



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ALINE CRISTINA CARRASCO

**DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE PÉS DURANTE TAREFAS  
DINÂMICAS POR MEIO DE MAPAS DE PRESSÃO  
PLANTAR E ANÁLISE DE DIMENSÃO FRACTAL  
MULTIESCALA**

---

Londrina  
2020

ALINE CRISTINA CARRASCO

**DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE PÉS DURANTE TAREFAS  
DINÂMICAS POR MEIO DE MAPAS DE PRESSÃO  
PLANTAR E ANÁLISE DE DIMENSÃO FRACTAL  
MULTIESCALA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL, para obtenção do título de Doutora em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Rosa Cardoso

Londrina  
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C313 Carrasco, Aline.  
Determinação dos Tipos de Pés durante Tarefas Dinâmicas por meio de Mapas de Pressão Plantar e Análise de Dimensão Fractal Multiescala. / Aline Carrasco. - Londrina, 2020.  
141 f. : il.

Orientador: Jefferson Rosa Cardoso.  
Tese (Doutorado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2020.  
Inclui bibliografia.

1. Avaliação dos Pés - Tese. 2. Revisão Sistemática - Tese. 3. Confiabilidade - Tese. 4. Dimensão Fractal Multiescala - Tese. I. Rosa Cardoso, Jefferson . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

CDU 796

**ALINE CRISTINA CARRASCO**

**DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE PÉS DURANTE TAREFAS  
DINÂMICAS POR MEIO DE MAPAS DE PRESSÃO PLANTAR E  
ANÁLISE DE DIMENSÃO FRACTAL MULTIESCALA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL, para obtenção do título de Doutor (a) em Educação Física.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Rosa Cardoso  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Ricardo da Silva Torres  
Norwegian University of Science and  
Technology – Noruega

---

Profa. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury  
Rosa  
Universidade de Brasília – UnB

---

Prof. Dr. Rodrigo Rico Bini  
La Trobe University – Austrália

---

Profa. Dra. Inara Marques  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 26 de junho de 2020

## Dedicatória

*“6 Não se preocupem com nada, mas em todas as orações peçam a Deus o que vocês precisam e orem sempre com o coração agradecido. 7 E a paz de Deus, que ninguém consegue entender, guardará o coração e a mente de vocês, pois vocês estão unidos com Cristo Jesus”.*

*Filipenses 4, 6-7*

A Deus, que trilhou o meu caminho para que eu pudesse chegar até aqui, com muita fé, firme e forte.  
Aos meus pais, Laura e Jaime, que sempre foram um porto seguro em todos os momentos.  
Ao meu filho, Joaquim, a quem me inspira viver, mudar, melhorar, aprender e....AMAR!!!

## AGRADECIMENTOS

E a emoção toma conta agora...

A Deus, fonte de fé, de vida, de amor, agradeço por cada momento, pessoa, dificuldade, conquista, aprendizagem que fizeram parte deste caminho.

Aos meus pais, Jaime e Laura, que consolidaram a possibilidade deste momento existir, doando-se de forma infinita, pois os meus sonhos tornaram-se os deles, quando renunciaram aos seus próprios e dedicaram-se para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao Neto, meu marido, que também fez parte como protagonista desta história, tanto nos momentos de alegria como de dificuldade.

Ao professor Dr. Jefferson Rosa Cardoso, meu orientador, que confiou em mim, abriu as portas do seu laboratório e me possibilitou aprender o verdadeiro significado da palavra GRUPO. Já se passaram anos desde a graduação, mas ainda me lembro como aluna, os primeiros conceitos de como realizar um *feedback* para o paciente, destacando inicialmente sempre os pontos positivos e depois pontos a serem melhorados e não os negativos. Isso levei para a vida. Essa admiração já vem de longa data e nesses quatro anos de Doutorado não poderia ser diferente. Muitos foram os exemplos de dedicação, de trabalho em equipe, de organização, planejamento e execução de tarefas, desde as mais simples, como a limpeza do laboratório, como as mais árduas como estudar estatística (acreditem, li um livro inteiro!!!), sem contar os momentos de confraternização (com Ghada e bolo). Além disso, a seriedade, o comprometimento e a responsabilidade de se trabalhar são pontos fundamentais da atuação do grupo PAIFIT. Só tenho a agradecer. Toda esta experiência me fez mudar e melhorar, tanto como pessoa como profissional e com certeza me guiará a novos

caminhos seguindo o verdadeiro exemplo de um excelente MESTRE. Parabéns pelo seu trabalho!

Ao grupo do Laboratório de Biomecânica Aplicada, ao coordenador, professor Dr. Felipe Arruda Moura, e em especial, ao Murilo, que em todo momento compartilharam seus conhecimentos. Com todo respeito e humildade agradeço por todo aprendizado e dedicação. Toda a aplicação e desenvolvimento deste trabalho foi graças a oportunidade e confiança que me deram para trabalhar com a análise de dimensão fractal. Ao professor Felipe, fica o exemplo de humanidade e mestre, tão inspiradores que me acompanharão sempre. Toda a convivência e experiência foram fontes para melhorar tanto minha formação profissional como pessoal.

Aos professores da banca: Dr.<sup>a</sup> Suélia de Siqueira, Dr. Ricardo Torres, Dr.<sup>a</sup> Inara Marques e Dr. Rodrigo Bini que dedicaram parte de seu tempo para contribuir na construção deste trabalho. Todos os apontamentos e questionamentos foram importantes tanto para a lapidação da pesquisa, mas também para a minha formação, como pessoa, professora e pesquisadora. Um agradecimento especial ao professor Dr. Ricardo Torres, que deu a oportunidade de realizar esta pesquisa por compartilhar seus conhecimentos sobre os fractais e a professora Dr.<sup>a</sup> Inara Marques que abriu as portas do seu laboratório para que eu pudesse realizar as coletas com seu grupo de pesquisa.

Ao grupo PAIFIT, que me fez viver o sentido da palavra grupo. Com vocês pude estudar, aprender, dividir os problemas tanto de trabalho como os pessoais, rir, chorar, desabafar. Agradeço infinitamente por todos os momentos vividos e que Deus possa dar em dobro o que fizeram por mim. A Laís sempre foi a companheira dos lanchinhos, de papos cabeças e muitas risadas. A Mari me salvou, tirou muitas dúvidas, tornou-me mais confiante e virou amiga do coração. A Josi, mesmo de longe, atendeu a

minhas dúvidas, e no tempinho que estivemos juntas, se demonstrou um exemplo de aluna e professora. O Leandro foi companheiro de coleta e vencemos juntos a batalha da conquista de voluntários, que, inclusive, merecem meu enorme agradecimento, pois sem vocês, não existe pesquisa. Alexandre, Cesar, Fagner, Carla, Cláudia, Thauana, todos vocês de alguma forma contribuíram e merecem muito meu agradecimento.

Meu imenso agradecimento à empresa HS Technology, ao engenheiro Tiago, que realizou o empréstimo da Baroscan® (plataforma de pressão), sem o qual a pesquisa não poderia ter sido realizada.

Não poderia deixar de agradecer também ao grupo de corrida Carpe Dien (Débora), R80 e a equipe de corrida do professor Eugênio Zaninelli que permitiram que seus alunos participassem deste estudo.

Agradeço aos que não foram nomeados mas que trilharam um papel fundamental nesta minha trajetória em Londrina.

Enfim, toda a minha gratidão a todos que Deus colocou no meu caminho e que Ele continue iluminando e abençoando.

CARRASCO, Aline Cristina. **Determinação dos Tipos de Pés durante Tarefas Dinâmicas por meio de Mapas de Pressão Plantar e Análise de Dimensão Fractal Multiescala**. 2020. 141 f. Tese (Doutorado em Educação Física) - Centro de Educação Física e Esporte. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

## RESUMO

A classificação dos tipos de pés de forma estática em neutro, cavo e plano é uma abordagem comum na prática clínica atual, com o objetivo de identificar alterações morfológicas associadas a possíveis fatores etiológicos que podem levar a uma lesão e para orientar a prescrição de tratamento. No entanto, embora bem reconhecida na prática clínica e literatura ortopédica, os métodos baseados em análises estáticas não predizem a função dinâmica dos pés, além de não existir uma classificação totalmente aceita ou medidas padronizadas para determinar os tipos de pés. Isto determinou o desenvolvimento de um estudo de revisão sistemática para averiguar quais os métodos não radiográficos de avaliação dos pés válidos e/ou confiáveis. Ao considerar ainda a existência de divergências entre os métodos para classificar os tipos de pés, isto levou a realização de um segundo estudo para o desenvolvimento de um método para determinar os tipos de pés a partir da análise de medidas de Dimensão Fractal Multiescala (DFM) de imagens geradas a partir de pressões plantares em condições dinâmicas bem como avaliar a confiabilidade teste-reteste destas medidas. Para a revisão sistemática, foram incluídos apenas estudos que realizaram análise de confiabilidade e/ou validade de métodos não radiográficos e o risco de viés foi realizado por meio da Critical Appraisal Tool (CAT). Para análise da DFM, 208 voluntários (18 a 65 anos) de ambos os sexos foram submetidos a uma avaliação para coleta de imagens dos pés durante a marcha utilizando uma plataforma de pressão Baroscan®. Para avaliação da confiabilidade teste-reteste destas medidas, 72 participantes do estudo anterior foram submetidos a uma nova coleta nas mesmas condições após um período em torno de 7 dias. Os dados foram processados por um programa de computador em linguagem Matlab® para o cálculo das variáveis relacionadas a DFM (valor máximo e integral da média das cinco curvas DFM de cada passo e a série de dados das curvas de todas as tentativas). Estes dados foram submetidos a análise de confiabilidade teste-reteste calculado pelo Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI<sub>3,k</sub> = two-way mixed model), com 95 % Intervalo de Confiança (IC 95%) e submetidos a análise de clusters k-means. Os resultados da revisão sistemática incluíram 26 estudos para síntese qualitativa. As inconsistências em relação à variabilidade das medidas, heterogeneidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade, a falta de parâmetros e de medida padrão-ouro para classificação dos tipos de pés dificultou a determinação de qual método de avaliação é válido e confiável. Assim, uma medida isolada de um teste não pode ser recomendada para a tomada de decisão clínica, dessa forma, baseando-se em valores de CCI, CAT e na presença de valores de referência disponíveis, a utilização em conjunto das medidas estáticas "Índice de Altura do Arco", "Índice de Postura do pé" e o "Índice do Arco de Staheli" podem ser sugeridas como uma opção. Em relação aos resultados da confiabilidade teste-reteste das medidas da DFM, o CCI foram excelentes para ambas medidas (valor máximo 0,96 IC 95 % [0,93-0,97] e integral 0,95 [0,92-0,97]). A distribuição entre grupos referentes aos resultados relacionados ao valor máximo da curva DFM e integral foram respectivamente: pés normais 1,219

e 2,567, com 85 % dos indivíduos neste grupo; pés planos 1,147 e 2,397, com 12 % dos indivíduos e pés cavos, 1,074 e 2,144, com 3 % dos indivíduos. A distribuição em relação a série de dados foi semelhante para o grupo de pés cavos (4 %), com uma proporção diferente entre pés normais (76 %) e planos (20 %). A aplicação da análise de DFM nas imagens geradas pelas pressões plantares é confiável e pode ser utilizada para avaliação dos tipos de pé principalmente para identificar o grupo de indivíduos com pé cavo. Este método demonstra-se promissor pois possibilita uma avaliação objetiva, de baixo custo e manejo operacional, realizado de forma dinâmica. Em relação as medidas disponíveis na literatura, a utilização simultânea das três medidas estáticas sugeridas na revisão sistemática podem ser uma opção até que os estudos envolvendo medidas dinâmicas possam ser definidas e apresentem valores normativos válidos e confiáveis.

**Palavras-chave:** validade dos testes; reprodutibilidade dos resultados; dimensão fractal multiescala; avaliação do pés; revisão sistemática.

CARRASCO, Aline Cristina. **Determination of Feet Types during Dynamic Tasks using Plantar Pressure Maps and Multiscale Fractal Dimension Analysis**. 2020. 141 p. PhD in Physical Education - Centro de Educação Física e Esporte. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

## ABSTRACT

Static evaluation for classifying foot types is a common approach in clinical practice to identify morphological alterations associated with possible etiological factors that may lead to injury and to guide treatment prescription. Even though this type of approach is well recognized in clinical practice and orthopedic literature, methods based on static analysis does not predict the dynamic function of the feet and a universally accepted classification or standardized measures to determine foot types are lacking. This determined the development of a systematic review study to identify which non-radiographic assessment methods are considered valid and/or reliable for the classification of foot types. The existence of divergences between the methods to classify the feet types also led to the development of a method to determine the feet types based on the Multiscale Fractal Dimension measurement analysis (MFD) of images generated from plantar pressures during dynamic conditions and to assess the test-retest reliability of these measures. The systematic review included only studies that performed reliability and/or validity analysis of non-radiographic methods with adults and the risk of bias was evaluated the Critical Appraisal Tool. The MFD was performed with 208 subjects (between 18 and 65 years old) of both sexes. The participants were submitted to the collection of the plantar pressures dynamically (gait) using a Baroscan® pressure platform. To evaluate the test-retest reliability of these measures, 72 participants were asked to return for a new gait collection under the same conditions approximately seven days after the first collection. The data have been processed and a specific computer program in the Matlab® language for the calculation of variables related to MFD (maximum multiscale fractal curve value and the integral of the average of the five curves of each step, and data series of the curves of all attempts). Test-retest reliability was assessed by calculating the intraclass correlation coefficient (ICC) (ICC3,k = two-way mixed model), with 95% confidence interval (CI) and k-means cluster analysis. The results of reliability and validity, in general, demonstrated high scores, but, inconsistencies were related to the variability of the measurements, heterogeneity of the methods used to determine reliability and validity, and lack of parameters and gold standard measure for classifying foot types, made it difficult to determine which assessment method is valid and reliable. Thus, an isolated measure of a test cannot be recommended for clinical decision, in this way, based on CCI, CAT and the presence of reference values, the set of static measures "Arch Height Index," "Foot Posture Index," and "Staheli Arch Index" can be suggested as an option. The test-retest reliability results for the maximum value of the MFD curve and the integral were excellent, CCI=0,96 IC 95 % [0,93-0,97] and 0,95 [0,92-0,97] respectively. The distribution between groups regarding the results of the maximum values of the DFM curve and integral were respectively: normal feet 1,219 and 2,567, with 85 % individuals in this group; flat feet 1,147 and 2,397, with 12 %; and cavus feet 1,074 and 2,144, with 3 % individuals. In related of the data series of the curves was similar to the cavus feet group (4 %), with a different proportion between normal feet (76 %) and flat feet (20 %). The application of the DFM analysis in the images

generated by the plantar pressures is reliable and can be used to evaluate the types of feet mainly to identify the group of individuals cavus feet. This method proves to be promising because it allows for an objective, low-cost assessment and operational management, carried out dynamically. Regarding the measures available in the literature, the simultaneous use of the three static measures suggested in the systematic review may be an option until studies involving dynamic measures can be defined and present valid and reliable normative values.

**Keywords:** test validity; test reproducibility; multiscale fractal dimension; feet assessment; systematic review.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Arco Longitudinal Medial do pé .....	18
<b>Figura 2</b>	Fluxograma com resultados da estratégia de busca e estudos incluídos.....	40
<b>Figura 3</b>	Medidas de caracterização do pé .....	74
<b>Figura 4</b>	Marcha sobre a plataforma de pressão (BaroScan®).....	75
<b>Figura 5</b>	Mapa de superfície das pressões acumuladas dos sensores ativados ao longo de todo o ciclo de um passo.....	76
<b>Figura 6</b>	Contorno do formato do pé a partir das mínimas pressões geradas pela plataforma de pressão.....	77
<b>Figura 7</b>	Contorno do pé e contornos multiescalas (dilatações) obtidos por meio da transformada de distância euclidiana .....	78
<b>Figura 8</b>	Curva DFM gerada a partir do logaritmo das áreas em função do logaritmo dos raios de dilatação do contorno do pé .....	80
<b>Figura 9</b>	Distribuição dos clusters e curva média com valor máximos da DFM a partir da análise da série de dados da curva DFM de todas as tentativas de cada participante (n=1646) .....	107

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Descrição dos estudos incluídos de métodos estáticos de avaliação.....	46
<b>Tabela 2</b>	Descrição dos estudos incluídos de métodos dinâmicos de avaliação.....	50
<b>Tabela 3</b>	Resultados e classificação dos Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCI) dos estudos de confiabilidade de medidas estáticas e dinâmicas .....	51
<b>Tabela 4</b>	Descrição e resultados dos estudos de validade de medidas estáticas e dinâmicas .....	55
<b>Tabela 5</b>	Características da amostra em relação ao sexo .....	82
<b>Tabela 6</b>	Valor máximo da curva da DFM e a integral das imagens das pressões plantares durante a marcha do PE na primeira e segunda avaliação .....	83
<b>Tabela 7</b>	Resultados do CCI, EPM e MMD entre as medidas teste-reteste do valor máximo da curva da DFM e a integral das imagens das pressões plantares durante a marcha do PE.....	83
<b>Tabela 8</b>	Características da amostra total e em relação ao sexo .....	105
<b>Tabela 9</b>	Centros dos clusters e estatística F para o valor máximo e integral da curva fractal oriundos da média das imagens das cinco pressões plantares de cada pé .....	106

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>ALM</b>	Arco Longitudinal Medial
<b>AALM</b>	Ângulo Arco Longitudinal do pé
<b>CAT</b>	<i>Critical Appraisal Tool</i>
<b>CCI</b>	Coeficiente de Correlação Intraclasse
<b>CTO</b>	Comprimento Total do pé
<b>CTR</b>	Comprimento Truncado do pé
<b>DFM</b>	Dimensão Fractal Multiescala
<b>DP</b>	Desvio Padrão
<b>EPM</b>	Erro Padrão de Medida
<b>FPS</b>	<i>Foot Profile Score</i>
<b>GRRAS</b>	<i>Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies</i>
<b>IAA</b>	Índice (Razão) da Altura do Arco do pé
<b>IC</b>	Intervalo de Confiança
<b>IFT</b>	<i>Image Foresting Transform</i>
<b>IPP-6</b>	Índice de Postura do pé 6
<b>MMD</b>	Mínima Mudança Detectável
<b>NA</b>	Não se aplica
<b>PE</b>	Pé esquerdo
<b>PD</b>	Pé direito
<b>PRISMA</b>	<i>Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses</i>
<b>QUADAS</b>	Avaliação da Qualidade de Estudos de Precisão Diagnóstica
<b>QAREL</b>	Avaliação da Qualidade de Estudos de Confiabilidade Diagnóstica
<b>3D</b>	Tridimensional

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação</b> <b>1</b>	$F_r = 2 - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(A(r))}{\log(r)}$	78
<b>Equação</b> <b>2</b>	$\text{EPM} = \text{DP} \times \sqrt{1 - \text{CCI}}$	81
<b>Equação</b> <b>3</b>	$\text{MMD}_{90} = [\text{z score (para IC 90 \%)}] \times \text{EPM} \times \sqrt{2}$	81

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	28
2.1	Objetivo Geral .....	28
2.2	Objetivos Específicos .....	28
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	31
	Artigo 1: Validade e confiabilidade de medidas não radiográficas para avaliar os tipos de pés: uma revisão sistemática .....	32
	Artigo 2: Confiabilidade teste-reteste das medidas de dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.....	68
	Artigo 3: Avaliação dos tipos de pés a partir da análise da dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.....	91
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	115
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	117
	<b>ANEXOS</b> .....	130
	Anexo 1: Ferramenta de avaliação crítica (Critical Appraisal Tool - CAT) para estudos de confiabilidade e validade de métodos clínicos objetivos.....	131
	Anexo 2: Resultados de Confiabilidade dos estudos - Critical Appraisal Tool (CAT).....	132
	Anexo 3: Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa.....	134
	<b>APÊNDICES</b> .....	138
	Apêndice 4: Termo de consentimento livre e esclarecido.....	139
	Apêndice 5: Ficha de Avaliação .....	141

# 1 INTRODUÇÃO

---

---

O arco longitudinal medial (ALM) do pé, característica não apresentada por outros primatas, é uma particularidade crucial para o bipedalismo humano. O arco fornece ao pé a rigidez necessária para atuar como uma alavanca que transmite as forças geradas pelos músculos dos membros inferiores quando eles entram em contato com o solo (Lichtwark; Kelly, 2020). O arco também mantém flexibilidade suficiente para funcionar como uma mola para armazenar e liberar energia mecânica (Lichtwark; Kelly, 2020), ou seja, trata-se de uma estrutura que trabalha como um sistema elástico para a absorção de impactos para a estabilidade durante a marcha (Cavanagh; Rodgers, 1897; Ghasemi et al., 2016) (Figura 1).

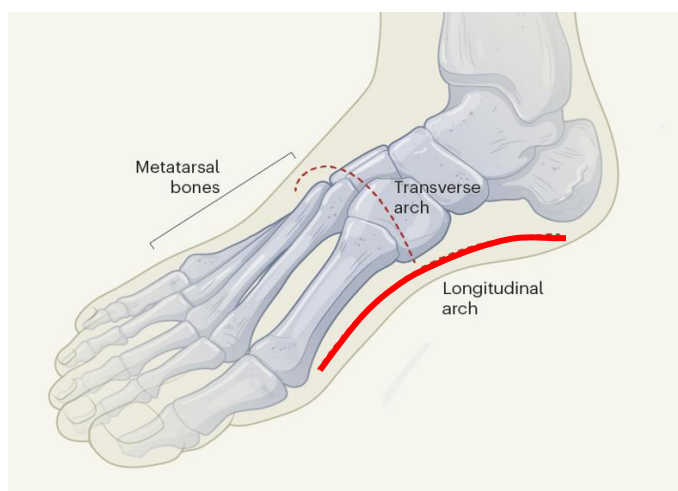


Figura 1 Arco Longitudinal Medial do pé.  
Fonte: Lichtwark; Kelly (2020).

A altura do ALM tem sido reconhecida há muito tempo como um parâmetro chave para a classificação do tipo de pé e é considerada uma importante ferramenta de prognóstico e diagnóstico das lesões dos membros inferiores (Lucas et al., 2018).

A avaliação clínica é utilizada para simplificar as complexidades anatômicas deste segmento (28 ossos, 33 articulações, 112 ligamentos controlados por 13 músculos extrínsecos e 21 intrínsecos) (Hillstrom et al., 2013) e é associado ao fato de

que uma morfologia de um pé considerado não neutro (normal), como o cavo ou plano, possa levar a uma função prejudicada do pé e ao desenvolvimento de lesões nas extremidades inferiores e na coluna lombar (Mei-Dan et al., 2005; Gabel et al., 2012; Tong; Kong, 2013; Cobb et al., 2014).

O pé cavo apresenta-se com ALM anormalmente elevado, associado a uma estrutura mais rígida e menor mobilidade principalmente nas articulações do retropé e do antepé. Durante o movimento, este tipo de pé não realiza a pronação necessária para absorver o impacto, de forma que as forças são transmitidas ascendentemente pelo membro inferior (Houglum, 2015). A menor mobilidade diminui a capacidade de absorção de cargas que o torna mais suscetível a lesões relacionadas à redução da atenuação de choque (Williams; Mcclay; Hamill, 2001) ou ao aumento dos picos das pressões plantares (Burns et al., 2005), estando mais propenso ao desenvolvimento de fraturas por estresse e deformidades como dedos em martelo ou em garra (Houglum, 2015).

Já o pé plano é um termo utilizado para descrever os pés com um ALM visivelmente abaixado, frequentemente associado à inversão do retropé (Shibuya et al., 2010; Houglum, 2015). É o tipo de deformidade mais comum (Levinger et al., 2010), nos quais fatores como hipermobilidade articular e aumento de massa corporal ou obesidade estão associados ao aumento da prevalência, independentemente da idade (Evans; Rome, 2011). Durante o apoio de peso, o pé plano é incapaz de formar uma alavanca rígida para a propulsão eficiente e permanece em inversão quando deveria estar evertido. Este tipo de pé é hipermóvel, permitindo movimento excessivo do retropé e antepé durante a marcha devido à falta de estabilidade para criar uma plataforma forte para a propulsão, impondo cargas excessivas às estruturas de tecidos moles e articulações adjacentes principalmente durante atividades de potência e agilidade. Esta instabilidade ou hipermobilidade obrigam os músculos intrínsecos a trabalharem muito além das suas expectativas normais (Houglum, 2015). Devido a estes fatores, apresenta-se como um risco para o desenvolvimento de lesões de uso excessivo dos membros inferiores e disfunções nos pés (Kohls-Gatzoulis et al., 2004; Levinger et al., 2010), como síndrome do estresse tibial medial (Neal et al., 2014),

fasceíte plantar e tendinopatia do calcâneo pelo aumento das cargas sobre as estruturas do pé e do tornozelo (Houglum, 2015).

O ALM se desenvolve ao longo da primeira década da vida (Pfeiffer et al., 2006; Chen et al., 2013), dessa forma é comum que entre 0 a 3 anos de idade as crianças apresentem um pé plano devido à frouxidão ligamentar e a gordura plantar que ainda não foi reabsorvida (Kanatlı; Aktas; Yetkin, 2016). Os primeiros 6 anos são importantes para o desenvolvimento do arco explicado pela influência de três fatores: o desenvolvimento do sistema neurovascular, diminuição da frouxidão articular e aumento da ossificação do pé (Kanatlı; Aktas; Yetkin, 2016). Embora a maioria das crianças nasçam com pés planos (Pfeiffer et al., 2006; Chen et al., 2013), a prevalência normalmente diminui com a idade (Evans; Rome, 2011) e é estimada em 44 % a 68 % aos 3 anos de idade, reduzindo para 21% a 24 % aos 6 anos (Pfeiffer et al., 2006; Chen et al., 2013). Os pés planos podem apresentar duas formas: rígidos ou flexíveis (Luhmann; Rich; Schoenecker, 2000).

A Organização Mundial da Saúde define o pé plano rígido como uma deformidade congênita, rígida ou espástica (Organization, 2016), causado por distúrbios neuromusculares, como a paralisia cerebral (Mosca, 2010). Podem causar sintomas como dor ou incapacidade de andar (Mosca, 2010) e quase sempre requerem tratamento cirúrgico (Kanatlı; Aktas; Yetkin, 2016). Já o pé plano flexível é um distúrbio articular adquirido (Organization, 2016), considerado como uma condição benigna comum da infância, mas que também pode provocar dor e alteração da marcha na fase adulta (Kanatlı; Aktas; Yetkin, 2016). Isto está atrelado ao fato de que poucos pés planos flexíveis tornam-se sintomáticos (Mosca, 2010; Evans; Rome, 2011), no entanto, aqueles que apresentam encurtamento do tendão calcâneo e hipermobilidade são conhecidos por causar dor ou outros sintomas com o aumento da sobrecarga durante atividades (Mosca, 2010). Entre os sintomas destacam-se dor generalizada e fadiga nos membros inferiores, além da associação com sintomas relacionadas a distúrbios patelofemorais e no quadril (Shibuya et al., 2010). Estes sintomas tornam-se mais evidentes após os 10 anos podendo durar até a fase adulta (Kim, 2001), acompanhados de desequilíbrios mecânicos (Shibuya et al., 2010; Banwell; Mackintosh;

Thewlis, 2014). Contudo, ainda não existe uma concordância sobre a etiologia do pé plano flexível (Root; Orien; Weed, 1977; Ross, 2002).

Diante da importância dos pés por serem responsáveis pelo suporte de peso corporal e locomoção, considerá-los numa avaliação clínica torna-se relevante. Contudo, para se chegar a classificação dos tipos de pés ainda se utilizam métodos de avaliação estática com o objetivo de identificar alterações morfológicas associadas a possíveis fatores etiológicos que podem levar a uma lesão e também para orientar a prescrição de intervenções de tratamento (Razeghi; Batt, 2002). Este modelo de avaliação é derivado principalmente dos trabalhos de Root et al. (Root; Orien; Weed, 1971; 1977), porém, estas medidas apresentam falta de evidências empíricas e preocupações com confiabilidade (Picciano; Rowlands; Worrell, 1993) e validade (Mcpoil; Hunt, 1995), além da restrição das medidas estáticas em predizerem a função dinâmica do pé (Neal et al., 2014). No entanto, a premissa de poder categorizar o pé com base em suas características anatômicas continua a ser atraente e comum na prática clínica atual (Langley; Cramp; Morrison, 2016).

Aliado a este fator, não existe uma classificação totalmente aceita e medidas padronizadas para determinar os tipos de pés (Evans et al., 2003). Não há concordância quanto às definições, aos prognósticos e as condutas de tratamentos que se apresentam predominantemente indefinidas e controversas (Leung; Mak; Evans, 1998; Staheli, 1999; Benedetti et al., 2011; Buldt et al., 2013). Esta falta de consenso na literatura pode ser atribuída, em parte, exatamente a esta variação na definição operacional dos tipos de pés (cavo, supinado, varo, plano, pronado e valgo) entre os pesquisadores (Murphy; Connolly; Beynnon, 2003; Barnes; Wheat; Milner, 2008; Mosca, 2010). Além disso, uma variedade de métodos foram desenvolvidos para classificar os pés baseados em estruturas e alinhamentos anatômicos. Estes métodos incluem medidas radiográficas, avaliação visual qualitativa e semiquantitativa, medidas antropométricas diretas, análise de impressões plantares e de imagens (Tong; Kong, 2013). Contudo, esta grande variedade de métodos disponíveis se torna ineficaz, uma vez que não há concordância sobre qual seria o método “padrão-ouro” para este tipo de avaliação (Hillstrom et al., 2013) e por consequência determinar a validade destas

medidas. Embora o exame radiográfico seja considerado o “padrão-ouro” para avaliar o alinhamento do ALM (Menz; Morris, 2006; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Pohl; Farr, 2010), a exposição a radiações ionizantes não é indicado pelos seus potenciais efeitos colaterais negativos (Razeghi; Batt, 2002; Redmond; Crosbie; Ouvrier, 2006). Além disso, as investigações radiográficas são utilizadas com uma variedade de índices estáticos da forma do pé, cada uma com suas próprias limitações (Evans et al., 2003; Scharfbillig et al., 2004; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008), como por exemplo, a dificuldade do avaliador em identificar e marcar os pontos de referência ósseas devido a problemas de distorção das bordas ósseas na radiografia, o que pode aumentar o erro da medida e de uma estimativa subjetiva do avaliador para realizar os traços angulares entre os ossos (Scharfbillig et al., 2004). Ainda deve-se considerar que técnicas modernas como ressonância magnética, tomografia computadorizada até podem ser realizadas atualmente com suporte de peso (Cody et al., 2016), além do escaneamento de imagens 3D (Hu et al., 2018), porém inviabilizam uma avaliação dinâmica e são de alto custo e manejo operacional.

Dessa forma, a falta de um padrão de classificação confiável para os tipos de pés desafia o agrupamento e análise sistemática de dados para a tradução dos resultados das pesquisas para a prática clínica (Langley; Cramp; Morrison, 2016) e torna difícil a tomada de conclusões sobre as pesquisas existentes e consequentemente de decisões clínicas (Wong; Weil; De Boer, 2012). O uso de uma variedade de medidas em estudos de pesquisa dificulta por exemplo a identificação da relação potencial entre os tipos de pés e os riscos de desenvolvimento de lesões nas extremidades inferiores (Murphy; Connolly; Beynnon, 2003; Barnes; Wheat; Milner, 2008). Além disso, também interfere nas diretrizes para o tratamento ortopédico que apresentam falta de evidências fortes para o tratamento não cirúrgico, principalmente para os casos de pé planos sintomáticos (Evans; Rome, 2011; Jane Mackenzie; Rome; Evans, 2012; Halabchi et al., 2013).

Isto pode ser confirmado por meio de várias revisões sistemáticas que identificaram exatamente esta dificuldade para análise agrupada dos dados para se chegar a conclusões e assim, a tomada de decisões clínicas. Entre oito estudos de

revisão sistemática relacionando o tipo de pé com algum outro fator (Murley et al., 2009; Buldt et al., 2013; Tong; Kong, 2013; Banwell; Mackintosh; Thewlis, 2014; Dowling et al., 2014; Neal et al., 2014; Uden; Scharfbillig; Causby, 2017; Buldt et al., 2018), apenas dois conseguiram realizar metanálise (Neal et al., 2014; Tong; Kong, 2013). Os autores apontam principalmente as divergências entre os métodos como fator comprometedor para a metanálise (Murley et al., 2009; Buldt et al., 2013; Tong; Kong, 2013; Banwell; Mackintosh; Thewlis, 2014; Dowling et al., 2014; Neal et al., 2014; Uden; Scharfbillig; Causby, 2017; Buldt et al., 2018).

