

Breno Gonçalves Teixeira

**COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS CINEMÁTICOS
MULTISEGMENTARES DO PÉ**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

2016

Breno Gonçalves Teixeira

**COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS CINEMÁTICOS
MULTISEGMENTARES DO PÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao
Colegiado de Graduação em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Thales Rezende de Souza

Co-orientadora: Prof^a. MSc. Vanessa Lara de Araújo

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

2016

Dedico este trabalho a todos os que sempre me ampararam, em especial ao meu pai, José Francisco Teixeira, e minha mãe, Roselange Aparecida Gonçalves Teixeira. Ao professor Dr. Thales e MSc, Vanessa. Aos amigos que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho, em especial aos amigos do LAM e todos os amigos do Curso de Fisioterapia. É sempre bom aplicar um pouco dos conhecimentos adquiridos na construção de uma sociedade melhor, que estime os reais valores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Autor da Existência, Aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus. Em segundo lugar agradeço a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente, contribuíram para a construção dos meus valores: meus pais, os mestres do passado e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo e com os meus amigos nesta vida acadêmica. Não vou deixar de agradecer a compreensão de pessoas especiais, quando minha presença não foi possível e quando minha preocupação e atenção pareciam se voltar exclusivamente para este trabalho, obrigado Bruno e Brener, obrigado Mãe e Pai. Agradeço a amiga Lilian Marques pelo apoio e paciência na execução do trabalho. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Thales, e minha co-orientadora Prof^a. MSc Vanessa, pela dedicação, paciência e apoio no desenvolvimento do trabalho, aproveito para parabenizá-los pelo admirável respeito e pela conduta responsável que possuem no seu cotidiano. A todos que de alguma forma me ajudaram, apoiaram e torceram por mim, o mais sincero agradecimento.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar as diferenças entre os métodos cinemáticos para avaliação do antepé e do retropé propostos por Bruening, Leardini, Oxford e Souza durante a postura ortostática e movimento de pronação/supinação em ortostatismo. O presente trabalho, realizado no Laboratório de Análise de Movimento (LAM), registra a cinemática durante a postura ortostática e movimento de pronação/supinação por meio de um sistema opto-eletrônico (8 câmeras Qualisys ProReflex, Suécia) com uma taxa de aquisição de 120Hz. Os dados cinemáticos foram processados usando o software Visual 3D (C-Motion Inc, Estados Unidos) sendo interpolados e, depois, filtrados com um filtro passa-baixa com frequência de corte de 1 Hz. A seguir, os métodos cinemáticos do antepé e retropé foram implementados. Foram obtidos ângulos segmentares (antepé e retropé) e articulares (antepé-retropé) nos planos sagital, frontal e transversal. Foi calculada a média dos três ângulos obtidos durante a postura ortostática e uma média das três coletas foi realizada para cada sujeito. Além disso, para a coleta de pronação-supinação, os três ângulos obtidos no máximo de pronação e no máximo de supinação, bem como a amplitude de movimento (ADM) foram extraídos. Em seguida, uma média das 20 repetições do movimento de pronação-supinação foi calculada para cada sujeito. Coeficientes de correlação intraclass (CCI) foram calculados para determinar a confiabilidade entre repetições. Análises de Variância (ANOVA) de medidas repetidas foram realizadas para investigar diferenças entre os métodos, para cada variável. Contrastes foram utilizados para realizar as comparações entre pares ($\alpha=0,05$). Os CCI foram iguais ou maiores que 0,908 (i.e. excelentes). O presente estudo encontrou diferenças significativas entre a cinemática obtida pelos diferentes métodos durante a postura ortostática, com efeitos principais significativos ($p \leq 0,015$) para todas as variáveis mensuradas, exceto no plano frontal no ângulo retropé ($p=0,088$). Durante o ciclo de pronação-supinação, este estudo encontrou, também, diferenças significativas entre os ângulos obtidos pelos métodos no máximo de pronação e supinação ($p \leq 0,022$), exceto no plano frontal no ângulo do retropé durante o máximo de supinação ($p=0,150$). Para a ADM durante o ciclo de pronação-supinação, os efeitos principais das ANOVAs também foram significativos ($p \leq 0,047$), exceto nos ângulos sagitais do retropé ($p=0,316$) e antepé-retropé ($p=0,195$).

De acordo com as diferenças encontradas, observa-se que a escolha do método pode influenciar nos resultados obtidos em estudos de cinemática do pé segmentado.

Palavras-Chave: Modelos Biomecânicos. Cinemática. Pé.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
<i>Delineamento do Estudo</i>	<i>11</i>
<i>Amostra</i>	<i>11</i>
<i>Procedimentos</i>	<i>11</i>
<i>Processamento de dados</i>	<i>14</i>
<i>Análise Estatística</i>	<i>20</i>
<i>Cinemática obtida pelos métodos na postura ortostática</i>	<i>22</i>
<i>Cinemática obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.....</i>	<i>23</i>
DISCUSSÃO	36
<i>Cinemática do antepé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório.....</i>	<i>37</i>
<i>Cinemática do retopé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório.....</i>	<i>41</i>
<i>Cinemática do antepé em relação ao retopé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório</i>	<i>43</i>
CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48
ANEXO A	51
ANEXO B.....	52
ANEXO C.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Posicionamento dos marcadores reflexivos passivos	13
Figura 2. Eixos de rotação dos sistemas de coordenadas (modelo cinemático) dos segmentos antepé e retropé, nos diferentes métodos cinemáticos, nas vistas anterior, lateral e superior. Cores dos eixos: verde simboliza o eixo sagital, vermelho eixo frontal e azul eixo transversal.....	19
Figura 3. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano sagital, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.....	27
Figura 4. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano frontal, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.....	29
Figura 5. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano transversal, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Confiabilidade entre repetições das posições angulares entre os métodos na posição ortostática para todos os planos.	21
Tabela 2. Confiabilidade entre repetições das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação para todos os planos.....	22
Tabela 3. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano sagital.....	24
Tabela 4. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano frontal.	25
Tabela 5. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano transverso.	26
Tabela 6. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.....	28
Tabela 7. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.....	30
Tabela 8. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.....	32
Tabela 9. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.....	33
Tabela 10. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.....	34
Tabela 11. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.....	35

INTRODUÇÃO

O complexo do pé é responsável pela interação entre o membro inferior e a superfície de apoio, o que permite adequada distribuição de cargas durante atividades em cadeia cinemática fechada ¹. Os movimentos realizados pelo pé têm a função de promover sua adaptação à superfície de apoio, facilitar a absorção de carga após o contato do membro inferior com o solo e funcionar como uma alavanca rígida para impulsionar o corpo ¹. Nesse sentido, o complexo do pé deve satisfazer às demandas de estabilidade e de mobilidade, pois deve oferecer uma base de suporte estável e ser flexível o suficiente para permitir absorção de choque e adaptação a diferentes solos ^{2,12}. Portanto, o pé é essencial para a integridade do sistema musculoesquelético, uma vez que ele pode contribuir para a absorção, dissipação e geração de energia mecânica durante atividades ^{2,3,4}.

A análise do movimento humano em três dimensões frequentemente utiliza métodos biomecânicos nos quais cada segmento corporal é considerado um corpo rígido. Tradicionalmente, o pé era avaliado por meio de métodos biomecânicos que o consideravam como um segmento rígido e único ¹⁴. No entanto, essa avaliação era simplista e não permitia entender muitas das funções do pé, tais como adaptar-se a irregularidades de superfícies ^{5, 6}, pois não era possível levantar dados sobre os movimentos que ocorrem em diferentes articulações e segmentos do pé. Disfunções de movimento do complexo do pé, como pronação aumentada ou reduzida durante atividades funcionais, são frequentemente estudadas por estarem relacionadas ao surgimento de lesões musculoesqueléticas. No entanto, o movimento de pronação do pé não pode ser compreendido a partir da avaliação do pé como segmento rígido e único. Embasado nisso, vários métodos foram construídos com o intuito de segmentar o complexo do pé, a fim de compreender melhor a singularidade de cada movimento.

Apesar da grande quantidade de segmentos ósseos, articulações e eixos de rotação existentes no pé ^{1, 20}, vários autores têm proposto métodos que utilizam modelos cinemáticos com dois ou mais segmentos no pé, como uma forma, mesmo que

simplificada, de se obter mais informações cinemáticas que as dadas por modelos constituídos de apenas um segmento ^{13,14,15,16,17,18}. Atualmente, existe um número crescente de publicações utilizando esses métodos cinemáticos com pé multissegmentado ^{14, 15, 16, 17, 18}. Kevin Deschamps et al. (2010) em sua revisão sistemática apresenta uma apreciação qualitativa de dados certificando que existe credibilidade científica e utilidade clínica para o uso dos métodos multissegmentares do pé e relata o quão importante esses métodos são para os profissionais da saúde e pesquisadores de laboratórios de análise do movimento envolvidos na avaliação do pé. Porém, cada método existente determina e rastreia os segmentos retropé e antepé de forma distinta, o que sugere que possa haver diferença entre os resultados obtidos com a implementação dos diferentes métodos. Não está claro na literatura se devido a essas diferenças algum deles se presta a capturar o movimento de um segmento em relação ao outro com maior acurácia que os demais, o que traz dificuldade na escolha metodológica de um deles para fins de pesquisas específicas que necessitem de métodos cinemáticos multissegmentares do pé.

Dentre os vários métodos cinemáticos existentes, destacamos os do Leardini ¹⁵, Oxford ¹⁶, Souza ¹⁷ e Bruening ¹⁸ por serem difundidos na literatura ^{13,17} e utilizados no Laboratório de Análise de Movimentos (LAM), da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais. Oxford et al. (2001) tiveram como objetivo desenvolver um modelo de pé multissegmentado (retropé, antepé e hálux) com protocolo de mensuração não-invasivo e aplicável a análise de marcha para aplicações clínicas e de pesquisa. Leardini et al. (1999) constataram que os estudos anteriores ao dele tinham analisado apenas um número limitado de articulações ou propunham técnicas invasivas. De acordo com isso, ele projetou uma técnica a ser aplicada na avaliação de rotina usando estereofotogrametria não-invasiva para a mensuração do retropé, mediopé e antepé e de ângulos planares nos planos sagital e transversal que eram frequentemente avaliados apenas de forma estática. Souza et al. (2010), por sua vez, desenvolveram um modelo que utiliza *clusters* (placas com grupos de marcadores passivos reflexivos) para rastrear os segmentos retropé e antepé, podendo assim ser utilizado também com calçados adaptados e não apenas com pés descalços. Por fim, Bruening et al. (2012) relatam

que, apesar da análise cinemática do pé multisegmentado estar se tornando comum, poucos métodos multisegmentares do pé incorporaram a cinética. A incorporação dos parâmetros referentes à cinética pode ajudar a aumentar o conhecimento da função do pé e tornozelo, bem como a evolução do modelo de pé multisegmentado. Como a implementação desses métodos têm sido dificultados por suposições excessivas e limitações do equipamento, Bruening et al. (2012) criou um modelo multisegmentado cinemático e cinético do pé, que é facilmente implementado.

