

VALIDAÇÃO DO CVMOBXR PARA TAREFAS DE MEMBROS SUPERIORES

CVMOBXR VALIDATION FOR UPPER LIMB TASKS

Dandara Morgana Souza Nunes Dias¹, Giovanna Gamielle Sampaio de Jesus²,
Mateus Souza Silva ³, José Garcia Vivas Miranda⁴, Ana Lúcia Góes⁵, Bruno Teixeira
Goes⁶, Ana Paula Quixadá⁷

1. Acadêmica do curso de Fisioterapia da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Bahia, Brasil. ORCID: 0009-0003-8027-1184
2. Acadêmica do curso de Fisioterapia da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública. ORCID: 0009-0008-6648-8842
3. Físico, doutorando em Engenharia Biomédica pela Rutgers University. ORCID: 0000-0002-3022-3550
4. Físico, doutor em Ciências Ambientais pela Universidad de La Coruña, docente da Universidade Federal da Bahia, Brasil. ORCID: 0000-0002-7752-8319
5. Fisioterapeuta, doutora em Medicina e Saúde Humana pela Escola de Medicina e Saúde Pública, docente da Universidade Federal da Bahia, Brasil. ORCID: 0000-0003-2486-0876
6. Fisioterapeuta, doutor em Medicina e Saúde Humana pela Escola de Medicina e Saúde Pública, docente da Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública, Bahia, Brasil. ORCID: 0000-0002-5782-6394
7. Fisioterapeuta, doutora em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia, docente da Universidade Federal da Bahia, Brasil. ORCID: 0000-0002-7399-0645

Autora para correspondência: Dandara Morgana Souza Nunes Dias,

E-mail: dandaradias22.1@bahiana.edu.br

RESUMO

INTRODUÇÃO: As tarefas de membro superior são fundamentais para atividades de vida diária. Os sistemas de análise tridimensional do movimento são considerados o padrão-ouro para a análise quantitativa deste. Contudo, tais sistemas apresentam um alto custo, baixa imersão do indivíduo na tarefa realizada e dependência do conhecimento técnico para aplicação e interpretação dos dados. Os óculos de realidade virtual (Quest 3) possuem câmeras infravermelho que conseguem capturar o movimento durante o seu uso e possuem um baixo custo em comparação ao padrão-ouro de análise do movimento. Diante destes aspectos, foi desenvolvido um *software* de análise tridimensional dos dados cinemáticos capturados pelo Quest 3, o CvMobXR. Uma vez que este é um instrumento de medida novo, é necessário um processo de validação das suas medidas. **OBJETIVO:** Validar o CvMobXR como ferramenta de análise tridimensional do movimento humano. **METODOLOGIA:** O estudo é do tipo observacional, transversal e de acurácia. Foram recrutados 50 participantes. Estes sentaram no centro do laboratório, usando o Quest 3, com um controle e marcadores reflexivos na mão dominante. Foi projetada pelos óculos uma mesa virtual na qual estava

disposta uma caixa e uma bola, em tamanhos proporcionais. A tarefa foi colocar a bola dentro da caixa. Foram realizadas 21 repetições, sendo 7 repetições para cada tamanho da bola. As propriedades cinemáticas do movimento foram medidas, simultaneamente, com o sistema de captura em vídeo tridimensional e o Quest 3. Foram utilizados os valores máximos de trajetória e total de todos os planos para validação através do método BlandAltman. **RESULTADO:** Foi encontrada forte correlação positiva evidenciada pelos coeficientes de correlação (R), com mediana $R > 0,98$ em todos os eixos. Conforme o método *Bland-Altman* houve boa concordância entre os sistemas para valores de trajetória, amplitude e velocidade. Os valores médios se apresentam próximos a zero e dentro dos limites de concordância estabelecidos (IC: 95%). **CONSIDERAÇÕES FINAIS:** O *CVMobXR* é uma ferramenta válida e aplicável para mensurações cinemáticas nos planos X, Y e Z de movimento de membros superiores. As mensurações geradas pelo *CvMobXR* são concordantes ao padrão-ouro e podem ser utilizadas para a análise tridimensional do movimento de membros superiores.

PALAVRAS-CHAVE: Movimento; Realidade Virtual; Estudo de Validação; Extremidade Superior.

ABSTRACT

BACKGROUND: Upper limb tasks are essential for daily living activities. Three-dimensional motion analysis systems are considered the gold standard for quantitative analysis of human movement. However, such systems are expensive, offer limited task immersion, and require technical expertise for data application and interpretation. Virtual reality headsets (Quest 3) feature infrared cameras capable of capturing motion during use and are more affordable compared to gold-standard systems. Due to their accessibility and immersive capabilities, a software for three-dimensional kinematic data analysis using Quest 3 - **CvMobXR** - was developed. As a newly developed measurement tool, it required a validation process. **OBJECTIVE:** To verify whether *CvMobXR* is a valid tool for three-dimensional analysis of human movement. **METHODS:** This is an observational, cross-sectional, and accuracy study. A total of 50 participants were recruited. Participants sat in the center of the laboratory wearing the Quest 3 headset, with a controller and reflective markers on their dominant hand. A virtual table was projected through the headset, with a proportionally sized box and ball. The task consisted of placing the ball into the box. A total of 21 repetitions were performed, with 7 repetitions for each ball size. Kinematic properties were measured simultaneously by a three-dimensional video capture system and the Quest 3. Maximum and total trajectory values across all movement planes were used for validation using the Bland-Altman method. **RESULTS:** A strong positive correlation was found, evidenced by the correlation coefficients (R), with a median $R > 0.98$ across all axes. According to the Bland-Altman method, there was good agreement between the systems for trajectory, amplitude, and velocity values. The average values are close to zero and within the established limits of agreement (CI: 95%). **CONCLUSIONS:** *CVMobXR* is

a valid and applicable tool for kinematic measurements in the X, Y, and Z axis of upper limb movement. The measurements generated by CvMobXR are consistent with the gold standard and can be used for three-dimensional analysis of upper limb movement.

