,3	8,7	3,1	6,6	6,1	11,5	8,7	6,4	3,9	64,6	4,5	93,8
Quadril D	4,1	12,6	5,3	13,4	18,4	8,0	5,2	6,0	5,6	42,7	6,6	59,5
Quadril E	4,6	14,7	8,0	16,9	19,9	20,1	14,2	7,2	3,4	40,1	2,7	61,6
Ombro D	3,7	13,6	5,5	20,3	25,7	25,4	22,0	10,2	3,1	21,5	8,0	42,4
Ombro E	5,3	18,3	7,6	23,0	24,4	25,3	15,4	15,6	1,8	25,2	6,6	35,1
Cotovelo D	5,9	10,4	6,5	13,9	38,2	25,2	10,1	11,1	5,7	33,7	12,0	27,3
Cotovelo E	9,4	6,5	20,6	13,9	20,6	26,0	13,6	11,2	4,1	29,0	8,9	24,8

A Tabela 14 resume os resultados da ANOVA e teste de Tukey para esta variável experimental.

Tabela 14 - Resultados estatísticos da ANOVA e teste de Tukey para a diferença máxima entre os ângulos articulares (dam) de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].

Fatores	Diferenças Estatísticas Significativas ($p < 0.05$)
	dam
Velocidades	V5(10,5±7,2) < V20(14,0±9,8)
Ângulos articulares	FL/EX(6,3±3,4) < AB/AD(13,2±7,9) < IN/EX(17,2±8,4)
Articulações	Q(8,8±5,8) < O(11,6±9,1) < J(14,2±8,0) = V(15,5±8,9); Q = T(11,1±7,6) < V; T = O; T = J
Ângulos articulares x Articulações	T: AB/AD(19,6±6,2) > FL/EX(4,8±2,1) = IN/EX(8,7±3,3) J: IN/EX(22,6±6,7) > FL/EX(7,3±3,0) = AB/AD(12,6±4,4) Q: IN/EX(13,7±6,4) > FL/EX(4,9±2,2) = AB/AD(7,8±4,1) O: IN/EX(22,0±8,5) > FL/EX(5,9±3,1) = AB/AD(6,8±2,3) V: FL/EX(8,3±4,6) < AB/AD(19,4±9,3) = IN/EX(18,9±7,5)
Velocidades x Ângulos articulares	Não houve diferenças estatísticas
Velocidades x Articulações	Não houve diferenças estatísticas

A Figura 19 apresenta os valores das diferenças máximas entre os ângulos articulares em forma de *Box plot* para os fatores velocidades, ângulos articulares e articulações. A Figura 20 apresenta os valores das diferenças máximas entre os ângulos articulares em forma de *Box plot* para a interação: ângulos articulares x articulações.

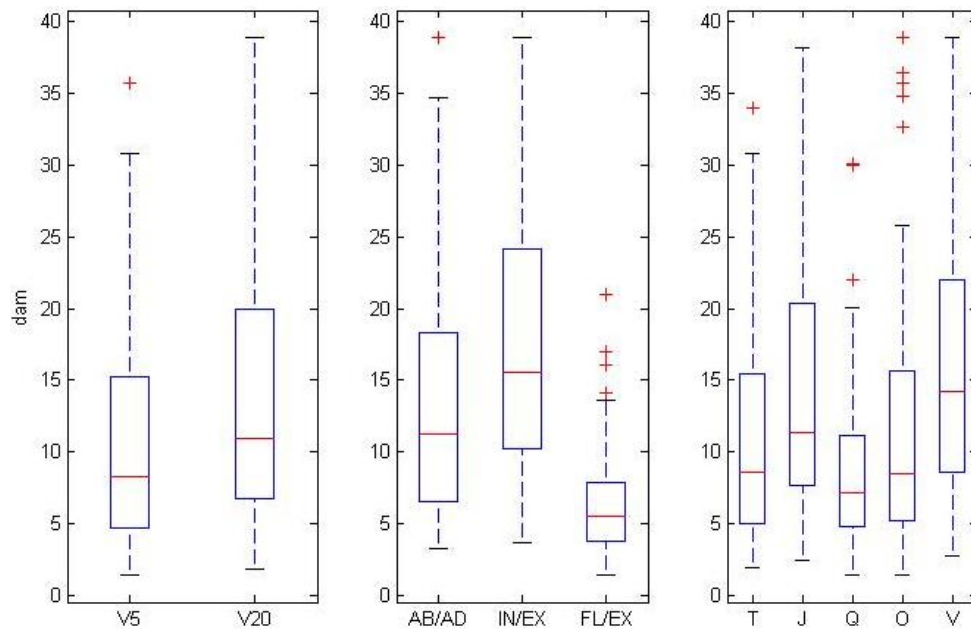


Figura 19 - Representação em forma de Box Plot das diferenças máximas entre os ângulos articulares (dam) em graus de acordo com três fatores: velocidades, com dois níveis (V5 e V20); ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] e articulações com cinco níveis [tornozelos (T); joelhos (J); quadris (Q); ombros (O); cotovelos (V)].

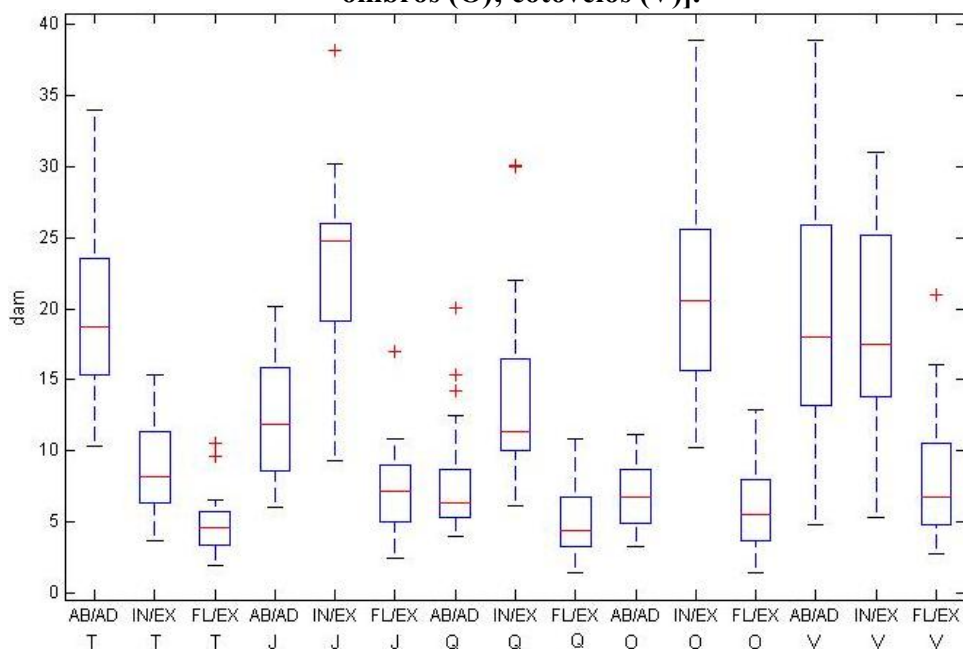


Figura 20 - Representação em forma de Box Plot das diferenças máximas entre os ângulos articulares (dam) em graus de acordo a interação: ângulos articulares, com três níveis [ângulos de abdução e adução (AB/AD); ângulos de rotação interna e externa (IN/EX); ângulos de flexão e extensão (FL/EX)] contra articulações com cinco níveis [tornozelos(T); joelhos (J); quadris (Q); ombros(O); cotovelos (V)].

De acordo com a Tabela 14, diferenças estatísticas significativas foram encontradas nos valores das diferenças máximas entre os ângulos articulares para os três fatores: velocidades ($F=45,12$; $P<0,0001$), ângulos articulares ($F=147,65$; $P<0,0001$) e articulações ($F=10,08$; $P<0,0001$) e para uma interação: ângulos articulares contra articulações ($F=12,85$; $P<0,0001$). Nenhuma diferença estatística foi encontrada nas diferenças máximas entre os ângulos articulares em relação às interações: velocidades contra ângulos articulares e velocidades contra articulações.

De acordo com a ANOVA, as diferenças máximas entre os ângulos articulares em V5 ($10,5^\circ \pm 7,2^\circ$) foram menores que estes valores em V20 ($14,0^\circ \pm 9,8^\circ$), independentemente dos ângulos articulares e das articulações (Figura 19). Removendo os fatores velocidades e articulações, diferenças estatísticas foram encontradas nas diferenças máximas entre todos os três ângulos articulares calculados por MT e MA. Os menores valores foram encontrados em FL/EX ($6,3^\circ \pm 3,4^\circ$), seguidos por AB/AD ($13,2^\circ \pm 7,9^\circ$) e IN/EX ($17,2^\circ \pm 8,4^\circ$); (Figura 19). Removendo os efeitos dos fatores velocidades e ângulos de rotação, as diferenças máximas entre cada ângulo articular dos quadris ($8,8^\circ \pm 5,8^\circ$), calculados por MT e MA, foram menores que estes valores nos ombros ($11,6^\circ \pm 9,1^\circ$) que foram menores que estes valores nos joelhos ($14,2^\circ \pm 8,0^\circ$) e cotovelos ($15,5^\circ \pm 8,9^\circ$); (Figura 19). Estes valores nos quadris e tornozelos ($11,1^\circ \pm 7,6^\circ$) foram menores que os valores nos cotovelos. Não houve diferença estatística nestes valores entre os tornozelos e ombros, quadris e joelhos e entre joelhos e cotovelos.

A interação, ângulos de rotação contra articulações, revelou os seguintes resultados: as diferenças máximas entre AB/AD ($19,6^\circ \pm 6,2^\circ$) dos tornozelos, calculados por MT e MA, foram maiores que estes valores entre FL/EX ($4,8^\circ \pm 2,1^\circ$) e IN/EX ($8,7^\circ \pm 3,3^\circ$). Para os joelhos, quadris e ombros, estes valores entre IN/EX, respectivamente, ($22,6^\circ \pm 6,7^\circ$ / $13,7^\circ \pm 6,4^\circ$ / $22,0^\circ \pm 8,5^\circ$) foram maiores que os valores entre AB/AD, respectivamente, ($12,6^\circ \pm 4,4^\circ$ / $7,8^\circ \pm 4,1^\circ$ /

$6,8^{\circ} \pm 2,3^{\circ}$) e FL/EX, respectivamente, ($7,3^{\circ} \pm 3,0^{\circ}$ / $4,9^{\circ} \pm 2,2^{\circ}$ / $5,9^{\circ} \pm 3,1^{\circ}$). Para o cotovelo, estes valores entre FL/EX ($8,3^{\circ} \pm 4,6^{\circ}$) foram menores que os valores entre AB/AD ($19,4^{\circ} \pm 9,3^{\circ}$) e IN/EX ($18,9^{\circ} \pm 7,5^{\circ}$);(Figura 20).

4.5. Cinemática angular

As curvas mostradas nas Figuras 21, 22 e 23 correspondem respectivamente à média e o desvio padrão dos ângulos de flexão/extensão, ângulos de abdução/adução e ângulos de rotação interna/externa dos segmentos dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade 5 Km/h para ambos os protocolos. As Figuras 24, 25 e 26 apresentam os mesmos ângulos correspondentes às figuras 21, 22 e 23 respectivamente, porém durante a velocidade 20 Km/h. Nestas seis figuras, as seguintes articulações foram analisadas: tornozelos, joelhos, quadris, ombros e cotovelos.

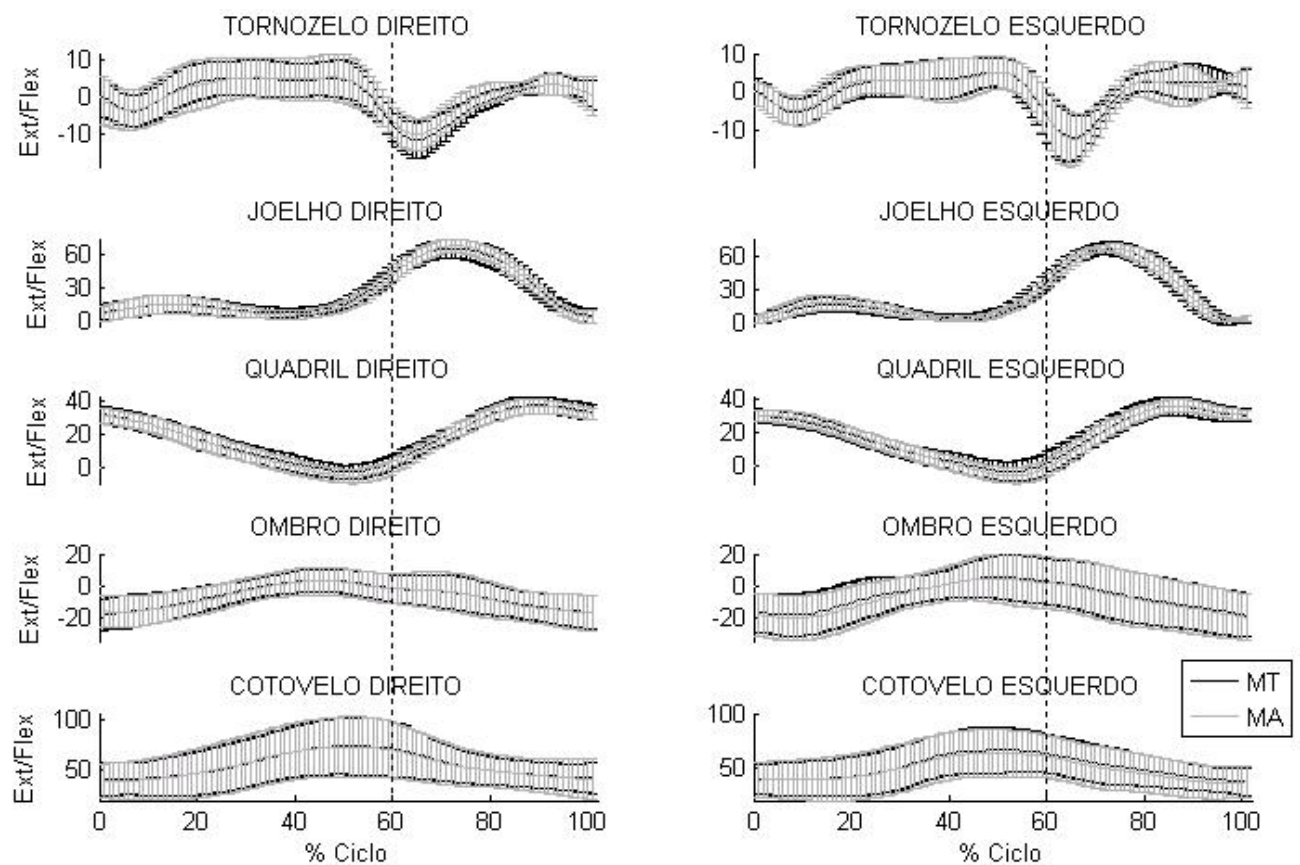


Figura 21 - Média e desvio padrão dos ângulos de flexão/extensão dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).