Devido ao fato da literatura não ser clara em determinar se os métodos cinemáticos multisegmentares geram dados cinemáticos diferentes e quais seriam essas diferenças, o objetivo desse estudo foi investigar as diferenças nos ângulos segmentares e articulares de quatro métodos para avaliação do antepé e do retropé durante a postura e movimentos de pronação e supinação em ortostatismo. Optamos por investigar as diferenças entre os métodos durante a postura estática e os movimentos de pronação e supinação em ortostatismo. A postura estática foi utilizada para compreendermos melhor a orientação dos segmentos antepé e retropé de acordo com cada modelo. O movimento de pronação e supinação do pé em ortostatismo foi escolhido por ser um movimento simples de analisar e mais controlado do que a marcha e outras atividades funcionais. Além disso, a pronação e supinação do pé é um movimento utilizado diariamente e frequentemente estudado, pois disfunções desse movimento tem sido associadas a lesões musculoesqueléticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento do Estudo

Este estudo observacional transversal aconteceu no Laboratório de Análise de Movimento do departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e está vinculado ao estudo de doutorado de Vanessa Lara de Araújo e de pós-doutorado de Fabrício Anício de Magalhães, intitulado influência da resistência passiva do quadril e médio-pé sobre a cinemática articular dos membros inferiores como parte de uma sinergia para o deslocamento anterior da pelve durante a marcha, sendo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG sob o número 50164515.7.0000.5149.

Amostra

Participaram deste estudo oito homens e três mulheres saudáveis, com idade de $25,63 \pm 5,0847$ anos, massa corporal de $69,59 \pm 8,3812$ Kg, altura de $1,75 \pm 0,0505$ m e Índice de Massa Corporal (IMC) de $22,6 \pm 1,6763$ Kg/m². Os critérios de inclusão do estudo foram possuir idade entre 18 e 35 anos, apresentar IMC inferior a 30kg/m², apresentar um pé com tamanho superior ao 38, não ter realizado cirurgia em membros inferiores e não ter apresentado sintomas ou lesões musculoesqueléticas nos últimos três meses. O critério de exclusão foi a presença de dor durante a realização dos testes. Utilizamos como critério de inclusão o tamanho do pé superior ao 38, devido à localização dos marcadores reflexivos no pé que se uniam no sistema tridimensional com tamanhos menores ao 38. Todos os participantes foram informados a respeito do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo).

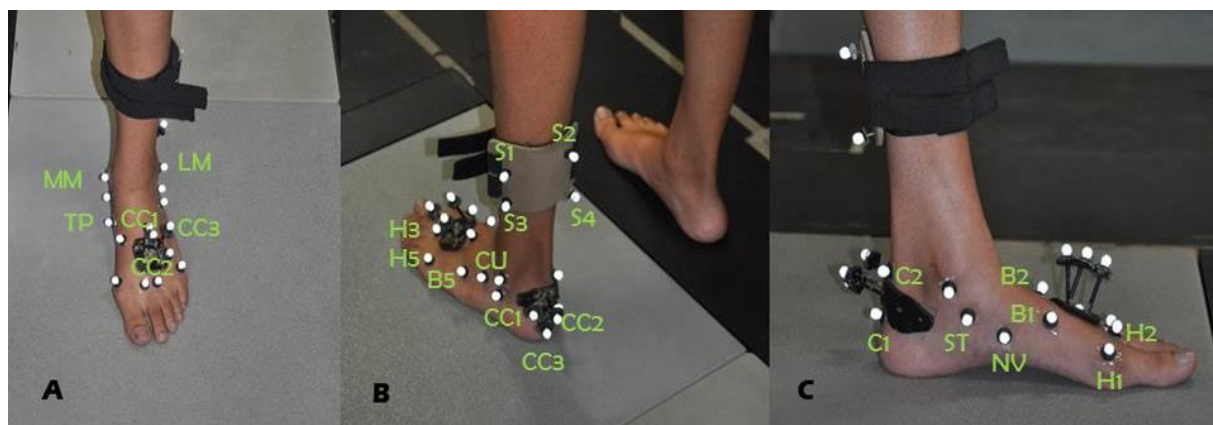
Procedimentos

A cinemática durante a postura ortostática e durante os movimentos de pronação e supinação do pé foi registrada por meio de um sistema opto-eletrônico (8

câmeras Qualisys ProReflex, Suécia) com uma taxa de aquisição de 120 Hz. O sistema foi alinhado e calibrado antes da chegada dos voluntários ao laboratório com o uso do kit de calibragem (751 mm). Foi criado um sistema de coordenadas do laboratório em que o eixo X foi determinado como eixo ântero-posterior, o eixo Y como látero-medial e o eixo Z como súpero-inferior. Uma folha de papel em branco de 40,5 cm de largura por 58,4 cm de comprimento foi posicionada na área de coleta.

Após a chegada do participante, sua massa corporal e a altura foram medidas utilizando-se uma balança digital com estadiômetro (Personal 10448, Filizola, Brasil). Logo depois, marcadores reflexivos passivos de 8 mm de diâmetro foram fixados na perna, retropé e antepé esquerdo do participante com fita adesiva dupla-face reforçada por fita micropore (Figura 1). Para posterior definição dos quatro métodos cinemáticos de interesse^{15,16,17,18}, marcadores passivos foram colocados nas seguintes referências anatômicas: maléolos medial e lateral, calcâneo (superior e inferior), cuboide, navicular, sustentáculo do tálus, tuberosidade peroneal, base do primeiro, segundo e quinto metatarsos, cabeça do primeiro, segundo e quinto metatarsos e o espaço entre a cabeça do segundo e terceiro metatarso. *Clusters* (agrupamentos) de marcadores passivos que mantêm posições relativas constantes entre si foram utilizados para rastrear os movimentos tridimensionais dos segmentos estudados, para o método de Souza. Os *clusters* do retropé e antepé foram confeccionados com uma base de metal flexível para permitir que fossem moldados manualmente para se acomodar à morfologia do participante¹⁷. O cluster do retropé foi afixado inferiormente à inserção do tendão no calcâneo e o cluster do antepé ao aspecto dorsal dos ossos metatarsos¹⁷. Ambos foram afixados com fitas dupla-face e fitas micropore. Com todos os marcadores posicionados, o participante foi encaminhado para a área de coleta.

Figura 1. Posicionamento dos marcadores reflexivos passivos



A: vista antero-superior, B: vista postero lateral, C: Vista medial. Os marcadores anatômicos estão sinalizadas com ^{AN} e os marcadores de rastreamento com ^{RA}. Retropé segundo modelo de Bruening: C1^{AN,RA}: ápice da tuberosidade do calcâneo, C2^{AN}: ápice superior do corpo do calcâneo, NV^{AN}: proeminência superior do osso navicular, CU^{AN}: borda inferior do osso cubóide, ST^{RA}: Sustentáculo do Tálus, TP^{RA}: Tubérculo Peroneal. Retropé segundo modelo de Leardini: C1^{AN,RA}, ST^{AN,RA} e TP^{AN,RA}. Retropé segundo modelo de Oxford: C1^{AN,RA}, C2^{AN}, B5^{AN}: face lateral da base do 5º metatarso, ST^{RA}, TP^{RA}, CC1^{RA}: marca pertencente ao cluster do calcâneo. Retropé segundo modelo de Souza: MM^{AN}, LM^{AN}, TP^{AN}, ST^{AN}, Cluster calcâneo: CC1^{RA}, CC2^{RA}, CC3^{RA}. Antepé segundo modelo de Bruening: NV^{AN}, CU^{AN}, B1^{AN,RA}: face medial da base do 1º metatarso, B2^{RA}: base do 2º metatarso, B5^{AN,RA}, H1^{AN}: face medial da cabeça do 1º metatarso e H2^{AN,RA}: cabeça do 2º metatarso. Antepé segundo modelo de Leardini: B2^{AN,RA}, H1^{AN,RA}, H2^{AN}, H5^{AN,RA}: face lateral da cabeça do 5º metatarso. Antepé segundo modelo de Oxford: B1^{AN,RA}, B5^{AN,RA}, H1^{AN}, H2^{RA}, H3^{RA}: cabeça do 3º metatarso e H5^{AN,RA}. Antepé segundo modelo de Souza: B1^{AN}, B5^{AN}, H1^{AN}, H5^{AN}, Cluster de antepé: CA1^{RA}, CA2^{RA} e CA3^{RA}. Cada cluster foi constituído por marcadores de rastreamento fixadas em hastes rígidas posicionadas de forma não colinear. O cluster da perna foi posicionado postero-lateralmente e abaixo do ventre do músculo gastrocnêmio; o cluster do retropé foi posicionado inferiormente à inserção do tendão calcanear, e o cluster do antepé foi fixado ao aspecto superior dos ossos metatarsos tendo o espaço entre o 1º e o 2º metatarsos como limite medial e o espaço entre o 4º e 5º metatarsos como limite lateral.

Foram então realizadas três coletas estáticas em ortostatismo, com duração de cinco segundos cada. Após a coleta estática, foram retirados os marcadores passivos dos platôs tibiais; maléolos medial e lateral; ápice superior do calcâneo; navicular; cubóide; e ponto médio entre as cabeças do 2º e 3º metatarsos. Em seguida, uma coleta de 20 ciclos de movimentos de pronação e supinação foi realizada. O participante foi orientado a realizar esses movimentos até o máximo da amplitude disponível sem retirar as cabeças do primeiro e quinto metatarsos do solo. Para que as coletas fossem consideradas válidas, todos os marcadores deveriam estar visíveis e ter

trajetórias de movimento suave, sem sobressaltos que indicassem erro na captura do movimento. Quando tais erros eram identificados, a abertura do diafragma das câmeras era reajustada com a presença do voluntário na área de coleta e uma nova calibragem era realizada, dessa vez sem sua presença. Com o sistema reajustado, a coleta era repetida.

Processamento de dados

Os dados cinemáticos foram processados usando o software Visual 3D (C-Motion Inc, Estados Unidos). Primeiramente, as trajetórias dos marcadores com lacunas superior a dez quadros foram interpoladas e, depois, filtradas com um filtro passa-baixa do tipo *Butterworth* de quarta ordem com frequência de corte de 1 Hz. A seguir, os métodos cinemáticos utilizados foram implementados, constituindo sistemas de coordenadas (X, Y, Z) específicos para cada segmento (antepé e retropé), que foi considerado um corpo rígido. A orientação dos eixos X, Y e Z do sistema de coordenadas de cada segmento foi determinada utilizando-se as posições dos marcadores anatômicos. Os marcadores de rastreamento específicos de cada método cinemático foram utilizados para rastrear a trajetória do antepé e retropé durante o movimento. Os quatro métodos cinemáticos utilizados^{15,16,17,18} estão descritos a seguir (Figura 2):

- Retropé do Bruening¹⁸: Os dois marcadores reflexivos colocados sobre a parte posterior do calcâneo (superior e inferior) e os marcadores colocados sobre o cuboide e navicular foram utilizadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O eixo súpero-inferior foi determinado pela linha que conecta os dois marcadores colocados sobre o calcâneo. O eixo ântero-posterior foi definido pela linha que conecta a marca inferior do calcâneo e o ponto médio entre o cuboide e o navicular. O eixo médio-lateral foi criado ortogonal aos dois eixos descritos. Para rastreamento do segmento, foram utilizadas: marca inferior do calcâneo, sustentáculo do tálus e tuberosidade peroneal.

