

Ana Luiza Resende Rodrigues

**MEDIDAS DE CINEMÁTICA E ACOPLAMENTOS DO COMPLEXO  
ARTICULAR RETROPÉ-PERNA:  
uma revisão crítica**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2017

Ana Luiza Resende Rodrigues

**MEDIDAS DE CINEMÁTICA E ACOPLAMENTOS DO COMPLEXO  
ARTICULAR RETROPÉ-PERNA:  
uma revisão crítica**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Fisioterapia da Universidade Federal  
de Minas Gerais, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Thales Rezende de Souza

Co-orientador: Msc. Diego da Silva Carvalho

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

2017

## RESUMO

**Objetivo:** Descrever medidas de cinemática e acoplamento do complexo retropé-perna, considerando a relação entre os movimentos nos planos frontal e transversal e realizar um levantamento das medidas existentes do mesmo por meio de uma revisão crítica da literatura. **Métodos:** Foi realizada uma busca por estudos que utilizaram métodos para mensurar o acoplamento retropé-perna, publicados entre 2007 a 2017, em língua inglesa, nas bases de dados MEDLINE, PEDro, BIREME, Biblioteca Cochrane e Google Acadêmico. Não houve restrição quanto ao delineamento do estudo. Para a seleção dos estudos científicos, foram estabelecidos os seguintes critérios de elegibilidade: 1) Apresentar no mínimo uma medida do acoplamento de movimentos existentes no complexo retropé-perna; 2) Estudos in vivo; 3) Medidas realizadas em indivíduos saudáveis. Foram excluídos estudos que apresentassem somente medidas intrínsecas entre as regiões do pé. Análises cujo objetivo era especificamente o trabalho com órteses ou próteses também não foram incluídos devido às dificuldades em extrapolar os resultados para indivíduos saudáveis. Estudos com técnicas cirúrgicas não foram considerados. **Resultados:** A busca foi realizada em Maio de 2017. Foram encontrados um total de 93 artigos nas bases de dados eletrônicas. Destes, somente 12 artigos foram selecionados para esta revisão. Foram encontrados artigos que utilizaram medidas da cinemática e acoplamento retropé-perna na marcha e atividades de agachamento. Em sua maioria, utilizaram análises cinemáticas tridimensionais, com modelo de pé multissegmentado. **Conclusão:** Com o passar dos anos, a complexidade dos estudos do acoplamento retropé-perna aumentou, levando em consideração as alterações e interdependências não só locais, como também distais, em todos os eixos de movimento. A utilização de modelos de pé multissegmentados providenciou uma compreensão mais profunda em relação à sua cinemática, porém este método possui limitações, sendo pouco aplicável na prática clínica. É necessária a criação ou simplificação de medidas do acoplamento que sejam viáveis.

**Palavras-chave:** Medida. Acoplamento. Retropé. Tíbia.

*Ao Pai, pela força*  
*A minha família, pelo apoio incondicional*  
*Aos mestres, por mostrarem o caminho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Thales Rezende de Souza, pela paciência, cobranças e oportunidades dadas.

Ao meu co-orientador, Diego da Silva Carvalho, pela disponibilidade, carinho e puxões de orelha.

A todos os professores que participaram da minha trajetória acadêmica. Tem um pedacinho de cada um de vocês no meu trabalho.

Ao amigo, Cristiano Pontes, pela força e incentivo, além de todos que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 . Tabela comparativa dos resultados

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	9
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	10
3.1. Estratégia de busca .....	10
3.2. Critérios de elegibilidade.....	10
3.3. Seleção dos estudos e extração dos dados .....	11
3.4. Avaliação do risco de viés .....	11
<b>4. RESULTADOS</b> .....	12
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	27

## 1 INTRODUÇÃO

As ocupações e o estilo de vida moderno envolvem atividades prolongadas, em posturas nem sempre ideais e um grande número de movimentos repetitivos que podem impor cargas internas e externas sobre os membros inferiores (GOECKING, *et al.*, 2006; FONSECA, *et al.*, 2007). O sistema músculo-esquelético deve possuir recursos que gerenciem estas forças de modo que estas sejam geradas, dissipadas ou transferidas de maneira adequada entre os segmentos e tecidos do corpo, para assim, garantir eficiência do movimento e integridade estrutural (FONSECA, *et al.*, 2011, BITTENCOURT, *et al.*, 2015). Padrões de movimento e posturas alterados podem ser capazes de aumentar o estresse mecânico aplicado sobre estruturas músculo-esqueléticas (FONSECA, *et al.*, 2007; MUELLER & MALUF, 2002; SAHRMANN, 2002). Assim, o entendimento desses padrões e posturas alterados possibilitaria uma abordagem clínica adequada para diversas lesões ortopédicas (FONSECA, *et al.*, 2007; SAHRMANN, 2002). Estes padrões de movimento ocorrem devido a um acoplamento articular existente entre pé e estruturas proximais do membro inferior (DELEO, *et al.*, 2004; GOECKING *et al.*, 2006; POHL, *et al.*, 2007).

O acoplamento entre movimentos de segmentos e/ou articulações do membro inferior têm sido estudados para compreensão da coordenação do movimento e como fator possivelmente relacionado com lesões ortopédicas (DELEO *et al.*, 2004). Existe um acoplamento entre os movimentos do retropé, no plano frontal, e da perna, no plano transversal, em que a eversão do retropé geralmente é acompanhada de rotação medial da perna, e a inversão do retropé geralmente é acompanhada de rotação lateral da perna (POHL & BUCKLEY, 2008; SOUZA, *et al.*, 2010; LEITE, *et al.*, 2012). Entretanto, diferentes indivíduos parecem apresentar diferentes quantidades relativas do movimento do retropé em relação ao movimento da perna (NAWOCZENSKI, *et al.*, 1998; POHL, *et al.*, 2007). Isso é comumente atribuído à inclinação do eixo da articulação subtalar (BEIMERS, *et al.*, 2012; VAN ALSENOY, *et al.*, 2014; BROCKETT, *et al.*, 2016), mesmo que se saiba que os movimentos entre a perna e o calcâneo, nos planos frontal e transversal, ocorrem também na articulação talocrural (NESTER, *et al.*, 2007).



