



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

LUÍZA DOS SANTOS BANKS

**ACURÁCIA DE UM SISTEMA SEM MARCADORES PARA  
ESTIMAR A POSIÇÃO DE TAEKWONDISTAS EM ÁREA DE  
COMBATE OFICIAL**

LUÍZA DOS SANTOS BANKS

**ACURÁCIA DE UM SISTEMA SEM MARCADORES PARA  
ESTIMAR A POSIÇÃO DE TAEKWONDISTAS EM ÁREA DE  
COMBATE OFICIAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação associado em Educação Física – UEL/UEM, como requisito para à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura

Coorientador: Prof. Dr. Donizete Cicero Xavier de Oliveira

Londrina  
2022

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

B218a Banks, Luíza dos Santos.  
Acurácia de um sistema sem marcadores para estimar a posição de taekwondistas em área de combate oficial / Luíza dos Santos Banks. - Londrina, 2022.  
98 f. : il.

Orientador: Felipe Arruda Moura.  
Coorientador: Donizete Cicero Xavier de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2022.  
Inclui bibliografia.

1. Openpose - Tese. 2. Aprendizagem profunda - Tese. 3. Esportes de Combate - Tese. 4. Cinemática - Tese. I. Moura, Felipe Arruda. II. Oliveira, Donizete Cicero Xavier de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. IV. Título.

CDU 796

LUÍZA DOS SANTOS BANKS

**ACURÁCIA DE UM SISTEMA SEM MARCADORES PARA  
ESTIMAR A POSIÇÃO DE TAEKWONDISTAS EM ÁREA DE  
COMBATE OFICIAL**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação associado em Educação Física – UEL/UEM, como requisito para à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Coorientador: Prof. Dr. Donizete Cicero Xavier  
de Oliveira  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro –  
UFTM

---

Prof. Dr. Fabricio Boscolo Del Vecchio  
Universidade Federal de Pelotas – UFPEL

---

Prof. Dr. Emerson Franchini  
Universidade de São Paulo – USP

Londrina, 22 de agosto de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, por sempre estarem ao meu lado me incentivando.

Ao meu orientador Dr. Felipe Arruda Moura, que desde a graduação vem contribuindo tanto para formação acadêmica como pessoal. Obrigada pela disposição, ensinamentos e paciência durante todo este período.

Ao professor Dr. Donizete Cicero Xavier de Oliveira, que também desde a graduação vem colaborando com seus ensinamentos e me incentivando.

Agradeço a todos companheiros do Laboratório de Biomecânica Aplicada pela contribuição e colaboração no meu projeto.

Aos amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

À academia Sparta por ceder o espaço de coleta e por sempre estar disposta a ajudar.

Aos atletas da academia Madureira que participaram do estudo.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

BANKS, Luíza dos Santos. **Acurácia de um sistema sem marcadores para estimar a posição de taekwondistas em área de combate oficial.** Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022

## RESUMO

Sistemas de rastreamento sem marcadores são promissores para auxiliar técnicos e atletas a extraírem informações físicas e técnico-táticas durante eventos oficiais. Deste modo, se faz necessário avaliar a acurácia destes sistemas, a fim de se obter informações fidedignas de atletas em ambientes reais. Em vista disso, esse estudo verificou se o sistema Openpose é um método acurado para rastrear atletas de taekwondo em uma área de combate oficial. Para atingir o objetivo, foram recrutados 6 taekwondistas e solicitado que realizassem movimentações (*steps*) e chutes de forma auto selecionada em duas condições: sem e com adversário. Para capturar o movimento, sete câmeras optoeletrônicas e duas câmeras digitais foram alocadas ao redor da quadra de combate em uma frequência de aquisição de 120 Hz e 30 Hz, respectivamente. Desta maneira, os dados foram extraídos a partir da reconstrução bidimensional (2D) e tridimensional (3D) de marcadores reflexivos fixados em pontos anatômicos de referência e de um sistema baseado em *deep learning* (Openpose). As variáveis analisadas foram o centro de massa e o ponto médio entre os pés, projetados no solo. A acurácia, confiabilidade e concordância dos dados entre o sistema Optoeletrônico e Openpose foram analisados pelo RMS dos erros, erro padrão da média, coeficiente de correlação interclasse (ICC) e pela análise gráfica de Bland e Altman e de regressão linear. Os resultados indicaram que a condição 2D obteve maiores valores de RMS, com valores médios variando de 0,18 a 0,27 m. A condição 3D obteve um valor médio de RMS que variou de 0,06 a 0,14 m. Os valores de ICC foram classificados como excelente ( $ICC > 0,90$ ) em todas as análises (2D e 3D) e condições (sem e com adversário). O sistema sem marcadores avaliado apresenta-se como uma alternativa viável para o rastreamento de taekwondistas em uma análise bidimensional e tridimensional.

**Palavras-Chave:** Openpose; aprendizagem profunda; esportes de combate; Cinemática.

BANKS, Luíza dos Santos. **Accuracy of a markerless system to estimate the position of taekwondists in an official combat area.** Dissertation (Master Degree in Physical Education) – Londrina State University, Londrina, 2022.

## ABSTRACT

Markerless tracking systems could help coaches and athletes to extract physical and technical-tactical information during official matches. Thus, it is crucial to evaluate the accuracy of these systems to obtain reliable information about athletes in real environments. We verified whether the Openpose system is an accurate method to track taekwondo athletes in an official combat area. To achieve the aim, six taekwondo athletes were recruited and asked to perform movements (steps) and kicks in a self-selected way in two conditions: with and without an opponent. To capture the movement, seven optoelectronic cameras and two digital cameras were placed around the combat area at an acquisition frequency of 120 Hz and 30 Hz, respectively. Data were extracted from the two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) reconstruction of reflexive markers attached to anatomical landmarks and a system based on deep learning (Openpose). The variables analyzed were the center of the mass and the midpoint between the feet, projected on the ground. The accuracy, reliability, and agreement of the data between the optoelectronic and Openpose systems were analyzed by the RMS of the errors, standard error of the mean, intraclass coefficient correlation, and Bland Altman and linear regression graphics analysis. The results indicated that the 2D condition presented higher RMS values, with mean values ranging from 0.18 to 0.27 m. The 3D condition obtained an average RMS value that ranged from 0.06 to 0.14 m. The ICC values were classified as excellent ( $ICC > 0.90$ ) in all analyses (2D and 3D) and conditions (with and without an opponent). The markerless system evaluated presents a viable alternative to tracking taekwondo athletes in a two-dimensional and three-dimensional analysis.

**Keywords:** Openpose; deep learning; combat sports; Kinematics.

## LISTA FIGURAS

- Figura 1** – Representação dos 25 pontos-chave digitalizados pelo Openpose fornecido pelo Modelo Body\_25. ....27
- Figura 2** – Representação do erro gerado pelo Openpose, com trocas na estimativa dos pontos-chave. Neste caso, parte dos pontos chave de um atleta está associado ao outro atleta. ....27
- Figura 3** – Medidas da área de competição e sistema de coordenadas estabelecido para a reconstrução 2D e 3D com o sistema de câmeras digitais. ....29
- Figura 4** – Ilustração da reconstrução dos pontos de calibração da área de captura. A) Medição dos pontos associados à calibração 2D, no software DVideo; B) Projeção das coordenadas bidimensionais dos pontos medidos na área de combate no software Matlab; C) Medição dos pontos associados à calibração 3D, no software DVideo; D) Projeção das coordenadas tridimensionais dos pontos medidos na haste no software Matlab. ....29
- Figura 5** – Projeção do centro de massa no solo. Ponto 1: Representação do CM projetado no solo; Ponto 2: Representação do CM. ....31
- Figura 6** – Projeção do ponto médio entre os pés no solo. Ponto 1: Representação do PM projetado no solo; Ponto 2: Representação do PM. ....32
- Figura 7** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional x na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM. ....35
- Figura 8** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional y na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM. ....36

- Figura 9** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional x na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.....37
- Figura 10** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional y na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.....38
- Figura 11** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional x na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.....42
- Figura 12** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional y na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.....43
- Figura 13** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional x na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.....44
- Figura 14** – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional y na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C)

Participante com melhor concordância para o PM; D)	
Participante com pior concordância para o PM.....	45
<b>Figura 15</b> – Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário.....	61
<b>Figura 16</b> – Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário.....	63
<b>Figura 17</b> – Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário.....	65
<b>Figura 18</b> – Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário.....	67
<b>Figura 19</b> – Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário.....	69
<b>Figura 20</b> – Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário.....	71
<b>Figura 21</b> – Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário.....	73
<b>Figura 22</b> – Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário.....	75
<b>Figura 23</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição sem adversário. ....	77
<b>Figura 24</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição sem adversário. ....	79
<b>Figura 25</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição com adversário. ....	81
<b>Figura 26</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição com adversário. ....	83
<b>Figura 27</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição sem adversário. ....	85

<b>Figura 28</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional y na condição sem adversário. ....	87
<b>Figura 29</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição com adversário. ....	89
<b>Figura 30</b> – Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional y na condição com adversário. ....	91

## LISTA TABELAS

- Tabela 1** – RMS e erro padrão da média das posições bidimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.....34
- Tabela 2** – RMS e erro padrão da média das posições bidimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.....34
- Tabela 3** – Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições bidimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.....39
- Tabela 4** – Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições bidimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.....39
- Tabela 5** – RMS e erro padrão da média das posições tridimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.....41
- Tabela 6** – RMS e erro padrão da média das posições tridimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.....41
- Tabela 7** – Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições tridimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.....46
- Tabela 8** – Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições tridimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.....46

## LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CM	Centro de massa
DLT	<i>Direct Linear Transformation</i>
DP	Desvio padrão
EPM	Erro padrão da média
GPS	<i>Global Position System</i>
Hz	Hertz
IC	Intervalo de confiança
ICC	Coeficiente de correlação intraclasse
LPS	<i>Local Position System</i>
PM	Ponto médio entre os pés
RGB	<i>Red, blue e green</i>
RMS	Raiz quadrada média dos erros
X	Coordenada ântero-posterior
Y	Coordenada médio-lateral
Z	Coordenada vertical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	OBJETIVO GERAL.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>4</b>	<b>HIPOTÉSES</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
5.1	PARTICIPANTES.....	24
5.2	LOCAL.....	24
5.3	PROCEDIMENTOS .....	24
5.4	COLETA DE DADOS .....	25
5.4.1	Captura Optoeletrônica.....	25
5.4.2	Captura Digital.....	26
5.5	ANÁLISE DE DADOS .....	28
5.5.1	Calibração e Reconstrução 3D - Sistema Optoeletrônico.....	28
5.5.2	Calibração e Reconstrução 2D e 3D – Sistema de Câmeras Digitais .....	28
5.5.3	Acurácia Sistema Digital.....	30
5.6	VARIÁVEIS .....	31
5.6.1	Centro de Massa .....	31
5.6.2	Ponto Médio entre os Pés (PM).....	31
5.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
6.1	RECONSTRUÇÃO 2D.....	33
6.2	RECONSTRUÇÃO 3D.....	40
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>47</b>

<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>58</b>
	APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	58
	APÊNDICE B – Termo de confidencialidade e sigilo .....	60
	APÊNDICE C – Regressão Linear das coordenadas bidimensionais x e y nas condições sem e com adversário.....	61
	APÊNDICE D – Regressão Linear das coordenadas tridimensionais x e y nas condições sem e com adversário.....	69
	APÊNDICE E – <i>Bland e Altman</i> das coordenadas bidimensionais x e y nas condições sem e com adversário.....	77
	APÊNDICE F – <i>Bland e Altman</i> das coordenadas tridimensionais x e y nas condições sem e com adversário.....	85
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>
	ANEXO A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa UEL .....	93

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de rastreamento são ferramentas de análise cinemática importantes para extrair informações físicas e técnico-táticas de atletas em situações de treino e competição (LARA *et al.*, 2018). Deste modo, investigações começaram a ser realizadas a fim de obter medidas acuradas de posicionamento de atletas em campo/quadra em diversos esportes (BUCHHEIT *et al.*, 2014; LARA *et al.*, 2018; LINKE; LINK; LAMES, 2018).