Assim, pesquisas futuras deveriam se atentar a um maior rigor metodológico, particularmente em relação ao uso de técnicas válidas e confiáveis de medidas dos tipos de pé (Buldt et al., 2018), considerando o desenvolvimento de recomendações e de um consenso quanto à classificação do pé (Buldt et al., 2013; Dowling et al., 2014; Uden; Scharfbillig; Causby, 2017). Além disso, os métodos propostos devem explorar medidas clinicamente significativas e representativas da função dinâmica do pé (Murley et al., 2009; Banwell; Mackintosh; Thewlis, 2014; Dowling et al., 2014), de forma simples, rápida e segura, considerando o comportamento funcional (Jarvis et al., 2012), uma vez que há uma restrição das medidas estáticas em predizerem a função dinâmica (Neal et al., 2014). Medidas diferentes das utilizadas atualmente seriam uma alternativa já que as existentes não tiveram sucesso em detectar a relação entre as lesões e as alterações da função do pé (Dowling et al., 2014). Além destas recomendações, as propostas devem se preocupar em traduzir as medidas coletadas em laboratório para medidas aplicadas clinicamente, pois os equipamentos utilizados muitas vezes são sofisticados e caros (Dowling et al., 2014) e atender a profissionais que relatam que na prática clínica ainda existe uma necessidade de uma medida objetiva e confiável para monitorar o tipo de pé ao longo do tempo e para avaliar a eficácia dos tratamentos (Kane, 2015). O estabelecimento de uma medida comum pode dar suporte para o debate sobre a adequação das medidas atuais e, em última análise, encorajar uma abordagem mais padronizada da prática clínica (Langley; Cramp; Morrison, 2016).

Dessa forma, considerando que as ferramentas para avaliação dos tipos de pés são divergentes, adotando análises lineares clássicas baseadas em medidas

antropométricas ou de imagens nos quais a variabilidade da forma dos pés não foi contemplada dinamicamente, o uso de técnicas mais recentes, utilizando métodos não clássicos, como a derivada da teoria do caos - Dimensão Fractal - pode ser uma chave para esse tipo de análise. É importante ressaltar que no reconhecimento de padrões e áreas relacionadas, a forma é uma característica importante para identificar e distinguir objetos (Torres; Falcao; Costa, 2004), e a Dimensão Fractal possui sua aplicabilidade em diferentes problemas relacionados à análise de formas e de imagens, ou seja, tratam-se de medidas úteis para caracterizar problemas que requerem análise de complexidade de estruturas auto-similares por meio de diferentes escalas, sendo particularmente adequadas para caracterização de cobertura espacial e superfície de contato de formas. Os estudos relacionados à Dimensão Fractal tiveram início em 1975 por Benoit Mandelbrot que procurava explicar formas da natureza propondo o estudo morfológico das “amorfas” identificando uma família de formas chamada fractais. Modelos de curvas e superfícies foram desenvolvidos juntamente com os métodos de estimativa do valor fractal das formas por meio de medidas da Dimensão Fractal Multiescala (DFM). Assim, o conceito de DFM normalmente é utilizado em medidas, análises e classificações de formas e texturas fornecendo informações sobre a complexidade das mesmas (Pinto, 2001).

O Método Multiescala utiliza diversas escalas espaciais para o estudo de um determinado problema, aplicados à análise da forma de objetos bidimensionais, baseando-se na suavização progressiva da curvatura de um objeto ao longo do seu contorno (dilatações). É calculada com base na transformação de distância euclidiana de seus *pixels* (Torres; Falcao; Costa, 2004) e o resultado final fornece uma visão do objeto original ao longo das escalas espaciais cada vez maiores e com menos detalhes (Costa; Bianchi, 2002). São as variações de forma expressas em relação a uma dada escala (representação de forma multiescala), que são capazes de fornecerem mais informações sobre os objetos. Entre os descritores de forma, a DFM que utiliza a IFT (*Image Foresting Transform*) - uma abordagem baseada em gráficos para o projeto de operadores de processamento de imagens, demonstra-se ser o método mais eficiente e robusto, uma vez que as indesejáveis oscilações comumente encontradas em

abordagens baseadas na Transformada de *Fourier* são eliminadas pelo uso de regressão polinomial (Torres; Falcao; Costa, 2004).

Entre as aplicações da DFM, o destaque está na utilização para a análise de dados biológicos (Phothisonothai; Nakagawa, 2007), como por exemplo, para caracterização da complexidade de formas de neurônios para fins de diagnóstico (Costa et al., 2002) e para o estudo da dinâmica do batimento cardíaco (Nunes Amaral et al., 2001). Além disso, estudos envolvendo o movimento humano também vêm adotando esse tipo de abordagem. A análise da marcha, por exemplo, geralmente é estudada com métodos clássicos adotando modelos biomecânicos nos quais a variabilidade é ignorada, sendo considerada ruído (Hausdorff, 2007). No entanto, a variabilidade é um sinal interpretável significativo, sendo que sua magnitude entre um passo para outro e suas alterações ao longo do tempo durante a marcha podem ser úteis no entendimento do controle motor da marcha e na quantificação de alterações relacionadas a idade e as doenças, e isso pode ser identificado por meio de uma medida fractal (Hausdorff, 2007; Dierick et al., 2017). Em particular, o comportamento peculiar do intervalo da passada pode ser referido como “comportamento fractal” (Hausdorff et al., 1995). Ducharme et al. (2018) também identificaram que a dinâmica fractal do tempo do passo durante o marcha com perturbação está associada à adaptação da marcha. Há também estudos utilizando a análise fractal para avaliar a dinâmica do controle postural humano por meio da análise do comportamento (oscilação) do corpo durante a posição em pé (Blaszczyk; Klonowski, 2001; Stambolieva, 2011; Doherty et al., 2014; Foisy et al., 2015; Martínez-Martí et al., 2019) e a Dimensão Fractal demonstrou-se uma medida útil, confiável e sensível para avaliar a complexidade dos sinais posturográficos (Blaszczyk; Klonowski, 2001).

Considerando estas aplicações clínicas da Dimensão Fractal, para propor sua utilização para análise das formas pés e a partir disso propor uma classificação, é necessário o uso de alguma ferramenta que possa captar dinamicamente as pressões plantares durante a marcha. Neste sentido, o uso de recursos como a baropodometria torna-se uma boa alternativa. Este tipo de análise é freqüentemente empregada para obter informações sobre a mecânica da interação pé-solo, tanto na pesquisa básica

quanto na clínica (Giacomozzi; Leardini; Caravaggi, 2014), fornecendo medidas de pressão plantar estática e dinâmica durante testes biomecânicos (Pataky et al., 2011; Choi et al., 2014).

A pressão plantar pode ser considerada uma espécie de característica biométrica, viável e eficaz para identificar o comportamento dinâmico, uma vez que o movimento e a postura humana são bem refletidos na distribuição da pressão nos pés (Si et al., 2018). Além disso, como a geometria de contato do pé de um mesmo sujeito é similar, as imagens podem ser registradas e comparadas (Pataky et al., 2011), e, em relação aos exames de radiografias, a análise de pressões plantares é um método não radioativo e mais viável para avaliação clínica do arco longitudinal medial do pé (Lin et al., 2004), pois a pressão plantar reflete a altura do ALM (Swedler et al., 2010). Este tipo de método pode auxiliar os profissionais de saúde na interpretação da postura e do movimento humano, tratando-se de uma avaliação simples, rápida e de baixo custo operacional que já faz parte de protocolos clínicos e de pesquisa (Giacomozzi; Leardini; Caravaggi, 2014). Além disso, estudos de confiabilidade já demonstraram que este tipo de recurso apresenta parâmetros com menos de 10 % de erro quando se considera uma média de cinco tentativas, com resultados consistentes para medidas das pressões plantares realizadas na mesma plataforma (Hafer et al., 2013).

Dessa forma, uma nova aplicabilidade da DFM para análise das formas dos tipos dos pés revela-se promissora diante da sua utilidade. Na literatura verificaram-se divergências entre os métodos para a classificação dos tipos de pés, o que inviabiliza conclusões sobre as pesquisas desenvolvidas na área e dificulta uma abordagem padronizada da prática clínica. Logo, o uso de uma ferramenta matemática capaz de fornecer uma medida objetiva pode nortear os resultados das pesquisas e da abordagem clínica. Isso pode ser realizado por meio das imagens fornecidas pela baropodometria, na qual a pressão plantar durante a deformação que ocorre entre o contato do pé com solo durante a marcha pode ser captado e essas informações das pressões durante o passo analisado. A aplicação da DFM nas imagens geradas pelas pressões plantares coletadas pela plataforma de pressão pode permitir a exploração da complexidade das formas dos pés, e a partir daí, possibilitar uma classificação dos tipos

de pés. A utilização deste método também possibilita seu acoplamento futuro a *softwares* de coletas de pressões plantares já existentes no mercado para o diagnóstico dos tipos de pés.

Assim, estes apontamentos levaram inicialmente a busca na literatura da existência de algum método que pudesse contemplar a avaliação dos tipos de pés. Contudo, a dificuldade de encontrá-lo determinou a busca de uma nova forma para isto. Portanto, as questões envolvidas neste estudo foram:

1) Entre os métodos para avaliar os tipos de pés disponíveis na literatura, existe algum válido e confiável?

2) a análise fractal das imagens dinâmicas dos pés pode ser uma medida confiável e capaz de distinguir os tipos de pés?

Diante disso, o presente estudo foi apresentado por meio de uma proposta de artigos científicos relacionados ao tema exposto. O primeiro artigo foi um trabalho de revisão sistemática para avaliar quais os métodos de avaliação não radiográficos apresentados na literatura são considerados válidos e/ou confiáveis para classificação dos tipos de pés, o segundo artigo abordou a avaliação da confiabilidade teste-reteste das medidas da DFM de mapas de pressão plantar coletados durante a marcha e o terceiro artigo verificar se a análise da DFM de mapas de pressão plantar coletados durante a marcha pode ser uma alternativa para classificar os tipos de pés.

## **2 OBJETIVOS**

---

---

### 2.1 Objetivo Geral

Realizar uma pesquisa sobre as formas de avaliação dos tipos de pés, verificar se existem medidas válidas e confiáveis para isso e se a DFM de mapas de pressão plantar durante tarefas dinâmicas (marcha) pode ser confiável e capaz de defini-los.

### 2.2 Objetivo Específicos

**Artigo 1: Validade e confiabilidade de medidas não radiográficas para avaliar os tipos de pés: uma revisão sistemática.**

- Realizar uma revisão sistemática para identificar um método não radiográfico válido e confiável para avaliar o tipo de pés;

- Identificar e avaliar os estudos que abordaram a análise da validade critério e os parâmetros relacionados à confiabilidade teste-reteste, intra e interavaliador de métodos utilizados para classificar os tipos de pés de forma estática e dinâmica;

- Verificar qual (is) método (s) pode (m) ser mais apropriado (s) para avaliar os tipos de pés tanto para orientar o desenvolvimento de pesquisas como para o uso na prática clínica.

**Artigo 2: Confiabilidade teste-reteste das medidas de dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.**

- Avaliar a confiabilidade teste-reteste das medidas fornecidas pela DFM de mapas de pressão plantar coletados durante a marcha.

**Artigo 3: Avaliação dos tipos de pés a partir da análise da dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.**

- Avaliar os tipos de pés a partir da análise da DFM de imagens geradas a partir das pressões plantares coletadas em condições dinâmicas (marcha).

- Realizar o agrupamento a partir das variáveis fornecidas pela DFM (valor máximo, integral e série de dados da curva fractal) para a classificação dos tipos de pés.

# **3 HIPÓTESES**

A partir do exposto, hipóteses foram apresentadas para cada artigo proposto.

**Artigo 1: Validade e confiabilidade de medidas não radiográficas para avaliar os tipos de pés: uma revisão sistemática.**

- H<sub>0-1</sub>: Não há métodos de avaliação dos tipos de pés válidos e/ou confiáveis.

**Artigo 2: Confiabilidade teste-reteste das medidas de dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.**

- H<sub>0-2</sub>: As medidas fornecidas pela DFM das imagens das pressões plantares não apresentam confiabilidade alta ou moderada no teste-reteste.

**Artigo 3: Desenvolvimento de um método de avaliação dos tipos de pés a partir da análise da dimensão fractal multiescala de mapas de pressão plantar em tarefas dinâmicas.**

- H<sub>0-3</sub>: Não é possível classificar os tipos de pés a partir da análise de DFM de mapas de pressão plantar dinâmicos.

## **4 RESULTADOS**

Em busca de reponder as questões envolvidas neste estudo foram desenvolvidos três estudos. O primeiro artigo original foi buscar na literatura a existência de algum método que pudesse contemplar a avaliação dos tipos de pés por meio de uma revisão sistemática. Porém, ao observar a necessidade ainda de um método capaz de determinar os tipos de pés de forma confiável, foram desenvolvidos os artigos número dois e três relacionados ao desenvolvimento de método para determinar os tipos de pés a partir da análise de DFM de medidas de pressões plantares e avaliar a confiabilidade teste-reteste destas medidas.

# Artigo Original 1

Artigo enviado para a revista *Foot and Ankle Surgery*

## VALIDADE E CONFIABILIDADE DE MEDIDAS NÃO RADIOGRÁFICAS PARA AVALIAR OS TIPOS DE PÉS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

### RESUMO

A altura do Arco Longitudinal Medial é o indicador mais utilizado para classificação do tipo de pé, de forma que um arco baixo é caracterizado como pé plano e alto, pé cavo. Mesmo sendo este tipo de abordagem bem reconhecida na prática clínica e literatura ortopédica, não existe uma classificação universalmente aceita e medidas padronizadas para determinar os tipos de pé. Dessa forma o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão sistemática para identificar quais os métodos não radiográficos de avaliação considerados válidos e/ou confiáveis para classificação dos tipos de pés. Uma busca sistemática em bases de dados foi realizada: *Medline, Embase, Web of Science, SportDiscus, Cinahl, Scopus e Scielo* utilizando *Medical Subject Headings*. Somente estudos transversais que avaliaram a confiabilidade e/ou validade de métodos não –radiográficos realizados com indivíduos adultos foram incluídos. Para avaliação do risco de viés foi utilizado a ferramenta *Critical Appraisal Tool* específica para estudos de confiabilidade e validade capaz de avaliar as propriedades de medida de métodos clínicos objetivos. Os resultados demonstraram coeficientes altos de pontuação, mas inconsistências em relação à variabilidade das medidas, heterogeneidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade e a falta de parâmetros para classificação dos tipos de pés resultou em poucos elementos para determinar qual método de avaliação dos tipos de pés é válido e confiável. Contudo, o conjunto de medidas estáticas "Índice de Altura do Arco", "Índice de Postura do pé" e o "Índice do Arco de Staheli" podem ser sugeridas como uma opção. O protocolo de registro está disponível em <https://osf.io/8mnyx/>.

Descritores: Validade dos testes, reprodutibilidade dos testes; pés; pé plano; pé cavo.

### ABSTRACT

The height of the medial longitudinal arch is the most commonly used indicator for foot type classification; a low arch is characterized as flat foot and a high arch as cavus foot. Even though this type of approach is well recognized in clinical practice and orthopedic literature, a universally accepted classification or standardized measures to determine foot types are lacking. Thus, the objective of this study was to conduct a systematic review to identify which non-radiographic assessment methods are considered valid and/or reliable for the classification of foot types. A systematic database search was performed in Medline, Embase, Web of Science, SportDiscus, Cinahl, Scopus, and Scielo, using specific keywords. Only cross-sectional studies that

performed reliability and/or validity analysis of non-radiographic methods with adults were included. To evaluate the risk of bias, the Critical Appraisal Tool was used, specific for reliability and validity studies, and able to evaluate the measurement properties of objective clinical methods. The results of reliability and validity, in general, demonstrated high scores, but, inconsistencies were related to the variability of the measurements. Furthermore, heterogeneity of the methods used to determine reliability and validity and lack of parameters for classifying foot types, resulted in few elements to determine which method of foot type evaluation is valid and reliable. However, the set of static measures “Arch Height Index,” “Foot Posture Index,” and “Staheli Arch Index” can be suggested as an option. The registration protocol is available at <https://osf.io/8mnyx/>.

Keywords: Test Validity, Test Reproducibility; Foot; Flat Foot; Cavus Foot.

## **Introdução**

A avaliação estática para classificação dos tipos de pés é uma abordagem comum na prática clínica com o objetivo de identificar alterações morfológicas associadas a possíveis fatores etiológicos que podem levar a uma lesão e de orientar a prescrição de tratamento (Razeghi; Batt, 2002). Inúmeras medidas existem para este fim, subdividindo as regiões do pé em antepé, retropé e mediopé. O teste de alinhamento do antepé por exemplo, o classifica em neutro, valgo ou varo (Somers et al., 1997), assim como a medida do ângulo do retropé (calcaneal) (Barton et al., 2010). Contudo, a maior parte das medidas se concentram em avaliar a região do mediopé, onde se encontra o Arco Longitudinal Medial (ALM) (Williams; Mcclay, 2000; Brushoj et al., 2007; Van Der Worp et al., 2014; Mcpoil et al., 2016; Zuil-Escobar et al., 2019). Por suas propriedades de suporte de peso em posturas estáticas e seu importante papel nas forças de transferência e amortecimento durante tarefas dinâmicas, torna-se a mais importante estrutura utilizada para descrever a morfologia e mecânica dos pés (Caravaggi et al., 2019), com a altura do ALM o indicador mais utilizado para a sua classificação (Butler et al., 2008). Assim, um arco excepcionalmente baixo é caracterizado como pé plano e alto, pé cavo. Mesmo este tipo de abordagem bem reconhecida na prática clínica e literatura ortopédica, não existe uma classificação universalmente aceita e medidas padronizadas para determinar os tipos de pés (Evans

et al., 2003), além de não existir concordância sobre qual seria o método “padrão-ouro” para este tipo de avaliação (Hillstrom et al., 2013). Além disso, medidas estáticas podem não predizer a função dinâmica (Neal et al., 2014), dessa forma, a importância de se diferenciar medidas dinâmicas das estáticas é apontada (Scholz et al., 2017).

Embora o exame radiográfico seja considerado o “padrão-ouro” para avaliar o alinhamento do ALM (Menz; Morris, 2006; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Pohl; Farr, 2010) a exposição de radiações ionizantes não é indicada pelos seus potenciais efeitos colaterais negativos (Razeghi; Batt, 2002; Redmond; Crosbie; Ouvrier, 2006). Além disso, as investigações radiográficas são utilizadas com uma variedade de índices estáticos da forma do pé, cada uma com suas próprias limitações (Evans et al., 2003; Scharfbillig et al., 2004; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008). Como exemplo, a dificuldade do avaliador em identificar e marcar os pontos de referência ósseas devido à problemas de distorção das bordas ósseas na radiografia, o que aumenta as chances de erro da medida e de uma estimativa subjetiva do avaliador para realizar os traços angulares entre os ossos (Scharfbillig et al., 2004), com uma grande variabilidade intra e interavaliador (Plant et al., 1994; Rhodes et al., 1995). Assim, a utilização de medidas não radiográficas (clínicas e objetivas) podem ser uma alternativa para avaliar as características do ALM em estudos clínicos, uma vez que a radiação ionizante nem sempre é justificada (Hollander et al., 2019).

Dessa forma, a falta de um padrão de classificação confiável para os tipos de pés torna difícil a tomada de decisões clínicas (Wong; Weil; De Boer, 2012) e devido à falta de medidas concordantes, desafia o agrupamento e análise sistemática de dados (Langley; Cramp; Morrison, 2016). Isto pode ser confirmado por meio de várias revisões sistemáticas que buscaram associar o tipo de pé com algum outro fator (Murley et al., 2009; Buldt et al., 2013; Tong; Kong, 2013; Banwell; Mackintosh; Thewlis, 2014; Dowling et al., 2014; Neal et al., 2014; Uden; Scharfbillig; Causby, 2017; Buldt et al., 2018; Hollander et al., 2019) e identificaram principalmente as divergências entre os métodos como fator comprometedor para a metanálise. Apontam que estudos futuros se beneficiariam se houvesse um consenso para a avaliação do tipo de pé com desenhos de estudos mais homogêneos. Mesmo a revisão sistemática proposta por

Banwell et al. (2018) com o objetivo de investigar as propriedades de medidas de métodos para o diagnóstico dos tipos de pés em crianças, não obteve êxito em encontrar um critério universalmente aceito para o diagnóstico e os autores concluíram que essas propriedades de medidas são limitadas.

É importante ressaltar que a avaliação das propriedades de medida de instrumentos é fundamental para subsidiar a seleção de métodos válidos e confiáveis, de modo a assegurar a qualidade dos resultados dos estudos. Antes de serem considerados aptos para uso, os instrumentos devem oferecer dados precisos, interpretáveis e cientificamente robustos para a avaliação de saúde (Cano; Hobart, 2011). Os pesquisadores são unânimes em considerar como principais propriedades de medida de instrumentos a confiabilidade e a validade (Cook; Beckman, 2006; Pittman; Bakas, 2010) e que estas propriedades não podem ser estabelecidas por um único estudo (Jette et al., 2003; Portney; Watkins, 2015). No que se refere a medidas consistentes, confiáveis e padronizadas, ainda existe a necessidade de uma medida objetiva para monitorar a postura do pé ao longo do tempo para avaliar a eficácia dos tratamentos (Kane, 2015) e sensíveis para detectar eventuais diferenças entre grupos (Barton et al., 2011). Dessa forma, encontrar uma ferramenta que apresente tais requisitos na literatura é importante, pois estabelecer um acordo entre medidas levará a uma abordagem mais padronizada para futuras pesquisas e prática clínica (Langley; Cramp; Morrison, 2016). Assim, este estudo teve como objetivo identificar e avaliar a confiabilidade intra e interavaliador e a validade de métodos não radiográficos (clínicos e objetivos) para classificar os tipos de pés de forma estática e dinâmica e verificar qual (is) método (s) pode (m) ser mais apropriado (s) para esta função.

## **Método**

### **Protocolo e registro**

Trata-se de uma revisão sistemática de estudos de análise de confiabilidade e/ou validade. A pesquisa seguiu a recomendação PRISMA (Moher et al., 2009) e o

protocolo de registro está disponível no *Open Science Framework/Center for Open Science* (<https://osf.io/8mnyx/>).

## **Estratégia de Busca**

A estratégia de busca foi formulada por dois revisores, auxiliados por uma bibliotecária, nas seguintes base de dados: *Medline* (1950-2019), *Embase* (1947-2019) (1947-2019), *Web of Science* (1945-2019), *SportDiscus* (1985-2019), *Cinahl* (1982-2019), *Scopus* (1996-2019) e *Scielo* (1998-2019). A pesquisa foi realizada utilizando *Medical Subject Headings* (MeSH) sem restrição de língua no período entre julho a setembro de 2019. Os descritores utilizados com a estratégia de busca por meio de operadores booleanos foram: (*Feet OR Foot OR Flatfoot OR Pes Planus OR Talipes Cavus OR Pes Cavus*) AND (*Evaluation OR Assessment OR Measurement*) AND (*Methods OR Study OR Procedures*) AND (*Reproducibility of Findings OR Reliability of Results OR Reliability OR Validity OR Validity of Results OR Validity of Tests OR Test-Retest*) NOT (*Child OR Children*) NOT (*Diabetic Foot*) NOT (*Animals*).

## **Critérios de Elegibilidade**

Foram incluídos apenas estudos transversais que realizaram análise de confiabilidade e/ou validade de métodos não radiográficos (clínicos e objetivos) para classificação dos tipos de pés. As amostras dos estudos incluídos foram adultos, com idade entre 18 e 65 anos, de ambos os sexos e saudáveis. Foram excluídos estudos realizados com métodos de avaliação por imagem, participantes com doenças reumatológicas, neurológicas, metabólicas ou alterações ortopédicas, por exemplo, hálux valgo e pé torto congênito.

## **Extração dos Dados e Avaliação do Risco de Viés**

Os dados extraídos dos estudos foram: objetivos, ferramenta e tipo de medida

utilizada para avaliação dos tipos de pés, país, tipo de estudo, número e tipo de participantes (idade e sexo), tipo de coleta (estática ou dinâmica), avaliação de confiabilidade e/ou validade e análise estatística.

Os estudos também foram avaliados quanto ao risco de viés por dois revisores independentes e, quando houve discordância entre os mesmos, um terceiro revisor foi convocado. Foi adotada a ferramenta de avaliação crítica (*Critical Appraisal Tool* - CAT) (Anexo 1) específica para estudos de confiabilidade e validade, utilizada para avaliar a qualidade das propriedades de medidas de métodos clínicos objetivos (Brink; Louw, 2012). Este instrumento já foi previamente utilizado em várias revisões sistemáticas publicadas sobre medidas de instrumentos clínicos e objetivos da área da saúde (Bellet; Adams; Morris, 2012; Bialocerkowski; O'shea; Pin, 2013; Barrett; Mccreesh; Lewis, 2014; Rathinam et al., 2014; Clark et al., 2017; Cohen et al., 2017). O CAT foi desenvolvido a partir de duas outras já existentes, a Avaliação da Qualidade de Estudos de Precisão Diagnóstica (QUADAS) e a Avaliação da Qualidade de Estudos de Confiabilidade Diagnóstica (QAREL) (Brink; Louw, 2012). A ferramenta consiste de 13 itens, dos quais cinco itens referem-se a estudos de validade e confiabilidade, quatro itens apenas a estudos de validade e quatro itens a estudos de confiabilidade. Os itens podem ser marcados como 'sim', 'não' ou 'não aplicável'. Ao usar o CAT para avaliar apenas estudos de validade, todos os itens referentes a estudos de confiabilidade devem ser classificados como "não aplicável" e vice-versa. Em função dos estudos incluídos abordarem tanto a confiabilidade e/ou a validade dos instrumentos, essa lista de verificação proposta pelo CAT foi a mais adequada.

Os autores do CAT não propuseram um índice de qualidade ou pontuação. Dessa forma, para cada estudo incluído, foi realizado um cálculo, já utilizado em outras revisões sistemáticas (Bellet; Adams; Morris, 2012; Barrett; Mccreesh; Lewis, 2014; Rathinam et al., 2014; Clark et al., 2017; Cohen et al., 2017), por meio de uma divisão entre o número de respostas "sim" pelo número de itens aplicáveis e convertidos em uma porcentagem (Clark et al., 2017). Apenas os estudos com uma pontuação acima de 60 % foram incluídos por apresentarem os requisitos necessários para garantirem a alta qualidade dos resultados (Bellet; Adams; Morris, 2012; Barrett; Mccreesh; Lewis,

2014; Rathinam et al., 2014; Clark et al., 2017; Cohen et al., 2017).

Além disso, a confiabilidade intra e interavaliadores foi analisada por meio da estatística utilizada para determinação da confiabilidade. Para os estudos que utilizaram o coeficiente de correlação intraclasse (CCI), os valores foram interpretados conforme as diretrizes de Fleiss; Levin; Myunghee (2003):  $CCI < 0,4$  indicam baixa confiabilidade;  $0,4 \leq CCI < 0,75$  satisfatório a bom e  $CCI \geq 0,75$  excelente confiabilidade e também se foram apresentados o intervalo de confiança das medidas.

O tempo de reaplicação do teste também é um fator importante pois este intervalo deve ser longo o suficiente para evitar o efeito aprendizagem e curto o suficiente para garantir que mudanças clínicas não ocorram, sendo o ideal entre 4 a 14 dias de intervalo (Terwee et al., 2007). Além do fator tempo, o tamanho da amostra utilizado para testar a confiabilidade de um instrumento também pode influenciar os resultados (Terwee et al., 2007), assim a presença da descrição do cálculo do tamanho da amostra também foi considerada.

A validade refere-se à capacidade de um instrumento medir exatamente o que se propõe a medir (Roberts; Priest, 2006; Mokkink et al., 2010). A validade critério consiste na relação entre pontuações de um determinado instrumento e algum critério externo (Kimberlin; Winterstein, 2008) que deve consistir de uma medida amplamente aceita, com as mesmas características do instrumento de avaliação, podendo ser considerada 'padrão-ouro' (Roach, 2006; Keszei; Novak; Streiner, 2010). Assim foi avaliada a validade critério dos estudos incluídos a partir da correlação com um padrão de referência.

Devido à heterogeneidade dos métodos dos estudos incluídos, uma metanálise não pode ser conduzida, dessa forma foi realizada uma síntese descritiva dos resultados.

## **Resultados**

### **Seleção dos estudos**

Um total de 5933 estudos foram identificados por meio da busca nas bases de dados. Após exclusão pelo título ou resumo, 163 estudos foram selecionados. Destes, 137 foram excluídos com justificativa, totalizando 26 para síntese qualitativa (Figura 2).

## **Participantes**

Um total de 722 participantes foram incluídos dentro dos 26 estudos, com o tamanho da amostra entre 10 a 130 por estudo. Em relação a idade e sexo dos participantes, a maior parte (24) foram com homens e mulheres, com idade entre 20 a 30 anos (21). Em 2 estudos (Brushoj et al., 2007; Mentiplay et al., 2013) todos os participantes foram homens (Tabela 1).

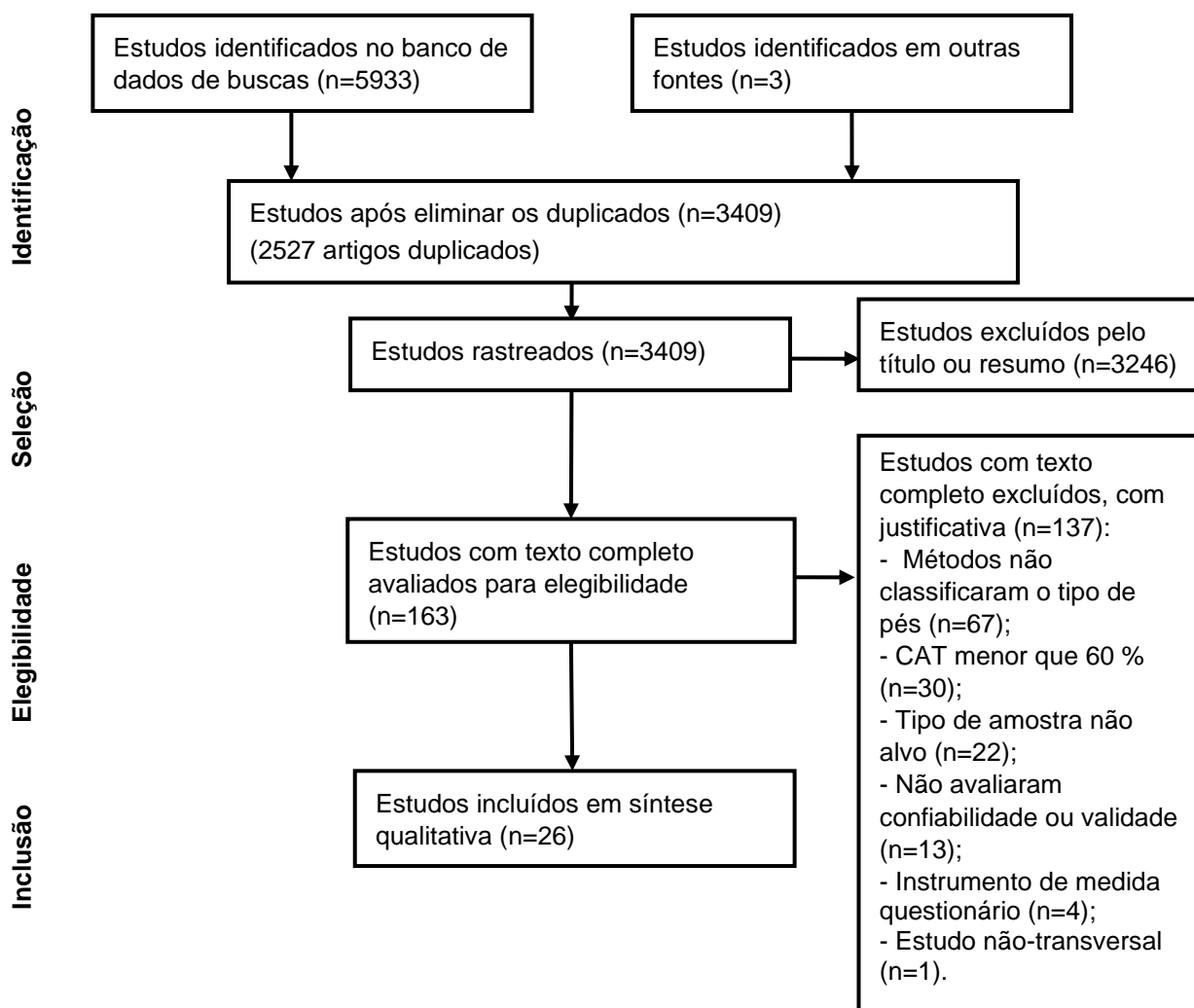


Figura 2 Fluxograma com resultados da estratégia de busca e estudos incluídos.

## Medidas do tipo de pé

### Dados gerais quanto ao tipo de medida

Os estudos são apresentados na ordem de pontuação do CAT e entre os 26 estudos incluídos, 21 realizaram medidas de avaliação estática (Tabela 1) e cinco dinâmica (Tabela 2). Em relação aos tipos de medidas, foram contabilizados 28 tipos no total. Entre métodos de coletas de dados, estes variaram entre as mais simples como a avaliação visual sem o uso de equipamentos (Cornwall et al., 2004), até as

mais complexas como cinemática tridimensional (Mccahill et al., 2019).

