

# Avaliação funcional através de tecnologias mobile: confiabilidade e mínima alteração clínica detectável

*Functional evaluation through mobile technologies: reliability and minimally clinically important difference*

Arthur Dutra Bomfim<sup>1</sup> ; Andrea Franco Amoras Magalhães<sup>2</sup> ; Guilherme Augusto Santos Bueno<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário EURO-AMERICANO - UNIEURO, Brasília – DF, Brasil.

<sup>2</sup> Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário EURO-AMERICANO - UNIEURO, Brasília – DF, Brasil.

## Resumo

**Introdução:** O avanço de tecnologias mobile oferta para o meio clínico e científico oportunidades de extrapolar o ambiente controlado de um laboratório de movimento. No entanto aplicar uma tecnologia no meio clínico e científico requer minimamente um crivo de validação. **Objetivo:** Analisar a confiabilidade intra e inter avaliadores e o mínimo valor de alteração clínica detectável por um aplicativo mobile de avaliação de marcha. **Materiais e Métodos:** Estudo transversal de caráter observacional realizado com mulheres jovens. A avaliação de marcha foi realizada por um smartphone que continha minimamente os sensores: acelerômetro, magnetômetro e giroscópio. Sendo realizada pelo aplicativo Balanced Gait Test. Com o smartphone fixo acima das cristas ilíacas ântero-superiores, logo sobre a cicatriz umbilical os pacientes foram instruídos à caminhar em uma pista reta de 30 metros em velocidade auto selecionada. O aplicativo foi configurado para capturar no mínimo 20 ciclos por membro. A análise de confiabilidade contou com 3 avaliações de um único avaliador e uma avaliação de 3 avaliadores experientes, assim calculando o ICC intra e inter avaliadores utilizando o software IBM SPSS Statistics version 23.0. Por fim foram calculados os mínimos valores de alteração clínica detectáveis para cara variável (MDC). **Resultados:** Trinta mulheres saudáveis com idade de 26.2 anos  $\pm 6.76$  e IMC 22.68 kg/m<sup>2</sup>  $\pm 2.09$  foram avaliadas durante o estudo. As respectivas variáveis apresentaram alta confiabilidade intra e inter-avaliadores (ICC > 0.80, p < 0.05), sendo: cadência; simetria do tempo de apoio e balanço; simetria da aceleração vertical, transversal e frontal no apoio e no balanço. O MDC das variáveis destacadas variou de 4.1 a 10.7 do escore total. **Conclusão:** Conclui-se que para as variáveis destacadas o aplicativo apresenta considerável indicação pela alta confiabilidade, e mínimos valores de alteração clínica detectável encontrados.

**Palavras-chave:** Análise de marcha; Aplicativos móveis; Confiabilidade dos dados; Tecnologia de baixo custo.

---

### Autor correspondente:

Guilherme Augusto Santos Bueno  
E-mail: guilherme.bueno@unieuro.edu.br

### Fonte de financiamento:

Não se aplica

### Parecer CEP

Unievangélica, nº 3.083.743

### Procedência:

Não encomendado

### Avaliação por pares:

Externa

Recebido em: 27/06/2023

Aprovado em: 02/08/2023

---

**Como citar:** Bomfim AD, Magalhães AFA, Bueno GAS. Avaliação funcional através de tecnologias mobile: confiabilidade e mínima alteração clínica detectável. RCS Revista Ciências da Saúde - CEUMA, 2023;1(1):61-71. <https://doi.org/10.61695/racs.v1i1.5>