KEYWORDS: Movement; Virtual Reality; Validation Study; Upper Limb.

INTRODUÇÃO

A análise cinemática do movimento humano pode ser realizada por meio de sistemas bidimensionais ou tridimensionais, os quais medem variáveis quantitativas envolvidas no movimento humano, tais como deslocamento, velocidade e aceleração (1). O movimento humano é o resultado da interação entre múltiplos sistemas e segmentos, o que gera uma ampla variabilidade motora na realização das tarefas do dia a dia (2). As tarefas de membro superior são fundamentais não apenas para habilidades motoras finas, mas também, para habilidades motoras grossas, como na marcha, na recuperação do equilíbrio e na proteção do corpo quando o equilíbrio não é recuperado (3).

As tarefas dos membros superiores acontecem em múltiplos planos e eixos, ou seja, são tridimensionais e precisam de uma avaliação que envolva todos os planos onde os movimentos estão sendo feitos (2). Um dos recursos disponíveis no mercado para a análise do movimento é a tecnologia de realidade virtual ou realidade expandida (VR/AR), que se diferem por fornecerem uma total imersão no mundo virtual ou uma sobreposição entre o mundo virtual e o real, respectivamente (4). Para além da composição da realidade virtual ou expandida, os equipamentos de VR e AR medem o movimento a partir de sensores acoplados nos controles, a exemplo do *head-mounted display* Quest 2, o qual já foi validado para tarefas de membros superiores (5).

Atualmente a análise do movimento feita a partir de um sistema tridimensional é o padrão-ouro. Tal sistema utiliza-se, normalmente, de técnicas optoeletrônicas com câmeras que focam o flash de luz em superfícies semicondutoras e o posicionamento de câmeras optoeletrônicas para o mapeamento do movimento e identificação das coordenadas, que definem um sistema de referência espacial (1). No entanto, tais sistemas apresentam um alto custo, baixa imersão do indivíduo na tarefa realizada, ausência de personalização do contexto de avaliação, necessidade de conhecimento técnico do avaliador para aplicação e interpretação dos dados e, conseqüentemente, escassa implantação na prática hospitalar e ambulatorial (4,6–8).

Diante da possibilidade de personalização do ambiente e tarefa a ser realizada de modo que seja funcional e promova uma imersão do indivíduo na experiência, a realidade virtual torna-se um recurso singular (4,9). Adicionalmente a estes aspectos, a obtenção de dados exportáveis em diferentes formatos, disponível pela interface do aplicativo do avaliador, torna mais propício a compatibilidade com diferentes sistemas operacionais, facilitando a operacionalização em pesquisas ou no meio clínico, hospitalar e ambulatorial.

Em busca de desenvolver um sistema com estas características, os integrantes do Núcleo de Inovação Tecnológica em Reabilitação, grupo de pesquisa da Universidade Federal da Bahia, desenvolveram um sistema tridimensional em realidade virtual, o CVMobXR. Entretanto, frente à utilização de um recurso desconforme aos já encontrados na literatura e, partindo da busca pela compreensão e reconhecimento dessa nova tecnologia, esse estudo busca validar o CvMobXR como ferramenta de análise tridimensional do movimento humano.

METODOLOGIA

Desenho de estudo

Esse estudo observacional, transversal e de acurácia seguiu as recomendações do guia para escrita de estudos para avaliação de instrumentos em saúde: COnsensus-based Standards for the selection of health Measurement INstruments (COSMIN) (10). Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Escola de Enfermagem da Universidade Federal da Bahia (CAAE: 83730424.8.0000.5531).

