



FACULDADE PERNAMBUCANA DE SAÚDE - FPS

LUANA SAMARA CAVALCANTI DE LIMA
MICAELA BELARMINO DE MELO

**VALIDADE E CONFIABILIDADE DO BAIOSBIT NA AVALIAÇÃO DA
AMPLITUDE DE MOVIMENTO DO OMBRO**

Recife
2026

LUANA SAMARA CAVALCANTI DE LIMA
MICAELA BELARMINO DE MELO

**VALIDADE E CONFIABILIDADE DO BAIOBIT NA AVALIAÇÃO DA
AMPLITUDE DE MOVIMENTO DO OMBRO**

**VALIDITY AND RELIABILITY OF THE BAIOBIT TEST IN ASSESSING
SHOULDER RANGE OF MOTION**

Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Bacharelado em Fisioterapia da Faculdade Pernambucana de Saúde, sob orientação de Marcela Cavalcanti Moreira e coorientação de Nina Bretas Bittar Schulze e Luís Henrique Alves do Nascimento Dutra.

Orientadora: Profa. Dra. Marcela Cavalcanti Moreira

Coorientadores: Profa. Ma. Nina Bretas Bittar Schulze

Prof. Luis Henrique Alves do Nascimento Dutra

Recife

2026

IDENTIFICAÇÃO

ORIENTAÇÃO:

Marcela Cavalcanti Moreira

Coordenadora da Clínica escola de Fisioterapia FPS

Doutora na saúde da criança e do adolescente

Email: marcela.moreira@fps.edu.br

COORIENTAÇÃO:

Nina Bretas Bittar Schulze

Fisioterapeuta

Mestre em Fisioterapia pela Universidade Federal de Pernambuco

E-mail: nina.schulze@fisio.fps.edu.br

Luís Henrique Alves do Nascimento Dutra

Fisioterapeuta

Especialista em dor e reabilitação

E-mail: luishand@fisio.fps.edu.br

ACADÊMICAS:

Luana Samara Cavalcanti de Lima

Acadêmica de Fisioterapia na Faculdade Pernambucana de Saúde.

E-mail: luasclima@gmail.com

Micaela Belarmino de Melo

Acadêmica de Fisioterapia na Faculdade Pernambucana de Saúde.

E-mail: micalabmelo@gmail.com

COLABORADORES

Allány Nayara Cândido Costa

Acadêmica de Fisioterapia na Faculdade Pernambucana de Saúde.

E-mail: Candidoallany@gmail.com

RESUMO

Introdução: A avaliação confiável da amplitude de movimento (ADM) do ombro é fundamental para a prática clínica. O Baiobit apresenta potencial para essa finalidade, embora ainda careça de evidências quanto à sua validade e confiabilidade. **Objetivo:** Avaliar a validade concorrente e confiabilidade intra e interexaminadores do Baiobit na mensuração da ADM do ombro em adultos saudáveis, comparando seus resultados aos obtidos por meio do goniômetro universal como método de referência. **Métodos:** A confiabilidade foi analisada pelo Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC), enquanto a validade pela correlação de Spearman entre Baiobit e goniômetro universal. As avaliadoras foram cegadas quanto aos resultados do goniômetro e do Baiobit, com auxílio de um terceiro pesquisador. **Resultados:** Foram avaliados 100 voluntários. O Baiobit apresentou melhor desempenho na avaliação da extensão do ombro, com confiabilidade e validade de moderadas a fortes, enquanto os movimentos de flexão e abdução demonstraram resultados mais modestos, embora estatisticamente significativos. **Conclusão:** Os resultados indicam potencial clínico do dispositivo como ferramenta complementar na avaliação funcional da amplitude de movimento do ombro. Contudo, limitações metodológicas e técnicas demonstram a necessidade de aprimoramento tecnológico do dispositivo e de novos estudos com protocolos mais rigorosos e comparação com métodos tridimensionais de referência.

Palavras-chave: Baiobit; amplitude de movimento articular; ombro; dispositivos eletrônicos vestíveis; goniometria.

ABSTRACT

Introduction: Reliable assessment of shoulder range of motion (ROM) is essential for clinical practice. The Baiobit shows potential for this purpose, although it still lacks evidence regarding its validity and reliability. **Objective:** To evaluate the concurrent validity and intra- and inter-examiner reliability of the Baiobit in measuring shoulder ROM in healthy adults, comparing its results to those obtained using the universal goniometer as the reference method. **Methods:** Reliability was analyzed using the Intraclass Correlation Coefficient (ICC), while validity was assessed by Spearman correlation between Baiobit and the universal goniometer. The evaluators were blinded to the results of the goniometer and Baiobit, with the assistance of a third researcher. **Results:** One hundred volunteers were evaluated. The Baiobit showed better performance in the shoulder extension assessment, with moderate to strong reliability and validity, while the flexion and abduction movements showed more modest results, although statistically significant. **Conclusion:** The results indicate the clinical potential of the device as a complementary tool in the functional assessment of shoulder range of motion. However, methodological and technical limitations demonstrate the need for technological improvement of the device and for new studies with more rigorous protocols and comparison with three-dimensional reference methods.