Considerando os estudos em relação ao tipo de análise, entre as medidas estáticas, dois estudos apresentaram avaliação de confiabilidade interavaliadores (Cornwall et al., 2004; Sabino et al., 2012), 13 avaliaram confiabilidade intra e interavaliadores (Somers et al., 1997; Weiner-Ogilvie; Rome, 1998; Haight et al., 2005; Brushoj et al., 2007; Cornwall et al., 2008; Terada; Wittwer; Gribble, 2014; Van Der Worp et al., 2014; Mcpoil et al., 2016; Fraser et al., 2017; De Cesar Netto et al., 2018; Zuil-Escobar et al., 2018; Motantasut et al., 2019; Zuil-Escobar et al., 2019), três, além da avaliação intra e inter, acrescentaram a validade (Williams; Mcclay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vincenzino; et al., 2008), um teste-reteste e validade (Gutierrez-Vilahu et al., 2015), um avaliação intra-avaliador e validade (Mentiplay et al., 2013) e um somente avaliação intra-avaliador (Pohl; Farr, 2010) (Tabela 1). Dois estudos de medidas dinâmicas avaliaram confiabilidade intra e entre dias (Blasimann et al., 2018; Eichelberger et al., 2018), um somente intra-avaliadores (Fascione; Crews; Wrobel, 2012), um que avaliou confiabilidade intra, interavaliadores e validade (Christensen et al., 2014), um somente validade (Mccahill et al., 2019) (Tabela 2).

Além disso, é importante notar que entre os estudos incluídos, oito (38,09 %) (Weiner-Ogilvie; Rome, 1998; Brushoj et al., 2007; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Sabino et al., 2012; Van Der Worp et al., 2014; Fraser et al., 2017; De Cesar Netto et al., 2018; Motantasut et al., 2019) de 21 estudos estáticos e, quatro (83,33 %) (Fascione; Crews; Wrobel, 2012; Christensen et al., 2014; Blasimann et al., 2018; Eichelberger et al., 2018) de cinco dinâmicos, não apresentaram os parâmetros das medidas utilizadas para classificação dos tipos de pés e apenas um estudo (Christensen et al., 2014) relatou a utilização das recomendações do *Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies* (GRRAS) (Kottner et al., 2011).

### **Estudos de Confiabilidade**

Entre as medidas estáticas dos estudos que abordaram confiabilidade, 12 tipos

diferentes de medidas antropométricas foram relatados, três tipos de medidas visuais e cinco de impressões plantares, num total de 20. Entre as medidas antropométricas, a maior parte dos estudos avaliou medidas relacionadas a região do mediopé (10), sendo a medida de Drop Navicular a mais realizada (quatro estudos) (Sabino et al., 2012; Van Der Worp et al., 2014; Zuil-Escobar et al., 2018; 2019), seguido da Altura do ALM a 50% do Comprimento Total do Pé (CTO) (quatro estudos) (Williams; Mcclay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Pohl; Farr, 2010) e Índice (Razão) de Altura do Arco (IAA) (três estudos) (Williams; Mcclay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Pohl; Farr, 2010). Entre as medidas visuais, destaca-se a IPP-6, que considera todos os perfis do pé (seis estudos) (Cornwall et al., 2008; Mentiplay et al., 2013; Terada; Wittwer; Gribble, 2014; Fraser et al., 2017; Motantasut et al., 2019; Zuil-Escobar et al., 2019) (Tabela 1). Os índices de Chippaux-Smirak (três estudos) (Gutierrez-Vilahu et al., 2015; Zuil-Escobar et al., 2018; 2019), de Staheli (três estudos) (Gutierrez-Vilahu et al., 2015; Zuil-Escobar et al., 2018; 2019), Ângulo de Clark (três estudos) (Gutierrez-Vilahu et al., 2015; Zuil-Escobar et al., 2018; 2019) foram as medidas de impressões plantares mais avaliadas. Entre as medidas dinâmicas, cinco tipos diferentes de medidas de foram abordadas, sendo o deslocamento do navicular durante a marcha o mais avaliado (três) (Christensen et al., 2014; Blasimann et al., 2018; Eichelberger et al., 2018) (Tabela 2).

Em relação aos métodos utilizados para a avaliação de confiabilidade dos estudos incluídos, houve uma grande heterogeneidade. A realização do cálculo para determinar o tamanho da amostra foi apresentada somente por quatro estudos estáticos (Fraser et al., 2017; Zuil-Escobar et al., 2018; Motantasut et al., 2019; Zuil-Escobar et al., 2019) e um dinâmico (Fascione; Crews; Wrobel, 2012). O design dos métodos para avaliação da confiabilidade foram os mais variados. Medidas estáticas: um a três momentos de avaliação, com intervalo entre avaliações de 10 min a cinco semanas, com uma a quatro medidas por avaliação utilizando de um a três avaliadores (Tabela 1). Medidas dinâmicas: dois momentos de avaliação, com intervalo entre avaliações de um dia a duas semanas, com uma a 10 medidas por avaliação utilizando de um a dois avaliadores (Tabela 2). O método estatístico mais utilizado foi o CCI

(Tabela 1), porém, na descrição dos resultados, 11 entre os estudos estático (Somers et al., 1997; Weiner-Ogilvie; Rome, 1998; Williams; McClay, 2000; Cornwall et al., 2004; Haight et al., 2005; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Pohl; Farr, 2010; Mentiplay et al., 2013; Mcpoil et al., 2016; Fraser et al., 2017) e um entre os dinâmicos (Fascione; Crews; Wrobel, 2012) não relataram o intervalo de confiança das medidas.

Para os resultados da avaliação do risco de viés pelo CAT, somente um estudo estático (Fraser et al., 2017) (Tabela 1) e um dinâmico (Eichelberger et al., 2018) (Tabela 2) alcançaram uma pontuação de 100 %, ou seja, apenas estes apresentaram todos os requisitos necessários para garantir a qualidade máxima deste tipo de estudo. Os principais itens que os estudos não pontuaram foram aos relacionados as explicações sobre as perdas amostrais (84 % dos estudos não relataram), ao intervalo adequado entre as medidas (40 % dos estudos não utilizaram), a variação na ordem das avaliações (36 % dos estudos não relataram) e ao grau de experiência dos avaliadores (20 % dos estudos não relataram) (Anexo 2).

Em relação aos resultados estatísticos pela classificação do CCI, a maior parte dos estudos apresentaram resultados excelentes de confiabilidade intra e interavaliadores. Apenas as medidas estáticas: alinhamento do antepé realizado pelo goniômetro (Somers et al., 1997), *Drop Navicular* utilizando régua (Van Der Worp et al., 2014) e alguns parâmetros do IPP-6 (Mentiplay et al., 2013) apresentaram CCI intra-avaliadores com baixa confiabilidade (Tabela 3). Para a confiabilidade interavaliadores, as mesmas medidas apresentaram CCI com baixa confiabilidade (Somers et al., 1997; Terada; Wittwer; Gribble, 2014; Van Der Worp et al., 2014) (Tabela 3), além da medida de *Drift Navicular* dinâmico (Eichelberger et al., 2018) (Tabela 3).

### **Estudos de Validade**

Entre sete estudos que avaliaram a validade das medidas, cinco foram realizados com medidas estáticas (Williams; McClay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Mentiplay et al., 2013; Gutierrez-

Vilahu et al., 2015) e dois com dinâmicas (Christensen et al., 2014; Mccahill et al., 2019). Em relação aos tipos de medidas, um estudo avaliou quatro tipos de impressões plantares (Gutierrez-Vilahu et al., 2015), um estudo avaliou o IPP-6 (Mentiplay et al., 2013), quatro avaliaram medidas relacionadas a região do mediopé (Williams; Mcclay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Christensen et al., 2014) e um a cinemática tridimensional da marcha (*Foot Profile Score*) (Mccahill et al., 2019) (Tabela 4).

Os estudos também apresentaram uma divergência entre as medidas “padrão-ouro” adotadas, contudo a radiografia foi em maior número (três) (Williams; Mcclay, 2000; Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008). Em relação aos métodos estatísticos, a maior parte utilizou o coeficiente de correlação (cinco estudos) (Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008; Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al., 2008; Mentiplay et al., 2013; Christensen et al., 2014; Mccahill et al., 2019). Os resultados apresentaram uma grande variação, com o menor valor de coeficiente de correlação (0,01) para o estudo de validade da medida do IPP-6 por meio do *Kinect* comparado com a mesma medida realizada de forma visual (Mentiplay et al., 2013) e o maior valor (0,99) para as medidas de impressões plantares processadas por *software* específico comparado com a mesma medida realizada de forma manual (Gutierrez-Vilahu et al., 2015). Além disso, estudo algum realizou cálculo para determinar o tamanho da amostra (Tabela 4).

Em relação aos resultados do CAT, apenas um estudo alcançou uma pontuação acima de 90 % (Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al., 2008) (Tabela 4). Os principais itens que os estudos não pontuaram foram aos relacionados às explicações sobre as perdas amostrais (100 % dos estudos não relataram) e a variação na ordem das avaliações (42,85 % dos estudos não relataram) (Anexo 2).

Tabela 1 Descrição dos estudos incluídos de métodos estáticos de avaliação.

Autores	Objetivo do estudo	Ferramenta de coleta	Medida do pé	País	n	Participantes (média idade ± DP)	Avaliação de confiabilidade e/ou validade	Descrição do Método	Análise de Confiabilidade Intra	Inter	CAT (%)
Fraser et al. (2017)	Determinar a confiabilidade teste-reteste e interavaliadores, do IPP-6.	Caliper e avaliação visual	IPP-6	Estados Unidos	24	12 H (23,3 ± 6,4), 13 M (19,8 ± 1,2)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 3 a 10 dias; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (2, k)	CCI (2, k)	100
Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al. (2008)	Determinar a confiabilidade e a validade da Altura do Dorso a 50% do CTO com imagens digitais.	Fotografia	Altura do Dorso a 50% do CTO	Estados Unidos	12	6 H, 6 M (23,9 ± 1)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores e Validade	2 avaliações; I: 1 semana; 1 medida; 3 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,1)	92,30
Motantasut et al. (2019)	Investigar a confiabilidade entre avaliadores iniciantes e experientes para classificar o tipo de pé.	Cartão, régua de aço, Avaliação Visual	Altura Navicular/CTR e IPP-6	Tailândia	30	9 H; 21 M (27,9 ± 4,8)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 8 dias; 1 medida; 2 avaliadores	CCI	CCI	88,88
Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al. (2008)	Determinar a confiabilidade e validade do IAA na posição bipodal em repouso.	Caliper	IAA, Altura do Dorso a 50% do CTO	Estados Unidos	12	H, M	Confiabilidade Intra e Interavaliadores e Validade	2 avaliações; I: 1 semana; 3 medidas; 3 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,1)	84,61
Somers et al. (1997)	Examinar a confiabilidade das medidas visuais e do goniômetro da posição do antepé entre avaliadores de diferentes experiências	Goniômetro e Avaliação Visual	Medida da posição do Antepé	Estados Unidos	10	5 H, 5 M (20 a 31 anos)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 5 semanas; 4 medidas; 4 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,2)	77

Tabela 1 Descrição dos estudos incluídos de métodos estáticos de avaliação (continuação).

Mcpoil et al. (2016)	Determinar a confiabilidade da medida do ângulo do ALM e se pode prever o ALM durante a marcha.	Goniômetro	AALM	Estados Unidos	35	19 H, 16 M (20 a 41 anos)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 10 min; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (3,1)	CCI (2,1)	77,77
De Cesar Netto et al. (2018)	Avaliar a confiabilidade intra e interavaliadores de medidas radiográficas e clínicas (foto digital) do alinhamento do retropé.	Fotografia	Ângulo Tíbia-Calcâneo em pé e Posição do Calcâneo em repouso durante o apoio.	Estados Unidos	29	17 H, 12 M (29 a 51 anos) com pé plano	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 1 mês; 1 medida; 2 avaliadores	Coefficiente de Correlação	CCI	77,77
Haight et al. (2005)	Examinar a confiabilidade do alinhamento do retropé com goniômetro e avaliação visual.	Goniômetro e avaliação visual	Ângulo de Alinhamento do Retropé	Estados Unidos	18	10 H, 8 M (24,8 ± 4,3)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	1 avaliação; 2 medidas; 2 avaliadores	CCI (1,1)	CCI (2,1)	77,77
Zuil-Escobar et al. (2018)	Avaliar a confiabilidade intra e interavaliadores do <i>Drop Navicular</i> e parâmetros de impressões plantares.	Plataforma de pressão plantar	<i>Drop Navicular</i> , Ângulo de <i>Clarke</i> , Índice de <i>Chippaux-Smirak</i> , Índice do Arco de <i>Staheli</i>	Espanha	20	9 H; 11 M (27,8 ± 4,8)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 3 dias; 3 medidas; 2 avaliadores	CCI (3, k)	CCI (3, k)	77,77
Zuil-Escobar et al. (2019)	Avaliar a confiabilidade intra e interavaliadores do <i>Drop Navicular</i> , parâmetros de impressões plantares e IPP-6.	Plataforma de pressão e Avaliação Visual	<i>Drop Navicular</i> , Ângulo de <i>Clarke</i> , Índice de <i>Chippaux-Smirak</i> , Índice do Arco de <i>Staheli</i> e IPP-6	Espanha	20	H, M (25,32 ± 4,96)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 2 dias; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,1)	77,77

Tabela 1 Descrição dos estudos incluídos de métodos estáticos de avaliação (continuação).

Gutierrez-Vilahu et al. (2015)	Avaliar a confiabilidade e validade de impressões plantares com o <i>Photoshop CS5</i> .	Podoscópio: <i>Photoshop CS5</i> e de forma manual.	Índice <i>Hernández-Corvo, Chippaux-Smirak, Staheli, Ângulo Clarke</i>	Espanha	21	11 H (20,45 ± 2,16), 10 M (20,00 ± 1,7)	Confiabilidade Teste-reteste e Validade	2 avaliações; I: 1 semana; 3 medidas; 1 avaliador	CCI	NA	76,92
Mentiplay et al. (2013)	Avaliar a confiabilidade intra-avaliadores e validade do <i>Microsoft Kinect™</i> .	<i>Microsoft Kinect™</i> , Avaliação Visual e Cinemática 3D	IPP-6	Austrália	30	30 H (22,2 ± 3,2)	Confiabilidade Intra-avaliadores e Validade	2 avaliações; I: 2 dias; 1 medida; 1 avaliador	CCI (3,1)	NA	76,92
Sabino et al. (2012)	Verificar a confiabilidade do <i>Drop Navicular</i> .	Caneta e paquímetro	<i>Drop Navicular</i>	Brasil	15	H, M (maiores de 18 anos)	Confiabilidade Interavaliador	1 avaliação; 1 medida; 2 avaliadores	NA	CCI (2,1)	75
Weiner-Ogilvie; Rome (1998)	Avaliar a confiabilidade intra e interavaliadores da Altura do <i>Navicular</i> e Índice de Valgo.	Harris Mat e Caliper	Altura do <i>Navicular</i> e Índice de Valgo	Inglaterra	20	7 H, 13 M (25,4 ± 6)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 24 horas; 3 medidas; 2 avaliadores	% da diferença entre as medidas/média das medidas	% da diferença entre as medidas/média das medidas	66,66
Cornwall et al. (2008)	Investigar a confiabilidade intra e interavaliadores IPP-6.	Avaliação Visual	IPP-6	Estados Unidos	46	22 H (27,1 ± 5,5), 24 M (25 ± 4)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 15 min; 1 medida; 3 avaliadores	CCI (2,2)	CCI (3,2)	66,66
Terada; Wittwer; Gribble (2014)	Estabelecer a confiabilidade intra e interavaliadores por imagem do IPP-6.	Fotografia Digital	IPP-6	Estados Unidos	40	17 H, 23 M (23,67 ± 8.49)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	3 avaliações; I: 2 a 4 dias; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (3,3)	CCI (3,2)	66,66
Van Der Worp et al. (2014)	Avaliar a confiabilidade intra e interavaliadores do <i>Drop Navicular</i> .	Régua	<i>Drop Navicular</i> (duplo e único apoio)	Holanda	42	22 H (39,1 ± 14,7), 22 M (37,2 ± 9,3)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 10 min; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,2)	66,66

Tabela 1 Descrição dos estudos incluídos de métodos estáticos de avaliação (continuação).

Pohl; Farr (2010)	Comparar a confiabilidade do caliper fotografia digital para medida do IAA.	Caliper e Fotografia Digital	IAA, Altura do Dorso a 50% do CTO	Canadá	20	6 H, 14 M (29,9 ± 5,8)	Confiabilidade Intra-avaliadores	2 avaliações; I: NI; 1 medida; 1 avaliador	CCI (3,1)	NA	62,5
Brushoj et al. (2007)	Descrever o teste de alinhamento do pé, investigar a confiabilidade e apresentar valores normativos. Determinar a confiabilidade interavaliadores da	Papel e caneta	Teste de alinhamento do pé	Dinamarca	13	130 H (21 ± 1,2)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores	2 avaliações; I: 1 dia; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (3,1)	CCI (3,1)	62,5
Cornwall et al. (2004)	avaliação visual do antepé entre avaliadores de diferentes experiências.	Avaliação Visual	Alinhamento Antepé	USA	30	16 H, 14 M (28,1 ± 7,9)	Confiabilidade Interavaliadores	1 avaliação, 1 medida; 3 avaliadores	NA	Coefficiente Kappa	62,5
Williams; Mcclay (2000)	Avaliar a confiabilidade de medidas do ALM para quantificar arcos altos ou baixos.	Caliper	Altura Navicular, Altura Navicular/CTO, Altura Navicular/CTR, Altura do Dorso a 50% do CTO, Altura do Dorso a 50% CTO/CTO e IAA	Estados Unidos	10	3 H, 7 M (23,9 ± 4,2)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores e Validade	1 avaliação; 3 medidas; 2 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2, k)	61,53

DP: Desvio padrão; IPP-6: Índice de Postura do pé; CTO: Comprimento Total do pé; CTR: Comprimento Truncado do pé; ALM: Arco Longitudinal Medial do pé; AALM: Ângulo Arco Longitudinal Medial do pé; IAA: Índice (ou razão) da Altura do Arco do pé; 3D: Tridimensional; CCI: Coeficiente de Correlação Intraclasse; S: Sim; N: Não; H: Homens; M: Mulheres; I: Intervalo entre avaliações e NA: Não se aplica.

Tabela 2 Descrição dos estudos incluídos de métodos dinâmicos de avaliação.

Autores	Objetivo do estudo	Ferramenta de coleta	Medida do pé	País	n	Participantes (média de idade ± DP)	Avaliação de confiabilidade e/ou validade	Descrição do Método	Análise de Confiabilidade Intra	Inter	CAT (%)
Eichelberger et al. (2018)	Avaliar a confiabilidade do <i>Drop e Drift Navicular Dinâmico</i> .	Cinemática 3D	<i>Drop e Drift Navicular</i> durante a marcha	Suíça	21	9 H (32,8 ± 10,3); 12 M (27,9 ± 5)	Confiabilidade intra e entre dias	2 avaliações; I: 2 semanas; 10 medidas	Intra e entre dias: CCI (2,1)	NA	100
Mccahill et al. (2019)	Validar o <i>Foot Profile Score (FPS)</i> .	Cinemática 3D	FPS	NI	30	30 crianças e 30 adultos	Validade	NA	NA	NA	77,77
Blasimann et al. (2018)	Avaliar a correlação entre a <i>Drop navicular dinâmico</i> e a <i>Ascensão Navicular Dinâmica</i>	Cinemática 3D	<i>Drop navicular e Ascensão Navicular Dinâmica</i> durante a marcha	Suíça	20	9 H; 11 M (30.2 ± 8,1)	Confiabilidade intra e entre dias	2 avaliações; I: 2 semanas; 3 medidas	Intra e entre dias: CCI (2,1)	NA	71,42
Christensen et al. (2014)	Avaliar a confiabilidade e validade do <i>Stretch-sensor</i> para medir o <i>Drop Navicular</i>	<i>Stretch-sensor</i> e régua	<i>Drop navicular</i> durante a marcha	Dinamarca	27	Confiabilidade: 15 H, 12 M (22 a 39 anos) Validade: 12 H, 15 M (18 a 28 anos)	Confiabilidade Intra e Interavaliadores e Validade	2 avaliações; I: 1 dia; 1 medida; 2 avaliadores	CCI (2,1)	CCI (2,1)	69,23
Fascione; Crews; Wrobel (2012)	Avaliar as diferenças de técnicas plantares dinâmicas (durante a marcha)	<i>Harris Mat</i>	Índice de Impressão Plantar, Índice do Arco, Índice do Arco Truncado, Índice <i>Staheli</i> e Índice de <i>Chippaux-Smirak</i>	Estados Unidos	10	H, M (25,17 ± 2,21)	Confiabilidade Intra-avaliadores	2 avaliações; I: NI; 1 medida; 1 avaliador	CCI	NA	62,5

DP: Desvio Padrão; AALM: Ângulo Arco Longitudinal Medial do pé; IAA: Índice (ou razão) da Altura do Arco do pé; FPS: *Foot Profile Score*; 3D: Tridimensional; CCI: Coeficiente de Correlação Intraclasse; S: Sim; N: Não; H: Homens; M: Mulheres; I: Intervalo entre avaliações; NI: Não informado e NA: Não se aplica.

Tabela 3 Resultados e classificação dos Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCI) dos estudos de confiabilidade de medidas estáticas e dinâmicas.

Grupos de Medidas	Tipo de Medida	Autores	Resultados Estatística		Classificação Confiabilidade (Fleiss; Levin; Myunghee, 2003)		
			Intra	Inter	Intra	Inter	
<b>ESTÁTICAS</b>							
Antropométricas	Antepé	Alinhamento do Antepé	Somers et al. (1997)	Goniômetro: 0,08 a 0,78; Visual: 0,51 a 0,76	Goniômetro: 0,38 a 0,42; Visual: 0,72 a 0,81	Goniômetro: Baixa a Satisfatório; Visual: Satisfatório	Goniômetro: Baixa; Visual: Satisfatório a Excelente
	Retropé	Posição do calcâneo em repouso (apoio)	De Cesar Netto et al. (2018)	0,91	0,74	Excelente	Satisfatório
		Ângulo Retropé	De Cesar Netto et al. (2018)	0,93	0,86	Excelente	Excelente
	Mediopé	AALM	Haight et al. (2005)	Visual: 0,88 a 0,94; Goniômetro: 0,80 a 0,93	Visual: 0,56 a 0,65; Goniômetro: 0,5 a 0,75;	Visual: Excelente; Goniômetro: Excelente	Visual: Satisfatório; Goniômetro: Satisfatório
			Mcpoil et al. (2016)	0,98 e 0,96	0,91	Excelente	Excelente
			Williams; Mcclay (2000)	0,94 a 0,98	0,84 a 0,85	Excelente	Excelente
			Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al. (2008)	0,73 a 0,99	0,73 a 0,98	Satisfatório a Excelente	Satisfatório a Excelente
			Williams; Mcclay (2000)	0,94 a 0,97	0,76 a 0,79	Excelente	Excelente
	Pohl; Farr (2010)	Caliper: 0,94; Fotografia Digital: 0,93 a 0,95	NA	Excelente	NA		
Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al. (2008)	0,98	0,98	Excelente	Excelente			

Tabela 3 Resultados e classificação dos Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCI) dos estudos de confiabilidade de medidas estáticas e dinâmicas (continuação).

		Teste de alinhamento	Brushoj et al. (2007)	0,94 a 0,95	0,83 a 0,86	Excelente	Excelente
		Altura Navicular	Weiner-Ogilvie; Rome (1998)	12,7% e 5,33 %	22,67% e 17,34 %	NA	NA
			Williams; Mcclay (2000)	0,97 a 0,98	0,6 a 0,92	Excelente	Satisfatório a Excelente
		Altura Navicular/CTO	Williams; Mcclay (2000)	0,96 a 0,98	0,56 a 0,92	Excelente	Satisfatório a Excelente
		Altura Navicular/CTR	Motantasut et al. (2019)	0,98	0,98	Excelente	Excelente
			Williams; Mcclay (2000)	0,96 a 0,97	0,56 a 0,90	Excelente	Satisfatório a Excelente
		IAA	Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al. (2008)	0,98	0,98	Excelente	Excelente
			Pohl; Farr (2010)	Caliper: 0,87 a 0,92; Fotografia Digital: 0,88 a 0,94	NA	Excelente	NA
			Williams; Mcclay (2000)	0,93 a 0,97	0,81 a 0,84	Excelente	Excelente
		Drop Navicular	Zuil-Escobar et al. (2019)	0,95	0,914 a 0,919	Excelente	Excelente
			Zuil-Escobar et al. (2018)	0,92 a 0,94	0,91 a 0,93	Excelente	Excelente
			Sabino et al. (2012)	NA	0,93	NA	Excelente
			Van Der Worp et al. (2014)	Duplo apoio:0,43; Único apoio: 0,37	Duplo apoio: 0,45; Único apoio:0,41	Baixa	Baixa
		Alinhamento Antepé	Somers et al. (1997)	0,51 a 0,76	0,72 a 0,81	Satisfatória	Satisfatório a Excelente
			Cornwall et al. (2004)	NA	15 % a 61,7% de concordância	NA	NA
Visuais	Retropé	Alinhamento Retropé	Haight et al. (2005)	0,88 a 0,94	0,55 a 0,65	Excelente	Satisfatória

Tabela 3 Resultados e classificação dos Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCI) dos estudos de confiabilidade de medidas estáticas e dinâmicas (continuação).

Impressões Plantares	Antepé/Mediopé/Retropé	IPP-6	Fraser et al. (2017)	0,81 a 0,86	0,81 a 0,86	Excelente	Excelente
			Zuil-Escobar et al. (2019)	0,87	0,82	Excelente	Excelente
			Mentiplay et al. (2013)	Visual: 0,17 a 0,63; Kinect 0,21 a 0,78; Vicon 0,13 a 0,79	NA	Visual: Baixo a Satisfatório; Kinect: Baixo a Satisfatório; Vicon: Baixo a Satisfatório	NA
			Terada; Wittwer; Gribble (2014)	0,89 a 0,95	0,33 a 0,63	Excelente	Baixo a Satisfatório
			Cornwall et al. (2008)	0,92 a 0,93	0,52 a 0,65	Excelente	Satisfatório
			Motantasut et al. (2019)	0,98	0,98	Excelente	Excelente
			Weiner-Ogilvie; Rome (1998)	46,39 e 25,47 %	40,16 e 42,23 %	NA	NA
		Índice de Valgo	Gutierrez-Vilahu et al. (2015)	Teste-reteste: 0,98	NA	Excelente	NA
		Índice <i>Hernández-Corvo</i>	Zuil-Escobar et al. (2019)	0,95	0,89 a 0,92	Excelente	Excelente
		Índice de <i>Chippaux-Smirak</i>	Zuil-Escobar et al. (2018)	0,95 a 0,97	0,92 a 0,93	Excelente	Excelente
			Gutierrez-Vilahu et al. (2015)	Teste-reteste: 0,99	NA	Excelente	NA
		Índice do Arco de <i>Staheli</i>	Zuil-Escobar et al. (2019)	0,97	0,95	Excelente	Excelente
			Zuil-Escobar et al. (2018)	0,96	0,91	Excelente	Excelente
			(Gutierrez-Vilahu et al., 2015)	Teste-reteste: 0,99	NA	Excelente	NA

Tabela 3 Resultados e classificação dos Coeficientes de Correlação Intraclasse (CCI) dos estudos de confiabilidade de medidas estáticas e dinâmicas (continuação).

	Ângulo de <i>Clark</i> ou Ângulo do Arco	Zuil-Escobar et al. (2019)	0,97	0,95	Excelente	Excelente
		Zuil-Escobar et al. (2018)	0,93 a 0,94	0,88 a 0,89	Excelente	Excelente
		Gutierrez-Vilahu et al. (2015)	Teste-reteste: 0,98	NA	Excelente	NA
<b>DINÂMICAS</b>						
	Índice de <i>Chippaux-Smirak</i> (marcha)	Fascione; Crews; Wrobel (2012)	0,99	NA	Excelente	NA
	Índice do Arco de <i>Staheli</i> (marcha)	Fascione; Crews; Wrobel (2012)	0,99	NA	Excelente	NA
Impressões plantares	Índice do Arco Truncado (marcha)	Fascione; Crews; Wrobel (2012)	0,99	NA	Excelente	NA
	Índice de Impressão Plantar (marcha)	Fascione; Crews; Wrobel (2012)	0,97	NA	Excelente	NA
	Índice Arco (marcha)	Fascione; Crews; Wrobel (2012)	0,99	NA	Excelente	NA
Deslocamento Navicular	Ascensão Navicular Dinâmica (marcha)	Blasimann et al. (2018)	Marcha: Intra: 0,98; Entre dias: 0,91 Descendo degrau: Intra: 0,97; Entre dias: 0,94	NA	Excelente	NA
	<i>Drop e Drift</i> Navicular (marcha)	Eichelberger et al. (2018)	Intra: <i>Drop</i> : 0,97 <i>Drift</i> : 0,96; Entre dias: <i>Drop</i> : 0,83 <i>Drift</i> : 0,46	NA	Excelente	<i>Drop</i> : Excelente <i>Drift</i> : Baixa
	<i>Drop</i> Navicular (marcha)	Christensen et al. (2014)	0,77 a 0,78	0,76 a 0,84	Excelente	Excelente

IPP-6: Índice de Postura do pé; CTO: Comprimento Total do pé; CTR: Comprimento Truncado do pé; AALM: Ângulo Arco Longitudinal Medial do pé; IAA: Índice (ou razão) da Altura do Arco do pé; NA: não se aplica.

Tabela 4 Descrição e resultados dos estudos de validade de medidas estáticas e dinâmicas.

Autores	Tipo de Medida	Instrumento de medida	Tipo de coleta	Medida padrão-ouro	Estatística	Resultado Estatística	CAT (%)
Mcpoil; Cornwall; Medoff; et al. (2008)	Altura do Dorso a 50% CTO	Foto Digital	Estática	Radiografia	Coeficiente de Correlação	0,89 a 0,92	92,3
Mcpoil; Cornwall; Vicenzino; et al. (2008)	Altura do Dorso a 50% do CTO e CTR	Caliper	Estática	Radiografia	Coeficiente de Correlação	Altura do Dorso a 50% CTO (0,929); CTR (0,985)	84,61
Mccahill et al. (2019)	FPS	Cinemática 3D	Dinâmica	<i>Clinical Foot Deformity Scale</i>	Coeficiente de Correlação	0,62	77,77
Christensen et al. (2014)	<i>Drop Navicular</i>	<i>Stretch- sensor</i>	Dinâmica	Régua	Coeficiente de Correlação	0,74	69,23
Williams; Mcclay (2000)	Altura Navicular, Altura do Dorso a 50% CTO, Altura Navicular/CTO, Altura Navicular/CTR, Altura do Dorso a 50% CTO/CTO e IAA.	Caliper	Estática	Radiografia	CCI 2,k	Altura Navicular (0,87 e 0,91); Altura do Dorso a 50% CTO: 0,81 e 0,93, Altura Navicular/CTO: 0,91 e 0,92; Altura Navicular/CTR: 0,89 e 0,94, Altura do Dorso a 50% CTO/CTO: 0,70 e 0,74 e IAA: 0,84 e 0,85	64,28
(Gutierrez-Vilahu et al., 2015)	Índice <i>Hernández-Corvo</i> , Índice de <i>Chippaux-Smirak</i> , Índice do Arco de <i>Staheli</i> , Ângulo de <i>Clark</i>	Podoscópio e <i>Photoshop CS5</i> .	Estática	Processamento manual dos dados	CCI	0,99 para todas medidas	61,53
Mentiplay et al. (2013)	IPP-6	<i>Microsoft Kinect™</i>	Estática	Análise 3D e Avaliação Visual	Coeficiente de Correlação	<i>Kinect X 3D</i> : 0,3 a 0,85; <i>Kinect X Visual</i> : 0,01 a 0,36; 3D X Visual: 0,01 a 0,44	61,53

IPP-6: Índice de Postura do pé; CTO: Comprimento Total do pé; CTR: Comprimento Truncado do pé; IAA: Índice (ou razão) da Altura do Arco do pé; FPS: *Foot Profile Score*; 3D: Tridimensional.

## Discussão

O objetivo desta revisão sistemática foi identificar, sintetizar e avaliar os estudos de análise de confiabilidade e validade de métodos não radiográficos (clínicos e objetivos) para classificar os tipos de pés de forma estática e dinâmica. Os resultados demonstraram 28 tipos de medidas do tipo de pé, sendo 8 destas, propostas dinâmicas. Podemos verificar que a literatura já havia apontado sobre a existência de uma diversidade de métodos para classificação.

Não houve um consenso para determinar qual método de avaliação é o ideal, corroborando com os achados de Banwell et al. (2018) que procuraram identificar uma medida válida e confiável para classificar os pés de crianças. Isto pode estar associado a fatores como a própria variabilidade das medidas, a heterogeneidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade e devido aos estudos não apresentarem os parâmetros utilizados para classificação. A diversidade de medidas existentes realmente é um fator comprometedor para estes tipos de estudos, uma vez que favorece resultados conflitantes para a comparação entre diferentes avaliações (Teyhen et al., 2009). Isto é apontado como um ponto limitador, tanto por estudos de revisões sistemáticas que investigaram a relação do tipo de pé com outros fatores (Banwell et al., 2018; Buldt et al., 2018; Hollander et al., 2019), como em estudos transversais, por exemplo, como o proposto por Holowka; Wallace; Lieberman (2018) com o objetivo de verificar a relação entre o uso e tipo de calçado com o tipo de pé. Isto dificulta a coleta de dados e conclusões (Hollander et al., 2019), como o também encontrado na presente revisão.