O método padrão ouro para análise cinemática ocorre por meio de sistemas optoeletrônicos (NEEDHAM *et al.*, 2021). Este sistema utiliza de câmeras infravermelhas e marcadores reflexivos que precisam ser fixados em pontos anatômicos do indivíduo, para obter características cinemáticas do movimento (ONG; HARRIS; HAMILL, 2017; VERLEKAR *et al.*, 2019). A utilização de tal sistema é limitada para algumas aplicações. Por exemplo, restrições podem advir da iluminação, da tarefa a ser realizada, do posicionamento de marcadores reflexivos e da necessidade de um avaliador experiente para minimizar os erros de fixação dos marcadores nos pontos anatômicos (NAKANO *et al.*, 2020; ONG; HARRIS; HAMILL, 2017). O sistema optoeletrônico se torna ainda mais inviável em algumas competições esportivas oficiais, como nas modalidades de esportes de combate, devido à implementação do uniforme oficial de competição, assim como o uso de equipamentos oficiais de proteção ao longo do corpo, impossibilitando a implementação de marcadores nos pontos anatômicos.

Dentro desta perspectiva, meios alternativos de sistemas de rastreamento vêm sendo analisados. Dentre os métodos estudados, os mais conhecidos são a videogrametria e os sistemas de posicionamento, como *Global Positioning System* (GPS) e *Local Position System* (LPS) (NEEDHAM *et al.*, 2021; RICO-GONZÁLEZ *et al.*, 2020). Contudo, os registros feitos pelos GPS e LPS necessitam que os atletas portem sensores durante competições oficiais (LINKE; LINK; LAMES, 2018), o que é vetado em alguns esportes, tal como os esportes de combate. Além disso, no caso do GPS, há limitações na acurácia durante movimentos em altas velocidades e em locais fechados devido à obstrução do sinal do satélite (CAETANO *et al.*, 2015). Sendo assim, a análise por meio de câmeras de vídeos é uma alternativa viável para o rastreamento de atletas destas modalidades em ambientes reais.

Tradicionalmente, os sistemas de rastreamento por vídeo detectam os atletas como um todo, o que pode fornecer maiores erros, pois os mesmos estão em

constante variação de pose corporal durante a prática esportiva (LARA *et al.*, 2018; NEEDHAM *et al.*, 2021). Assim, informações de posicionamentos mais acurados são fornecidas com a detecção de cada centro articular e, posteriormente, com o cálculo de centro de massa (NEEDHAM *et al.*, 2021).

Em vista disto, a estimativa de pose humana utilizando técnicas de *deep learning* atraiu a atenção de pesquisadores nos últimos anos (BADIOLA-BENGOA; MENDEZ-ZORRILLA, 2021). Este método é capaz de, por meio de uma imagem RGB (*red*, *blue* e *green* – vermelho, azul e verde, respectivamente) como arquivo de entrada, identificar os centros articulares do corpo humano, em diversas pessoas, em uma única imagem, e produzir coordenadas bidimensionais como arquivo de saída (QIAO; WANG; LI, 2017). Além disto, torna-se possível a realização de análises tridimensionais, quando acrescentadas duas ou mais câmeras sincronizadas (STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021).

Recentemente, o Openpose, uma biblioteca de algoritmo gratuito, vem sendo analisado em diferentes campos como uma alternativa de análise do movimento sem marcadores (NAKANO *et al.*, 2020; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021). Apesar desse sistema possuir uma alta reprodutibilidade dos resultados, independentemente do dispositivo de gravação e do ambiente em que se encontram os participantes (CORNMAN; STENUM; ROEMMICH, 2021), e ter sido avaliado como um método com um bom desempenho para avaliar ângulos articulares em ciclistas (BINI *et al.*, 2022), variáveis cinemáticas do chute no futebol (PALUCCI VIEIRA *et al.*, 2022), nos parâmetros temporais durante a marcha (STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021) e na estimativa de pose tridimensional ao longo das ações de *sprint* linear, caminhada, salto e arremesso de bola (NAKANO *et al.*, 2020; NEEDHAM *et al.*, 2021), ainda é incerta a acurácia de sua utilização como um método para rastreamento em esportes de interação, como o taekwondo e as demais modalidades esportivas de combate.

Sendo assim, uma alternativa para rastrear atletas de taekwondo ampliaria a possibilidade de realizar investigações fidedignas em diferentes competições com diferentes atletas, sem a necessidade de uma pesquisa em campo. Desta maneira, é importante avaliar a acurácia bidimensional e tridimensional do sistema sem marcadores em relação a um sistema optoeletrônico em movimentos associados a atletas de taekwondo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O taekwondo é um esporte olímpico praticado em mais de 200 países dos cinco continentes, por homens e mulheres de diferentes faixas etárias (World Taekwondo, WT). Desde sua inserção nos Jogos Olímpicos de Sidney 2000, o número de atletas profissionais vem aumentando, assim como as pesquisas que englobam este esporte (MENESCARDI *et al.*, 2019). O combate de taekwondo é realizado em uma área octogonal em um período de 3 rounds de 2 minutos com 1 minuto de intervalo entre eles (World Taekwondo, WT). É caracterizado por ser uma luta dinâmica que envolve contato, na qual os atletas estão constantemente alternando entre ações de ataque e defesa com o objetivo de obter a vitória por pontuação ou nocaute desferindo chutes e socos, em áreas permitidas, sem que seja pontuado pelo oponente (BRIDGE; JONES; DRUST, 2009; KIM *et al.*, 2010b; TORNELLO *et al.*, 2014). Ademais, durante o combate além de movimentos de ataque e defesa também é identificada uma fase de movimentação, por meio de *steps* (SANTOS; FRANCHINI; LIMA-SILVA, 2011).

Durante o combate de taekwondo, há uma imprevisibilidade dos movimentos (MALONEY *et al.*, 2018). Os chutes podem ser desferidos na altura do tronco ou cabeça, pela perna traseira ou dianteira de forma linear, circular ou giratória (ESTEVAN *et al.*, 2015). Por outro lado, durante as ações de *step*, os atletas podem alternar entre realizar uma movimentação para frente, para atrás ou para a diagonal, assim, a distância entre os atletas está em constante variação (KIM *et al.*, 2010a). Falco *et al.* (2009) relataram que a distância interpessoal no taekwondo é classificada em três tipos: distância curta (1/3 menor que o comprimento da perna do participante), distância intermediária (igual ao comprimento da perna do participante) e distância longa (1/3 maior que o comprimento da perna do participante).

Diante dos pressupostos acima descritos, é possível observar que taekwondistas modificam a posição do seu corpo ao longo do combate, seja por meio de chutes ou *steps*. Desta forma, avaliar a movimentação associada à movimentos do taekwondo em condições reais se torna fundamental. Entretanto, o rastreamento durante os combates de taekwondo é complexo, pois as lutas não acontecem em um ambiente controlado. Além disso, oclusões podem ocorrer por meio da própria tarefa do chute, sendo que um membro pode ocluir o outro, e através da interação entre os adversários e árbitros. Assim, é necessário que haja um sistema de rastreamento adequado para fornecer medidas acuradas de

posicionamento para posteriormente ser possível compreender aspectos físicos e técnico-tático em taekwondistas.

Inicialmente, análises de desempenho de atletas eram conduzidas através de um sistema de análise notacional, de modo que os registros de ações de interesse eram anotados de forma manual (BEHENDI; MORGAN; FOOKES, 2016). Com o avanço da tecnologia, os registros das ações começaram a ser conduzidos por meio de análise automática de vídeos (BARROS *et al.*, 2007; FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a; LARA *et al.*, 2018). Um estudo pioneiro em análise de jogo de futebol foi apresentado por Barros *et al.* (2007), com o intuito de analisar as distâncias percorridas por jogadores de futebol por meio de um sistema de rastreamento automático (*software DVideo*). Os resultados indicaram que é possível obter dados da trajetória simultânea de todos os jogadores por um método de rastreamento automático por câmeras de vídeo.

Apesar dos sistemas automáticos de rastreamento baseados em videogametria terem sido validados em diversos esportes (BARROS *et al.*, 2011; FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a; LARA *et al.*, 2018; SARRO *et al.*, 2010), ainda existem algumas limitações. Por exemplo, o processamento de imagem demanda muito tempo, pois, tipicamente, o rastreamento deste sistema se dá por duas etapas principais: a etapa da segmentação da imagem e a detecção das trajetórias corretas para cada jogador (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a; LARA *et al.*, 2018). Na primeira etapa, os objetos de interesse (jogadores) devem ser separados do fundo. Na segunda fase, cada jogador armazena informações sobre tamanho e forma da região que representam o jogador e sua posição na imagem. Além disto, erros de identificação dos atletas podem ser gerados em situações em que sombras de jogadores não foram completamente removidas durante a segmentação, em que há cores semelhantes entre o jogador e o plano de fundo e em situações em que exista a oclusão de atletas (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a; LARA *et al.*, 2018).

Diante dos problemas de rastreamento por videogametria, novas tecnologias começaram a ser investigadas, dentre elas os sistemas de posicionamento, GPS e LPS. Ambos os sistemas foram desenvolvidos para determinar a posição de pessoas, equipamentos e outros objetos. Enquanto o GPS é utilizado para detectar o posicionamento espacial global de jogadores, principalmente, em locais ao ar livre, os LPSs utilizam tecnologias sem fio ou sistemas de posicionamento interno, fornecendo o posicionamento local dos indivíduos (RICO-GONZÁLEZ *et al.*, 2020).