Keywords: Baiobit; range of joint movement; shoulder; wearable electronic devices; goniometry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Posicionamento do ombro e equipamentos na avaliação	14
Figura 2. Fluxograma de seleção dos participantes.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise da confiabilidade interexaminador e intraexaminador, respectivamente, na avaliação com o Baiobit.....	18
Tabela 2. Análise da validade concorrente para avaliadora A em ambos momentos de avaliação	20
Tabela 3. Análise da validade concorrente para avaliadora B em ambos momentos de avaliação	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADM	Amplitude De Movimento Articular
BT	BaioBit
FPS	Faculdade Pernambucana de Saúde
ICC	Coefficiente de Correlação Intraclasse
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. METODOLOGIA	12
2.1 Desenho do estudo	12
2.2 Local e período do estudo	12
2.3 População e amostra	12
2.4 Critérios de elegibilidade	12
2.5 Critérios para descontinuação	12
2.6 Procedimentos para a captação dos participantes	13
2.7 Instrumentos de avaliação e procedimentos de coleta de dados	13
2.8 Calibração e controle de erros	15
2.9 Registro e análise dos dados	16
3. RESULTADOS	17
4. DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	29

1. INTRODUÇÃO

A amplitude de movimento articular (ADM) é definida como a dimensão angular do deslocamento do corpo ou de seus segmentos entre certos pontos de orientação convencionalmente escolhida.^[1] Essa medida é utilizada principalmente na avaliação e no acompanhamento fisioterapêutico, servindo como parâmetro e fazendo parte da propedêutica e do prognóstico de um indivíduo submetido à fisioterapia.^[2,3]

O ombro possui uma amplitude de movimento fisiológica de 180 graus para flexão e abdução, e de 45 graus para extensão, sendo o movimento do braço para trás do corpo.^[1,4] No entanto, a idade e a condição de saúde, incluindo fatores como gênero, histórico de trabalho e domínio da mão, podem influenciar os graus de ADM do ombro, assim como de outras articulações.^[5,6] Estudos demonstraram que o envelhecimento causa uma redução geral na ADM em todos os movimentos do ombro em indivíduos sem patologia no local.^[6,7]

O goniômetro universal (GM) é um instrumento amplamente utilizado para mensuração do ângulo articular^[7], que apresenta estudos de validação para várias medidas planares de movimento já descritas na literatura, tais como coluna cervical, ombro, cotovelo, punho, mão, e para membros inferiores.^[8-11]

Esse instrumento é frequentemente utilizado como método de referência para avaliação da ADM^[7] consiste em um transferidor de 360 graus, composto por um braço estacionário, um braço móvel e um eixo.^[1] Seus benefícios, como baixo custo e portabilidade, podem superar as desvantagens de variabilidade de medidas encontrada entre os clínicos, quando utilizado de maneira padronizada.^[12-18] Assim, nas medições de ADM do ombro, dificuldades relacionadas à estabilização do tronco e da escápula, associadas à necessidade do manuseio bimanual do GM, podem favorecer variabilidade entre examinadores e vieses de medida.^[14-17,19] Dessa forma, torna-se relevante investigar tecnologias que possam auxiliar na avaliação da ADM do ombro, oferecendo medidas objetivas e potencialmente reduzindo a variabilidade associada ao examinador.

O Baiobit (BT), desenvolvido pela *BTS Bioengineering*, é um sistema digital e inovador de análise de movimento sem fio, por meio de sensores inerciais. O dispositivo fornece biofeedback por meio de sinais sonoros e visuais, permitindo avaliação objetiva, rápida e não invasiva do movimento.^[20,21] Além disso, possibilita monitoramento da evolução terapêutica e mensuração de parâmetros cinéticos-funcionais^[20,21], incluindo teste de equilíbrio, salto, teste de ângulos livres, amplitude de movimento cervical, força, potência e de marcha. Ao final de cada teste ou exercício, o software gera relatórios detalhados que ajudam a monitorar o progresso dos pacientes, facilitando a personalização do tratamento.^[21] Contudo, devido à escassez de estudos que investiguem sua validade e confiabilidade para avaliação da ADM do ombro, faz-se necessária uma investigação acerca da viabilidade do uso do BT na prática clínica.

Os instrumentos utilizados para mensurar a ADM, como GM e o BT, precisam ser comparados quanto à acurácia, precisão, praticidade e custo-benefício, principalmente em sua aplicação na prática clínica dos fisioterapeutas. Uma vez que, o BT se propõe a trazer mais vantagens tecnológicas quando a outras ferramentas de medição de ADM.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a validade e a confiabilidade do BT na mensuração da ADM do ombro nos movimentos de flexão, extensão e abdução em adultos saudáveis, utilizando o GM como método de referência. Além disso, buscou-se identificar possíveis dificuldades e barreiras relacionadas ao uso do BT durante as avaliações.

2. METODOLOGIA

2.1 Desenho do estudo

Trata-se de um estudo de validade concorrente e confiabilidade intra e inter-examinadores, comparando o Baiobit ao goniômetro universal, realizado em ambiente clínico.

2.2 Local e período do estudo

A pesquisa foi realizada na clínica escola de fisioterapia da Faculdade Pernambucana de Saúde (FPS), entre agosto de 2025 e maio de 2026. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com seres humanos da FPS sob o CAAE de número: 88219925.8.0000.559 e Parecer nº 7.588.658.

2.3 População e Amostra

A população do estudo foi formada por adultos saudáveis que participaram das avaliações de medição da amplitude de movimento do ombro direito utilizando o Baiobit e o goniômetro universal. A amostra foi selecionada por conveniência.

2.4 Critérios de elegibilidade

Foram incluídos como elegíveis para o estudo indivíduos adultos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 59 anos, sem diagnóstico de disfunção do ombro direito, que pudesse causar dor ou perda de função, excluindo voluntários que possuíam histórico de cirurgia no ombro.

2.5 Critérios para descontinuação do estudo

Para os voluntários incluídos no estudo que ultrapassaram o tempo máximo de 30 dias estabelecido para retorno do segundo momento de avaliação, ou que não retornaram para a

segunda fase de coleta, foram descontinuados da pesquisa e excluídos da análise estatística final.

