

Validade concorrente e confiabilidade do aplicativo android Angulus para medição do ângulo do retropé (RFA) e do ângulo do arco longitudinal medial (MLAA)

The concurrent validity and reliability of the Angulus android application for measuring rear foot angle (RFA) and medial longitudinal arch angle (MLAA)

Maitri Chaturvedi¹ 
Priya Kamboj² 

Maneesh Rai Arora³ 
Dharm Pani Pandey⁴ 
Aniket Singroli⁵ 

¹Contato para correspondência. Sardar Bhagwan Singh University (Dehradun). Uttarakhand, Índia. dr.maitrichaturvedi@gmail.com

^{2,3,5}Sardar Bhagwan Singh University (Dehradun). Uttarakhand, Índia.

⁴Manipal Hospitals (Dwarka). Delhi, Índia.

RESUMO | INTRODUÇÃO: Métodos para a avaliação detalhada da estrutura do pé são essenciais no exame físico de todos os pacientes. O ângulo do arco longitudinal medial (MLAA) e o ângulo do retropé (RFA) são duas das medidas mais amplamente utilizadas, e são tipicamente medidos com um goniômetro universal (UG). No entanto, a reprodutibilidade dos resultados entre examinadores continua sendo uma preocupação. Aplicativos baseados em smartphones — como o Angulus — fornecem medições de ângulos automatizadas e baseadas em imagens, podendo se revelar uma alternativa prática. **MATERIAIS E MÉTODOS:** O estudo visa verificar a reprodutibilidade dos resultados e a validade concorrente do aplicativo Angulus. Um total de 144 voluntários, com idades entre 18 e 25 anos, foram convidados a participar do estudo por meio de divulgação verbal no ambulatório da Maharana Pratap Sports College e Sardar Bhagwan Singh University, Dehradun. Após a triagem dos participantes de acordo com os critérios de seleção, 100 indivíduos recrutados por amostragem de conveniência foram distribuídos uniformemente por gênero, e o estudo foi conduzido ao longo de quatro meses. Três avaliadores mediram o RFA e o MLAA bilateralmente em todos os participantes, utilizando um goniômetro e o aplicativo Angulus, conforme atribuído seguindo um procedimento padronizado. Para verificar a validade concorrente e a confiabilidade intraavaliador, três leituras foram realizadas pelo avaliador 1 em dias alternados ou em horários distintos no mesmo dia. Para medir a confiabilidade inter-avaliador, tanto o segundo quanto o terceiro avaliador realizaram suas leituras de forma independente em dias diferentes, utilizando apenas o aplicativo Angulus. Os dados foram verificados e a normalidade das medidas de RFA e MLAA foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Como os dados apresentaram distribuição aproximadamente normal, o coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar a validade e a confiabilidade. Uma análise de Bland-Altman avaliou a concordância entre o goniômetro universal e o aplicativo Angulus. **RESULTADOS:** Um total de 100 participantes concluíram o estudo, e nenhum evento adverso foi registrado. O primeiro avaliador registrou 3 leituras para o RFA e o MLAA, e a média dessas leituras foi calculada para análise posterior. As leituras do goniômetro foram correlacionadas com as do aplicativo Angulus por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Karl Pearson, para avaliar a validade concorrente do aplicativo, o que resultou em valores de $r = 0,73$ e $0,84$, respectivamente, considerados bons. Os 2º e 3º avaliadores calcularam os valores de RFA e de MLAA para todos os indivíduos, utilizando apenas o aplicativo Angulus. Essas leituras foram utilizadas para calcular a confiabilidade interavaliador do aplicativo Angulus. Os valores de ICC foram de $0,71$ para o RFA e de $0,88$ para o MLAA. Os valores mais altos das leituras de RFA e MLAA obtidos pelo 1º avaliador, utilizando o aplicativo Angulus, foram utilizados para calcular a confiabilidade intraavaliador do aplicativo, que se mostrou excelente, variando de $0,97$ para o RFA e de $0,96$ para o MLAA. **CONCLUSÃO:** O aplicativo Angulus demonstra validade concorrente e confiabilidade significativas e tem potencial para substituir efetivamente os métodos manuais nas medições de RFA e MLAA. **CATEGORIA:** Biomecânica, Medidas do Pé, Medidas Articulares, Saúde Digital, Tecnologia da Saúde, Fisioterapia Desportiva, Medicina Física e Reabilitação.

PALAVRAS-CHAVE: Amplitude de Movimento Articular. Pé. Ângulo do Retropé. Ângulo do Arco Longitudinal Medial. Aplicativos Móveis. Reprodutibilidade dos Testes. Validação de Tecnologia.