## Abstract

**Introduction:** The advancement of mobile technologies offers clinical and scientific opportunities to extrapolate the controlled environment of a movement laboratory. However, applying a technology in the clinical and scientific environment minimally requires a validation screen. **Objective:** To analyze intra and inter-rater reliability and the minimum value of clinical change detectable by a gait assessment mobile application. **Materials and Methods:** Cross-sectional observational study carried out with young women. The gait evaluation was performed using a smartphone that contained at least the sensors: accelerometer, magnetometer and gyroscope. Being performed by the Balanced Gait Test application. With the smartphone fixed above the anterosuperior iliac crests, just over the umbilical scar, the patients were instructed to walk on a straight track of 30 meters at a self-selected speed. The application has been configured to capture a minimum of 20 cycles per member. The reliability analysis included 3 evaluations by a single evaluator and one evaluation by 3 experienced evaluators, thus calculating the intra and inter evaluator ICC using the IBM SPSS Statistics version 23.0 software. Finally, the minimum detectable clinical alteration values for variable face (MDC) were calculated. **Results:** Thirty healthy women aged 26.2 years  $\pm 6.76$  and BMI 22.68 kg/m<sup>2</sup>  $\pm 2.09$  were evaluated during the study. The respective variables showed high intra and inter-rater reliability (ICC > 0.80,  $p < 0.05$ ), namely: cadence; symmetry of stance and swing time; symmetry of vertical, transverse, and frontal acceleration in stance and swing. The MDC of the highlighted variables ranged from 4.1 to 10.7 of the total score. **Conclusion:** It is concluded that for the highlighted variables, the application presents considerable indication due to its high reliability, and minimum values of detectable clinical alteration found.

**Keywords:** Gait analysis; Mobile applications; Data accuracy; Low-cost technology.

## INTRODUÇÃO

O número de usuários de smartphones aumentou em todo o mundo durante a última década e, atualmente, os smartphones são equipados com um conjunto de sensores embutidos baratos, mas poderosos, que tornam o telefone capaz de detectar a posição articular, mensurar rotações, distâncias, alturas, acelerações, velocidade entre outros (Otter *et al.*, 2015).

A utilização de instrumentos como estimativa visual, inclinômetros simples, magnetômetros e acelerômetros são cada mais utilizados em avaliações físico-funcionais (Guidetti; Placentino; Baldari, 2017; Pourahmadi *et al.*, 2018; Quek *et al.*, 2014; Tousignant-Laflamme *et al.*, 2013)(Guidetti; Placentino; Baldari, 2017; Pourahmadi *et al.*, 2018; Quek *et al.*, 2014; Tousignant-Laflamme *et al.*, 2013).

Cabe destacar que, três fontes de erro podem tornar uma avaliação pouco confiável: 1) erro do instrumento de medição; 2) diferentes características do sujeito; e 3) erro do examinador (Batista *et al.*, 2006) No entanto, as medidas físico-funcionais precisam ser objetivas e confiáveis, pois os pacientes podem ser avaliados e reavaliados por diferentes profissionais e em diferentes momentos ao longo do processo terapêutico, o que requer um instrumento que minimize o erro de mensuração (Mannion *et al.*, 2000). E, desta forma, torne o procedimento reprodutível e capaz de ter a sua evolução avaliada ao longo do processo

Nesse sentido, para determinar a confiabilidade de uma ferramenta de avaliação, é necessário compará-la a um método previamente testado e considerado confiável uma medida de referência (Gadotti; Vieira; Magee, 2006) Os métodos tradicionais de avaliação físico-funcional envolvem ferramentas especializadas que podem não estar amplamente disponíveis. Sob essa perspectiva, os smartphones são ferramentas portáteis e amplamente disponíveis, que são em

grande parte consideras confiáveis e válidas para avaliar alguns aspectos funcionais, com potencial para uso em larga escala. No entanto, deve-se ter cautela já que nem todas as ferramentas são cientificamente comprovadas, quanto a confiabilidade e reprodutibilidade da medida (Charlton *et al.*, 2015)

Uma pesquisa bibliográfica, relatou o número crescente de aplicativos lançados no mercado, com propostas de avaliação físico-funcional. Porém o número de aplicativos móveis que possuem comprovações científicas da sua confiabilidade, é mínima (Milani *et al.*, 2014) Urge aí, a oportunidade de identificar as ferramentas que podem facilitar o desenvolvimento da avaliação físico-funcional.