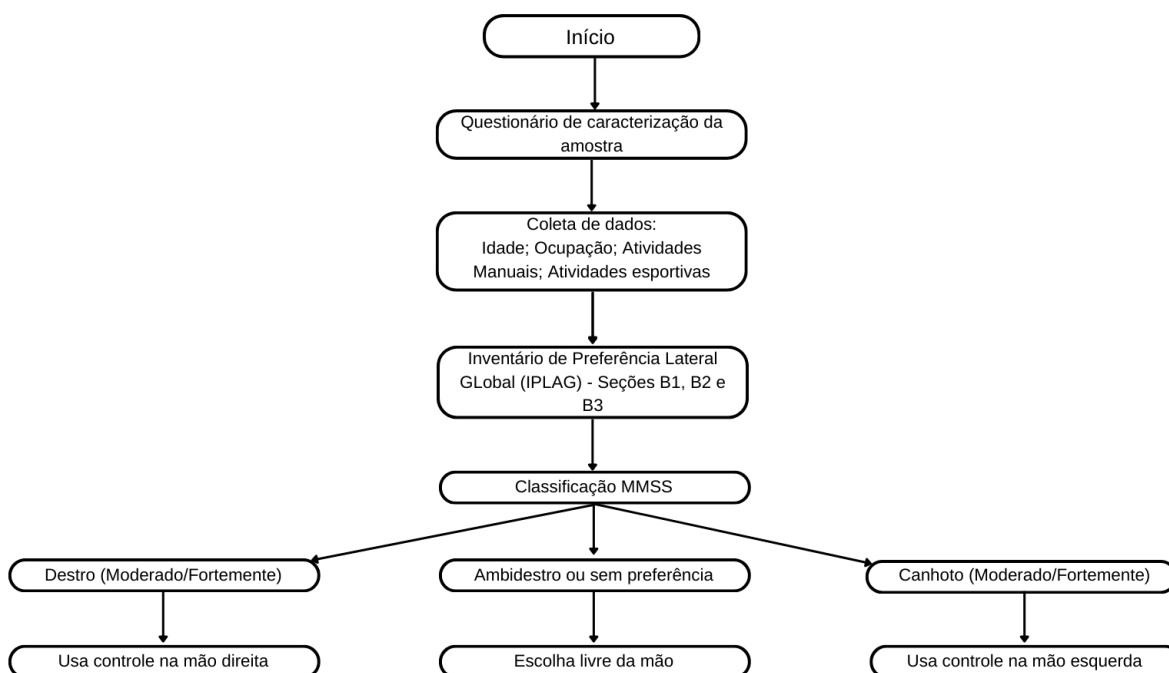
Critérios de Elegibilidade

Foram recrutados 50 voluntários hígidos para participar do estudo por uma amostra de conveniência, selecionados a partir do método *snowball*. Foram incluídos indivíduos de ambos os sexos, com idade superior a 18 anos. Participantes com qualquer condição médica (ex: neurológica, ortopédica) ou restrição física que pudesse impedir as avaliações do estudo foram excluídos. Todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Procedimento experimental

A coleta foi realizada no Laboratório de Movimento da Escola de Dança da Universidade Federal da Bahia. Primeiramente, os indivíduos responderam um questionário de caracterização da amostra, no qual foram coletadas informações sobre idade, ocupação, atividades que faz no cotidiano e atividades esportivas. Para verificar a preferência lateral dos sujeitos foi utilizado o *software* do Inventário de Preferência Lateral Global (IPLAG), seções de membros superiores (IPLAG-B1, B2 e B3). Usaram o controle na mão direita os sujeitos que obtiveram um resultado classificado no item “Preferência MMSS” como Destro moderado ou Fortemente destro; usaram o controle na mão esquerda os sujeitos que obtiveram um resultado classificado no item “Preferência MMSS” como Canhoto moderado ou Fortemente canhoto; para os sujeitos classificados no item “Preferência MMSS” como Ambidestro ou Sem preferência, a mão que manipulou o controle do jogo foi escolhida pelo participante (Figura 1).

Figura 1. Procedimentos iniciais de coleta de dados no Laboratório de Movimento da Escola de Dança da Universidade Federal da Bahia; Salvador, 2025.



As propriedades cinemáticas do movimento foram medidas com o sistema de captura em vídeo com 17 câmeras (OptiTrack Flex-13, Oregon Estados Unidos da América), com taxa amostral de 120Hz e o óculos de Realidade Virtual Quest 3

(Meta Platforms Technologies, Califórnia Estados Unidos da América), com taxa amostral de aproximadamente 45Hz (Figura 2).

Figura 2. *Motion Capture System* e Óculos Quest 3. Da esquerda para a direita, câmeras optoeletrônicas, marcadores reflexivos, luvas de neoprene, *head-mounted display* e controles.



Para a obtenção dos dados, foi necessário colocar uma luva e uma bandana de neoprene, nas quais foram fixados com velcro marcadores reflexivos, posicionados 3 centímetros abaixo da cabeça do segundo metacarpo e três marcadores posicionados na cabeça. Como o sistema de captura por vídeo só mede em 3 dimensões, foi necessário usar um acessório para a captura em 6D (três de translação e 3 de rotação), o qual foi posicionado no centro da mão dominante. Cada participante usou uma máscara descartável para uso de óculos de realidade virtual, touca descartável para a cabeça e higienizou as mãos com álcool gel antes e depois do uso das luvas e controles. Todos os materiais vestíveis (bandana e luvas) foram lavados após o dia de coleta.