ABSTRACT | INTRODUCTION: Methods for a detailed assessment of foot structure are essential for the physical examination of all patients. The medial longitudinal arch angle (MLAA) and rear foot angle (RFA) are two of the most widely used measures and are typically measured with a universal goniometer (UG). But the reproducibility of results among examiners remains a concern. Smartphone-based applications such as Angulus provide automated, image-based angle measurements and may prove to be a practical alternative. **MATERIALS & METHODS:** The study aims to find the reproducibility of results and the concurrent validity of the Angulus app. A total of 144 subjects aged 18 to 25 years were invited to participate in the study by word of mouth at the Maharana Pratap Sports College Outpatient Department (OPD) and Sardar Bhagwan Singh University, Dehradun. After screening participants according to selection criteria, 100 subjects recruited via convenience sampling were evenly distributed by gender, and the study was conducted over four months. Three assessors measured RFA and MLAA bilaterally for all participants using a goniometer and the Angulus app, as assigned following a standardized procedure. To check the concurrent validity and intra-rater reliability, three readings were taken by assessor 1 on alternate days or at different times on the same day. To measure inter-rater reliability, both the 2nd and 3rd assessors took their readings independently on different days, using the Angulus app only. The data were checked, and the normality of RFA and MLAA measurements was assessed using the Shapiro-Wilk test. Because the data were approximately normal, Pearson's correlation coefficient was used to assess validity and reliability. A Bland-Altman analysis assessed agreement between the universal goniometer and the Angulus application. **RESULTS:** A total of 100 participants completed the study, and no adverse events were noted. The first assessor recorded three readings for RFA and MLAA, and the mean of these three readings was calculated for further analysis. The readings of the goniometer were correlated with the readings of the Angulus app by calculating Karl Pearson's correlation coefficient to assess the concurrent validity of the Angulus app, which yielded values of ($r = 0.73$ & 0.84), respectively, considered good. Assessor 2nd and 3rd calculated RFA and MLAA values for all the subjects using the Angulus app only. These readings were used to calculate the Inter-rater reliability of the Angulus app. ICC values were 0.71 for RFA and 0.88 for MLAA. The highest value of RFA and MLAA readings taken by assessor 1 using the Angulus app were used to calculate the Intra-rater reliability of the Angulus app, which came out to be excellent, ranging from 0.97 for RFA and 0.96 for MLAA. **CONCLUSION:** The Angulus application demonstrates significant concurrent validity and reliability and has the potential to effectively replace manual methods for RFA and MLAA measurements. **CATEGORY:** Biomechanics, Foot Measurements, Joint Measurements, Digital Health, Healthcare Technology, Sports Physiotherapy, Physical Medicine and Rehabilitation.

KEYWORDS: Range of Motion, Articular. Foot. Rear Foot Angle. Medial Longitudinal Arch Angle. Mobile Applications. Reproducibility of Results. Technology Validation.

1. Introdução

Correr, pular ou até mesmo caminhar requer um comportamento mecânico adequado do membro inferior, o qual depende do alinhamento anatômico do complexo pé-tornozelo¹. Consequentemente, uma avaliação detalhada da estrutura do pé é essencial e deve ser realizada no exame físico de todos os pacientes. O ângulo do arco longitudinal medial (MLAA), descrito pela primeira vez por Dahle et al., foi considerado altamente confiável e preditivo da postura estática e dinâmica do pé durante a marcha². O MLAA é definido operacionalmente como o ângulo formado por duas linhas: uma que passa pelo ponto médio do maléolo medial e pela tuberosidade do navicular, e outra que passa pelo ponto médio da face medial da cabeça do primeiro metatarso e pela tuberosidade do navicular. O ápice do MLAA é a tuberosidade do navicular³.

Além disso, um exame detalhado do pé e do tornozelo revela a relação entre várias posições estáticas do retropé, o que auxilia na compreensão do padrão de movimento dessa região durante a marcha. O ângulo do retropé (RFA) é calculado para avaliar a posição estática do retropé. O ângulo do retropé é o ângulo de descarga de peso formado entre a bissecção do tendão de Aquiles e a face posterior do calcanhar, sendo utilizado clinicamente para determinar o valgo do calcanhar⁴.

Até o momento, o goniômetro universal (UG) é o dispositivo individual mais comumente utilizado na prática clínica para medir o MLAA e o RFA, funcionando por meio do alinhamento das hastes do dispositivo às linhas de intersecção e aos pontos de referência no pé do paciente. Embora seja de fácil utilização e de baixo custo, estudos demonstraram que as medidas goniométricas não são reprodutíveis entre diferentes examinadores⁵.

O uso de aplicativos baseados em computador (apps) e a introdução de novas tecnologias começaram a mudar a forma como gerenciamos os pacientes na terapia de reabilitação. De acordo com estudos recentes, aplicativos para smartphones podem avaliar as posições articulares com precisão igual ou superior à do UG. No entanto, à medida que a tecnologia avança, torna-se necessário avaliar a utilidade e a acurácia das ferramentas para fundamentar os julgamentos clínicos. A validade e a confiabilidade desses sistemas baseados em smartphones devem ser estabelecidas antes de serem utilizados em ambientes de saúde.

Em um estudo de Muralidaran et al., o Goniômetro Digital HALO demonstrou-se uma alternativa válida e confiável ao goniômetro universal⁶. Jones et al. mostraram que o aplicativo de goniômetro simples para iPhone apresentou excelente confiabilidade e validade concorrente quando comparado ao GU na avaliação da amplitude de movimento (ADM) do joelho durante o afundo⁷. Um estudo semelhante, realizado por Özçelep et al., estabeleceu o Angulus como uma ferramenta válida e confiável para medir a ADM do punho e da articulação metacarpofalângica (MCF)⁸. O Angulus (Yonaga LLC)⁹ é um aplicativo para smartphone que calcula ângulos articulares a partir de imagens ou vídeos capturados com a câmera integrada do dispositivo. Ao traçar linhas e pontos na imagem, o usuário pode utilizar o programa para determinar o ângulo articular. Este programa requer conhecimentos básicos de fotografia. Como resultado, acadêmicos e clínicos interessados em medir a ADM ou diferentes ângulos posturais podem utilizar o programa. Portanto, nosso estudo teve como objetivo avaliar a confiabilidade e a validade concorrente do aplicativo Angulus para a medição do MLAA e do RFA.