Ainda que esses sistemas sejam utilizados para determinar a posição dos indivíduos em função do tempo em vários esportes, sua acurácia pode sofrer influência do número de conexões de satélites disponíveis ou a impossibilidade de conexão em ambientes fechados como ginásios, e pelo tamanho da área de captura (CARLING *et al.*, 2008; RICO-GONZÁLEZ *et al.*, 2020). Ademais, o GPS e LPS requerem que atletas utilizem sensores, porém isto não é permitido nas regras de alguns esportes.

Perante as limitações dos sistemas acima descritos, a análise cinemática sem marcadores por meio de vídeo tem sido vista como uma alternativa de baixo custo, com vasta aplicação em diversos ambientes e minimiza o tempo de coleta devido à eliminação da etapa de fixação de marcador (MÜNDERMANN; CORAZZA; ANDRIACCHI, 2008; ONG; HARRIS; HAMILL, 2017).

Recentemente, com avanço da aprendizagem de máquina, métodos de estimativa de pose humana sem marcadores começaram a ser explorados (BADIOLA-BENGOA; MENDEZ-ZORRILLA, 2021). Este método consiste em, por meio de algoritmos, estimar a posição de diferentes partes do corpo, como as articulações de uma pessoa a partir de uma determinada imagem ou vídeo (BADIOLA-BENGOA; MENDEZ-ZORRILLA, 2021; MUNEA *et al.*, 2020). O processo de estimativa de pose humana é executado por duas etapas: localização das articulações e agrupamento destas articulações em uma configuração de pose humana válida (MUNEA *et al.*, 2020).

Dentro desta perspectiva, o Openpose é um sistema que consiste em uma biblioteca gratuita, proposta pela Carnegie Mellon University em 2017, capaz de identificar até 135 pontos-chaves (pontos anatômicos), por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina, incluindo rosto, pés e mãos, através de gravações de vídeo e/ou imagens RGB como arquivo de entrada, fornecendo coordenadas bidimensionais dos participantes em cada quadro, como arquivo de saída (QIAO; WANG; LI, 2017; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021). Assim, câmeras de vídeo são dispostas ao redor do ambiente a ser coletado e em seguida os vídeos são digitalizados automaticamente fornecendo coordenadas bidimensionais de tela de cada ponto-chave (CORNEJO *et al.*, 2017).

Desta maneira, alguns estudos foram conduzidos com o objetivo de avaliar o Openpose em diversas atividades.

Em um estudo proposto por Cornman, Stenum e Roemmich (2021), os autores solicitaram aos participantes o fornecimento de uma gravação de cinco

tarefas distintas, com duração de 10 segundos, em quatro velocidades diferentes (1 Hz, 2 Hz, 3 Hz e 4 Hz), em ambiente de sua escolha e com seu próprio dispositivo de gravação. Os voluntários realizaram movimentos repetitivos em condições como realizar toques com o indicador e polegar, abrir e fechar as mãos, supinação e pronação dos antebraços, levantar somente os dedos do pé, ou levantar o pé inteiro do chão. Em conclusão, o Openpose foi identificado como um método rápido e eficiente para analisar a frequência de movimento durante movimentos repetitivos em adultos saudáveis em diversos ambientes e com diferentes dispositivos de gravação (CORNMAN; STENUM; ROEMMICH, 2021).

Para uma análise espaço-temporal da marcha por meio de vídeos em uma frequência de 25 Hz, o Openpose foi capaz de estimar parâmetros com alta acurácia, como o comprimento de passo, a velocidade da marcha, cinemática angular do quadril e joelho e os instantes de contato do calcanhar e dos dedos do pé com o solo. Entretanto, a posição do avaliado em relação ao campo de vista da câmera pode influenciar nas estimativas. Além disto, os autores especulam que em frequências de aquisição maiores haveria menos borrões na imagem e conseqüentemente uma menor imprecisão na aferição da pose humana. Embora o movimento analisado seja considerado lento, também foi observado que em 5% dos frames houve erro de identificação entre membros direito e esquerdo (STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021).

NAKANO *et al.* (2020) avaliaram a acurácia da captura de movimento tridimensional sem marcadores utilizando o Openpose durante a caminhada, salto com contramovimento e arremesso de bola. Os autores descobriram que 80% do erro médio absoluto foi inferior a 30 mm e o erro absoluto máximo encontrado foi de 66,8 mm. Assim, o Openpose é um método capaz de reproduzir corretamente o movimento do participante, mas pode necessitar de ajustes de rastreamento manual e/ou melhorias nos algoritmos da rede neural para uma melhor eficácia.

Pesquisas também foram conduzidas para avaliar a acurácia do Openpose em estimar ângulos em tarefas como: agachamento bilateral, chute no futebol e em ciclistas (BINI *et al.*, 2022; OTA *et al.*, 2020; PALUCCI VIEIRA *et al.*, 2022). Em todos os estudos, o Openpose foi capaz de estimar com acurácia os ângulos articulares dos membros inferiores. Entretanto, Ota *et al.* (2020) e Palucci Vieira *et al.* (2022) encontraram maiores erros na articulação do quadril. A menor confiabilidade dos dados nesta articulação pode ser explicada pela própria tarefa,

pois durante o chute no futebol e o agachamento, a articulação do quadril se move com maior magnitude. Além disto, durante a avaliação dos ciclistas o movimento foi analisado apenas em duas posições específicas e não durante todo movimento.

Por fim, foi investigada a acurácia do Openpose em determinar a posição e a velocidade do centro de massa durante um sprint linear. Os resultados indicaram que a diferença média dos erros entre o sistema optoeletrônico e o Openpose foi de 0,05 m e 0,07 m para posição do centro de massa horizontal e vertical, respectivamente. Em conclusão, o Openpose pode ser uma ferramenta que permite avaliar o centro de massa em tarefas de sprint (NEEDHAM *et al.*, 2021).

Embora o Openpose pareça ser uma opção viável para conduzir uma análise cinemática em diversas tarefas, a maioria dos estudos foi conduzido em condições laboratoriais e/ou tarefas que não condizem com a realidade das competições esportivas. Além disto, os modelos de aprendizagem de máquina são treinados a partir de poses comuns (caminhada, corrida, salto) (BINI *et al.*, 2022; NEEDHAM *et al.*, 2021). Assim, avaliações conduzidas com poses similares aos modelos de treinamento geram melhores resultados (NEEDHAM *et al.*, 2021). Deste modo, ainda é questionável a aplicação do Openpose em ambientes que condizem com a realidade esportiva e em esportes com movimentos específicos e poses incomuns, tal como o taekwondo e outros esportes de combate.

De maneira geral, uma das vantagens do Openpose é que não requer a fixação de marcadores em pontos anatômicos, ao contrário dos sistemas optoeletrônicos, padrão ouro para análise de movimento (ONG; HARRIS; HAMILL, 2017; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021). Deste modo, o Openpose é um método alternativo e acessível que permitiria uma análise bidimensional e tridimensional dos atletas, ampliando a possibilidade de investigações de lutas em competições internacionais renomadas, com os melhores atletas do mundo, sem requerer um protocolo experimental *in loco*.

A partir das questões levantadas, definiram-se o objetivo geral e específico do presente estudo, voltados para a avaliação de um método sem marcadores para a estimativa de posição de atletas de taekwondo em uma área de combate oficial.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo consistiu em avaliar a acurácia bidimensional e tridimensional de um sistema sem marcadores, utilizando o Openpose, para a determinação da posição de atletas de taekwondo em uma área de combate oficial.

Para que o objetivo geral seja alcançado, estabeleceu-se os objetivos específicos a seguir.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar a confiabilidade e concordância da determinação da posição de atletas de taekwondo a partir de uma calibração bidimensional para estipular o centro de massa e ponto médio entre os pés, projetados no solo, em uma condição sem adversário;
- b) Identificar a confiabilidade e concordância da determinação da posição de atletas de taekwondo a partir de uma calibração bidimensional para estipular o centro de massa e ponto médio entre os pés, projetados no solo, em uma condição com adversário;
- c) Verificar a confiabilidade e concordância da determinação da posição de atletas de taekwondo a partir de uma calibração tridimensional para estipular o centro de massa e ponto médio entre os pés, projetados no solo, em uma condição sem adversário.
- d) Verificar a confiabilidade e concordância da determinação da posição de atletas de taekwondo a partir de uma calibração tridimensional para estipular o centro de massa e ponto médio entre os pés, projetados no solo, em uma condição com adversário.

#### 4 HIPOTÉSES

- H<sub>1</sub>: Openpose será um método eficaz para determinar as posições bidimensionais e tridimensionais de atletas de taekwondo em uma área de combate oficial;
- H<sub>2</sub>: Openpose apresentará boa confiabilidade e concordância para estimar o centro de massa e ponto médio entre os pés em movimentos associados a taekwondistas em uma condição sem adversário a partir de uma calibração bidimensional;
- H<sub>3</sub>: Openpose apresentará boa confiabilidade e concordância para estimar o centro de massa e ponto médio entre os pés em movimentos associados a taekwondistas em uma condição com adversário a partir de uma calibração bidimensional;
- H<sub>4</sub>: Openpose apresentará boa confiabilidade e concordância para estimar o centro de massa e ponto médio entre os pés em movimentos associados a taekwondistas em uma condição sem adversário a partir de uma calibração tridimensional;
- H<sub>5</sub>: Openpose apresentará boa confiabilidade e concordância para estimar o centro de massa e ponto médio entre os pés em movimentos associados a taekwondistas em uma condição com adversário a partir de uma calibração tridimensional.

## 5 MÉTODOS

### 5.1 PARTICIPANTES

A amostra foi composta, por conveniência, por 6 atletas de taekwondo (3 do sexo masculino e 3 do sexo feminino), com média de idade de 22,3 (DP=3,4) anos, estatura de 1,71 (DP=0,08) cm, massa corporal 65,2 (DP=9,7) kg, tempo de prática 11,2 (DP=2,7) anos, residentes da cidade de Londrina. Os critérios de inclusão foram: possuir entre 18 e 30 anos, ser graduado no mínimo como faixa ponta preta (1º Gub) e apresentar experiência em campeonatos de qualquer nível. Desta maneira, dos 6 participantes selecionados, 5 eram graduados como faixa preta e apenas um como ponta preta. Em relação à experiência em campeonatos, 4 disputavam campeonatos de nível internacional e 2 de nível nacional. Os participantes foram excluídos se relatassem lesões musculoesqueléticas prévias nos membros inferiores. Antes do início da coleta, todos os participantes do estudo foram informados sobre os objetivos e procedimentos da pesquisa e todos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido de participação. Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Londrina (parecer n. 4.987.601, CAAE: 50683921.1.0000.5231) (ANEXO A).