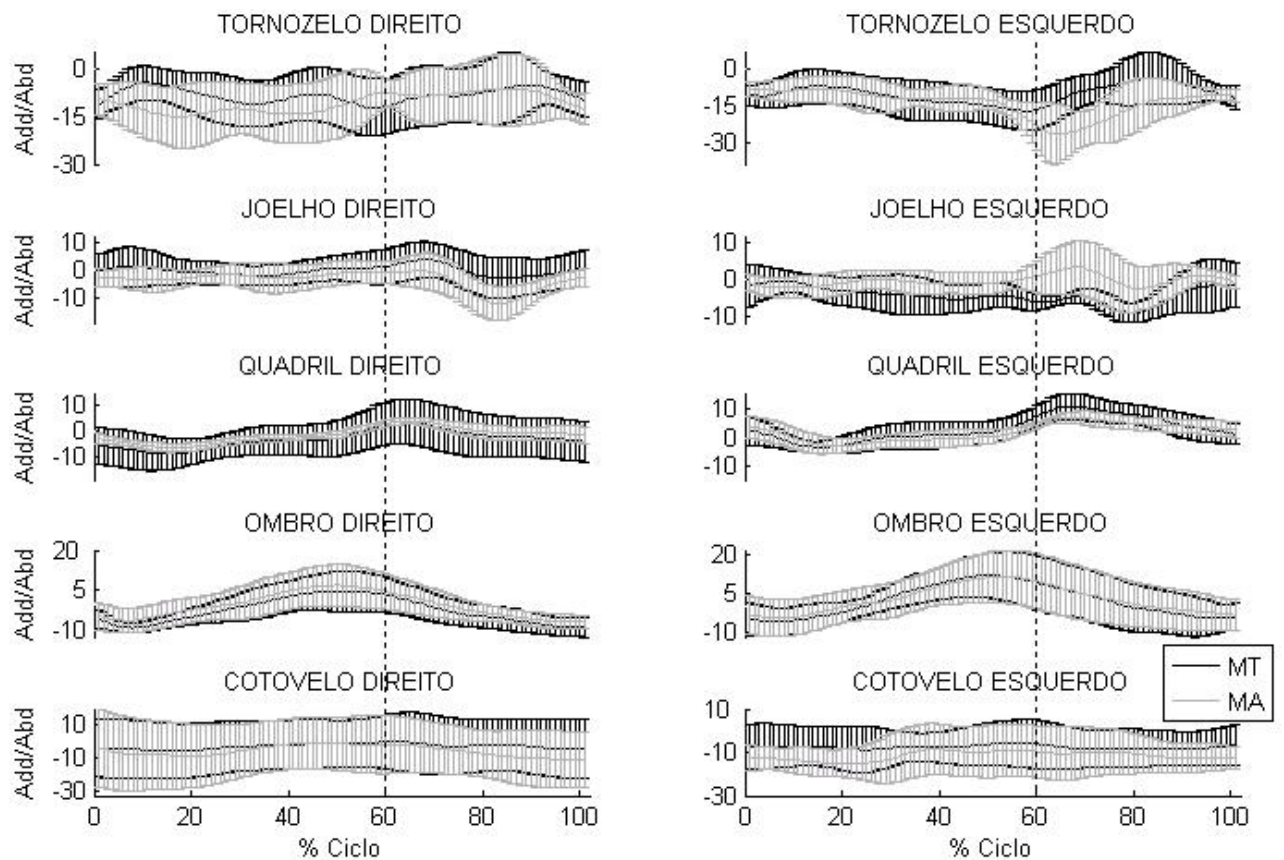


Figura 22 - Média e desvio padrão dos ângulos de abdução/adução dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).

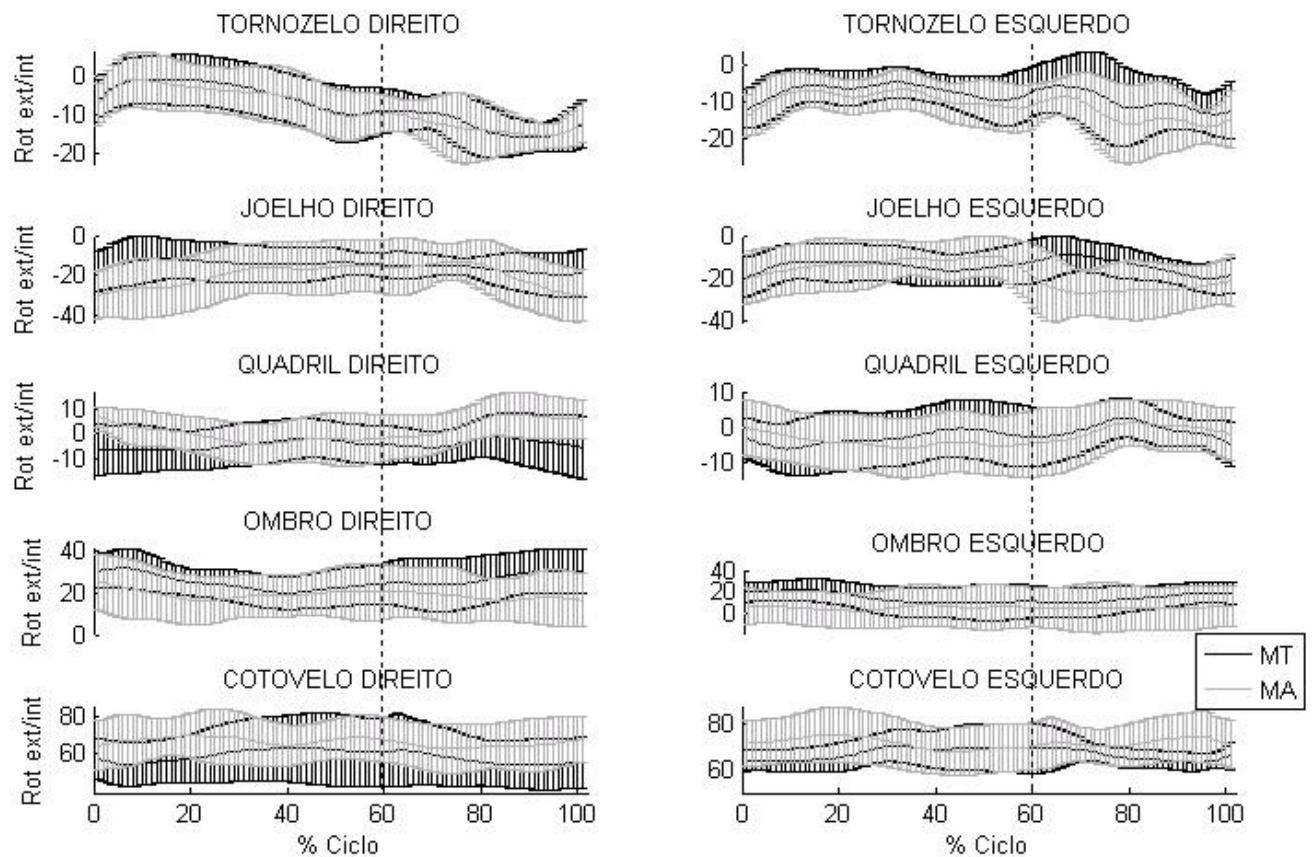


Figura 23 - Média e desvio padrão dos ângulos de rotação interna/externa dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 5Km/h para cada protocolo (MT e MA).

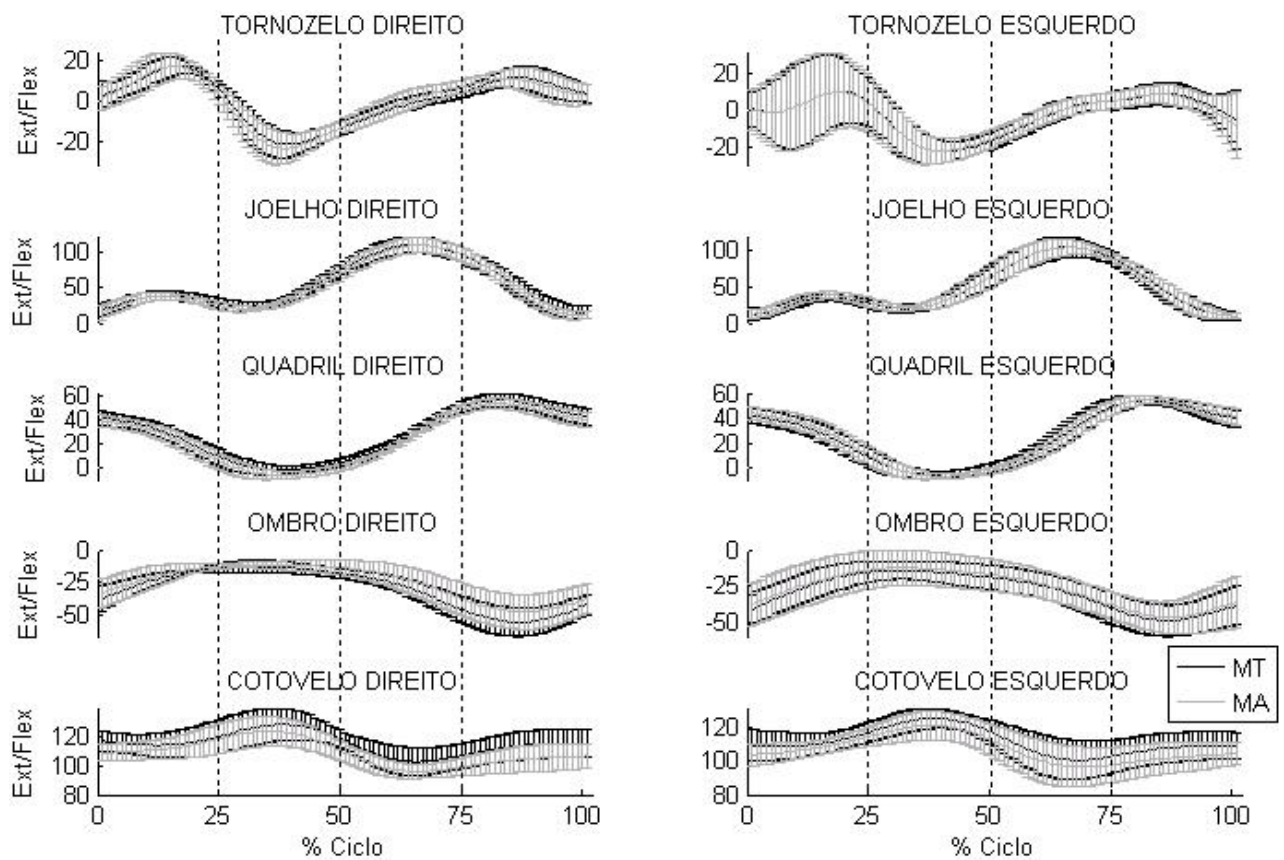


Figura 24 - Média e desvio padrão dos ângulos de flexão/extensão dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20Km/h para cada protocolo (MT e MA).

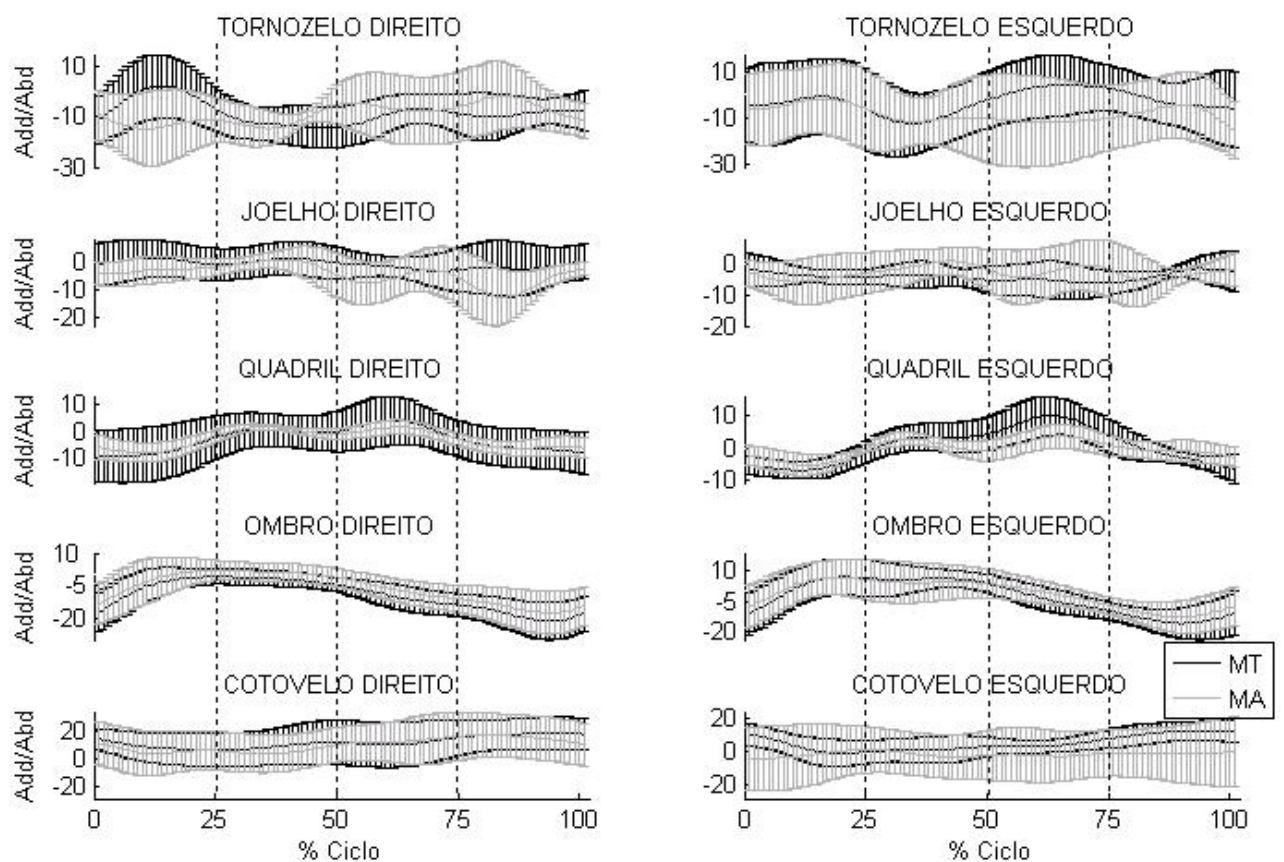


Figura 25 - Média e desvio padrão dos ângulos de abdução/adução dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20 Km/h para cada protocolo (MT e MA).