2. Materiais e métodos

2.1 Participantes

Um total de 144 indivíduos, com idades entre 18 e 25 anos, foi convidado a participar do estudo por meio de divulgação verbal no ambulatório da Maharana Pratap Sports College e na Universidade Sardar Bhagwan Singh, em Dehradun. Um total de 100 sujeitos, distribuídos uniformemente por gênero, foi

recrutado para o estudo por amostragem por conveniência, visto que o tamanho da amostra ($n = 98$) foi estimado no software G Power (3.1.9.7), com poder de estudo de 90%, alfa de 5% e tamanho de efeito de 0,5. Foram excluídos do estudo indivíduos com dor nos membros inferiores ou com diagnóstico de quaisquer condições ortopédicas ou neurológicas. Após a triagem, os sujeitos recrutados foram informados sobre os procedimentos do estudo e a frequência das visitas para coleta de dados, e o consentimento livre e esclarecido foi obtido por escrito. Um número de código foi então atribuído a cada participante, disponível apenas ao avaliador principal. De acordo com o código, cada participante recebeu uma data e um horário para comparecer ao Laboratório de Pesquisa do Departamento de Fisioterapia da Universidade Sardar Bhagwan Singh, em Dehradun, para a coleta de dados. Os voluntários foram instruídos a usar roupas confortáveis e a vestir ou levar um par de shorts para facilitar a coleta. O estudo foi concluído em quatro meses.

2.2 Procedimento

Três avaliadores, com experiências distintas, mediram o RFA e o MLAA bilateralmente em todos os participantes, utilizando um goniômetro e o aplicativo Angulus. Dos três avaliadores, a primeira é a própria autora principal, com dez anos de experiência profissional, que realizou as leituras para verificar a validade concorrente e a confiabilidade intraexaminador; o segundo é um par com três anos de experiência profissional; e o terceiro avaliador é um estudante de pós-graduação em Fisioterapia com mais de um ano de experiência clínica — estes últimos mediram a confiabilidade interexaminador. Tanto o segundo quanto o terceiro avaliador realizaram suas leituras de forma independente em dias diferentes, utilizando apenas o aplicativo Angulus. Os avaliadores garantiram a marcação adequada dos pontos de referência anatômicos e a manutenção da qualidade da imagem, assegurando a precisão ideal. Um goniômetro universal de 360° e a versão 5.0.20 do aplicativo Android Angulus, desenvolvido por Yonaga⁹, foram utilizados neste estudo. Para a medição com o aplicativo Angulus, o telefone foi posicionado verticalmente no solo, com a câmera a 30 cm do pé. Este posicionamento foi estabelecido para manter a uniformidade nas medições realizadas por todos os avaliadores.

Para avaliar a validade concorrente e a confiabilidade intraexaminador, três leituras foram realizadas pelo avaliador 1 em dias alternados ou em horários distintos no mesmo dia. O primeiro avaliador realizou as medições com o goniômetro, seguidas de medições com o aplicativo Angulus. Para medir o MLAA, os sujeitos permaneceram em apoio unipodal. Simultaneamente, o avaliador apalpou e traçou uma linha que unia o centro do maléolo medial, o osso navicular e a cabeça do primeiro metatarso. Na goniometria, o fulcro foi mantido no osso navicular, com a haste móvel na cabeça do primeiro metatarso e a haste fixa no maléolo medial. Para a medição no Angulus, o telefone foi posicionado verticalmente no solo com a câmera a 30 cm do pé. Foram realizadas três leituras no total, tanto pelo goniômetro quanto pelo aplicativo. Para medir o RFA, os sujeitos permaneceram em apoio bipodal. Quatro pontos diferentes foram identificados na face posterior do pé, incluindo a inserção do tendão de Aquiles, o centro posterior de ambos os maléolos, um ponto a 15 cm acima do segundo ponto, na região da panturrilha, e o ponto médio do calcâneo (posteriormente). Duas linhas distintas foram traçadas: uma unindo o ponto de inserção do tendão de Aquiles ao ponto 15 cm acima do ponto maleolar, e outra, o ponto médio do calcâneo ao ponto de inserção do tendão de Aquiles. Para as medições goniométricas, o fulcro foi posicionado no ponto médio maleolar, a haste fixa, perpendicular ao braço, e a haste móvel, alinhada ao longo do tendão de Aquiles (15 cm acima dos maléolos).

Para medir a confiabilidade interexaminador, tanto o segundo quanto o terceiro avaliador realizaram suas leituras de forma independente em dias diferentes. Eles calcularam os valores de RFA e de MLAA para todos os sujeitos utilizando apenas o aplicativo Angulus. Conforme mencionado anteriormente, a configuração da câmera permaneceu uniforme em todas as leituras.

2.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análises estatísticas no software IBM SPSS Statistics (versão 16.0, IBM Corp., Armonk, NY, EUA). O nível de significância foi estabelecido em $p < 0,05$. Antes de realizar as análises inferenciais, o conjunto de dados foi examinado quanto à completude e avaliado quanto à presença de valores anômalos. A normalidade das medidas de RFA e MLAA de ambos os instrumentos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e pela inspeção visual dos histogramas e dos gráficos Q-Q. Como os dados apresentaram uma distribuição aproximadamente normal, métodos estatísticos paramétricos foram empregados. O coeficiente de correlação de Karl Pearson foi calculado para avaliar a validade concorrente e a confiabilidade intraexaminador. A análise de Bland-Altman foi realizada após esta etapa para avaliar a concordância entre o goniômetro universal e o aplicativo Angulus.