### 5.2 LOCAL

As coletas foram realizadas na Academia Sparta localizada na cidade de Cambé-PR.

### 5.3 PROCEDIMENTOS

A tarefa consistiu em executar movimentos de *steps* e chutes, de acordo com a relação esforço:pausa reportada na literatura (AVAKIAN; MIARKA; ACHOUR JUNIOR, 2016). Deste modo, os atletas realizavam ações de *step* por 6 segundos e chutes por 3 segundos, durante 2 minutos, tempo correspondente de um round. Os participantes receberam orientação de efetuar as ações de combate, seja por meio de *steps* ou chutes, de forma e velocidade auto selecionadas, ou seja, os próprios atletas escolhiam a forma que queriam se movimentar e chutar. Entretanto, foi orientado que explorassem toda a área de combate e que desferissem chutes na altura do tronco e da cabeça. Em vista disso, os atletas utilizaram-se de

movimentações, por meio de *steps*, para frente, atrás e/ou lateral e aplicaram golpes de ataque e contra-ataque, desferindo chutes circulares e/ou giratórios com ambas as pernas.

Este procedimento foi aplicado em duas condições distintas, no mesmo dia, sendo elas: sem adversário e com adversário. Para os procedimentos sem adversário, ou seja, sem interação, o atleta não possuía um alvo ou adversário para atingir. Na condição com adversário, ou seja, com interação, os atletas desferiam os chutes em direção ao adversário com o objetivo de atingir o colete e/ou alcançar o pé o mais próximo da cabeça. Para isto, o oponente foi equipado com a proteção de tronco específica para o taekwondo e instruído a realizar movimentações de *step*, acompanhando o atleta avaliado, e que não desferisse nenhum tipo de chute.

#### 5.4 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados simultaneamente a partir de câmeras digitais e optoeletrônicas, considerada padrão ouro neste estudo. Os sistemas foram sincronizados a partir do primeiro chute desferido pelo participante.

##### 5.4.1 Captura Optoeletrônica

Para captura cinemática durante os combates, sete câmeras optoeletrônicas (*Optitrack® - Optical Motion Capture Solutions, NaturalPoint, EUA*), em uma frequência de aquisição de 120 Hz, foram posicionadas ao redor da área de competição de modo que permitissem uma vista panorâmica total do espaço. Os participantes foram instruídos a utilizar roupas justas a fim de minimizar os erros de posicionamento dos marcadores devido à movimentação da vestimenta.

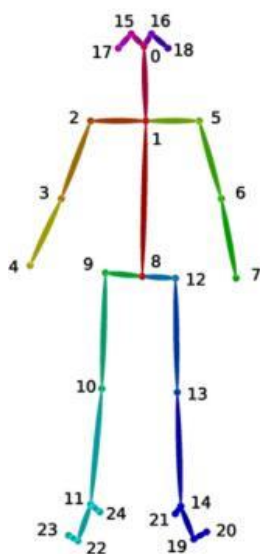
A partir do processo de palpção, marcadores reflexivos com base de EVA foram posicionados em pontos anatômicos do participante. Assim, o modelo corporal foi composto por 17 marcadores reflexivos, modelo adaptado de De Leva (1996), nos seguintes pontos anatômicos: supraesternal e pares bilaterais do acrômio, epicôndilo lateral do úmero, processo estiloide da ulna, trocanter, epicôndilo lateral do fêmur, maléolo lateral, calcâneo e na base do hálux. A fixação dos marcadores ocorreu com a utilização da fita dupla face, macia e não alérgica, a fim de não causar qualquer dano ao participante.

#### 5.4.2 Captura Digital

Para a captura digital durante os combates, duas câmeras da marca Casio EX10 em uma resolução FHD (1920x1080) com uma frequência de aquisição de 30 Hz, foram posicionadas ao redor da área de competição de modo que permitissem uma vista panorâmica total do espaço. A frequência de aquisição foi determinada em 30 Hz baseado na intenção de futura aplicação do referido método em vídeos de competições oficiais, nesta mesma frequência, disponíveis em plataformas gratuitas, como *Youtube*. Além disto, muitos dispositivos eletrônicos realizam gravações nesta frequência, assim há um baixo custo e uma maior acessibilidade para realizar análises fidedignas.

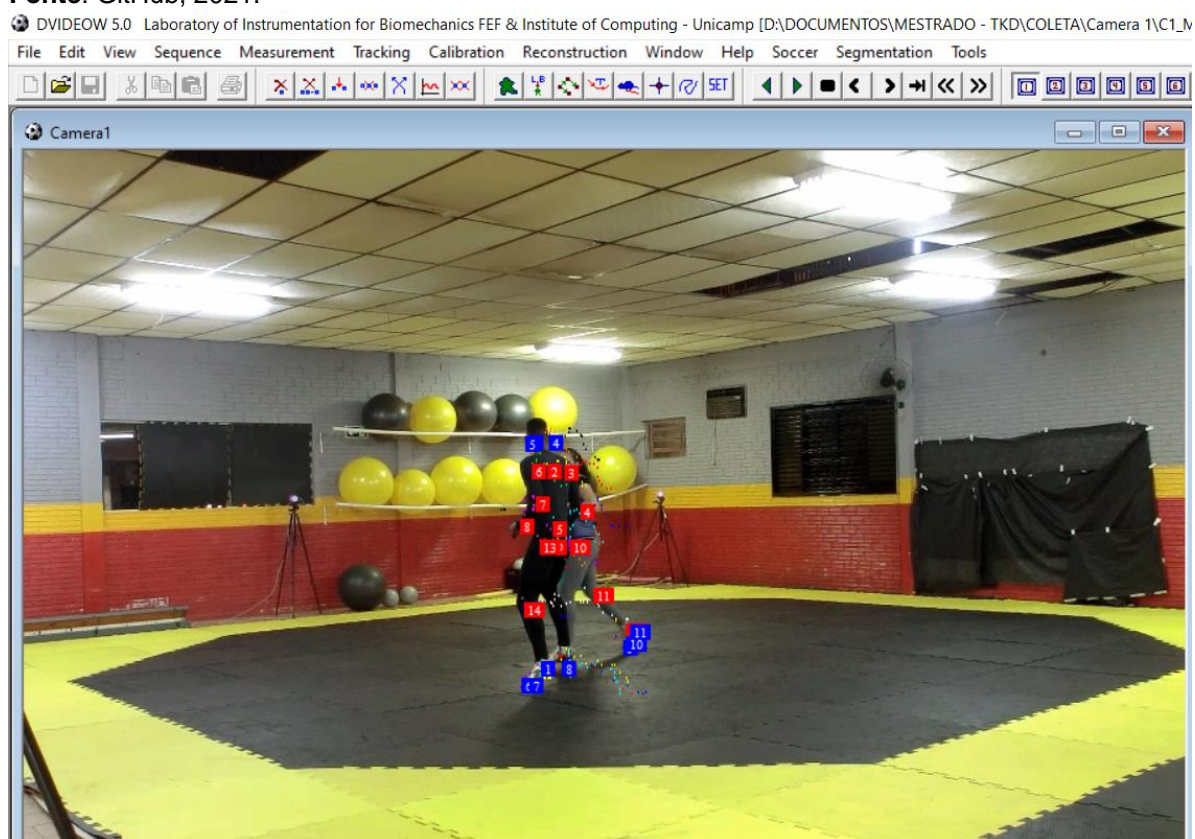
Os dados foram digitalizados automaticamente pelo Openpose (<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>), formando um conjunto de coordenadas bidimensionais de 25 pontos anatômicos. O modelo para obter cada ponto anatômico foi o *BODY\_25* que rastreia os seguintes 25 pontos-chave: nariz, pescoço, ponto médio do quadril e pontos-chave bilaterais dos olhos, orelhas, ombros, cotovelos, punhos, quadris, joelhos, tornozelos, calcanhares, quinto metatarso e hálux (Figura 1).

O Openpose consegue detectar uma ou mais pessoas por *frame*. Desta maneira, para a condição com interação, foi necessário um ajuste de rastreamento para associar um conjunto de pose em um quadro referencial ( $t$ ) com os quadros subsequentes ( $t+1$ ). Este ajuste foi realizado no *software* Matlab (*The MathWorks, Natick, Massachusetts, USA*), onde primeiramente foram determinados os pontos-chave no quadro referencial e posteriormente foi associada à pose no quadro  $t+1$  pela menor distância euclidiana dos pontos-chave. Os ajustes foram realizados para o corpo todo, ou seja, não foi ajustado de maneira individual cada ponto-chave. Em vista disto, erros na troca da identificação de membros entre os participantes foram identificados, por meio de análise visual, e removidos da análise (Figura 2).



**Figura 1** – Representação dos 25 pontos-chave digitalizados pelo Openpose fornecido pelo Modelo Body\_25.

Fonte: GitHub, 2021.



**Figura 2** - Representação do erro gerado pelo Openpose, com trocas na estimativa dos pontos-chave. Neste caso, parte dos pontos chave de um atleta está associado ao outro atleta.

Fonte: A própria autora

## 5.5 ANÁLISE DE DADOS

### 5.5.1 Calibração e Reconstrução 3D - Sistema Optoeletrônico

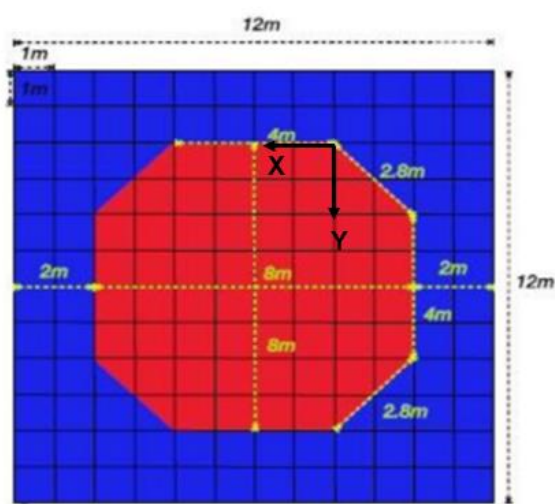
A calibração do volume de captura da área de combate e a determinação da orientação do sistema de coordenadas seguiu as instruções do fabricante. Deste modo, foi definido como eixo X a largura da quadra e o eixo Y como o comprimento da quadra. Para análise tridimensional, o eixo Z foi definido como a altura.

A reconstrução tridimensional dos marcadores foi realizada por meio do software *MotiveBody* v.1.0. Em seguida, os dados foram analisados no software Matlab, onde foram suavizados por um filtro passa-baixa *Butterworth* com parâmetros de quinta ordem e frequência de corte de 12 Hz, definidos após análise residual e espectral. Após este processo, foi realizada a translação e rotação das coordenadas das variáveis dependentes do sistema de coordenadas optoeletrônicas para o sistema digital. Por fim, para uma possível comparação com o sistema de câmeras digitais, os dados foram reduzidos a uma frequência de amostragem de 30 Hz, mantendo-se a sincronização entre os sistemas.