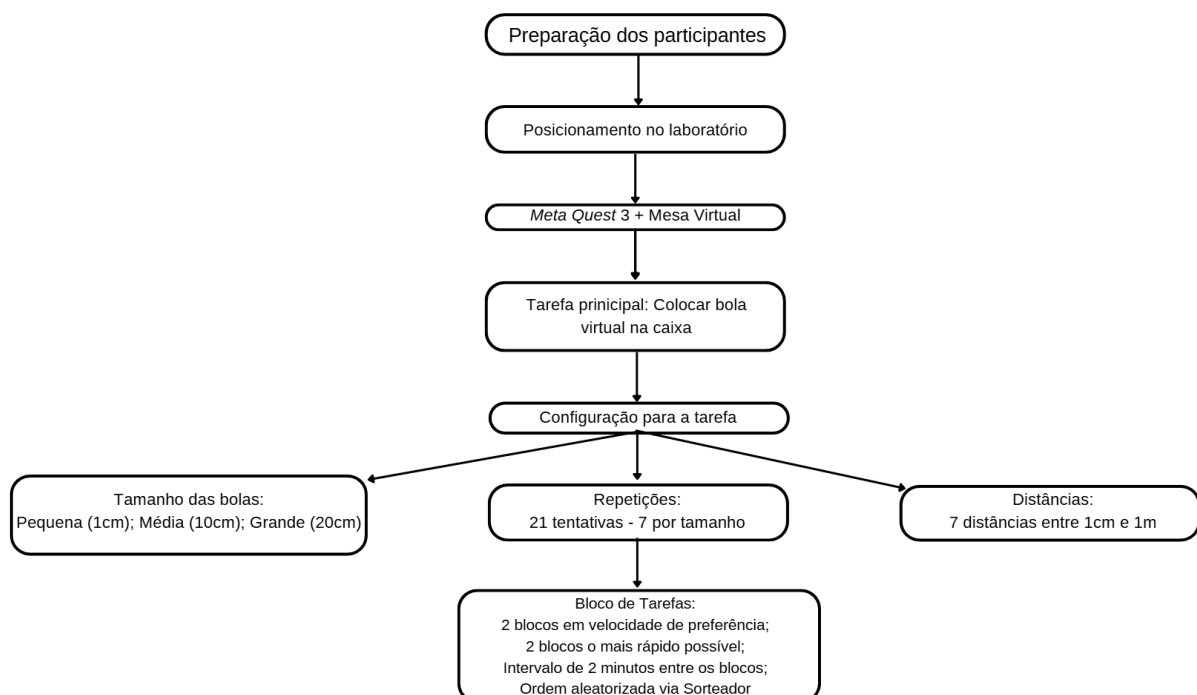
Os participantes foram posicionados sentados no centro do laboratório, usando óculos de realidade virtual com os controles nas mãos. Foi projetada pelo óculos uma mesa virtual em frente ao participante. O tamanho e altura da mesa poderiam ser ajustados de acordo com a preferência de cada um deles. Nesta estava disposta uma caixa com tamanho proporcional à bola, que estava sobre a mesa. A tarefa do sujeito foi colocar a bola virtual dentro da respectiva caixa, que desaparecia quando havia o encaixe, de modo que houve um número máximo de tentativas na tarefa. Quando não havia o acerto na caixa, a bola corria na mesa.

As caixas apareceram na parte superior da mesa em uma posição fixa e as bolas apareceram em diferentes posições na mesa para garantir elementos de movimento

de tamanhos diferentes. O tamanho das bolas e das caixas foram pré-determinadas e relacionadas. Havia bolas pequenas (1cm), médias (10 cm) e grandes (20cm). Sendo que, as bolas apareceram na mesa um tamanho por vez, assim, foram realizadas 21 repetições, sendo 7 repetições para cada tamanho da bola e houve 7 distâncias diferentes para cada bola, com mínimo de 1cm e máximo de 1 metro (Figura 3).

A tarefa foi realizada em quatro blocos e foram dadas duas orientações aos participantes. Sendo que foram 2 blocos em velocidade de preferência e 2 blocos o mais rápido possível. Os participantes tiveram um intervalo de descanso de 2 minutos após cada tarefa realizada para garantir que não houvesse fadiga. Quando terminaram uma sequência, surgia a mensagem “Pausa para descanso” e puderam continuar após 2 minutos. A fim de evitar o efeito de aprendizagem, a ordem das tarefas foi aleatorizada via site “Sorteador” (11).

Figura 3. Procedimentos de preparação dos participantes para realização da tarefa; Salvador, 2025.



Análise de dados

Para a extração dos dados cinemáticos da posição do marcador anatômico foi utilizado o *software* Motive da *OptiTrack*, que exportou um arquivo em .csv com os

dados de posição nos eixos X, Y e Z. Para a extração dos dados com os óculos de realidade virtual foi utilizado o sistema CvMobXR, que exportou um arquivo em .csv com os dados de posição nos eixos X, Y e Z, assim como o tamanho das bolas e blocos correspondentes a cada *frame*.

Para possibilitar a sincronização dos dados de ambos os sistemas de captura, efetuar a sincronização dos dados de ambos os sistemas de captura, foi efetuada uma interpolação dos dados do CvMobXR (aproximadamente 45 FPS) para a mesma frequência de captura do *OptiTrack* (120 FPS). Em seguida, foi utilizada a função de *cross correlation*. Tal função informa o atraso de uma série temporal em relação a outra para maximizar a correlação entre ambas. Após a determinação do atraso que maximiza a correlação, foram mantidos os frames em ambas as séries temporais que se sobrepõem.

Após sincronizadas, as séries temporais foram centradas na origem, ao subtrair a trajetória de cada eixo pela coordenada média. A centralização da trajetória na origem, em ambas as séries temporais, foi efetuada pois os marcadores dos dois sistemas (*OptiTrack* e CvMobXR) não foram localizados na mesma posição, além da diferença entre os sistemas de coordenadas destes sistemas, sendo o do *OptiTrack* no chão e do Quest 3 no óculos, portanto, para comparar as trajetórias visualmente, se faz necessário este artifício.

Análise estatística

Os dados foram tabulados no *Microsoft Excel* e posteriormente analisados pelo *software* JASP (12). Para verificar a normalidade da distribuição da amostra foi utilizado o teste de *Kolmogorov-smirnov*, $DP < 50\%$ da média, $média < 20\%$ da mediana, análise qualitativa de histograma, *skewness* e *kurtosis* (valores entre -3 e +3) e todos os dados tiveram distribuição normal.

Para validar os valores de trajetória medidos pelo CvMobXR, foi usado o método de *Bland-Altman*, no qual o eixo das abscissas (X) representa a média das medidas dos dois métodos, e o eixo das ordenadas (Y) exibe a diferença entre eles. Serão calculados a diferença média e os limites de concordância superior e inferior (definidos como a diferença média $\pm 1,6$ desvios padrão das diferenças).