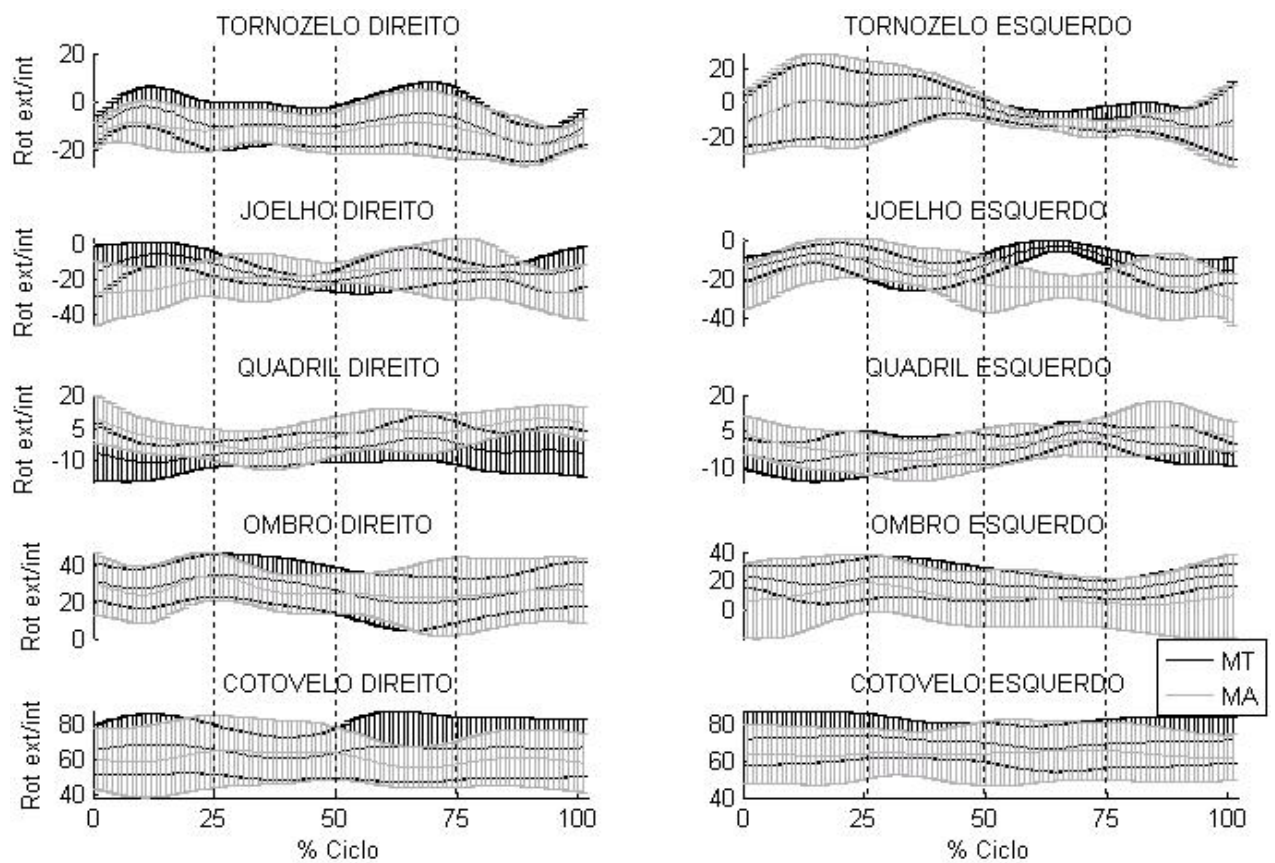


Figura 26 - Média dos ângulos de rotação interna/externa dos seis atletas em função da porcentagem do ciclo durante a velocidade de 20Km/h para cada protocolo (MT e MA).

5 Discussão

O presente estudo comparou dois protocolos para a análise cinemática de velocistas em função das velocidades, segmentos corporais e ângulos articulares na marcha e na corrida. Foi realizada uma análise cinemática integrada dos membros superiores e inferiores durante todo o ciclo da marcha e também da corrida.

A primeira variável analisada foi o coeficiente de variação das distâncias entre os marcadores de cada segmento para cada protocolo. Os resultados da ANOVA e do teste de Tukey usados para analisar esta variável mostraram, como esperado, que a variabilidade destas distâncias no MA ($2,5 \pm 0,5$) foi maior que esta no MT ($2,3 \pm 0,3$). A variabilidade absoluta das distâncias entre os marcadores montados sobre estruturas rígidas revelou valores de aproximadamente 0,2% do volume de calibração, indicando uma boa acurácia do sistema, similar a aquelas encontradas em outros sistemas.

Os resultados mostraram que a variabilidade das distâncias entre os marcadores nos membros inferiores foi maior do que esta nos membros superiores. Esta diferença pode ser atribuída a maior atividade muscular dos membros inferiores, ocorrendo, portanto uma maior oscilação da pele destes últimos, em relação aos membros superiores. Reinschmidt *et al.* (1997b) afirmaram que a maior atividade muscular da coxa durante a corrida gerou maiores erros de medição quando comparados à perna. Pode-se sugerir também que a maior oscilação de pele nos membros inferiores foi devido ao impacto com o chão.

A variabilidade das distâncias entre os marcadores de cada segmento em V20 foi maior que em V5. Reinschmidt *et al.* (1997a) analisaram a movimentação entre os marcadores localizados sobre a pele da coxa e da perna e os ossos (através de pinos intracorticais) e

encontraram que os erros na análise do movimento durante a corrida foram maiores do que estes erros na marcha.

A segunda variável analisada foi o coeficiente de variação do comprimento de cada segmento para cada protocolo. Nesta análise, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os protocolos. Segundo Angeloni *et al.* (1993) a movimentação relativa entre os marcadores montados sobre estruturas rígidas e os ossos é menor do que este movimento entre marcadores localizados diretamente sobre a pele e os ossos. Entretanto, o presente estudo não encontrou diferença na determinação de pontos usados na definição dos sistemas anatômicos calculados a partir do MA e do MT. Uma das possíveis explicações é que os autores analisaram sujeitos durante a marcha no solo em uma velocidade considerada natural para cada um e no presente estudo os sujeitos andaram e correram em uma esteira ergométrica. Outra possível explicação é que os autores analisaram a movimentação entre os marcadores e os ossos, e no presente estudo, os protocolos foram comparados através da variabilidade na determinação do comprimento dos segmentos. Também pode-se ressaltar que no presente estudo foram analisados atletas de alto nível que possuem provavelmente menos tecido adiposo. As diferenças na composição corporal poderiam explicar porque não foram encontradas diferenças entre os protocolos inclusive durante a marcha. Este resultado sugere que a composição corporal pode influenciar os resultados quando marcadores externos são usados para determinar a orientação dos segmentos durante o movimento. Em futuros trabalhos, o efeito de diferentes composições corporais nos resultados da análise do movimento poderia ser analisado.

A variabilidade do comprimento dos segmentos, em V20, foi maior que esta em V5. Reinschmidt *et al.* (1997b) encontraram um maior deslizamento de pele na coxa e na perna durante a corrida do que na marcha. Então podemos sugerir que o efeito da movimentação dos

marcadores, em relação aos segmentos é maior em movimentos que exijam maiores amplitudes e maiores velocidades.

Os resultados mostraram que a variabilidade do comprimento do segmento perna foi maior que esta nos outros segmentos. Isto pode ser explicado pela maior oscilação dos marcadores localizados na perna devido ao maior impacto com o chão sofrido por este segmento.

A terceira e a quarta variáveis analisadas foram o coeficiente de correlação de Pearson e a diferença máxima entre os ângulos articulares calculados por ambos os protocolos. Os resultados mostraram que a média dos valores dos coeficientes de correlação de Pearson entre FL/EX (0,99 – correlação muito forte) obtidos pelos dois protocolos foi maior que estes valores entre AB/AD (0,78 – correlação forte) que foi maior que estes valores entre IN/EX (0,65 – correlação regular), Jacques, 2003. Resultados deste estudo também mostraram que as diferenças máximas entre IN/EX ($17,2^\circ \pm 8,4^\circ$) obtidos por cada protocolo e para cada articulação foram maiores que as diferenças máximas entre AB/AD ($13,2^\circ \pm 7,9^\circ$) que foram maiores que as diferenças máximas entre FL/EX ($6,3^\circ \pm 3,4^\circ$). A partir de uma revisão literatura de trabalhos que analisaram a movimentação entre os marcadores e os ossos, Leardini *et al.* (2005) concluíram que para AB/AD e IN/EX, o erro introduzido pelo movimento entre os marcadores não invasivos e os ossos, pode ser quase tão grande quanto o próprio movimento medido. Os resultados do presente estudo corroboram com estas afirmações devido as diferenças encontradas nas correlações e nas diferenças máximas entre os ângulos de FL/EX, IN/EX e AB/AD, calculadas por MT e MA. Outra hipótese para este resultado é devido a razão sinal/ruído, pois a movimentação entre os marcadores e os ossos é considerada um tipo de ruído que influencia os valores (sinais) dos ângulos articulares. Como os AB/AD e IN/EX são mais afetados por esta movimentação e a amplitude dos sinais geralmente são maiores para os FL/EX, os dois primeiros ângulos poderiam ser prejudicados durante sua análise angular.

A diferença máxima entre os ângulos articulares obtidos por cada protocolo e para cada articulação, na corrida, foram maiores que estes na marcha, mostrando que em movimentos que apresentam grandes amplitudes e altas velocidades, a movimentação relativa entre os marcadores foi maior. Estes resultados corroboram com os de Reinschmidt *et al.* (1997b) que encontraram maiores diferenças entre os ângulos do joelho, calculados por marcadores na pele e por marcadores nos ossos, na corrida do que na marcha. Neste trabalho, os erros relativos à amplitude de movimento durante a corrida, para o joelho, foram 21% para flexão/extensão, 63% para rotação interna/externa e 70% para adução/abdução. No presente estudo, durante a corrida, a diferença máxima entre os ângulos de flexão/extensão do joelho obtidos por cada protocolo foi 6° em uma amplitude de 98°. Para adução/abdução esta diferença foi de 7° em uma amplitude de 13° e para rotação interna/externa esta diferença foi de 22° em uma amplitude de 21°.

Comparando os protocolos através da cinemática angular encontramos que as curvas dos ângulos de flexão/extensão de todas as articulações na marcha e na corrida (Figuras 21 e 24) apresentaram uma forma semelhante para ambos os protocolos e foram coerentes com o padrão das curvas encontradas na literatura (NEWMAN *et al.*, 2007, PERRY, 2005, NOVACHECK *et al.*, 1998, CAVANAGH, 1990).

Devido à grande variabilidade angular encontrada em ambos os protocolos para os ângulos de adução/abdução e rotação interna/externa para todas as articulações, tanto na marcha quanto na corrida (Figuras 22, 23, 25 e 26), há uma sobreposição entre as curvas calculadas por ambos os protocolos, não permitindo distinção entre eles para estes ângulos. Esta grande variabilidade concorda com os resultados de Leardini *et al.*, (2005) que concluíram que os ângulos de adução/abdução e rotação interna/externa deveriam ser analisados com mais cautela, pois a movimentação entre os marcadores e os ossos produzem erros com magnitude comparáveis aos movimentos medidos.

Em ambos os protocolos, os tornozelos e os joelhos apresentaram, durante todo o ciclo da marcha, uma amplitude angular de aproximadamente 0° a 15° de adução para os tornozelos e para os joelhos, 5° de abdução a 5° de adução. Apenas no início da fase de balanço, podemos notar um pico angular apresentado pelo tornozelo e joelho esquerdo, calculado pelo MA, de aproximadamente 35° de adução e 10° de abdução respectivamente. Estas curvas foram comparadas com os resultados obtidos por Newman *et al.* (2007) que analisaram a cinemática angular dos membros inferiores durante todo o ciclo da marcha no solo de 40 sujeitos ($18,4 \pm 8,5$ anos). Neste trabalho, o tornozelo, joelho e quadril foram caracterizados com três graus de liberdade sendo associado um sistema de coordenadas a cada segmento do modelo, onde os tornozelos apresentaram uma amplitude angular de aproximadamente 5° de abdução a 10° de adução e os joelhos uma amplitude de 5° de abdução a 5° de adução. Os resultados do presente estudo corroboram com os encontrados na literatura, exceto para o tornozelo esquerdo devido ao pico angular encontrado no início da fase de balanço, calculado pelo MA.