### 5.5.2 Calibração e Reconstrução 2D e 3D – Sistema de câmeras digitais

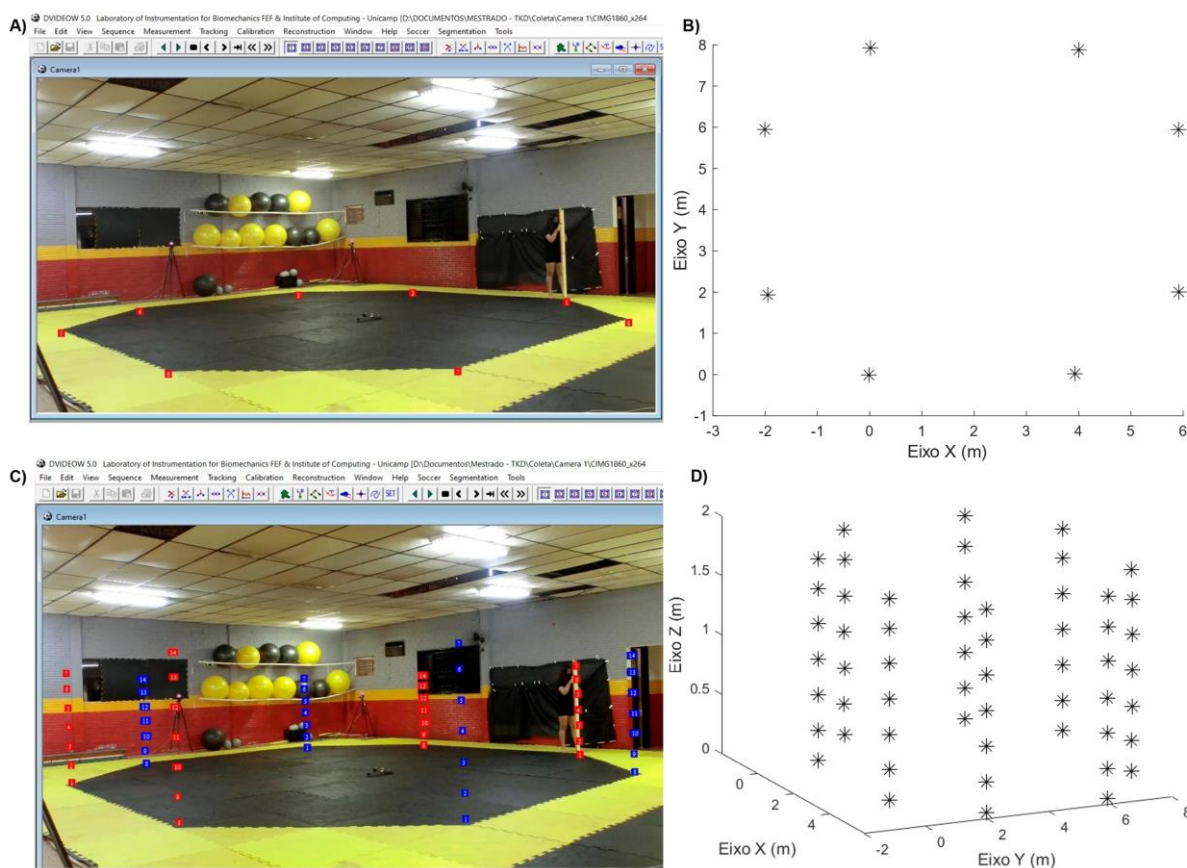
A calibração foi realizada a partir dos oito vértices fornecidos pela área de combate, na qual o eixo X foi determinado pela largura da quadra, eixo Y pelo comprimento da quadra (Figuras 3, 4A e 4B). Para análise tridimensional, foi utilizado um bastão topográfico com sete marcações, a fim de obter o eixo Z (altura) (Figuras 4C e 4D). Deste modo, os parâmetros de homografia da transformação imagem-objeto foram calculados baseados no DLT (*Direct Linear Transformation*) proposto por Abdel-aziz, Karara (1971), obtendo-se assim as coordenadas bidimensionais e tridimensionais dos atletas em função do tempo.

A reconstrução bidimensional e tridimensional dos marcadores foi realizada por meio do software *DVideo* v.5.0 (FIGUEROA; LEITE; BARROS, 2006a, 2006b). Os dados foram analisados no software Matlab, onde foram interpolados em até 30 frames (~1 s). Este intervalo de lacuna foi utilizado considerando que, após este período, ocorria uma oclusão do participante que comprometia a aplicação do método. Em seguida, os dados foram suavizados por um filtro passa-baixa *Butterworth* com parâmetros de quinta ordem e frequência de corte de 0,5 e 3,5 Hz para a reconstrução 2D e 3D, respectivamente.



**Figura 3** - Medidas da área de competição e sistema de coordenadas estabelecido para a reconstrução 2D e 3D com o sistema de câmeras digitais.

Fonte: A própria autora



**Figura 4** - Ilustração da reconstrução dos pontos de calibração da área de captura. A) Medição dos pontos associados à calibração 2D, no software DVideo; B) Projeção das coordenadas bidimensionais dos pontos medidos na área de combate no software Matlab; C) Medição dos pontos associados à calibração 3D, no software DVideo; D) Projeção das coordenadas tridimensionais dos pontos medidos na haste no software Matlab.

Pontos pretos e coloridos: Coordenada de cada marcação da haste.

Fonte: A própria autora

### 5.5.3 Acurácia Sistema Digital

Para determinar a acurácia da reconstrução 3D do sistema com câmeras digitais, foi movimentada uma haste rígida com dois marcadores esféricos fixados em sua extremidade, com distância conhecida (0,5 m). Esta haste foi movimentada no sentido ântero-posterior e médio-lateral, dentro do volume calibrado. Após o rastreamento e reconstrução (*software DVideo*) desses dois marcadores ao longo do volume, foi calculada a acurácia. A acurácia foi calculada através do valor de precisão e *bias*, sendo considerado precisão o quão aleatório são as medições (erro aleatório) e *bias* o quão distante do valor esperado (erros sistemáticos). Assim, foram calculados os valores de precisão e *bias* para cada instante de tempo e, posteriormente, o valor de acurácia.

Inicialmente, calculou-se a distância euclidiana entre os dois marcadores (Equação 1). Posteriormente, a acurácia foi calculada considerando a precisão e o *bias*, conforme as equações:

$$d(i) = \sqrt{(x2(i) - x1(i))^2 + (y2(i) - y1(i))^2} \quad (1)$$

$$p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d(i) - \bar{d})^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |v - d(i)| \quad (3)$$

$$a = \sqrt{p^2 + b^2} \quad (4)$$

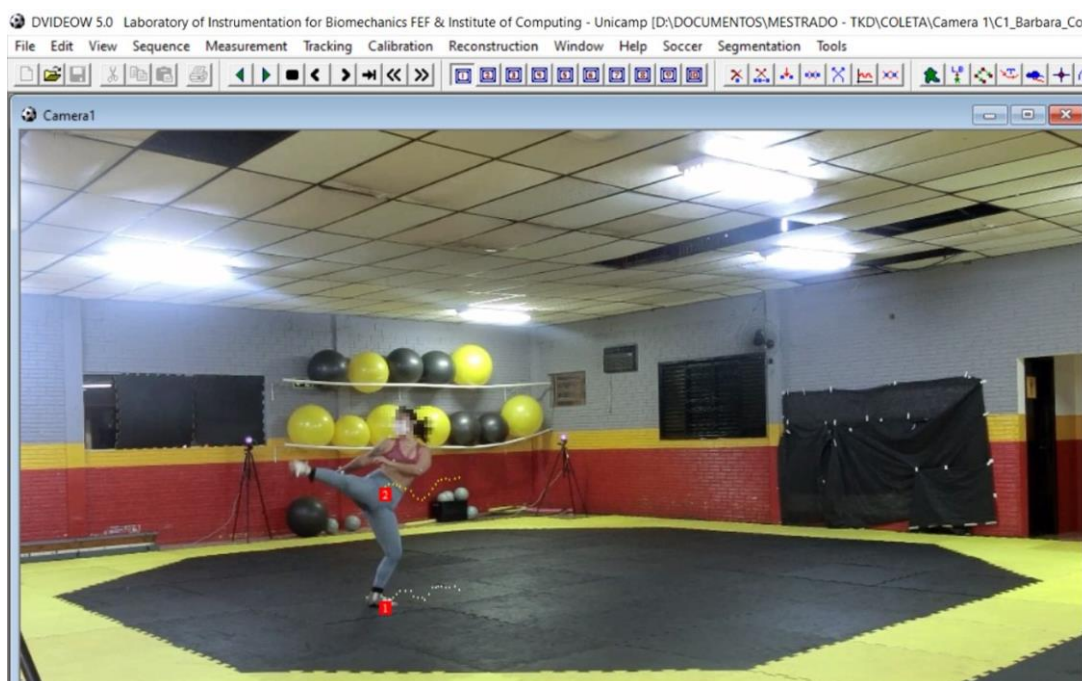
Onde  $i=1, \dots, n$  é o número de medidas realizadas entre os dois marcadores (número de linhas da matriz de dados) em  $n$  quadros (número total de frames);  $d(i)$  é a distância euclidiana entre os dois marcadores em cada instante;  $x1(i)$  e  $y1(i)$  correspondem às coordenadas do primeiro marcador em cada  $i$ ;  $x2(i)$  e  $y2(i)$  correspondem às coordenadas do segundo marcador em cada  $i$ ;  $p$  é a precisão;  $b$  é o *bias*;  $a$  é a acurácia;  $v$  é o valor verdadeiro adotado da distância entre os dois marcadores e  $\bar{d}$  é o valor médio das  $n$  medidas (BARBIERI *et al.*, 2008).

## 5.6 VARIÁVEIS

As variáveis independentes foram os dois métodos distintos (Openpose e sistema optoeletrônico) utilizados para o rastreamento. As variáveis dependentes foram a posição do centro de massa (CM) e o ponto médio entre os pés (PM) projetados no plano da área de combate.

### 5.6.1 Centro de Massa

Para calcular o CM, utilizou-se o modelo adaptado de De Leva (1996), excluindo-se as mãos e cabeça em ambos os protocolos, devido às diferenças entre os métodos a respeito dos pontos-chave utilizados. Deste modo, foi comparada a projeção do CM no solo no Openpose e *Optitrack*, nas condições bidimensionais e tridimensionais (Figura 5).



**Figura 5** - Projeção do centro de massa no solo. Ponto 1: Representação do CM projetado no solo; Ponto 2: Representação do CM.