3. Resultados

Um total de 100 participantes concluiu o estudo, e nenhum evento adverso foi registrado. Cada participante foi submetido a uma avaliação bilateral, totalizando 200 avaliações. A tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas dos participantes. A idade média dos participantes foi semelhante entre homens e mulheres. A distribuição por gênero foi igual em toda a amostra. Quanto às medidas de desfecho, o aplicativo Angulus apresentou valores médios de RFA e MLAA estreitamente alinhados aos obtidos com o goniômetro universal.

Tabela 1. Estatística descritiva das características dos participantes e dos desfechos das medições

Variáveis	Idade		Gênero		RFA		MLAA		
	Masculino	Feminino	Masculino	Feminino	Goniômetro	Angulus	Goniômetro	Angulus	
Média ± DP/n(%)	20,39 ± 2,15	20,46 ± 2,12	20,32 ± 2,21	50 (50%)	50 (50%)	5,8 ± 1,0	8,7 ± 1,1	140,3 ± 6,0	138,6 ± 6,0
Amplitude						3,0- 8,7	5,4- 13,7	123,7-155,3	121,9- 152,5

Os valores de idade, RFA e MLAA são apresentados como média ± desvio padrão, enquanto a distribuição por gênero é expressa em número (em porcentagem). RFA - Ângulo do Retropé. MLAA - Ângulo do Arco Longitudinal Medial.

O teste de Shapiro-Wilk indicou desvio estatisticamente significativo da normalidade para o RFA (goniômetro: $W = 0,964$, $p < 0,001$; Angulus: $W = 0,965$, $p < 0,001$) e para o MLAA (goniômetro: $W = 0,984$, $p = 0,026$; Angulus: $W = 0,984$, $p = 0,025$). No entanto, a inspeção visual dos histogramas e dos gráficos Q-Q (Fig. 1-4) indicou uma distribuição aproximadamente normal; portanto, análises paramétricas foram consideradas adequadas.