Para cada variável analisada ser considerada concordante foram estabelecidos os seguintes critérios: 1. Pelo menos 95% da distribuição dos pontos deve permanecer dentro do intervalo de concordância; 2. A média das diferenças deve ser próxima ao zero; 3. Intervalo de concordância próximo da diferença média; e 4. Distribuição dos indivíduos mais próxima do zero e da diferença média e não dos limites de concordância. As variáveis comparadas foram: Amplitude dos eixos X, Y e Z e valor máximo da trajetória nos eixos X, Y e Z.

Para testar a relação linear entre as variáveis do *OptiTrack* e *CvMobXR*, foi utilizada a correlação de Pearson. Essa análise bivariada permitiu identificar se há relação entre os dados obtidos em cada sistema considerando a significância estatística com $p < 0,05$, direção e força de correlação, com ponto de corte definido por Cohen (13), a saber: 0 - 0,3 desprezível; 0,3 - 0,5 fraca; 0,5 - 0,7 moderada; 0,7 - 0,9 forte; acima de 0,9 muito forte.

RESULTADOS

A amostra foi composta por 50 participantes, com média de idade de $25,1 \pm 8,2$ anos, variando de 18 a 54 anos. A maioria dos participantes eram destros (92%), sendo quanto a ocupação, majoritariamente, estudantes (66%), seguidos por professoras (10%) e profissionais autônomos (4%).

A prática de atividades esportivas foi relatada por 68% dos participantes. Os esportes mais frequentemente mencionados foram musculação ($n=19$), artes marciais ($n=11$), corrida ($n=9$), dança ($n=7$) e futsal ($n=5$). Nenhum participante relatou condições clínicas impeditivas para a prática de atividades físicas, como fraturas, infecções ativas, crises de dor aguda ou crônica, ou disfunções cardiovasculares não controladas (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização das variáveis sociodemográficas da amostra ($n=50$); Salvador, 2025.

Variável	n (%) ou Média \pm DP
Idade (anos)	26.2 \pm 8.7 (18 a 54)
Ocupação	
Estudante	34 (68,0%)
Professora	5 (10,0%)
Autônomo	2 (4,0%)
Técnico de enfermagem	1 (2,0%)
Pedagoga	1 (2,0%)
Artista (dançarino)	1 (2,0%)
Confeiteiro/segurança	1 (2,0%)
Internacionalista	1 (2,0%)
Auxiliar administrativo	1 (2,0%)
Supervisor de tráfego	1 (2,0%)
Fisioterapeuta	1 (2,0%)
Recepcionista	1 (2,0%)
Lateralidade	
Destra (D)	46 (92,0%)
Canhota (C)	4 (8,0%)
Pratica esportes?	
Sim	34 (68,0%)
Não	16 (32,0%)
Esportes praticados*	
Musculação	19
Corrida	9
Dança	7
Futsal	5
Artes marciais	11
Surf	2
Funcional	1
Crossfit	1
Basquete	1
Vôlei	1
Futevôlei	1
Condições de saúde	Nenhuma relatada
Atividades manuais cotidianas**	
Tocar instrumentos musicais	12
Desenhar	9
Costurar	5
Pintar	3
Artesanato	3
Jogar vídeo game	3
Escrever	3

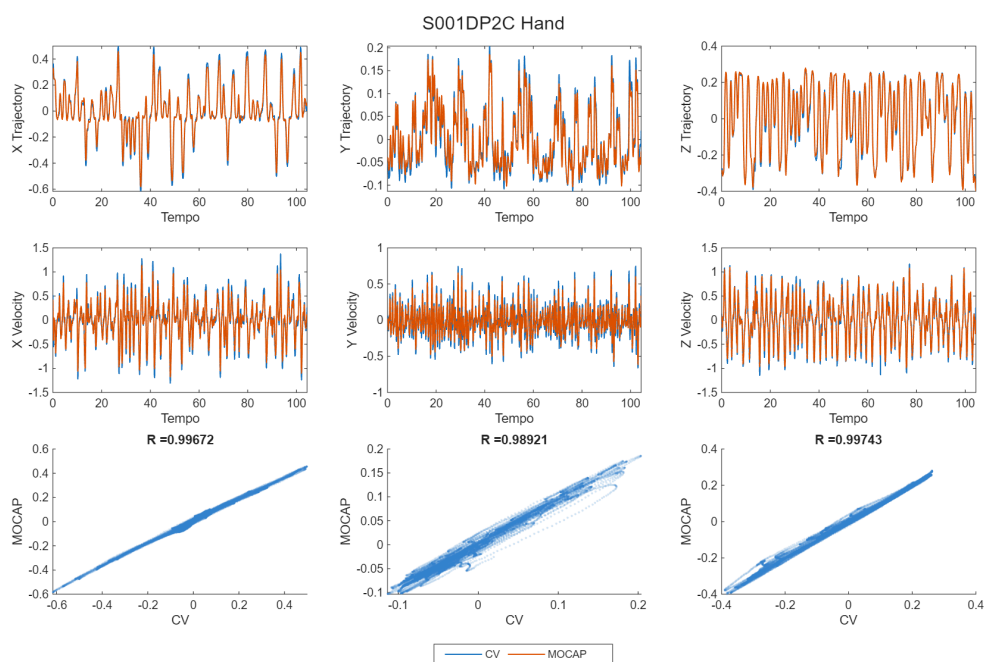
*Os participantes poderiam mencionar mais de um esporte.