**Fonte:** A própria autora

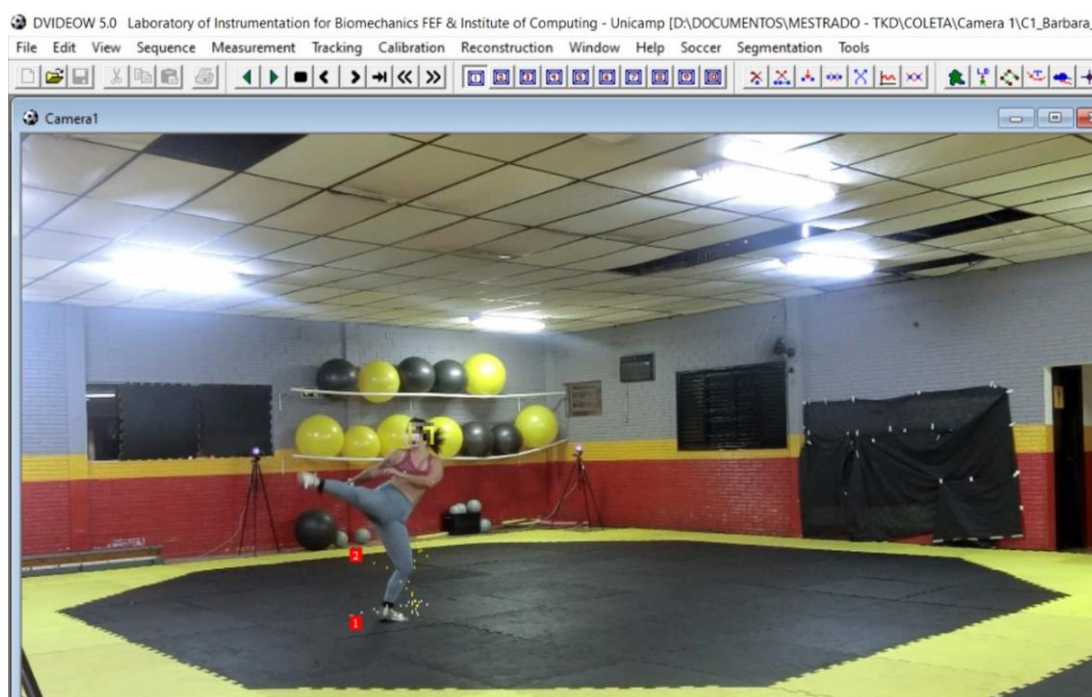
### 5.6.2 Ponto médio entre os pés (PM)

Para calcular o PM, o CM do pé direito e esquerdo foi calculado de acordo com o modelo de De Leva (1996). A partir do CM de cada pé, o ponto médio entre os pés foi calculado, conforme a equação abaixo:

$$PM = \left( \frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2} \right) \quad (5)$$

Onde  $PM$  é o ponto médio entre os pés;  $x_1$  e  $x_2$  representam a coordenada X do CM do pé direito e esquerdo, respectivamente;  $y_1$  e  $y_2$  representam a coordenada Y do CM do pé direito e esquerdo, respectivamente.

Desta maneira, foi comparada a projeção do PM no solo no Openpose e *Optitrack*, nas condições bidimensionais e tridimensionais (Figura 6).



**Figura 6** - Projeção do ponto médio entre os pés no solo. Ponto 1: Representação do PM projetado no solo; Ponto 2: Representação do PM.

**Fonte:** A própria autora

## 5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A acurácia foi analisada pelo RMS dos erros e pelo erro padrão da média (EPM) para as coordenadas  $x$  e  $y$ , em ambas as condições. Para analisar a relação e concordância entre os sistemas de captura, foi realizada a análise gráfica de regressão linear e de *Bland e Altman*, utilizando os limites de concordância de 95%, respectivamente. A confiabilidade das medidas do CM e PM entre ambos os sistemas foi verificada por meio do coeficiente de correlação intraclassa (ICC). Os valores de ICC  $<0,40$  foram classificados como baixo; entre 0,40 e 0,69 como aceitável; entre 0,70 e 0,89 como bom e entre 0,90 e 1 como excelente (TAYECH *et al.*, 2018). As análises estatísticas foram realizadas no *software* Matlab® (The MathWorks, Natick, Massachusetts, USA), com significância de 5%.

## 6 RESULTADOS

Na condição com adversário, o Openpose identificou erroneamente 5,46% dos frames analisado, ou seja, houve troca de um ou mais pontos-chave com o oponente. Para a acurácia da reconstrução 3D do sistema de câmeras digitais, foi encontrado um *bias* de 0,002 m, precisão de 0,002 m e acurácia de 0,003 m.

A seguir, os resultados serão subdivididos pelos processos de reconstrução 2D e 3D dos pontos anatômicos dos participantes.

### 6.1 RECONSTRUÇÃO 2D

No total, somando todos os participantes, foram processados 19187 frames (~10,7 minutos) na condição sem adversário e 17061 frames (~9,5 minutos) na condição com adversário.

As tabelas 1 e 2 apresentam os valores de RMS e do erro padrão da média das coordenadas x e y do CM e PM obtidos pelo rastreamento por meio do Openpose e do *Optitrack*. Para condição sem adversário, os valores de RMS do CM e PM variaram de 0,13 a 0,25 m e de 0,18 a 0,27 m, respectivamente. Em relação à condição com adversário, os valores de RMS do CM e PM variaram de 0,19 a 0,30 m e de 0,21 a 0,32 m, respectivamente.

**Tabela 1** - RMS e erro padrão da média das posições bidimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.

Sem adversário								
	CM X		PM X		CM Y		PM Y	
	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)
Participante 1	0,191	0,003	0,262	0,004	0,144	0,002	0,207	0,003
Participante 2	0,170	0,001	0,195	0,002	0,164	0,002	0,186	0,002
Participante 3	0,259	0,003	0,277	0,004	0,246	0,004	0,260	0,004
Participante 4	0,196	0,002	0,228	0,003	0,134	0,002	0,216	0,003
Participante 5	0,252	0,003	0,251	0,003	0,198	0,002	0,209	0,002
Participante 6	0,188	0,003	0,216	0,003	0,191	0,003	0,219	0,003
Média	<b>0,209</b>	<b>0,002</b>	<b>0,238</b>	<b>0,003</b>	<b>0,180</b>	<b>0,002</b>	<b>0,216</b>	<b>0,003</b>
DP	<b>0,037</b>	<b>0,001</b>	<b>0,031</b>	<b>0,001</b>	<b>0,042</b>	<b>0,001</b>	<b>0,024</b>	<b>0,001</b>

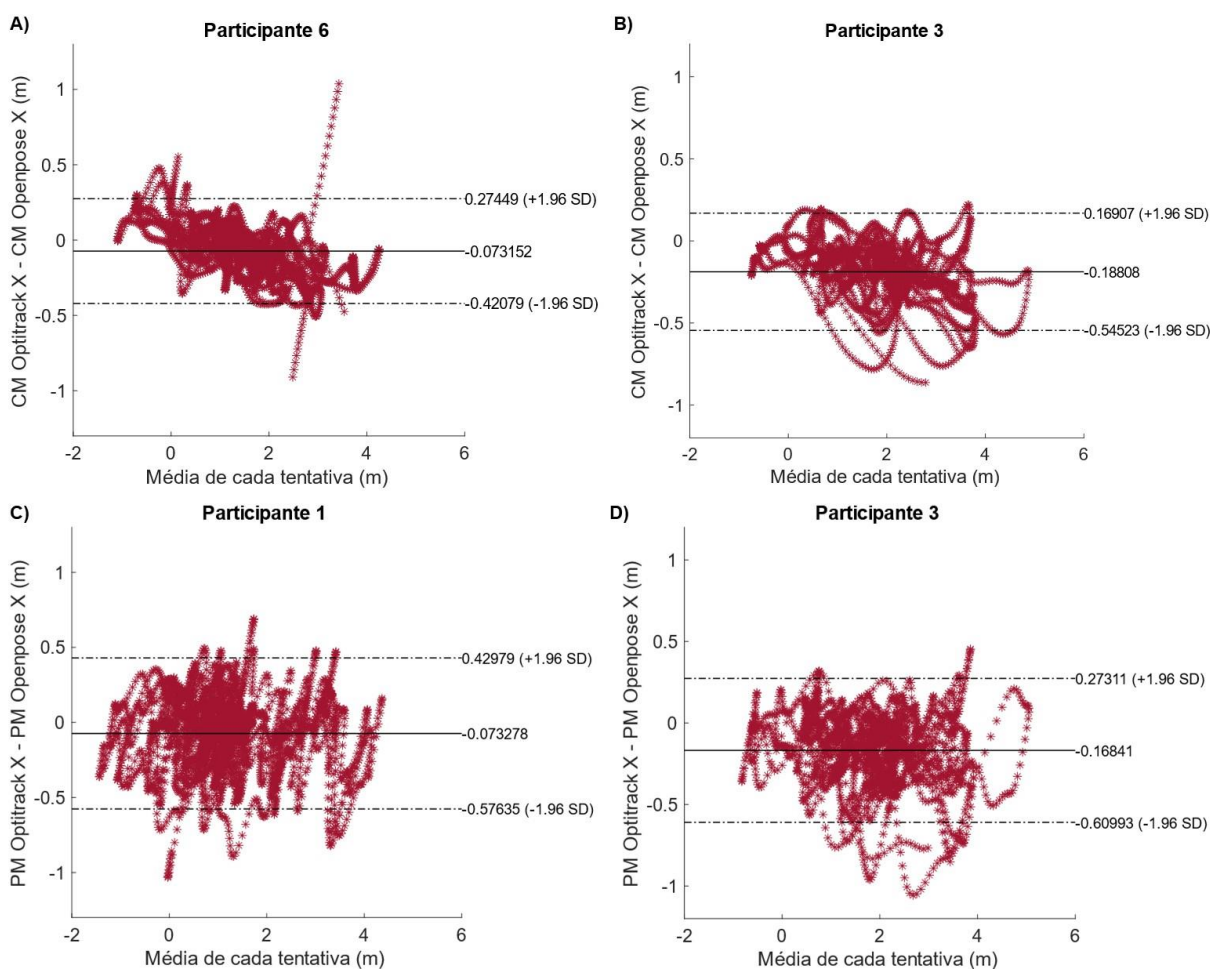
EPM: Erro Padrão da Média; DP: Desvio padrão; CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