- Retropé do Leardini ¹⁵: Os marcadores reflexivos colocados sobre a parte posterior do calcâneo (marca inferior), o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal foram utilizadas para definição e rastreamento do segmento (marcadores anatômicos e de rastreamento). O eixo ântero-posterior foi definido pela linha que conecta o calcâneo e o ponto médio entre o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal. O eixo médio-lateral foi definido pela linha que conecta o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal. O eixo súpero-inferior foi criado ortogonal aos dois eixos anteriores.
- Retropé do Oxford ¹⁶: Os marcadores reflexivos colocados sobre a parte posterior do calcâneo (marca inferior e superior), o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal foram utilizadas para definição e rastreamento do segmento (marcadores anatômicos e de rastreamento). O eixo súpero-inferior foi definido pela linha que conecta os marcadores inferior e superior do calcâneo e o plano sagital foi definido a partir destes dois pontos ligados ao ponto médio entre o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal. O eixo médio-lateral foi criado perpendicular ao plano sagital e o eixo ântero-posterior perpendicular aos outros 2 eixos.
- Retropé do Souza ¹⁷: Os marcadores reflexivos colocados sobre o sustentáculo do tálus, a tuberosidade peroneal, maléolo medial e maléolo lateral foram utilizadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O eixo supero-inferior foi determinado pela linha que conecta o ponto médio entre os maléolos e o ponto médio entre o sustentáculo do tálus e a tuberosidade peroneal. O eixo médio-lateral foi criado utilizando os mínimos quadrados entre os quatro marcadores, de forma que a soma dos quadrados da distância entre os quatro marcadores e o eixo médio-lateral é minimizada. O eixo ântero-posterior foi criado ortogonal aos dois eixos anteriores. O rastreamento do segmento foi realizado por meio de três marcadores posicionados em um cluster fixado inferiormente à inserção do tendão no calcâneo.

- Antepé do Bruening ¹⁸: Os marcadores reflexivos colocadas sobre as bases do primeiro e quinto metatarsos, e o espaço entre a cabeça do segundo e terceiro metatarso foram utilizadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O eixo ântero-posterior foi criado pela ligação dos seguintes marcadores: ponto médio entre a base do primeiro e quinto metatarsos e o espaço entre a cabeça do segundo e terceiro metatarsos. O plano transversal foi definido a partir destes três pontos (base do primeiro e quinto metatarsos e espaço entre a cabeça do segundo e terceiro metatarso). O eixo médio-lateral foi criado ortogonal aos outros dois eixos criados. Para rastreamento do segmento, foram utilizadas as bases do primeiro, segundo e quinto metatarsos e a cabeça do segundo metatarso.
- Antepé do Leardini ¹⁵: Os marcadores reflexivos colocados sobre a base do segundo metatarso e as cabeças do primeiro, segundo e quinto metatarsos foram utilizadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O eixo ântero-posterior foi definido a partir da ligação dos pontos entre a cabeça e a base do segundo metatarso. O plano transversal foi definido a partir da base do segundo metatarso e das cabeças do primeiro e do quinto metatarsos. O eixo súpero-inferior foi criado em posição ortogonal ao plano transversal e o eixo médio-lateral ortogonal aos outros dois eixos criados. Para rastreamento do segmento, foram utilizadas a base do segundo metatarso e as cabeças do primeiro e quinto metatarsos.
- Antepé do Oxford ¹⁶: Os marcadores reflexivos colocados sobre a cabeça do primeiro, entre a segunda e terceira e do quinto metatarsos e a base do primeiro e quinto metatarsos foram usadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O plano transversal do sistema de coordenadas do segmento foi criado a partir dos marcadores posicionados nas cabeças do primeiro e quinto metatarsos e na base do quinto metatarso. O eixo ântero-posterior foi criado pela linha que une a marca posicionada no espaço entre a cabeça do segundo e terceiro metatarsos e o ponto

calculado a um terço da distância entre a base do primeiro e do quinto metatarsos. O eixo súpero-inferior foi criado como ortogonal ao plano transversal e o eixo médio-lateral como ortogonal aos outros eixos criados. Para marcadores de rastreamento do segmento, foram utilizadas a base do primeiro e quinto metatarsos e a cabeça do quinto e entre a cabeça do segundo e terceiro metatarsos.

- Antepé do Souza ¹⁷: Os marcadores reflexivos colocados sobre as cabeças e bases do primeiro e quinto metatarsos foram utilizadas para definição do segmento (marcadores anatômicos). O eixo ântero-posterior foi determinado pela linha que conecta o ponto médio entre as cabeças e o ponto médio que conecta as bases. O eixo médio-lateral foi criado utilizando os mínimos quadrados, de forma que a soma dos quadrados da distância entre os quatro marcadores e o eixo médio-lateral é minimizado. O eixo Z foi criado ortogonal aos dois eixos anteriores. O rastreamento do segmento foi realizado por meio de três marcadores posicionados em um *cluster* (agrupamento dos marcadores em uma mesma base, que mantém fixas as posições relativas entre esses marcadores) fixado ao aspecto dorsal dos ossos metatarsos.

Após implementação dos quatro métodos cinemáticos de retropé e antepé (BRUENING, LEARDINI, OXFORD e SOUZA), os mesmos foram aplicados aos arquivos referentes às três coletas estáticas e às de pronação/supinação. A partir disso, foram obtidos ângulos segmentares (referentes à posição dos segmentos em relação ao laboratório; i.e. dos sistemas de coordenadas segmentares em relação ao sistema de coordenadas do laboratório) e articulares (de um segmento em relação ao segmento adjacente; i.e. entre duas coordenadas segmentares) nos planos sagital, frontal e transversal. Ou seja, para cada condição foram calculados, nos três planos, os seguintes ângulos: (1) retropé em relação ao laboratório; (2) antepé em relação ao laboratório e (3) antepé em relação ao retropé. Para o cálculo desses ângulos, utilizou-se a seguinte sequência de Cardan: látero-medial (eixo Y), ântero-posterior (eixo X) e súpero-inferior (eixo Z). Posteriormente, o máximo de supinação foi definido como o

máximo de inversão do retropé, e o máximo de pronação foi definido como o máximo de eversão do retropé.

Para redução dos dados da coleta estática, foi calculada a média dos três ângulos (antepé, retropé e antepé-retropé) obtidos em cada coleta. Em seguida, uma média das três coletas estáticas foi realizada para cada sujeito. Para a coleta de pronação-supinação, os três ângulos obtidos no máximo de pronação e no máximo de supinação foram extraídos. Em seguida, uma média das 20 repetições foi calculada para cada sujeito. Além disso, a amplitude de movimento (ADM) para os três ângulos foi extraída como o máximo de pronação menos o máximo de supinação. Em seguida, uma média das 20 repetições do movimento de pronação e supinação também foi calculada para a variável ADM.

MÉTODO BRUENING



MÉTODO LEARDINI



MÉTODO SOUZA



MÉTODO OXFORD



Figura 2. Eixos de rotação dos sistemas de coordenadas (modelo cinemático) dos segmentos antepé e retropé, nos diferentes métodos cinemáticos, nas vistas anterior, lateral e superior. Cores dos eixos: verde simboliza o eixo sagital, vermelho eixo frontal e azul eixo transversal.

Análise Estatística

Coeficientes de correlação intra-classe (CCI) foram calculados para determinar a confiabilidade entre as repetições das medidas da coleta estática e da coleta de pronação-supinação. As duas repetições usadas para o CCI foram sorteadas entre todas as repetições, para cada participante. Análises de Variância (ANOVA) para medidas repetidas foram realizadas para investigar a diferença entre os métodos cinemáticos. Foi realizada uma ANOVA para cada ângulo obtido (antepé, retropé e antepé-retropé) em cada condição (ortostática, máximo de pronação, máximo de supinação e ADM durante o movimento pronação/supinação). Contrastes pré-planejados foram realizados para fazer comparações de pares entre os métodos, quando o efeito principal da ANOVA era significativo. Para todas as análises, foi usado um nível de significância de 0,05.

RESULTADOS

Confiabilidade entre repetições

Os CCI foram iguais ou maiores que 0,908 (i.e. excelentes) para todos os ângulos obtidos (antepé, retropé e antepé-retropé) nos planos sagital, frontal e transversal na coleta estática e na coleta de pronação-supinação. Os valores da CCI encontram-se nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Confiabilidade entre repetições das posições angulares entre os métodos na posição ortostática para todos os planos.

Plano	Ângulos	Métodos	CCI	Plano	Ângulos	Métodos	CCI	Plano	Ângulos	Métodos	CCI
PLANO SAGITAL	Antepé	Bru	0,997	PLANO FRONTAL	Antepé	Bru	0,999	PLANO TRANSVERSO	Antepé	Bru	0,999
		Lea	0,999			Lea	0,999			Lea	0,999
		Oxf	0,998			Oxf	0,986			Oxf	0,995
		Sou	1,000			Sou	0,987			Sou	0,997
	Retropé	Bru	0,996		Retropé	Bru	1,000		Retropé	Bru	0,998
		Lea	0,998			Lea	0,999			Lea	0,997
		Oxf	0,994			Oxf	0,996			Oxf	0,989
		Sou	1,000			Sou	0,999			Sou	0,996
	Antepé- Retropé	Bru	1,000		Antepé- Retropé	Bru	0,998		Antepé- Retropé	Bru	0,999
		Lea	0,998			Lea	1,000			Lea	0,999
		Oxf	0,968			Oxf	0,994			Oxf	0,998
		Sou	1,000			Sou	0,908			Sou	0,998

Valores de CCI na posição Ortostática para os planos sagital, frontal e transversal. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos.

Tabela 2. Confiabilidade entre repetições das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação para todos os planos.

Plano	Ângulos	Métodos	CCI	Plano	Ângulos	Métodos	CCI	Plano	Ângulos	Métodos	CCI
PLANO SAGITAL	Antepé	Pronação	Bru	PLANO FRONTAL	Antepé	Pronação	Bru	PLANO TRANSVERSO	Antepé	Pronação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou
		Supinação	Bru			Supinação	Bru			Supinação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou
	Retropé	Pronação	Bru		Retropé	Pronação	Bru		Retropé	Pronação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou
		Supinação	Bru			Supinação	Bru			Supinação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou
	Antepé-Retropé	Pronação	Bru		Antepé-Retropé	Pronação	Bru		Antepé-Retropé	Pronação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou
		Supinação	Bru			Supinação	Bru			Supinação	Bru
			Lea				Lea				Lea
			Oxf				Oxf				Oxf
			Sou				Sou				Sou

Valores de CCI durante a pronação-supinação para os planos sagital, frontal e transversal. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos.