Outro fator que compromete a escolha da medida ideal para avaliar os tipos de pés é a própria maneira como os estudos de confiabilidade e validade destas medidas são conduzidos. Conforme os resultados obtidos no presente estudo, a variabilidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade destas medidas também foi grande, o que, conseqüentemente dificulta a sintetização dos dados para encontrar elementos suficientes para determinar qual medida é confiável e válida, também identificado na revisão proposta por Banwell et al. (2018). Os estudos geralmente não apresentam o devido relato da confiabilidade das medidas utilizadas e quando estabelecem,

utilizam avaliadores com grau de experiência diferentes ou não descrevem este tipo de informação, comprometendo os resultados para a definição da técnica mais apropriada (Barton et al., 2010), como o também observado nesta revisão. Além disso, o relato das perdas amostrais e a variação na ordem das avaliações foram os itens menos pontuados na avaliação do risco de viés, também apontado pela revisão de Cohen et al. (2017). Estes fatores influenciam o desempenho de validade e confiabilidade do teste em prova e aumenta o risco de erro sistemático, respectivamente (Brink; Louw, 2012).

Podemos verificar que este tipo de problema poderia ser minimizado com a utilização das recomendações do *Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies* (GRRAS) (Kottner et al., 2011). Apenas um estudo informou ter seguido esta recomendação. As diretrizes fornecidas pelo GRRAS foram criadas numa tentativa de melhorar os relatos dos estudos de confiabilidade e concordância, uma vez que na área da saúde, critérios amplamente aceitos, padrões ou diretrizes para relatar estes tipos de estudos eram escassos (Kottner et al., 2011). Informações importantes sobre o desenho do estudo e análise estatística são frequentemente incompletas (Terwee et al., 2007), como ainda é observado na presente revisão que verificou que entre os estudos de confiabilidade, 84 % não relataram explicações sobre as perdas amostrais, 40 % dos estudos não utilizaram intervalo adequado entre as medidas, 36 % não relataram se houve variação na ordem das avaliações e 20 % não relataram o grau de experiência dos avaliadores. A falta destas informações pode comprometer a interpretação e a síntese dos resultados.

O primeiro requisito essencial para qualquer medida clínica é que seja confiável (Cornwall; Mcpoil, 1999), pois, medidas sem confiabilidade adequada, têm pouco ou nenhum valor clínico (Barton et al., 2010). Na presente revisão, a maior parte das medidas testadas apresentaram valores de CCI suficientes para garantir a confiabilidade das mesmas, porém devido aos fatores mencionados anteriormente, os resultados devem ser interpretados com cautela. Além disso, as medidas além de serem confiáveis, precisam ser úteis e aplicáveis na pesquisa e na prática clínica, ou seja, além de medirem de forma correta, precisam fornecer um parâmetro para distinguir o que pode ser considerado como “normal”. No presente estudo, foi verificado que vários estudos não apresentaram os parâmetros das medidas utilizadas para

classificação dos tipos de pés, principalmente entre os testes dinâmicos que vem sendo pesquisados nos últimos anos. Esta abordagem surgiu em função da dificuldade de medidas estáticas em predizerem o comportamento dinâmico do pé (Neal et al., 2014). Contudo, a necessidade da determinação de valores normativos para a interpretação de medidas de classificação dos tipos de pé, seja de forma estática ou dinâmica, é crucial para a pesquisa e prática clínica (Langley; Cramp; Morrison, 2016).

Outro fator que merece discussão é a medida “padrão-ouro” utilizada nos estudos de validade. Estas se divergiram entre radiografia, índices de impressões plantares realizadas de forma manual, avaliação visual e cinemática tridimensional, régua e criação de uma escala clínica para comparação dos dados. Mesmo a radiografia sendo considerada “padrão-ouro” da avaliação da morfologia do ALM, atualmente não há uma medida de referência para avaliar as características do ALM, principalmente em ambientes científicos, onde a exposição à radiação nem sempre é justificada (Hollander et al., 2019) e não reproduz a condição dinâmica. Isto pode explicar a não padronização das medidas utilizadas na presente revisão e atrelado a este problema, está o fato de alguns estudos utilizarem cálculos estatísticos de forma pouco adequada para a avaliação da validade (Williams; Mcclay, 2000; Gutierrez-Vilahu et al., 2015).

Assim, levando-se em consideração os apontamentos citados anteriormente, parece sensato considerar que uma medida isolada de um teste não seja utilizada para a tomada de decisão clínica neste contexto (Sabino et al., 2012). Para minimizar a influência do erro típico da medida, podem-se associar os resultados de diferentes testes realizados para a tomada de decisão (Sabino et al., 2012). Além disso, parece ser prudente que medidas relacionadas a região do mediopé sejam elencadas pelo papel fundamental do ALM na mecânica dos pés (Caravaggi et al., 2019). Dessa forma, tendo em vista os resultados do CCI e CAT e a presença de valores normativos das medidas dos estudos incluídos, as medidas estáticas envolvendo a região do mediopé, tais como IAA (medida antropométrica), IPP-6 (medida visual semi-quantitativa) e o Índice do Arco de *Staheli* (medida de impressão plantar), podem ser sugeridas para classificar o tipo de pé, cada uma com suas limitações, até que os estudos envolvendo medidas dinâmicas possam ser definidas e

apresentem valores normativos.

O IAA foi desenvolvido por Williams e McClay (2000). Trata-se de uma medida resultante do cálculo de divisão da altura do dorso a 50 % do comprimento total do pé pelo comprimento truncado (distância do calcâneo à cabeça do primeiro metatarso). A classificação dos tipos de pé é dada a partir de valores de corte equivalentes a 1,5 desvio padrão abaixo (0,297=plano) ou acima (0,387=cavo) da média do IAA de um estudo realizado para o estabelecimento de valores normativos nos Estados Unidos (Butler et al., 2008), ou seja, valores entre 0,30 a 0,37 são considerados neutro (normal).

O Índice do Arco de *Staheli* é uma medida de impressão plantar obtido dividindo-se a distância mínima do mediopé pela região mais larga da região do retropé (Staheli; Chew; Corbett, 1987). Esta medida também foi sugerida, com limitações, na revisão sistemática proposta por Banwell et al. (2018) como válida e confiável para identificar o tipo de pé de crianças. Pode ser coletada por meio de técnicas simples e baratas como papel e tinta ou plantígrafos, ou por sistemas digitais como as plataformas de pressão (baropodômetro) (Zuil-Escobar et al., 2018). O intervalo de referência é de 0,6 a 0,699, ou seja, valores mais altos determinam um pé plano e valores mais baixos o pé cavo.

O IPP-6 é uma medida amplamente utilizada em ambiente clínico, composta por seis medidas relacionadas a palpação manual e avaliação visual estática em todos os perfis do pé (Redmond; Crosbie; Ouvrier, 2006), sendo também sugerida por Banwell et al. (2018) como opção para identificar o tipo de pé de forma válida e confiável. Uma escala *Likert* de cinco pontos utilizada para pontuar cada um desses itens, de -2 a +2, sendo zero o valor central ou uma posição neutra e valores negativos e positivos indicando uma posição mais supinada ou pronada, respectivamente. Um escore IPP total acima de +10 indica uma postura do pé altamente pronada, +6 a +9 pronação do pé, 0 a +5 normal ou neutra, -1 a -4 supinação do pé e de -5 a -12 indica uma postura de pé altamente supinada (Redmond; Crosbie; Ouvrier, 2006). Pelo seu aspecto qualitativo de avaliação (Tong; Kong, 2013) e estar mais associada à postura de pronação/supinação e não estritamente à forma do ALM (Caravaggi et al., 2019), a mesma pode ser utilizada complementando outros tipos de medidas quantitativas do pé.

Podemos observar também que além do problema relacionado ao

consenso sobre a avaliação do tipo de pé, a terminologia utilizada também precisa ser definida para que conclusões claras sobre o impacto das características do ALM na pesquisa biomecânica possam surgir (Hollander et al., 2019). Dessa forma, sugere-se que termos como pé supinado e pronado não sejam utilizados para determinar medidas relacionadas ao ALM, uma vez que a postura de pronação/supinação do pé não está estritamente relacionada à forma do ALM (Caravaggi et al., 2019) e também não são *entry terms* utilizados no MeSH. Por outro lado, pés planos e cavos apresentam a altura do ALM alterada, assim, termos como arco alto e baixo podem ser considerados sinônimos respectivamente.

Em relação às limitações deste estudo está a não inclusão de medidas de imagem como radiografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética, contudo, este tipos de medidas também deveriam ser avaliadas, uma vez que discordâncias entre um padrão referência ainda existem. Já em relação aos estudos incluídos, mesmo os estudos sem definição de dados normativos para classificação dos pés foram incluídos, o que dificulta a tomada de decisão pois, mesmo uma medida apresentando confiabilidade e validade, não necessariamente apresenta todos os requisitos para determinar o diagnóstico e classificar os tipos de pés.

### **Sugestões para futuras pesquisas**

Estudos futuros ainda são necessários para uma investigação mais aprofundada das medidas para classificação dos tipos de pés válidas, confiáveis, clinicamente relevantes e capazes de diagnosticar os tipos de pés. Além disso, fatores como a influência da idade, sexo, massa corporal, envolvendo principalmente uma avaliação dinâmica dos pés devem ser considerados, assim como valores de corte específicos e normativos devem ser definidos mais detalhadamente.

### **Sugestões para a prática clínica**

Ao considerar os resultados desta revisão sistemática, tendo em vista os resultados do CCI e CAT e a presença de valores normativos das medidas

dos estudos incluídos, sugere-se que as medidas IAA, IPP-6 e o Índice do Arco de *Staheli*, possam ser utilizadas em conjunto para classificar o tipo de pé na prática clínica. Estas medidas são de fácil aplicação e de baixo custo viabilizando a sua utilização, até que os estudos envolvendo medidas dinâmicas possam ser definidas e apresentem valores normativos válidos e confiáveis.

## Conclusão

As inconsistências em relação à variabilidade das medidas, heterogeneidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade, a falta de parâmetros e de medida padrão-ouro para classificação dos tipos de pés dificultou a determinação de qual método de avaliação é válido e confiável. Assim, uma medida isolada de um teste não pode ser recomendada para a tomada de decisão clínica, sendo a associação de algumas delas uma opção. Tendo em vista os resultados do CCI e CAT e a presença de valores normativos, as medidas estáticas do IAA, IPP-6 e o Índice do Arco de *Staheli* podem ser sugeridas para classificar o tipo de pé, cada uma com suas limitações, até que as pesquisas envolvendo medidas dinâmicas possam ser aprimoradas e apresentem valores normativos.

## Referências

BANWELL, H. A.; MACKINTOSH, S.; THEWLIS, D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 23, p. 1-18, 2014.

BANWELL, H. A. et al. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 11, n. 21, p. 1-13, 2018.

BARRETT, E.; MCCREESH, K.; LEWIS, J. Reliability and validity of non-radiographic methods of thoracic kyphosis measurement: a systematic review. **Manual Therapy**. v. 19, n. 1, p. 10-17, 2014.

BARTON, C. J. et al. Foot and ankle characteristics in patellofemoral pain syndrome: a case control and reliability study. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 40, n. 5, p. 286-296, 2010.

BARTON, C. J. et al. Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 4, n. 10, p. 1-7, 2011.

BELLET, R. N.; ADAMS, L.; MORRIS, N. R. The 6-minute walk test in outpatient cardiac rehabilitation: validity, reliability and responsiveness--a systematic review. **Physiotherapy**. v. 98, n. 4, p. 277-286, 2012.

BIALOCERKOWSKI, A.; O'SHEA, K.; PIN, T. W. Psychometric properties of outcome measures for children and adolescents with brachial plexus birth palsy: a systematic review. **Developmental Medicine & Child Neurology**. v. 55, n. 12, p. 1075-1088, 2013.

BLASIMANN, A. et al. Intra- and interday reliability of the dynamic navicular rise, a new measure for dynamic foot function: A descriptive, cross-sectional laboratory study. **Foot (Edinburgh, Scotland)** v. 37, p. 48-53, 2018.

BRINK, Y.; LOUW, Q. A. Clinical instruments: reliability and validity critical appraisal. **Journal of Evaluation in Clinical Practice**. v. 18, n. 6, p. 1126-1132, 2012.

BRUSHOJ, C. et al. Reliability and normative values of the foot line test: a technique to assess foot posture. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy** v. 37, n. 11, p. 703-707, 2007.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 62, p. 56-67, 2018.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 38, n. 3, p. 363-372, 2013.

BUTLER, R. J. et al. Arch height index measurement system: establishment of reliability and normative values. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 98, n. 2, p. 102-106, 2008.

CANO, S. J.; HOBART, J. C. The problem with health measurement. **Patient Preference and Adherence**. v. 5, p. 279-290, 2011.

CARAVAGGI, P. et al. Reliability of medial longitudinal arch measures for skin markers based kinematic analysis. **Journal of Biomechanics**. v. 88, p. 180-185, 2019.

CHRISTENSEN, B. H. et al. Reliability and concurrent validity of a novel method allowing for in-shoe measurement of navicular drop. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 7, n. 12, p. 1-7, 2014.

CLARK, R. et al. Clinimetric properties of lower limb neurological impairment tests for children and young people with a neurological condition: A systematic review. **PLoS One**. v. 12, n. 7, p. e0180031, 2017.

COHEN, L. et al. Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: a systematic review. **Scoliosis and Spinal Disorders**. v. 12, n. 30, p. 1-12, 2017.

COOK, D. A.; BECKMAN, T. J. Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. **American Journal of Medicine**. v. 119, n. 2, p. 166e167-166e116, 2006.

CORNWALL, M. W.; MCPOIL, T. G. Effect of ankle dorsiflexion range of motion on rearfoot motion during walking. **Journal of the American Podiatric Medical Association** v. 89, n. 6, p. 272-277, 1999.

CORNWALL, M. W. et al. Reliability of visual measurement of forefoot alignment. **Foot & Ankle International** v. 25, n. 10, p. 745-748, 2004.

CORNWALL, M. W. et al. Reliability of the modified Foot Posture Index. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 98, n. 1, p. 7-13, 2008.

DE CESAR NETTO, C. et al. Correlation of clinical evaluation and radiographic hindfoot alignment in stage ii adult-acquired flatfoot deformity. **Foot & Ankle International**. v. 39, n. 7, p. 771-779, 2018.

DOWLING, G. J. et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 53, p. 1-13, 2014.

EICHELBERGER, P. et al. A minimal markerset for three-dimensional foot function assessment: measuring navicular drop and drift under dynamic conditions. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 11, n. 15, p. 1-10, 2018.

EVANS, A. M. et al. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 93, n. 3, p. 203-213, 2003.

FASCIONE, J. M.; CREWS, R. T.; WROBEL, J. S. Dynamic footprint measurement collection technique and intrarater reliability: ink mat, paper pedography, and electronic pedography. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 102, n. 2, p. 130-138, 2012.

FLEISS, J. L.; LEVIN, B.; MYUNGHEE, C. P. **Statistical Methods for Rates and Proportions**. 3rd. New Jersey: Wiley, 2003.

FRASER, J. J. et al. Reliability of ankle-foot morphology, mobility, strength, and motor performance measures. **International Journal of Sports Physical Therapy**. v. 12, n. 7, p. 1134-1149, 2017.

GUTIERREZ-VILAHU, L. et al. Reliability and validity of the footprint assessment method using photoshop CS5 software. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 105, n. 3, p. 226-232, 2015.

HAIGHT, H. J. et al. Measuring standing hindfoot alignment: reliability of goniometric and visual measurements. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation** v. 86, n. 3, p. 571-575, 2005.

HILLSTROM, H. J. et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. **Gait & Posture**. v. 37, n. 3, p. 445-451, 2013.

HOLLANDER, K. et al. The relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics: A systematic review and meta-analysis. **Gait & Posture**. v. 72, p. 109-122, 2019.

HOLLOWKA, N. B.; WALLACE, I. J.; LIEBERMAN, D. E. Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally vs. conventionally-shod populations. **Scientific Reports**. v. 8, n. 3679, p. 1-12, 2018.

JETTE, D. U. et al. Evidence-based practice: beliefs, attitudes, knowledge, and behaviors of physical therapists. **Physical Therapy**. v. 83, n. 9, p. 786-805, 2003.

KANE, K. Foot orthoses for pediatric flexible flatfoot: evidence and current practices among Canadian physical therapists. **Pediatric Physical Therapy**. v. 27, n. 1, p. 53-59, 2015.

KESZEI, A. P.; NOVAK, M.; STREINER, D. L. Introduction to health measurement scales. **Journal of Psychosomatic Research**. v. 68, n. 4, p. 319-323, 2010.

KIMBERLIN, C. L.; WINTERSTEIN, A. G. Validity and reliability of measurement instruments used in research. **American Journal of Health-System Pharmacy**. v. 65, n. 23, p. 2276-2284, 2008.

KOTTNER, J. et al. Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 64, n. 1, p. 96-106, 2011.

LANGLEY, B.; CRAMP, M.; MORRISON, S. C. Clinical measures of static foot posture do not agree. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 9, n. 45, p. 1-6, 2016.

MCCAHILL, J. et al. Validation of the foot profile score. **Gait & Posture**. v. 71, p. 120-125, 2019.

MCPOIL, T. G. et al. Arch height change during sit-to-stand: an alternative for the navicular drop test. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 1, n. 3, p. 1-13, 2008.

MCPOIL, T. G. et al. Effect of using truncated versus total foot length to calculate the arch height ratio. **Foot (Edinburgh, Scotland)**. v. 18, n. 4, p. 220-227, 2008.

MCPOIL, T. G. et al. The use of a static measure to predict foot posture at midstance during walking. **Foot (Edinburgh, Scotland)** v. 28, p. 47-53, 2016.

MENTIPLAY, B. F. et al. Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 6, n. 14, p. 1-10, 2013.

MENZ, H. B.; MORRIS, M. E. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. **Gait & Posture**. v. 24, n. 2, p. 229-236, 2006.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PloS Medicine**. v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

MOKKINK, L. B. et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 63, n. 7, p. 737-745, 2010.

MOTANTASUT, P. et al. Reliability of novice and experienced physiotherapists using the normalized navicular height truncated and the foot posture index-6 for classifying static foot posture in adults. **Journal of Physical Therapy Science**. v. 31, n. 4, p. 392-397, 2019.

MURLEY, G. S. et al. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. **Gait & Posture**. v. 29, n. 2, p. 172-187, 2009.

NEAL, B. S. et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 55, p. 1-13, 2014.

PITTMAN, J.; BAKAS, T. Measurement and instrument design. **Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing**. v. 37, n. 6, p. 603-607, 2010.

PLANT, M. J. et al. Prediction of radiographic damage in hands and feet in rheumatoid arthritis by clinical evaluation. **Clinical Rheumatology**. v. 13, n. 3, p. 487-491, 1994.

POHL, M. B.; FARR, L. A comparison of foot arch measurement reliability using both digital photography and calliper methods. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 3, n. 14, p. 1-6, 2010.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. **Foundations of Clinical Research: Applications to Practice**. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2015.

RATHINAM, C. et al. Observational gait assessment tools in paediatrics--a systematic review. **Gait & Posture**. v. 40, n. 2, p. 279-285, 2014.

RAZEGHI, M.; BATT, M. E. Foot type classification: a critical review of current methods. **Gait & Posture**. v. 15, n. 3, p. 282-291, 2002.

REDMOND, A. C.; CROSBIE, J.; OUVRIER, R. A. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. **Clinical Biomechanics**. v. 21, n. 1, p. 89-98, 2006.

RHODES, D. W. et al. Comparison of leg length inequality measurement methods as estimators of the femur head height difference on standing X-ray. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics** v. 18, n. 7, p. 448-452, 1995.

ROACH, K. E. Measurement of health Outcomes : Reliability, validity and responsiveness. **Journal of Prosthetics and Orthotics**. v. 18, n. 6, p. 8-12, 2006.

ROBERTS, P.; PRIEST, H. Reliability and validity in research. **Nursing Standard** v. 20, n. 44, p. 41-45, 2006.

SABINO, G. S. et al. Análise da confiabilidade do teste clínico de queda do navicular. **Fisioterapia em Movimento**. v. 25, p. 301-309, 2012.

SCHARFBILLIG, R. et al. Criterion validation of four criteria of the foot posture index. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 94, n. 1, p. 31-38, 2004.

SCHOLZ, T. et al. Reliability and Correlation of Static and Dynamic Foot Arch Measurement in a Healthy Pediatric Population. **Journal of the American Podiatric Medical Association** v. 107, n. 5, p. 419-427, 2017.

SOMERS, D. L. et al. The influence of experience on the reliability of goniometric and visual measurement of forefoot position. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy** v. 25, n. 3, p. 192-202, 1997.

STAHELI, L. T.; CHEW, D. E.; CORBETT, M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. **The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume**. v. 69, n. 3, p. 426-428, 1987.

TERADA, M.; WITTEWER, A. M.; GRIBBLE, P. A. Intra-rater and inter-rater reliability of the five image-based criteria of the foot posture index-6.

**International Journal of Sports Physical Therapy.** v. 9, n. 2, p. 187-194, 2014.

TERWEE, C. B. et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. **Journal of Clinical Epidemiology.** v. 60, n. 1, p. 34-42, 2007.

TEYHEN, D. S. et al. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. **Clinical Biomechanics.** v. 24, n. 4, p. 391-396, 2009.

TONG, J. W.; KONG, P. W. Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.** v. 43, n. 10, p. 700-714, 2013.

UDEN, H.; SCHARFBILLIG, R.; CAUSBY, R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research.** v. 10, n. 37, p. 1-17, 2017.

VAN DER WORP, M. P. et al. Reproducibility of and sex differences in common orthopaedic ankle and foot tests in runners. **BMC Musculoskeletal Disorders.** v. 15, n. 171, p. 1-13, 2014.

WEINER-OGILVIE, S.; ROME, K. The reliability of three techniques for measuring foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association.** v. 88, n. 8, p. 381-386, 1998.

WILLIAMS, D. S.; MCCLAY, I. S. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: Reliability and Validity. **Physical Therapy.** v. 80, n. 9, p. 864-871, 2000.

WONG, C. K.; WEIL, R.; DE BOER, E. Standardizing foot-type classification using arch index values. **Physiotherapy Canada.** v. 64, n. 3, p. 280-283, 2012.

ZUIL-ESCOBAR, J. C. et al. Medial longitudinal arch: accuracy, reliability, and correlation between navicular drop test and footprint parameters. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.** v. 41, n. 8, p. 672-679, 2018.

\_\_\_\_\_. Evaluating the medial longitudinal arch of the foot: correlations, reliability, and accuracy in people with a low arch. **Physical Therapy.** v. 99, n. 3, p. 364-372, 2019.

# Artigo Original 2

Artigo enviado para a revista *Journal of Biomechanics*

## CONFIABILIDADE TESTE-RETESTE DAS MEDIDAS DE DIMENSÃO FRACTAL MULTIESCALA DE MAPAS DE PRESSÃO PLANTAR EM TAREFAS DINÂMICAS.

### RESUMO

As ferramentas para avaliação dos tipos de pés são divergentes pois adotam análises lineares clássicas baseadas em medidas antropométricas ou de imagens nas quais a variabilidade da forma dos pés não é contemplada dinamicamente. O uso de técnicas mais recentes, como a Dimensão Fractal Multiescala (DFM), pode ser uma chave para esse tipo de problema. Porém, para que estas medidas possam ser utilizadas de forma segura e consistente é fundamental que seja avaliada sua confiabilidade. O objetivo deste estudo foi avaliar a confiabilidade teste-reteste das medidas de DFM de mapas de pressões plantares de indivíduos adultos durante a marcha, o erro padrão de medida (EPM) e a mínima mudança detectável ( $MMD_{90}$ ). Setenta e dois indivíduos foram submetidos ao teste-reteste com intervalo de uma semana. Os mapas de pressões plantares dinâmicos foram coletados por uma plataforma de pressão. Os dados foram processados em uma rotina para extração das medidas da curva DFM (valor máximo e integral). Os resultados do Coeficiente de Correlação Intraclasse ( $CCI_{3,k}$ ) foram excelentes para ambas medidas (valor máximo 0,96 Intervalo de confiança 95 % [0,93-0,97] e integral 0,95 [0,92-0,97]) com baixo EPM e valores de  $MMD_{90}$  abaixo de 10% da média. A aplicação da DFM nos dados de pressões plantares geradas pela plataforma de pressão são confiáveis e pode permitir a exploração da complexidade das formas dos pés e possibilitar sua classificação.

Descritores: Fractais; pé; avaliação, marcha; confiabilidade.

### ABSTRACT

The tools used to evaluate foot types are divergent since they adopt classic linear analyzes, based on anthropometric or image measurements, which do not dynamically contemplate the variability of foot shape. The use of newer techniques such as Multiscale Fractal Dimension (MFD) may be a key to this type of problem. However, for these measures to be used safely and consistently, it is essential to evaluate their reliability. The aim of this study was to evaluate the test-retest reliability of MFD measurements of adult plantar pressure maps during gait, as well as the standard error of measurement (SEM), and minimal detectable change ( $MDC_{90}$ ). Seventy-two subjects were included in the test-retest, with a one week interval. The plantar pressure maps were constructed using a pressure platform. The data were processed in a routine for extracting the MFD curve measurements (maximum and integral values). The Intraclass Correlation Coefficient results (ICC 3,k) were excellent

for both measurements (maximum value 0.96, 95% confidence interval [0.93-0.97], and integral 0.95 [0.92-0.97]) with low SEM and MDC90 values below 10 % of the mean. The application of MFD to the plantar pressure data generated by the pressure platform is reliable and could allow exploration of the complexity of foot shapes, enabling their classification.

Keywords: Fractals; Foot; Evaluation, Gait; Reliability.

## **Introdução**

O tipo de pé é um conceito clínico que visa simplificar as complexidades anatômicas deste segmento (Hillstrom et al., 2013). O interesse em se utilizar uma classificação está associado ao fato de que a morfologia do pé considerado não neutro, como o cavo ou plano, possa levar a uma função prejudicada e ao desenvolvimento de lesões nas extremidades inferiores e na coluna lombar (Cobb et al., 2014; Gabel et al., 2012; Mei-Dan et al., 2005; Tong and Kong, 2013).

Nesse cenário, a identificação dos tipos de pés é importante para identificar alterações morfológicas associadas a possíveis fatores etiológicos que podem levar a lesões e orientar a prescrição do tratamento (Razeghi; Batt, 2002). Uma abordagem comum para a classificação do tipo de pé baseia-se no uso de métodos de avaliação estática (Razeghi; Batt, 2002), no entanto, essas medidas são restritas na previsão da função dinâmica do pé (Neal et al., 2014). Embora a avaliação dessa articulação ser bem reconhecida na prática clínica e na literatura ortopédica, não existe uma classificação totalmente aceita e medidas padronizadas para determinar os tipos de pés (Evans et al., 2003). Isto pode ser confirmado por meio de várias revisões sistemáticas que buscaram verificar o relacionamento do tipo de pé com algum outro fator e apontam principalmente as divergências entre os métodos (Banwell et al., 2014; Buldt et al., 2018; Buldt et al., 2013; Dowling et al., 2014; Murley et al., 2009; Neal et al., 2014; Tong; Kong, 2013; Uden et al., 2017).

A baropodometria é um recurso que fornece esses dados durante testes biomecânicos, dando informações sobre a mecânica da interação pé-solo (Choi et al., 2014; Giacomozzi et al., 2014; Pataky et al., 2011). A pressão plantar pode ser considerada uma espécie de característica biométrica, viável e

eficaz para identificar o comportamento dinâmico do arco plantar, uma vez que o movimento e a postura humana são bem refletidos na distribuição da pressão nos pés (Si et al., 2018). Além disso, como a geometria de contato do pé de um mesmo sujeito é similar, as imagens podem ser registradas e comparadas (Pataky et al., 2011), e, em relação aos exames de radiografias, a análise de pressões plantares é um método não radioativo e mais viável para avaliação clínica do arco longitudinal medial (ALM) do pé (Lin et al., 2004) pois fornecem dados de pressões plantares que refletem a altura do ALM (Swedler et al., 2010), de forma confiável (Hafer et al., 2013; Bryant et al., 1999; McPoil et al., 1999).

De Cock et al. (2006) propuseram uma classificação do tipo de pé por meio da análise das áreas de pressões plantares. Foi estabelecida uma classificação funcional do tipo de pé identificados a partir de quatro padrões de carga de pressão relacionados às regiões do antepé, mediopé e retropé, contudo, suas análises não levaram em consideração a deformação do ALM e uma relação de alterações com um pé normal.

Podemos observar que análises do tipos de pés por meio de técnicas tradicionais ainda não puderam definí-lo de forma precisa, mesmo utilizando recursos como baropodometria. Dessa forma, o uso de novas técnicas que utilizam métodos não convencionais, como a derivada da teoria do caos - Dimensão Fractal - pode ser uma alternativa para esse tipo de análise. A Dimensão Fractal tem sido amplamente utilizado para caracterizar objetos reais e abstratos em termos de complexidade. Enquanto a dimensão topológica é definida por um valor inteiro, que descreve o número de dimensões em que um objeto é inserido, a dimensão fractal usa valores fracionários para descrever um objeto em termos de ocupação espacial e auto-similaridade (Plotze et al., 2005; Carlin, 2000). O método *Bouligand-Minkowski* (Plotze et al., 2005; Bruno et al., 2008) emergiu como um dos métodos mais precisos e muito sensíveis às mudanças estruturais do objeto para calcular a dimensão fractal com base no estudo da influência da área de um objeto calculada a partir de sua dilatação (Backes e Bruno, 2009).

A fim de fornecer uma melhor descrição dos objetos em termos de complexidade, foi proposta a Dimensão Fractal Multi Escala (DFM) (Plotze et al., 2005; Emerson et al., 1999). As variações de forma expressas em relação a

uma determinada escala, denominada representação de forma em várias escalas, fornecem ainda mais informações sobre os objetos. Nesse contexto, os descritores de forma podem ser usados para codificar essas representações em "boas assinaturas" (Torres et al., 2004). O método utiliza diversas escalas espaciais para a análise da forma de objetos bidimensionais, baseando-se na suavização progressiva da curvatura de um objeto ao longo do seu contorno (dilatações) (Torres et al., 2004). O resultado final fornece uma visão do objeto original ao longo das escalas espaciais cada vez maiores e com menos detalhes (Costa et al., 2002). Entre suas aplicações, o destaque está na utilização para a análise de dados biológicos (Phothisonothai; Nakagawa, 2007), como por exemplo, para caracterização da complexidade de formas de neurônios para fins de diagnóstico (Costa et al., 2002), para o estudo da dinâmica do batimento cardíaco (Nunes Amaral et al., 2001), estudos envolvendo o movimento humano como a análise da marcha (Dierick et al., 2017; Ducharme et al., 2018; Hausdorff, 2007) e para avaliar a dinâmica do controle postural humano (Błaszczuk; Klonowski, 2001; Doherty et al., 2014; Foisy et al., 2015; Martínez-Martí et al., 2019; Stambolieva, 2011).

Neste estudo o foco é avaliar se o DFM pode ser usado como uma alternativa às medidas clinicamente existentes para avaliação dos tipos de pés, de forma consistente e confiável. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a confiabilidade teste-reteste das medidas de DFM oriundas de mapas de pressões plantares de indivíduos adultos durante a marcha, além de quantificar a precisão das medidas e estimativas. A hipótese foi de que as medidas da DFM das imagens dinâmicas dos pés se apresentariam confiáveis e poderiam ser uma alternativa para classificar os tipos de pés.

## **Método**

### **Delineamento e Local do Estudo**

Estudo do tipo transversal, com componentes descritivos e analíticos, seguindo a recomendação proposta pela *Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies* (GRRAS) (Kottner et al., 2011), realizado no

Laboratório de Biomecânica e Epidemiologia Clínica do Hospital Universitário de Londrina-PR, em conjunto com o Laboratório de Biomecânica Aplicada-CEFE, UEL.

### **Cálculo da Amostra**

Foi utilizada a ANOVA de um fator de efeitos fixos (uma vez que o teste do Coeficiente de Correlação Intraclasse (CCI) é baseado nesse procedimento), com tamanho de efeito estimado de 0,4, probabilidade de erro de  $\alpha$  de 0,05 e de  $1 - \beta$  de 0,8 por meio do programa G\*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007). Um total de 66 indivíduos foi o necessário para o estudo e ainda, foram acrescentados 15 % para compensar possíveis perdas.

### **Recrutamento e Seleção da Amostra**

Os voluntários foram recrutados por meio de contato pessoal, telefônico e da mídia local. Foram incluídos indivíduos adultos (entre 18 e 65 anos), de ambos os sexos e assintomáticos. Os critérios de exclusão foram: indivíduos com hálux valgo; história de cirurgia na região do pé; de lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores e coluna ou cirurgia nos últimos 6 meses; presença de distúrbios cardiorrespiratórios, neurológicos, reumatológicos ou metabólicos que pudessem interferir na marcha e indivíduos com Índice de Massa Corporal (IMC) acima de 30 kg/m<sup>2</sup> (Obesidade Grau I).