As diferentes quantidades relativas de inversão-eversão do retropé e de rotação medial-lateral da perna parece influenciar nos tipos de lesões ortopédicas ocorridas no membro inferior (ROOT, *et al.*, 1977; NEUMANN, 2002). Indivíduos que apresentam diferentes quantidades de inversão-eversão do retropé em relação à rotação medial-lateral da perna possuem tendência a sofrerem lesões em locais anatômicos diferentes. Alguns autores sugerem que os corredores com altas taxas de eversão/rotação interna da tíbia (EV / RIT) (maior eversão relativa do calcâneo) teriam um maior risco de lesões nos pés. Por outro lado, aqueles com EV / RIT inferiores (maior rotação interna relativa da tíbia) apresentariam maior risco de lesões relacionadas joelho (NAWOCZENSKI, *et al.*, 1998; WILLIAMS, *et al.*, 2001, DE LEO, *et al.*, 2004).

O desenvolvimento da síndrome do piriforme, por exemplo, pode ocorrer devido à rotação medial excessiva do quadril, que por sua vez aumenta a demanda excêntrica sobre os músculos rotadores laterais do quadril (TONLEY *et al.*, 2010). A rotação medial do quadril, associada à adução excessiva dessa articulação, pode sobrecarregar a banda iliotibial e gerar forças de fricção e compressão dessa banda sobre a bursa trocantérica, propiciando o surgimento da síndrome da banda iliotibial e bursite trocantérica (WILLEMS *et al.*, 2006). O valgismo dinâmico do joelho também pode proporcionar o aumento do estresse compressivo lateral na articulação patelofemoral e favorecer desenvolvimento da síndrome da dor patelofemoral (POWERS *et al.*, 2003; BARTON *et al.*, 2009). Já indivíduos que apresentam maior quantidade de movimento de inversão-eversão do retropé possuem tendência a sofrerem lesões como entorses recorrentes, possibilitando uma futura instabilidade crônica do tornozelo (HERB *et al.*, 2014) . A pronação excessiva do complexo pé-perna, por sua vez, pode aumentar a demanda excêntrica sobre os músculos supinadores, levando a forças de tração excessivas no local de origem desses músculos, predispondo à inflamação no periósteo (WILLEMS *et al.*, 2006, 2007). Sendo assim, é importante conhecer a quantidade relativa desses movimentos em cada avaliação e ressaltar sua relevância na biomecânica individual.

Existem estudos que mensuraram a quantidade relativa do acoplamento retropé-perna nos planos frontal e transversal, utilizando-se de

diferentes métodos, durante as atividades como marcha, agachamento ou até mesmo a postura ortostática. Faz-se necessário entender essas medidas e enumerá-las, para que se compreenda o acoplamento em questão e para que, em estudos futuros, se possa escolher uma dessas medidas. Assim, o objetivo desse estudo foi descrever o acoplamento do complexo retropé-perna (quantidade de inversão-eversão do retropé em relação à quantidade de rotação medial-lateral da perna) e realizar um levantamento das medidas existentes por meio de uma revisão crítica da literatura.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo desse estudo foi realizar um levantamento das medidas existentes do acoplamento do complexo retropé-perna, considerando a relação entre os movimentos nos planos frontal e transversal, por meio de uma revisão crítica da literatura. A partir destes dados, realizou-se uma discussão com base nos resultados das diferentes medidas do acoplamento retropé-perna.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Estratégias de busca

Foi realizada uma pesquisa da literatura na área médica e da fisioterapia, por estudos científicos, que utilizaram medidas para mensurar o acoplamento relativo dos movimentos existentes entre o retropé no plano frontal e a perna no plano transversal, utilizando-se das seguintes bases de dados eletrônicas: MEDLINE, Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Biblioteca Virtual em Saúde (BIREME), CochraneLibrary e Google Acadêmico. A combinação das seguintes palavras-chave foi utilizada: *measure, coupling, motion, shank ou tibia, rearfoot ou hindfoot, internalrotation, externalrotation, eversion e inversion*. Foram selecionados estudos científicos publicados entre os anos de 2007 e 2017, de língua inglesa, sem restrições quanto ao delineamento. Títulos e resumos foram selecionados por dois revisores de forma independente para identificação dos estudos relevantes. As investigações publicadas apenas em forma de resumo não foram incluídas.

#### 3.2 Critérios de elegibilidade

Elegeram-se estudos que apresentaram qualquer medida do acoplamento entre retropé (plano frontal) perna (plano transversal), seja ela realizada em modelos de análise tridimensional, bidimensional ou clínico. Para a seleção dos estudos científicos, foram estabelecidos os seguintes critérios de elegibilidade: 1) Apresentar no mínimo uma medida do acoplamento de movimentos existentes no complexo retropé-perna; 2) Estudos *in vivo*; 3) Medidas realizadas em indivíduos saudáveis.

Foram excluídos estudos que apresentassem somente medidas intrínsecas entre as regiões do pé (retropé-mediopé; retropé-antepé ou medidas isoladas dos mesmos) visando à especificidade da busca do presente estudo. Análises cujo objetivo era especificamente o trabalho com órteses ou próteses também não foram incluídos devido às dificuldades em extrapolar os resultados para indivíduos saudáveis. Estudos com técnicas cirúrgicas não foram considerados.

### **3.3 Seleção dos estudos e extração dos dados**

A primeira seleção de artigos foi realizada a partir da leitura dos títulos e a segunda seleção a partir da análise dos resumos e palavras-chave. Os títulos e resumos de todos os artigos identificados pela estratégia de busca foram avaliados por dois dos examinadores treinados (A.L.R.R. e C.P.R.) de forma independente. Nesta segunda fase os revisores avaliaram independentemente os artigos na íntegra e fizeram suas seleções, de acordo com os critérios de elegibilidade pré-especificados. Não houve divergências quanto à seleção de artigos entre os examinadores.

### **3.4 Avaliação do risco de viés**

Não foram utilizados métodos para avaliar o risco de viés nos estudos incluídos, por abrangerem trabalhos de diferentes delineamentos.