Cinemática obtida pelos métodos na postura ortostática

Os efeitos principais das ANOVAs durante a postura ortostática foram significativos ($p \leq 0,015$) para todas as variáveis mensuradas, exceto no plano frontal no ângulo do retropé ($p = 0,088$). Os valores de p dos contrastes e os valores e média e desvio-padrão das variáveis investigadas encontram-se nas Tabelas 3, 4 e 5.

Cinemática obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação

Os efeitos principais das ANOVAs durante os ciclos de pronação-supinação foram significativos para as variáveis ($p \leq 0,022$), exceto no plano frontal no ângulo do retropé durante a supinação ($p=0,150$). Os valores de p dos contrastes e os valores de média e desvio-padrão das posições angulares encontram-se nas Tabelas 6, 7 e 8. Os efeitos principais das ANOVAs para as variáveis entre os métodos para a amplitude de movimento (ADM), sendo o máximo de pronação menos o máximo de supinação, foram significativos para os ângulos ($p \leq 0,047$), exceto no plano sagital nos ângulos de retropé ($p=0,316$) e antepé-retropé ($p=0,195$). Os valores de p dos contrastes e os valores de média e desvio-padrão das ADMs encontram-se nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 3. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano sagital.

						Valor de p da ANOVA	Valor de p dos contrastes						
Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO SAGITAL	Antepé	Bru	-12,29	±	4,29	a	<0,001	<0,001	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	
		Lea	-46,10	±	5,97	b							
		Oxf	-8,44	±	2,48	c							
		Sou	-19,15	±	5,71	d							
	Retropé	Bru	11,69	±	8,80	a	0,001	0,001	<0,001	0,851	<0,001	0,198	0,055
		Lea	19,09	±	9,05	b							
		Oxf	2,44	±	4,73	c							
		Sou	12,75	±	14,83	a,b,c							
	Antepé- Retropé	Bru	-25,99	±	10,58	a	<0,001	<0,001	<0,001	0,22	<0,001	<0,001	0,001
		Lea	-65,44	±	13,33	b							
		Oxf	-11,51	±	5,71	c							
		Sou	-33,74	±	16,53	a							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano sagital - valores positivos são indicativos de dorsoflexão e valores negativos são indicativos de flexão plantar.

Tabela 4. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano frontal.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Valor de p da ANOVA	Valor de p dos contrastes					
								Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou
PLANO FRONTAL	Antepé	Bru	18,22	±	7,52	a	<0,001	0,23	<0,001	<0,001	<0,001	0,168	<0,001
		Lea	13,92	±	4,24	a,c							
		Oxf	4,32	±	4,03	b							
		Sou	12,28	±	5,74	c							
	Retropé	Bru	-3,89	±	7,38	a	0,088	-	-	-	-	-	-
		Lea	0,026	±	6,17	a							
		Oxf	-3,99	±	5,62	a							
		Sou	-0,94	±	4,17	a							
	Antepé- Retropé	Bru	20,01	±	9,48	a	<0,001	0,009	<0,001	<0,001	0,023	0,02	0,451
		Lea	12,33	±	5,33	b							
		Oxf	7,52	±	6,03	c							
		Sou	5,94	±	5,73	c							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano frontal ã valores positivos são indicativos de inversão e valores negativos são indicativos de eversão.

Tabela 5. Comparações das posições angulares entre os métodos na postura ortostática no plano transversal.

							Valor de p da ANOVA	Valor de p dos contrastes					
Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO TRANSVERSO	Antepé	Bru	-13,59	±	4,96	a	0,015	<0,001	<0,001	0,076	<0,001	0,625	0,063
		Lea	1,68	±	7,36	b							
		Oxf	-14,82	±	4,64	c							
		Sou	7,25	±	35,68	a,b,c							
	Retropé	Bru	-3,43	±	4,31	a	<0,001	<0,001	0,883	<0,001	0,017	<0,001	<0,001
		Lea	-1,83	±	4,58	b							
		Oxf	-3,33	±	5,12	a							
		Sou	-12,55	±	6,24	c							
	Antepé-Retropé	Bru	-9,00	±	4,34	a	0,005	<0,001	0,126	0,037	<0,001	0,209	0,029
		Lea	2,04	±	7,74	b							
		Oxf	-10,95	±	5,17	a							
		Sou	18,48	±	37,39	b							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. As médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano transversal valores positivos são indicativos de rotação medial e valores negativos são indicativos de rotação lateral.

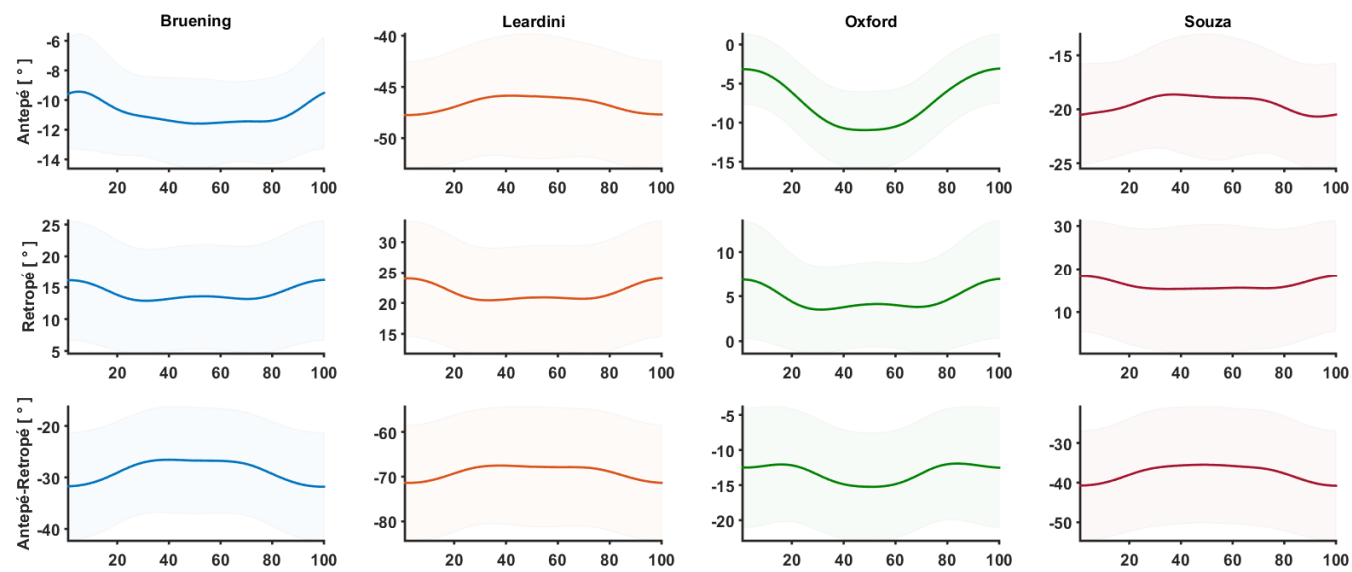


Figura 3. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano sagital, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.

Tabela 6. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Valor	Valor de p dos contrastes						
							de p da ANOVA	Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO SAGITAL	Antepé	Pronação	Bru	-12,01	±	3,45	a	<0,001	<0,001	0,491	0,012	<0,001	<0,001	0,002
			Lea	-45,75	±	6,02	b							
			Oxf	-11,13	±	5,27	a							
			Sou	-18,27	±	6,68	c							
		Supinação	Bru	-10,34	±	3,87	a	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
			Lea	-48,1	±	5,36	b							
			Oxf	-6,36	±	4,52	c							
			Sou	-21,01	±	5,47	d							
	Retropé	Pronação	Bru	13,54	±	8,30	a	0,002	0,001	<0,001	0,838	<0,001	0,252	0,06
			Lea	20,74	±	8,40	b							
			Oxf	3,99	±	4,19	c							
			Sou	14,77	±	15,68	a,b,c							
		Supinação	Bru	16,14	±	9,25	a	<0,001	<0,001	<0,001	0,578	<0,001	0,308	0,024
			Lea	23,95	±	9,30	b							
			Oxf	6,83	±	6,52	c							
			Sou	19,15	±	12,44	a,b							
	Antepé-Retropé	Pronação	Bru	-26,95	±	10,31	a	<0,001	<0,001	<0,001	0,206	<0,001	<0,001	0,005
			Lea	-67,35	±	13,24	b							
			Oxf	-15,31	±	8,05	c							
			Sou	-34,48	±	15,37	a							
		Supinação	Bru	-32,12	±	11,00	a	<0,001	<0,001	<0,001	0,098	<0,001	<0,001	<0,001
			Lea	-71,62	±	13,40	b							
			Oxf	-12,46	±	8,37	c							
			Sou	-41,45	±	13,67	a							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano sagital - valores positivos são indicativos de dorsoflexão e valores negativos são indicativos de flexão plantar.

Figura 4. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano frontal, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.