Figura 1. Gráfico Q-Q para as medições do RFA com goniômetro

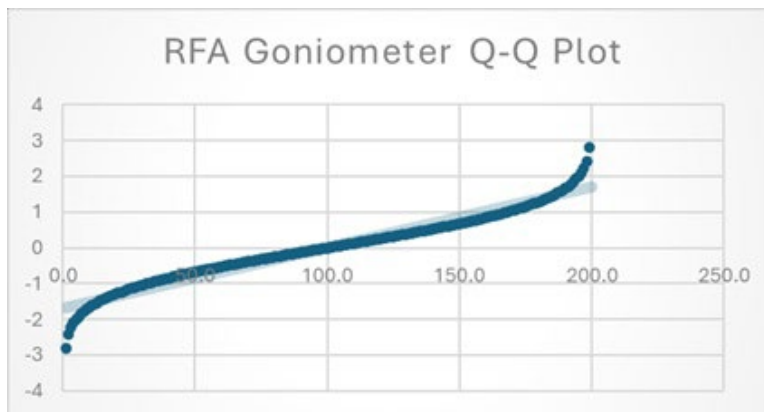


Figura 2. Gráfico Q-Q para as medições do RFA com o aplicativo Angulus

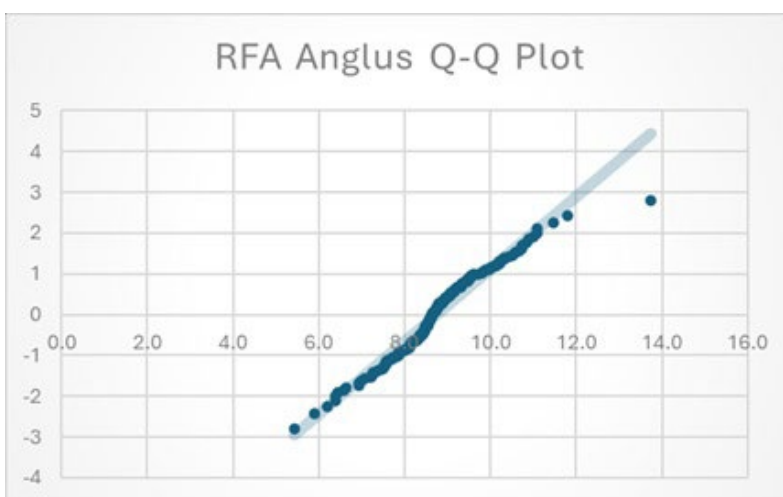


Figura 3. Gráfico Q-Q para as medições do MLAA com goniômetro

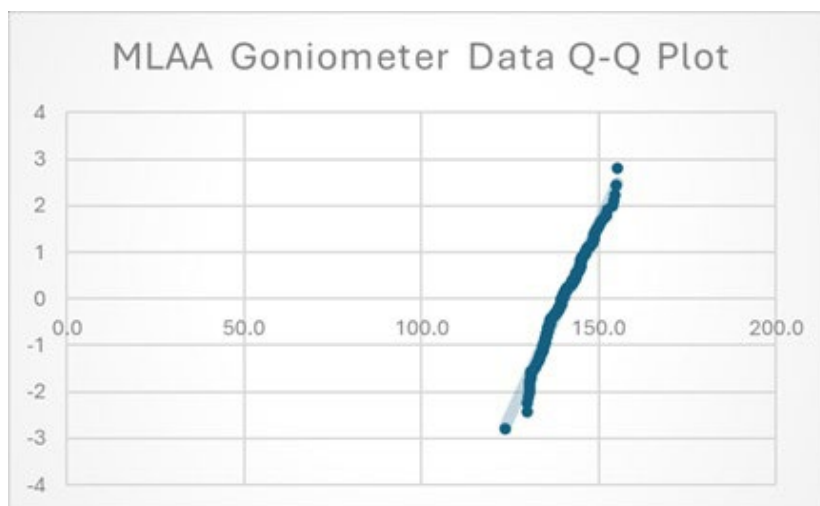
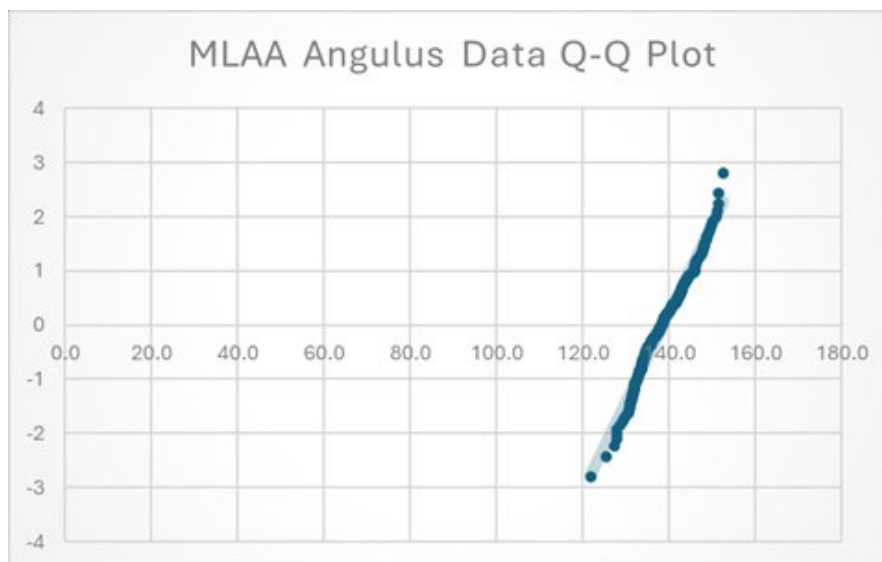


Figura 4. Gráfico Q-Q para as medições do MLAA com o aplicativo Angulus



O Avaliador 1 registrou três medições do RFA e do MLAA com o goniômetro universal e o aplicativo Angulus. A média das três tentativas foi utilizada para a análise de validade.

3.1 Validade concorrente

A validade concorrente do aplicativo Angulus foi avaliada por meio da correlação entre suas medições e as do goniômetro universal, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Valores de RFA e MLAA obtidos com o goniômetro e o aplicativo Angulus realizados pelo Avaliador 1

Avaliador 1	MÍN-MÁX	Média ± D.P.	r*
RFA (G)	3-9	5,84±1,07	0,73
RFA (A)	5,1-14,7	8,75±1,16	
MLA (G)	122-158	140,26±6,07	0,84
MLA (A)	120,4-157,9	138,6±6,15	

*r - Coeficiente de correlação de Karl Pearson; D.P.- Desvio padrão.

Uma forte correlação positiva foi observada entre os dois instrumentos para o RFA ($r = 0,73$) e para o MLAA ($r = 0,84$). Esses achados indicam uma boa validade concorrente do aplicativo Angulus para a medição dos ângulos da postura do pé.

3.2 Confiabilidade interexaminador do aplicativo Angulus

A confiabilidade interexaminador foi avaliada utilizando medições obtidas de forma independente pelo Avaliador 2 e pelo Avaliador 3 com o aplicativo Angulus, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3. Medições de RFA e MLAA utilizando o aplicativo Angulus pelo Avaliador 2 e Avaliador 3 para confiabilidade interexaminador OU confiabilidade interexaminador do aplicativo Angulus

	Aplicativo Angulus	MÍN-MÁX	Média ± D.P.	CCI*
RFA	Avaliador 2	5,2- 15,1	9,015±1,35	0,71
	Avaliador 3	6,4- 16,7	9,25±1,68	
MLAA	Avaliador 2	117,5- 163,2	139,07±8,93	0,88
	Avaliador 3	121,1- 165,1	139,9 ±8,587	

*CCI - Coeficiente de Correlação Intraclasse; D.P.- Desvio padrão.

Os resultados do CCI foram 0,71 (boa confiabilidade) para o RFA e 0,88 (boa a excelente confiabilidade) para o MLAA.

3.3 Confiabilidade intraexaminador do aplicativo Angulus

A confiabilidade intraexaminador do Avaliador 1 foi calculada com base em medições repetidas no Angulus, conforme detalhado na tabela 4. Os valores de CCI indicaram excelente confiabilidade intraexaminador para o RFA (CCI = 0,97) e para o MLAA (CCI = 0,96).