#### 4 RESULTADOS

A busca foi realizada em Maio de 2017. Foi encontrado um total de 93 artigos, selecionados nas bases de dados eletrônicas MEDLINE, Physiotherapy Evidence Database (PEDro), Biblioteca Virtual em Saúde (BIREME), Cochrane Library e Google Acadêmico. A Tabela 1 mostra a distribuição dos artigos encontrados e selecionados em cada base de dados. Foram encontrados nove estudos na base de dados MEDLINE. Desses, apenas três alcançaram os critérios de inclusão. Quatro artigos foram eliminados por serem medidas realizadas em cadáveres, um artigo foi eliminado por apresentar uma técnica cirúrgica e um artigo foi eliminado por não apresentar nenhuma medida de acoplamento retropé-perna; Na base de dados Google Acadêmico, foi encontrado um total de oitenta artigos, sendo que apenas nove foram selecionados. Setenta e um artigos foram excluídos: quatorze foram eliminados por não serem in vivo; cinco foram eliminados por apresentarem técnicas cirúrgicas; vinte e dois abordaram o uso de órteses; dez apresentaram medidas intrínsecas do alinhamento do pé; dezenove artigos não apresentaram nenhuma medida do acoplamento retropé-perna; um artigo foi eliminado por já ter sido selecionado na base de dados MEDLINE. Na base de dados PEDro, foi encontrado somente um resultado, que foi excluído por já ter sido selecionado na base de dados MEDLINE. Na base de dados BIREME, foi encontrado somente um estudo que foi eliminado por apresentar medidas intrínsecas do pé. Na base de dados Cochrane, foi encontrado apenas um estudo que abordou o uso de órtese e, por esta razão, foi eliminado.

Tabela 1. Resultado da seleção dos artigos.

Base de dados	Artigos encontrados	Artigos selecionados na primeira etapa	Artigos selecionados na segunda etapa
MEDLINE	9	3	3
PEDro	1	0	0
Google Acadêmico	80	35	9
BIREME	1	1	0
Cochrane	1	0	0

Por fim, na terceira etapa, foram selecionados onze artigos que atenderam todos os critérios de elegibilidade estabelecidos. Esses estudos foram debatidos conforme a literatura pertinente para a produção de um resumo crítico, sintetizando os resultados disponibilizados pelos artigos coletados.

Com o passar dos anos, a complexidade dos estudos do acoplamento retropé-perna aumentou. Estes estudos apresentam abordagens mais completas e abrangentes pensando em alterações e interdependências não só locais, como também distais, em todos os eixos de movimento (DELEO, *et al.*, 2004). A tabela 2 apresenta um levantamento dos estudos selecionados, os instrumentos utilizados nas medidas do acoplamento e a tarefa que foi usada na execução.

Herb *et al.* (2014) utilizou codificação vetorial para quantificar a relação dos dados do acoplamento retropé-perna, colocando o retropé no eixo X e a tibia no eixo Y e plotando ângulo a posição dos segmentos, gerando a cinemática do acoplamento. A angulação do acoplamento foi obtida utilizando as coordenadas consecutivas de cada segmento e comparando os ângulos naquele ponto. O ângulo de acoplamento foi gerado a partir de um horizonte de referência traçado no eixo Y. Este ângulo de acoplamento ( ) é encontrado a cada par de intervalos adjacentes do ciclo de marcha. Um  $> 45^\circ$  indica uma excursão maior do retropé em relação à tibia. Um  $< 45^\circ$  indica uma excursão maior da tibia em relação ao retropé. Já um  $= 45^\circ$  indica um movimento equivalente dos segmentos. Quando comparado o grupo de indivíduos normais ao grupo com instabilidade crônica de tornozelo (ICT), após torção em inversão do tornozelo, detectou-se que durante a fase de apoio e do balanço inicial o grupo controle apresentou menores movimentações do retropé em relação à tibia do que o grupo com instabilidade crônica de tornozelo. Já na fase do balanço terminal, o mesmo grupo apresentou maiores movimentações do retropé em relação à tibia do que o grupo com ICT. Não foram observadas diferenças significativas na corrida (HERB, *et al.*, 2014).

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática

ARTIGO	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
Temporal couplings between rearfoot, shank complex and hip joint during walking+. Souza, <i>et al.</i> , 2010	Coletada medidas durante a fase de apoio terminal da marcha em velocidade normal, utilizando sandálias.	Análise cinemática tridimensional utilizando ProReflex Qualisys com 6 câmeras; marcadores de rastreo foram posicionados na pelve, coxa, tíbia e segmentos do retropé (o retropé foi medido com um conjunto rígido ligado firmemente ao calcâneo); O Software Visual 3D (C-Motion) foi usado para calcular as variáveis cinemáticas.	As medidas indicaram uma forte média do acoplamento temporal entre as rotações interna/externa de tíbia e quadril e um acoplamento temporal significativo moderado entre a eversão/inversão do retropé e as rotações interna/externa quadril. Sendo que a eversão de retropé foi associada à rotação interna da tíbia/quadril e a inversão do retropé ligada à rotação externa de tíbia/quadril.
Predicting tibiotalar and subtalar joint angles from skin-marker data with dual-fluoroscopy as a reference standard+. Nichols, <i>et al.</i> , 2016	Coletada medidas em cadeia fechada durante a marcha na esteira com velocidade de 1 m/s e na execução de uma flexão plantar no apoio unipodal. As coletas foram realizadas com o indivíduo descalço.	Análise cinemática tridimensional utilizando o sistema Vicon Motion com 10 câmeras; O sistema fluoroscopia dupla foi temporalmente e espacialmente alinhado com o mesmo; Os marcadores de rastreo foram posicionados na pelve, coxa, tíbia e segmentos do pé, em um modelo Helen Hayes modificado. Para o processamento de dados foi utilizado o Nexus. Foi utilizada a tomografia computadorizada e as imagens foram segmentadas usando software Amira para gerar as superfícies ósseas 3D.	O estudo comparou a preditabilidade dos ângulos articulares considerando as articulações como tendo 1 ou 3 graus de liberdade de movimento. Para a talocrural, o modelo de 1 grau de liberdade de movimento foi mais consistente, apresentando menor variabilidade nos resultados, quando comparado ao modelo de 3 graus de liberdade de movimento. Para os ângulos da subtalar, nenhum dos dois modelos apresentou resultados satisfatórios.



Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática - Continuação

ARTIGO	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
<p>Gait analysis for foot and ankle surgeons- topical review, part 2: approaches to multisegment modeling of the foot+. Novak, <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>Revisão sistemática</p>	<p>Revisão sistemática</p>	<p>O estudo faz um levantamento dos modelos de pés multissegmentados, apresentando sua aplicação, vantagens e limitações. O estudo leva em consideração que, quanto maior o número de marcadores, mais reais são as medidas do pé e seus acoplamentos.</p>
<p>The effect of walking speed on foot kinematics is modified when increased pronation is induced+. Horneham, <i>et al.</i>, 2016</p>	<p>Coletada medidas durante a fase de apoio terminal da marcha na esteira, utilizando palmilhas neutras e palmilhas que induziam pronação. Foram consideradas as velocidades de 2 e 5Km/h.</p>	<p>Análise cinemática tridimensional utilizando o sistema CODA Motion foram feitas marcações virtuais (anatômicas), para gerar o sistema de coordenadas de cada segmento e colocados clusters rígidos com 3 marcadores, na tíbia, calcâneo, 2 marcadores no calçado.</p>	<p>Com o uso da palmilha neutra a pronação aumentou em maiores velocidades. Porém, com a palmilha que incluiu pronação, o aumento da velocidade produziu menores médias de pronação. O estudo propôs que este resultado pode ser explicado devido a um mecanismo de controle ativo, que pode ocorrer devido à pronação dificultar a geração de força durante as fases finais do apoio.</p>
<p>Shank-Rearfoot Joint Coupling With Chronic Ankle Instability+. Herb, <i>et al.</i>, 2014</p>	<p>Coletada medidas durante a marcha na esteira, com duas velocidades distintas (caminhando e correndo); As coletas foram realizadas com o indivíduo calçado</p>	<p>Análise cinemática tridimensional utilizando o sistema Vicon Motion com 12 câmeras em torno de uma plataforma de força embutida em uma esteira; uso de marcadores reflexivos; Foi utilizada uma codificação vetorial para quantificar a relação dos dados de acoplamento entre retropé e a perna.</p>	<p>Comparação entre um grupo de indivíduos normais e um grupo com instabilidade crônica de tornozelo (ICT) após torção em inversão do tornozelo. Detectou-se que durante a fase de apoio e de balanço inicial, o grupo controle apresentou menores movimentações do</p>

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática - Continuação

ARTIGOS	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
% Vivo Kinematics of the Tibiotalar and Subtalar Joints in Asymptomatic Subjects: A High-Speed Dual Fluoroscopy Study+. Roach, <i>et al.</i> , 2016	Coletada medidas durante a marcha na esteira, com duas velocidades distintas: 0.5m/s e 1,0 m/s; As coletas foram realizadas com o indivíduo descalço.	Análise cinemática tridimensional utilizando o sistema Vicon Motion com 10 câmeras; O sistema fluoroscopia dupla foi temporalmente e espacialmente alinhado com o mesmo; Os marcadores de rastreamento foram posicionados na pelve, coxa, tíbia e segmentos do pé, em um modelo Helen Hayes modificado	retropé em relação à tíbia do que o grupo com instabilidade crônica de tornozelo. Já na fase do balanço terminal, o mesmo grupo apresentou maiores movimentações do retropé em relação à tíbia do que o grupo com ICT. Não foram observadas diferenças significativas na corrida.
% Changes in foot and shank coupling due to alterations in foot strike pattern during running+. Pohl, <i>et al.</i> , 2008	Coletada medidas durante a marcha, em velocidade auto selecionada, utilizando três padrões de corrida diferentes. Com contato inicial utilizando o calcanhar, contato inicial com o antepé seguido pelo contato do resto do pé no solo e, finalmente, com	Análise cinemática tridimensional utilizando ProReflex Qualisys com 7 câmeras; foram utilizados 17 marcadores reflexivos no membro inferior direito Foram aceitas apenas as coletas onde	Os achados indicaram que mudanças no padrão do contato inicial durante a corrida alteraram significativamente a cinemática do retropé. Durante o contato inicial com o calcanhar, houve menos excursão em eversão de calcâneo do que nas outras

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática - Continuação

ARTIGOS	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
	o antepé sendo a única parte tocando o solo durante o movimento	os voluntários estavam dentro de 5% da velocidade auto selecionada durante o treino pré-coleta. A velocidade de cada voluntário foi adquirida utilizando células de velocidade. Um modelo multissegmentar que inclui perna, retopé e antepé foi criado, utilizando o Visual 3D.	duas situações coletadas. Há evidências de acoplamento entre estes dois segmentos, com dominância da eversão/inversão de calcâneo sobre as rotações tibiais.
Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait+ . Leardini, <i>et al.</i> , 2007	Coletada medidas durante a fase de apoio terminal da marcha em velocidade normal, descalço.	Análise cinemática tridimensional utilizando o sistema Vicon Motion com 8 câmeras; O protocolo desenvolvido envolve a aplicação de 14 marcadores. Também foram utilizadas duas plataformas de força. Rotações conjuntas e ângulos planares tridimensionais foram calculados de acordo com quadros de referência baseados anatomicamente	Leardini <i>et al.</i> , (2007) propuseram um novo protocolo de coleta tridimensional do pé multissegmentado, utilizando 14 marcadores. O estudo foi concebido para controlar um grande número de segmentos do pé durante a fase de apoio da marcha com o menor número possível de marcadores, com particular foco clínico em alinhamento plano frontal do retopé, plano transversal e alinhamento plano sagital dos metatarsos, e mudanças no arco longitudinal medial. Além disso, para a medida do acoplamento retopé-perna, o modelo demarca os maléolos lateral e medial.
Association between hip abductor function, rear-foot dynamic alignment, and dynamic knee valgus during single-leg squats and drop landings+	130 atletas de basquete feminino (idade $16.9 \pm 0.6$ ) realizaram agachamentos e aterrissagens unipodais, presença de sinal de	Análise cinemática bidimensional. Foram coletadas imagens utilizando 2 câmeras de vídeo digitais (Sony), posicionadas à frente e atrás da	O estudo encontrou maiores valores de valgismo dinâmico de joelho e rotação externa de quadril, durante a aterrissagem unipodal e agachamento,