As medidas obtidas com a aplicação goniométrica do smartphone, por exemplo, são tão confiáveis quanto as de um goniômetro universal (Ockendon; Gilbert, 2012) Esta aplicação é, portanto, uma ferramenta útil para a avaliação da amplitude de movimento do joelho (dos Santos *et al.*, 2017); coluna (Pourahmadi *et al.*, 2018)

No entanto, há vários estudos que apontam medidas de avaliações realizadas por meio de aplicativos móveis, mas sem apresentarem a confiabilidade destes dados. Como artigos publicados anteriormente, no qual não avaliaram a validade das aplicações do iPhone, quando mensuraram a amplitude de movimento pré e pós-intervenção em pacientes com dor cervical (Quek *et al.*, 2014; Tousignant-Laflamme *et al.*, 2013). Por outro lado, há estudos que buscam explorar metodologias para melhor aplicação destas ferramentas. No estudo de Bucke e colaboradores, exploraram a validade de um inclinômetro digital e iPhone para medir a rotação axial torácica usando a posição de quatro pontos no calcanhar; uma posição que isola a mobilidade para a coluna torácica, minimizando o movimento na coluna lombar, pelve e quadris (Bucke *et al.*, 2016)

Embora o uso de um smartphone como ferramenta de avaliação seja recente, esse método vem ganhando espaço na área da saúde devido à sua usabilidade e à existência de dificuldades técnicas (Jenny, 2013) Os aplicativos móveis para avaliações físico-funcionais são uma tecnologia emergente que precisa ser devidamente validada, juntamente com a plataforma móvel específica, para garantir sua operação segura e eficaz. Salienta-se também, a capacidade de investigar a confiabilidade das medidas oferecidas por essa gama de ferramentas disponíveis, para implementação na rotina clínica de instrumentos válidos e de qualidade. Dessa forma, é essencial que os profissionais usem instrumentos de medição válidos com altos níveis de confiabilidade interavaliadores ao obter dados quantitativos válidos (Kottner *et al.*, 2011)

## DESENVOLVIMENTO

### Materiais e Métodos

Uma extensa pesquisa foi realizada nas lojas de aplicativos Android e IOS em busca de ferramentas relacionadas ao tema. A investigação resultou na identificação de diversos aplicativos que podem ser utilizados no contexto da avaliação funcional dos movimentos. Dentre eles, o aplicativo Phast se destacou, oferecendo funcionalidades interessantes e relevantes para a prática clínica. Em seguida, o TestOpos e o Physio Test App também foram encontrados, ambos desenvolvidos especificamente para apoiar profissionais da reabilitação no diagnóstico e monitoramento de seus pacientes.

A busca também revelou aplicativos focados na avaliação e melhoria do equilíbrio dos pacientes, como o Balanced Gait e o Equilibrium Fitness Club. A Escala de Berg, conhecida ferramenta de avaliação do equilíbrio, também possui uma versão em aplicativo para facilitar sua aplicação. Outros aplicativos, como o Step Recorder, o Map My Fitness e o Run Keeper GPS, podem ser úteis na avaliação funcional dos movimentos, especialmente na monitorização de atividades como caminhada e corrida.

Neste interim, o aplicativo Balanced Gait Test foi selecionado para ser avaliado e qualificado, de acordo com os protocolos já estabelecidos na área, o qual avalia a estabilidade postural dos indivíduos.

Este estudo observacional transversal, aprovado pelo CEP (Unievangélica, nº 3.083.743), avaliou a marcha de mulheres jovens utilizando um smartphone equipado com acelerômetro, magnetômetro e giroscópio. Os dispositivos foram posicionados sobre a cicatriz umbilical, acima das cristas ilíacas ântero-superiores das participantes. O aplicativo Balanced Gait Test, programado para capturar pelo menos 20 ciclos de movimento por membro, orientou as participantes a caminhar numa pista reta de 30 metros à velocidade auto-selecionada. Também foram aplicados os testes TVM-10m e TUG. A confiabilidade foi verificada através de múltiplas avaliações: três realizadas por um único avaliador e uma por dois avaliadores experientes, totalizando 5 avaliações por pessoa. O coeficiente de correlação intraclasse (ICC) intra e inter avaliadores foram calculados utilizando o software IBM SPSS Statistics version 23.0, que também serviu para determinar os valores mínimos de alteração clínica detectáveis para cada variável (MDC).

Foram avaliadas 30 mulheres, realizando uma comparação abrangente de várias dimensões da movimentação. Esta análise incluiu a cadência, simetria e homogeneidade de tempo, além da potência e a simetria e homogeneidade de força. Assim como os aspectos de confiabilidade e estabilidade dinâmica, que também foram avaliados, além da simetria e homogeneidade na duração dos períodos de apoio e balanço.