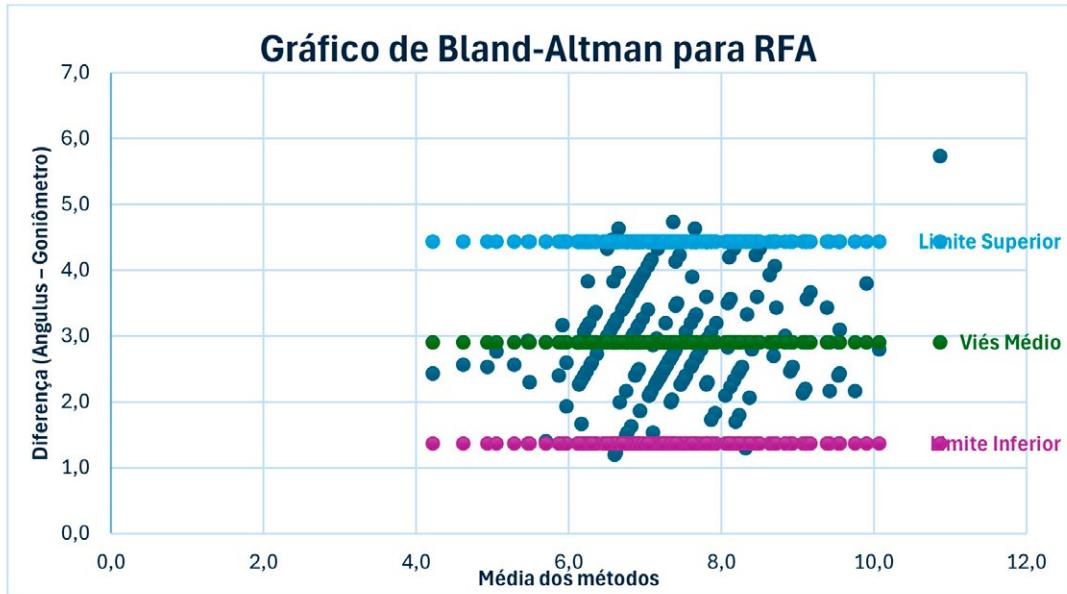
Tabela 4. Medições de RFA e MLAA utilizando o aplicativo Angulus pelo Avaliador 1 para confiabilidade intraexaminador do aplicativo Angulus

	Aplicativo Angulus	MÍN-MÁX	Média ± D.P.	CCI*
Avaliador 1	RFA 1ª	5,3- 13,8	8,76± 1,14	0,97
	RFA 2ª	5,4- 14,7	8,75± 1,162	
	MLA 1ª	120,4- 152,4	138,54± 6,25	0,96
	MLA 2ª	122,1- 153,4	138,66± 6,11	

*CCI - Coeficiente de Correlação Intraclasse; D.P.- Desvio padrão.

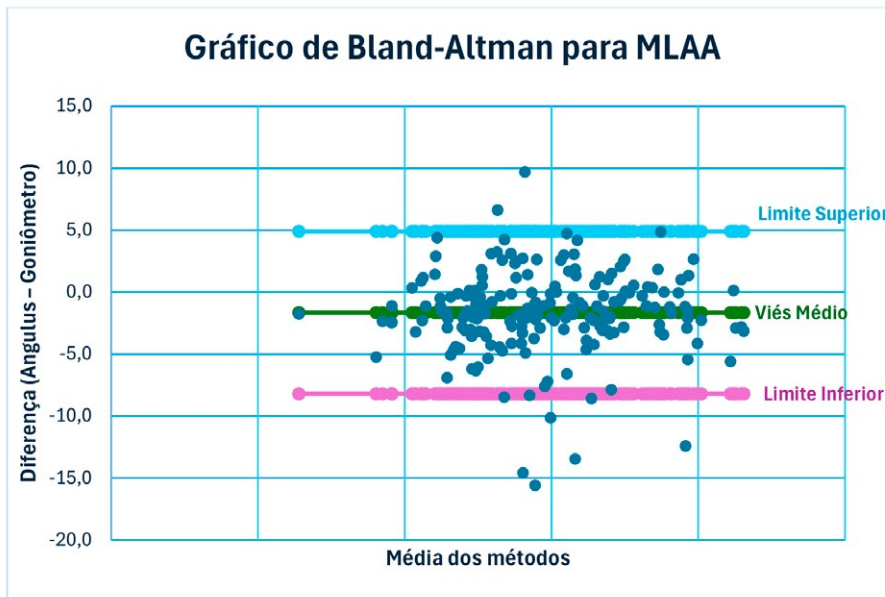
Uma análise de Bland-Altman foi realizada para avaliar a concordância entre o goniômetro universal e o aplicativo Angulus. Para o RFA, o viés médio foi de 2,90°, com limites de concordância de 95% de 1,37° a 4,44° (Figura 5).

Figura 5. Gráfico de Bland-Altman para RFA



Para o MLAA, o viés médio foi de $-1,65^\circ$, com limites de concordância de 95% variando de $-8,19^\circ$ a $4,90^\circ$ (Figura 6).

Figura 6. Gráfico de Bland-Altman para MLAA



A inspeção visual dos gráficos demonstrou concordância aceitável entre os dois métodos de medição.