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática - Continuação

ARTIGOS	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
Kagaya, <i>et al.</i> , 2015	Tredelenburg e flexão plantar no apoio unipodal.	voluntária. Os movimentos de agachamento e aterrissagem foram analisados com o software Dartfish. Foram colocados marcadores planos de 9mm de diâmetro nos seguintes pontos: espinha ilíaca antero superior, centro da patela, centro do tendão de aquiles, tuberosidade da tíbia e hálux, bilateralmente. Os valores de valgismo dinâmico e rotação externa de quadril foram analisados através das imagens coletadas e ângulos traçados entre os marcadores previamente posicionados	nas atletas que apresentaram Tredelenburg positivo durante os testes. As atletas com valores positivos ( $\sim 5^\circ$ de eversão) na avaliação de flexão plantar durante as duas atividades apresentaram maior valgismo dinâmico de joelho comparadas às atletas que obtiveram valores negativos, mas não houve diferença significativa dos valores da rotação externa de quadril. Os autores A apontam o acoplamento retropé-perna como um possível motivo para a eversão de retropé ser um fator que influencia o aumento do valgismo dinâmico.
Clinical measures of hip and foot-ankle mechanics as predictors of rearfoot motion and posture+. Souza, <i>et al.</i> , 2013	Medidas clínicas na postura estática relaxada e marcha descalça.	A cinemática do retropé-perna foi coletada através de um sistema 3D com 8 câmeras (Qualisys) e marcadores reflexivos afixados no membro inferior dominante do voluntário. Os dados foram coletados durante posicionamento estático em postura relaxada e marcha descalço na esteira	O objetivo foi investigar se seria possível prever, durante a postura ortostática e na marcha, a cinemática de retropé através de medidas que envolvem alinhamento ósseo do pé, mobilidade de mediopé e rotação interna de quadril. A medida da relação retropé-perna foi realizada durante a fase de apoio da marcha, utilizando um sistema tridimensional. De acordo com os resultados, a cinemática de retropé é influenciada em grande parte pela mecânica do quadril em detrimento do alinhamento do pé e mobilidade.

Tabela 2 . Características dos artigos selecionados nesta revisão sistemática - Continuação

ARTIGOS	TAREFA	INSTRUMENTOS	RESULTADOS
Measurement of multi-segment foot joint angles during gait using a wearable system . Rouhani, <i>et al.</i> , 2012+	Marcha na esteira e no solo. Para a validação, voluntários caminharam por 5 minutos numa esteira, a 2, 3.5 e 5Km/h.	Análise cinemática tridimensional portátil: 4 unidades de medida inercial com acelerômetro e giroscópio 3D fixados foram ao pé e 2 sistemas de armazenamento de dados, em miniatura, acoplados a um cinto.O estudo compara os valores obtidos por estes marcadores portáteis com a análise tridimensional em laboratório, utilizando o Vicon Motion com 7 câmeras e 4 marcadores reflexivos. O modelo de pé criado pelo estudo consistiu em 4 segmentos, divididos em tíbia, retropé, antepé e artelhos. Para o modelo, foram considerados três pontos articulados: perna-retropé, retropé-antepé e antepé-artelhos. Utilizando apenas as unidades de medida inercial, sem o sistema Vicon, foram coletados dados de marcha em um corredor de 50m, com um grupo de voluntários saudáveis e um grupo de voluntários com osteoartrite de tornozelo.	Os resultados demonstraram que o sistema de unidades de medida inercial obteve ângulos similares ao sistema estacionário (Vicon). As amplitudes de movimento dos ângulos articulares foram, em sua maioria, (78%) menores no grupo com osteoartrite em comparação ao grupo controle.

Kagaya *et al.* (2013) sugeriram que o valgismo dinâmico recebe influências diretas do quadril e do retropé. O estudo transversal utilizou a associação entre a função de abdutores de quadril, alinhamento dinâmico do retropé nas atividades de agachamento unipodal e aterrissagens de jogadoras de basquete. Para isto, eles utilizaram imagens bidimensionais analisadas por um software %Dartfish+, para calcular o valgismo dinâmico durante o agachamento unipodal. O valgismo foi definido como a distância do hálux ao ponto onde uma linha traçada a partir da EIAS, passando pelo centro da patela, intersecta com o chão. A rotação externa de quadril foi definida como a distância do hálux até a projeção perpendicular da EIAS. O teste de Tredelenburg foi considerado positivo quando a EIAS contralateral ao lado do membro inferior em apoio descia abaixo de uma linha paralela à EIAS do membro de apoio. O alinhamento dinâmico do retropé foi avaliado observando a eversão de retropé durante o agachamento e aterrissagem, em flexão plantar. Foram considerados positivos valores  $\sim 5^\circ$  de eversão. Valores de valgismo dinâmico de joelho e rotação externa de quadril em ambas as atividades, nas atletas que apresentaram Tredelenburg positivo durante os testes. As atletas com valores positivos ( $\sim 5^\circ$  de eversão) na avaliação de flexão plantar durante as duas atividades apresentaram maior valgismo dinâmico de joelho comparado às atletas que obtiveram valores negativos, mas não houve diferença significativa dos valores de rotação externa de quadril. Os autores sugeriram que o acoplamento retropé-perna seja um possível motivo para a eversão de retropé ser um fator que influencia o aumento do valgismo dinâmico. (KAGAYA *et al.*, 2013).

Souza *et al.* (2013) realizaram um estudo cujo objetivo foi investigar se é possível prever, durante a postura ortostática e na marcha, a cinemática de retropé através de medidas que envolvem alinhamento ósseo do pé, mobilidade de mediopé e rotação interna do quadril. A medida da relação retropé-perna foi realizada durante a fase de apoio da marcha, utilizando um sistema tridimensional. De acordo com os achados, a cinemática de retropé é influenciada em grande parte pela mecânica do quadril em detrimento do alinhamento do pé e mobilidade. (SOUZA *et al.*, 2013).