**Alternativa de múltipla escolha.

Na figura 4 as colunas A, B e C, apresentam as séries temporais dos valores dos eixos X, Y e Z, respectivamente, comparando o CvMobXR (representado em azul) e o *MoCap Optitrack* (representado em laranja). A primeira linha da figura mostra a trajetória ao longo do tempo, a segunda linha a velocidade ao longo do tempo e a última linha apresenta a correlação das trajetórias dos dois sistemas.

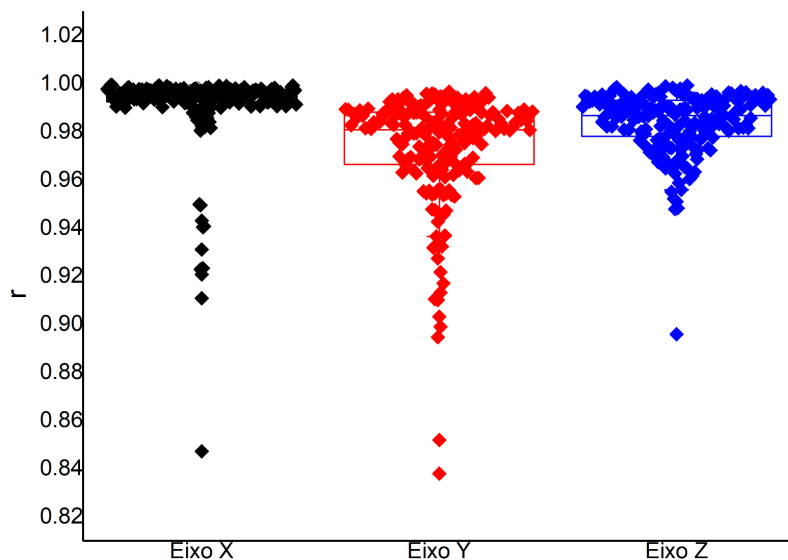
Ainda na figura 4, a trajetória do CvMobXR (em azul) tem valores de pico maiores que a trajetória do *Mocap Optitrack* (em laranja), principalmente no eixo Y. O comportamento de sobreposição das curvas indica uma forte correlação positiva entre os sistemas, evidenciada pelos coeficientes de correlação (R) nos gráficos de dispersão, apresentando mediana de $R > 0.98$ em todos os eixos.

Figura 4. Séries temporais dos valores dos eixos X, Y e Z para a trajetórias, velocidade e correlações do CvMobXR (em azul) e *Mocap Optitrack* (em laranja) em cada eixo.



Os gráficos em boxplot da figura 5 mostram a diferença de correlação observada no eixo Y (Mediana = 0,980 e intervalo interquartil[0,021]) em relação aos demais eixos X (mediana = 0,995 e intervalo interquartil[0,004]) e Z (mediana = 0,986 e intervalo interquartil[0,014]).

Figura 5: Distribuição dos valores de Correlação de Pearson encontrados entre o eixo Y e os demais eixos.



Na análise de Bland-Altman (Figura 6) da amplitude no eixo X, a diferença média (viés sistemático ou bias) observada foi de 0,057m, com intervalo de confiança de 95% (IC 95%) de 0,052 a 0,062 metros. Os limites de concordância foram de 0,127 e -0,013m (IC 95%: 0,118 e 0,135 para o limite superior e -0,022 e -0,004 para o limite inferior). A análise identificou 6 pontos (3,04% dos dados) além dos limites de concordância.

Para a variável valor máximo da velocidade no eixo X, a diferença média encontrada foi de 0,256m/s (IC 95%: 0,211 e 0,301m/s). Os limites de concordância foram de 0,887 e -0,375m/s (IC 95%: 0,808 e 0,965 para o limite superior e -0,453 e -0,296m/s para o limite inferior). A análise identificou 4 pontos (2,03% dos dados) além dos limites de concordância.

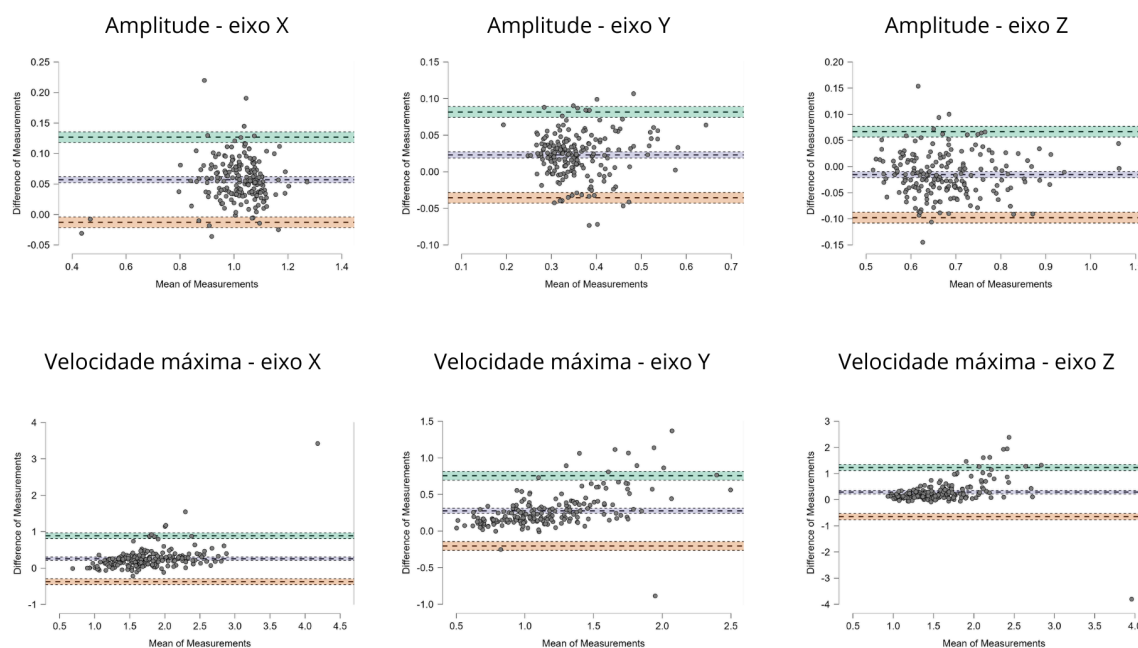
Para a análise da amplitude no eixo Y, a diferença média (viés sistemático ou bias) observada foi de 0,023m, com intervalo de confiança de 95% (IC 95%) de 0,019 a 0,027 metros. Os limites de concordância foram de 0,082 e -0,036m (IC 95%: 0,074 e 0,089 para o limite superior e -0,043 e -0,028 para o limite inferior). A análise identificou 5 pontos (2,5% dos dados) além dos limites de concordância. Para a variável valor máximo da velocidade no eixo Y, a diferença média encontrada foi de 0,276m/s (IC 95%: 0,242 e 0,310m/s). Os limites de concordância foram de 0,756 e -0,204m/s (IC 95%: 0,697 e 0,816 para o limite superior e -0,264 e -0,144m/s para o