Finalmente, uma análise detalhada da aceleração - em suas componentes vertical, transversal e frontal - foi realizada durante as fases de apoio e balanço. Esta análise abordou a simetria e homogeneidade dessas acelerações, fornecendo uma visão abrangente da funcionalidade do movimento nas participantes.

## RESULTADOS

O estudo avaliou 30 mulheres saudáveis, com uma idade média de 26.2 anos ( $\pm 6.76$ ) e IMC médio de 22.68 kg/m<sup>2</sup> ( $\pm 2.09$ ). A análise dos dados revelou várias correlações significativas.

Houve uma forte correlação negativa entre o teste TUG e a velocidade de marcha ( $p = -0.81$ ) e uma correlação positiva entre ele e a cadência ( $p = 0.764$ ). Observou-se também correlações significativas entre a potência e a simetria de tempo ( $p = 0.722$ ), bem como entre a homogeneidade da aceleração frontal durante o balanço e a simetria de tempo ( $p = 0.747$ ).

Outras associações notáveis incluem a homogeneidade de tempo correlacionada com a homogeneidade de força ( $p = 0.832$ ), a simetria da duração do balanço ( $p = 0.814$ ) e a homogeneidade da aceleração vertical durante o apoio ( $p = 0.815$ ).

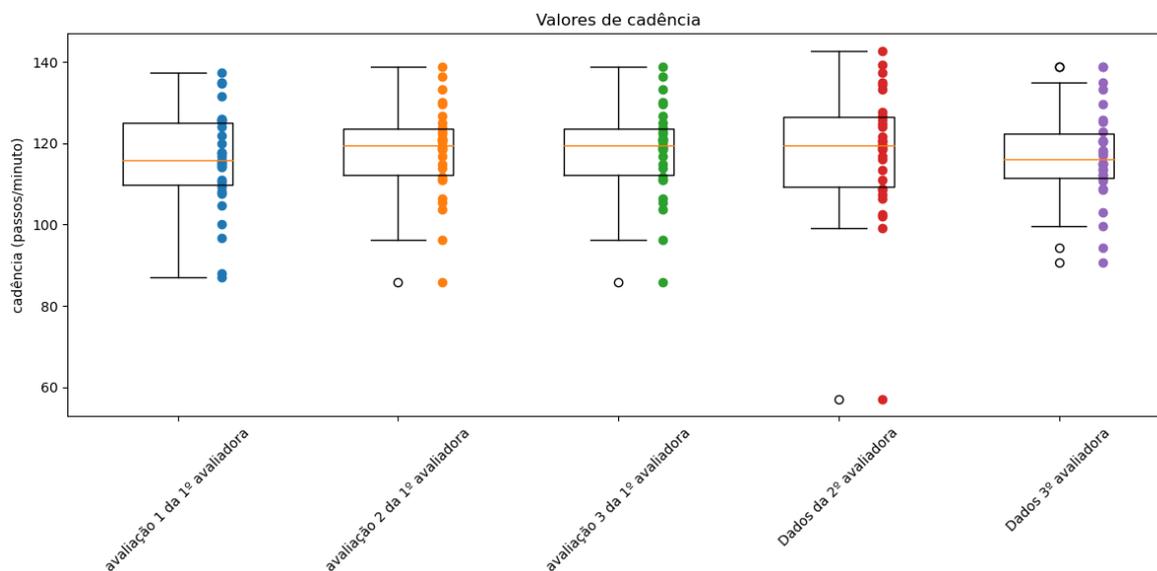
A análise também destacou relações entre a simetria da duração do apoio e medidas de aceleração, incluindo a simetria da aceleração vertical durante o apoio ( $p = 0.703$ ) e a homogeneidade da aceleração frontal durante o apoio ( $p = 0.745$ ).

Em termos de aceleração, a simetria da aceleração vertical durante o apoio mostrou uma forte correlação com a homogeneidade da aceleração vertical durante o apoio ( $p = 0.86$ ), bem como com a homogeneidade da aceleração vertical durante o balanço ( $p = 0.797$ ).