As curvas dos ângulos de rotação interna/externa dos tornozelos na marcha apresentaram uma forma semelhante para ambos os protocolos, com uma amplitude angular de aproximadamente 0° a 10° de rotação externa. Estas curvas mostraram coerência com a literatura (NEWMAN *et al.*, 2007) que apresentou uma amplitude de movimento de aproximadamente 5° de rotação externa a 10° de rotação interna).

Em ambos os protocolos, os joelhos apresentaram uma amplitude angular de aproximadamente 20° a 35° de rotação externa, durante todo o ciclo da marcha. Estas curvas foram comparadas com literatura (NEWMAN *et al.*, 2007) que apresentou uma amplitude angular de aproximadamente 20° a 40° de rotação externa, mostrando coerência entre os resultados.

A amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa dos quadris foi aproximadamente 0° a 10° de adução e 10° de rotação interna a 10° de rotação externa, respectivamente. Estas curvas mostraram coerência com a literatura (NEWMAN *et al.*, 2007) que apresentou as mesmas amplitudes angulares. Os ângulos de adução/abdução e rotação interna/externa para os ombros e cotovelos não foram comparados com a literatura devido à escassez de trabalhos que analisam membros superiores nestes planos de movimento durante a marcha. No presente estudo, a amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa dos ombros foi aproximadamente 10° de adução a 20° de abdução e 0° a 40° de rotação interna, respectivamente. Para os cotovelos, a amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa foi aproximadamente 25° de adução a 10° de abdução e 60° a 80° de rotação interna, respectivamente.

Durante toda a fase da corrida, para ambos os protocolos, os tornozelos e os joelhos apresentaram uma amplitude angular de aproximadamente 10° de abdução a 20° de adução para os tornozelos e para os joelhos, 10° de abdução a 10° de adução. As curvas de adução/abdução dos tornozelos foram comparadas com as curvas obtidas por Reinschmidt *et al.*, (1997c) que analisaram apenas este movimento durante a primeira fase de apoio da corrida de 5 sujeitos ($28,6 \pm 4,3$). Igualmente, as curvas de adução/abdução dos joelhos foram comparadas com as curvas obtidas por Reinschmidt *et al.*, (1997b) que analisaram também apenas este movimento durante a primeira fase de apoio da corrida de 3 sujeitos ($25,7 \pm 2,1$). Podemos inferir que as formas e amplitudes das curvas de ambos os trabalhos encontradas na literatura foram similares as do presente estudo, exceto para o tornozelo direito, calculado pelo MA.

As curvas dos ângulos de rotação interna/externa dos tornozelos na corrida apresentaram uma forma semelhante para ambos os protocolos, com uma amplitude angular de aproximadamente 0° a 20° de rotação externa. A forma destas curvas mostrou coerência com as

curvas encontradas por Reinschmidt *et al.*, (1997c) que, como já foi dito, analisaram apenas a primeira fase de apoio da corrida.

Em ambos os protocolos, os joelhos apresentaram uma amplitude angular de rotação interna/externa de aproximadamente 10° a 30° de rotação externa, durante toda o ciclo da corrida. Podemos observar uma sobreposição entre as curvas, devido a grande variabilidade angular encontrada em ambos os protocolos sugerindo não haver diferenças entre eles para estes ângulos, exceto durante a segunda fase de apoio da corrida para o joelho esquerdo onde não ocorreu sobreposição das curvas. A forma destas curvas mostrou coerência com as curvas encontradas por Reinschmidt *et al.*, (1997b) que, como já foi dito, analisaram apenas a primeira fase de apoio da corrida.

A amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa dos quadris foi aproximadamente 10° de abdução a 10° de adução e 5° de rotação externa a 20° de rotação interna, respectivamente. Estas curvas foram coerentes com a literatura (NOVACHECK *et al.*, 1998) que apresentou as mesmas amplitudes angulares. Os ângulos de adução/abdução e rotação interna/externa para os ombros e cotovelos não foram comparados com a literatura devido à escassez de trabalhos que analisam membros superiores nestes planos de movimento durante a corrida. No presente estudo, a amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa dos ombros foi aproximadamente 20° de adução a 10° de abdução e 0° a 40° de rotação interna, respectivamente. Para os cotovelos, a amplitude angular de adução/abdução e rotação interna/externa foi aproximadamente 20° de adução a 20° de abdução e 40° a 80° de rotação interna, respectivamente.

6 Conclusão

Em ambos os protocolos, o aumento da velocidade produziu um aumento na variabilidade das medidas. Desta forma, durante a corrida, foi encontrada uma maior variabilidade das distâncias entre os marcadores, uma maior variabilidade no comprimento dos segmentos e maiores diferenças entre os ângulos obtidos por cada protocolo.

Os protocolos não apresentaram diferenças no cálculo da variabilidade dos centros articulares usados na definição dos sistemas anatômicos. Neste aspecto, mesmo em movimentos que exijam grandes amplitudes e altas velocidades, não foram evidenciadas vantagens no uso de um protocolo em relação ao outro.

Os resultados sugerem que a composição corporal pode influenciar os resultados quando marcadores externos são usados para determinar a orientação dos segmentos durante o movimento. Em futuros trabalhos, o efeito de diferentes composições corporais nos resultados da análise do movimento poderia ser analisado.

Os erros na variabilidade da distância entre os marcadores foram maiores nos membros inferiores do que nos membros superiores e os erros na variabilidade do comprimento da perna foram maiores do que estes nos outros segmentos.

As diferenças entre os ângulos de flexão/extensão obtidos por cada protocolo foram menores do que estas entre os ângulos de adução/abdução e estes últimos apresentaram menores diferenças comparadas com as encontradas entre os ângulos de rotação externa/interna. Além disso, os ângulos de adução/abdução e rotação externa/interna devem ser observados com mais cautela, concordando com a literatura atual.

Portanto, neste trabalho foi feito uma análise cinemática integrada dos membros superiores e inferiores, através de um modelo completo de representação corporal, durante todo o ciclo de marcha e também de corrida, sendo apresentado de forma detalhada a cinemática angular, contribuindo, desta forma para a literatura atual.

7 Referências Bibliográficas

- ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. **Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates.** *Proc. ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry*, 1971.
- ANDRADE, E. L.M., BARROS, R.M.L.; ARAÚJO, A.G.N. **Análise de Marcha: Protocolo Experimental para posicionamento e orientação dos segmentos do corpo no humano baseado em sistemas de marcas técnicas.** *Brazilian Journal of Biomechanics*, n.8 Maio de 2004, p.33 a 40.
- ANDRADE, L.M. **Análise de Marcha: Protocolo Experimental a partir de variáveis cinemáticas e antropométricas.** 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- ANDRIACCHI, T.P.; ALEXANDER, E.J. **Studies of human locomotion: past, present and future.** *Journal of Biomechanics*. 33: 1217-1224, 2000.
- ANDRIACCHI, T.P.; ALEXANDER, E.J.; TONEY, M.K. DYRBY, C. and SUM, J. **A point cluster method for in vivo motion analysis: applied to a study of knee kinematics.** *Journal of Biomechanical Engineering*. 120(5): 743-749, 1998.
- ANGELONI, C.; CAPPOZZO, A.; CATANI, F.; LEARDINI, A. **Quantification of relative displacement of skin- and plate-mounted markers with respect to bones.** *Journal of Biomechanics* 26(7):864,1993.
- ARAÚJO, A.G.N.; ANDRADE, E. L.M.; BARROS, R.M.L. **Sistema para análise cinemática da marcha humana baseado em videogrametria.** *Revista Fisioterapia e Pesquisa- Vol II, (1): 3-10, 2004*
- ARAÚJO A. G. N **Proposição e avaliação de um modelo de representação dos membros superiores e escápula durante a marcha humana.** 2002. 62 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.
- AREBLAD, M.; NIGG, B.M.; EKSTRAND, J.; OLSSON, O.; EKSTROM, H. **Three - dimensional measurement of rearfoot motion during running.** *Journal of Biomechanics*. 23(9):933-940, 1990.
- BARROS, R. M. L.; RUSSOMANO, T.G.; BRENZIKOFER, R.; FIGUEROA, P. J. **A Method to Synchronize video cameras using the audio band.** *Journal of Biomechanics*. 39(4): 776-780, 2006.
- BELL, A. L.; PEDERSEN, D.R.; BRAND, R.A. **A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods.** *Journal of Biomechanics*. 23(06): 617-621, 1990.
- BENOIT, D.L.; RAMSEY, D.K.; LAMONTAGNE, M.; XU. L.; WRETENBERG, P.; RENSTROM, P. **Effect of skin movement artifact on knee kinematics during gait and cutting motions measured in vivo.** *Gait and Posture*. 24: 152-164, 2006.
- BUTLER, R.J.; DAVIS, I.M.; HAMILL, J. **Interaction of arch type and footwear on runningmechanics.** *The American Journal of Sports Medicine*, 34(12): 1998:2005, 2006.
- BROWNLEE, K. A. **Statistical theory and methodology in science and engineering.** Canada: John Wiley & Sons, 1960.
- CAPPOZZO, A.; CATANI, F.; LEARDINI, A. BENEDETTI, M.G., CROCE, U.D. **Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination.** *Clinical Biomechanics*. 10(4): 171-178, 1995.

- CAPPOZZO, A.; CATANI, F.; LEARDINI, A.; BENEDETTI, M.G.; CROCE, U.D. **Position and orientation in space of bones during movement: experimental artefacts.** *Clinical Biomechanics*. 11(2): 90-100, 1996.
- CAPPOZZO, A.; CROCE, U. D.; LEARDINI, A.; CHIARI, L. **Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 1: theoretical background.** *Gait and Posture*. 21: 186-196, 2005.
- CAVANAGH, P. R. **The biomechanics of lower extremity action in distance running.** *Foot & Ankle*. 07(04): 197-217., 1987.
- CAVANAGH, P. R. **Biomechanics of distance running.** Human Kinetics Books - Champaign, Illinois, 1990.
- CHAO, E.Y.S. **Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation.** *Journal of Biomechanics*. 13: 989-1006, 1980
- CUTTI, A. G.; PAOLINI, G.; TRONCOSSI, M.; CAPPELLO, A.; DAVALLI A. **Soft tissue artefact assessment in humeral axial rotation.** *Gait and Posture*. 21: 341-349, 2005.
- CUTTI, A. G.; CAPPELLO, A.; DAVALLI A. **In vivo validation of a new technique that compensates for soft tissue artefact in the upper-arm: Preliminary results.** *Clinical Biomechanics*. 21: S13-S19, 2006
- Davis B. D. **Reflections on clinical gait analysis.** *Electromyogr. Kinesiology*, 7 (4), 251-257, 1997.
- ESLAMI, M.; BEGON, M.; FARAHPOUR N.; ALLARD P. **Forefoot-rearfoot coupling patterns and tibial internal rotation during stance phase of barefoot versus shod running.** *Clinical Biomechanics*, 22, 74-80, 2007.
- FERBER, R.; DAVIS, I. M.; WILLIAN III, D. S. **Effect of foot orthotics on rearfoot and tibia joint coupling patterns and variability.** *Journal of Biomechanics* 38: 477:483, 2005.
- FERBER, R.; DAVIS, I. M.; WILLIAN III, D. S. **Gender differences in lower extremity mechanics during running.** *Clinical Biomechanics*. 18: 350-357, 2003.
- FERBER, R.; DAVIS, I. M.; WILLIAN III, D. S.; LAUGHTON, C. **A comparison of within- and between-day realibility of discrete 3D lower extremity variables in runners.** *Journal of Orthopaedic Research*. 20: 1139-1145, 2002.
- FIGUEROA, P.J.; BARROS R.M.L. **A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis.** *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 72: 155-65, 2003
- FULLER, J.; LIU, L. J.; MURPHY M.C.; MANN, R. W. **A comparison of lower-extremity skeletal kinematics measured using skin- and pin- mounted markers.** *Human Moviment Science*. 16(3): 219-242., 1997.
- HOLDEN, J.P.; ORSINI, J.A.; SIEGEL, K.L.; KEPPEL, T.M.; GERBER, L.H.; STANHOPE, S. T. **Surface movement errors in shank kinematics and knee kinetics during gait.** *Gait and Posture*. 5:217-227, 1997.
- Hingten, B.; Mc Guire, J. R.; Wang M.; Harris G. F. **An upper extremity kinematic model for evaluation of hemiparetic stroke.** *Journal of Biomechanics*. 39: 681-688., 2006.
- HUNTER, J.P.; MARSHALL, R.N.; MCNAIR P. J. **Segment-interaction analysis of the stance limb in sprint running.** *Journal of Biomechanics*. 37: 1439-1446., 2004.
- JACQUES, S.M.C **Bioestatística - Princípios e aplicações.** Porto Alegre: Editora Artmed, 2003.
- KADABA M. P.; RAMAKRISHNAN, H.K.; WOOTTEN, M.E. **Measurement of lower extremity kinematics during level walking.** *Journal of Orthopaedic Research*. 8: 383-392, 1990.
- KARAMANIDIS K.; ARAMPATZIS A.; GERT-PETER B. **Symmetry and reproducibility of kinematic parameters during various running techniques.** *Med. Science Sport Exerc.* 35(06):1009-1016, 2003.
- LEARDINI, A.; CHIARI, L.; CROCE, U.D.; CAPPOZZO, A. **Human movement analysis using stereophotogrammetry - Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation.** *Gait and Posture*. 21: 212-225, 2005.
- LUNDBERG A. **On the use of bone and skin markers in kinematics research.** *Human Movement Science*. 15: 411-422, 1996.