limite inferior). A análise identificou 9 pontos (4,5% dos dados) além dos limites de concordância.

No eixo Z, a diferença média (viés sistemático ou bias) observada foi de -0,015m, com intervalo de confiança de 95% (IC 95%) de -0,021 a -0,010 metros. Os limites de concordância foram de 0,067 e -0,098m (IC 95%: 0,057 e 0,077 para o limite superior e -0,108 e -0,088 para o limite inferior). A análise identificou 4 pontos (2% dos dados) além dos limites de concordância.

Para a variável valor máximo da velocidade no eixo Z, a diferença média encontrada foi de 0,291m/s (IC 95%: 0,223 e 0,358m/s). Os limites de concordância foram de 1.230 e -0,648m/s (IC 95%: 1.113 e 1.346 para o limite superior e -0,765 e -0,532m/s para o limite inferior). A análise identificou 7 pontos (3,5% dos dados) além dos limites de concordância.

Figura 6: Gráficos Bland Altman de Amplitude e Velocidade máxima para os eixos X, Y e Z.



DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi validar o CvMobXR como ferramenta de análise tridimensional do movimento humano. Os resultados mostram que a trajetória e a velocidade em série temporal dos eixos X, Y e Z obtidas por ambos os sistemas

possuem forte correlação e que os valores de trajetória, amplitude e velocidade são concordantes com os dados obtidos pelo padrão-ouro.

A trajetória do CvMobXR apresentou valores de pico maiores que a trajetória do *Mocap Optitrack* principalmente no eixo Y. Este resultado pode ser justificado pelo viés metodológico do uso de marcadores em diferentes locais para cada sistema. O sensor do controle é posicionado mais distal e lateral em relação ao marcador reflexivo do *Mocap Optitrack*. Isto permitiu maior deslocamento do sensor do controle, por estar mais distante do eixo de rotação articular, bem como, a movimentação independente dos dedos, mão e punho durante a realização da tarefa e a interferência por oclusão dos marcadores durante gestos mais rápidos.

McGinley e colaboradores avaliaram a confiabilidade e validade das medidas tridimensionais obtidas por sistemas de análise de movimento baseados em marcadores, tais quais o *OptiTrack*, e descreveram que o comportamento da trajetória no eixo Y, que representa o movimento no eixo vertical, é mais sensível ao posicionamento dos marcadores anatômicos, logo, este eixo é o mais suscetível a ruídos de calibração e reconstrução tridimensional (14).

Na análise através do gráfico *Bland-Altman* os valores obtidos pelo CvMobXR são maiores em relação ao *Optitrack*, em todos os eixos. Os valores médios se apresentam próximos a zero e dentro dos limites de concordância estabelecidos (IC: 95%), indicando boa consistência entre as medidas. Os pontos identificados fora dos limites de concordância foram menores que os 5% de dispersão admitidos para todas as variáveis. Achados semelhantes foram descritos por Uhlrich et. al (15), ao observarem boa concordância na estimativa de parâmetros cinemáticos, mas com maiores dispersões em variáveis de velocidade quando comparadas a medidas de referência em laboratório.

Carnevale e colaboradores observaram que quanto maior a distância do headset para o controle maior a variabilidade das medidas. Apesar da relevância dos achados para definir a validade dessas métricas, bem como os possíveis erros de medida, o estudo foi realizado em condições estáticas. Essa limitação restringe a generalização para contextos funcionais ao reconhecer que o movimento acontece de forma dinâmica em diferentes planos e eixos (2,5). O CvMobXR garante a

validade das métricas em um contexto dinâmico, reduzindo a chance de erros durante a avaliação.

Os resultados de validação do *Oculus Quest 2*, evidenciam erros absolutos de $13,57 \pm 6,57$ mm no eixo X (médio-lateral), a uma distância de 500mm, para a precisão translacional, e de $1,11 \pm 0,37^\circ$ em uma rotação de 40° no eixo Z (5). Essas medidas refletem uma alternativa viável ao uso clínico, com valores para movimentos rotacionais e translacionais concordantes ao padrão-ouro.