4. Discussão

O estudo teve como objetivo avaliar a validade concorrente do aplicativo Angulus e do goniômetro universal, bem como determinar a confiabilidade interexaminador e intraexaminador para medir o RFA e o MLAA em indivíduos jovens saudáveis. Os achados da análise estatística mostram uma validade concorrente de boa a forte ($r = 0,73$ para RFA; $r = 0,84$ para MLAA) e confiabilidade de boa a excelente (CCI interexaminador = $0,71-0,88$; CCI intraexaminador = $0,96-0,97$).

A análise de Bland-Altman mostrou um viés médio de $2,90^\circ$ para o RFA e de $-1,65^\circ$ para o MLAA, indicando que o aplicativo Angulus registrou valores ligeiramente superiores aos do goniômetro para o RFA e apresentou uma leve tendência a registrar valores inferiores para o MLAA. O limite de concordância foi definido em 95% ($1,37^\circ$ a $4,44^\circ$), o que é relativamente estreito, sugerindo uma concordância aceitável entre os dois métodos de medição. Esses resultados reforçam a validade concorrente do aplicativo Angulus para a avaliação da postura do pé, indicando que o aplicativo produz medições comparáveis e consistentes com as obtidas por meio do goniômetro universal em jovens saudáveis.

Esses achados podem ser corroborados por estudos prévios que validaram aplicativos goniométricos para smartphones. Porkodi et al. avaliaram a confiabilidade do Angulus para a flexão e a extensão do punho em indivíduos saudáveis. Relataram coeficientes de correlação de Pearson excepcionalmente altos ($r > 0,9$) e CCIs superiores a 0,9. Este estudo demonstrou excelente confiabilidade intraexaminador (0,96). No entanto, nosso estudo encontrou apenas uma validade concorrente moderada do RFA ($r = 0,73$), em comparação com a relação muito forte ($r > 0,9$) observada nas medições de punho. Essa diferença provavelmente se deve à maior complexidade anatômica do retropé e aos desafios na palpação de marcos ósseos pequenos, como o calcâneo, em comparação com os marcos mais acessíveis do punho¹⁰.

Mitchell et al., em concordância com nosso estudo, constataram que aplicativos baseados em fotografia são superiores, pois o avaliador recebe um registro das medições e a visualização dos marcos é facilitada pelo método fotográfico. No entanto, nosso estudo incluiu avaliadores novatos e experientes, o que nos permite concluir que a interface do Angulus é mais amigável para o usuário, inclusive para avaliadores iniciantes¹¹. Ferriero et al. reforçam ainda mais as vantagens das aplicações baseadas em fotos em relação aos métodos tradicionais. Seu estudo validou o aplicativo "DrGoniometer" para medições do ângulo do joelho, relatando correlações interexaminador e intraexaminador superiores a 0,958, o que demonstra que as câmeras integradas aos smartphones superaram efetivamente essas barreiras. Ao fornecer funcionalidades semelhantes às de um computador em

um único dispositivo (ou seja, um telefone celular), aplicativos como o Angulus e o DrGoniometer otimizam o processo de medição sem comprometer a integridade do diagnóstico¹².

A identificação precisa de marcos anatômicos e o posicionamento padronizado da câmera são críticos para a avaliação confiável da postura do pé, o que pode ter afetado as variações observadas em nosso estudo ao medir o RFA. Os valores de confiabilidade obtidos sugerem que, quando procedimentos padronizados são adotados, a fotogrametria por smartphone pode fornecer medições estáveis tanto do RFA quanto do MLAA em populações saudáveis.

A confiabilidade interexaminador do aplicativo Angulus variou de boa a excelente. O CCI interexaminador foi ligeiramente inferior ao RFA em comparação ao MLAA, o que pode indicar maior dificuldade técnica para identificar os marcos posteriores do calcâneo entre examinadores. Já a excelente confiabilidade intraexaminador indica que as medições repetidas pelo mesmo examinador com o Angulus são estáveis, favorecendo o monitoramento longitudinal de pacientes.

O recurso de cálculo automático de ângulos do aplicativo Angulus provavelmente reduz erros aritméticos e de leitura frequentemente associados à goniometria manual. Isso pode explicar, em parte, a alta consistência intraexaminador observada. Esses fatores podem ter contribuído para o leve viés de medição observado na análise de Bland-Altman e para a pequena variabilidade na confiabilidade interexaminador no presente estudo. No entanto, permanecem fontes potenciais de erro de medição, como o posicionamento inadequado do smartphone durante a captura da imagem, variação na distância entre a câmera e o sujeito, imprecisões na marcação de pontos de referência e variabilidade na resolução da imagem. A palpação cuidadosa e a marcação prévia dos marcos anatômicos podem ajudar a minimizar esses erros.

É necessária uma maior padronização metodológica quanto à distância ideal da câmera, à altura, ao ângulo de visão e à resolução mínima da imagem, para aumentar a usabilidade clínica. O desenvolvimento de diretrizes fotogramétricas mais claras pode melhorar a consistência entre examinadores e ampliar a confiabilidade clínica.

5. Limitações do estudo

Diversas limitações devem ser consideradas na interpretação dos achados deste estudo. A amostra contou apenas com jovens saudáveis, o que pode limitar a generalização para pacientes com alterações biomecânicas do pé decorrentes de deformidades, dor ou edema. A ausência de variabilidade patológica pode ter elevado as estimativas de confiabilidade, o que foi impulsionado pelo viés de amostragem restrita.