- MACCLAY, I.; MANAL K. **A comparison of three-dimensional lower extremity kinematics during running between excessive pronators and normals.** *Clinical Biomechanics*. 13(3): 195-203., 1998.
- MANAL K.; MACCLAY, I.; GALINAT,B.; STANHOPE S. **The accuracy of estimating proximal tibial translation during natural cadence walking: bone vs. skin mounted targets.** *Clinical Biomechanics*. 18: 126-131., 2003.
- MCLEAN, C.; DAVIS, I.M.; HAMILL, J. **Influence of a custom foot orthotic intervention on lower extremity dynamics in healthy runners.** *Clinical Biomechanics*, 21, 623-630, 2006.
- MESKERS, C.G.M.; VAN DER HELM, F.C.T.; ROZENDAAL, L.A.; ROZING P.M. **In vivo estimation of the glenohumeral joint rotation center from scapular bony landmarks by linear regression.** *Journal of Biomechanics*. 31: 93-96, 1998.
- NEWMAN, C.J.; WALSH, M.; SULLIVAN, R.; JENKINSON, A.; BENNETT, D.; LUNCH, B.; BRIEN T. **The characteristics in Charcot-Marie-Tooth disease types I and II.** *Gait and Posture*. 26: 120-127., 2007.
- NOVACHECK, T. F. **The biomechanics of running.** *Gait and Posture*. 7: 77-95., 1998.
- PARADISIS, G. P.; Cooke, C. B. **Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces.** *Journal of Sports Sciences*. 19: 149-159,2001.
- PERRY, J. **Análise de marcha - Marcha normal** Volume 1 Ed. Manole,2005.
- QUEEN, R.M.; GROSS, M.T.; LIU, H. **Repeatability of lower extremity kinetics and kinematics for standardized and self-selected running speeds.** *Gait and Posture*, 23, 282-287, 2006.
- RAB, G.; PETUSKEY, K.; BAGLEY, A. **A method for determination of upper extremity kinematics.** *Gait and Posture*, 15, 113-119, 2002.
- REINSCHMIDT, C.; VAN DER BOGERT, A.J.; LUNDBERG A.; NIGG B.M.; MURPHY N.; STACOFF, A.; Stano, A. **Tibiofemoral and tibioalcaneal motion during walking: external vs. skeletal markers.** *Gait and Posture*, 6, 98-109, 1997a.
- REINSCHMIDT, C.; VAN DER BOGERT, A.J.; NIGG, B.M.; LUNDBERG A.; MURPHY N. **Effect of skin movement on the analysis of skeletal knee joint motion during running.** *Journal of Biomechanics*. 30(07): 729-732, 1997b.
- REINSCHMIDT, C.; VAN DER BOGERT, A.J.; MURPHY N.; LUNDBERG A.; B.M. NIGG **Tibioalcaneal motion during running, measured with external and bone markers.** *Clinical Biomechanics*. 12(1): 08-16, 1997c.
- STIEHL, J. B.; KOMISTEK, R. D.; DENNIS D. A.; PAXSON R. D. **Fluoroscopic analysis of kinematics after posterior-cruciate-retaining knee arthroplasty.** *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 77-B: 884-889., 1995.
- SUDHOFF, I.; DRIESSCHE, V.; LAPORTE, S.; GUISE, J.A.; SKALLI, W. **Comparing three attachment systems used to determine knee kinematics during gait.** *Gait and Posture*. 25:1533-1543, 2007.
- TRANBERG, R.; KARLSSON, D. **The relative skin movement of the foot: a 2-D roentgen photogrammetry study.** *Clinical Biomech*. 13(1): 71-76, 1998.
- VAUGHAN C.L.; DAVIS,B.L.; CONNOR, J.C. **Dynamics of Human Gait.** 2^a ed. Kiboho Publishers - Cape Town, South Africa, 1999.
- WILLIAN III, D. S.; DAVIS, I. M.; SCHOLZ, J. P.; HAMILL J.; BUCHAMAN, T. S. **High-arched runners exhibit increased leg siffness compared to low-arched runners.** *Gait and Posture*. 19: 263-269, 2004.
- WIT, B.; CLERCQ, D.; AERTS, P. **Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shot running.** *Journal of Biomechanics*. 33: 269-278., 2000.
- YAVUZER.G.; OKEN. O.; ELHAN. A.; STAM. H.J. **Repeatability of lower limb three-dimensional kinematics in patients with stroke.** *Gait and Posture*. In press, 2007.
- ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis.** 4. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

ANEXOS

**ANEXO A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(REPRESENTANTE LEGAL DO MENOR DE 18 ANOS)**

Eu, _____, portador do RG nº _____,
residente à _____ nº. _____, bairro
_____, cidade de _____, estado _____, telefone
nº _____ declaro ter conhecimento sobre a pesquisa intitulada “**Comparação de protocolos de posicionamento de marcadores em diferentes velocidades**”, desenvolvida pela fisioterapeuta Andreia Nogueira Miana, Crefito 41470-F, no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas, sob a orientação do Professor Doutor Ricardo Machado Leite de Barros.

Nesta unidade, fui devidamente informado sobre o seguinte:

1. que os marcadores utilizados para a coleta dos dados não são invasivos, afixados externamente na pele e desse modo, não têm efeitos colaterais e não trazem qualquer risco previsíveis para a integridade física dos participantes;
2. que os participantes contribuirão para a coleta adequada dos seus dados, estando cientes dos trajes a serem utilizados durante a pesquisa, mesmo que segmentos corporais apresentem-se expostos;
3. que todo e qualquer gasto que houver relacionado à pesquisa, por parte dos voluntários, será ressarcido pelos pesquisadores
4. que as imagens obtidas durante a coleta serão exclusivamente utilizadas para análise e tratamento dos dados, pela própria pesquisadora, com finalidade científica, sendo posteriormente eliminadas;
5. que o objetivo geral do programa é comparar protocolos de posicionamento de marcadores durante a corrida em esteira ergométrica, com o intuito de adquirir um maior conhecimento dos movimentos dos velocistas durante a corrida;
6. que a participação das pessoas é de caráter voluntário e estas poderão, a qualquer momento, abandoná-la.
7. que receberei uma cópia deste termo de consentimento.

Portanto, autorizo voluntariamente a participação do menor _____, idade _____.

Campinas, SP, _____, de _____ de _____

Assinatura do voluntário

Contatos: Ft. Andreia Nogueira Miana : (11)7109 1884

Prof. Dr Ricardo Machado : (19) 3521 6626

Comitê de Ética em Pesquisa/FCM/UNICAMP

Tel: (19)3521 8936

E-mail: cep@head.fcm.unicamp.br

Endereço: Caixa Postal 6111 – CEP: 13083-970 – Campinas, SP.

**ANEXO B: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(MAIORES DE 18 ANOS)**

Eu, _____, portador do RG nº _____,
residente à _____ nº. _____, bairro
_____, cidade de _____, estado _____, telefone
nº _____ declaro que aceitei participar da pesquisa intitulada **“Comparação de protocolos de posicionamento de marcadores em diferentes velocidades”**, desenvolvida pela fisioterapeuta Andreia Nogueira Miana, Crefito 41470-F, no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas, sob a orientação do Professor Doutor Ricardo Machado Leite de Barros.

Nesta unidade, fui devidamente informado sobre o seguinte:

1. que os marcadores utilizados para a coleta dos dados não são invasivos, afixados externamente na pele e desse modo, não têm efeitos colaterais e não trazem qualquer risco previsível para a minha integridade física;
2. que contribuirei para a coleta adequada dos meus dados, estando ciente dos trajes a serem utilizados durante a pesquisa, mesmo que segmentos corporais apresentem-se expostos;
3. que todo e qualquer gasto que houver relacionado à pesquisa, por parte dos voluntários, será ressarcido pelos pesquisadores.
4. que as imagens obtidas durante a coleta serão exclusivamente utilizadas para análise e tratamento dos dados, pela própria pesquisadora, com finalidade científica, sendo posteriormente eliminadas;
5. que o objetivo geral do programa é comparar protocolos de posicionamento de marcadores durante a corrida em esteira ergométrica, com o intuito de adquirir um maior conhecimento dos movimentos dos velocistas durante a corrida;
6. que a minha participação é de caráter voluntário e poderei, a qualquer momento abandonar a pesquisa.
7. que receberei uma cópia deste termo de consentimento.

Campinas, SP, _____, de _____ de _____

Assinatura do voluntário

Contatos: Ft. Andreia Nogueira Miana : (11)7109 1884

Prof. Dr Ricardo Machado : (19) 3521 6626

Comitê de Ética em Pesquisa/FCM/UNICAMP

Tel: (19)3521 8936

E-mail: cep@head.fcm.unicamp.br

Endereço: Caixa Postal 6111 – CEP: 13083-970 – Campinas, SP.

**ANEXO C: POSICIONAMENTO DOS MARCADORES DOS DOIS PROTOCOLOS NA
TOMADA ESTÁTICA**

PROTOCOLO DE MARCADORES TÉCNICOS
PROTOCOLO DE MARCADORES ANATÔMICOS
AMBOS

Pé

- 1 – CALCÂNEO DIREITO
- 2 – CALCÂNEO ESQUERDO
- 3 – CABEÇA DO 1º METATARSO DIREITO
- 4 – CABEÇA DO 1º METATARSO ESQUERDO
- 5 – CABEÇA DO 2º METATARSO DIREITO
- 6 – CABEÇA DO 2º METATARSO ESQUERDO
- 7 – CABEÇA DO 5º METATARSO DIREITO
- 8 – CABEÇA DO 5º METATARSO ESQUERDO

Perna

- 9 – MALEOLO LATERAL DIREITO
- 10 – MALEOLO LATERAL ESQUERDO
- 11 – MALEOLO MEDIAL DIREITO
- 12 – MALEOLO MEDIAL ESQUERDO
- 13 - CABEÇA DA FÍBULA DIREITA
- 14 - CABEÇA DA FÍBULA ESQUERDA
- 15 – TUBEROSIDADE DA TÍBIA DIREITA
- 16 – TUBEROSIDADE DA TÍBIA ESQUERDA
- 17 – PONTO NA DIÁFISE DA TÍBIA D
- 18 – PONTO NA DIÁFISE DA TÍBIA E

Coxa

- 19 – CÔNDILO LATERAL DO FEMUR DIREITO
- 20 – CÔNDILO LATERAL DO FEMUR ESQUERDO
- 21 – CÔNDILO MEDIAL DO FEMUR DIREITO
- 22 – CÔNDILO MEDIAL DO FEMUR ESQUERDO
- 23 – TROCANTER MAIOR DO FEMUR DIREITO
- 24 – TROCANTER MAIOR DO FEMUR ESQUERDO

Mão

- 25 – PROCESSO ESTILOÍDE DO RÁDIO DIREITO
- 26 – PROCESSO ESTILOÍDE DO RÁDIO ESQUERDO

Antebraço

- 27 – PROCESSO ESTILOÍDE DA ULNA DIREITA
- 28 – PROCESSO ESTILOÍDE DA ULNA ESQUERDA

Braço

- 29 – EPICÔNDILO LATERAL DIREITO
- 30 – EPICÔNDILO LATERAL ESQUERDO

- 31 – EPICÔNDILO MEDIAL DIREITO
- 32 – EPICÔNDILO MEDIAL ESQUERDO
- 33 – INSERÇÃO DO MÚSCULO DELTÓIDE DIREITO
- 34 – INSERÇÃO DO MÚSCULO DELTÓIDE ESQUERDO

Escápula

- 35 – ACRÔMIO DIREITO
- 36 – ACRÔMIO ESQUERDO
- 37 – BORDA MEDIAL DA ESPINHA DA ESCÁPULA DIREITA
- 38 – BORDA MEDIAL DA ESPINHA DA ESCÁPULA ESQUERDA
- 39 – ÂNGULO INFERIOR DA ESCÁPULA DIREITA
- 40 – ÂNGULO INFERIOR DA ESCÁPULA ESQUERDA
- 41 – ÂNGULO ACROMIAL DIREITO
- 42 – ÂNGULO ACROMIAL ESQUERDO
- 43 – PROCESSO CORACÓIDE DIREITO
- 44 – PROCESSO CORACÓIDE ESQUERDO

Cabeça

- 45 – VÉRTEX DO OSSO PARIETAL
- 46 – REGIÃO LATERAL DO ARCO ZIGOMÁTICO DIREITO
- 47 – REGIÃO LATERAL DO ARCO ZIGOMÁTICO ESQUERDO
- 48 – PROCESSO ESPINHOSO DA 7ª VÉRTEBRA CERVICAL

Tronco

- 49 – INCISURA JUGULAR DO OSSO ESTERNO
- 50 – ESPINHA ILÍACA PÓSTERO-SUPERIOR DIREITA
- 51 – ESPINHA ILÍACA PÓSTERO-SUPERIOR ESQUERDA
- 52 – PROCESSO XIFÓIDE DO OSSO ESTERNO
- 53 – ESPINHA ILÍACA ÂNTERO-SUPERIOR DIREITA
- 54 – ESPINHA ILÍACA ÂNTERO-SUPERIOR ESQUERDA
- 55 – PROCESSO ESPINHOSO DA OITAVA VERTEBRA TORÁCICA

CRUZES

Perna direita

- 56 - posterior superior
- 57 – anterior superior
- 58 – anterior inferior

Perna esquerda

- 59 - posterior superior
- 60 – anterior superior
- 61 – anterior inferior

Coxa direita

- 62 – anterior inferior
- 63 – anterior superior
- 64 – posterior superior

Coxa esquerda

- 65 – anterior inferior
- 66 – anterior superior
- 67 – posterior superior

Antebraço direito

- 68 – posterior inferior
- 69 – anterior inferior
- 70 – posterior superior

Antebraço esquerdo

- 71 – posterior inferior
- 72 – anterior inferior
- 73 – posterior superior

Braço direito

- 74 – anterior inferior
- 75 – anterior superior
- 76 – posterior superior

Braço esquerdo

- 77 – anterior inferior
- 78 – anterior superior
- 79 – posterior superior

Total: 79 Marcadores

55 Marcadores de superfície
24 Marcadores nas cruzes

**ANEXO D: POSICIONAMENTO DOS MARCADORES DOS DOIS PROTOCOLOS NA
TOMADA DINÂMICA**

PROTOCOLO DE MARCADORES TÉCNICOS
PROTOCOLO DE MARCADORES ANATÔMICOS
AMBOS

Pé

- 1 – CALCÂNEO DIREITO
- 2 – CALCÂNEO ESQUERDO
- 3 – CABEÇA DO 1º METATARSO DIREITO
- 4 – CABEÇA DO 1º METATARSO ESQUERDO
- 7 – CABEÇA DO 5º METATARSO DIREITO
- 8 – CABEÇA DO 5º METATARSO ESQUERDO