Cabe ressaltar ainda, que as respectivas variáveis apresentaram alta confiabilidade intra e inter-avaliadores ( $ICC > 0.80$ ,  $p < 0.05$ ), como pode ser visualizado comparando todos os valores recolhidos tanto intra e inter avaliadores (Figura 1), onde nota-se a presença de alguns outliers, mas que em geral mantém os valores médios em uma faixa estreita.

Tal que os objetos a serem analisados foram: cadência; simetria do tempo de apoio e balanço (simetria da aceleração vertical, transversal e frontal no apoio e no balanço). O MDC das variáveis destacadas variou de 4.1 a 10.7 do escore total.

**Figura 1** – Valores de cadência de todas as avaliações



**Fonte:** pelos autores.

É importante ressaltar que os dados recolhidos foram processados, sendo importante analisar os valores de ICC tanto para a avaliação intra exame quanto para a inter (Tabela 01)

**Tabela 01** - Resultado de confiabilidade inter e intra exame

VARIÁVEIS	INTRA EXAMINADOR				INTER EXAMINADOR	
	ICC	INTERV C	SEM	MDC	ICC	INTERV C
Cadência	0,936	0,883 - 0,967	2,954	4,104	0,920	0,854 - 0,959
Simetria de tempo	0,921	0,854 - 0,960	3,489	9,573	0,931	0,873 - 0,965
Homogeneidade de tempo	0,900	0,817 - 0,949	1,897	5,206	0,739	0,521 - 0,867
Potência	0,865	0,753 - 0,931	3,307	9,072	0,851	0,727 - 0,924
Homogeneidade de força	0,914	0,842 - 0,956	3,519	9,655	0,784	0,603 - 0,860
Simetria de força	0,843	0,713 - 0,920	3,962	8,871	0,870	0,762 - 0,934
Estabilidade dinâmica	0,886	0,792 - 0,942	3,039	8,337	0,883	0,785 - 0,940
Simetria do tempo de apoio	0,84	0,707 - 0,919	2,400	6,585	0,845	0,715 - 0,921
Homogeneidade do tempo de apoio	0,928	0,869 - 0,964	1,878	5,153	0,943	0,895 - 0,971
Simetria do tempo de balanço	0,842	0,711 - 0,920	0,397	5,091	0,744	0,630 - 0,870
Homogeneidade do tempo de balanço	0,822	0,674 - 0,910	5,485	5,048	0,871	0,764 - 0,934
Simetria da aceleração vertical no apoio	0,783	0,602 - 0,890	1,397	3,834	0,624	0,510 - 0,808
Homogeneidade da aceleração vertical no apoio	0,786	0,608 - 0,891	4,626	9,692	0,539	0,345 - 0,765
Simetria da aceleração transversal no apoio	0,872	0,765 - 0,935	2,862	7,853	0,886	0,791 - 0,942
Homogeneidade da aceleração transversal no apoio	0,875	0,770 - 0,936	4,596	9,610	0,761	0,562 - 0,878
Simetria da aceleração frontal durante o apoio	0,809	0,649 - 0,903	3,933	10,791	0,546	0,368 - 0,769
Homogeneidade da aceleração frontal durante o apoio	0,832	0,693 - 0,915	3,689	10,121	0,775	0,587 - 0,885
Simetria da aceleração vertical no balanço	0,982	0,967 - 0,991	1,744	4,785	0,985	0,972 - 0,992
Homogeneidade da aceleração vertical no balanço	0,842	0,711 - 0,920	0,795	2,181	0,895	0,808 - 0,947
Simetria da aceleração transversal no balanço	0,816	0,663 - 0,906	3,003	8,238	0,675	0,405 - 0,835
Homogeneidade da aceleração transversal no balanço	0,824	0,677 - 0,910	2,517	9,906	0,873	0,768 - 0,936
Simetria da aceleração frontal durante o balanço	0,786	0,607 - 0,891	3,701	10,153	0,745	0,533 - 0,870
Homogeneidade da aceleração frontal durante o balanço	0,885	0,789 - 0,941	1,696	6,513	0,816	0,663 - 0,906

MDC = mínimo de alteração de classe; SEM= Erro de medição padrão; ICC = coeficiente interclasse;

## **DISCUSSÃO DOS DADOS**

Nota-se na figura 1, que quando avaliados

No que cerne a interpretação dos valores recolhidos, há uma forte correlação negativa entre o teste TUG e a velocidade de marcha. Isto é, pacientes que demonstram menos mobilidade (maiores tempos TUG) tendem a caminhar mais devagar.