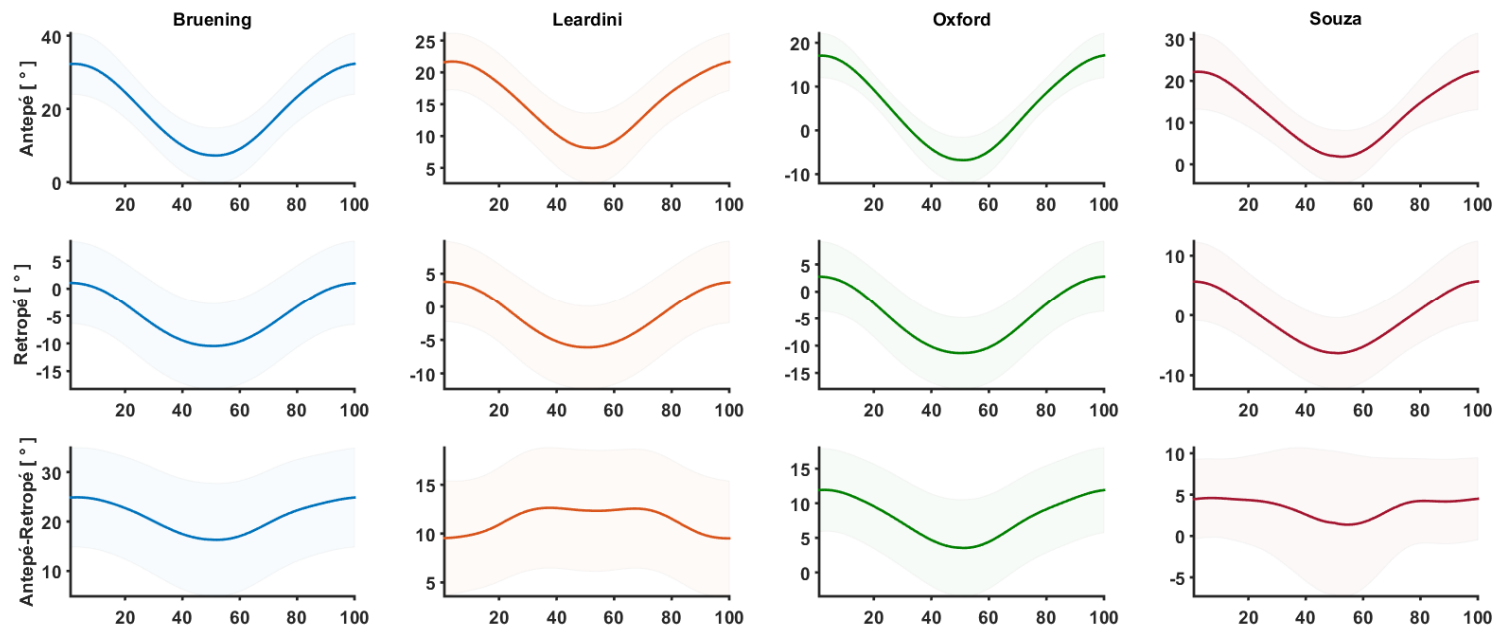


Tabela 7. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Valor de p da ANOVA	Valor de p dos contrastes					
								Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou
PLANO FRONTAL	Antepé	Pronação	Bru	7,12	±	9,19	a						
			Lea	7,70	±	6,65	a	<0,001	0,685	<0,001	0,006	<0,001	<0,001
			Oxf	-6,94	±	6,49	b						
			Sou	2,51	±	7,83	c						
		Supinação	Bru	32,28	±	8,37	a						
			Lea	21,27	±	4,44	b	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,018	0,709
			Oxf	17,14	±	5,56	c						
			Sou	22,08	±	9,10	b						
	Retropé	Pronação	Bru	-10,25	±	7,35	a	0,022	0,021	0,644	0,018	0,045	0,732
			Lea	-5,79	±	6,07	b						
			Oxf	-11,25	±	6,59	a,c						
			Sou	-6,51	±	5,58	b,c						
		Supinação	Bru	1,23	±	7,23	a	0,15	-	-	-	-	-
			Lea	4,02	±	5,88	a						
			Oxf	2,93	±	6,21	a						
			Sou	5,83	±	6,40	a						
	Antepé-Retropé	Pronação	Bru	16,22	±	12,00	a	<0,001	0,139	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
			Lea	12,40	±	6,17	a						
			Oxf	3,54	±	7,48	b						
			Sou	2,66	±	8,98	b						
		Supinação	Bru	24,80	±	10,03	a	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,121	0,037
			Lea	9,26	±	5,80	b						
			Oxf	11,92	±	6,04	b						
			Sou	4,60	±	4,52	c						

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano frontal ã valores positivos são indicativos de inversão e valores negativos são indicativos de eversão.

Figura 5. Cinemática média (desvio padrão em área sombreada), no plano transverso, obtida pelos métodos durante o ciclo de pronação-supinação.

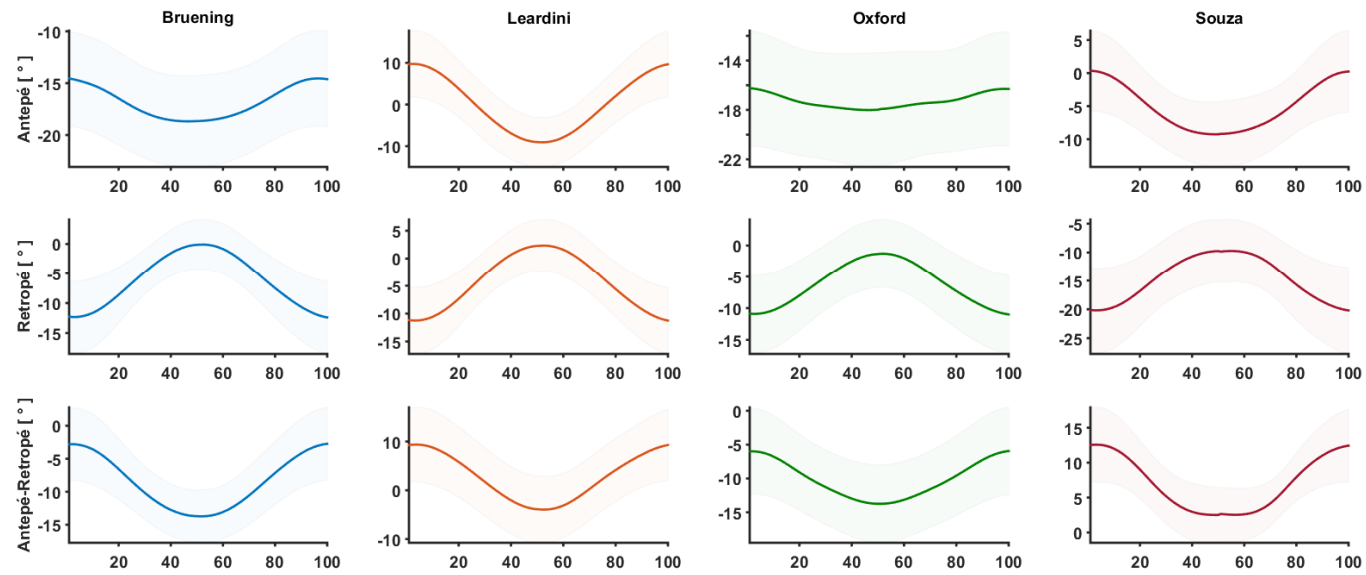


Tabela 8. Comparações das posições angulares entre os métodos durante a pronação-supinação.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Valor	Valor de p dos contrastes						
							de p da ANOVA	Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO TRANSVERSO	Antepé	Pronação	Bru	-18,09	±	4,61	a	<0,001	0,003	0,245	<0,001	0,004	0,947	<0,001
			Lea	-8,74	±	7,10	b							
			Oxf	-17,54	±	4,86	a							
			Sou	-8,89	±	5,03	b							
			Bru	-13,66	±	4,49	a							
			Lea	9,89	±	8,19	b							
		Supinação	Oxf	-15,59	±	4,67	c	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
			Sou	0,90	±	5,64	d							
			Bru	0,517	±	4,40	a							
			Lea	2,96	±	4,90	b							
			Oxf	-0,78	±	5,40	a							
			Sou	-9,00	±	6,50	c							
	Retropé	Pronação	Bru	-11,25	±	6,05	a	<0,001	0,011	0,166	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
			Lea	-10,24	±	5,97	a,b							
			Oxf	-9,85	±	6,28	b							
			Sou	-19,13	±	7,28	c							
			Bru	-13,51	±	4,15	a							
			Lea	-3,55	±	7,49	b							
		Supinação	Oxf	-13,67	±	5,44	a	<0,001	0,001	0,898	<0,001	0,003	0,029	<0,001
			Sou	2,28	±	5,78	c							
			Bru	-3,36	±	5,92	a							
			Lea	8,64	±	8,47	b							
			Oxf	-6,49	±	6,45	c							
			Sou	12,22	±	6,50	b							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano transversal valores positivos são indicativos de rotação medial e valores negativos são indicativos de rotação lateral.

Tabela 9. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP	Valor de p da ANOVA	Valor de p dos contrastes						
							Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO SAGITAL	Antepé	Bru	4,22	±	2,98	a	<0,001	0,27	0,005	0,246	0,002	0,645	0,005
		Lea	2,83	±	1,47	a,b							
		Oxf	7,24	±	2,17	c							
		Sou	2,58	±	2,43	a,b							
	Retropé	Bru	2,28	±	1,38	a	0,316	-	-	-	-	-	-
		Lea	2,78	±	2,08	a							
		Oxf	2,77	±	2,24	a							
		Sou	3,92	±	3,86	a							
	Antepé- Retropé	Bru	4,59	±	1,91	a	0,195	-	-	-	-	-	-
		Lea	3,67	±	2,28	a							
		Oxf	3,30	±	1,95	a							
		Sou	5,56	±	3,50	a							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. As médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano sagital - valores positivos são indicativos de dorsoflexão e valores negativos são indicativos de flexão plantar.

Tabela 10. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.

							Valor de p dos contrastes						
Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP	Valor de p da ANOVA	Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou	
PLANO FRONTAL	Antepé	Bru	24,75	±	7,89	a	<0,001	<0,001	0,01	0,003	<0,001	0,026	0,008
		Lea	13,49	±	5,26	b							
		Oxf	23,61	±	8,29	c							
		Sou	19,15	±	10,74	d							
	Retropé	Bru	11,76	±	2,61	a	0,02	<0,001	0,006	0,609	0,001	0,179	0,292
		Lea	10,18	±	2,26	b							
		Oxf	14,22	±	3,92	c							
		Sou	12,64	±	6,22	a,b,c							
	Antepé- Retropé	Bru	8,39	±	4,39	a	0,047	0,021	0,374	0,221	0,027	0,407	0,266
		Lea	4,31	±	1,45	b							
		Oxf	8,07	±	4,40	a,c							
		Sou	5,78	±	5,65	a,b,c							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. As médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano frontal ã valores positivos são indicativos de inversão e valores negativos são indicativos de eversão.

Tabela 11. Comparações das amplitudes de movimento entre os métodos.

Plano	Ângulos	Métodos	Média	±	DP		Valor de p da ANOVA	Bru x Lea	Bru x Oxf	Bru x Sou	Lea x Oxf	Lea x Sou	Oxf x Sou
PLANO TRANSVERSO	Antepé	Bru	4,52	±	1,87	a	<0,001	<0,001	0,03	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
		Lea	18,36	±	6,80	b							
		Oxf	2,95	±	2,30	c							
		Sou	9,69	±	4,26	d							
	Retropé	Bru	12,05	±	5,65	a	0,003	0,021	0,002	0,58	<0,001	0,115	0,132
		Lea	13,23	±	5,36	b							
		Oxf	9,60	±	4,26	c							
		Sou	11,37	±	5,99	a,b,c							
	Antepé-Retropé	Bru	10,64	±	3,42	a	0,002	0,034	<0,001	0,971	<0,001	0,244	0,08
		Lea	12,60	±	5,71	b							
		Oxf	7,80	±	3,86	c							
		Sou	10,59	±	5,36	a,b,c							

Médias e DP (Desvio Padrão) e valores de p. As siglas Bru (Bruening), Lea (Leardini), Oxf (Oxford) e Sou (Souza) representam os métodos. AS médias apresentadas com letras iguais não foram significativamente diferentes, e as médias com letras diferentes foram significativamente diferentes. Plano transversal valores positivos são indicativos de rotação medial e valores negativos são indicativos de rotação lateral.

DISCUSSÃO

O presente estudo encontrou diferenças significativas entre a cinemática obtida pelos diferentes métodos durante a postura ortostática, com efeitos principais das ANOVAs significativos ($p \leq 0,015$) para todas as variáveis mensuradas, exceto no plano frontal no ângulo retropé ($p = 0,088$). Durante o ciclo de pronação-supinação, este estudo encontrou, também, diferenças significativas entre os ângulos obtidos pelos métodos no máximo de pronação e supinação ($p \leq 0,022$), exceto no plano frontal no ângulo do retropé durante o máximo de supinação ($p = 0,150$). Para a ADM durante o ciclo de pronação-supinação, os efeitos principais das ANOVAs também foram significativos ($p \leq 0,047$), exceto nos ângulos sagitais do retropé ($p = 0,316$) e antepé-retropé ($p = 0,195$).