Embora a normalidade tenha sido avaliada e estatísticas paramétricas apropriadas tenham sido aplicadas, a análise de correlação isolada não confirma a concordância total entre os métodos. Durante a análise de Bland-Altman, o viés residual proporcional não pode ser eliminado por completo. Além disso, o delineamento transversal limita a possibilidade de inferir a responsividade ou a sensibilidade à mudança ao longo do tempo, o que é importante para o monitoramento clínico longitudinal.

Apesar dessas limitações, os achados sustentam o aplicativo Angulus como uma alternativa prática e econômica ao goniômetro universal para medir o RFA e o MLAA em indivíduos saudáveis, quando se adotam protocolos padronizados. O recurso de registro fotográfico também pode oferecer benefícios adicionais para a documentação clínica e a telereabilitação.

6. Conclusão

Os resultados demonstraram uma forte correlação com a goniometria universal e confiabilidade intraexaminador de boa a excelente. O aplicativo Angulus pode servir como uma ferramenta útil para a medição clínica de RFA e de MLAA, oferecendo uma alternativa ao goniômetro universal na prática da fisioterapia.

Considerações éticas

O Comitê de Ética Institucional (Institutional Review Board - IRB) da Sardar Bhagwan Singh University revisou a proposta de pesquisa enviada, conforme as diretrizes do Conselho Indiano de Pesquisa Médica (Indian Council of Medical Research - ICMR). O IRB aprovou, unanimemente, a proposta, garantindo os direitos, a segurança e o bem-estar dos participantes. IRB no SBSU/PhD/2021/PT-IRB/202.

Contribuições dos autores

Os autores declararam ter feito contribuições substanciais ao trabalho, em termos da concepção ou do desenho da pesquisa; da aquisição, análise ou interpretação de dados para o trabalho; e da redação ou revisão crítica de conteúdo intelectual relevante. Todos os autores aprovaram a versão final a ser publicada e concordaram em assumir a responsabilidade pública por todos os aspectos do estudo.

Conflitos de interesses

Nenhum conflito financeiro, legal ou político envolvendo terceiros (governo, empresas e fundações privadas, etc.) foi declarado em nenhum aspecto do trabalho submetido (incluindo, mas não se limitando a subvenções e financiamentos, participação em conselho consultivo, desenho de estudo, preparação de manuscrito, análise estatística, etc.).

Indexadores

A *Revista Pesquisa em Fisioterapia* é indexada no [DOAJ](#), [EBSCO](#), [LILACS](#) e [Scopus](#).



Referências

1. Mendonça LM, Bittencourt NFN, Amaral GM, Diniz LS, Souza TR, Fonseca ST. A quick and reliable procedure for assessing foot alignment in athletes. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(5):405-10. <https://doi.org/10.7547/1030405>
2. Dahle LK, Mueller MJ, Delitto A, Diamond JE. Visual assessment of foot type and relationship of foot type to lower extremity injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1991;14(2):70-4. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.1991.14.2.70>
3. McPoil TG, Cornwall MW. Prediction of dynamic foot posture during running using the longitudinal arch angle. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2007;97(2):102-7. <https://doi.org/10.7547/0970102>
4. McPoil TG, Cornwall MW. Relationship between three static angles of the rearfoot and the pattern of rearfoot motion during walking. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;23(6):370-5. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.1996.23.6.370>

5. Wang KY, Hussaini SH, Teasdall RD, Gwam CU, Scott AT. Smartphone applications for assessing ankle range of motion in clinical practice. *Foot Ankle Orthop.* 2019;4(3):2473011419874779. <https://doi.org/10.1177/2473011419874779>
6. Muralidaran S, Wilson-Smith AR, Maharaj M, Beshara P, Nettleton L, Wang T, et al. Validation of a Novel Digital Goniometer as a Range of Motion Assessment Tool for The Lower Extremity. *J Orthop Res Ther* [Internet]. 2020;5:1158. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/20ba/4b1da4feca60bf908c4c673142526d9a23a0.pdf>
7. Jones A, Sealey R, Crowe M, Gordon S. Concurrent validity and reliability of the Simple Goniometer iPhone app compared with the Universal Goniometer. *Physiother Theory Pract.* 2014;30(7):512-6. <https://doi.org/10.3109/09593985.2014.900835>
8. Özçelep ÖF, Yavuzer MG, Tunali AN. The validity and reliability of a smartphone application for measuring wrist and metacarpophalangeal joint motion. *Cureus.* 2024;16(4):e58047. <https://doi.org/10.7759/cureus.58047>
9. Yonaga LLC. Angulus: Digital goniometer application [Internet]. Yonaga; 2025. Disponível em: <https://yonaga.app/angulus>
10. Porkodi J, Karthik V, Mathunny JJ, Ashokkumar D. Reliability and Validity of Angulus- Smartphone Application for Measuring Wrist Flexion and Extension. In: Proceedings of the 3rd International conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP). Vijayawada: IEEE; 2023. p. 1-4. <https://doi.org/10.1109/AISP57993.2023.10135006>
11. Mitchell K, Gutierrez SB, Sutton S, Morton S, Morgenthaler A. Reliability and validity of goniometric iPhone applications for the assessment of active shoulder external rotation. *Physiother Theory Pract.* 2014;30(7):521-5. <https://doi.org/10.3109/09593985.2014.900593>
12. Ferriero G, Vercelli S, Sartorio F, Foti C. Accelerometer-and photographic-based smartphone applications for measuring joint angle: are they reliable? *J Arthroplasty.* 2014;29(2):448-9. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2013.06.014>