Por outro lado, o tempo TUG correlaciona-se positivamente com a cadência, indicando que os pacientes que demoram mais tempo para se levantar e andar tendem a dar passos mais frequentes, tornando possível inferir que eles compensam a distância da passada dando mais passos.

As correlações entre potência e simetria de tempo, e entre a homogeneidade da aceleração frontal durante o balanço e a simetria de tempo, indicam que a capacidade de aplicar esforço físico e a consistência da aceleração ao mover para frente estão relacionadas à medida em que as ações em ambos os lados do corpo são realizadas igualmente em termos de tempo.

As fortes correlações entre a homogeneidade do tempo e a homogeneidade da força, a simetria da duração do balanço e a homogeneidade da aceleração vertical durante o apoio, indicam que a consistência no tempo das ações, na força aplicada e na aceleração ao mover para cima estão inter-relacionadas.

A análise também aponta para relações entre a simetria da duração do apoio e a simetria da aceleração, sugerindo que a regularidade do tempo de apoio de um paciente está ligada à sua capacidade de acelerar consistentemente enquanto se move.

Finalmente, as correlações entre a simetria da aceleração vertical durante o apoio e a homogeneidade da aceleração vertical durante o apoio e o balanço indicam que a consistência da aceleração ao mover para cima está relacionada tanto ao equilíbrio do paciente (apoio) quanto à sua capacidade de avançar (balanço).

## **DISCUSSÃO DA VALIDADE DOS DADOS**

A avaliação de métodos intra e inter examinadores é de extrema importância para garantir a confiabilidade e validade dos resultados obtidos em diferentes áreas da saúde. A ausência de padronização nos métodos de avaliação pode levar a resultados inconsistentes e dificultar a comparação entre estudos e a tomada de decisões clínicas.

Certamente, o aprofundamento da avaliação desses novos métodos é crucial. A utilização de tecnologias móveis no setor de reabilitação, e apresenta um enorme potencial para melhorar o cuidado ao paciente e a eficácia do tratamento. Já que o uso de tecnologia mobile tem se mostrado uma ferramenta promissora no desenvolvimento de novas ferramentas para auxiliar nessa área. Através de aplicativos e dispositivos móveis, é possível monitorar e avaliar o progresso dos pacientes, fornece orientações e exercícios personalizados, e facilitar a comunicação entre profissionais e pacientes o que facilitaria todo o processo de cura. Entretanto, para atingir esse potencial, precisamos nos certificar de que as avaliações intra e inter examinadores de novas ferramentas e técnicas são rigorosas, confiáveis e consistentes.

É importante lembrar que uma das maiores vantagens do uso da tecnologia móvel na prática clínica é a possibilidade de coletar e analisar dados de maneira precisa e automatizada, reduzindo a margem de erro humano conforme observado nos dados acima. No entanto, a confiabilidade desses dados depende muito da qualidade dos algoritmos utilizados e da maneira como os dados são coletados. Que, como podemos ver acima, que os dados recolhidos pelo aplicativo Balanced Gait são condizente e estatisticamente estáveis.

## CONCLUSÃO

Espera-se que os achados deste estudo destaque aplicativos móveis com alta confiabilidade de avaliação físico funcional, e possam ser indicados para otimizar a avaliação clínica no ambulatório de reabilitação.

Tal que, esta pesquisa poderá beneficiar a investigação de tecnologias mobile, de baixo custo e fácil acesso. Assim contribuindo para a modernização e precisão da avaliação clínica. Sendo assim, o uso emergente de smartphones na avaliação e no tratamento representa um marco significativo no avanço da prática clínica. Estes dispositivos portáteis oferecem uma série de funcionalidades e aplicações que permitem aos profissionais de saúde monitorizar, avaliar e adaptar intervenções com maior precisão e eficiência.