Após a verificação da elegibilidade dos participantes foi agendada a avaliação. Os participantes foram informados dos procedimentos do estudo e sobre o direito à interrupção de sua participação a qualquer momento e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo 3), anteriormente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina - PR sob o CAAE 90238618.8.0000.5231 (Anexo 3), seguindo a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Pesquisa.

## Instrumentos e Procedimentos

Os participantes foram submetidos a uma avaliação inicial para coleta de dados pessoais e exame físico. A seguir foram coletadas medidas da massa corporal (kg), altura (m) e IMC ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) e para a caracterização dos pés: comprimento total do pé, comprimento truncado (parte mais posterior do calcâneo ao centro da primeira articulação metatarsfalangeana) e a altura do dorso a 50 % do comprimento total do pé (Williams; McClay, 2000) na posição em pé com a massa corporal distribuída igualmente entre as duas pernas por meio uma régua com nívelômetro adaptado conforme proposto por Mulligan e Cook (2013) (Figura 3). Após, os participantes foram submetidos à coleta das pressões plantares dinamicamente (marcha) utilizando uma plataforma de pressão.



Figura 3 Medidas de caracterização do pé. CT: comprimento total do pé (linha contínua preta); CTP: comprimento truncado do pé (linha tracejada); AD: altura do dorso a 50 % do comprimento total (linha vermelha).

Para a coleta dinâmica das pressões plantares para geração das imagens dos pés para o cálculo da DFM, foi utilizado uma plataforma de pressão (BaroScan®, HS Technology, Brasil) (plataforma de sensores de 65 x 54 x 3 cm; superfície ativa de 50 x 50 cm e espessura de 10 mm; superfície do sensor de 7,8125 x 7,8125 mm; com 4096 sensores; frequência de aquisição de 200 Hz e com tecnologia resistiva com conversão analógica de 12 bits, com capacidade de captar pressões entre 0,05 (mínima) até 10  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  (máxima)).

Após instrução verbal e demonstração, o participante foi orientado a andar descalço sobre a plataforma em uma cadência auto-selecionada. Foram exibidos avisos visuais na altura dos olhos para padronizar o olhar de cada pessoa para longe da plataforma durante a marcha (Figura 4). Seguindo estudos prévios (Akins et al., 2012; Hafer et al., 2013; Teyhen et al., 2009), foi utilizado o método de dois passos durante a coleta dinâmica (Meyers-Rice et al., 1994), ou seja, o segundo passo após o início da marcha foi registrado a partir do contato do calcanhar até o final do contato dos artelhos. O pé para iniciar a marcha foi sorteado. Foram realizadas 10 coletas, sendo 5 registros para cada pé. O procedimento foi repetido se a passada não fosse registrada totalmente ou se o avaliador considerasse que a marcha do sujeito apresentasse assimetria. Estudos com confiabilidade testada indicam que o método dos dois passos para coleta de dados de pressões plantares fornecem valores bastante semelhantes aos obtidos pelo método *midgait* (Bryant et al., 1999; McPoil et al., 1999). No entanto, requer um número de coletas entre três a cinco tentativas para uma menor variabilidade entre os dados e assim possa ser calculada a média destas. Isto produz dados de pressões confiáveis sem submeter o paciente a cargas excessivas e repetitivas sobre a superfície plantar dos pés (Bryant et al., 1999; McPoil et al., 1999).

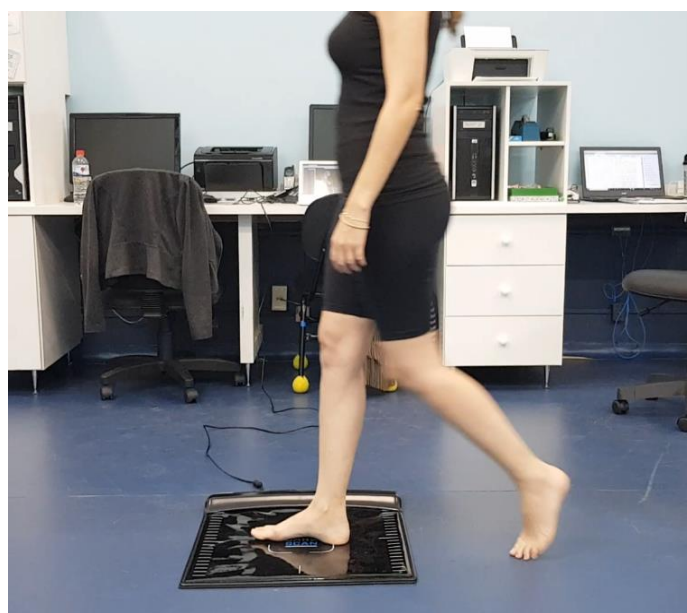


Figura 4 Marcha sobre a plataforma de pressão (BaroScan®).

## Processamento dos dados

Os dados foram processados em uma rotina específica criada no programa *Matlab*® para o cálculo das variáveis relacionadas a DFM. Um mapa de superfície (Figura 5) foi criado das pressões acumuladas dos sensores ativados ao longo do ciclo de cada passo (toda fase de apoio do pé), no qual as cores quentes (avermelhadas) indicam locais de maior pressão e cores frias (azuladas) as menores pressões. A partir destas informações, foi possível traçar um contorno do formato do pé com um limiar de  $0,05 \text{ kgf/cm}^2$ , valor referente à mínima pressão que a plataforma de pressão pode capturar para gerar a figura do formato do pé (Figura 6). Esse mapa de contorno foi salvo no formato .png para possibilitar a análise DFM.

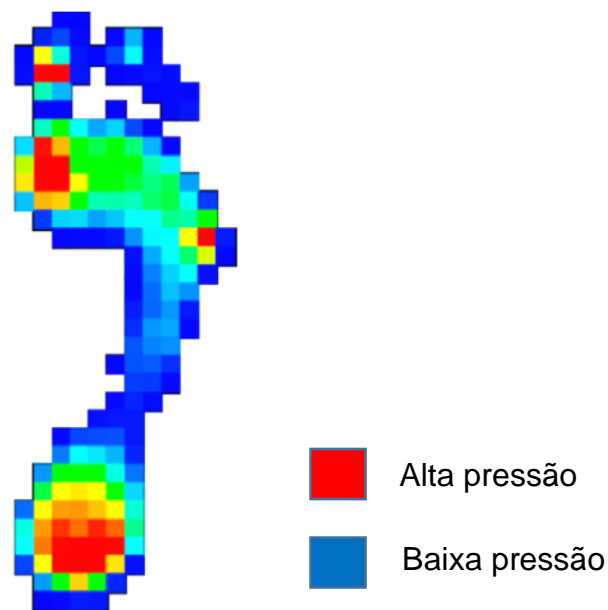


Figura 5 Mapa de superfície das pressões acumuladas dos sensores ativados ao longo de todo o ciclo de um passo.

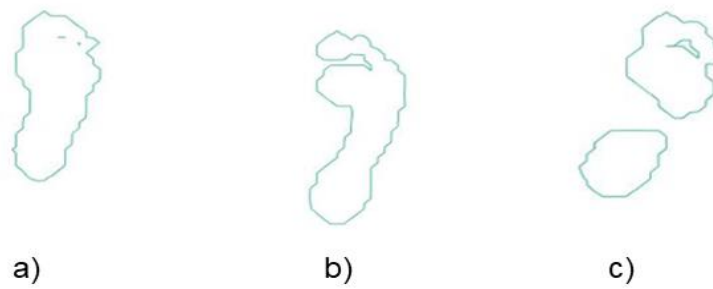


Figura 6 Contorno do formato do pé a partir das mínimas pressões geradas pela plataforma de pressão. a) Contorno de um pé plano; b) Contorno de um pé normal; c) Contorno de um pé cavo.

Este mapa de contorno foi centrado em uma nova imagem de resolução de  $1024 \times 1024$  pixels. A partir desta, foi determinado o custo deste contorno por meio da transformada de distância euclidiana. Cada instância da forma multiescala é obtida por meio de um limiar do mapa de custo a um dado valor de distância euclidiana elevada ao quadrado. Dessa forma, quanto maiores os valores dos limiares, mais simplificados os formatos se tornam, apresentando menores detalhes que são removidos progressivamente conforme os limiares aumentam (Figura 7) (Torres et al., 2004).

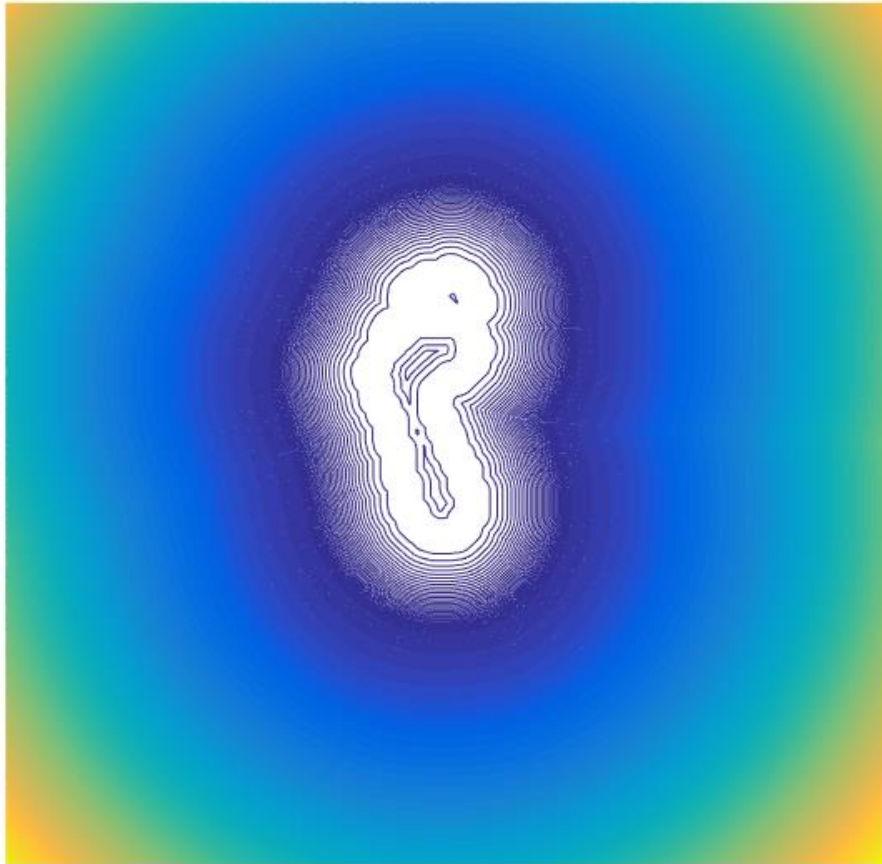


Figura 7 Contorno do pé e contornos multiescalas (dilatações) obtidos por meio da transformada de distância euclidiana.

A próxima etapa consistiu no cálculo de um histograma para identificar a frequência para cada valor de custo em função dos raios de dilatação. Foram utilizados 200 raios de dilatação e os que não possuíam custo associados foram removidos. Em seguida, criou-se um conjunto de pontos correspondentes ao logaritmo das áreas do contorno do pé em função do logaritmo dos raios de dilatação e deste conjunto de pontos, uma curva polinomial de 9ª ordem foi ajustada para realizar o cálculo da curva fractal multiescala pela dimensão fractal *Minkowski–Bouligand* ( $F_r$ ) definida conforme a equação 1 (Torres et al., 2004):

$$F_r = 2 - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(A(r))}{\log(r)}$$

A: área de dilatação; r: raio de dilatação.

A definição da curva polinomial de 9ª ordem foi realizada após triagem de ajustes com polinômios de 3ª até 20ª ordem, sendo que o de 9ª ordem foi o

que manteve as características da curva fractal.

Dessa forma, para cada passo foi gerada uma curva DFM (Figura 8) e então extraídas as seguintes informações: valor máximo e integral. Para a análise estatística de confiabilidade teste-reteste foi utilizado uma média das cinco curvas do passo do pé esquerdo (PE).

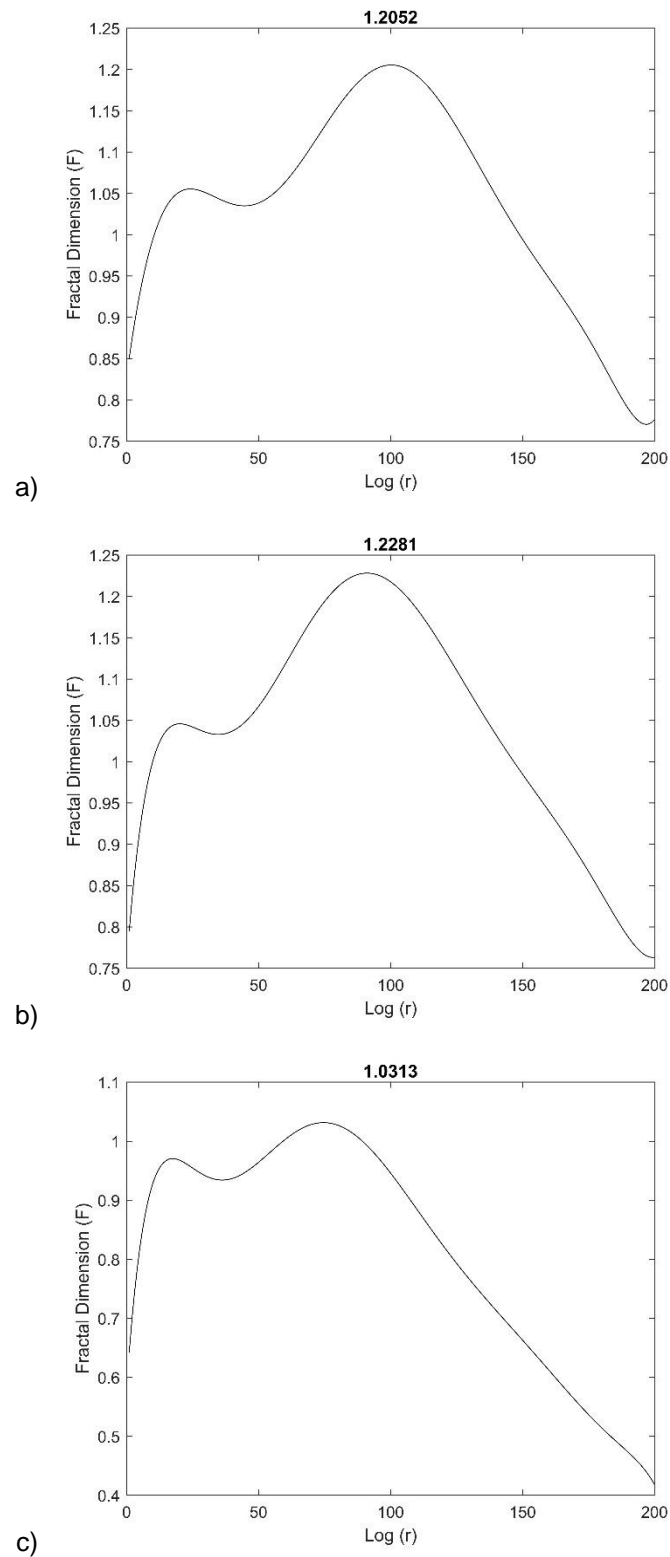


Figura 8 Curva DFM gerada a partir do logaritmo das áreas em função do logaritmo dos raios de dilatação do contorno do pé. a) Curva DFM de um pé plano; b) Curva DFM de um pé normal; c) Curva DFM de um pé cavo.

## Determinação da Confiabilidade Teste-reteste

A avaliação da marcha sobre a plataforma de pressão foi realizada pelo mesmo avaliador treinado. Para o reteste, os participantes foram convidados a retornar para uma nova coleta da marcha nas mesmas condições em torno de 7 dias após a primeira coleta (Figura 10). Este intervalo de reaplicação demonstra-se longo o suficiente para evitar o efeito aprendizagem e curto o suficiente para garantir que mudanças clínicas não ocorram (Terwee et al., 2007). Para análise dos dados foi considerado a média entre as cinco coletas do PE comparadas entre os dias.

## Análise Estatística

Os dados foram apresentados em média ( $\bar{x}$ ), desvio padrão (DP), mediana e os quartis (25-75 %) e intervalo de confiança de 95 % (IC 95 %). A confiabilidade teste-reteste foi avaliada pelo cálculo do CCI ( $CCI_{3,k}$  para a média de coletas [k = número de coletas para obter a média dos valores]), *2-way mixed model*, com IC 95 %, baseado na ANOVA de um fator (Weir, 2005). Os resultados dos valores de CCI foram interpretados conforme as diretrizes de Fleiss et al. (2003):  $CCI < 0,4$  indicam baixa confiabilidade;  $0,4 \leq CCI < 0,75$  satisfatório a bom e  $CCI \geq 0,75$  excelente confiabilidade. O modelo 3,k foi escolhido porque esta equação aborda o erro aleatório e está mais intimamente ligada ao cálculo do Erro Padrão da Medida (EPM). O EPM foi calculado para medir a quantidade de erros que pode ser atribuída a amostra e foi utilizada a equação 2 ( $EPM = DP \times \sqrt{1 - CCI}$ ), no qual o DP é oriundo da média dos quadrados dos resíduos (Weir, 2005). A mínima mudança detectável com 90 % IC ( $MMD_{90}$ ) é definida como a quantidade mínima de alteração que excede o erro da medida e é calculada por meio da equação 3  $MMD_{90} = [z \text{ score (para IC 90 \%)}] \times EPM \times \sqrt{2}$ ; no qual o z score associado a um IC de 90% é de 1,64 (King, 2011). A mudança que ultrapassasse o erro de medida para os resultados dos testes foi esperada ser inferior a 10% das médias dos testes. As análises foram realizadas pelo programa IBM SPSS 25.0 (SPSS, Inc, Armonk, NY, USA) e MedCalc (19.2.1).

## Resultados

Setenta e dois indivíduos foram incluídos nos resultados. A média ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão (DP) [IC 95 %]; mediana (25-75 %) [IC 95 %] da amostra total foram: idade 25,51 (7,63) [23,72; 27,31]; 22 (20-29) [21; 25] anos, massa corporal 69,74 (16,08) [65,96; 73,52]; 68 (58-76,50) [64; 72] kg, altura 1,70 (0,10) [1,67; 1,72]; 1,69 (1,62-1,76) [1,68; 1,73] m e IMC 23,77 (3,55) [22,94; 24,61]; 23,06 (20,96-26,70) [22,39; 24,88] kg/cm<sup>2</sup>. As características da amostra em relação ao sexo estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 Características da amostra em relação ao sexo.

	Feminino		Masculino	
	$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]	Md (25-75 %) [IC 95 %]	$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]	Md (25-75 %) [IC 95 %]
Idade (anos)	25,06 (7,46) [22,92; 27,20]	22 (20-28,50) [21; 25,82]	26,48 (8,08) [22,98; 29,97]	22 (20,25-31,75) [21; 30,65]
Massa Corporal (kg)	62,84 (11,62) [59,50; 66,17]	62 (54,75-70,50) [58; 65]	84,43 (14,42) [78,20; 90,67]	80 (72-97) [72,34; 92,60]
Altura (m)	1,65 (0,07) [1,63; 1,67]	1,68 (1,60-1,70) [1,63; 1,68]	1,80 (0,08) [1,76; 1,84]	1,79 (1,75-1,87) [1,75; 1,83]
IMC (kg/cm <sup>2</sup> )	22,79 (3,36) [21,82; 23,76]	22,38 (20,45-24,99) [21,82; 23,76]	25,86 (3,06) [25,54; 27,18]	27,05 (23,01-27,94) [23,23; 27,75]
Comprimento Total PE (cm)	24,31 (1,43) [23,89; 24,72]	24,20 (23,37-25,10) [23,80; 24,48]	26,97 (1,74) [26,21; 27,72]	26,70 (26,05-27,50) [26,30; 27,32]
Comprimento Truncado PE (cm)	17,80 (1,12) [17,47; 18,12]	17,60 (17-18,52) [17,30; 18,20]	19,83 (1,37) [19,23; 20,42]	19,50 (19-20,37) [19; 20]
AD 50 % CTO PE (cm)	6,25 (0,58) [6,08; 6,42]	6,4 (6-6,65) [6,10; 6,50]	6,90 (0,56) [6,66; 7,15]	7 (6,55-7,10) [6,70; 7,10]
n (%)	49 (68,05)		23 (31,95)	

$\bar{x}$ : média; DP: desvio-padrão; IC 95%: intervalo de confiança de 95 %; Md = mediana; AD: altura do dorso do pé; CTO: comprimento total do pé e PE: pé esquerdo.

Os resultados para o valor máximo da curva DFM e a integral das imagens das pressões plantares durante a marcha para o PE do primeiro e segundo teste estão apresentados na Tabela 6. Não houve diferenças observadas como demonstrado pela sobreposição dos IC 95 %. Na Tabela 7

estão os resultados referentes ao CCI [IC 95 %], EPM e MMD<sub>90</sub> entre as medidas. Ambas, valor máximo da curva DFM e integral, apresentaram excelente confiabilidade segundo a classificação proposta por Fleiss et al. (2003), com valores de CCI maiores que 0,75. Em relação à diferença mínima a ser considerada “real” ou MMD<sub>90</sub> com IC 95%, os valores não excederam 10% da média para nenhuma das variáveis estudadas.

Tabela 6 Valor máximo da curva DFM e a integral das imagens das pressões plantares durante a marcha do PE na primeira e segunda avaliação.

	1ª avaliação		2ª avaliação	
	$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]	Md (25-75 %) [IC 95 %]	$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]	Md (25-75 %) [IC 95 %]
Valor máximo	1,210 (0,04) [1,20; 1,219]	1,216 (1,196-1,238) [1,207; 1,229]	1,211 (0,04) [1,201; 1,222]	1,220 (1,198;1,242) [1,208; 1,232]
Integral	2,547 (0,08) [2,528; 2,566]	2,563 (2,531-2,597) [2,550; 2, 580]	2,55 (0,09) [2,529; 2,571]	2,566 (2,522-2,611) [2,555; 2,587]

DFM = dimensão fractal multiescala; PE = pé esquerdo;  $\bar{x}$  = média; DP = desvio padrão; IC = intervalo de confiança 95 % e Md = mediana.

Tabela 7 Resultados do CCI, EPM e MMD entre as medidas teste-reteste do valor máximo da curva DFM e a integral das imagens das pressões plantares durante a marcha do PE.

	CCI [IC 95 %]	EPM	MMD <sub>90</sub> [IC 95 %]
Valor máximo	0,96 [0,93; 0,97]	0,002	0,005 [0,002; 0,008]
Integral	0,95 [0,92; 0,97]	0,002	0,006 [0,003; 0,008]

CCI = Coeficiente de Correlação Intraclasse; EPM = erro padrão de medida; MMD<sub>90</sub> = mínima mudança detectável com 90 % intervalo de confiança; DFM = dimensão fractal multiescala; PE = pé esquerdo e IC = intervalo de confiança 95%.

## Discussão

Este estudo foi o primeiro a avaliar a confiabilidade teste-reteste de medidas de DFM de mapas de pressões plantares (baropodometria) de indivíduos adultos durante a marcha, incluindo a quantificação da precisão das medidas (EPM) e estimativas da MMD<sub>90</sub>. Podemos observar que tanto a medida do valor máximo da curva DFM quanto a integral demonstraram excelente confiabilidade, com baixas medidas de consistência absoluta (EPM)

e valores de  $MMD_{90}$  que não ultrapassaram 10% da média (Cardoso et al., 2019).

Estudos de confiabilidade de medidas de dimensões fractais de dados biomecânicos como deslocamento do centro de pressão (CoP) já foram realizadas apresentando também excelente confiabilidade (Doyle et al., 2005; Qiu and Xiong, 2015; Rugelj et al., 2015). Doyle et al. (2005) avaliaram a confiabilidade de medidas de dimensões tradicionais e fractais do CoP em jovens saudáveis e demonstraram que, embora as medidas tradicionais sejam amplamente utilizadas para avaliar o CoP, sua confiabilidade é questionável. As medidas de dimensão fractal apresentaram-se mais confiáveis (CCI entre 0,75 a 0,90) (Doyle et al., 2005) e por isso podem ser consideradas como uma promessa para avaliar de forma confiável o CoP (Cimolin et al., 2011).

O mesmo pode ser esperado das medidas de DFM de mapas de pressões plantares de indivíduos durante a marcha para a classificação do tipo de pés. Este tipo de abordagem é interessante pois considera a funcionalidade dos pés por ser uma medida dinâmica, de baixo custo e de fácil operacionalização para resolver um problema apontado por muitas revisões sistemáticas envolvendo o tema (Banwell et al., 2014; Buldt et al., 2018; Buldt et al., 2013; Dowling et al., 2014; Murley et al., 2009; Neal et al., 2014; Tong and Kong, 2013; Uden et al., 2017), que se trata da não existência de uma forma padrão para classificação dos tipos de pés. Além disso, trata-se de uma análise objetiva extraída a partir da complexidade da forma do pé.

A área da teoria de sistemas dinâmicos pode fornecer uma série de ferramentas para análise de dados biológicos. A dimensão fractal é uma dessas técnicas e fornece uma indicação da complexidade de uma forma (Doyle et al., 2005). A geometria euclidiana, a qual geralmente é abordada, se preocupa em explicar formas perfeitas (e.g. reta, quadrado e cubo) que apresentam uma, duas ou três dimensões respectivamente. A geometria Fractal, pelo contrário, foca nas imperfeições das formas, apresentando um valor de dimensão não inteira, e.g. 1,23, o que indica o grau de complexidade/irregularidade que a forma possui. A dimensão de uma curva fractal é um número que caracteriza a maneira na qual a medida do comprimento entre dois pontos aumenta à medida que a escala diminui (Falconer, 2003; Tricot, 1995). Com a aplicação de uma Transformação

Multiescala à curva fractal é possível extrair uma função de escala espacial relacionada à curva e não apenas um valor numérico como na dimensão fractal tradicional. A performance superior da DFM se deve ao fato de um objeto ser representado não apenas por um número arbitrário, mas sim por uma função que representa os seus diferentes graus de fractalidade para as diferentes escalas observadas (Backes; Bruno, 2009). Dessa forma, podemos verificar que este tipo de análise permite levar em consideração as complexidades das formas, o que pode ser aplicado as análise das imagens das pressões plantares e ser uma alternativa viável, confiável e precisa para classificação dos tipos dos pés, especialmente em condições dinâmicas, por meio da exploração dos dados de valor máximo e integral da curva fractal (valores não inteiros).

Além da utilidade promissora da DFM para classificar os tipos de pés, a opção de se utilizar uma plataforma de pressão permite investigar a interação entre a postura do pé e a função biomecânica do membro inferior (Buldt et al., 2018), fornecendo medidas dinâmicas, instantâneas, não invasivas, acessíveis, utilizadas tanto na pesquisa básica quanto na clínica (Giacomozzi et al., 2014).

### **Limitações**

Embora os dados referentes a DFM apresentem excelente confiabilidade, é importante apontar que estes valores foram determinados a partir de uma amostra de indivíduos saudáveis, coletados por meio da técnica dos dois passos, que apesar de apresentar confiabilidade bem definida, compará-la com a técnica *midgait* poderia ser uma possibilidade. Além disso, estudos envolvendo uma amostra significativa para que valores de corte possam ser definidos e utilizados para classificar os tipos de pés são necessários e verificar o quanto alterações nos valores das variáveis de DFM das pressões plantares são clinicamente importantes e explorando outros descritores de forma com modelos tridimensionais.

## Conclusão

A confiabilidade das medidas de DFM de mapas de pressões plantares de indivíduos adultos durante a marcha foi considerada excelente. A precisão das medidas (EPM) e as estimativas da  $MMD_{90}$  pode colaborar para o delineamento de estudos futuros para que estas medidas possam ser utilizadas como ferramenta de avaliação tanto para pesquisa como para prática clínica.

## Referências

AKINS, J. S. et al. Test–retest reliability and descriptive statistics of geometric measurements based on plantar pressure measurements in a healthy population during gait. **Gait & Posture**. v. 35, p. 167-169, 2012.

BACKES, A. R.; BRUNO, O. M. Year plant leaf identification using multi-scale fractal dimension. In image analysis and processing – ICIAP 2009. Berlin, Heidelberg.

BANWELL, H. A.; MACKINTOSH, S.; THEWLIS, D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-18, 2014.

BLASZCZYK, J. W.; KLONOWSKI, W. Postural stability and fractal dynamics. **Acta Neurobiologiae Experimentalis**. v. 61, p. 105-112, 2001.

BRUNO, O. M. et al. Fractal dimension applied to plant identification. **Information Sciences**. v. 178, p. 2722–2733, 2008.

BRYANT, A.; SINGER, K.; TINLEY, P. Comparison of the reliability of plantar pressure measurements using the two-step and midgait methods of data collection. **Foot & Ankle International**. v. 20, p. 646-650, 1999.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 62, p. 56-67, 2018.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 38, p. 363-372, 2013.

CARDOSO, J. R. et al. Test-Retest reliability of dynamic balance performance-based measures among adults with a unilateral lower-limb amputation. **PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation**. v. 11, p. 243-251, 2019.

CARLIN, M. Measuring the complexity of non-fractal shapes by a fractal method. **Pattern Recognition Letters**. v. 21, p. 1013–1017, 2000.

CHOI, Y. R. et al. The diagnostic value of pedobarography. **Orthopedics**. v. 37, e1063-10672014.

CIMOLIN, V. et al. Fractal dimension approach in postural control of subjects with Prader-Willi Syndrome. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**. v. 8, 1-62011.

COBB, S. C. et al. The relationship among foot posture, core and lower extremity muscle function, and postural stability. **Journal of Athletic Training**. v. 49, p. 173-180, 2014.

COSTA, L. F. et al. A shape analysis framework for neuromorphometry. Network: **Computation in Neural Systems**. v. 13, p. 283-310, 2002.

De Cock, A. et al. A functional foot type classification with cluster analysis based on plantar pressure distribution during jogging. **Gait & Posture**. v. 23, p. 339–347, 2006.

DIERICK, F. et al. Fractal analyses reveal independent complexity and predictability of gait. **PLoS One**. v. 12, e0188711, 2017.

DOHERTY, C. et al. Balance failure in single limb stance due to ankle sprain injury: an analysis of center of pressure using the fractal dimension method. **Gait & Posture**. v. 40, p. 172-176, 2014.

DOWLING, G. J. et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-13, 2014.

DOYLE, T. L.; NEWTON, R. U.; BURNETT, A. F. Reliability of traditional and fractal dimension measures of quiet stance center of pressure in young, healthy people. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. v. 86, p. 2034-2040, 2005.

DUCHARME, S. W. et al. Association between stride time fractality and gait adaptability during unperturbed and asymmetric walking. **Human Movement Science**. v. 58, p. 248-259, 2018.

EMERSON, C. W., LAM, N. N., QUATTROCHI, D. A. Multi-scale fractal analysis of image texture and patterns. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.65, p. 51–62, 1999.

EVANS, A. M. et al. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 93, p. 203-213, 2003.

FALCONER, K. J. **Fractal Geometry: Mathematical and Applications**. Wiley, New York, 2003.

FAUL, F. et al. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**. v. 39, p. 175-191, 2007.

FLEISS, J. L.; LEVIN, B.; MYUNGHEE, C. P. **Statistical Methods for Rates and Proportions**. Wiley, New Jersey, 2003.

FOISY, A. et al. Controlling posture and vergence eye movements in quiet stance: Effects of thin plantar inserts. **PLoS One**. v. 10, e0143693, 2015.

GABEL, C. P. et al. Lower limb functional index: development and clinimetric properties. **Physical Therapy**. v. 92, p. 98-110, 2012.

GIACOMOZZI, C.; LEARDINI, A.; CARAVAGGI, P. Correlates between kinematics and baropodometric measurements for an integrated in-vivo assessment of the segmental foot function in gait. **Journal of Biomechanics**. v. 47, p. 2654-2659, 2014.

HAFER, J. F. et al. Reliability of plantar pressure platforms. **Gait & Posture**. v. 38, p. 544-548, 2013.

HAUSDORFF, J. M. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. **Human Movement Science**. v. 26, p. 555-589, 2007.

HILLSTROM, H. J. et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. **Gait & Posture**. v. 37, p. 445-451, 2013.

KING, M. T. A point of minimal important difference (MID): a critique of terminology and methods. **Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research**. v. 11, p. 171-184, 2011.

KOTTNER, J. et al. Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 64, p. 96-106, 2011.

LIN, C. H. et al. Image analysis system for acquiring three-dimensional contour of foot arch during balanced standing. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. v. 75, p. 147-157, 2004.

MARTÍNEZ-MARTÍ, F. et al. Fractal behavior of the trajectories of the foot centers of pressure during pregnancy. **Biomedical Physics & Engineering Express**. v. 5, 025007, 2019.

MCPOIL, T. G. et al. Variability of plantar pressure data. A comparison of the two-step and midgait methods. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 89, 495-501, 1999.

MEI-DAN, O. et al. The medial longitudinal arch as a possible risk factor for ankle sprains: a prospective study in 83 female infantry recruits. **Foot & Ankle International**. v. 26, p. 180-183, 2005.

MEYERS-RICE, B. et al. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 84, p. 499-504, 1994.