Um método cinemático é composto por seu modelo cinemático, que corresponde à orientação angular dos sistemas de coordenadas dos segmentos, e por sua forma de rastrear as mudanças nas posições dos sistemas de coordenadas ²¹. Em relação à orientação dos sistemas de coordenadas segmentares, deve-se lembrar que, em teoria, os movimentos que compõem a pronação e supinação do complexo tornozelo-pé ocorrem em eixos oblíquos (i.e. que cruzam os três planos de referência) ²⁰. Ou seja, parte do movimento ocorre no plano sagital, parte no plano frontal e parte no plano transversal de um sistema de referências global (e.g. laboratório). Um sistema de análise tridimensional de movimento é capaz de mensurar posições e movimentos angulares dos segmentos em cada um dos planos. Entretanto, não captura a cinemática em relação aos eixos articulares teóricos. As posições e movimentos segmentares e articulares medidos são dos sistemas de coordenadas entre si. Assim, a posição do sistema de coordenadas de cada segmento em relação ao sistema de coordenadas do laboratório impacta diretamente nessas medidas. Por exemplo, se o sistema de coordenadas definido para o retropé tiver seu eixo médio-lateral parcialmente alinhado com o eixo axial do laboratório, com certo desvio superior (i.e. em posição de eversão), parte dos movimentos angulares sagitais do grupo de marcadores de rastreamento em relação ao laboratório será interpretada como movimento do retropé no plano transversal. Além desse efeito nos movimentos medidos, nesse exemplo de sistema de coordenadas do retropé, a posição inicial registrada para

esse segmento seria evertida o que impacta também nos ângulos articulares relacionados ao retropé. A orientação dos sistemas de coordenadas de cada segmento depende da definição usada por cada autor, utilizando marcadores técnicos e anatômicos do método. Quando se trata da captura de movimentos, além da posição inicial do sistema de coordenadas de cada segmento, é preciso considerar também a forma de rastreamento das mudanças na posição dos sistemas de coordenadas, incluindo as posições dos marcadores no corpo e o uso ou não de *clusters*. Diante destas questões, a seguir, serão discutidas as diferenças encontradas na cinemática do antepé em relação ao laboratório, do retropé em relação ao laboratório e do antepé em relação ao retropé..

Cinemática do antepé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório

Plano Sagital

Ao analisar a cinemática do ângulo do antepé no plano sagital durante a postura ortostática, para cada modelo cinemático, pode-se perceber que em todos os métodos o antepé se manteve em flexão plantar, porém em diferentes magnitudes, pois todos foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,008$). Isso pode ser explicado pela posição inicial do sistema de coordenadas, que mostra uma leve inclinação no modelo de Oxford, e inclinações progressivamente maiores nos modelos de Bruening, Souza e Leardini, nesta ordem (Tabela 1), determinando diferentes graus de flexão plantar. Cabe frisar que, no modelo de Leardini, o pico médio de flexão plantar é mais do que 4,5 vezes maior que o apresentado no modelo de Oxford. Durante o movimento de pronação, o método de Leardini e Souza foi significativamente diferente de todos os métodos ($p < 0,002$) e Bruening e Oxford não foram diferentes entre si, e durante a supinação todos os métodos foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,001$). A variável ADM durante a pronação-supinação mostrou que o método Oxford foi diferente do Bruening, Leardini e Oxford, sendo que o Oxford capturou maior ADM. Essa diferença pode ser explicada pela diferença na orientação do eixo médio-lateral do antepé. O modelo Oxford apresentou o eixo médio-lateral do antepé mais alinhado com

o eixo médio-lateral do laboratório, o que faz com que seja capturado maior movimento de flexão plantar/dorsoflexão. Surpreendentemente, durante um ciclo completo do movimento de pronação/supinação, os métodos de Bruening e Oxford descreveram um movimento de flexão plantar do antepé durante a pronação seguido do movimento de dorsoflexão durante a supinação (FIG 4). Já os métodos de Leardini e Souza descreveram o movimento contrário, ou seja, de dorsoflexão durante a pronação e de flexão plantar durante a supinação (FIG 4), o que está mais próximo do esperado ²². A diferença no padrão de movimento de pronação e supinação pode estar relacionada aos marcadores de rastreamento utilizadas por cada autor. Tanto Bruening quanto Oxford possuem marcadores de rastreamento na base do quinto metatarso, sendo que a marca lateral tende a elevação quando ocorre a pronação, levando a um movimento de flexão plantar do antepé. Diferentemente, Souza e Leardini utilizam *clusters* posicionado nos segundo, terceiro e quarto metatarsos ou em maior número de marcadores nas cabeças dos metatarsos, respectivamente.

Plano Frontal

No plano frontal, durante a postura ortostática, observa-se na média que todos os modelos cinemáticos se apresentaram com uma inversão do antepé. O modelo de Oxford foi o único diferente significativamente de todos os demais ($p < 0,001$). Isso pode ser explicado pela posição inicial do sistema de coordenadas, pois o antepé de Oxford manteve uma leve inversão, se aproximando do neutro e os outros modelos se apresentam com uma inversão maior, sendo que o antepé de Souza foi o menos invertido, seguido pelo de Leardini e depois pelo de Bruening (Tabela 2). Pode-se constatar que todos os métodos descreveram um movimento de eversão durante o movimento de pronação, sendo que os de Oxford e de Souza foram diferentes significativamente de todos os demais ($p < 0,001$). O modelo de Oxford foi o único que registrou posição de eversão do antepé em relação ao eixo de coordenadas do laboratório durante o máximo de pronação e o de Souza, apesar de não apresentar valor médio de eversão, aproximou-se do neutro no pico de pronação. Já os métodos de Bruening e Leardini não foram diferentes entre si registrando, no pico de pronação,

valores de inversão próximos entre si e maiores do que os outros dois métodos. Durante a supinação, todos os métodos descreveram movimento de inversão do antepé sendo que os métodos de Bruening ($p < 0,001$) e de Oxford ($p < 0,025$) foram diferentes significativamente dos demais, apresentando respectivamente o maior e o menor valor de inversão do antepé. Já os de Leardini e de Souza não foram diferentes entre si, apresentando valores intermediários. Observando então a variável ADM, vimos que todos os métodos foram diferentes significativamente entre si ($p < 0,026$), sendo que Leardini apresentou menor ADM, seguido de Souza, Oxford e Bruening. Em relação à orientação dos eixos anteroposteriores, os modelos possuíram diferentes posições iniciais de flexão plantar conforme explicado durante a caracterização dos modelos no plano sagital. O método que apresentou, ao mesmo tempo, maior flexão plantar na postura ortostática e menor ADM no plano frontal foi o de Leardini. A mesma relação inversa ocorre quando se trata do método de Souza, que apresentou o segundo maior valor de flexão plantar e o segundo menor valor de ADM no plano frontal. Isso ocorre provavelmente porque, conforme o eixo frontal do antepé se encontra em flexão plantar, parte do movimento de inversão e eversão em relação ao laboratório será registrado como movimento de rotação lateral (abdução) e rotação medial (adução), respectivamente. Bruening e Leardini capturaram as maiores ADMs provavelmente porque possuem menor angulação de flexão plantar. Em relação ao método de rastreamento, Leardini apresentou dois marcadores nas cabeças dos metatarsos e apenas um marcador na base. Durante a tarefa realizada, as cabeças dos metatarsos apresentavam pouco movimento, o que justifica a menor ADM apresentada pelo Leardini. Oxford e Bruening utilizaram marcadores posicionados na base do primeiro metatarso, marcador que mais se movimenta durante o movimento de pronação e supinação, justificando a maior ADM desses métodos. Souza utilizou três marcadores posicionados em um *cluster* fixado na parte dorsal dos ossos dos metatarsos 2º a 4º. Por não possuir marcador no corpo do primeiro metatarso, Souza apresentou menor ADM do que Oxford e Bruening.

Plano Transverso

No plano transversal, durante a postura ortostática, vimos que o modelo de Souza não foi diferente dos outros modelos, porém os modelos de Bruening, Leardini e Oxford foram estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,001$). Bruening e Oxford se mantiveram com uma posição inicial de rotação medial, e os modelos de Leardini e Souza mantiveram uma posição inicial de rotação lateral. Durante um ciclo de pronação e supinação, todos os métodos descreveram um movimento de rotação lateral (abdução) durante a pronação e rotação medial (adução) durante a supinação. Durante o movimento de pronação, observou-se que os métodos de Leardini e Souza ($p \leq 0,004$) apresentaram valores de maior rotação lateral (i.e. valores maiores), em relação aos outros métodos, mantendo a tendência da postura ortostática. Durante o movimento de supinação, todos os métodos foram significativamente diferentes entre si ($p < 0,001$), sendo que a tendência de Leardini e Souza apresentarem valores de maior rotação lateral se manteve; entretanto, sendo que Leardini apresentou rotação lateral maior que Souza. Para a variável ADM ($p < 0,030$), Leardini apresentou maiores valores, seguido de Souza, Bruening e Oxford. A diferença nas ADMs pode estar relacionada à orientação do eixo transversal. Quando esse eixo apresenta uma maior inclinação anterior, os movimentos dos marcadores de rastreamento no plano frontal do laboratório são interpretados, em parte, como movimento do antepé no plano transversal. Uma vez que a pronação-supinação possui grande parte de seus movimentos no plano frontal do laboratório, isso parece ter levado às maiores ADMs no plano transversal definido para o antepé em Leardini e gradualmente menor em até o método de Oxford. Além disso, essas diferentes ADMs podem estar relacionadas aos marcadores de rastreamento utilizados por cada autor. Em relação ao método de rastreamento, Leardini apresentou dois marcadores nas cabeças dos metatarsos e apenas um marcador na base. Durante a tarefa realizada, os marcadores representaram um movimento maior de rotação. Souza utilizou três marcadores posicionados em um *cluster* fixado na parte dorsal dos ossos dos metatarsos 2º a 4º, captando um movimento com amplitude intermediária. Oxford e Bruening utilizaram marcadores posicionados na base do primeiro e quinto metatarso, capturando um movimento menor de rotação.