Salienta-se ainda que a incorporação na prática clínica traz uma série de oportunidades, tendo em vista a maior disponibilidade do equipamento do que os equipamentos tradicionais. Porém, salienta-se a importância de averiguar a acurácia não só do software, mas também a dor hardware que será utilizado. Uma vez que há smartphones com tecnologia mais sensível do que outros, fato que pode alterar a qualidade da informação recolhida. Como mencionado anteriormente, três fontes de erro podem comprometer a confiabilidade de uma avaliação: erro do

instrumento de medição, diferentes características do sujeito e erro do examinador. Cada uma destas fontes de erro deve ser cuidadosamente considerada e controlada para maximizar a confiabilidade e utilidade da avaliação.

Por outro lado, as diferenças individuais entre os pacientes também podem influenciar a confiabilidade da avaliação. Portanto, é crucial que os aplicativos e ferramentas sejam capazes de ser adaptados às necessidades específicas e características de cada paciente. Isto pode envolver a inclusão de instruções claras e abrangentes para os usuários, o que as vezes não é encontrado nos aplicativos.

Por fim, é notória a necessidade que mais projetos entre os desenvolvedores dos softwares e dos pesquisadores devem ser realizados em conjunto com o fito de melhorar e maximizar a construção de aplicativos que possam atender as demandas da área.

## REFERÊNCIAS

- Batista L *et al.* Avaliação da amplitude articular do joelho: correlação entre as medidas realizadas com o goniômetro universal e no dinamômetro isocinético. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2006;10(2). <https://doi.org/10.1590/S1413-35552006000200009>
- Bucke J *et al.* Clinical assessment of thoracic axial rotation: A criterion-related validity study of a digital inclinometer and iPhone. *Manual Therapy*. 2016;25:e84. <https://doi.org/10.1016/j.math.2016.05.140>
- Charlton PC *et al.* Reliability and concurrent validity of a Smartphone, bubble inclinometer and motion analysis system for measurement of hip joint range of motion. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2015;18(3):262–267. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.04.008>
- Dos Santos RA. *et al.* Evaluation of knee range of motion: Correlation between measurements using a universal goniometer and a smartphone goniometric application. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2017;21(3): 699–703. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2016.11.008>
- Gadotti I, Vieira E, Magee D. Importance and clarification of measurement properties in rehabilitation. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2006;10(2):137–146. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552006000200002>
- Guidetti L, Placentino U, Baldari C. Reliability and Criterion Validity of the Smartphone Inclinometer Application to Quantify Cervical Spine Mobility. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*. 2017;30(10): E1359–E1366. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000364>
- Jenny JY. Measurement of the Knee Flexion Angle With a Smartphone-Application is Precise and Accurate. *The Journal of Arthroplasty*. 2013;28(5):784–787. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2012.11.013>
- Kottner J *et al.* Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. *International Journal of Nursing Studies*. 2011;48(6):661–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2011.01.016>
- Mannion AF *et al.* Range of global motion of the cervical spine: intraindividual reliability and the influence of measurement device. *European Spine Journal*. 2000;9(5):379–385. <https://doi.org/10.1007/s005860000187>
- Milani P *et al.* Mobile Smartphone Applications for Body Position Measurement in Rehabilitation: A Review of Goniometric Tools. *PM&R*. 2014;6(11):1038–1043. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2014.05.003>

Ockendon M, Gilbert R. Validation of a Novel Smartphone Accelerometer-Based Knee Goniometer. *Journal of Knee Surgery*. 2012;25(04):341–346. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1299669>

Otter SJ *et al.* The reliability of a smartphone goniometer application compared with a traditional goniometer for measuring first metatarsophalangeal joint dorsiflexion. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2015;8(1):30. <https://doi.org/10.1186/s13047-015-0088-3>

Pourahmadi MR *et al.* A new iPhone application for measuring active craniocervical range of motion in patients with non-specific neck pain: a reliability and validity study. *The Spine Journal*. 2018;18(3):447–457. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.08.229>

Quek J *et al.* Validity and intra-rater reliability of an Android phone application to measure cervical range-of-motion. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2014;11(1):65. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-65>

Tousignant-Laflamme Y *et al.* Reliability and criterion validity of two applications of the iPhone™ to measure cervical range of motion in healthy participants. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2013;10(1):69. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-69>