Pohl *et al.* (2008) sugeriram que a força do acoplamento pé-perna varia entre indivíduos e de acordo com a atividade realizada (POHL *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2010). O estudo objetivou determinar se a relação entre o acoplamento do antepé e retropé diferiria durante velocidades distintas de marcha em diferentes padrões de contato inicial, considerando a rotação interna/externa da tíbia, através da análise de 17 marcadores em um sistema tridimensional (3D). Na corrida com contato inicial realizado com o calcanhar, foi identificado que uma menor excursão da eversão do retropé foi acompanhada por uma menor excursão da rotação interna de tíbia. As médias das angulações encontradas na movimentação em rotação interna de tíbia nesta situação foram de 5,8°, enquanto os valores de eversão foram de 12° (valores próximos aos encontrados na literatura). As alterações correspondentes na eversão e excursão da rotação interna de tíbia sugerem os dois movimentos angulares são acoplados a certo grau. A movimentação no plano frontal do retropé não foi convertida diretamente em rotação no plano transversal da tíbia, no entanto, sugerindo que também há excursões ocorrendo no segmento distal do pé. Foi detectado que com o aumento da velocidade, o acoplamento retropé-perna apresenta mais movimentos no plano frontal do que no plano transversal. Já com a redução da velocidade, o acoplamento passa a apresentar mais movimentos no plano transversal do que no frontal. Seu estudo mostrou que a inversão eversão do calcâneo e a rotação medial-lateral da perna e do quadril não apresentam o acoplamento incondicional tradicionalmente retratado, o que pode ser explicado pelas forças exercidas por tecidos moles destes segmentos (POHL *et al.*, 2008).

Uma forma de estudar as alterações nas relações de acoplamento é alterar o movimento do retropé através do uso de um sapato/palmilha ortopédico que altere a mecânica do pé. Hornestam *et al.*, (2016) investigaram se a velocidade de marcha influencia na pronação do pé durante a fase de apoio e se a introdução de fatores que aumentam a pronação alterariam estes efeitos. Para isto, contou com a análise tridimensional e o uso de palmilhas neutras e que induziam à pronação. O estudo detectou que no uso da palmilha neutra, a pronação aumentou em maiores velocidades. Entretanto, o uso da palmilha que induziu à pronação, produziu menores médias do movimento no

aumento da velocidade da marcha. Os autores sugeriram que este padrão é um mecanismo de controle ativo, que pode ocorrer devido a pronação dificultar a geração de força durante as fases finais do apoio. Assim, os participantes podem ter utilizado de estratégias musculares para controlar a pronação (HORNESTAM *et al.*, 2016).

Roach e Nichols *et al.*, (2016) utilizaram a fluoroscopia dupla para análise da cinemática da talocrural e da subtalar durante a marcha na esteira em diferentes velocidades, usando como amostra indivíduos saudáveis com nenhuma deformidade em valgo ou varo (comprovado por Raio X). As análises tridimensionais de ambos os estudos mostraram que, mesmo durante as variações de velocidade, a articulação talocrural apresentou significativamente maiores angulações de dorsoflexão/flexão plantar do que a subtalar; enquanto a subtalar demonstrou maior inversão/eversão e rotação interna/externado que a articulação tibiotalar (ROACH *et al.*, 2016; NICHOLS *et al.*, 2016).

Novak *et al.*, (2014) realizaram uma revisão sistemática sobre os modelos de pés multisegmentados, levantando suas vantagens e limitações além de suas aplicações (NOVAK, *et al.*, 2014). Dentre eles encontra-se o modelo de Leardini *et al.*,(2007), que merece destaque devido a sua grande utilização em outros estudos. O modelo de Leardini *et al.*, (2007) propõe um protocolo de coleta tridimensional do pé multisegmentado, utilizando 14 marcadores. O estudo foi concebido para controlar o grande número de segmentos do pé durante a fase de apoio da marcha com o menor número possível de marcadores, com particular foco clínico em alinhamento plano frontal do retopé, plano transversal e alinhamento plano sagital dos metatarsos, e mudanças no arco longitudinal medial. Além disso, para a medida do acoplamento retopé-perna, o modelo demarca os maléolos lateral e medial (LEARDINI *et al.*, 2007).

Rouhani *et al.*, (2012) realizaram uma análise cinemática tridimensional portátil, utilizando quatro unidades de medida inercial com acelerômetro e giroscópio tridimensionais fixados ao pé com dois sistemas de armazenamento de dados, em miniatura, acoplados a um cinto. O estudo comparou os valores obtidos por estes marcadores portáteis com a análise tridimensional em



laboratório, utilizando o Vicon Motion com o mesmo número de marcadores. O modelo de pé criado pelo estudo consistiu em 4 segmentos, divididos em tíbia, retropé, antepé e dedos. Para o modelo, foram considerados três pontos articulados: perna-retropé, retropé-antepé e antepé-artelhos. As coletas foram realizadas em um corredor, comparando um grupo de voluntários saudáveis e um grupo de voluntários com osteoartrite de tornozelo. Os resultados demonstraram que o sistema de unidades de medida inercial obteve ângulos similares ao sistema estacionário. As amplitudes de movimento dos ângulos articulares foram, em sua maioria, (78%) menores no grupo com osteoartrite em comparação ao grupo controle (ROUHANI *et al.*, 2012).

## 5 DISCUSSÃO

Esta revisão crítica aponta para a forte correlação existente entre os movimentos no plano frontal do retropé com a movimentação no plano transversal da tíbia e as barreiras em mensurar esse acoplamento relativo, dado a sua importância na biomecânica. A utilização da análise tridimensional e os modelos de pé multisegmentados propicia uma compreensão mais profunda em relação à cinemática do acoplamento retropé-perna. Este modelo vem substituindo os modelos que consideram o pé como um segmento rígido, isto porque com o avanço dos estudos, notou-se o pé e tornozelo são segmentos complexos com diversos eixos interdependentes (LEARDINI *et al.*, 2007). A análise tridimensional possibilita a avaliação do acoplamento relativo do complexo retropé-perna, apontando que em cadeia fechada, a pronação (eversão do calcâneo) está interligada com a rotação interna de quadril, do mesmo modo que a supinação (inversão do calcâneo) está mecanicamente vinculada à rotação externa do quadril. (SOUZA *et al.*, 2010, 2013).