2.6 Procedimentos para a captação dos participantes

Os participantes foram recrutados por meio de convites divulgados em grupos de estudantes e colaboradores e anúncios em salas de aula da FPS. Após receberem informações sobre os objetivos, riscos e benefícios do estudo, foram incluídos aqueles que atenderam aos critérios de elegibilidade e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

2.7 Instrumentos de avaliação e procedimentos de coleta de dados

As avaliações foram realizadas simultaneamente utilizando o GM e o BT durante os movimentos de flexão, extensão e abdução do ombro direito. A coleta dos dados do goniômetro foi feita por duas avaliadoras treinadas, responsáveis por medir as angulações e posicionar o Baiobit no braço do voluntário.

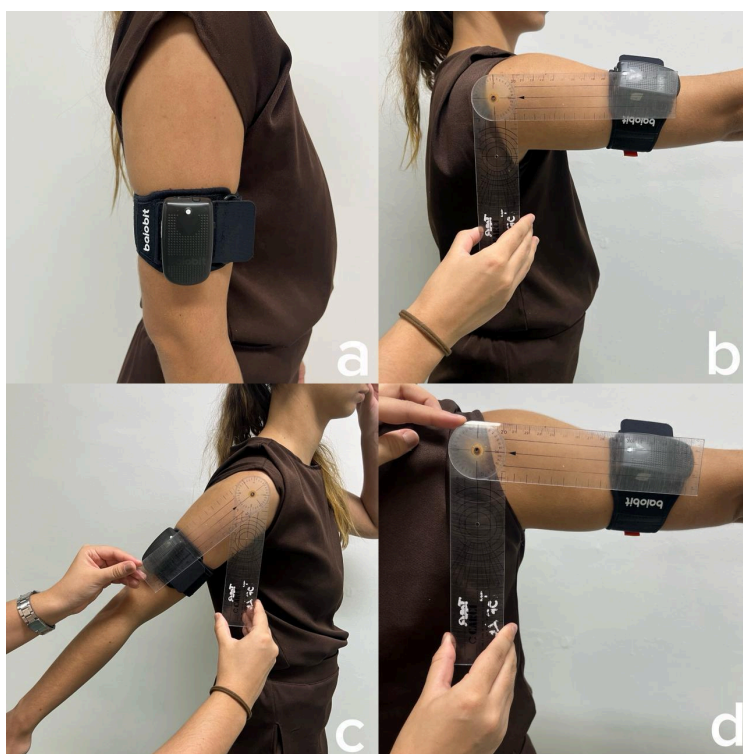
Para garantir o cegamento das avaliadoras em relação ao resultado gerado instantaneamente pelo programa BT, foi incluído um terceiro avaliador treinado, responsável pela condução do software e pelo registro independente dos dados obtidos durante as avaliações com BT para ambas avaliadoras. Esse pesquisador também foi responsável pela identificação de eventuais erros de leitura e medidas incompatíveis com a amplitude fisiológica esperada.^[1]

No primeiro momento de avaliação, as duas examinadoras realizaram independentemente, em salas separadas, as mensurações da ADM no mesmo dia, com intervalo de cinco minutos entre as avaliações, possibilitando a análise da confiabilidade interexaminador. Posteriormente, após intervalo de 15 minutos a até 30 dias, as avaliações foram repetidas pelas mesmas examinadoras para análise da confiabilidade intraexaminador por meio do teste-reteste. A comparação entre as medidas obtidas pelo Baiobit e pelo goniômetro universal possibilitou a análise da validade concorrente. A sequência das

avaliações foi randomizada entre as examinadoras com o objetivo de minimizar possíveis efeitos de ordem. Os participantes que não retornaram para a segunda avaliação dentro do período máximo de 30 dias foram excluídos da análise final.

Para a realização das mensurações, os participantes foram orientados e organizados em posição anatômica de pé para maior efetividade e padronização. Na flexão o braço fixo do goniômetro foi posicionado ao longo da linha axilar média do tronco, apontando para o trocânter maior do fêmur, o braço móvel foi posicionado sobre a superfície lateral do úmero voltado para o epicôndilo lateral e o eixo do goniômetro próximo ao acrômio e o terapeuta permanece ao lado do voluntário (Figura 1b).^[1]

Figura 1. Posicionamento do ombro e equipamentos na avaliação



Fonte: produção autoral.

O movimento de extensão do ombro neste estudo, por padronização de nomenclaturas ao sistema do Baiobit, é caracterizado pelo afastamento do braço para trás do corpo no plano sagital, o que é entendido por hiperextensão no ramo de estudo da biomecânica dos

movimentos^[1]. Desta forma, a medição dos graus de extensão partiu da mesma configuração de organização da flexão apenas alterando o sentido do movimento (Figura 1c).

Por outro lado, na abdução do ombro o avaliador posicionou-se atrás do voluntário, o braço fixo do goniômetro foi posicionado sobre a linha axilar posterior do tronco, o braço móvel foi colocado na superfície posterior no braço do indivíduo, e seu eixo próximo ao acrômio (Figura 1.d).^[1]

Na avaliação com o equipamento BT, na função teste de ombro, o voluntário foi orientado previamente quanto à execução do movimento, que foi realizado em posição ortostática e em velocidade padronizada em todos os testes, para que o resultado pudesse ser considerado confiável.^[21] Então, o sensor conectado foi carregado, e o cinto aderido e posicionado na lateral do braço do paciente, no terço distal da linha que liga o acrômio ao epicôndilo lateral do úmero, onde todas as medições são realizadas com o indivíduo de pé (Figura 1a).^[21] Para assegurar a eficácia e a adequação do Baiobit, foram realizados pré-testes em ambientes controlados com um grupo de voluntários.