Quanto à relação de custo, há outras alternativas validadas para a avaliação quantitativa do movimento humano, a saber: o *OpenCap* utiliza dois *Ip hones* (*Apple Inc.*, 2020.), um painel de calibração e o software próprio, que se apresenta como opção viável para o contexto socioeconômico estadunidense no qual foi criado, mas ao considerar o cenário de um país em desenvolvimento, como o Brasil, outras alternativas devem ser propostas. O uso do *CvMobXR* como ferramenta para avaliação tridimensional do movimento aponta para uma potencial forma de gerar dados quantitativos, reduzir custos no processo de avaliação e garantir a personalização das tarefas (15–17).

De modo geral, os achados demonstram que o *CvMobXR* apresenta forte correlação com o *Optitrack* para medidas de trajetória e velocidade. A consistência observada entre os sistemas, associada à alta correlação, sustenta a utilização do *CvMobXR* como uma ferramenta válida e aplicável para mensurações cinemáticas em diferentes planos de movimento, em contextos de avaliação de movimentos globais de membros superiores.

A tendência de superestimar os valores de pico, majoritariamente no eixo Y, deve ser considerada em análises que demandem precisão absoluta. Outra limitação é a inexistência de adaptadores do console que permitam testar essas métricas para movimentos de membros inferiores, pois, há perda de captação de dados quando há maior distância entre os controles e o *headset* (5,18), logo, a validade deste instrumento é restrita às tarefas de membros superiores.

CONCLUSÃO

O *CVMobXR* é uma ferramenta válida e aplicável para mensurações cinemáticas nos planos X, Y e Z de movimento de membros superiores. As mensurações geradas pelo *CvMobXR* são concordantes ao padrão-ouro e podem ser utilizadas para a análise tridimensional do movimento de membros superiores.

REFERÊNCIAS

1. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 4th ed. Hoboken, N.J: Wiley; 2009.
2. Quixadá A, Cambui E, Miranda JG. Introdução à Complexidade do Movimento Humano. 2020.
3. Anne Shumway-Cook, Marjorie Woollacott. Controle Motor: Teoria e Aplicações Práticas [Internet]. 2º ed. 2010 [citado 29 de março de 2024]. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788520442951/pageid/461>
4. Bruno RR, Wolff G, Wernly B, Masyuk M, Piayda K, Leaver S, et al. Virtual and augmented reality in critical care medicine: the patient's, clinician's, and researcher's perspective. Crit Care. 25 de outubro de 2022;26:326.
5. Carnevale A, Mannocchi I, Sassi MSH, Carli M, De Luca GD, Longo UG, et al. Virtual Reality for Shoulder Rehabilitation: Accuracy Evaluation of Oculus Quest 2. Sensors. 23 de julho de 2022;22(15):5511.
6. Casile A, Fregna G, Boarini V, Paoluzzi C, Manfredini F, Lamberti N, et al. Quantitative Comparison of Hand Kinematics Measured with a Markerless Commercial Head-Mounted Display and a Marker-Based Motion Capture System in Stroke Survivors. Sensors. 15 de setembro de 2023;23(18):7906.
7. Hamill J, KNUTZEN KM, Derrick TR. Bases Biomecânicas do Movimento Humano. 4º ed. 2016.
8. Oppelt K, Hogan A, Stief F, Grützner PA, Trinler U. Movement Analysis in Orthopedics and Trauma Surgery - Measurement Systems and Clinical Applications. Z Orthopadie Unfallchirurgie. junho de 2020;158(3):304–17.
9. Uruthiralingam U, Rea PM. Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education – A Systematic Review. Em: Rea PM, organizador. Biomedical Visualisation [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [citado 2 de novembro de 2025]. p. 89–101. (Advances in Experimental Medicine and Biology; v. 1235). Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-37639-0_5
10. Mokkink LB, Prinsen CA, Patrick DL, Alonso J, Bouter LM, de Vet HC, et al. COSMIN Study Design checklist for Patient-reported outcome measurement instruments.
11. Sorteador [Internet]. Disponível em: <https://sorteador.com.br/>
12. JASP TEAM. JASP (Version 0.95.0)[Computer software] [Internet]. 2025. Disponível em: <https://jasp-stats.org/>
13. Mukaka M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. Malawi Med J J Med Assoc Malawi. setembro de 2012;24(3):69–71.

14. McGinley JL, Baker R, Wolfe R, Morris ME. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: A systematic review. *Gait Posture*. abril de 2009;29(3):360–9.
15. Uhrich SD, Falisse A, Kidziński Ł, Muccini J, Ko M, Chaudhari AS, et al. OpenCap: Human movement dynamics from smartphone videos. Marsden AL, organizador. *PLOS Comput Biol*. 19 de outubro de 2023;19(10):e1011462.
16. OptiTrack [Internet]. [citado 3 de novembro de 2025]. Build Your Own Motion Capture System. Disponível em: <http://optitrack.com/systems/index.html>
17. Meta Quest 3: New Mixed Reality VR Headset - Shop Now | Meta Store | Meta Store [Internet]. [citado 13 de maio de 2024]. Disponível em: <https://www.meta.com/quest/quest-3/>
18. Godden E, Steedman W, Pan MKXJ. Robotic Characterization of Markerless Hand-Tracking on Meta Quest Pro and Quest 3 Virtual Reality Headsets. *IEEE Trans Vis Comput Graph*. maio de 2025;31(5):3025–34.