Cinemática do retropé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório

Plano Sagital

Analisando a cinemática do ângulo do retropé no plano sagital durante a postura estática, para cada modelo cinemático, vimos que todos os modelos capturaram este segmento em dorsoflexão. Vale destacar a grande variabilidade encontrada com o modelo de Souza (Tabela 1). Essa maior variabilidade pode estar relacionada às referências anatômicas de Souza (sustentáculo do tálus, tuberosidade peroneal, maléolo medial e maléolo lateral), que podem ter levado a uma maior variabilidade entre os indivíduos, em comparação com as referências anatômicas usadas pelos outros métodos. As referências anatômicas do Souza podem ter posições naturalmente mais variáveis entre os indivíduos, além disso, podem ser de mais difícil identificação pelo avaliador. Estatisticamente ($p < 0,001$), o modelo de Leardini apresentou maior dorsoflexão que os outros dois seguidos pelo de Bruening e depois pelo de Oxford, no qual o ângulo do retropé foi mais próximo do neutro. Todos os métodos cinemáticos descreveram o movimento de flexão plantar durante a pronação e de dorsoflexão durante a supinação, o que se apresentou como uma diminuição no ângulo de dorsoflexão no pico de pronação e um aumento da dorsoflexão no pico de supinação em relação aos eixos do laboratório. Durante o movimento de pronação, os métodos não foram diferentes do Souza, semelhante aos resultados da postura ortostática, porém, o Bruening teve diferenças significativas do Leardini ($p = 0,001$) e Oxford ($p < 0,001$) e o Leardini foi diferente significativamente do Oxford ($p < 0,001$). Durante a supinação, o método do Oxford foi significativamente diferente de todos ($p < 0,024$), com menor dorsoflexão que os demais. Essa diferença nos valores no máximo de supinação pode ser explicada pela posição inicial do sistema de coordenadas, que era menos dorsoflexado que os demais métodos. A variável ADM não teve diferença significativa entre os métodos ($p = 0,316$). Como vimos nos métodos, Bruening e Leardini utilizam os mesmos marcadores de rastreamento (calcâneo inferior, sustentáculo do tálus e tuberosidade peroneal). Oxford utiliza os mesmos marcadores do Bruening e Leardini, adicionado um marcador inserido em uma haste. Souza utiliza um *cluster* fixado ao calcâneo. Como todos os métodos utilizam marcadores de rastreamento no mesmo

osso (i.e. calcâneo), que se comporta similarmente a um corpo rígido, não houve diferenças na ADM.

Plano Frontal

No plano frontal, durante a postura ortostática, para cada modelo cinemático, observa-se que os retropés de Bruening, Oxford e Souza se apresentaram com uma leve eversão, enquanto que o de Leardini se mostrou com uma leve inversão. Porém, não houve diferenças significativas durante a postura ortostática ($p=0,088$). Isso pode ser explicado pela posição inicial similar dos sistemas de coordenadas. Todos os métodos mostraram um movimento de eversão do retropé durante a pronação e um movimento de inversão do retropé durante a supinação, como esperado. Durante o movimento de pronação, apenas os métodos do Bruening e Oxford foram diferentes dos métodos de Leardini e Souza ($p=0,021$), sendo que Bruening e Oxford apresentaram maior eversão do que Leardini e Souza no máximo de pronação. Não houve diferença significativa estatisticamente, durante a supinação, entre os métodos. Observando a variável ADM, foi constatado que os métodos, exceto pelo de Souza, são significativamente diferentes entre si ($p\leq 0,006$). O método que capturou maior ADM foi o de Oxford, seguido pelo Leardini e por último o Bruening. Apesar de possuírem marcadores de rastreamento no mesmo osso, esses métodos capturaram diferentes ADMs provavelmente devido à orientação do sistema de coordenadas. O método Oxford foi aquele que apresentou o eixo ântero-posterior com menores desvios nos sentidos de dorsoflexão/flexão plantar e rotações medial/lateral, capturando mais isoladamente o movimento de inversão e eversão em relação ao laboratório.

Plano Transverso

No plano transverso, durante a postura ortostática, vimos que os modelos de Leardini ($p<0,017$) e Souza ($p<0,001$) foram significativamente diferentes dos demais. Todos os modelos mantiveram uma posição inicial dos eixos com rotação lateral. Durante o movimento de pronação, todos os métodos mostraram rotação medial na pronação e rotação lateral na supinação. Durante o movimento de pronação, os

métodos de Leardini ($p=0,011$) e Souza ($p=0,001$) foram diferentes significativamente dos demais, representando, respectivamente, os que capturaram maiores e menores pico de rotação medial. Na supinação, apenas o método de Souza ($p=0,001$) foi significativamente diferente dos demais. Esse resultado pode ser explicado pela posição inicial dos eixos. Houve diferença significativa estatisticamente para a variável ADM, sendo que Leardini capturou maior ADM, seguido por Bruening e Oxford. O método Oxford foi aquele que apresentou o eixo súpero-inferior com menores desvios, pois foi neutro no sentido de dorsoflexão/flexão plantar e inversão/eversão, capturando o movimento de rotação axial mais isoladamente em relação ao laboratório. O método Leardini, por sua vez, foi aquele que apresentou o eixo súpero-inferior com maior desvio no sentido da dorsiflexão, capturando o movimento de rotação com grande influência do movimento de inversão e eversão em relação ao laboratório. Como no movimento de pronação/supinação em cadeia fechada o calcâneo realiza maior quantidade de movimento de inversão/eversão do que movimento de rotação, o Leardini capturou maior ADM no plano transversal, visto que a mesma pode ter sido influenciada pelo grande movimento no plano frontal.

Cinemática do antepé em relação ao retropé em relação ao sistema de coordenadas do laboratório

Plano Sagital

Analisando a cinemática do ângulo do antepé em relação ao retropé no plano sagital durante a postura estática, vimos que todos os métodos se mantiveram em flexão plantar. Os métodos de Leardini ($p<0,001$) e de Oxford ($p<0,001$) foram diferentes significativamente dos demais, representando respectivamente a maior e a menor média de pico de flexão plantar. Durante o movimento de pronação, os métodos de Leardini ($p<0,001$) e de Oxford ($p<0,005$) foram diferentes significativamente dos demais. De forma semelhante, durante a supinação, os métodos de Leardini ($p<0,001$) e Oxford ($p<0,001$) foram diferentes significativamente dos demais. Os métodos do Bruening, Leardini e Souza seguiram um padrão de dorsoflexão do antepé durante a

pronação e o método do Oxford realizou uma flexão plantar. Como foi explicado para o antepé em relação ao laboratório, o antepé de Oxford descreve movimento de flexão plantar durante a pronação provavelmente devido à marca de rastreamento na base do quinto metatarso. Devido a isso, no método de Oxford, a flexão plantar do antepé foi maior do que a flexão plantar do retropé, fazendo com que fosse calculado um movimento articular de flexão plantar. O antepé de Bruening também capturou movimento de flexão plantar do antepé durante a supinação, porém neste caso a flexão plantar do retropé mostrou-se superior à do antepé fazendo com que os picos de ângulo articular no plano sagital, no auge da pronação acompanhassem a tendência dos métodos de Souza e de Leardini de dorsoflexão durante a pronação. A variável ADM não teve diferença significativa entre os métodos. Este fato pode ser explicado parcialmente pela similaridade entre as ADMs do retropé entre todos os métodos e do antepé entre os métodos de Bruening, Souza e Leardini. Estes três métodos registraram movimento articular no mesmo sentido e tiveram ADMs segmentares semelhantes, o que é coerente com os dados de ADMs segmentares.

Plano Frontal

No plano frontal, durante a postura ortostática, vimos que a articulação antepé-retropé de Bruening e Leardini se apresentaram com uma inversão maior, enquanto que Oxford e Souza se mostraram com uma pequena inversão, mais próxima do neutro. Bruening e Leardini tiveram diferença significativa durante a postura ortostática ($p<0,009$), ao passo que Oxford e Souza não tiveram diferenças significativas entre si ($p=0,451$). Durante o movimento de pronação os métodos de Bruening e Leardini ($p=0,139$) e Oxford e Souza ($p=0,654$) não tiveram diferenças significativas entre eles, porém Bruening e Leardini foram estatisticamente diferentes do Oxford e Souza ($p<0,001$). Durante a supinação, os métodos de Bruening e Souza mostraram diferenças significativas ($p<0,001$), sendo que Bruening registrou maior inversão que Souza. Durante a pronação, os métodos de Bruening, Oxford e Souza, capturaram um movimento de eversão do antepé em relação ao retropé. O método Leardini, porém, capturou um movimento de inversão do antepé em relação ao retropé. Essa diferença

pode ocorrer porque o método Leardini utiliza dois marcadores de rastreamento nas cabeças do 1° e 5° metatarsos. Nesse caso, as cabeças dos metatarsos permanecem relativamente paradas, enquanto o retropé está evertendo. Como consequência, no método Leardini, há uma menor eversão do antepé em relação ao retropé, gerando um movimento articular de inversão do antepé em relação ao retropé durante a pronação. Nos casos do Bruening e Oxford, existem mais marcadores de rastreamento em bases dos metatarsos, no qual tendem a movimentar mais do que as cabeças, fazendo com que o antepé everta mais do que o retropé durante a pronação. Essas diferenças parecem ser relacionadas aos maiores desvios do eixo frontal dos sistemas de coordenadas de Bruening e Leardini, em relação ao laboratório.

Plano Transverso

No plano transverso, durante a postura ortostática, para a relação antepé-retropé, vimos que os modelos de Bruening e Oxford mantiveram uma posição inicial dos eixos com rotação lateral, ao passo que Souza e Leardini permaneceram em rotação medial. Todos os métodos mostraram uma rotação lateral do antepé em relação ao retropé durante a pronação e uma rotação medial do antepé em relação ao retropé durante a supinação, como esperado. Durante o movimento de pronação, os métodos de Leardini ($p=0,029$) e Souza ($p=0,001$) foram diferentes significativamente dos demais. Na supinação, o método de Bruening ($p=0,042$) e de Oxford ($p=0,042$) foi significativamente diferente dos demais. Em relação a variável ADM, diferentemente do plano frontal, o método de Leardini foi o que capturou maior ADM ($p=0,001$), seguido do de Bruening ($p=0,034$) e depois do de Oxford ($p=0,001$), seguindo a mesma tendência das ADMs do antepé. É possível que o método de Souza não tenha apresentado diferença significativa para esta variável devido à grande variabilidade de movimento capturado no retropé por este método.

Existem algumas limitações do nosso estudo que precisam ser reconhecidas. Primeiro, não sabemos se os resultados são aplicáveis e generalizados para indivíduos com alguma deformidade no pé, como hálux excessivamente valgo, pois nossa amostra foi composta apenas por pessoas saudáveis, não utilizando pessoas com alterações

estruturais e anatômicas no pé. Em segundo lugar, nosso estudo usou apenas o movimento de pronação-supinação, existindo outros movimentos funcionais. As diferenças observadas entre os métodos no movimento de pronação e supinação pode não ser ocorrer em outras atividades, como marcha e corrida.

CONCLUSÃO

O presente estudo descreveu ângulos segmentares e articulares obtidas por meio de quatro métodos comumente utilizados para avaliação cinemática tridimensional do antepé, retropé e antepé-retropé durante a postura e movimentos de pronação e supinação em ortostatismo, e identificou diferenças entre eles. Isso significa que a escolha do método pode influenciar nos resultados obtidos por estudos de cinemática do pé segmentado. Não existe um consenso objetivo sobre qual método seria mais recomendado, uma vez que sua escolha é influenciada pelo modelo teórico anatômico/cinesiológico assumido por um pesquisador. Ainda assim, é importante entender os movimentos que cada método captura para auxiliar nessa escolha. Portanto, os resultados deste estudo podem auxiliar pesquisadores a escolher o método cinemático mais adequado a ser empregado em futuros estudos.