Para verificação da ADM de flexão e extensão de ombro, o voluntário foi mantido em posição ortostática com a palma da mão voltada para frente a fazer o movimento, mantendo-se imóvel na fase de estabilização pré-movimento para esse teste e os demais, a fim de estabelecer um parâmetro de referência e calibração do sensor.^[21] Logo após, foi escolhido outra direção de movimento, a abdução do ombro, que segue o mesmo posicionamento e sequência de escolhas do teste anterior, dessa vez, levando o braço mais distante do corpo para a lateral.^[21]

2.8 Calibração e controle de erros

Os sensores foram calibrados previamente às avaliações. Em casos de erro de leitura ou medidas incompatíveis com a amplitude fisiológica esperada do ombro^[1], a aferição era interrompida, seguida de recalibração do sistema e repetição do teste.

2.9 Registro e análise dos dados

Para a análise dos dados coletados na medição com o goniômetro, foram utilizadas planilhas Excel individuais de cada avaliadora para minimizar erros de digitação e possíveis inconsistências. Os resultados foram comparados apenas ao término da coleta, garantindo sigilo entre as examinadoras durante o desenvolvimento da pesquisa.

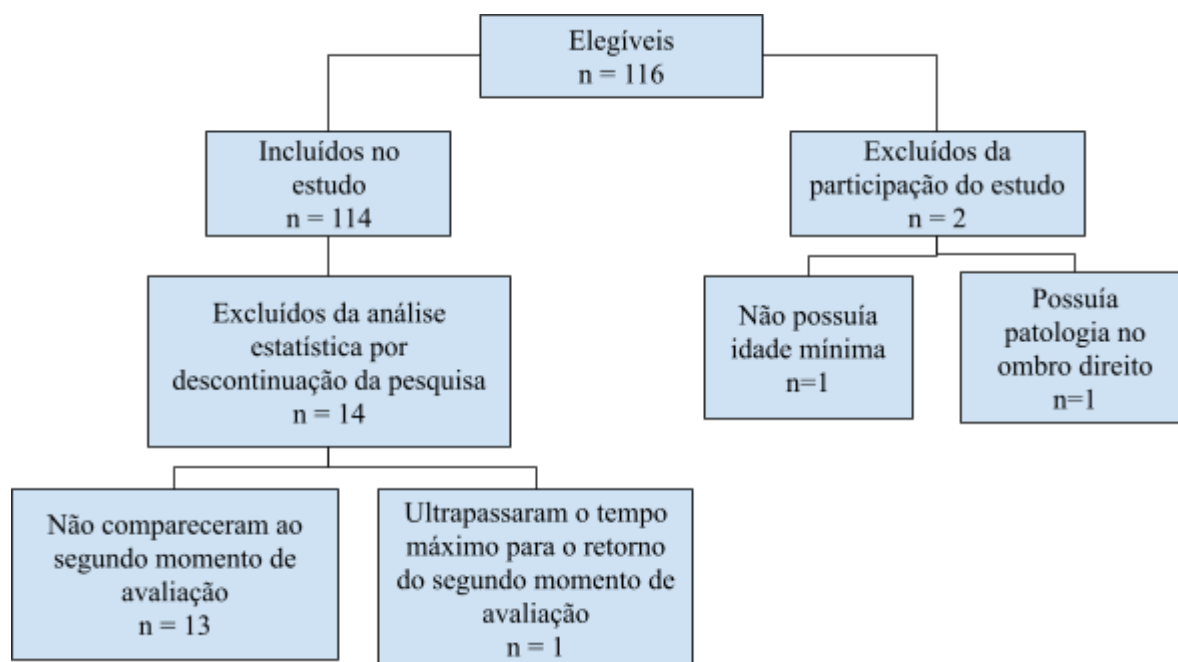
Após a consolidação dos dados, a confiabilidade inter e intraexaminador foi examinada pelo cálculo do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) enquanto a validade concorrente foi analisada pela correlação de Spearman, respectivamente, adotando-se nível de significância de $p \leq 0,05$. Para interpretação do ICC, valores inferiores a 0,50 indicam confiabilidade fraca; entre 0,50 e 0,75, confiabilidade moderada; entre 0,75 e 0,90, forte confiabilidade; e superiores a 0,90, excelente confiabilidade. Foram também calculados os intervalos de confiança de 95% (IC95%) para todas as estimativas.^[22] As medidas estatísticas foram constatadas por um profissional cego em relação ao presente estudo.

3. RESULTADOS

Foram avaliados quanto à elegibilidade 116 voluntários para participação no estudo. Destes, 114 atenderam aos critérios de inclusão e foram incluídos na amostra, dos quais 77 (67,5%) eram do sexo feminino e 37 (32,5%) do sexo masculino. A média de idade da amostra foi de $25,5 \pm 7,9$ anos, com faixa etária entre 18 e 55 anos. As participantes do sexo feminino apresentaram média de idade de $25,1 \pm 8,2$ anos, variando de 18 a 55 anos, enquanto os participantes do sexo masculino apresentaram média de idade de $26,4 \pm 7,4$ anos, com idades entre 18 e 53 anos.

Dois voluntários foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade. Dos 114 participantes inicialmente incluídos, 13 foram descontinuados da pesquisa por não comparecerem ao segundo momento de avaliação e 1 voluntário foi excluído por ultrapassar o limite de tempo máximo de 30 dias estabelecido para reavaliação. Assim, 100 participantes foram incluídos na análise estatística final (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma de seleção dos participantes.



Fonte: produção autoral.

Na análise da confiabilidade interexaminador, os movimentos de extensão (momento 1: ICC = 0,871; momento 2: ICC = 0,797) e abdução (momento 1: ICC = 0,804; momento 2: ICC = 0,751) de ambos os momentos de avaliação com o equipamento Baiobit apresentaram forte confiabilidade, indicando boa reprodutibilidade das medidas entre diferentes examinadores (Tabela 1).