MULLIGAN, E. P.; COOK, P. G. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. **Manual Therapy**. v. 18, p. 425-430, 2013.

MURLEY, G. S. et al. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. **Gait & Posture**. v. 29, p. 172-187, 2009.

NEAL, B. S. et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-13, 2014.

NUNES AMARAL, L. A. et al. Behavioral-independent features of complex heartbeat dynamics. **Physical Review Letters**. v. 86, p. 6026-6029, 2001.

PATAKY, T. et al. An anatomically unbiased foot template for inter-subject plantar pressure evaluation. **Gait & Posture**. v. 33, p. 418-422, 2011.

PHOTHISONOTHAI, M.; NAKAGAWA, M. Fractal-based EEG data analysis of body parts movement imagery tasks. **The Journal of Physiological Sciences**. v. 57, p. 217-226, 2007.

PLOTZE, R. O. et al. Leaf shape analysis using the multiscale minkowski fractal dimension, a new morphometric method: a study with passiflora (passifloraceae). **Canadian Journal of Botany**. v. 83, p. 287-301, 2005.

QIU, H.; XIONG, S. Center-of-pressure based postural sway measures: Reliability and ability to distinguish between age, fear of falling and fall history. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 47, p. 37-44, 2015.

RAZEGHI, M.; BATT, M. E. Foot type classification: a critical review of current methods. **Gait & Posture**. v. 15, p. 282-291, 2002.

RUGELJ, D. et al. Reliability of modified sensory interaction test as measured with force platform. **Medical & Biological Engineering & Computing**. v. 53, p. 525-534, 2015.

SI, W. et al. Gait identification using fractal analysis and support vector machine. **Soft Computing**. 2018.

STAMBOLIEVA, K. Fractal properties of postural sway during quiet stance with changed visual and proprioceptive inputs. **The Journal of Physiological Sciences**. v. 61, p. 123-130, 2011.

SWEDLER, D. I. et al. Validity of plantar surface visual assessment as an estimate of foot arch height. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 42, p. 375-380, 2010.

TERWEE, C. B. et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 60, p. 34-42, 2007.

TEYHEN, D. S. et al. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. **Clinical Biomechanics**. v. 24, p. 391-396, 2009.

TONG, J. W.; KONG, P. W. Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 43, p. 700-714, 2013.

TORRES, R. S.; FALCAO, A. X.; COSTA, L. F. A graph-based approach for multiscale shape analysis. **Pattern Recognition**. v. 37, p. 1163-1174, 2004.

TRICOT, C. **Curves and Fractal Dimension**. Springer-Verlag, New York, 1995.

UDEN, H.; SCHARFBILLIG, R.; CAUSBY, R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 10, p. 1-17, 2017.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 19, p. 231-249, 2005.

WILLIAMS, D. S.; MCCLAY, I. S. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: Reliability and Validity. **Physical Therapy**. v. 80, p. 864-871, 2000.

# **Artigo Original 3**

Artigo a ser enviado para a revista *Journal of Biomechanics*

## AVALIAÇÃO DOS TIPOS DE PÉS A PARTIR DA ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL MULTIESCALA DE MAPAS DE PRESSÃO PLANTAR DURANTE TAREFAS DINÂMICAS

### RESUMO

A avaliação dos tipos de pés é bem reconhecida na prática clínica e literatura musculoesquelética, porém, não existe uma classificação universalmente aceita e medidas padronizadas para determiná-los. A Dimensão Fractal Multiescala (DFM) é utilizada para expressar a cobertura de área e a “complexidade” de formas e podem ser utilizadas para a análise de dados biológicos. O objetivo deste estudo foi avaliar os tipos de pés a partir da aplicação da análise da DFM de imagens geradas a partir de pressões plantares durante a marcha. Duzentos e oito indivíduos de ambos os sexos com 28,7 (DP=9,8) anos foram submetidos a coleta de pressões plantares (5 passos) durante a marcha utilizando uma plataforma de pressão. Os dados foram processados no *Matlab*® para o cálculo das variáveis: valor máximo e integral da média das cinco curvas DFM de cada passo e a série de dados das curvas de todas as tentativas, e, posteriormente, submetidos a análise de agrupamentos obtidos a partir do algoritmo. A distribuição entre os resultados relacionados ao valor máximo da curva DFM e integral foram respectivamente: pés normais 1,219 e 2,567, com 85 % dos indivíduos neste grupo; pés planos 1,147 e 2,397, com 12 % dos indivíduos e pés cavos, 1,074 e 2,144, com 3 % dos indivíduos. A distribuição em relação a série de dados foi semelhante para o grupo de pés cavos (4 %), com uma proporção diferente entre pés normais (76 %) e planos (20 %). A avaliação dos tipos de pé por meio de análise de DFM de imagens geradas a partir das pressões plantares pode ser uma ferramenta promissora que possibilita uma avaliação objetiva, de baixo custo e manejo operacional.

Descritores: Fractais; pé; pé plano; pé cavo; avaliação.

### ABSTRACT

Foot type assessment is well recognized in clinical practice and orthopedic literature, a universally accepted classification or standardized measures to determine foot types are lacking. The Multi Scale Fractal Dimension (MFD) been widely used to characterize both real and abstract objects in terms of complexity, among its applications, the analysis of biological data is highlighted. The aim of this study was to evaluate feet types with MFD measurements of adult plantar pressure maps during gait using a platform pressure. The MFD was performed with 208 subjects 28,7 (DP=9,86) years of both sexes. The data has been processed, a specific routine was created in the *Matlab*® program for the calculation of variables related to MFD (maximum

multiscale fractal curve value and the integral of the average of the five curves of each step, and data series of the curves of all attempts) and clusters obtained from the algorithm. The distribution between the results maximum value of the DFM curve and integral were respectively: normal feet 1,219 and 2,567, with 85 % individuals in this group; flat feet 1,147 and 2,397, with 12 %; and cavus feet 1,074 and 2,144, with 3 % individuals. The distribution related to the data series of the curves was similar to the cavus feet group (4 %), with a different proportion between normal feet (76 %) and flat feet (20 %). The application of the DFM analysis in the images generated by the plantar pressures is reliable and can be used to evaluate the types of feet mainly to identify the group of individuals cavus feet. This method proves to be promising because it allows for an objective, low-cost assessment and operational management, carried out dynamically.

Keywords: foot; flat foot; cavus foot; fractals, evaluation.

## **Introdução**

O tipo de pé (plano, cavo e neutro) é um conceito clínico que visa simplificar as complexidades anatômicas do pé humano (Hillstrom, et al. 2013). Porém, embora a avaliação dos tipos de pés ser bem reconhecida na prática clínica e literatura ortopédica, não existe uma classificação universalmente aceita e medidas padronizadas para determinar os tipos de pés (Evans et al., 2003). A falta de medidas concordantes de um padrão de classificação confiável para os tipos de pés desafia o agrupamento e análise sistemática de dados (Langley et al., 2016) e torna difícil a tomada de decisões clínicas e de conclusões sobre as pesquisas existentes (Wong et al., 2012). Dowling et al. (2014) sugere que estudos devam explorar medidas clinicamente significativas e representativas da função dinâmica do pé, uma vez que há uma restrição das medidas estáticas em predizerem a função dinâmica (Neal et al., 2014) e diferentes das utilizadas atualmente (Dowling et al., 2014). As propostas devem se preocupar em traduzir as medidas coletadas em laboratório para medidas aplicadas clinicamente, visto que os equipamentos utilizados muitas vezes são sofisticados e caros (Dowling et al., 2014).

Uma alternativa para este caso seria a utilização do conceito de Dimensões Fractais, que possui sua aplicabilidade à diferentes problemas relacionados à análise de formas. Tratam-se de medidas úteis para solucionar

problemas que requerem análise de complexidade por meio da caracterização da cobertura espacial e superfície de contato (Pinto, 2001; Torres et al., 2004). A geometria Fractal foca nas imperfeições das formas, consequentemente apresentando valores fracionários de dimensão, contrário da geometria euclidiana que apresentam dimensão com valores inteiros (reta: 1, círculo: 2, cubo: 3) (Backes; Bruno, 2009). O Método Multiescala (Dimensão Fractal Multiescala – DFM) utiliza diversas escalas espaciais para o estudo da análise da forma de objetos bidimensionais, baseando-se na suavização progressiva da curvatura de um objeto ao longo do seu contorno (dilatações). É calculada com base na transformação de distância euclidiana de seus pixels e o resultado final fornece uma visão do objeto original ao longo das escalas espaciais cada vez maiores e com menos detalhes (Torres et al., 2004). Este tipo de medida tem se tornado útil para a análise de dados biológicos (Phothisonothai; Nakagawa, 2007) com várias aplicações práticas e clínicas (Costa et al., 2002; Nunes Amaral et al., 2001). Na área de biomecânica há estudos envolvendo a avaliação da marcha (Dierick et al., 2017; Ducharme et al., 2018; Hausdorff, 2007) e na dinâmica do controle postural humano (Blaszczyk; Klonowski, 2001; Doherty et al., 2014; Foisy et al., 2015; Martínez-Martí et al., 2019; Stambolieva, 2011), nos quais a DF demonstrou-se útil, confiável e sensível para avaliar a complexidade dos sinais posturográficos (Blaszczyk; Klonowski, 2001).

Ao considerar estas aplicações da DFM e a falta de medidas concordantes para uma classificação confiável para os tipos de pés, podemos verificar uma oportunidade para propor sua aplicação para avaliar os tipos de pés a partir de imagens plantares de forma objetiva. Para isto, a utilização de recursos já disponíveis tanto dentro do contexto clínico como de pesquisa, como a baropodometria para coleta das pressões plantares (Giacomozzi et al., 2014), torna viável este tipo de abordagem. Esta avaliação é frequentemente empregada para obter informações sobre a mecânica da interação pé-solo (Giacomozzi et al., 2014) e eficaz para identificar o comportamento dinâmico, uma vez que o movimento e a postura humana são bem refletidos na distribuição da pressão nos pés (Si et al., 2018). Além disso, como a geometria de contato do pé de um mesmo sujeito é similar, as imagens podem ser registradas e comparadas (Pataky et al., 2011) e, em relação aos exames de

radiografias, este tipo de análise é não radioativa e mais viável para avaliação clínica do arco longitudinal medial (ALM) do pé (Lin et al., 2004), pois a pressão plantar reflete a deformação do ALM (Swedler et al., 2010). Além destes fatores, trata-se de uma avaliação simples, rápida e de baixo custo operacional que já faz parte de protocolos clínicos e de pesquisa (Giacomozzi et al., 2014).

Assim, o objetivo deste estudo foi aplicar a análise de *cluster* nos dados gerados a partir da análise da DFM de imagens de medidas de pressão plantar em condições dinâmicas e realizar a categorização dos tipos de pés. Espera-se que os resultados possam potencialmente identificar e classificar os tipos de pés de forma objetiva, colaborando tanto para prática clínica como para pesquisa.

## **Método**

### **Delineamento e Local do Estudo**

Estudo do tipo transversal, com componentes descritivos e analíticos, realizado no Laboratório de Biomecânica e Epidemiologia Clínica do Hospital Universitário de Londrina-PR, em conjunto com o Laboratório de Biomecânica Aplicada- CEFE, UEL.

### **Cálculo da Amostra**

Para o cálculo do tamanho da amostra, foi utilizada uma estimativa de prevalência de 15% de pés planos, baseada na população dos Estados Unidos, que é em torno de 2 a 23 % (Banwell et al., 2014). Assim, a partir de uma proporção esperada de 15 %, com uma margem de erro de 0,05 e um  $z_{\alpha}$  de 1,96 (Dhand; Khatkar, 2014), um total de 196 indivíduos foram necessários para o estudo com o acréscimo de 10 % para compensar possíveis perdas amostrais.

## **Recrutamento e Seleção da Amostra**

Os voluntários foram recrutados por meio de contato pessoal, telefônico e da mídia local. Foram incluídos indivíduos adultos (entre 18 e 65 anos); de ambos os sexos e assintomáticos. Os critérios de exclusão foram: presença de deformidades como hálux valgo; história de cirurgia na região do pé; história de lesões musculoesqueléticas nos membros inferiores e coluna ou cirurgia nos últimos 6 meses; presença de distúrbios cardiorrespiratórios, neurológicos, reumatológicos ou metabólicos e Índice de Massa Corporal (IMC) acima de 30 kg/m<sup>2</sup>.

Após a verificação da elegibilidade dos participantes, foi agendada a avaliação. No dia da coleta, os participantes foram informados dos procedimentos da pesquisa e sobre o direito à interrupção de sua participação à qualquer momento e convidados a assinarem um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 4) anteriormente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina - PR sob o CAAE 90238618.8.0000.5231 (Anexo 3), seguindo a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Pesquisa.

## **Instrumentos e Procedimentos**

Os participantes foram submetidos a uma avaliação inicial para coleta de dados pessoais e exame físico. A seguir, foram coletadas medidas da massa corporal (kg), altura (m) e IMC (kg/m<sup>2</sup>) e para a caracterização dos pés: comprimento total do pé, do comprimento truncado (parte mais posterior do calcâneo ao centro da primeira articulação metatarsofalangeana) e a altura do dorso a 50 % do comprimento total do pé (Williams; McClay, 2000) na posição em pé, com a massa corporal distribuída igualmente entre as duas pernas, por meio uma régua com nívelômetro adaptado conforme proposto por Mulligan e Cook (2013) (Figura 3). A seguir foram submetidos a coleta das pressões plantares dinamicamente (marcha) utilizando uma plataforma de pressão.



Figura 3 Medidas de caracterização do pé. CT: comprimento total do pé (linha contínua preta); CTP: comprimento truncado do pé (linha tracejada); AD: altura do dorso a 50 % do comprimento total (linha vermelha).

Para a coleta dinâmica das pressões plantares para geração das imagens dos pés para o cálculo da DFM, foi utilizado uma plataforma de pressão (BaroScan®, HS Technology, Brasil) (plataforma de sensores de 65 x 54 x 3 cm; superfície ativa de 50 x 50 cm e espessura de 10 mm; superfície do sensor de 7,8125 x 7,8125 mm; com 4096 sensores; frequência de aquisição de 200 Hz e com tecnologia resistiva com conversão analógica de 12 bits, com capacidade de captar pressões entre 0,05 (mínima) até 10 kgf/cm<sup>2</sup> (máxima)).

Após instrução verbal e demonstração, o participante foi orientado a andar descalço sobre a plataforma em uma cadência auto selecionada (Figura 4). Foram exibidos avisos visuais na altura dos olhos para padronizar o olhar de cada pessoa para longe da plataforma durante a marcha. Seguindo estudos prévios (Akins et al., 2012; Hafer et al., 2013; Teyhen et al., 2009) foi utilizado o método de dois passos (Meyers-Rice et al., 1994), ou seja, o segundo passo após o início da marcha foi registrado a partir do contato do calcanhar até o final do contato dos artelhos. O pé para iniciar a marcha foi sorteado. Foram realizadas 10 coletas, sendo 5 registros para cada pé. O procedimento foi repetido se a passada não fosse registrada totalmente ou se o avaliador considerasse que a marcha do sujeito apresentasse assimetria. Estudos com confiabilidade testada indicam que o método dos dois passos para coleta de dados de pressões plantares fornecem valores bastante semelhantes aos obtidos pelo método *midgait* (marcha livre) (Bryant et al., 1999; McPoil et al.,

1999). No entanto, requer um número de coletas entre três a cinco tentativas para uma menor variabilidade entre os dados e assim possa ser calculada a média destas. Isto produz dados de pressões confiáveis sem submeter o paciente a cargas excessivas e repetitivas sobre a superfície plantar dos pés (Bryant et al., 1999; McPoil et al., 1999).

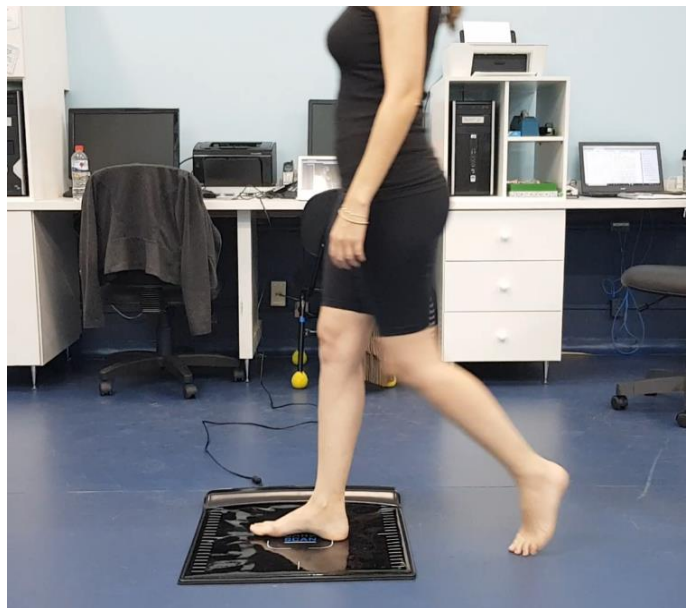


Figura 4 Marcha sobre a plataforma de pressão (BaroScan®).

## Processamento dos Dados

Os dados foram processados em uma rotina específica criada no programa *Matlab*® para o cálculo das variáveis relacionadas a DFM. Um mapa de superfície (Figura 5) das pressões acumuladas dos sensores ativados ao longo de todo ciclo de cada passo (toda fase de apoio do pé), no qual as cores quentes (avermelhadas) indicam locais de maior pressão e cores frias (azuladas) as menores pressões. A partir destas informações, foi possível traçar um contorno do formato do pé com um limiar de  $0,05 \text{ kgf/cm}^2$ , valor referente à mínima pressão que a plataforma de pressão pode capturar para gerar a figura do formato do pé (Figura 6). Esse mapa de contorno foi salvo no formato .png para possibilitar a análise DFM.

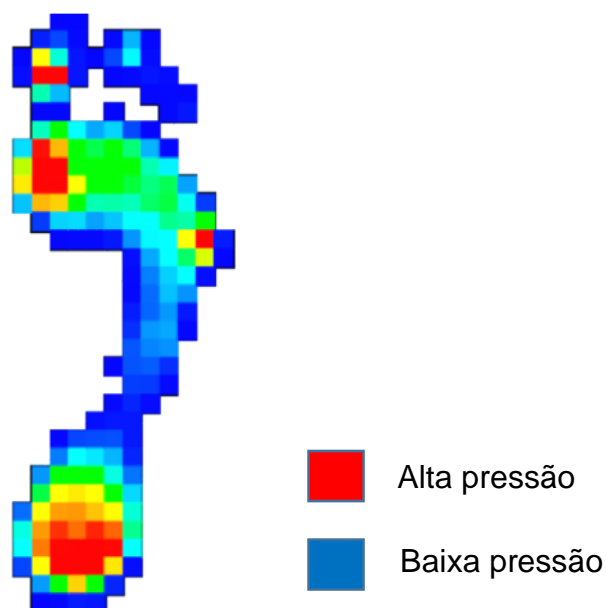


Figura 5 Mapa de superfície das pressões acumuladas dos sensores ativados ao longo de todo o ciclo de um passo.

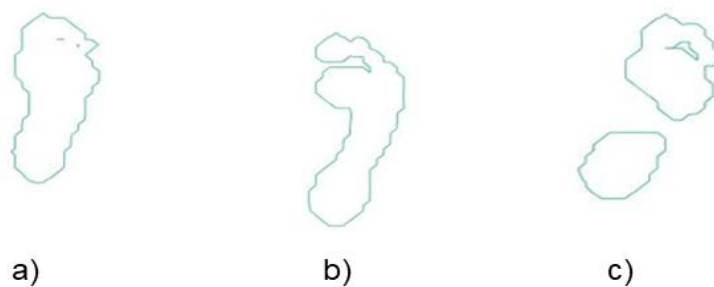


Figura 6 Contorno do formato do pé a partir das mínimas pressões geradas pela plataforma. de pressão. a) Contorno de um pé plano; b) Contorno de um pé normal; c) Contorno de um pé cavo.

Este mapa de contorno foi centrado numa nova imagem de resolução de 1024 x 1024 pixels. A partir desta, foi determinado o custo deste contorno por meio da transformada de distância euclidiana. Cada instância da forma multiescala é obtida por meio de um limiar do mapa de custo (C) a um dado

valor de distância euclidiana elevada ao quadrado. Dessa forma, quanto maiores os valores dos limiares, mais simplificados os formatos se tornam, apresentando menores detalhes que são removidos progressivamente conforme os limiares aumentam (Figura 7) (Torres et al., 2004).

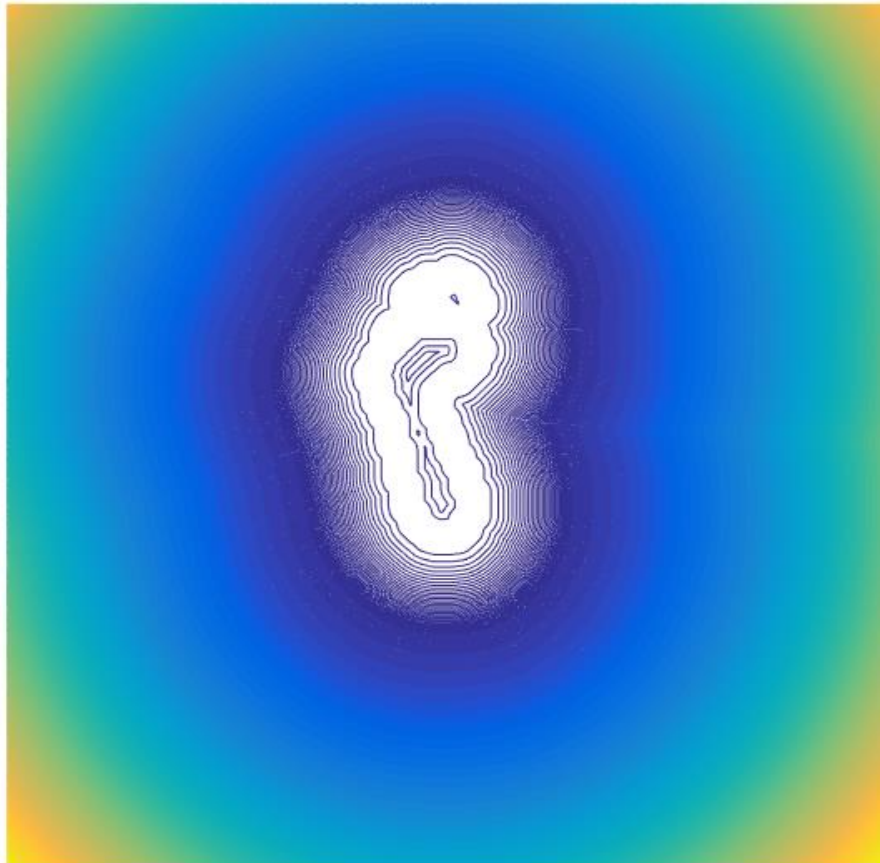


Figura 7 Contorno do pé e contornos multiescalas (dilatações) obtidos por meio da transformada de distância euclidiana.

A próxima etapa consistiu na realização de um histograma para identificar a frequência para cada valor de custo em função dos raios de dilatação. Foram utilizados 200 raios de dilatação e os que não possuíam custo associados foram removidos. Em seguida, criou-se um conjunto de pontos correspondentes ao logaritmo das áreas do contorno do pé em função do logaritmo dos raios de dilatação e deste conjunto de pontos, uma curva polinomial de 9ª ordem foi ajustada para realizar o cálculo da curva fractal multiescala pela dimensão fractal *Minkowski–Bouligand* ( $F_r$ ) definida conforme a Equação 1 (Torres et al., 2004):

$$F_r = 2 - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(A(r))}{\log(r)}$$

A: área de dilatação; r: raio de dilatação.

A definição da curva polinomial de 9ª ordem foi realizada após triagem de ajustes com polinômios de 3ª até 20ª ordem, sendo que o de 9ª ordem foi o que manteve as características da curva fractal.

As curvas fractais (Figura 8) foram então geradas e as variáveis utilizadas foram o máximo valor da curva fractal, integral e a própria série de dados para cada passo. Para a análise estatística, foi utilizado tanto as cinco tentativas para cada pé como a média dos 5 passos, e computados os dois membros (direito e esquerdo). Inicialmente a confiabilidade teste-reteste destas medidas foram realizadas e apresentaram valores de coeficiente de correlação intraclasse de 0,96 intervalo de confiança de 95 % (IC 95 %) [0,93-0,97] para o valor máximo da curva fractal e 0,95 IC 95 % [0,92-0,97] para a integral.

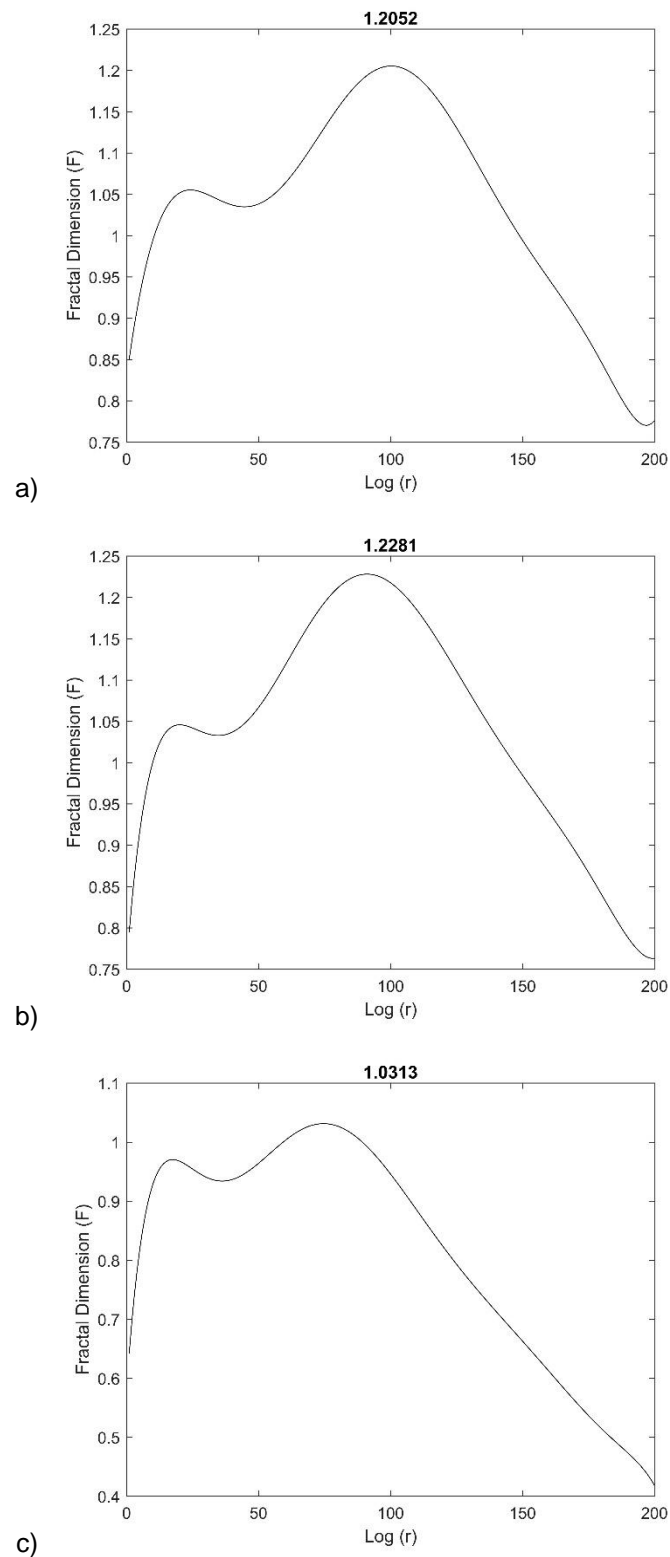


Figura 8 Curva DFM gerada a partir do logaritmo das áreas em função do logaritmo dos raios de dilatação do contorno do pé. a) Curva DFM de um pé plano; b) Curva DFM de um pé normal; c) Curva DFM de um pé cavo.

## Análise Estatística

Anteriormente à análise estatística, foi realizada uma avaliação dos valores faltantes da planilha de dados das tentativas de passo não válidas. A partir desta análise, a planilha foi submetida a imputação múltipla dos dados faltantes, ou seja, estes foram substituídos por uma estimativa ao considerar os outros dados existentes na planilha. A imputação múltipla é conduzida por meio do preenchimento dos dados ausentes provenientes de um conjunto de possíveis valores aleatórios, calculados várias vezes por meio de modelos de regressão até chegar a uma estimativa combinada final. Nesse sentido, a imputação múltipla pode reproduzir a variabilidade desses dados ausentes mantendo a estrutura do conjunto dos dados, com uma boa precisão em resultados que apresentem menos de 20 % de dados ausentes (Armijo-Olivo et al., 2009). No presente estudo, foi constatado menos de 20 % de dados faltantes o que corroborou para a execução precisa da imputação múltipla.

A seguir, a normalidade dos dados descritivos foi testada pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Os dados foram apresentados em média, desvio padrão, intervalo de confiança de 95 % (IC 95 %) e mediana e seus quartis (25-75 %) com seus respectivos IC 95 %.

As variáveis oriundas da curva DFM, valor máximo (média das cinco curvas de cada passo), integral (média das cinco curvas de cada passo) e série de dados das curvas DFM de todas as tentativas foram submetidas a técnica exploratória de análise multivariada para agrupamento/classificação dos sujeitos por meio de uma análise de clusters não-hierárquico *k-Means*.

Para a análise de *clusters k-Means*, o número de clusters foi definido a priori ( $k=3$ ) e os centróides de cada cluster foi calculada pela distância euclidiana dos centróides a cada sujeito na base de dados agrupando-os pelos valores de centróides mais próximos. Para identificar qual a variável com maior importância nos 3 *clusters*, procedeu-se a análise da estatística *F* da ANOVA dos *clusters* como descrito em Maroco (2018). As análises foram efetuadas no IBM SPSS *Statistics for Windows* v. 25 (IBM Corp. Armonk, N.Y., USA) e *Matlab*®.

## Resultados

Duzentos e vinte participantes foram avaliados, excluídos 12, totalizando 208 indivíduos e 416 pés para a análise final. As características da amostra distribuídas em relação ao sexo e total estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8  
Características da amostra total e em relação ao sexo.

	Feminino				Masculino				Total			
	n (%)		151 (72,6)		57 (27,4)		208 (100)					
	$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]		Md (25-75 %) [IC 95 %]		$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]		Md (25-75 %) [IC 95 %]		$\bar{x}$ (DP) [IC 95 %]		Md (25-75 %) [IC 95 %]	
Idade (anos)	28,18 (9,35) [26,52; 29,56]		26 (20,5-33) [23; 27]		30,35 (11,03) [27,77; 33,39]		28,5 (21,5-36) [25,87; 31]		28,77 (9,86) [27,42; 30,12]		26 (21-34) [24; 28]	
Massa Corporal (kg)	63,41 (11,35) [61,46; 65,15]		62,5 (56-70) [60; 64]		81,94 (14,22) [77,58; 84,98]		80 (71-90) [73; 85]		68,49 (14,72) [66,48; 70,50]		67 (58-76) [64; 70]	
Altura (m)	1,64 (0,06) [1,63; 1,65]		1,65 (1,59-1,69) [1,63; 1,65]		1,78 (0,07) [1,75; 1,79]		1,77 (1,71-1,83) [1,75; 1,80]		1,68 (0,09) [1,66; 1,69]		1,67 (1,62-1,73) [1,66; 1,69]	
IMC (kg/cm <sup>2</sup> )	23,47 (3,88) [22,81; 24,06]		22,87 (20,94-25,65) [22,12; 23,59]		25,75 (3,46) [24,80; 26,62]		25,25 (23,03-27,88) [23,95; 27,05]		24,09 (3,89) [23,56; 24,62]		23,52 (21,32-26,68) [22,98; 24,47]	
Medidas pés	PD	PE	PD	PE	PD	PE	PD	PE	PD	PE	PD	PE
Comprimento Total (cm)	24,42 (1,19) [24,22; 24,61]	25,59 (1,29) [22,97; 26,21]	24,40 (23,50- 25,20) [24,10; 24,50]	24,20 (23,40- 25,10) 24; 24,40]	26,93 (1,45) [26,54;27, 31]	26,40 (1,45) [26,40; 27,17]	27 (25,97- 27,70) [26,50; 27,50]	26,70 (26- 27,50) [26,38; 27,07]	25,11 (1,69) [24,87; 25,34]	25,92 (13,90) [24,02; 27,82]	25 (24-26) [24,5; 25,06]	24,9 (23,7- 26) [24,4; 25]
Comprimento Truncado (cm)	17,94 (0,99) [17,78; 18,10]	17,73 (0,95) [17,58; 17,88]	18 (17,20- 18,50) [17,70; 18]	17,70 (17- 18,27) [17,50; 17,90]	19,65 (1,14) [19,35; 19,95]	19,7 (1,16) [19,39; 20,01]	19,50 (18,95- 20,22) [19,36; 20]	19,70 (19- 20,05) [19,40; 20]	18,41 (1,28) [18,23; 18,59]	18,27 (1,34) [18,09; 18,45]	18,20 (17,5- 19,10) [18; 18,5]	18,10 (17,30- 19,05) [17,90; 18,26]
AD 50 % CTO (cm)	6,21 (0,69) [6,10; 6,32]	6,10 (0,61) [6; 6,20]	6,3 (5,7- 6,7) [6,10; 6,50]	6,10 (5,60- 6,50) [6; 6,20]	6,97 (0,51) [6,83; 7,11]	6,86 (0,51) [6,72; 7]	7 (6,57- 7,32) [6,83; 7,11]	6,9 (6,5- 7,10) [6,66; 7]	6,42 (0,73) [6,32; 6,52]	6,31 (0,68) [6,21, 6,40]	6,5 (6- 7) [6,40; 6,60]	6,3 (6- 6,80) [6,20; 6,46]

$\bar{x}$ : média; DP: desvio padrão; Md: mediana; IC: intervalo de confiança; AD: Altura do Dorso; CTO: comprimento total do pé; PD: pé direito, PE: pé esquerdo.