A cinemática apresentada na marcha foi levantada na maioria dos estudos desta revisão, apontando que no acoplamento retropé-perna, a talocrural oferece maiores movimentos de dorsoflexão/flexão plantar e a subtalar oferece maiores graus de inversão/eversão e rotação interna/externa (ROACH *et al.*, 2016; NICHOLS *et al.*, 2016). Estudos também mostraram que, em subfases de apoio da marcha, os movimentos nos planos transversal e frontal mudam de proporção, sugerindo que estas flutuações sejam mecanismos estabilizadores que compensam a variação das distribuições de carga durante a marcha (NICHOLS *et al.*, 2016). Também foram avaliados os efeitos da mudança da velocidade na marcha sobre essas articulações. Com o aumento da velocidade, o acoplamento retropé-perna apresenta mais movimentos no plano frontal do que no plano transversal. Já com a redução da velocidade, o acoplamento passa a apresentar mais movimentos no plano transversal do que no frontal (POHL *et al.*, 2008). Honerstam *et al.*, (2016) também detectaram que a pronação aumenta com o aumento da velocidade (HONERSTAM *et al.*, 2016).

Vários estudos criaram modelos de medidas do pé multi-

segmentado, de complexidades diversas, mas ainda assim existem muitas limitações nestes, entre elas a diferença entre sistemas de coordenadas, incapacidade de reproduzir os resultados e falta de precisão dos dados cinéticos. A maioria dos modelos propostos não inclui dados cinéticos, o que permite diversas possibilidades de configurações dos eixos articulares. Outras técnicas baseadas em vídeo fluoroscopia ou ressonância magnética também são empregadas nas medidas do acoplamento retropé-perna. Estas são capazes de replicar uma cinemática geral mais realista, condições de carga e também a ativação muscular. Entretanto, não são aplicados rotineiramente devido à aquisição de dados invasivos e por serem sistemas de alto custo.

Rouhani *et al.* (2012) criaram uma análise cinemática tridimensional portátil, segmentando o pé em quatro segmentos. No mesmo estudo, validaram os dados da análise portátil com a estacionária. Este artigo demonstra a possibilidade do uso de unidades de medida inercial portáteis, que podem ser usados para coleta de dados em situações fora do ambiente de pesquisa, além de ser confiável para coletas durante longos períodos de tempo. Sendo assim, torna-se uma boa opção que aproxima a pesquisa da prática clínica.

O estudo do Kagaya *et al.* (2015) apresenta um modelo bidimensional de fácil aplicação, porém limitado. A discussão sobre o acoplamento apresentada no artigo baseia-se nos resultados de uma série de análises tridimensionais de acoplamento, ou seja, é um modelo simples e bem embasado. As angulações obtidas do valgismo dinâmico foram parecidas com as já existentes na literatura (KAGAYA *et al.*, 2015).

A maior parte das medidas do acoplamento retropé-perna encontradas nessa revisão são precisas, porém, fatores como custo, tamanho da estrutura de coleta e complexidade das medidas, dificultam o seu uso na prática clínica diária. Dada a importância do acoplamento e seu peso durante a avaliação do paciente, são necessárias a criação ou simplificação de medidas do acoplamento que sejam viáveis. Enquanto isso é importante que as pesquisas de medidas sejam concisas e de fácil interpretação, para que o profissional possa ter melhor aplicabilidade dessa informação na reabilitação.

## 5 CONCLUSÃO

Conforme apresentado nesta revisão, o complexo retropé-perna apresenta diversas relações proximais e distais, sofrendo influências de vários mecanismos. Devido a essa característica, diversos estudos foram conduzidos ao longo dos anos, buscando entender seu funcionamento através de medidas variadas. Foi observado que o avanço da tecnologia diminuiu as barreiras do estudo do acoplamento retropé-perna. A utilização de modelos de pé multisegmentados providenciou uma compreensão mais profunda em relação à sua cinemática, porém este método possui limitações, sendo pouco aplicável na prática clínica.

É necessário o aprimoramento e padronização dos métodos de análise que utilizam os modelos de pés segmentados, assim como é preciso o desenvolvimento de medidas que tornem viáveis e confiáveis as avaliações do acoplamento retropé-perna para o uso do terapeuta.

## REFERÊNCIAS

BARTON, C.J. Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. **Gait and Posture**. v.30, n. 4, p. 405-416. 2009.

BEIMERS L.; LOUWERENS J.W.; VAN DIJK C.N.; BLANKEVOORT L. Subtalar joint kinematics and arthroscopy: insight in the subtalar joint range of motion and aspects of subtalar joint arthroscopy. **Foot Ankle Int**. v 33, n. 5, p. 386-93. 2012.

BITTENCOURT, N.F.N.; MEEUWISSE, W.H.; MENDONÇA, L.D.; NETTEL-AGUIRRE, A ; OCARINO, J.M.; FONSECA, S.T. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. **British Journal of Sports Medicine**. v. 21, 2015.

BROCKETT L.C., Chapman G.J. Biomechanics of the ankle. **Orthopaedics and Trauma**, v 30, n.3, p. 232-238, 2016.

BRUENING, D. *et al.* Analysis of a kinetic multi-segment foot model part II: Kinetics and clinical implications. **Gait and Posture**. v. 35, n. 4, p. 535-540, 2012.

DELEO, A.T.; DIERKS, A.T.; FERBER, R.; DAVIS, I.S. Lower extremity joint coupling during running: a current update. **Clinical Biomechanics**, v.19, n.10 , p.983 . 991, 2004.

FONSECA, S. T.; OCARINO, J. M.; SILVA P. L. P; AQUINO C. F. Integration of stress and their relationship to the kinetic chain. In: MAGEE, D. J.; ZACHAZEWSKI, J. E.; QUILLEN, W. S. **Scientific foundations and principles of practice in musculoskeletal rehabilitation**. St Louis: Saunders Elsevier, cap. 23, p. 476-486, 2007.

FONSECA S.T., SOUZA T.R., OCARINO J.M., GONÇALVES G.P., BITTENCOURT N.F.N. Applied biomechanics of soccer. In: MAGEE DJ, MANSKE RC, ZACHAZEWSKI JE, QUILLEN WS (Eds.), **Athletic and sport issues in musculoskeletal rehabilitation**. St. Louis: Saunders Elsevier, 2011. p.287-306.