Em contraste, a flexão apresentou fraca confiabilidade no primeiro momento de avaliação (ICC = 0,427) e moderada confiabilidade no segundo momento (ICC = 0,719), demonstrando maior variabilidade nas medições quando comparada aos demais movimentos.

Tabela 1. Análise da confiabilidade interexaminador e intraexaminador, respectivamente, na avaliação com o Baiobit

Variável de movimento	ICC	95% CI
Flexão M1	0,427	0,149 - 0,614
Extensão M1	0,871	0,808 - 0,913
Abdução M1	0,804	0,709 - 0,868
Flexão M2	0,719	0,582 - 0,811
Extensão M2	0,797	0,698 - 0,863
Abdução M2	0,751	0,631 - 0,833

Variável de movimento	ICC	95% CI
Flexão - Avaliadora A	0,704	0,560 - 0,801
Extensão - Avaliadora A	0,869	0,806 - 0,912
Abdução - Avaliadora A	0,690	0,539 - 0,791
Flexão - Avaliadora B	0,392	0,097 - 0,591
Extensão - Avaliadora B	0,773	0,663 - 0,847
Abdução - Avaliadora B	0,692	0,543 - 0,793

M1: Primeiro momento de avaliação; M2= Segundo momento de avaliação

Fonte: produção autoral.

Ao avaliar a confiabilidade intraexaminador, observou-se que a avaliadora A apresentou forte confiabilidade para o movimento de extensão (ICC = 0,869), enquanto os

movimentos de flexão (ICC = 0,704) e abdução (ICC = 0,690) apresentaram confiabilidade moderada.

Para a avaliadora B, o movimento de extensão apresentou forte confiabilidade (ICC = 0,773), enquanto a abdução demonstrou confiabilidade moderada (ICC = 0,692). Em contraste, a flexão apresentou fraca confiabilidade (ICC = 0,392), sugerindo maior variabilidade das medidas entre os momentos de avaliação, conforme apresentado na Tabela 1.

Na análise da validade concorrente para a avaliadora A, foram observadas correlações variando de fraca a moderada para a maioria dos movimentos avaliados, tanto no primeiro quanto no segundo momento de avaliação.

Destacaram-se os resultados para o movimento de extensão, que apresentou moderada correlação no primeiro ($r = 0,738$; $p < 0,001$) e no segundo momento de avaliação ($r = 0,729$; $p < 0,001$). O movimento de abdução apresentou moderada correlação no primeiro momento ($r = 0,592$; $p < 0,001$) e fraca no segundo momento ($r = 0,407$; $p < 0,001$). Já a flexão apresentou correlações de menor magnitude, embora estatisticamente significativas (momento 1: $r = 0,320$; $p = 0,001$; momento 2: $r = 0,417$; $p < 0,001$), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Análise da validade concorrente para avaliadora A em ambos momentos de avaliação.

Variável	Flexão_ BT_M1	Extensão_ BT_M1	Abdução_ BT_M1	Flexão_BT _M2	Extensão_B T_M2	Abdução_B T_M2
Flexão_G M_M1	0,320 (0,001)					
Extensão_ GM_M1		0,738 (<0,001)				
Abdução_ GM_M1			0,592 (<0,001)			
Flexão_G M_M2				0,417 (<0,001)		
Extensão_ GM_M2					0,729 (<0,001)	
Abdução_ GM_M2						0,407 (<0,001)

M1: Primeiro momento de avaliação; M2= Segundo momento de avaliação; BT: Baiobit; GM: Goniômetro.

Fonte: produção autoral.

No que se refere à avaliação da validade concorrente para a avaliadora B, observaram-se correlações fracas nos movimentos de flexão e abdução em ambos os movimentos de avaliação.

Para a flexão, foram observadas correlações fraca no primeiro ($r = 0,396$; $p < 0,001$) e no segundo momento ($r = 0,318$; $p = 0,001$). Resultados semelhantes foram encontrados para a abdução (momento 1: $r = 0,494$; $p < 0,001$; momento 2: $r = 0,317$; $p = 0,001$). O movimento de extensão apresentou correlação moderada em ambos os momentos da avaliação (momento 1: $r = 0,687$; $p < 0,001$); (momento 2: $r = 0,500$; $p < 0,001$), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Análise da validade concorrente para avaliadora B em ambos momentos de avaliação.

Variável	Flexão_B T_M1	Extensão_BT _M1	Abdução_ BT_M1	Flexão_BT _M2	Extensão _BT_M2	Abdução_ BT_M2
Flexão_G M_M1	0.396 (<0,001)					
Extensão _GM_M1		0.687 (< 0,001)				
Abdução _GM_M1			0.494 (<0,001)			
Flexão_G M_M2				0.318 (0,001)		
Extensão _GM_M2					0.500 (<0,001)	
Abdução _GM_M2						0.317 (0,001)

M1: Primeiro momento de avaliação; M2= Segundo momento de avaliação; BT: Baiobit; GM: Goniômetro.

Fonte: produção autoral.

4. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a validade concorrente do sistema BT, bem como a confiabilidade intra e interexaminador na mensuração da amplitude de movimento do ombro, comparando-o ao goniômetro universal. De modo geral, os resultados indicaram que o BT apresenta desempenho satisfatório para alguns movimentos, tais como a abdução e especialmente a extensão do ombro, porém com baixo desempenho para a flexão, concordando parcialmente com estudos que destacam o potencial de sensores inerciais, bem como suas vulnerabilidades técnicas.^[23,24]

No que refere à confiabilidade interexaminador, observou-se que os movimentos de extensão e abdução apresentaram valores de ICC considerados como bons, indicando boa reprodutibilidade entre diferentes avaliadores, principalmente em movimentos menos complexos, neste caso a extensão. No entanto, a flexão demonstrou baixa confiabilidade inter-examinador. Na literatura a flexão de ombro é citada como um movimento desafiador para sensores inerciais^[25,26], devido ao movimento artrocinemático do complexo do ombro à diversidade e possibilidade de movimento, envolvendo estruturas como escápula e tronco, e à sensibilidade do sensor ao alinhamento do eixo, que podem influenciar diretamente a precisão do equipamento.^[23,25]

A variabilidade observada entre os diferentes movimentos sugere que a concordância das medidas do Baiobit pode depender das características biomecânicas de cada um deles, bem como da forma de posicionamento do dispositivo durante a aferição. Assim, movimentos mais estáveis e com menor compensação, como a extensão, tendem a apresentar maior concordância entre os instrumentos. Resultados semelhantes foram encontrados na literatura abordando a validação de outras funções do dispositivo que demonstraram confiabilidade moderada em parte dos testes. Na validação para o teste de cervical evidenciou que apenas um movimento específico, a rotação da cabeça à esquerda, teve a confiabilidade intra-avaliador mais baixa comparada aos outros movimentos do teste^[27], semelhante ao presente estudo, presumindo a falta de melhorias na precisão de dados do sistema.

Quando comparado a ângulos articulares padrões, a cinemática da ADM humana apresenta variação nos níveis de confiabilidade interexaminador em diversos instrumentos de medição, com predominância de moderada confiabilidade, como descreve KIATKULANUSORN et al., 2023^[26], em particular ao medir ADM mais amplas, como a flexão e abdução na articulação do ombro, reforçando a influência das estruturas adjacentes e a mecânica ampla da própria articulação. O estudo de BOONE et al., 1978^[13] apoia a ocorrência de variação de amplitude tanto na avaliação inter-examinador quanto na avaliação intraexaminador, sendo aceita variação de até 5 graus para o membro superior. Para o estudo de PANDYA et al., 1985^[14], apesar de ser um estudo em população com patologia instalada, a confiabilidade inter-examinador apresentou uma grande variação comparado a confiabilidade intra-examinador, apontando a abrangência de resultados e inconsistência dos dados encontrados na literatura.^[15]

Na análise de confiabilidade intraexaminador, foram observados resultados semelhantes, onde o movimento de extensão apresentou de moderada a forte reprodutibilidade, enquanto o movimento de abdução demonstrou confiabilidade moderada. Já para flexão os resultados apresentaram baixa correlação indicando menor precisão do BT nesse movimento. Esse resultado pode ser explicado devido à necessidade de controle tridimensional do movimento, e influência do design tecnológico do dispositivo no desempenho do examinador em cenários complexos apoiado por KIATKULANUSORN et al., 2023^[26], demonstram que a acurácia dos sensores inerciais pode ser afetada pelo posicionamento do dispositivo e pela rotação de múltiplos eixos, sendo esses fatores importantes durante o movimento de flexão.

Outra possível justificativa encontrada é a viabilidade de inconsistências por influência de fatores como posicionamento de referência óssea, consistência do examinador no estabelecimento do ponto zero, manuseio e posicionamento do instrumento contra o segmento do corpo alvo, dessa forma possibilitando a ocorrência de erros na validade e confiabilidade. Além disso, a subjetividade da posição e ponto articular tomado por referência de cada avaliador em sua experiência clínica, assim como as alterações anatômicas individuais devem ser levadas em consideração ao decidir o melhor instrumento

de medição. Uma melhor padronização metodológica, permite uma aferição mais precisa com dados mais reprodutíveis como definir um ponto inicial ideal para cada sujeito a partir de uma análise estrutural individual prévia a coleta de dados, embora nem sempre seja factível na prática clínica.^[25,28]

Uma possível explicação para parte da variabilidade observada e da menor reprodutibilidade dos dados nos movimentos de maior amplitude avaliados neste estudo é a ausência de aquecimento prévio dos movimentos antes da aplicação dos testes. Apesar dos esforços para garantir movimentos padronizados, a possibilidade de erro humano do voluntário não pode ser descartada. Dessa forma, movimentos com alta variação de medição encontrada, como a flexão, se devem também a erros experimentais de alguns participantes que possivelmente não realizaram os movimentos de forma semelhante entre os avaliadores, como encontrado na literatura por FRAEULIN et al., 2020.^[28]

Foi observado ainda, a influência do biotipo do braços dos voluntários, na qual braços mais volumosos possuem influência direta na fixação estável do dispositivo, estes tendem a deslocar o sensor em relação ao osso da posição inicial^[25], reduzindo a precisão das medições, apesar de haver delimitação prévia do ponto de referência. Ademais, a referência de posicionamento e alinhamento do GM tendeu a se deslocar, principalmente no final da ADM devido a tensão dos tecidos moles, alterando a forma do braço e o alinhamento da parte de referência. Sugerimos que haja reconfirmação das estruturas de referência para garantir a consistência com a posição inicial, especialmente em movimentos articulares de maior amplitude com a flexão de ombro, entrando em concordância com os achados do estudo de KEOGH et al., 2019.^[29]

Ainda, é observado que pode ocorrer erro de avaliação devido o braço do GM não ser o suficientemente longo, gerando um viés de direcionamento incorreto das estruturas anatômicas de pareamento e alinhamento necessário para que ocorra a medição adequada^[29], principalmente para clínicos com pouca experiência com o instrumento, apesar de treinados, essa diferença é exacerbada por terem uma incapacidade relativa de localizar corretamente pontos anatômicos, de acordo com estudo de HENSCHKE et al., 2022.^[25,30]

Adicionalmente, uma avaliação dinâmica da ADM amplifica esse viés, quando comparada a avaliação estática, como contrapõe KEOGH et al., 2019.^[29] Apesar disso, comparado a outros estudos, este apresenta vantagens na possibilidade de comparar movimentos em mais de um plano, assim como realizar uma avaliação dinâmica e simultânea do movimento, possibilitando mais achados e possíveis associações.