Na Tabela 9 apresentam-se as médias (centros) dos *clusters* e a estatística *F* para cada variável oriundos da média das cinco tentativas para cada pé (n=416).

Tabela 9

Centros dos *clusters* e estatística *F* para o valor máximo e integral da curva DFM oriundos da média das tentativas para cada pé.

	Centro do <i>cluster</i>			<i>F</i>
	1	2	3	
<b>Valor Máximo</b>	1,219	1,147	1,074	408,903
<b>Integral</b>	2,567	2,397	2,144	655,537
<b>Casos em cada <i>cluster</i> n (%)</b>	354 (85)	52 (12)	10 (3)	

De acordo com a Tabela 9, o *cluster* três corresponde aos menores resultados do valor máximo e integral da curva DFM das imagens dos pés, o que corresponderia ao grupo de pés cavos, o *cluster* dois aos valores intermediários associados ao pé plano e o um aos maiores valores correspondentes aos pés normais. Em relação a variável que mais permite diferenciar os *clusters*, a integral da curva DFM ( $F = 655,537$ ) foi a mais determinante.

A segunda análise foi realizada a partir da série de dados das curvas DFM de todas as tentativas coletadas por participante e está apresentada na Figura 9 (n=1646). 1261 (76 %) imagens das pressões plantares foram classificados no grupo de pés normais (a), 328 (20 %) planos e 57 (4 %) cavos.

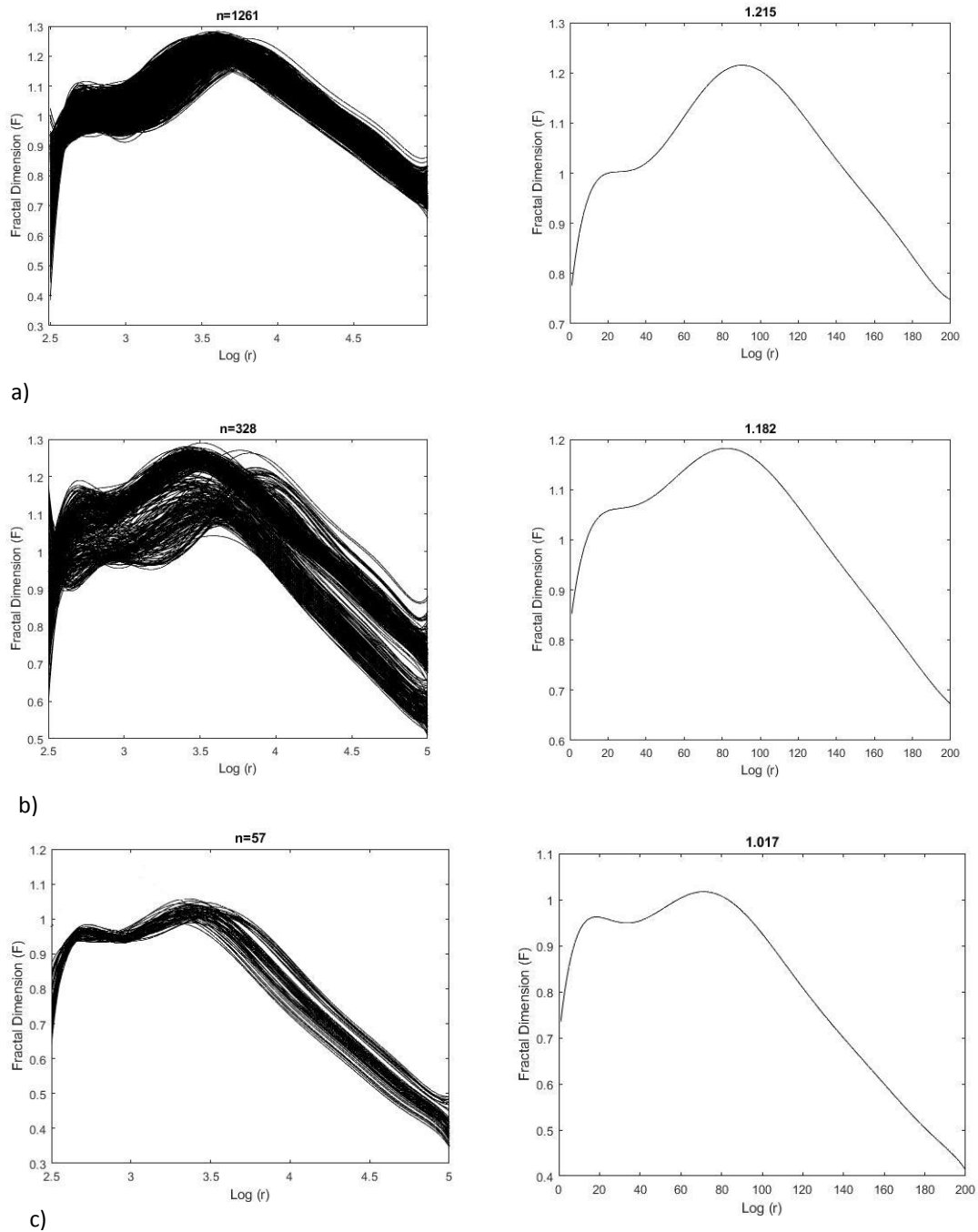


Figura 9 Distribuição dos *clusters* e curvas médias com valores máximos da DFM a partir da análise da série de dados da curva DFM de todas as tentivas de cada participante ( $n=1646$ ). a) Pés normais, b) Pés planos e c) Pés cavos.

## Discussão

A avaliação dos tipos de pés a partir da análise da DFM de imagens geradas a partir de medidas de pressão plantar durante a marcha pode potencialmente identificar e classificar os tipos de pés. Os dados determinaram os pés cavos e pode ser explicado pelo fato de que a própria imagem plantar característica deste tipo de pé não ocorrer o contato do médio pé com o solo, contribuindo para sua melhor definição. Já a limitação para identificação precisa dos pés planos e normais pode ser atribuída a variabilidade de como os artelhos se comportam durante a marcha o que pode modificar a complexidade do contorno do mapa de pressão. A influência dos artelhos já foi apontada e descartada por outra medida utilizada para classificar os pés, o índice de altura do arco. Este método é baseado em medidas antropométricas de proporção em relação a altura do ALM e desconsidera a região dos artelhos para evitar que deformidades do pé como hálux valgo e garra, comuns em indivíduos com pé plano e cavo respectivamente, possam distorcer as medidas (Williams; McClay, 2000).

O estudo de Hu et al. (2018) propôs um modelo matemático para avaliação objetiva do tipo de pé utilizando características geométricas do arco utilizando imagens 3D. Foi utilizada a medida da altura navicular normalizada pelo comprimento truncado do pé de 171 indivíduos saudáveis. Os valores encontrados para definição dos limites para classificação em arco baixo e alto foram 0,153 e 0,253, respectivamente, e a partir deste valores, 15 % dos sujeitos apresentaram arco baixo, 15 % arco alto, e 70 % normais. A classificação realizada pelo presente estudo apresentou distribuição semelhante, o que pode subsidiar que a DFM de mapas de pressões plantares pode ser uma alternativa para avaliação dos tipos de pés, contudo possui vantagens de ser realizada de forma rápida, de baixo custo e objetiva, comparada aos métodos atuais de análise de pressões plantares que exigem um tempo de processamento substancial (Lucas et al., 2018).

Já o estudo proposto por Lucas et al. (2018) investigou a determinação automatizada para avaliação do tipo de pé com base em características derivadas da *Gabor wavelet* utilizando impressões plantares digitalizadas. Foram coletadas 280 impressões plantares e a área, perímetro, curvatura,

circularidade, *2<sup>nd</sup> wavelet moment*, *mean bending energy* (MBE) e entropia foram determinadas utilizando o programa *Matlab* e comparadas com medidas do Índice do Arco (Cavanagh; Rodgers, 1897), utilizada como padrão-ouro. Os resultados apresentaram boa correlação com a medida padrão-ouro e as variáveis MBE combinado com o perímetro do pé tiveram os melhores resultados para a classificação automatizada do tipo de pé. Contudo, não obtiveram diferenças estatisticamente significantes entre as médias dos dados entre pés planos e normais, o que também foi identificado no presente estudo. Lucas et al. (2018) concluem que a abordagem que realizaram é mais adequada para a identificação do tipo de pé cavo, porém não relatam se as impressões plantares foram coletadas de forma dinâmica, o que é fundamental devido a restrição das medidas estáticas em predizerem a função dinâmica (Neal et al., 2014).

Em função desta restrição, De Cock et al. (2006) propuseram desenvolver uma classificação funcional do tipo de pé por meio da análise das áreas de pressões plantares obtidas de 215 adultos saudáveis. Foi utilizado a análise de *clusters* (*K-means*) e identificados quatro padrões de carga de pressão relacionados a região do antepé: modelo medial M1 (n = 37; 17.2%) com maior carga de pressão na região do primeiro metatarso, modelo medial M2 (n = 65; 30.2%) com maior carga de pressão na região do segundo metatarso, modelo central-lateral (n = 57; 26.5%) com a carga de pressão dispersa por toda a região do antepé e o modelo central (n = 56; 26%) com a maior carga de pressão na região do terceiro e quarto metatarso. Este tipo de abordagem pode até ser uma alternativa para avaliação funcional dos pés, porém, ainda não determina os tipos (cavo e plano) em relação ao normal.

Podemos verificar que avaliação dos tipos de pé por meio de análise de DFM de mapas de pressões plantares tem uma aplicação clínica pois é realizada a partir de medidas dinâmicas de pressões plantares durante a fase de apoio da marcha (deformação do arco plantar), que fornecem o melhor ponto de partida para um sistema de classificação funcional de diferentes tipos de pé (Razeghi and Batt, 2002) a partir de uma análise da complexidade de forma dos pés. Além disso, apresenta a possibilidade de uma avaliação objetiva, com baixo custo e manejo operacional que pode ser implementada em *softwares* de plataformas de pressão já disponíveis no mercado.

Embora a viabilidade deste tipo de abordagem, limitações são apontadas como o maior número de indivíduos do sexo feminino, a não separação entre sexos na análise dos dados, a falta de correlações com outras medidas e a determinação de valores de referência para estabelecimento dos tipos. Estudos contemplando estes quesitos podem ser propostos com a alimentação de um banco de dados para que futuramente possam ser determinados estes valores de referência.

Além disso, estudos envolvendo análise da DFM sincronizada a outros componentes de análise biomecânica como a cinemática do ALM e pressões plantares durante a marcha poderia responder vários questionamentos quando se considera o tipo de pé em um âmbito funcional e a partir destas encontrar uma medida que possa ser definida como padrão ouro.

## **Conclusão**

A análise da DFM de imagens geradas a partir de medidas de pressões plantares em condições dinâmicas permitiu a categorização dos grupos de pés cavos tanto para os dados médios (integral e valor máximo) quanto para a série de dados da curva DFM. Já a categorização dos pés planos e normais apresentou uma proporção diferente entre os grupos ao considerar dados médios e a séries de todos os dados.

## Referências

- AKINS, J. S. et al. Test–retest reliability and descriptive statistics of geometric measurements based on plantar pressure measurements in a healthy population during gait. **Gait & Posture**. v. 35, p. 167-169, 2012.
- ARMIJO-OLIVO, S.; WARREN, S.; MAGEE, D. Intention to treat analysis, compliance, drop-outs and how to deal with missing data in clinical research: a review. **Physical Therapy Reviews**. v. 14, p. 36-49, 2009.
- BACKES, A. R.; BRUNO, O. M. Year Plant leaf identification using Multi-Scale Fractal Dimension. In **Image Analysis and Processing – ICIAP**. Berlin, Heidelberg. 2009.
- BANWELL, H. A.; MACKINTOSH, S.; THEWLIS, D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-18, 2014.
- BLASZCZYK, J. W.; KLONOWSKI, W. Postural stability and fractal dynamics. **Acta Neurobiologiae Experimentalis**. v. 61, p. 105-112, 2001.
- BRYANT, A.; SINGER, K.; TINLEY, P. Comparison of the reliability of plantar pressure measurements using the two-step and midgait methods of data collection. **Foot & Ankle International**. v. 20, p. 646-650, 1999.
- CAVANAGH, P. R.; RODGERS, M. M. The arch index: a useful measure from footprints. **Journal of Biomechanics**. v. 20, p. 547-551, 1997.
- COSTA, L. F. et al. A shape analysis framework for neuromorphometry. **Network: Computation in Neural Systems**. v. 13, p. 283-310, 2002.
- DE COCK, A. et al. A functional foot type classification with cluster analysis based on plantar pressure distribution during jogging. **Gait & Posture**. v. 23, p. 339–347, 2006.
- DHAND, N. K., KHATKAR, M. S. Statulator: An online statistical calculator. Sample size calculator for estimating a single proportion, 2014. <http://statulator.com/SampleSize/ss1P.html>
- DIERICK, F. et al. Fractal analyses reveal independent complexity and predictability of gait. **PLoS One**. v. 12, p. e0188711, 2017.
- DOHERTY, C. et al. Balance failure in single limb stance due to ankle sprain injury: an analysis of center of pressure using the fractal dimension method. **Gait & Posture**. v. 40, p. 172-176, 2014.

DOWLING, G. J. et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-13, 2014.

DUCHARME, S. W. et al. Association between stride time fractality and gait adaptability during unperturbed and asymmetric walking. **Human Movement Science**. v. 58, p. 248-259, 2018.

EVANS, A. M. et al. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 93, p. 203-213, 2003.

FOISY, A. et al. Controlling posture and vergence eye movements in quiet stance: effects of thin plantar inserts. **PLoS One**, v. 10, p. e0143693, 2015.

GIACOMOZZI, C.; LEARDINI, A.; CARAVAGGI, P. Correlates between kinematics and baropodometric measurements for an integrated in-vivo assessment of the segmental foot function in gait. **Journal of Biomechanics**. v. 47, p. 2654-2659, 2014.

HAFER, J. F. et al. Reliability of plantar pressure platforms. **Gait & Posture**. v. 38, p. 544-548, 2013.

HAUSDORFF, J. M. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. **Human Movement Science**. v. 26, p. 555-589, 2007.

HILLSTROM, H. J. et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. **Gait & Posture**. v. 37, p. 445-451, 2013.

HOLLOWKA, N. B.; WALLACE, I. J.; LIEBERMAN, D. E. Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally vs. conventionally-shod populations. **Scientific Reports**. v. 8, p. 1-12, 2018.

HU, C. W. et al. Geometrical model for characterization of foot deformity using 3D imaging. **IFAC-Papers on Line**. v. 51, p. 373-378, 2018.

IGBIGBI, P. S.; MSAMATI, B. C.; SHARIFF, M. B. Arch index as a predictor of pes planus: a comparative study of indigenous Kenyans and Tanzanians. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 95, p. 273-276, 2005.

LANGLEY, B.; CRAMP, M.; MORRISON, S. C. Clinical measures of static foot posture do not agree. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 9, p. 1-6, 2016.

LIN, C. H. et al. Image analysis system for acquiring three-dimensional contour of foot arch during balanced standing. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. v. 75, p. 147-157, 2004.

LUCAS, J. et al. Automated spatial pattern analysis for identification of foot arch height from 2D foot prints. **Frontiers in Physiology**. v. 9, p. 1216-1216, 2018.

- MAROCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics**. 7ª ed, 2018.
- MARTÍNEZ-MARTÍ, F. et al. Fractal behavior of the trajectories of the foot centers of pressure during pregnancy. **Biomedical Physics & Engineering Express**. v. 5, p. 025007, 2019.
- MCPOIL, T. G. et al. Variability of plantar pressure data. A comparison of the two-step and midgait methods. **Journal of the American Podiatric Medical Association**, v. 89, p. 495-501, 1999.
- MEYERS-RICE, B. et al. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 84, p. 499-504, 1994.
- MULLIGAN, E. P., COOK, P.G. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. **Manual Therapy**. V. 18, p. 425-430, 2013.
- NEAL, B. S. et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, p. 1-13, 2014.
- NUNES AMARAL, L. A. et al. Behavioral-independent features of complex heartbeat dynamics. **Physical Review Letters**. v. **86**, p. **6026-6029**, 2001.
- PATAKY, T. et al. An anatomically unbiased foot template for inter-subject plantar pressure evaluation. **Gait & Posture**. v. 33, p. 418-422, 2011.
- PHOTHISONOTHAI, M.; NAKAGAWA, M. Fractal-based EEG data analysis of body parts movement imagery tasks. **The Journal of Physiological Sciences**. v. 57, p. 217-226, 2007.
- PINTO, S. C. D. **Estimação da Dimensão Fractal de Imagens de SPM**. Universidade de São Carlos, São Carlos - SP, Brasil, 2001.
- RAZEGHI, M.; BATT, M. E. Foot type classification: a critical review of current methods. **Gait & Posture**. v. 15, p. 282-291, 2002.
- SI, W. et al. Gait identification using fractal analysis and support vector machine. **Soft Computing**. 2018.
- STAMBOLIEVA, K. Fractal properties of postural sway during quiet stance with changed visual and proprioceptive inputs. **The Journal of Physiological Sciences**. v. 61, p. 123-130, 2011.
- SWEDLER, D. I. et al. Validity of plantar surface visual assessment as an estimate of foot arch height. **Medicine and Science in Sports And Exercise**. v. 42, p. 375-380, 2010.

TEYHEN, D. S. et al. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. **Clinical Biomechanics**. v. 24, p. 391-396, 2009.

TORRES, R. S.; FALCAO, A. X.; COSTA, L. F. A graph-based approach for multiscale shape analysis. **Pattern Recognition**. v. 37, p. 1163-1174, 2004.

WILLIAMS, D. S.; MCCLAY, I. S. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: Reliability and Validity. **Physical Therapy**. v. 80, p. 864-871, 2000.

WONG, C. K.; WEIL, R.; DE BOER, E. Standardizing foot-type classification using arch index values. **Physiotherapy Canada**. v. 64, p. 280-283, 2012.

## 5 CONCLUSÃO

---

---

Os resultados da revisão sistemática incluiu 26 estudos para síntese qualitativa. As inconsistências em relação à variabilidade das medidas, heterogeneidade dos métodos utilizados para determinar a confiabilidade e validade e a falta de parâmetros para classificação dos tipos de pés resultou na dificuldade para determinar qual método de avaliação é válido e confiável. Contudo, baseado em valores de CCI, CAT e a presença de valores de referência disponíveis, a utilização em conjunto das medidas estáticas "Índice de Altura do Arco", "Índice de Postura do pé" e o "Índice do Arco de Staheli" podem ser sugeridas como uma opção, cada uma com suas limitações até que medidas dinâmicas possam se tornar robustas o suficiente para esta função, uma vez que ficou claro que medidas estáticas não predizem a função dinâmica do pé. Os resultados da revisão sistemática subsidiaram o desenvolvimento dos outros dois artigos. O segundo estudo teve como resultado a excelente confiabilidade teste-reteste das medidas de DFM dos mapas de pressão plantar (CCI do valor máximo 0,96 IC 95 % [0,93-0,97] e integral 0,95 [0,92-0,97]) e os resultados do terceiro artigo relacionados a determinação dos tipos de pés utilizando a análise de DFM foram promissores principalmente para identificar os pés cavos. De forma geral, o valor máximo da curva fractal para a média dos valores de pés normais foi 1,219, integral 2,567, com 85 % dos indivíduos neste grupo. Para o grupo de pés planos foi 1,147, 2,397, com 12 % dos indivíduos e para os pés cavos, 1,074, 2,144, com 3% dos indivíduos. A distribuição em relação a série de dados foi semelhante para o grupo de pés cavos (4 %) e diferente entre pés normais (76 %) e planos (20 %). Contudo, podemos observar que esta abordagem pode ser uma alternativa para o futuro quando se considera atender as lacunas existentes na literatura quando se trata de avaliação dos tipos de pés. Identificamos na revisão sistemática que isto ainda é realizado por meio de técnicas estáticas e mesmo diante da infinidade de opções ainda não há existência de uma medida padrão-ouro. Assim, ao considerar os resultados preliminares neste trabalho, a aplicação da análise de DFM em mapas de pressão plantar é confiável e pode

ser tornar uma ferramenta para este fim diante de suas potencialidades apresentadas.

# REFERÊNCIAS

---

---

AKINS, J. S. et al. Test-retest reliability and descriptive statistics of geometric measurements based on plantar pressure measurements in a healthy population during gait. **Gait & Posture**. v. 35, p. 167-169, 2012.

ARMIJO-OLIVO, S.; WARREN, S.; MAGEE, D. Intention to treat analysis, compliance, drop-outs and how to deal with missing data in clinical research: a review. **Physical Therapy Reviews**. v. 14, p. 36-49, 2009.

BACKES, A. R.; BRUNO, O. M. Year plant leaf identification using multi-scale fractal dimension. In **Image Analysis and Processing – ICIAP**. Berlin, Heidelberg. 2009.

BANWELL, H. A.; MACKINTOSH, S.; THEWLIS, D. Foot orthoses for adults with flexible pes planus: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 23, p. 1-18, 2014.

BANWELL, H. A. et al. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 11, n. 21, p. 1-13, 2018.

BARNES, A.; WHEAT, J.; MILNER, C. Association between foot type and tibial stress injuries: a systematic review. **British Journal of Sports Medicine**. v. 42, n. 2, p. 93-98, 2008.

BARRETT, E.; MCCREESH, K.; LEWIS, J. Reliability and validity of non-radiographic methods of thoracic kyphosis measurement: a systematic review. **Manual Therapy**. v. 19, n. 1, p. 10-17, 2014.

BARTON, C. J. et al. Foot and ankle characteristics in patellofemoral pain syndrome: a case control and reliability study. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 40, n. 5, p. 286-296, 2010.

BARTON, C. J. et al. Relationships between the Foot Posture Index and foot kinematics during gait in individuals with and without patellofemoral pain syndrome. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 4, n. 10, p. 1-7, 2011.

BELLET, R. N.; ADAMS, L.; MORRIS, N. R. The 6-minute walk test in outpatient cardiac rehabilitation: validity, reliability and responsiveness--a systematic review. **Physiotherapy**. v. 98, n. 4, p. 277-286, 2012.

BENEDETTI, M. G. et al. Diagnosis of flexible flatfoot in children: a systematic clinical approach. **Orthopedics**. v. 34, n. 2, p. 94, 2011.

BIALOCERKOWSKI, A.; O'SHEA, K.; PIN, T. W. Psychometric properties of outcome measures for children and adolescents with brachial plexus birth palsy:

a systematic review. **Developmental Medicine & Child Neurology**. v. 55, n. 12, p. 1075-1088, 2013.

BLASIMANN, A. et al. Intra- and interday reliability of the dynamic navicular rise, a new measure for dynamic foot function: A descriptive, cross-sectional laboratory study. **Foot (Edinburgh, Scotland)** v. 37, p. 48-53, 2018.

BLASZCZYK, J. W.; KLONOWSKI, W. Postural stability and fractal dynamics. **Acta Neurobiologiae Experimentalis**. v. 61, n. 2, p. 105-112, 2001.

BRINK, Y.; LOUW, Q. A. Clinical instruments: reliability and validity critical appraisal. **Journal of Evaluation in Clinical Practice**. v. 18, n. 6, p. 1126-1132, 2012.

BRUNO, O. M. et al. Fractal dimension applied to plant identification. **Information Sciences**. v. 178, p. 2722–2733, 2008.

BRUSHOJ, C. et al. Reliability and normative values of the foot line test: a technique to assess foot posture. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 37, n. 11, p. 703-707, 2007.

BRYANT, A.; SINGER, K.; TINLEY, P. Comparison of the reliability of plantar pressure measurements using the two-step and midgait methods of data collection. **Foot & Ankle International**. v. 20, p. 646-650, 1999.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 62, p. 56-67, 2018.

BULDT, A. K. et al. The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. **Gait & Posture**. v. 38, n. 3, p. 363-372, 2013.

BURNS, J. et al. The effect of pes cavus on foot pain and plantar pressure. **Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)**. v. 20, n. 9, p. 877-882, 2005.

BUTLER, R. J. et al. Arch height index measurement system: establishment of reliability and normative values. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 98, n. 2, p. 102-106, 2008.

CANO, S. J.; HOBART, J. C. The problem with health measurement. **Patient Preference and Adherence**. v. 5, p. 279-290, 2011.

CARAVAGGI, P. et al. Reliability of medial longitudinal arch measures for skin markers based kinematic analysis. **Journal of Biomechanics**. v. 88, p. 180-185, 2019.

CARDOSO, J. R. et al. Test-retest reliability of dynamic balance performance-based measures among adults with a unilateral lower-limb amputation. **PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation**. v. 11, p. 243-251, 2019.

CARLIN, M. Measuring the complexity of non-fractal shapes by a fractal method. **Pattern Recognition Letters**. v. 21, p. 1013–1017, 2000.

CAVANAGH, P. R.; RODGERS, M. M. The arch index: a useful measure from footprints. **Journal of Biomechanics**. v. 20, n. 5, p. 547-551, 1997.

CHEN, K. C. et al. Change in flatfoot of preschool-aged children: a 1-year follow-up study. **European Journal of Pediatrics**. v. 172, n. 2, p. 255-260, 2013.

CHOI, Y. R. et al. The diagnostic value of pedobarography. **Orthopedics**. v. 37, n. 12, p. e1063-1067, 2014.

CIMOLIN, V. et al. Fractal dimension approach in postural control of subjects with Prader-Willi Syndrome. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**. v. 8, 1-62011.

CHRISTENSEN, B. H. et al. Reliability and concurrent validity of a novel method allowing for in-shoe measurement of navicular drop. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 7, n. 12, p. 1-7, 2014.

CLARK, R. et al. Clinimetric properties of lower limb neurological impairment tests for children and young people with a neurological condition: A systematic review. **PLoS One**. v. 12, n. 7, p. e0180031, 2017.

COBB, S. C. et al. The relationship among foot posture, core and lower extremity muscle function, and postural stability. **Journal of Athletic Training**. v. 49, n. 2, p. 173-180, 2014.

CODY, E. A. et al. Correlation of talar anatomy and subtalar joint alignment on weightbearing computed tomography with radiographic flatfoot parameters. **Foot & Ankle International**. v. 37, n. 8, p. 874-881, 2016.

COHEN, L. et al. Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: a systematic review. **Scoliosis and Spinal Disorders**. v. 12, n. 30, p. 1-12, 2017.

COOK, D. A.; BECKMAN, T. J. Current concepts in validity and reliability for psychometric instruments: theory and application. **American Journal of Medicine**. v. 119, n. 2, p. 166e167-166e116, 2006.

CORNWALL, M. W.; MCPHAIL, T. G. Effect of ankle dorsiflexion range of motion on rearfoot motion during walking. **Journal of the American Podiatric Medical Association** v. 89, n. 6, p. 272-277, 1999.

CORNWALL, M. W. et al. Reliability of visual measurement of forefoot alignment. **Foot & Ankle International** v. 25, n. 10, p. 745-748, 2004.

CORNWALL, M. W. et al. Reliability of the modified Foot Posture Index. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 98, n. 1, p. 7-13, 2008.

COSTA, L. F.; BIANCHI, A. G. C. A outra dimensão: dimensão fractal. **Ciência Hoje**. 31: 40-47 p. 2002.

COSTA, L. F. et al. A shape analysis framework for neuromorphometry. **Network: Computation in Neural Systems**. v. 13, n. 3, p. 283-310, 2002.

DE CESAR NETTO, C. et al. Correlation of clinical evaluation and radiographic hindfoot alignment in stage ii adult-acquired flatfoot deformity. **Foot & Ankle International**. v. 39, n. 7, p. 771-779, 2018.

De COCK, A. et al. A functional foot type classification with cluster analysis based on plantar pressure distribution during jogging. **Gait & Posture**. v. 23, p. 339–347, 2006.

DHAND, N. K., KHATKAR, M. S. Statulator: An online statistical calculator. Sample size calculator for estimating a single proportion, 2014. <http://statulator.com/SampleSize/ss1P.html>

DIERICK, F. et al. Fractal analyses reveal independent complexity and predictability of gait. **PLoS One**. v. 12, n. 11, p. e0188711, 2017.

DOHERTY, C. et al. Balance failure in single limb stance due to ankle sprain injury: an analysis of center of pressure using the fractal dimension method. **Gait & Posture**. v. 40, n. 1, p. 172-176, 2014.

DOYLE, T. L.; NEWTON, R. U.; BURNETT, A. F. Reliability of traditional and fractal dimension measures of quiet stance center of pressure in young, healthy people. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**. v. 86, p. 2034-2040, 2005.

DOWLING, G. J. et al. Dynamic foot function as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 53, p. 1-13, 2014.

DUCHARME, S. W. et al. Association between stride time fractality and gait adaptability during unperturbed and asymmetric walking. **Human Movement Science**. v. 58, p. 248-259, 2018.

EICHELBERGER, P. et al. A minimal markerset for three-dimensional foot function assessment: measuring navicular drop and drift under dynamic conditions. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 11, n. 15, p. 1-10, 2018.

EMERSON, C.W., LAM, N.N., QUATTROCHI, D.A. Multi-scale fractal analysis of image texture and patterns. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.65, p. 51–62, 1999.

EVANS, A. M. et al. Reliability of the foot posture index and traditional measures of foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 93, n. 3, p. 203-213, 2003.

EVANS, A. M.; ROME, K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. **European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine**. v. 47, n. 1, p. 69-89, 2011.

FALCONER, K. J. **Fractal Geometry: Mathematical and Applications**. Wiley, New York, 2003.

FASCIONE, J. M.; CREWS, R. T.; WROBEL, J. S. Dynamic footprint measurement collection technique and intrarater reliability: ink mat, paper pedography, and electronic pedography. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 102, n. 2, p. 130-138, 2012.

FAUL, F. et al. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behavior Research Methods**. v. 39, p. 175-191, 2007.

FLEISS, J. L.; LEVIN, B.; MYUNGHEE, C. P. **Statistical Methods for Rates and Proportions**. 3rd. New Jersey: Wiley, 2003.

FOISY, A. et al. Controlling posture and vergence eye movements in quiet stance: effects of thin plantar inserts. **PLoS One**. v. 10, n. 12, p. e0143693, 2015.

FRASER, J. J. et al. Reliability of ankle-foot morphology, mobility, strength, and motor performance measures. **International Journal of Sports Physical Therapy**. v. 12, n. 7, p. 1134-1149, 2017.

GABEL, C. P. et al. Lower limb functional index: development and clinimetric properties. **Physical Therapy**. v. 92, n. 1, p. 98-110, 2012.

GHASEMI, M. S. et al. The effect of foot hyperpronation on spine alignment in standing position. **Medical Journal of the Islamic Republic of Iran**. v. 30, p. 466-466, 2016.

GIACOMOZZI, C.; LEARDINI, A.; CARAVAGGI, P. Correlates between kinematics and baropodometric measurements for an integrated in-vivo assessment of the segmental foot function in gait. **Journal of Biomechanics**. v. 47, n. 11, p. 2654-2659, 2014.

GUTIERREZ-VILAHU, L. et al. Reliability and validity of the footprint assessment method using photoshop cs5 software. **Journal of the American Podiatric Medical Association** v. 105, n. 3, p. 226-232, 2015.

HAFER, J. F. et al. Reliability of plantar pressure platforms. **Gait & Posture**. v. 38, p. 544-548, 2013.

HAIGHT, H. J. et al. Measuring standing hindfoot alignment: reliability of goniometric and visual measurements. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation** v. 86, n. 3, p. 571-575, 2005.

HALABCHI, F. et al. Pediatric flexible flatfoot; clinical aspects and algorithmic approach. **Iranian Journal of Pediatrics**. v. 23, n. 3, p. 247-260, 2013.

HAUSDORFF, J. M. Gait dynamics, fractals and falls: finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. **Human Movement Science**. v. 26, n. 4, p. 555-589, 2007.

HAUSDORFF, J. M. et al. Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. **Journal of Applied Physiology**. v. 78, n. 1, p. 349-358, 1995.

HILLSTROM, H. J. et al. Foot type biomechanics part 1: structure and function of the asymptomatic foot. **Gait & Posture**. v. 37, n. 3, p. 445-451, 2013.

HOLLANDER, K. et al. The relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics: A systematic review and meta-analysis. **Gait & Posture**. v. 72, p. 109-122, 2019.

HOLLOWKA, N. B.; WALLACE, I. J.; LIEBERMAN, D. E. Foot strength and stiffness are related to footwear use in a comparison of minimally vs. conventionally-shod populations. **Scientific Reports**. v. 8, n. 3679, p. 1-12, 2018.