**Tabela 2** - RMS e erro padrão da média das posições bidimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.

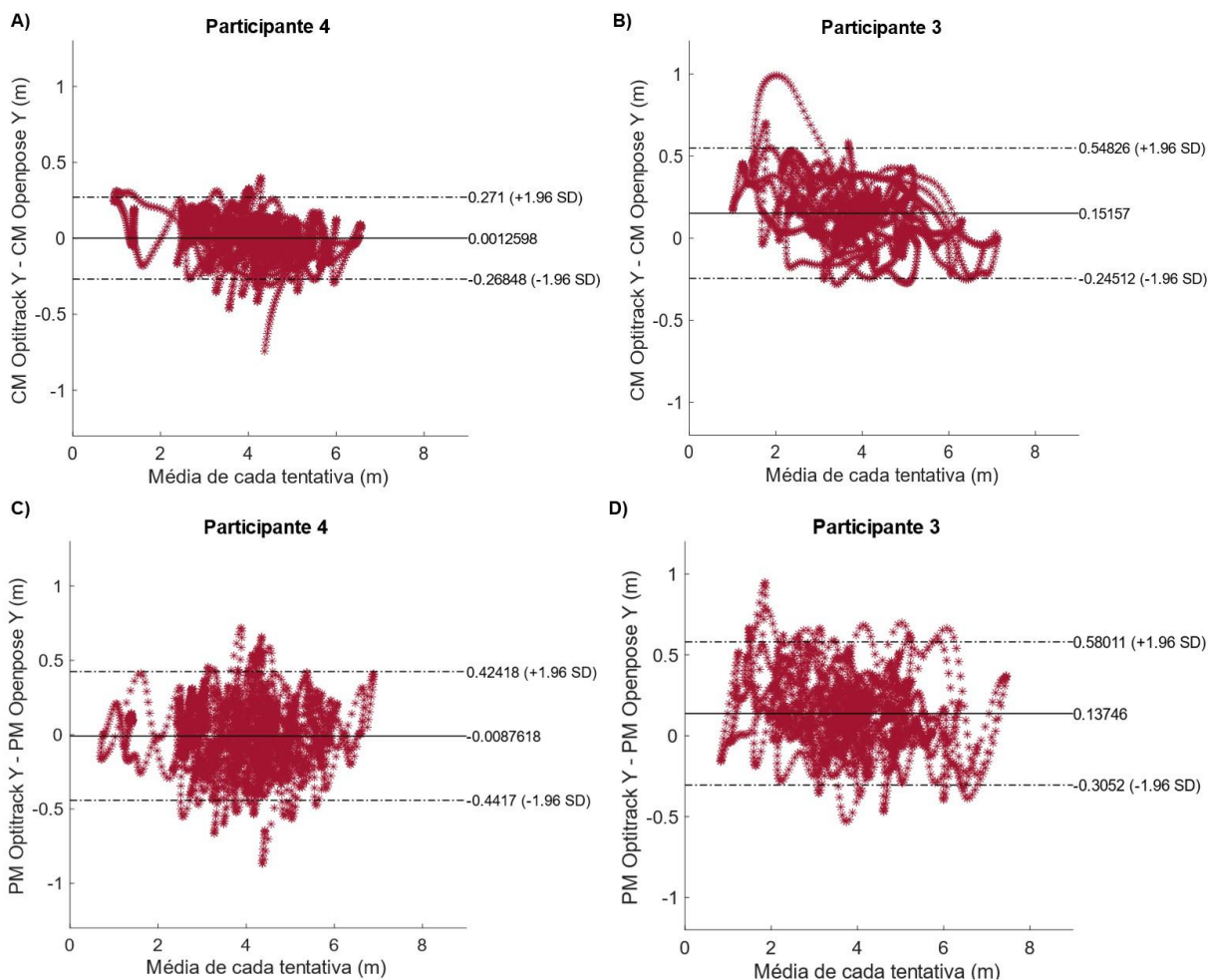
Com adversário								
	CM X		PM X		CM Y		PM Y	
	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)
Participante 1	0,224	0,003	0,242	0,004	0,198	0,003	0,238	0,004
Participante 2	0,229	0,002	0,254	0,003	0,198	0,003	0,223	0,003
Participante 3	0,306	0,005	0,324	0,005	0,262	0,004	0,284	0,005
Participante 4	0,264	0,004	0,295	0,005	0,243	0,003	0,266	0,004
Participante 5	0,231	0,003	0,273	0,004	0,231	0,003	0,231	0,004
Participante 6	0,210	0,004	0,228	0,004	0,215	0,004	0,214	0,004
Média	<b>0,244</b>	<b>0,003</b>	<b>0,269</b>	<b>0,004</b>	<b>0,224</b>	<b>0,003</b>	<b>0,243</b>	<b>0,004</b>
DP	<b>0,035</b>	<b>0,001</b>	<b>0,036</b>	<b>0,001</b>	<b>0,026</b>	<b>0,001</b>	<b>0,027</b>	<b>0,001</b>

EPM: Erro Padrão da Média; DP: Desvio Padrão; CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

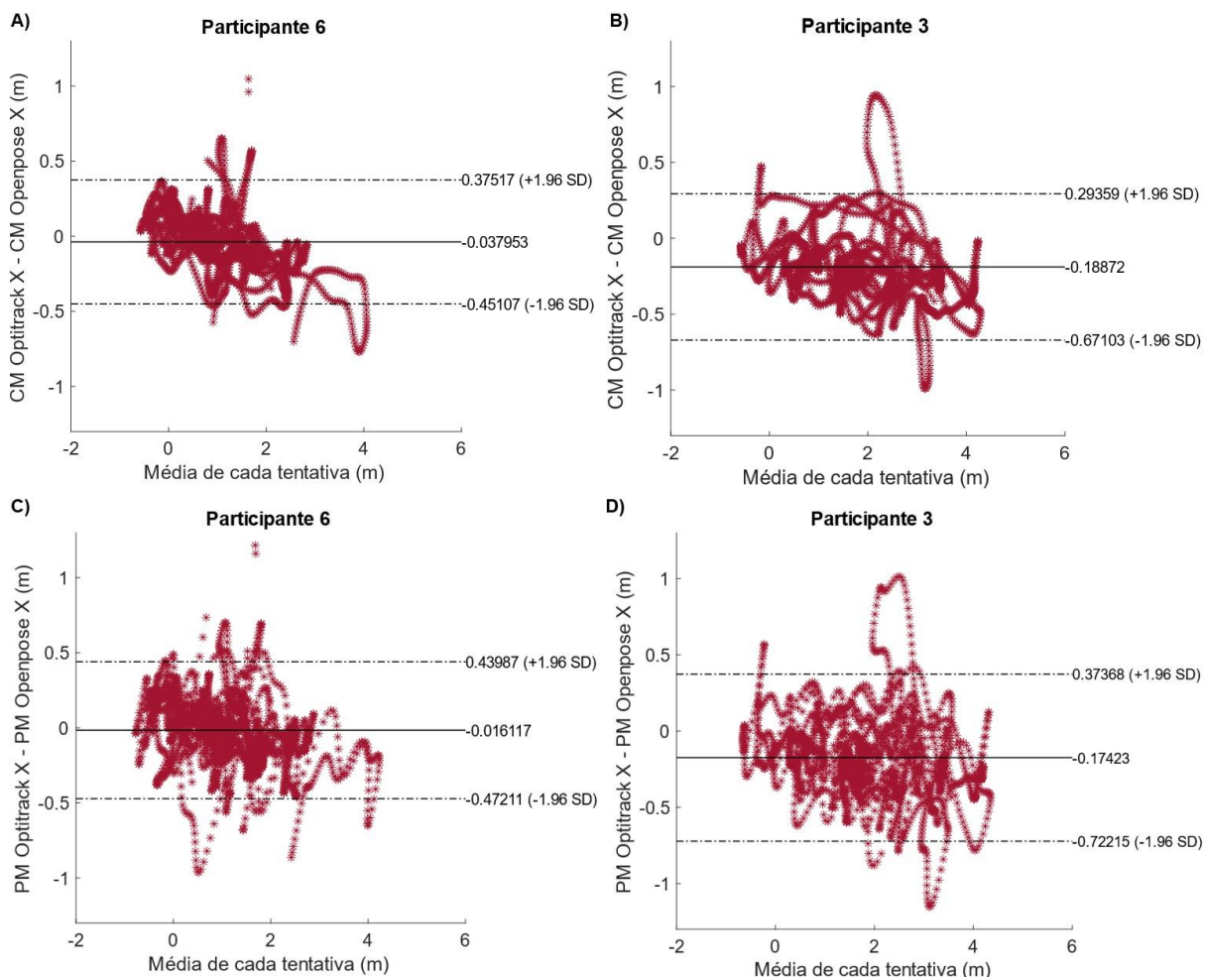
Pela análise gráfica de *Bland e Altman*, foram encontrados erros sistemáticos, na condição sem adversário, que variaram de 0,073 a 0,188 m para o CM e de 0,073 a 0,168 m para o PM na coordenada x (Figura 7, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Para a coordenada y, os erros variaram de 0,001 a 0,152 m para o CM e de 0,008 a 0,137 m para o PM (Figura 8, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Na condição com adversário, os erros sistemáticos variaram de 0,038 a 0,189 m para o CM e de 0,016 a 0,174 m para o PM na coordenada x (Figura 9, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Para a coordenada y, os erros variaram de 0,018 a 0,156 m para o CM e de 0,013 a 0,144 m para o PM (Figura 10, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Considerando a diferença média entre os métodos e os limites de concordância, há concordância entre os métodos.