GOECKING, B.J.L., FONSECA, S.T., AQUINO, C.F., SILVA, A.A. Confiabilidade de exames físicos para identificação de desequilíbrios musculares na região lombopélvica. **Fisioterapia em Movimento**. v. 19, p. 57-66, 2006.

HERB, C.C.; CHINN, L.; DICHARRY J.; MCKEON P.O.; HART, J.M.; HERTELL, J. Shank-Rearfoot Joint Coupling With Chronic Ankle Instability. **Journal of Applied Biomechanics**. v. 30, p.366-372, 2014.

HORNESTAM, J.F.; SOUZA, T.R.; ARANTES, P.; OCARINO, J.M.; SILVA, P.L. The Effect of Walking Speed on Foot Kinematics is Modified When Increased Pronation is Induced. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 106, n. 6, p. 419-426, 2016.

KAGAYA, Y.; FUJII, Y.; NISHIZONO, H. Association between hip abductor function, rear-foot dynamic alignment, and dynamic knee valgus during single-leg squats and drop landings. **Journal of Sport and Health Science**. v. 4, p.182 -187, 2015.

LEARDINI, A., BENEDETTI, M.G.; BERTI, L.; BETTINELLI, D. NATIVO, R., GIANNINI, S. Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. **Gait and Posture**, v. 25, n. 3, p. 453. 462, 2007.

LEITE, D.X.; VIEIRA, J.M.M.; CARVALHAIS, O.C.; ARAÚJO, V.L.; SILVA, P.L.P.; TEIXEIRA, S.T. Relação entre rigidez articular passiva e torque concêntrico dos rotadores laterais do quadril. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 16, n. 5, p. 414-21. 2012.

MUELLER, M.J.; MALUF, K.S. Tissue adaptation to physical stress: a proposed. Physical Stress Theory: to guide physical therapist practice, education, and research. **Phys Ther**, v.82, n.4, p. 383-403, 2002.

NAWOCZENSKI, D.A.; SALTZMAN, C.L.; COOK, T.M. The effect of foot structure on the three-dimensional kinematic coupling behavior of the leg and rear foot. **Physical therapy**. v.78, p. 404-416, 1998.

NESTER, C. In vitro study of foot kinematics using a dynamic walking cadaver model. **Journal of Biomechanics**, v. 40, n. 9, p. 1927. 1937, 2007.

NEUMANN, D.A. Ankle and Foot. In NEUMANN, D.A. (Org.) **Kinesiology of the Musculoskeletal System: foundations for physical rehabilitation**. St. Louis: Mosby, 2002. p. 477-521.

NICHOLS, J.A.; ROACH, A.K., FIORENTINO, N.M., ANDERSON, A.E. Predicting Tibiotalar and Subtalar Joint Angles from Skin-Marker Data with Dual-Fluoroscopy as a Reference Standard. **Gait and Posture**. v. 49, p. 136-143, 2016.

NOVAK, A.C. Gait Analysis for Foot and Ankle Surgeons- Topical Review, Part 2: Approaches to Multisegment Modeling of the Foot. **Foot & Ankle International**, v. 35, n.2, p. 178. 191, 2014.

POHL, M.B., MESSENGER, N.,BUCKLEY, J.G. Forefoot, rearfoot and shank coupling: effect of variations in speed and mode of gait. **Gait and Posture**. v.25, p. 295. 302, 2006.

POHL, M.B.; BUCKLEY, J.G. Changes in foot and shank coupling due to alterations in foot strike pattern during running. **Clinical Biomechanics**, v.23, n.3, p.334-41, 2008.

POWERS, C. M. The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 33, n. 11, p. 639-646, 2003.

ROACH, K.E.; WANG, B.; KAPRON, A.L., FIORENTINO, N.M., SALTZMAN, K.B.F. In Vivo Kinematics of the Tibiotalar and Subtalar Joints in Asymptomatic Subjects: A High-Speed Dual Fluoroscopy Study. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 138, 2016.

ROOT, M.L.; ORIEN, W.P.; WEED, J.H. **Clinical Biomechanics**: normal and abnormal function of the foot. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corporation, 1977.

ROUHANI, H; FAVRE, J.; CREVOISIER, X.; AMINIAN, K.; Measurement of Multi-segment Foot Joint Angles During Gait Using a Wearable System. **Journal of Biomechanical Engineering**. v.134, 2012.

SAHRMANN, S.A. **Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes**. St. Louis: Mosby, 2002.

SOUZA, T.R.; PINTO, R.Z.; TREDE, R.G.; KIRKWOOD, R.N.; FONSECA, S.T. Temporal couplings between rearfoot-shank complex and hip joint during walking. **Clinical Biomechanics** (Bristol, Avon), v.25, n.7, p.745-8, 2010.

SOUZA, TR; MANCINI, MC, ARAÚJO, VL, CARVALHAIS, VOC, OCARINO, JM, SILVA, PL; FONSECA, ST. Clinical measures of hip and foot-ankle mechanics as predictors of rearfoot motion and posture. **Manual Therapy**, p. 1-7, 2013.

SOUZA, T.R. **Relação entre o torque de rotação lateral do quadril e a cinemática do pé**. Belo Horizonte, 2012. 134f. Tese (Doutorado em Ciências da Reabilitação) . Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TONLEY, J. C.; YUN, S. M.; KOCHEVAR, R. J.; DYE, J. A.; FARROKHI, S.; POWERS, C. M. Treatment of an individual with piriformis syndrome focusing on hip muscle strengthening and movement reeducation: a case report. **J Orthop Sports Phys Ther**, v. 40, n. 2, p. 103-111, 2010.

VAN ALSENOY, K.K.; DE SCHEPPER, J.; SANTOS D.; VEREECKE E.E.; DAOUT, K. The subtalar joint axis palpation technique . part 1: validating a clinical mechanical model. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 104, n. 3, p. 238-46, 2014.

WILLIAMS, D.S., MCCLAY, I.S., HAMILL, J., BUCHANAN, T.S. Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. **J. Appl. Biomech.**, v. 17, p. 153. 163, 2001.

WILLEMS, T.M. A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain. **Gait and Posture**. v. 23, n.1, p. 91. 98, 2006.

WILLEMS, T.M.; WITVROUW, E. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 2, p. 330-339, 2007.