HOUGLUM, P. A. **Exercícios Terapêuticos para Lesões Musculoesqueléticas**. 3. Barueri - São Paulo: Manole, 2015.

HU, C. W. et al. Geometrical model for characterization of foot deformity using 3D imaging. **IFAC-Papers on Line**. v. 51, p. 373-378, 2018.

IGBIGBI, P. S.; MSAMATI, B. C.; SHARIFF, M. B. Arch index as a predictor of pes planus: a comparative study of indigenous Kenyans and Tanzanians. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 95, p. 273-276, 2005.

JANE MACKENZIE, A.; ROME, K.; EVANS, A. M. The efficacy of nonsurgical interventions for pediatric flexible flat foot: a critical review. **Journal of Pediatric Orthopaedics**. v. 32, n. 8, p. 830-834, 2012.

JARVIS, H. L. et al. Inter-assessor reliability of practice based biomechanical assessment of the foot and ankle. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 5, p. 14, 2012.

JETTE, D. U. et al. Evidence-based practice: beliefs, attitudes, knowledge, and behaviors of physical therapists. **Physical Therapy**. v. 83, n. 9, p. 786-805, 2003.

KANATLI, U.; AKTAS, E.; YETKIN, H. Do corrective shoes improve the development of the medial longitudinal arch in children with flexible flat feet? **Journal of Orthopaedic Science**. v. 21, n. 5, p. 662-666, 2016.

KANE, K. Foot orthoses for pediatric flexible flatfoot: evidence and current practices among Canadian physical therapists. **Pediatric Physical Therapy**. v. 27, n. 1, p. 53-59, 2015.

KESZEI, A. P.; NOVAK, M.; STREINER, D. L. Introduction to health measurement scales. **Journal of Psychosomatic Research**. v. 68, n. 4, p. 319-323, 2010.

KIM, H. W. P., J.; KANG, E.S.; PARK H.W. . The pediatric flatfoot: its differential diagnosis and management. **Journal of the Korean Society of Foot Surgery** v. 5, n. 1, p. 91-101, 2001.

KIMBERLIN, C. L.; WINTERSTEIN, A. G. Validity and reliability of measurement instruments used in research. **American Journal of Health-System Pharmacy**. v. 65, n. 23, p. 2276-2284, 2008.

KING, M. T. A point of minimal important difference (MID): a critique of terminology and methods. **Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research**. v. 11, p. 171-184, 2011.

KOHLIS-GATZOULIS, J. et al. Tibialis posterior dysfunction: a common and treatable cause of adult acquired flatfoot. **British Medical Journal**. v. 329, n. 7478, p. 1328-1333, 2004.

KOTTNER, J. et al. Guidelines for reporting reliability and agreement studies (GRRAS) were proposed. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 64, n. 1, p. 96-106, 2011.

LANGLEY, B.; CRAMP, M.; MORRISON, S. C. Clinical measures of static foot posture do not agree. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 9, n. 45, p. 1-6, 2016.

LEUNG, A. K.; MAK, A. F.; EVANS, J. H. Biomedical gait evaluation of the immediate effect of orthotic treatment for flexible flat foot. **Prosthetics and Orthotics International**. v. 22, n. 1, p. 25-34, 1998.

LEVINGER, P. et al. A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. **Gait & Posture**. v. 32, n. 4, p. 519-523, 2010.

LICHTWARK, G. A.; KELLY, L. A. Ahead of the curve in the evolution of human feet. *Nature*. 579, p. 31-32, 2020.

LIN, C. H. et al. Image analysis system for acquiring three-dimensional contour of foot arch during balanced standing. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**. v. 75, n. 2, p. 147-157, 2004.

LUCAS, J. et al. Automated spatial pattern analysis for identification of foot arch height from 2d foot prints. **Frontiers in Physiology**. v. 9, p. 1216-1216, 2018.

LUHMANN, S. J.; RICH, M. M.; SCHOENECKER, P. L. Painful idiopathic rigid flatfoot in children and adolescents. **Foot & Ankle International**. v. 21, n. 1, p. 59-66, 2000.

MAROCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics**. 7ª ed, 2018.

MARTÍNEZ-MARTÍ, F. et al. Fractal behavior of the trajectories of the foot centers of pressure during pregnancy. **Biomedical Physics & Engineering Express**. v. 5, n. 2, p. 025007, 2019.

MCCAHILL, J. et al. Validation of the foot profile score. **Gait & Posture**. v. 71, p. 120-125, 2019.

MCPOIL, T. G. et al. Arch height change during sit-to-stand: an alternative for the navicular drop test. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 1, p. 3-3, 2008.

MCPOIL, T. G. et al. Effect of using truncated versus total foot length to calculate the arch height ratio. **Foot (Edinburgh, Scotland)**. v. 18, n. 4, p. 220-227, 2008.

MCPOIL, T. G. et al. The use of a static measure to predict foot posture at midstance during walking. **Foot (Edinburgh, Scotland)** v. 28, p. 47-53, 2016.

MCPOIL, T. G. et al. Variability of plantar pressure data. A comparison of the two-step and midgait methods. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 89, 495-501, 1999.

MCPOIL, T. G.; HUNT, G. C. Evaluation and management of foot and ankle disorders: present problems and future directions. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 21, n. 6, p. 381-388, 1995.

MEI-DAN, O. et al. The medial longitudinal arch as a possible risk factor for ankle sprains: a prospective study in 83 female infantry recruits. **Foot & Ankle International**. v. 26, n. 2, p. 180-183, 2005.

MENTIPLAY, B. F. et al. Reliability and validity of the Microsoft Kinect for evaluating static foot posture. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 6, n. 14, p. 1-10, 2013.

MENZ, H. B.; MORRIS, M. E. Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. **Gait & Posture**. v. 24, n. 2, p. 229-236, 2006.

MEYERS-RICE, B. et al. Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 84, p. 499-504, 1994.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PloS Medicine**. v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

MOKKINK, L. B. et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. **Journal of Clinical Epidemiology**. v. 63, n. 7, p. 737-745, 2010.

MOSCA, V. S. Flexible flatfoot in children and adolescents. **Journal of Children's Orthopaedics**. v. 4, n. 2, p. 107-121, 2010.

MOTANTASUT, P. et al. Reliability of novice and experienced physiotherapists using the normalized navicular height truncated and the foot posture index-6 for classifying static foot posture in adults. **Journal of Physical Therapy Science**. v. 31, n. 4, p. 392-397, 2019.

MULLIGAN, E. P.; COOK, P. G. Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. **Manual Therapy**. v. 18, p. 425-430, 2013.

MURLEY, G. S. et al. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: a systematic review. **Gait & Posture**. v. 29, n. 2, p. 172-187, 2009.

MURPHY, D. F.; CONNOLLY, D. A.; BEYNNON, B. D. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. **British Journal of Sports Medicine**. v. 37, n. 1, p. 13-29, 2003.

NEAL, B. S. et al. Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Foot and Ankle Research**. v. 7, n. 55, p. 1-13, 2014.

NUNES AMARAL, L. A. et al. Behavioral-independent features of complex heartbeat dynamics. **Physical Review Letters**. v. 86, n. 26 Pt 1, p. 6026-6029, 2001.

ORGANIZATION, W. H. **ICD-10 Diseases of the musculoskeletal system and connective tissue**. 2016.

PATAKY, T. et al. An anatomically unbiased foot template for inter-subject plantar pressure evaluation. **Gait & Posture**. v. 33, n. 3, p. 418-422, 2011.

PFEIFFER, M. et al. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. **Pediatrics**. v. 118, n. 2, p. 634-639, 2006.

PHOTHISONOTHAI, M.; NAKAGAWA, M. Fractal-based EEG data analysis of body parts movement imagery tasks. **The Journal of Physiological Sciences**. v. 57, n. 4, p. 217-226, 2007.

PICCIANO, A. M.; ROWLANDS, M. S.; WORRELL, T. Reliability of open and closed kinetic chain subtalar joint neutral positions and navicular drop test. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. v. 18, n. 4, p. 553-558, 1993.

PINTO, S. C. D. **Estimação da Dimensão Fractal de Imagens de SPM**. 2001. 133 (Master of Science: Applied Physics). Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos - SP, Brazil.

PITTMAN, J.; BAKAS, T. Measurement and instrument design. **Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing**. v. 37, n. 6, p. 603-607, 2010.

PLANT, M. J. et al. Prediction of radiographic damage in hands and feet in rheumatoid arthritis by clinical evaluation. **Clinical Rheumatology**. v. 13, n. 3, p. 487-491, 1994.

PLOTZE, R. O. et al. Leaf shape analysis using the multiscale minkowski fractal dimension, a new morphometric method: a study with passiflora (passifloraceae). **Canadian Journal of Botany**. v. 83, p. 287–301, 2005.

POHL, M. B.; FARR, L. A comparison of foot arch measurement reliability using both digital photography and calliper methods. **Journal of Foot and Ankle Research** v. 3, n. 14, p. 1-6, 2010.

PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. **Foundations of Clinical Research: Applications to Practice**. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2015.

QIU, H.; XIONG, S. Center-of-pressure based postural sway measures: Reliability and ability to distinguish between age, fear of falling and fall history. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 47, p. 37-44, 2015.

RATHINAM, C. et al. Observational gait assessment tools in paediatrics--a systematic review. **Gait & Posture**. v. 40, n. 2, p. 279-285, 2014.

RAZEGHI, M.; BATT, M. E. Foot type classification: a critical review of current methods. **Gait & Posture**. v. 15, n. 3, p. 282-291, 2002.

REDMOND, A. C.; CROSBIE, J.; OUVRIER, R. A. Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: the Foot Posture Index. **Clinical Biomechanics**. v. 21, n. 1, p. 89-98, 2006.

RHODES, D. W. et al. Comparison of leg length inequality measurement methods as estimators of the femur head height difference on standing X-ray. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics** v. 18, n. 7, p. 448-452, 1995.

ROACH, K. E. Measurement of health Outcomes : Reliability, validity and responsiveness. **Journal of Prosthetics and Orthotics**. v. 18, n. 6, p. 8-12, 2006.

ROBERTS, P.; PRIEST, H. Reliability and validity in research. **Nursing Standard** v. 20, n. 44, p. 41-45, 2006.

ROOT, M. L.; ORIEN, W. P.; WEED, J. H. **Biomechanical Examination of the Foot. Clinical Biomechanics**. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corporation, 1971.

\_\_\_\_\_. **Normal and Abnormal Function of the Foot: Clinical Biomechanics**. Los Angeles: Clinical Biomechanics Corporation, 1977.

ROSS, M. Use of the tissue stress model as a paradigm for developing an examination and management plan for a patient with plantar fasciitis. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 92, n. 9, p. 499-506, 2002.

RUGELJ, D. et al. Reliability of modified sensory interaction test as measured with force platform. **Medical & Biological Engineering & Computing**. v. 53, p. 525-534, 2015.

SABINO, G. S. et al. Análise da confiabilidade do teste clínico de queda do navicular. **Fisioterapia em Movimento**. v. 25, p. 301-309, 2012.

SCHARFBILLIG, R. et al. Criterion validation of four criteria of the foot posture index. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 94, n. 1, p. 31-38, 2004.

SCHOLZ, T. et al. Reliability and correlation of static and dynamic foot arch measurement in a healthy pediatric population. **Journal of the American Podiatric Medical Association** v. 107, n. 5, p. 419-427, 2017.

SHIBUYA, N. et al. Characteristics of adult flatfoot in the United States. **Journal of Foot and Ankle Surgery: Official Journal of the European Society of Foot and Ankle Surgeons**. v. 49, n. 4, p. 363-368, 2010.

SI, W. et al. Gait identification using fractal analysis and support vector machine. **Soft Computing**. 2018.

SOMERS, D. L. et al. The influence of experience on the reliability of goniometric and visual measurement of forefoot position. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy** v. 25, n. 3, p. 192-202, 1997.

STAHELI, L. T. Planovalgus foot deformity. Current status. **Journal of the American Podiatric Medical Association**. v. 89, n. 2, p. 94-99, 1999.

STAHOLI, L. T.; CHEW, D. E.; CORBETT, M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. **The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume.** v. 69, n. 3, p. 426-428, 1987.

STAMBOLIEVA, K. Fractal properties of postural sway during quiet stance with changed visual and proprioceptive inputs. **The Journal of Physiological Sciences.** v. 61, n. 2, p. 123-130, 2011.

SWEDLER, D. I. et al. Validity of plantar surface visual assessment as an estimate of foot arch height. **Medicine and Science in Sports And Exercise.** v. 42, n. 2, p. 375-380, 2010.

TERADA, M.; WITTEWER, A. M.; GRIBBLE, P. A. Intra-rater and inter-rater reliability of the five image-based criteria of the foot posture index-6. **International Journal of Sports Physical Therapy.** v. 9, n. 2, p. 187-194, 2014.

TERWEE, C. B. et al. Quality criteria were proposed for measurement properties of health status questionnaires. **Journal of Clinical Epidemiology.** v. 60, n. 1, p. 34-42, 2007.

TEYHEN, D. S. et al. Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. **Clinical Biomechanics.** v. 24, n. 4, p. 391-396, 2009.

TONG, J. W.; KONG, P. W. Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy.** v. 43, n. 10, p. 700-714, 2013.

TORRES, R. S.; FALCAO, A. X.; COSTA, L. F. A graph-based approach for multiscale shape analysis. **Pattern Recognition.** v. 37, p. 1163-1174, 2004.

TRICOT, C. **Curves and Fractal Dimension.** Springer-Verlag, New York, 1995.

UDEN, H.; SCHARFBILLIG, R.; CAUSBY, R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. **Journal of Foot and Ankle Research.** v. 10, n. 37, p. 1-17, 2017.

VAN DER WORP, M. P. et al. Reproducibility of and sex differences in common orthopaedic ankle and foot tests in runners. **BMC Musculoskeletal Disorders.** v. 15, n. 171, p. 1-13, 2014.

WEINER-OGILVIE, S.; ROME, K. The reliability of three techniques for measuring foot position. **Journal of the American Podiatric Medical Association.** v. 88, n. 8, p. 381-386, 1998.

WILLIAMS, D. S.; MCCLAY, I. S.; HAMILL, J. Arch structure and injury patterns in runners. **Clinical Biomechanics.** v. 16, n. 4, p. 341-347, 2001.

WILLIAMS, D. S.; MCCLAY, I. S. Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: Reliability and Validity. **Physical Therapy**. v. 80, n. 9, p. 864-871, 2000.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 19, p. 231-249, 2005.

WONG, C. K.; WEIL, R.; DE BOER, E. Standardizing foot-type classification using arch index values. **Physiotherapy Canada**. v. 64, n. 3, p. 280-283, 2012.

ZUIL-ESCOBAR, J. C. et al. Medial longitudinal arch: accuracy, reliability, and correlation between navicular drop test and footprint parameters. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**. v. 41, n. 8, p. 672-679, 2018.

ZUIL-ESCOBAR, J. C. et al. Evaluating the medial longitudinal arch of the foot: correlations, reliability, and accuracy in people with a low arch. **Physical Therapy**. v. 99, n. 3, p. 364-372, 2019.

# ANEXOS

Anexo 1 Ferramenta de avaliação crítica (*Critical Appraisal Tool - CAT*) para estudos de confiabilidade e validade de métodos clínicos objetivos.

	Item	
1	<i>If human subjects were used, did the authors give a detailed description of the sample of subjects used to perform the (index) test?</i>	<i>Validity and reliability studies</i>
2	<i>Did the authors clarify the qualification, or competence of the rater(s) who performed the (index) test?</i>	<i>Validity and reliability studies</i>
3	<i>Was the reference standart explained?</i>	<i>Validity studies</i>
4	<i>If interrater reliability was tested, were raters blinded to the findings of othres raters?</i>	<i>Reliability studies</i>
5	<i>If intrarater reliability was tested, were raters blinded to their own prior findings of the test under evaluation?</i>	<i>Reliability studies</i>
6	<i>Was the order of examination varied?</i>	<i>Reliability studies</i>
7	<i>If human subjects were used, was the time period between the reference standart ans the index test short enough to be reasonably sure that the target condition did not change between the two tests?</i>	<i>Validity studies</i>
8	<i>Was the stability (or theoretical stability) of the variable being measured taken into account when determining the suitability of the time interval between repeated measures?</i>	<i>Reliability studies</i>
9	<i>Was the reference standart independent of the index test?</i>	<i>Validity studies</i>
10	<i>Was the execution of the (index) test decribed in sufficient detail to permit its replication?</i>	<i>Validity and reliability studies</i>
11	<i>Was the execution of the reference standart described in sufficient detail to permit its replication?</i>	<i>Validity studies</i>
12	<i>Were withdrawals form the study explained?</i>	<i>Validity and reliability studies</i>
13	<i>Were the statistical methods appropriate for the purpose of the study?</i>	<i>Validity and reliability studies</i>

Anexo 2 Resultados de Confiabilidade dos estudos - *Critical Appraisal Tool (CAT)*.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1 Validity and reliability studies	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
2 Validity and reliability studies	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	NA	Y	Y	
3 Validity studies	Y	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	NA	Y	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	
4 Reliability studies	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	NA	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	NA	Y	NA	NA	NA	
5 Reliability studies	Y	NA	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	NA	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	NA	NA
6 Reliability studies	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	NA	NA
7 Validity studies	Y	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	NA	Y	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	N	NA	NA	Y
8 Reliability studies	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	NA
9 Validity studies	Y	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	NA	Y	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	NA	NA	Y

Anexo 2 Resultados de Confiabilidade dos estudos - *Critical Appraisal Tool (CAT)* (continuação).

10	Validity and reliability studies	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
11	Validity studies	Y	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	NA	Y	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Y	NA	NA	Y	
12	Validity and reliability studies	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	
13	Validity and reliability studies	N	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	
	Y	8	6	6	6	6	11	7	9	8	5	12	5	9	6	9	6	6	7	8	6	7	5	9	5	6	7
	N	5	2	3	3	3	2	2	0	5	3	1	3	4	2	0	3	3	2	1	3	2	3	4	2	0	2
	%	61,53	75	66,66	66,66	66,66	84,61	77,77	100	61,53	62,5	92,30	62,5	69,23	75	100	66,66	66,66	77,77	88,88	66,66	77,77	62,5	69,23	71,42	100	77,77

NA: Not applied; Y: Yes; N: No 1: Gutierrez-Vilahu et al. (2015), 2: Cornwall et al. (2004), 3: Weiner-Ogilvie; Rome (1998), 4: McPoil et al. (2016), 5: Van der Orp, et al. (2014), 6: McPoil; Ford et al. (2008), 7: Cesar Netto et al. (2018), 8: Fraser et al. (2017), 9: Mentiplay et al. (2013), 10: Pohl; Farr (2010), 11: McPoil; Cornwall et al. (2008), 12: Brushoj et al. (2007), 13: Williams; MacClay (2000), 14: Sabino et al. (2012), 15: Somers et al. (1997), 16: Cornwall et al. (2008), 17: Terada; Wittwer (2014), 18: Haight et al (2005), 19: Motantasut et al. (2019), 20: Zuil-Escalbar et al. (2019), 21: Zuil-Escalbar et al. (2018), 22: Fascione; Crews; Wrobel (2012), 23: Christensen et al. (2014), 24: Blasimann et al. (2018), 25: Eichelberger et al. (2018), 26: McCahill et al. (2019).

## Anexo 3 Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa.



Comitê de Ética em  
Pesquisa Envolvendo  
Serres Humanos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** AVALIAÇÃO DA FORMA E BIOMECÂNICA DO PÉ EM INDIVÍDUOS COM E SEM LESÕES NO TORNOZELO

**Pesquisador:** Aline Cristina Carrasco

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 90238618.8.0000.5231

**Instituição Proponente:** CEFE - PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA UEMUEL

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.695.054

#### Apresentação do Projeto:

**Resumo:**

**Introdução:** Os múltiplos segmentos que compõem o complexo tornozelo-pé, juntamente com o arco longitudinal medial do pé funcionam sinergicamente para transmitir e atenuar a força durante a propulsão, transmitir informações aferentes importantes e realizar um ajuste motor para uma marcha eficiente. Porém, aspectos das formas dos pés podem estar relacionados ao maior risco de lesões nos membros inferiores, como as lesões no tornozelo. **Objetivo:** Avaliar a forma e a biomecânica do pé em indivíduos com e sem lesões no tornozelo. **Método:** Estudo transversal com características descritivas e analíticas. Participarão inicialmente um total de 1000 voluntários que serão avaliados por meio de uma ficha de avaliação contendo dados pessoais, exame físico e informações sobre lesões para os casos de indivíduos com entorse ou instabilidade do tornozelo. Em

seguida, serão submetidos à avaliação antropométrica da postura do pé (Índice de postura do pé (IPP-6) e Índice da Altura do Arco (IAA)) e avaliação baropodométrica para coleta das formas dos pés. Para os indivíduos com entorse ou instabilidade do tornozelo (n=54, divididos em grupo controle (n=18), grupo entorse lateral de tornozelo (n=18) e grupo instabilidade crônica (n=18)) serão aplicados os questionários FAAM, CAIT e logo depois submetidos a uma avaliação isocinética dos pés e de cinemática da marcha. Serão utilizadas rotinas de análises de dados por meio do software Matlab 6.5. e a análise estatística utilizando SPSS 22.0.

## Anexo 3 Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (Continuação).



COMITÊ DE ÉTICA EM  
PESQUISA ENVOLVENDO  
SERES HUMANOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 2.696.054

### Metodologia Proposta:

Um total de 1000 voluntários serão recrutados, por conveniência por meio de contato pessoal, telefônico e da mídia local, para participarem da pesquisa. Estes serão discentes da UEL. As coletas serão realizadas no período contraturno das aulas nos dias em que já estiverem no campos. Desta amostra inicial, 54 participantes serão selecionados para constituírem três grupos: indivíduos controle (grupo CO, n=18), entorse lateral do tornozelo (grupo ELT, n=18) e instabilidade crônica do tornozelo (grupo ICT, n=18) para realizarem as avaliações cinemática e isocinética. Para serem incluídos no estudo, os participantes (n=1000) deverão apresentar as seguintes características: indivíduos adultos (entre 18 e 65 anos), de ambos os sexos e saudáveis. Serão submetidos à avaliação antropométrica da postura do pé (Índice de postura do pé (IPP-6) e Índice da Altura do Arco (IAA)) e avaliação baropodométrica para coleta das formas dos pés. Para o indivíduos com lesões no tornozelo serão aplicados os questionários FAAM, CAIT e submetidos a uma avaliação isocinética dos pés e de cinemática da marcha. Na ficha de avaliação serão coletados informações: gênero, medidas antropométricas: do pé, do comprimento do membro inferior, massa corporal, altura, índice de massa corpórea e histórico de lesões. O IPP-6 será realizado com o avaliado em posição ortostática e por meio de uma avaliação visual, parâmetros da postura do pé serão anotados. Será coletado o comprimento total do pé, o comprimento do pé truncado (do calcânhar à primeira articulação metatarsofalangeana) e a altura do dorso a 50% comprimento total do pé em ambas as condições sentada e de pé para o cálculo do IAA. Será utilizado uma régua e nível com bolha adaptado (MULLIGAN; COOK, 2013).

### Objetivo da Pesquisa:

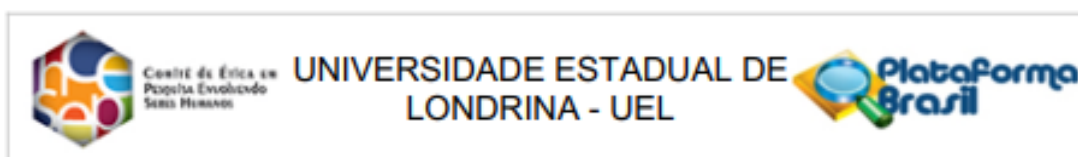
#### Objetivo Primário:

Avaliar a forma e a biomecânica do pé em indivíduos com e sem lesões no tornozelo.

#### Objetivo Secundário:

- Analisar as formas dos pés pela análise de dimensão fractal entre indivíduos com ELT, ICT e saudáveis.
- Realizar o agrupamento a partir de características semelhantes das formas dos pés e propor uma nova classificação.
- Propor uma nova ferramenta de avaliação baseada na dimensão fractal durante condições estáticas e dinâmicas de imagens da postura do pé.
- Analisar as diferenças dos padrões de coordenação na marcha, no tornozelo e pé entre indivíduos com ELT, ICT e saudáveis;
- Comparar diferenças na variabilidade da coordenação no complexo tornozelo-pé na marcha entre indivíduos com ELT, ICT

## Anexo 3 Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (Continuação).



Continuação do Parecer: 2.695.054

e saudáveis;• Verificar as diferenças nas amplitudes articulares no tornozelo e pé entre indivíduos com ELT, ICT e saudáveis;• Quantificar os déficits no desempenho muscular (eversão/inversão) do tornozelo entre indivíduos com

ELT, ICT e saudáveis.

### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

#### **Riscos:**

Os riscos são mínimos. Porém, durante a avaliação isocinética, os participantes poderão fadigar e solicitar que o teste seja interrompido e esporadicamente poderão apresentar dor muscular tardia após a realização das avaliações. De qualquer forma, caso seja necessário atendimento médico, o participante será acompanhado pela pesquisadora.

#### **Benefícios:**

Considerando que pesquisas com medidas diferentes das utilizadas atualmente devem ser propostas, já que estas não tiveram sucesso em detectar a relação entre as lesões e as alterações da função do pé (DOWLING et al., 2014), a análise das dimensões fractais das formas do pé revela-se promissora diante da sua utilidade. Em relação à análise biomecânica do pé, avaliar a coordenação deste seguimento considerando a presença ou não de lesões e os tipos de pés, poderá identificar padrões de anormalidade do movimento durante a marcha que podem servir de parâmetro para prevenção de lesões e para orientação do tratamento das disfunções do complexo tornozelo-pé.

Após a verificação dos déficits do desempenho muscular para os casos de participantes com lesões no tornozelo, será possível realizar o planejamento do tratamento e orientá-los para a necessidade de ganho de força muscular e reequilíbrio da musculatura eversora e inversora do pé, proporcionando maior estabilidade do tornozelo e consequentemente evitando-se o reaparecimento de novas lesões. Além disso, após o término do estudo, será realizado e entregue um laudo individualizado constando os resultados das avaliações (tipo de pé, informações sobre a marcha, coordenação e força muscular) para cada participante, além de serem orientados sobre correções para os pés não neutros e de como prevenir lesões.

### **Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

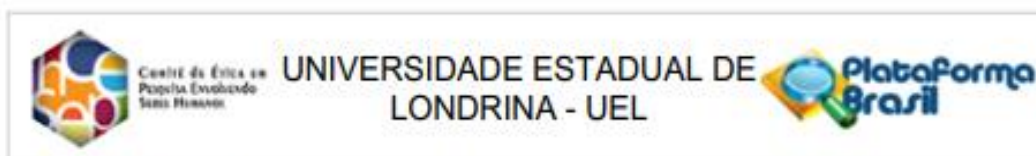
Trata-se de pesquisa relevante.

### **Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Os seguintes termos foram apresentados:

1. Folha de Rosto para Pesquisa com Seres Humanos;

### Anexo 3 Parecer Consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa (Continuação).



Continuação do Parecer: 2.606.054

2. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido em forma de convite.
3. Verificou-se que o projeto será realizado no laboratório do orientador dispensando assim a necessidade de autorização da unidade coparticipante.

**Recomendações:**

Não há.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Após análise do projeto verificou-se que o mesmo encontra-se em condição de aprovação perante a forma e documentação com que o foi apresentado, não havendo qualquer comprometimento ético no entendimento do avaliador.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Prezado (a) Pesquisador (a),

Este é seu parecer final de aprovação, vinculado ao Comitê de Ética em Pesquisas Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina. É sua responsabilidade imprimi-lo para apresentação aos órgãos e/ou instituições pertinentes.

Coordenação CEP/UEL.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1141511.pdf	23/05/2018 20:30:55		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETOCEPUELAlineLeandro2.docx	23/05/2018 20:29:57	Aline Cristina Carrasco	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Apendice1TermoConsentimento.docx	23/05/2018 20:28:52	Aline Cristina Carrasco	Aceito
Folha de Rosto	folharostoassinada.pdf	23/05/2018 20:26:53	Aline Cristina Carrasco	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

## **APÊNDICES**

## Apêndice 1 Termo de consentimento livre e esclarecido.

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo a participar, como voluntário, da pesquisa intitulada **“Avaliação da forma e biomecânica do pé em indivíduos com e sem lesões no tornozelo”**, a ser realizada no **Laboratório de Biomecânica Aplicada do Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina**. O objetivo da pesquisa será avaliar a biomecânica e as formas dos tipos de pés em indivíduos com lesões no tornozelo e de indivíduos controle durante a marcha.

Sua participação é muito importante e ela se dará da seguinte forma, os participantes realizarão um protocolo de avaliação que incluirá o preenchimento de uma ficha de avaliação, para coleta de dados pessoais, um exame físico, para coleta de dados antropométricos, aplicação de dois questionários funcionais de tornozelo (caso apresente histórico de lesão). Após esta parte inicial, você será submetido a uma avaliação de medidas do pé por meio de uma régua adaptada e em seguida a um exame para coleta das formas dos pés (se trata de realizar uma pisada sobre uma plataforma). No caso de possuir lesão no tornozelo (entorse lateral de tornozelo ou instabilidade crônica de tornozelo) também será convidado a realizar posteriormente uma avaliação cinemática durante uma caminhada. Para isso será necessário vestir uma bermuda apropriada para que marcadores refletivos (pequenas esferas) em processos anatômicos dos membros inferiores por meio de palpação sejam fixados com fita dupla face. A partir disso, você será filmado por câmeras especiais que capturam especificamente a posição dos marcadores enquanto anda. Após, será encaminhado a realizar um pequeno aquecimento numa esteira durante alguns minutos em velocidade confortável e então submetidos a uma avaliação isocinética. Esta constará de ficar sentado em um aparelho específico no qual será preso por faixas para manter a fixação e então será solicitado a realizar movimentos com os pés.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa (ou para esta e futuras pesquisas) e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. As imagens a serem obtidas não serão registradas por câmeras convencionais, mas por um sistema optoeletrônico que registrará apenas a posição do marcador refletivo. Tais imagens serão analisadas somente pelos pesquisadores.

## Apêndice 1 Termo de consentimento livre e esclarecido (Continuação).

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado(a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação. Os benefícios esperados são a identificação e classificação dos formatos dos pés, das alterações cinemáticas, de padrões da coordenação e desempenho muscular nos casos de lesões do tornozelo para que assim se possam entender melhor os mecanismos relacionados a esse tipo de lesão e propor uma nova ferramenta de avaliação dos tipos de pés.

Quanto aos riscos, estes são mínimos. Porém, durante a avaliação isocinética, alguns participantes poderão fadigar e solicitarem que o teste seja interrompido e esporadicamente poderão apresentar dor muscular tardia após a realização das avaliações. De qualquer forma, caso seja necessário atendimento médico, o participante será acompanhado pela pesquisadora.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar (Aline Cristina Carrasco, Rua Carmela Dutra, 225, apto 801 C Morumbi, Londrina – Pr, telefones: fixo: (43) 3361-4293 e celular (42) 99999 9660, email:alineccarrasco@gmail.com ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Mediante a aceitação em participar da pesquisa de livre e espontânea vontade e depois de ter lido ou ouvido este termo este será preenchido em duas vias e assinado pelo participante e pelo entrevistador para que produza seus efeitos éticos, jurídicos e legais. O entrevistado e a equipe ficarão com uma cópia deste termo de consentimento.

Londrina, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 201\_\_.

---

**Pesquisador Responsável**

Aline Cristina Carrasco, RG: 6581008-5

Eu, \_\_\_\_\_, tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar voluntariamente da pesquisa descrita acima.

Residente na Rua: \_\_\_\_\_ Bairro \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_ CEP \_\_\_\_\_

## Apêndice 2 Ficha de Avaliação.

Avaliador:		Data da avaliação: / /		
<b>1- INFORMAÇÕES PESSOAIS:</b>				
Nome:		RG:		
Idade:          anos	Gênero:      Masculino ( ) Feminino( )			
Data de nascimento: / /	Profissão:	Etnia:		
Estado civil:	Telefone:			
Endereço:				
Cidade:		Estado:		
Pratica Atividade Física? ( ) Sim ( ) Não				
Qual?				
Número de vezes por semana?				
Qual a duração por treino?				
Número do calçado:				
Apresentou lesão nos membros inferiores ou coluna nos últimos 6 meses?()Sim()Não				
Qual?				
Tem o costume de andar descalço? ( ) Sim ( ) Não				
Qual o tipo de calçado você usa a maior parte do dia?				
<b>2- EXAME FÍSICO:</b>				
Teste-Retestes? ( ) Sim ( ) Não				
Massa Corporal:          kg	Altura:                  cm	IMC: kg/m <sup>2</sup>		
Membro Inferior Dominante	( ) Direito	( ) Esquerdo		
Comprimento do MI cm				
IRA				
Medidas do pé	Sentado		Em pé	
	Direito	Esquerdo	Direito	Esquerdo
Comprimento total (CT) cm				
Comprimento 50% (CT) cm				
Comprimento Truncado cm				
Altura dorso a 50% (CT) cm				
IAA				
Obs:				