Perna

- 9 – MALEOLO LATERAL DIREITO
- 10 – MALEOLO LATERAL ESQUERDO
- 15 – TUBEROSIDADE DA TÍBIA DIREITA
- 16 – TUBEROSIDADE DA TÍBIA ESQUERDA
- 17 – PONTO NA DIÁFISE DA TÍBIA D
- 18 – PONTO NA DIÁFISE DA TÍBIA E

Coxa

- 19 – CÔNDILO LATERAL DO FEMUR DIREITO
- 20 – CÔNDILO LATERAL DO FEMUR ESQUERDO
- 23 – TROCANTER MAIOR DO FEMUR DIREITO
- 24 – TROCANTER MAIOR DO FEMUR ESQUERDO

Mão

- 25 – PROCESSO ESTILÓIDE DO RÁDIO DIREITO
- 26 – PROCESSO ESTILÓIDE DO RÁDIO ESQUERDO

Antebraço

- 27 – PROCESSO ESTILÓIDE DA ULNA DIREITA
- 28 – PROCESSO ESTILÓIDE DA ULNA ESQUERDA

Braço

- 29 – EPICÔNDILO LATERAL DIREITO
- 30 – EPICÔNDILO LATERAL ESQUERDO
- 33 – INSERÇÃO DO MÚSCULO DELTÓIDE DIREITO
- 34 – INSERÇÃO DO MÚSCULO DELTÓIDE ESQUERDO

Escápula

- 35 – ACRÔMIO DIREITO
- 36 – ACRÔMIO ESQUERDO
- 37 – BORDA MEDIAL DA ESPINHA DA ESCÁPULA DIREITA
- 38 – BORDA MEDIAL DA ESPINHA DA ESCÁPULA ESQUERDA

- 39 – ÂNGULO INFERIOR DA ESCÁPULA DIREITA
- 40 – ÂNGULO INFERIOR DA ESCÁPULA ESQUERDA
- 41 – ÂNGULO ACROMIAL DIREITO
- 42 – ÂNGULO ACROMIAL ESQUERDO
- 43 – PROCESSO CORACÓIDE DIREITO
- 44 – PROCESSO CORACÓIDE ESQUERDO

Cabeça

- 45 – VÉRTICE DO OSSO PARIETAL
- 46 – REGIÃO LATERAL DO ARCO ZIGOMÁTICO DIREITO
- 47 – REGIÃO LATERAL DO ARCO ZIGOMÁTICO ESQUERDO
- 48 – PROCESSO ESPINHOSO DA 7ª VÉRTEBRA CERVICAL

Tronco

- 49 – INCISURA JUGULAR DO OSSO ESTERNO
- 50 – ESPINHA ILÍACA PÓSTERO-SUPERIOR DIREITA
- 51 – ESPINHA ILÍACA PÓSTERO-SUPERIOR ESQUERDA
- 52 – PROCESSO XIFÓIDE DO OSSO ESTERNO
- 53 – ESPINHA ILÍACA ÂNTERO-SUPERIOR DIREITA
- 54 – ESPINHA ILÍACA ÂNTERO-SUPERIOR ESQUERDA
- 55 – PROCESSO ESPINHOSO DA OITAVA VERTEBRA TORÁCICA

CRUZES

Perna direita

- 56 - posterior superior
- 57 – anterior superior
- 58 – anterior inferior

Perna esquerda

- 59 - posterior superior
- 60 – anterior superior
- 61 – anterior inferior

Coxa direita

- 62 – anterior inferior
- 63 – anterior superior
- 64 – posterior superior

Coxa esquerda

- 65 – anterior inferior
- 66 – anterior superior
- 67 – posterior superior

Antebraço direito

- 68 – posterior inferior
- 69 – anterior inferior
- 70 – posterior superior

Antebraço esquerdo

71 – posterior inferior

72 – anterior inferior

73 – posterior superior

Braço direito

74 – anterior inferior

75 – anterior superior

76 – posterior superior

Braço esquerdo

77 – anterior inferior

78 – anterior superior

79 – posterior superior

Total: 69 Marcadores

45 Marcadores de superfície

24 Marcadores nas cruzes

Observação: A numeração não está na ordem correta devido aos marcadores que foram removidos na tomada dinâmica.

ANEXO E: CÁLCULO DOS CENTROS ARTICULARES DOS TORNOZELOS JOELHOS, QUADRIIS, OMBROS, COTOVELOS E PUNHOS.

Cálculo do centro articular do tornozelo:

$$CAT = \frac{LM + MM}{2}$$

Cálculo do centro articular do joelho:

$$CAJ = \frac{LC + MC}{2}$$

Cálculo do centro articular do quadril (equação de regressão proposta por Bell (1990)):

$$xCAQ = -0,30 \times |ASISd - ASISe|;$$

$$yCAQ = -0,19 \times |ASISd - ASISe|;$$

$$zCAQ = -0,36i \times |ASISd - ASISe|.$$

$i = 1$ para o cálculo do centro articular do quadril direito

$i = -1$ para o cálculo do centro articular do quadril esquerdo

x = eixo longitudinal da pelve; y = eixo sagital da pelve; z = eixo transversal da pelve

Cálculo do centro articular do ombro (equação de regressão proposta por Meskers (1998)):

$$xCAO = 18,9743 + xPCi \times 0,2434 + xAIi \times 0,2341 + |AI - AA| \times 0,1590 + yPC \times 0,0558$$

$$yCAO = -3,8791 + |AC - AA| \times (-0,3940) + yPC \times 0,1732 + xAI \times 0,1205 + |AC - PC| \times (-0,1002)$$

$$zCAO = 9,2629 + zPC \times 1,0255 + yPC \times (-2,403) + |TS - PC| \times 0,1720$$

$i = 1$ para o cálculo do centro articular do ombro direito

$i = -1$ para o cálculo do centro articular do ombro esquerdo

x = eixo transversal da escápula; y = eixo longitudinal da escápula; z = eixo sagital da escápula

Cálculo do centro articular do cotovelo:

$$CAC = \frac{ME + LE}{2}$$

Cálculo do centro articular do punho:

$$CAP = \frac{US + RS}{2}$$

ANEXO F: CÁLCULO DA ORIENTAÇÃO TÉCNICA DE CADA SEGMENTO CORPORAL PARA CADA PROTOCOLO

Cálculo do sistema de coordenadas técnicas do protocolo de marcadores (as localizações de c1, c2 e c3 foram mostradas na Figura 6).

$$\begin{aligned} \mathbf{O1} &= \frac{\mathbf{c1} + \mathbf{c3}}{2}; & \bar{\mathbf{a1}} &= \mathbf{c1} - \mathbf{c2}; & \bar{\mathbf{b1}} &= \mathbf{c3} - \mathbf{c2}; \\ \bar{\mathbf{k1}} &= \frac{\mathbf{c3} - \mathbf{O1}}{|\mathbf{c3} - \mathbf{O1}|}; & \bar{\mathbf{i1}} &= \frac{\bar{\mathbf{a1}} \times \bar{\mathbf{b1}}}{|\bar{\mathbf{a1}} \times \bar{\mathbf{b1}}|}; & \bar{\mathbf{j1}} &= \frac{\bar{\mathbf{k1}} \times \bar{\mathbf{i1}}}{|\bar{\mathbf{k1}} \times \bar{\mathbf{i1}}|}. \end{aligned}$$

Cálculo do sistema de coordenadas técnicas do protocolo de marcadores anatômicos (as localizações de d1, d2 e d3 foram mostradas na Figura 6).

$$\begin{aligned} \mathbf{O2} &= \mathbf{d2}; & \bar{\mathbf{a2}} &= \mathbf{d1} - \mathbf{d2}; & \bar{\mathbf{b2}} &= \mathbf{d3} - \mathbf{d2}; \\ \bar{\mathbf{j2}} &= \frac{\bar{\mathbf{b2}} \times \bar{\mathbf{a2}}}{|\bar{\mathbf{b2}} \times \bar{\mathbf{a2}}|}; & \bar{\mathbf{i2}} &= \frac{\bar{\mathbf{j2}} \times \bar{\mathbf{b2}}}{|\bar{\mathbf{j2}} \times \bar{\mathbf{b2}}|}; & \bar{\mathbf{k2}} &= \frac{\bar{\mathbf{i2}} \times \bar{\mathbf{j2}}}{|\bar{\mathbf{i2}} \times \bar{\mathbf{j2}}|}. \end{aligned}$$

ANEXO G: CÁLCULO DA ORIENTAÇÃO ANATÔMICA DE CADA SEGMENTO CORPORAL DURANTE A TOMADA ESTÁTICA

Sistema de coordenadas anatômicas da cabeça (Oh , ih , jh , kh):

$$\begin{aligned} Oh &= C7; & \bar{a}h &= ZAd - TA; & \bar{b}h &= ZAE - TA; \\ \bar{k}h &= \frac{ZAE - ZAd}{|ZAE - ZAd|}; & \bar{j}h &= \frac{\bar{a}h \times \bar{b}h}{|\bar{a}h \times \bar{b}h|}; & \bar{i}h &= \frac{\bar{j}h \times \bar{k}h}{|\bar{j}h \times \bar{k}h|}. \end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas do tórax (Ot , it , jt , kt):

$$\begin{aligned} Mt &= \frac{PX + T8}{2}; Nt = \frac{IJ + C7}{2} & \bar{a}t &= C7 - Mt; & \bar{b}t &= IJ - Mt; \\ Ot &= IJ; & \bar{i}t &= \frac{Nt - Mt}{|Nt - Mt|}; & \bar{k}t &= \frac{\bar{a}t \times \bar{b}t}{|\bar{a}t \times \bar{b}t|}; & \bar{j}t &= \frac{\bar{k}t \times \bar{i}t}{|\bar{k}t \times \bar{i}t|}. \end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas da escápula (Os , is , js , ks):

$$\begin{aligned} Os &= AA; & \bar{a}s &= AI - AA; \\ \bar{k}s &= \frac{AA - TS}{|AA - TS|}; & \bar{j}s &= \frac{\bar{a}t \times \bar{k}t}{|\bar{a}t \times \bar{k}t|}; & \bar{i}s &= \frac{\bar{j}t \times \bar{k}t}{|\bar{j}t \times \bar{k}t|}. \end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas do braço (Oa , ia , ja , ka):

$$\begin{aligned} Oa &= \frac{ME + LE}{2}; & \bar{a}a &= LE - CAO; & \bar{b}a &= ME - CAO; \\ \bar{i}a &= \frac{CAO - Oa}{|CAO - Oa|}; & \bar{j}a &= \frac{\bar{b}a \times \bar{a}a}{|\bar{b}a \times \bar{a}a|}; & \bar{k}a &= \frac{\bar{i}a \times \bar{j}a}{|\bar{i}a \times \bar{j}a|}. \end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas do antebraço (Of , if , jf , kf):

$$\begin{aligned} Of &= \frac{RS + US}{2}; Mf = \frac{LE + ME}{2} & \bar{a}f &= US - Mf; & \bar{b}f &= UR - Mf; \\ \bar{i}f &= \frac{Mf - Of}{|Mf - Of|}; & \bar{j}f &= \frac{\bar{a}f \times \bar{b}f}{|\bar{a}f \times \bar{b}f|}; & \bar{k}f &= \frac{\bar{i}f \times \bar{j}f}{|\bar{i}f \times \bar{j}f|}. \end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas da pelve (Op , ip , jp , kp):

$$\begin{aligned}\mathbf{Op} &= \frac{ASISd + ASISe}{2}; Mp = \frac{PSISd + PSISe}{2} \quad \bar{\mathbf{a}}p = ASISd - Mp; \quad \bar{\mathbf{b}}p = ASISe - Mp; \\ \bar{\mathbf{k}}p &= \frac{ASISe - \mathbf{Op}}{|ASISe - \mathbf{Op}|}; \quad \bar{\mathbf{i}}p = \frac{\bar{\mathbf{a}}p \times \bar{\mathbf{b}}p}{|\bar{\mathbf{a}}p \times \bar{\mathbf{b}}p|}; \quad \bar{\mathbf{j}}p = \frac{\bar{\mathbf{k}}p \times \bar{\mathbf{i}}p}{|\bar{\mathbf{k}}p \times \bar{\mathbf{i}}p|}.\end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas da coxa (*Oth*, *ith*, *jth*, *kth*):

$$\begin{aligned}\mathbf{Oth} &= \frac{LC + MC}{2}; \quad \bar{\mathbf{a}}th = LC - CAQ; \quad \bar{\mathbf{b}}th = MC - CAQ; \\ \bar{\mathbf{i}}th &= \frac{CAQ - \mathbf{Oth}}{|CAQ - \mathbf{Oth}|}; \quad \bar{\mathbf{j}}th = \frac{\bar{\mathbf{a}}th \times \bar{\mathbf{b}}th}{|\bar{\mathbf{a}}th \times \bar{\mathbf{b}}th|}; \quad \bar{\mathbf{k}}th = \frac{\bar{\mathbf{i}}th \times \bar{\mathbf{j}}th}{|\bar{\mathbf{i}}th \times \bar{\mathbf{j}}th|}.\end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas da perna (*Osh*, *ish*, *jsh*, *ksh*):

$$\begin{aligned}\mathbf{Osh} &= \frac{LM + MM}{2}; Msh = \frac{TT - \mathbf{Osh}}{|TT - \mathbf{Osh}|} \quad \bar{\mathbf{a}}sh = LM - HF; \quad \bar{\mathbf{b}}sh = MM - HF; \\ \bar{\mathbf{j}}sh &= \frac{\bar{\mathbf{a}}sh \times \bar{\mathbf{b}}sh}{|\bar{\mathbf{a}}sh \times \bar{\mathbf{b}}sh|} \quad \bar{\mathbf{k}}sh = \frac{Msh \times \bar{\mathbf{j}}sh}{|Msh \times \bar{\mathbf{j}}sh|}; \quad \bar{\mathbf{i}}sh = \frac{\bar{\mathbf{j}}sh \times \bar{\mathbf{k}}sh}{|\bar{\mathbf{j}}sh \times \bar{\mathbf{k}}sh|}.\end{aligned}$$