REFERÊNCIAS

1. MICHAUD, T. C. **Foot Orthoses and Other Forms of Conservative Foot Care**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1993.
2. VILADOT, A. Dez lições de patologia do pé. In: **Diez lecciones sobre patologia del pie**. São Paulo: Roca, 1986. p.202.
3. SAADI, L. M. V.; KNACKFUSS, I. G.; CASTRO, C. L.N.; EMYGDIO, R. Análise cinemática tridimensional da articulação subtalar durante a marcha em mulheres normais. **Acta Fisiátra**. Rio de Janeiro, v.5, p. 31-37, Abril 1998.
4. BLOEDEL, P. K.; HAUGER, B. The effect of limb length discrepancy on subtalar joint kinematics during running. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, EUA, v.22, p. 60-64, Agosto 1995.
5. MICHAUD, T. C. Abnormal motion during the gait cycle. In: **Foot orthoses: and other forms of conservative foot care**. Massachusetts: Williams & Wilkins, 1993.
6. FONSECA, H. L. **Análise dos Efeitos de Três Métodos de Correção do alinhamento do pé na Cinemática do complexo do pé-tornozelo na Marcha**. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação) ã Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
7. DONATELLI, R.; HULBERT, C.; CONAWAY, D.; PIRRE, R. S. T. Biomechanical foot orthotics: A retrospective study. **J Orthop Sports Phys Ther.**, Atlanta, v.10, p. 205-212, 1988.
8. DONATELLI, R.; WOODEN, M.; EKEDAH, S. R.; WILKES, J. S.; COOPER, J.; BUSH, A.J. Relationship between static and dynamic foot postures in professional baseball players. **J Orthop Sports Phys Ther.**, Geórgia, v.29 316-25; discussion 326-30, Jun. 1999.
9. ENG, J. J.; PIERRYNOWSKI, M.R. The effect of soft foot orthotics on three-dimensional lower-limb kinematics during walking and running. **Phys Ther.**, Canadá, v.74, pág. 836-845, Março 1994.

10. NAWOCZENSKI, D.A.; COOK, T.M.; SALTZMANN, C.L. The effect of foot orthotics on three-dimensional kinematics of the leg and rearfoot during running. **J. Orthop. Sports Phys. Ther.**, USA, v.21, p. 317-327, Jun. 1995.

11. SCOTT, S.H.; WINTER, D.A. Talocrural and talocalcaneal joint kinematics and kinetics during the stance phase of walking. **J. Biomechanics**, Canadá, v.24, pág. 743-752, Janeiro 1991.

12. ROSE, J.; GAMBLE, J. G. **Marcha Humana**. 2. ed. São Paulo: Editorial Premier, 1998. 280 p.

13. VAUGHAN, C. L.; DAVIS, B. L.; O'CONNOR, J. C. **Dynamics of human Gait**. 2. ed. Cape Town: Kiboho Publishers, 1999.

14. DESCHAMPS, K.; STAES, F.; ROOSEN, P.; NOBELS, F.; DESLOOVERE, K.; BRUYNINCKX, H.; MATRICALI, G. Body of evidence supporting the clinical use of 3D multisegment foot models: A systematic review. **Gait Posture**, Bélgica, v.33, pág. 338-349, Dezembro 2010.

15. LEARDINI, A.; BENEDETTI, M.G.; CATANI, F.; SIMONCINI, L.; GIANNINI, S. An anatomically based protocol for the description of foot segment kinematics during gait. **Clinical Biomechanics**, Itália, v.14, pág. 528-536, Janeiro 1999.

16. CARSON, M.C.; HARRINGTON, M.E.; THOMPSON, N.; O'CONNOR, J.J.; Theologis, T.N. Kinematic analysis of a multi-segment foot model for research and clinical applications: a repeatability analysis. **J Biomech.**, UK, v.34, p. 1299-1307, 2001.

17. SOUZA, T.R.; FONSECA, H.L.; VAZ, A.C.; ANTERO, J.S.; MARINHO, C.S.; FONSECA, S.T. Between-day reliability of a cluster-based method for multisegment kinematic analysis of the foot-ankle complex. **J Am Podiatr Med Assoc**. Nov., v.104, n.6, p.601-9, 2014. doi: 10.7547/8750-7315-104.6.601.

18. BRUENING, D. A.; COONEY, K. M.; BUCZEK, F. L. Analysis of a kinetic multi-segment foot model. Part I: Model repeatability and kinematic validity. **Gait Posture**, USA, v.35, p. 529-534, Outubro 2012.

19. MANAL, K., MCCLAY, I., STANHOPE, S., RICHARDS, J., GALINAT, B. Comparison of surface mounted markers and attachment methods in estimating tibial rotations during walking: an in vivo study. **Gait Posture** v.11, p.38-45, 2000.
20. NEUMANN, D.A. **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
21. CAPOZZO, A., DELLA CROCE, U., LEARDINI, A., CHIARI, L. Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 1: theoretical background. **Gait Posture**. Feb;v.21, n.2, p.186-96, 2005.
22. HALL, S.J. **Biomecânica Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999.

ANEXO A



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Projeto: CAAE – 50164515.7.0000.5149

Interessado(a): Prof. Sergio Teixeira da Fonseca
Departamento de Fisioterapia
EEFFTO- UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 16 de fevereiro de 2016, o projeto de pesquisa intitulado "influência da resistência passiva do quadril e médio-pé sobre a cinemática articular dos membros inferiores como parte de uma sinergia para o deslocamento anterior da pelve durante a marcha" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.

Profa. Dra. Telma Campos Medeiros Lorentz
Coordenadora do COEP-UFMG

ANEXO B

Anexo II

DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA – EEFFTO - UFMG

Carta de Encaminhamento

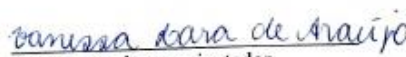
Belo Horizonte, 22 de dezembro de 2016.

Eu, Thales Rezende de Souza, orientador do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS CINEMÁTICOS MULTISEGMENTARES DO PÉ** autorizo o aluno Breno Gonçalves Teixeira a entregar as duas cópias do trabalho para apreciação da banca examinadora.

Declaro ainda, estar de acordo com o conteúdo do trabalho apresentado.

Atenciosamente,


Assinatura do orientador


Assinatura do co-orientador

ANEXO C

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: Influência da resistência passiva do quadril e médio-pé sobre a cinemática articular dos membros inferiores como parte de uma sinergia para o deslocamento anterior da pelve durante a marcha.

Investigadores Principais: Fabrício Anício de Magalhães e Vanessa Lara de Araújo

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Teixeira da Fonseca

Gostaríamos de convidá-lo a participar de nosso estudo. O nosso objetivo é investigar como as forças passivas que agem no quadril e pé se interagem para produzir os movimentos das pernas, pelve e tronco durante a caminhada.

Procedimentos: Os testes serão realizados no Laboratório de Análise do Movimento (sala 1107) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO-UFMG). Caso concorde em participar, precisamos da sua assinatura neste termo de consentimento, indicando que você entendeu todos os procedimentos, os riscos e os benefícios do presente estudo. Para tanto, descreveremos a seguir todas as etapas da pesquisa:

- x Inicialmente, serão medidos o seu peso, a altura e os comprimentos de sua perna e pé.
- x Logo após, você deitará em uma maca de barriga para baixo onde iremos movimentar suavemente o seu quadril por três vezes para se estimar a força passiva de resistência ao movimento.
- x Na mesma posição da situação anterior, também será medido a força passiva de resistência do seu pé por meio de um instrumento de medida que o movimentará o seu pé suavemente por três vezes.
- x Em sequência, pequenos marcadores (bolinhas reflexivas) serão fixados com fita dupla face em pontos específicos do seu tronco, pelve, coxa, perna e pé. Tanto a colocação quanto a retirada destes marcadores é um procedimento completamente indolor que será realizado por pesquisadores experientes.
- x A seguir, você deverá caminhar descalço(a) sobre uma passarela de madeira contendo dois retângulos de metal para medir informações importantes sobre a sua forma de andar.

- x Por fim, você deverá caminhar novamente sobre a mesma passarela de madeira, mas agora calçando um tênis que contém uma palmilha.

Riscos e desconfortos: A sua participação no estudo oferece riscos mínimos à sua saúde. Mas, algumas situações podem ocorrer como: 1) leve desconforto no quadril e pé - que não deve permanecer após os testes - similar ao de exercícios de alongamento durante os testes de resistência passiva; 2) pequena irritação na pele (que, caso ocorra, deve se resolver sozinha em poucos dias) devido à fixação dos marcadores com fitas adesivas; 3) leve desconforto nos pés durante o teste de caminhada por estar calçando um tênis com palmilha, mas este possível desconforto não deverá permanecer após o teste.

Benefícios esperados: Não são esperados benefícios diretos ao indivíduo em decorrência da sua participação nesta pesquisa. Porém, os resultados do presente estudo serão um avanço para a prática da fisioterapia, uma vez que um novo instrumento clínico para a avaliação dos movimentos do pé será testado. Adicionalmente, o conhecimento a ser produzido certamente aumentará o entendimento das relações entre as forças passivas do pé e quadril e os movimentos das pernas e tronco durante a caminhada.

Confidencialidade: Para se garantir a confidencialidade dos dados obtidos nesta pesquisa, o seu nome não será utilizado em nenhum veículo de publicação dos resultados.

Recusa ou desistência da participação: Sua participação é inteiramente voluntária, portanto a sua desistência poderá ocorrer a qualquer momento sem necessidade de justificativa e não lhe acarretará qualquer prejuízo.

Gastos: Você deverá comparecer no laboratório de análise do movimento da EEEFTO-UFMG nos dias e horários previamente agendados. Caso seja necessário, uma ajuda de custo para cobrir gastos com transporte e alimentação poderão ser fornecidos pelos pesquisadores.

Mais informações sobre o estudo poderão ser fornecidas pelos pesquisadores responsáveis Fabrício Magalhães (telefone 31 9 8827-3070) e Vanessa Araújo (telefone 31 9 9727-8285). Além disso, para obter mais informações e responder a dúvidas, você também poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa CEP/UFMG na Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II, 2º. Andar, Sala 2005 (telefone 31 3409-4592). Após a leitura completa do presente documento, caso concorde em participar, você deverá assinar o termo de consentimento abaixo e rubricar todas as folhas desse termo. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Eu li e entendi toda a informação acima. Todas as minhas dúvidas foram satisfatoriamente respondidas e eu concordo em ser um voluntário do estudo.

Assinatura do Voluntário

Data

Dr. Fabrício Anício de Magalhães

Data

Dr. Vanessa Lara de Araújo

Data

Dr. Sérgio Teixeira da Fonseca

Data

COEP ã Comitê de Ética em Pesquisa/UFMG

Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 ã Unidade Administrativa II ã 2º. Andar ã Sala 2005 ã
Cep 31270-901- Belo Horizonte ã MG / Telefax: (31) 3409-4592

Email: coep@prpq.ufmg.br.