No presente estudo foram observadas algumas limitações técnicas do dispositivo durante a coleta de dados que podem explicar parte das variações dos resultados, impactando na confiabilidade e correlação. Foi identificada instabilidade no software do BT associada ao nível da bateria, quando estava abaixo de 50% ocorriam alterações de valores e descalibrações espontâneas levando a medidas incompatíveis com a amplitude fisiológica esperada do ombro. Esses achados, embora pouco documentados, sugerem que a redução do nível de bateria pode afetar a precisão do processamento interno do sinal do BT. Dessa forma, as instabilidades encontradas no software devem ser investigadas em estudos futuros a fim de compreender sua causa e o impacto na confiabilidade das medidas obtidas.

Além disso, foi constatada instabilidade no processamento dos dados, observada pelo fechamento inesperado do aplicativo e por desconexões espontâneas do sensor, indicando que o sistema do BT ainda necessita de aperfeiçoamento. Essas limitações se tornaram mais evidentes em coletas de alto volume de voluntários em sequência, o que sugere que o processamento contínuo de dados pode sobrecarregar a conexão bluetooth ou a capacidade de cache do dispositivo.

As limitações presentes neste estudo são, em primeiro lugar, a carência na padronização de medidas entre os avaliadores para ambos instrumentos. Além disso, a falta da inserção de uma população com patologia no ombro e sua influência na precisão no cenário clínico é relevante para uma investigação futura. Outra limitação foi a variabilidade do intervalo entre as avaliações, que poderia ter sido reduzida com um período de reteste mais padronizado. Apesar das evidências de validade e confiabilidade do Baiobit para mobilidade cervical, marcha e testes de salto, as outras funcionalidades do sistema ainda necessitam de investigação científica adicional.

5. CONCLUSÃO

O sistema Baiobit apresentou confiabilidade moderada a forte para os movimentos de extensão e abdução do ombro em adultos saudáveis, enquanto a flexão demonstrou menor estabilidade e concordância entre as medidas. Em comparação ao goniômetro universal, observou-se associação variando de fraca a moderada entre os movimentos avaliados, com melhor desempenho para a extensão do ombro, embora com variabilidade relevante entre avaliadores e momentos de coleta.

Os achados sugerem que o dispositivo pode ser utilizado como ferramenta complementar na avaliação funcional da amplitude de movimento do ombro. Entretanto, as limitações metodológicas e técnicas observadas indicam a necessidade de aprimoramento tecnológico do sistema e da realização de estudos adicionais com protocolos mais rigorosos, incluindo métodos de análise de concordância e comparação com instrumentos de referência tridimensionais.

Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses relacionado a esta pesquisa.

Declaração de uso de ferramentas de inteligência artificial

Para a elaboração deste artigo foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial, incluindo, Consensus, OpenEvidence e ChatGPT, com finalidade de auxiliar na busca de literatura científica, aprimoramento da redação e organização das ideias. Todas as informações utilizadas foram verificadas criticamente pelas autoras quanto à elegibilidade das informações, e as referências utilizadas foram obtidas e confirmadas diretamente nas fontes originais.

REFERÊNCIAS

1. Marques AP. Manual de Goniometria. Editora Manole; 1997. 148 p.
2. Mannion AF, Klein GN, Dvorak J, Lanz C. Range of global motion of the cervical spine: intraindividual reliability and the influence of measurement device. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2000;9(5):379–85. doi:10.1007/s005860000187 PubMed PMID: 11057530; PubMed Central PMCID: PMC3611373.
3. Wilson RW, Gansneder BM. Measures of functional limitation as predictors of disablement in athletes with acute ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2000;30(9):528–35. doi:10.2519/jospt.2000.30.9.528 PubMed PMID: 10994862.
4. Surgeons AA of O. *Joint Motion: Method of Measuring and Recording.* Churchill Livingstone; 1965. 100 p.
5. Barnes CJ, Van Steyn SJ, Fischer RA. The effects of age, sex, and shoulder dominance on range of motion of the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10(3):242–6. doi:10.1067/mse.2001.115270 PubMed PMID: 11408905.
6. Roldán-Jiménez C, Cuesta-Vargas AI. Age-related changes analyzing shoulder kinematics by means of inertial sensors. *Clin Biomech.* 2016;37:70–6. doi:10.1016/j.clinbiomech.2016.06.004 PubMed PMID: 27362972.
7. Gajdosik RL, Bohannon RW. Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Phys Ther.* 1987;67(12):1867–72. doi:10.1093/ptj/67.12.1867 PubMed PMID: 3685114.
8. Riddle DL, Rothstein JM, Lamb RL. Goniometric reliability in a clinical setting. Shoulder measurements. *Phys Ther.* 1987;67(5):668–73. doi:10.1093/ptj/67.5.668 PubMed PMID: 3575423.
9. Quintero-Diaz K, Mendez-Antolinez L, Pabon-Rozo C, Mateus Arias O, Martínez Torres J. Reliability of manual goniometry vs. photogrammetry for elbow and wrist range of motion. *Phys Ther Rev.* 2025;30:1–7. doi:10.1080/10833196.2025.2496861
10. Farooq MN, Bandpei MAM, Ali M, Khan GA. Reliability of the universal goniometer for assessing active cervical range of motion in asymptomatic healthy persons. *Pak J Med Sci.* 2016;32(2):457–61. doi:10.12669/pjms.322.8747 PubMed PMID: 27182261; PubMed Central PMCID: PMC4859044.
11. Muralidaran S, Wilson-Smith AR, Maharaj M, Bas PB, Bas LN, PhD TW, 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 [citado 30 de maio de 2026]. Disponível em: <https://www.gavinpublishers.com/article/view/validation-of-a-novel-digital-goniometer-as-a-range-of-motion-assessment-tool-for-the-lower-extremity>