Sistema de coordenadas anatômicas do pé (*Oft*, *ift*, *jft*, *kft*):

$$\begin{aligned}\mathbf{Oft} &= CL; Mft = \frac{H2 - CL}{|H2 - CL|} \quad \bar{\mathbf{a}}ft = H1 - CL; \quad \bar{\mathbf{b}}ft = H5 - CL; \\ \bar{\mathbf{j}}ft &= \frac{\bar{\mathbf{b}}ft \times \bar{\mathbf{a}}ft}{|\bar{\mathbf{b}}ft \times \bar{\mathbf{a}}ft|} \quad \bar{\mathbf{k}}ft = \frac{\bar{\mathbf{j}}ft \times Mft}{|\bar{\mathbf{j}}ft \times Mft|}; \quad \bar{\mathbf{i}}ft = \frac{\bar{\mathbf{j}}ft \times \bar{\mathbf{k}}ft}{|\bar{\mathbf{j}}ft \times \bar{\mathbf{k}}ft|}.\end{aligned}$$

ANEXO H: CÁLCULO DE MUDANÇA DE SISTEMAS DE COORDENADAS

Na tomada estática, dada a base anatômica de cada segmento em relação ao sistema de coordenadas global (${}^G\mathbf{Ae}$) e a base técnica de cada segmento para cada protocolo em relação ao sistema de coordenadas global (${}^G\mathbf{Te}$) é possível obter a base anatômica de cada segmento em relação a base técnica de cada protocolo (${}^T\mathbf{A}$) para cada segmento através da seguinte equação:

$${}^T\mathbf{A} = {}^G\mathbf{Te}^{-1} \times ({}^G\mathbf{Ae} - {}^G\mathbf{Oe})$$

Onde ${}^G\mathbf{Te}$ é definido como a matriz de rotação que define a orientação do sistema técnico em relação ao global para cada protocolo na tomada estática e ${}^G\mathbf{Oe}$ é o vetor posição da origem do sistema de coordenadas técnico para cada protocolo em relação ao $\mathbf{G}$ (sistema global) na tomada estática.

Na tomada dinâmica, a base anatômica de cada segmento em relação ao $\mathbf{G}$ (${}^G\mathbf{Ad}$) é obtida a partir da base anatômica de cada segmento em relação à base técnica de cada protocolo para cada segmento obtida na tomada estática (${}^T\mathbf{A}$) que é mesma na tomada dinâmica. O cálculo é feito através da seguinte equação:

$${}^G\mathbf{Ad} = {}^G\mathbf{Td} \times {}^T\mathbf{A} + {}^G\mathbf{Od}$$

ANEXO I: CÁLCULO DOS ÂNGULOS ARTICULARES

As matrizes que representam as rotações nos eixos z, y' e x'' são, respectivamente:

$$R_z\phi = \begin{bmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_y\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} R_x\psi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & \sin\psi \\ 0 & -\sin\psi & \cos\psi \end{bmatrix}$$

Portanto a orientação do segmento distal em relação ao segmento proximal pode ser obtida em termos dos ângulos de Euler, pela seguinte matriz de rotação:

$$\begin{bmatrix} Xd \\ Yd \\ Zd \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\theta & \sin\phi\cos\theta & -\sin\theta \\ -\sin\phi\cos\psi + \cos\phi\sin\theta\sin\psi & \cos\phi\cos\psi + \sin\phi\sin\theta\sin\psi & \cos\theta\sin\psi \\ \sin\phi\sin\psi + \cos\phi\sin\theta\cos\psi & -\cos\phi\sin\psi + \sin\phi\sin\theta\cos\psi & \cos\theta\cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ Zp \end{bmatrix}$$

onde [Xd Yd Zd] formam a base do segmento distal e [Xp Yp Zp] formam a base do segmento proximal.

As seguintes convenções para o cálculo dos ângulos foram (Chao, 1980):

$$\theta = \sin^{-1}(\vec{X}d \bullet \vec{Z}p)$$

$$\psi = \sin^{-1}(\vec{Y}d \bullet \vec{Z}p/\cos)$$

$$\phi = \sin^{-1}(\vec{X}d \bullet \vec{Y}p/\cos)$$

onde θ representa o ângulo de abdução / adução, ψ representa o ângulo de rotação interna / rotação externa e ϕ representa o ângulo de flexão / extensão

ANEXO J: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES PARA CADA SEGMENTO

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES DE CADA PROTOCOLO PARA AS COXAS

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Coxa Direita					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			62-63	62-64	63-64	21-25	21-CAQ	25-CAQ
A	5,00	Média	11,72	16,47	11,97	41,13	44,61	10,17
		Desvio Padrão	0,28	0,37	0,35	0,45	0,49	0,56
	20,00	Média	11,61	16,62	11,82	41,68	44,75	10,26
		Desvio Padrão	0,34	0,41	0,38	0,62	0,63	0,65
B	5,00	Média	11,62	16,42	11,82	11,05	44,28	9,77
		Desvio Padrão	0,31	0,28	0,34	0,44	0,62	0,59
	20,00	Média	11,39	16,57	12,00	40,84	44,21	10,25
		Desvio Padrão	0,34	0,36	0,35	0,67	0,88	0,70
C	5,00	Média	11,60	16,58	11,76	39,25	42,47	8,47
		Desvio Padrão	0,36	0,35	0,35	0,36	0,47	0,36
	20,00	Média	11,65	16,61	11,71	39,49	42,68	9,05
		Desvio Padrão	0,41	0,32	0,37	0,63	0,50	0,67
D	5,00	Média	11,68	16,50	11,74	39,15	43,11	9,77
		Desvio Padrão	0,31	0,31	0,26	0,36	0,48	0,51
	20,00	Média	11,56	16,55	11,85	39,44	43,15	9,59
		Desvio Padrão	0,33	0,35	0,37	0,44	0,59	0,62
E	5,00	Média	11,75	16,49	16,65	42,04	42,28	8,97
		Desvio Padrão	0,33	0,36	0,31	0,55	0,65	0,52
	20,00	Média	11,58	16,30	11,69	42,51	44,24	9,37
		Desvio Padrão	0,24	0,38	0,32	0,65	0,80	0,40
F	5,00	Média	11,62	16,44	11,98	39,34	41,01	8,39
		Desvio Padrão	0,35	0,26	0,28	0,42	0,31	0,43
	20,00	Média	11,51	16,55	11,71	39,68	41,28	8,85
		Desvio Padrão	0,39	0,35	0,21	0,77	0,70	0,50
Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Coxa Esquerda					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			65-66	65-67	66-67	22-26	22-CAQ	26-CAQ
A	5,00	Média	11,67	16,57	11,66	39,69	44,80	10,62
		Desvio Padrão	0,37	0,36	0,38	0,41	0,35	0,47
	20,00	Média	11,78	16,62	11,58	40,51	45,09	10,98
		Desvio Padrão	0,31	0,40	0,40	0,67	0,52	0,71
B	5,00	Média	11,32	16,48	11,77	40,70	44,29	10,92
		Desvio Padrão	0,24	0,33	0,28	0,45	0,54	0,38
	20,00	Média	11,36	16,51	11,74	40,95	44,13	11,26
		Desvio Padrão	0,33	0,27	0,35	0,82	0,76	0,48
C	5,00	Média	11,61	16,44	11,70	38,70	42,75	9,89
		Desvio Padrão	0,39	0,33	0,34	0,56	0,48	0,36
	20,00	Média	11,63	16,45	11,55	38,75	42,70	9,62
		Desvio Padrão	0,44	0,28	0,25	0,50	0,37	0,63
D	5,00	Média	11,64	16,66	11,67	38,92	42,93	10,50
		Desvio Padrão	0,27	0,23	0,29	0,38	0,47	0,45
	20,00	Média	11,59	16,72	11,85	39,46	42,90	10,39
		Desvio Padrão	0,35	0,28	0,33	0,38	0,72	0,55
E	5,00	Média	14,48	16,45	11,81	43,44	45,05	10,61
		Desvio Padrão	0,31	0,29	0,27	0,68	0,63	0,44
	20,00	Média	11,49	16,46	11,60	43,66	45,01	10,86
		Desvio Padrão	0,27	0,34	0,27	0,76	0,78	0,45
F	5,00	Média	11,39	16,62	11,99	38,33	41,90	10,45
		Desvio Padrão	0,35	0,37	0,37	0,29	0,50	0,34
	20,00	Média	11,57	16,47	11,59	38,48	41,87	10,30
		Desvio Padrão	0,26	0,32	0,35	0,07	0,54	0,53

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES DE CADA PROTOCOLO PARA AS PERNAS

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Perna Direita					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			56-57	56-58	57-58	11-17	11-88	17-88
A	5,00	Média	11,62	16,45	11,82	35,35	21,29	15,79
		Desvio Padrão	0,34	0,39	0,32	0,59	0,65	0,38
	20,00	Média	11,51	16,24	11,98	35,60	21,10	15,97
		Desvio Padrão	0,46	0,37	0,28	0,33	0,83	0,79
B	5,00	Média	11,33	16,53	11,90	38,35	16,71	23,27
		Desvio Padrão	0,36	0,23	0,30	0,50	0,56	0,51
	20,00	Média	11,49	16,77	11,82	39,19	17,18	23,81
		Desvio Padrão	0,33	0,40	0,27	0,54	0,86	0,84
C	5,00	Média	11,35	16,23	11,80	32,90	15,10	19,30
		Desvio Padrão	0,31	0,30	0,27	0,39	0,59	0,40
	20,00	Média	11,36	16,49	11,98	33,58	15,45	19,64
		Desvio Padrão	0,37	0,30	0,33	0,46	0,88	0,64
D	5,00	Média	11,57	16,38	11,64	38,65	18,36	22,25
		Desvio Padrão	0,29	0,30	0,28	0,36	0,55	0,42
	20,00	Média	11,65	16,420	11,63	39,36	18,32	22,77
		Desvio Padrão	0,35	0,38	0,34	0,77	0,87	0,67
E	5,00	Média	11,55	16,39	11,78	35,37	19,13	17,89
		Desvio Padrão	0,32	0,36	0,24	0,59	0,53	0,37
	20,00	Média	11,55	16,41	11,82	35,78	18,72	18,67
		Desvio Padrão	0,36	0,36	0,28	0,47	0,78	0,68
F	5,00	Média	11,68	16,51	11,54	37,52	22,80	17,38
		Desvio Padrão	0,33	0,34	0,30	0,33	0,59	0,30
	20,00	Média	11,78	16,46	11,61	37,77	22,91	17,52
		Desvio Padrão	0,33	0,31	0,31	0,52	0,75	0,40
Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Perna Esquerda					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			59-60	59-61	60-61	12-18	12-89	18-89
A	5,00	Média	11,5	16,1	11,4	34,4	20,3	15,3
		Desvio Padrão	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5
	20,00	Média	11,6	16,3	11,8	35,0	21,2	15,0
		Desvio Padrão	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,7
B	5,00	Média	11,6	16,0	11,4	37,8	16,5	22,8
		Desvio Padrão	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4
	20,00	Média	11,5	16,2	11,5	38,9	17,2	23,4
		Desvio Padrão	0,3	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5
C	5,00	Média	11,7	16,2	11,6	33,1	16,8	17,2
		Desvio Padrão	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	20,00	Média	11,7	16,2	11,5	33,0	17,0	17,2
		Desvio Padrão	0,3	0,3	0,3	0,7	0,4	0,8
D	5,00	Média	11,8	16,3	11,6	39,1	18,2	22,5
		Desvio Padrão	0,3	0,3	0,3	0,6	0,4	0,5
	20,00	Média	11,8	16,4	11,6	39,6	18,1	22,7
		Desvio Padrão	0,3	0,4	0,2	0,4	0,9	0,8
E	5,00	Média	11,6	16,3	11,8	34,9	18,4	17,8
		Desvio Padrão	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5
	20,00	Média	11,6	16,5	11,7	35,4	19,0	17,7
		Desvio Padrão	0,3	0,4	0,3	0,6	0,5	0,5
F	5,00	Média	11,7	16,4	11,7	35,7	22,7	14,2
		Desvio Padrão	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5
	20,00	Média	11,8	16,5	11,7	36,0	22,7	14,4
		Desvio Padrão	0,2	0,4	0,3	0,6	0,6	0,6

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES DE CADA PROTOCOLO PARA OS BRAÇOS

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Braço Direito					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			74-75	74-76	75-76	35-39	35-CAO	39-CAO
A	5,00	Média	11,45	16,46	11,87	17,05	30,07	13,94
		Desvio Padrão	0,21	0,29	0,36	0,30	0,31	0,47
	20,00	Média	11,45	16,56	11,89	16,61	30,19	14,62
		Desvio Padrão	0,31	0,30	0,38	0,23	0,69	0,62
B	5,00	Média	11,85	16,46	11,75	17,49	30,30	13,57
		Desvio Padrão	0,21	0,22	0,30	0,20	0,40	0,43
	20,00	Média	11,98	16,40	11,64	17,03	305,75	14,13
		Desvio Padrão	0,26	0,36	0,29	0,30	0,74	0,75
C	5,00	Média	11,54	16,35	11,88	16,72	26,92	10,52
		Desvio Padrão	0,28	0,37	0,35	0,21	0,41	0,53
	20,00	Média	12,00	16,68	11,90	16,70	27,49	11,01
		Desvio Padrão	0,26	0,20	0,34	0,31	0,74	0,69
D	5,00	Média	11,97	16,45	12,03	16,56	27,89	11,70
		Desvio Padrão	0,20	0,23	0,28	0,31	0,30	0,48
	20,00	Média	11,91	16,59	11,87	16,56	28,26	12,07
		Desvio Padrão	0,27	0,32	0,34	0,39	0,54	0,66
E	5,00	Média	11,79	16,44	11,93	16,49	28,55	11,79
		Desvio Padrão	0,21	0,29	0,33	0,22	0,46	0,21
	20,00	Média	11,82	16,46	11,62	16,00	28,60	13,16
		Desvio Padrão	0,25	0,27	0,27	0,16	0,54	0,60
F	5,00	Média	11,76	16,41	11,87	16,02	28,63	11,76
		Desvio Padrão	0,17	0,22	0,24	0,12	0,48	0,17
	20,00	Média	11,86	16,34	11,87	15,69	29,14	14,13
		Desvio Padrão	0,20	0,25	0,30	0,16	0,74	0,75
Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Braço Esquerdo					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			77-78	77-79	78-79	36-40	36-CAO	40-CAO
A	5,00	Média	11,73	16,47	11,44	17,29	30,32	13,97
		Desvio Padrão	0,27	0,26	0,33	0,31	0,23	0,34
	20,00	Média	11,60	16,40	11,66	17,35	30,53	14,27
		Desvio Padrão	0,22	0,23	0,32	0,26	0,54	0,60
B	5,00	Média	11,67	16,64	11,57	15,74	28,14	13,14
		Desvio Padrão	0,18	0,20	0,31	0,26	0,29	0,44
	20,00	Média	11,61	16,48	11,62	15,58	28,40	13,59
		Desvio Padrão	0,32	0,20	0,38	0,47	0,37	0,66
C	5,00	Média	11,65	16,44	11,61	16,57	27,89	12,41
		Desvio Padrão	0,21	0,25	0,33	0,37	0,21	0,46
	20,00	Média	11,63	16,71	11,72	16,33	28,37	13,26
		Desvio Padrão	0,25	0,39	0,29	0,35	0,40	0,63
D	5,00	Média	11,54	16,57	11,87	15,53	28,64	13,74
		Desvio Padrão	0,18	0,18	0,25	0,23	0,41	0,53
	20,00	Média	11,60	16,38	11,70	15,37	28,81	14,15
		Desvio Padrão	0,25	0,32	0,34	0,52	0,47	0,54
E	5,00	Média	11,92	16,43	11,63	16,59	28,81	12,96
		Desvio Padrão	0,20	0,22	0,26	0,34	0,37	0,56
	20,00	Média	11,94	16,62	11,82	16,34	29,38	13,80
		Desvio Padrão	0,25	0,23	0,37	0,22	0,67	0,73
F	5,00	Média	11,70	16,39	11,67	14,65	28,20	13,92
		Desvio Padrão	0,19	0,28	0,28	0,22	0,55	0,58
	20,00	Média	11,78	16,35	11,63	14,45	28,60	14,51
		Desvio Padrão	0,19	0,24	0,31	0,23	0,75	0,75

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS MARCADORES DE CADA PROTOCOLO PARA OS ANTEBRAÇOS

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Antebraço Direito					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			68-69	68-70	69-70	29-31	29-35	31-35
A	5,00	Média	11,69	11,54	16,63	5,82	27,04	27,22
		Desvio Padrão	0,30	0,30	0,25	0,33	0,32	0,49
	20,00	Média	11,70	11,88	16,79	5,82	26,40	27,27
		Desvio Padrão	0,25	0,23	0,28	0,22	0,38	0,43
B	5,00	Média	11,87	11,47	16,39	5,73	28,24	27,49
		Desvio Padrão	0,27	0,18	0,26	0,32	0,21	0,24
	20,00	Média	11,73	11,79	16,56	5,68	26,93	27,05
		Desvio Padrão	0,30	0,25	0,32	0,37	0,41	0,36
C	5,00	Média	11,88	11,75	16,81	5,87	27,57	25,94
		Desvio Padrão	0,36	0,33	0,33	0,42	0,25	0,43
	20,00	Média	12,10	11,83	16,71	6,15	26,32	26,21
		Desvio Padrão	0,28	0,26	0,34	0,26	0,34	0,38
D	5,00	Média	11,85	11,70	16,83	7,51	28,47	29,74
		Desvio Padrão	0,34	0,21	0,33	0,22	0,50	0,47
	20,00	Média	11,64	11,81	16,79	7,51	28,24	29,99
		Desvio Padrão	0,28	0,31	0,35	0,21	0,49	0,41
E	5,00	Média	11,75	11,67	16,72	6,41	27,78	27,21
		Desvio Padrão	0,27	0,34	0,31	0,38	0,18	0,26
	20,00	Média	11,84	11,80	16,92	5,98	26,02	26,71
		Desvio Padrão	0,38	0,31	0,30	0,27	0,36	0,36
F	5,00	Média	11,72	11,67	16,80	6,31	29,63	28,69
		Desvio Padrão	0,29	0,29	0,30	0,35	0,18	0,26
	20,00	Média	11,73	11,64	16,69	6,57	27,66	27,45
		Desvio Padrão	0,35	0,34	0,38	0,39	0,35	0,38

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Antebraço Esquerdo					
			Marcadores (MT)			Marcadores (MA)		
			71-72	71-73	72-73	30-32	30-36	32-36
A	5,00	Média	11,66	11,61	16,44	5,80	28,31	27,46
		Desvio Padrão	0,36	0,34	0,28	0,36	0,26	0,31
	20,00	Média	11,68	11,79	16,41	5,73	27,99	27,80
		Desvio Padrão	0,25	0,26	0,36	0,23	0,37	0,35
B	5,00	Média	11,56	11,56	16,43	5,38	29,36	29,30
		Desvio Padrão	0,28	0,22	0,34	0,20	0,23	0,23
	20,00	Média	11,66	11,50	16,46	5,28	27,13	28,35
		Desvio Padrão	0,28	0,26	0,30	0,30	0,56	0,52
C	5,00	Média	11,86	11,79	16,83	5,89	27,18	25,66
		Desvio Padrão	0,34	0,21	0,30	0,39	0,20	0,31
	20,00	Média	11,63	11,78	16,52	6,15	25,49	25,72
		Desvio Padrão	0,30	0,37	0,34	0,18	0,45	0,38
D	5,00	Média	11,16	11,66	16,44	7,35	28,69	29,73
		Desvio Padrão	0,40	0,34	0,28	0,19	0,48	0,25
	20,00	Média	11,47	11,50	16,26	7,44	27,35	29,32
		Desvio Padrão	0,35	0,25	0,38	0,22	0,43	0,43
E	5,00	Média	11,65	11,75	16,62	6,52	27,49	26,80
		Desvio Padrão	0,27	0,28	0,34	0,21	0,21	0,27
	20,00	Média	11,61	11,70	16,52	6,46	26,13	26,63
		Desvio Padrão	0,30	0,24	0,34	0,21	0,31	0,23
F	5,00	Média	11,63	11,55	16,37	7,10	29,29	29,05
		Desvio Padrão	0,29	0,29	0,23	0,37	0,24	0,23
	20,00	Média	11,78	11,63	16,57	6,95	27,04	27,74
		Desvio Padrão	0,21	0,36	0,36	0,21	0,37	0,31

ANEXO K: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO COMPRIMENTO DOS SEGMENTOS DE CADA PROTOCOLO

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO COMPRIMENTO DOS MEMBROS INFERIORES DE CADA PROTOCOLO

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Coxa Direita		Coxa Esquerda	
			MT	MA	MT	MA
A	5,00	Média	44,660	43,816	45,01	44,78
		Desvio Padrão	0,689	0,520	0,714	0,340
	20,00	Média	45,825	43,413	45,369	44,193
		Desvio Padrão	0,796	0,942	0,741	0,645
B	5,00	Média	44,328	43,161	44,362	43,266
		Desvio Padrão	0,563	0,612	0,555	0,497
	20,00	Média	44,419	42,655	44,248	42,810
		Desvio Padrão	1,031	1,398	1,077	1,384
C	5,00	Média	43,154	41,944	42,353	41,293
		Desvio Padrão	0,457	0,409	0,735	0,652
	20,00	Média	44,015	41,851	43,312	41,230
		Desvio Padrão	43,154	41,944	42,353	41,293
D	5,00	Média	43,571	42,734	43,973	43,547
		Desvio Padrão	0,664	0,544	0,597	0,560
	20,00	Média	43,961	42,501	43,916	42,985
		Desvio Padrão	0,811	0,658	0,497	0,834
E	5,00	Média	43,577	43,830	47,145	45,721
		Desvio Padrão	0,695	0,983	0,783	1,131
	20,00	Média	43,007	43,265	47,239	45,448
		Desvio Padrão	0,700	1,157	0,732	1,154
F	5,00	Média	40,36	41,53	41,99	41,38
		Desvio Padrão	0,54	0,42	0,90	0,56
	20,00	Média	41,23	41,40	42,58	41,22
		Desvio Padrão	0,70	0,89	0,74	0,91
Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Perna Direita		Perna Esquerda	
			MT	MA	MT	MA
A	5,00	Média	42,704	42,430	42,622	42,422
		Desvio Padrão	0,683	0,641	1,573	0,888
	20,00	Média	43,549	43,515	43,186	42,482
		Desvio Padrão	1,228	1,403	1,103	0,936
B	5,00	Média	44,325	44,352	43,936	43,745
		Desvio Padrão	0,903	0,731	0,494	0,428
	20,00	Média	44,683	44,334	44,384	44,138
		Desvio Padrão	0,968	0,881	0,663	0,615
C	5,00	Média	39,098	38,880	39,588	39,871
		Desvio Padrão	0,750	0,721	0,538	0,726
	20,00	Média	40,010	40,188	39,633	39,931
		Desvio Padrão	1,270	1,248	1,593	1,326
D	5,00	Média	43,246	42,758	42,943	42,426
		Desvio Padrão	0,501	0,500	0,449	0,631
	20,00	Média	43,629	43,082	42,976	42,290
		Desvio Padrão	0,943	0,532	0,545	0,468
E	5,00	Média	41,406	40,335	37,025	33,618
		Desvio Padrão	1,426	1,141	0,649	0,831
	20,00	Média	42,633	41,943	37,070	36,577
		Desvio Padrão	1,690	1,460	0,554	0,577
F	5,00	Média	43,57	43,84	41,80	42,36
		Desvio Padrão	1,01	0,64	0,77	0,89
	20,00	Média	44,05	44,11	41,96	42,38
		Desvio Padrão	1,02	0,64	0,75	1,02

MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO COMPRIMENTO DOS MEMBROS SUPERIORES DE CADA PROTOCOLO

Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Braço Direito		Braço Esquerdo	
			MT	MA	MT	MA
A	5,00	Média	29,795	29,343	30,303	30,099
		Desvio Padrão	0,362	0,383	0,191	0,316
	20,00	Média	30,404	29,973	30,142	30,211
		Desvio Padrão	0,641	0,497	0,330	0,521
B	5,00	Média	29,800	29,970	28,851	28,293
		Desvio Padrão	0,195	0,168	0,156	0,207
	20,00	Média	30,088	30,451	28,511	28,653
		Desvio Padrão	0,775	0,676	0,370	0,537
C	5,00	Média	26,605	26,900	27,906	28,155
		Desvio Padrão	0,479	0,414	0,323	0,418
	20,00	Média	27,254	27,325	28,658	28,794
		Desvio Padrão	0,778	0,566	0,415	0,547
D	5,00	Média	28,270	28,298	28,137	28,851
		Desvio Padrão	0,294	0,390	0,440	0,501
	20,00	Média	28,061	28,645	28,261	29,148
		Desvio Padrão	0,574	0,580	0,587	0,488
E	5,00	Média	28,593	28,138	28,641	28,935
		Desvio Padrão	0,507	0,448	0,342	0,615
	20,00	Média	29,209	28,834	29,673	29,728
		Desvio Padrão	0,523	0,485	0,465	0,700
F	5,00	Média	28,55	28,49	28,77	29,08
		Desvio Padrão	0,47	0,35	0,53	0,64
	20,00	Média	29,48	29,25	29,15	29,66
		Desvio Padrão	0,71	0,66	0,54	0,72
Sujeitos	Velocidades (Km/h)	Variáveis (cm)	Antebraço Direito		Antebraço Esquerdo	
			MT	MA	MT	MA
A	5,00	Média	27,762	27,385	27,856	28,258
		Desvio Padrão	0,663	0,439	0,647	0,454
	20,00	Média	28,394	27,194	29,932	29,438
		Desvio Padrão	0,350	0,402	0,269	0,172
B	5,00	Média	28,281	28,027	28,016	28,520
		Desvio Padrão	0,156	0,156	0,191	0,165
	20,00	Média	27,554	26,425	27,898	26,714
		Desvio Padrão	0,533	0,620	0,769	0,702
C	5,00	Média	26,897	27,597	26,487	26,600
		Desvio Padrão	0,368	0,267	0,473	0,291
	20,00	Média	28,037	25,435	26,960	25,610
		Desvio Padrão	0,196	0,168	0,416	0,397
D	5,00	Média	27,166	27,807	26,791	27,110
		Desvio Padrão	0,368	0,371	0,434	0,531
	20,00	Média	27,171	27,586	26,027	25,440
		Desvio Padrão	0,742	0,646	0,409	0,501
E	5,00	Média	26,813	27,441	27,143	27,447
		Desvio Padrão	0,232	0,184	0,215	0,210
	20,00	Média	27,419	26,826	28,199	27,041
		Desvio Padrão	0,269	0,462	0,590	0,461
F	5,00	Média	28,21	28,33	27,86	27,99
		Desvio Padrão	0,14	0,13	0,30	0,23
	20,00	Média	27,95	26,81	27,60	26,87
		Desvio Padrão	0,56	0,48	0,19	0,27

ANEXO L: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

$$p = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)}}$$

onde, X e Y são os valores dos ângulos de rotação obtido por cada protocolo e para cada articulação durante o movimento e n equivale ao número de frames de um ciclo de movimento.