12. Kolber MJ, Pizzini M, Robinson A, Yanez D, Hanney WJ. The reliability and concurrent validity of measurements used to quantify lumbar spine mobility: an analysis of an iPhone® application and gravity based inclinometry. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8(2):129–37. PubMed PMID: 23593551; PubMed Central PMCID: PMC3625792.
13. Boone DC, Azen SP, Lin CM, Spence C, Baron C, Lee L. Reliability of goniometric measurements. *Phys Ther.* 1978;58(11):1355–60. doi:10.1093/ptj/58.11.1355 PubMed PMID: 704684.
14. Pandya S, Florence JM, King WM, Robison JD, Oxman M, Province MA. Reliability of goniometric measurements in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Phys Ther.* 1985;65(9):1339–42. doi:10.1093/ptj/65.9.1339 PubMed PMID: 4034668.
15. McVeigh KH, Murray PM, Heckman MG, Rawal B, Peterson JJ. Accuracy and Validity of Goniometer and Visual Assessments of Angular Joint Positions of the Hand and Wrist. *J Hand Surg.* 2016;41(4):e21-35. doi:10.1016/j.jhsa.2015.12.014 PubMed PMID: 26810826.
16. Bovens AM, van Baak MA, Vrencken JG, Wijnen JA, Verstappen FT. Variability and reliability of joint measurements. *Am J Sports Med.* 1990;18(1):58–63. doi:10.1177/036354659001800110 PubMed PMID: 2405721.
17. Goodwin J, Clark C, Deakes J, Burdon D, Lawrence C. Clinical methods of goniometry: a comparative study. *Disabil Rehabil.* 1992;14(1):10–5. doi:10.3109/09638289209166420 PubMed PMID: 1586755.
18. Lea RD, Gerhardt JJ. Range-of-motion measurements. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(5):784–98. doi:10.2106/00004623-199505000-00017 PubMed PMID: 7744906.
19. Walker JM, Sue D, Miles-Elkousy N, Ford G, Trevelyan H. Active mobility of the extremities in older subjects. *Phys Ther.* 1984;64(6):919–23. doi:10.1093/ptj/64.6.919 PubMed PMID: 6728913.
20. Materia SI. BTS Bioengineering [Internet]. [citado 30 de maio de 2026]. BTS Bioengineering - Motion Capture Systems for Sport & Healthcare. Disponível em: <https://www.btsbioengineering.com/>
21. Baiobit: Sistema de Avaliação da Função Motora. Kinetec [Internet]. [citado 30 de maio de 2026]. Disponível em: <https://kinetec.com.br/new/baiobit/>
22. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155–63. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012 PubMed PMID: 27330520; PubMed Central PMCID: PMC4913118.
23. Rigoni M, Gill S, Babazadeh S, Elsewaisy O, Gillies H, Nguyen N, et al. Assessment of Shoulder Range of Motion Using a Wireless Inertial Motion Capture Device-A Validation Study. *Sensors.* 2019;19(8):1781. doi:10.3390/s19081781 PubMed PMID: 31013931; PubMed Central PMCID: PMC6514956.

24. Beshara P, Chen JF, Read AC, Lagadec P, Wang T, Walsh WR. The Reliability and Validity of Wearable Inertial Sensors Coupled with the Microsoft Kinect to Measure Shoulder Range-of-Motion. *Sensors*. 2020;20(24):7238. doi:10.3390/s20247238 PubMed PMID: 33348775; PubMed Central PMCID: PMC7766751.
25. Kaszyński J, Baka C, Białecka M, Lubiowski P. Shoulder Range of Motion Measurement Using Inertial Measurement Unit-Concurrent Validity and Reliability. *Sensors*. 2023;23(17):7499. doi:10.3390/s23177499 PubMed PMID: 37687955; PubMed Central PMCID: PMC10490745.
26. Kiatkulanusorn S, Luangpon N, Srijunto W, Watechagit S, Pitchayadejanant K, Kuharat S, et al. Analysis of the concurrent validity and reliability of five common clinical goniometric devices. *Sci Rep*. 2023;13(1):20931. doi:10.1038/s41598-023-48344-6
27. Wang J, Wang R, Zhao P, Han T, Cui X, He Y, et al. The reliability and validity of a novel wearable inertial sensor to measure the cervical proprioception. *Med Eng Phys*. 2024;125:104125. doi:10.1016/j.medengphy.2024.104125 PubMed PMID: 38508802.
28. Fraeulin L, Holzgreve F, Brinkbäumer M, Dziuba A, Friebe D, Klemz S, et al. Intra- and inter-rater reliability of joint range of motion tests using tape measure, digital inclinometer and inertial motion capturing. *PloS One*. 2020;15(12):e0243646. doi:10.1371/journal.pone.0243646 PubMed PMID: 33301541; PubMed Central PMCID: PMC7728246.
29. Keogh JWL, Cox A, Anderson S, Liew B, Olsen A, Schram B, et al. Reliability and validity of clinically accessible smartphone applications to measure joint range of motion: A systematic review. *PloS One*. 2019;14(5):e0215806. doi:10.1371/journal.pone.0215806 PubMed PMID: 31067247; PubMed Central PMCID: PMC6505893.
30. Henschke J, Kaplick H, Wochatz M, Engel T. Assessing the validity of inertial measurement units for shoulder kinematics using a commercial sensor-software system: A validation study. *Health Sci Rep*. 2022;5(5):e772. doi:10.1002/hsr2.772 PubMed PMID: 35957976; PubMed Central PMCID: PMC9364332.