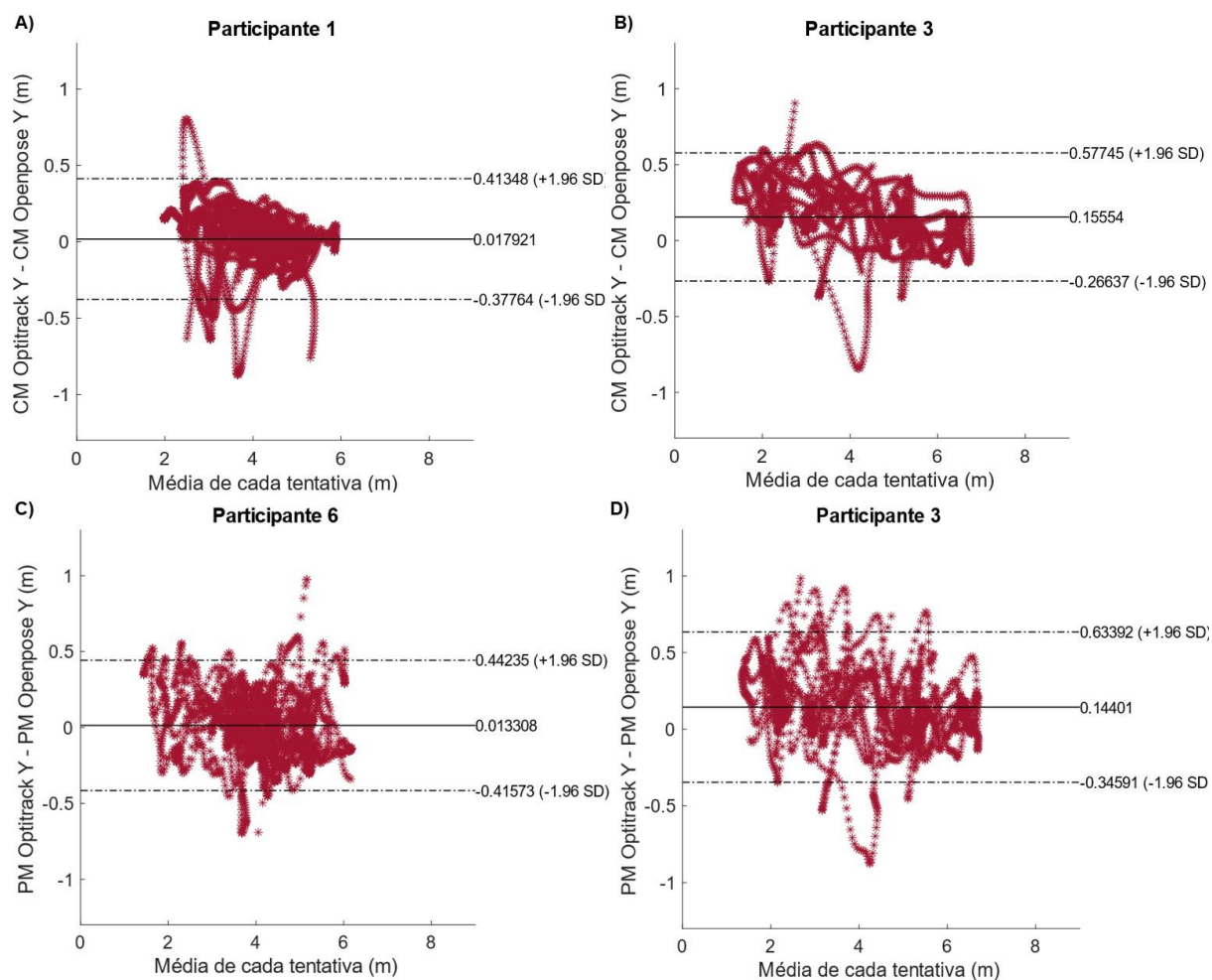
**Figura 7** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional x na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 8** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional y na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 9** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional x na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 10** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada bidimensional y na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.

O Openpose apresentou uma alta confiabilidade, com valores de Coeficiente de Correlação Intraclass classificados como excelente ( $ICC > 0,90$ ) para condição sem e com adversário, em ambas as direções, x e y (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 3** - Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições bidimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.

<b>Sem adversário</b>				
	<b>CM X</b>	<b>PM X</b>	<b>CM Y</b>	<b>PM Y</b>
	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>
<b>Participante 1</b>	0,985* (0,984-0,986)	0,975* (0,973-0,976)	0,991* (0,990-0,991)	0,983* (0,982-0,984)
<b>Participante 2</b>	0,987* (0,986-0,988)	0,984* (0,983-0,985)	0,990* (0,989-0,990)	0,988* (0,987-0,989)
<b>Participante 3</b>	0,971* (0,969-0,973)	0,968* (0,965-0,970)	0,980* (0,979-0,982)	0,980* (0,978-0,981)
<b>Participante 4</b>	0,975* (0,974-0,977)	0,968* (0,966-0,970)	0,983* (0,982-0,984)	0,979* (0,978-0,981)
<b>Participante 5</b>	0,970* (0,968-0,972)	0,970* (0,968-0,972)	0,989* (0,989-0,990)	0,988* (0,988-0,989)
<b>Participante 6</b>	0,983* (0,982-0,984)	0,979* (0,977-0,980)	0,986* (0,985-0,987)	0,984* (0,983-0,985)

\* Correlação significativa,  $p < 0,001$ . CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

**Tabela 4** - Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições bidimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.

<b>Com adversário</b>				
	<b>CM X</b>	<b>PM X</b>	<b>CM Y</b>	<b>PM Y</b>
	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>
<b>Participante 1</b>	0,966* (0,964-0,968)	0,963* (0,960-0,965)	0,974* (0,972-0,975)	0,964* (0,962-0,966)
<b>Participante 2</b>	0,959* (0,956-0,962)	0,952* (0,948-0,955)	0,976* (0,974-0,977)	0,971* (0,968-0,972)
<b>Participante 3</b>	0,965* (0,962-0,968)	0,962* (0,959-0,965)	0,984* (0,983-0,985)	0,982* (0,980-0,983)
<b>Participante 4</b>	0,965* (0,963-0,968)	0,959* (0,956-0,962)	0,972* (0,970-0,974)	0,968* (0,966-0,970)
<b>Participante 5</b>	0,965* (0,962-0,968)	0,954* (0,951-0,957)	0,989* (0,988-0,990)	0,989* (0,988-0,990)
<b>Participante 6</b>	0,974* (0,972-0,976)	0,972* (0,970-0,974)	0,975* (0,973-0,977)	0,977* (0,975-0,979)

\* Correlação significativa,  $p < 0,001$ . CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

## 6.2 RECONSTRUÇÃO 3D

Somando todos os participantes, foram processados 20192 frames (~11,2 minutos) na condição sem adversário e 15295 frames (~8,5 minutos) na condição com adversário.

As tabelas 5 e 6 apresentam os valores de RMS e de erro padrão das coordenadas x e y do CM e PM obtidos pelo rastreamento por meio do Openpose e do *Optitrack*. Para condição sem adversário, os valores de RMS do CM e PM variaram de 0,05 a 0,09 m e de 0,05 a 0,13 m, respectivamente. Em relação à condição com adversário, os valores de RMS do CM e PM variaram de 0,07 a 0,12 m e de 0,10 a 0,16 m, respectivamente.

**Tabela 5** - RMS e erro padrão da média das posições tridimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.

Sem adversário								
	CM X		PM X		CM Y		PM Y	
	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)
Participante 1	0,080	0,001	0,136	0,002	0,076	0,001	0,114	0,002
Participante 2	0,073	0,001	0,077	0,001	0,052	0,001	0,057	0,001
Participante 3	0,090	0,001	0,104	0,001	0,067	0,001	0,089	0,001
Participante 4	0,054	0,001	0,094	0,001	0,051	0,001	0,079	0,001
Participante 5	0,076	0,001	0,091	0,001	0,077	0,001	0,086	0,001
Participante 6	0,066	0,001	0,085	0,001	0,060	0,001	0,083	0,001
Média	<b>0,072</b>	<b>0,001</b>	<b>0,090</b>	<b>0,001</b>	<b>0,061</b>	<b>0,001</b>	<b>0,079</b>	<b>0,001</b>
DP	<b>0,013</b>	<b>0,000</b>	<b>0,021</b>	<b>0,000</b>	<b>0,012</b>	<b>0,000</b>	<b>0,018</b>	<b>0,000</b>

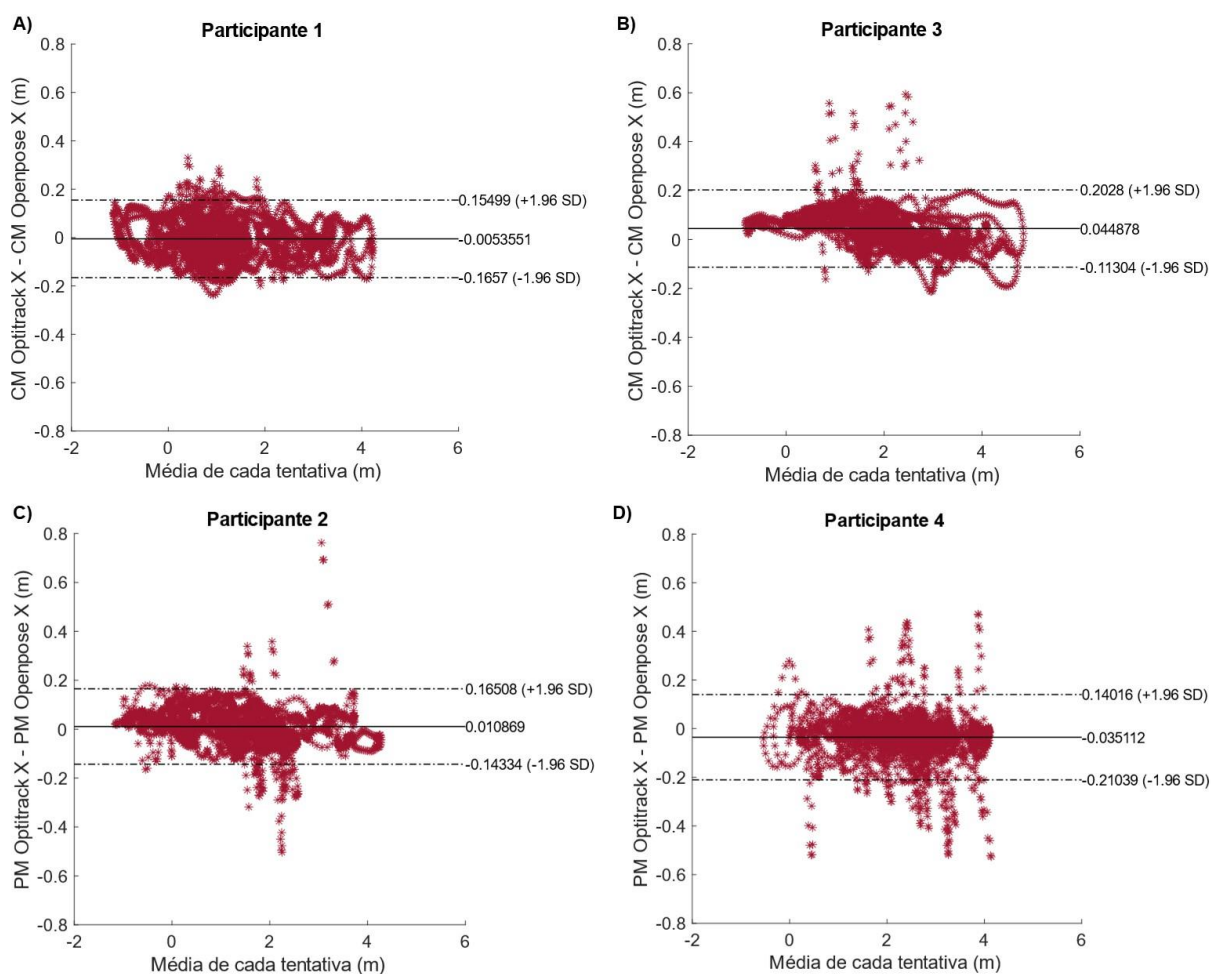
EPM: Erro Padrão da Média; DP: Desvio Padrão; CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

**Tabela 6** - RMS e erro padrão da média das posições tridimensionais (m) do centro de massa e do ponto médio entre os pés entre os sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.

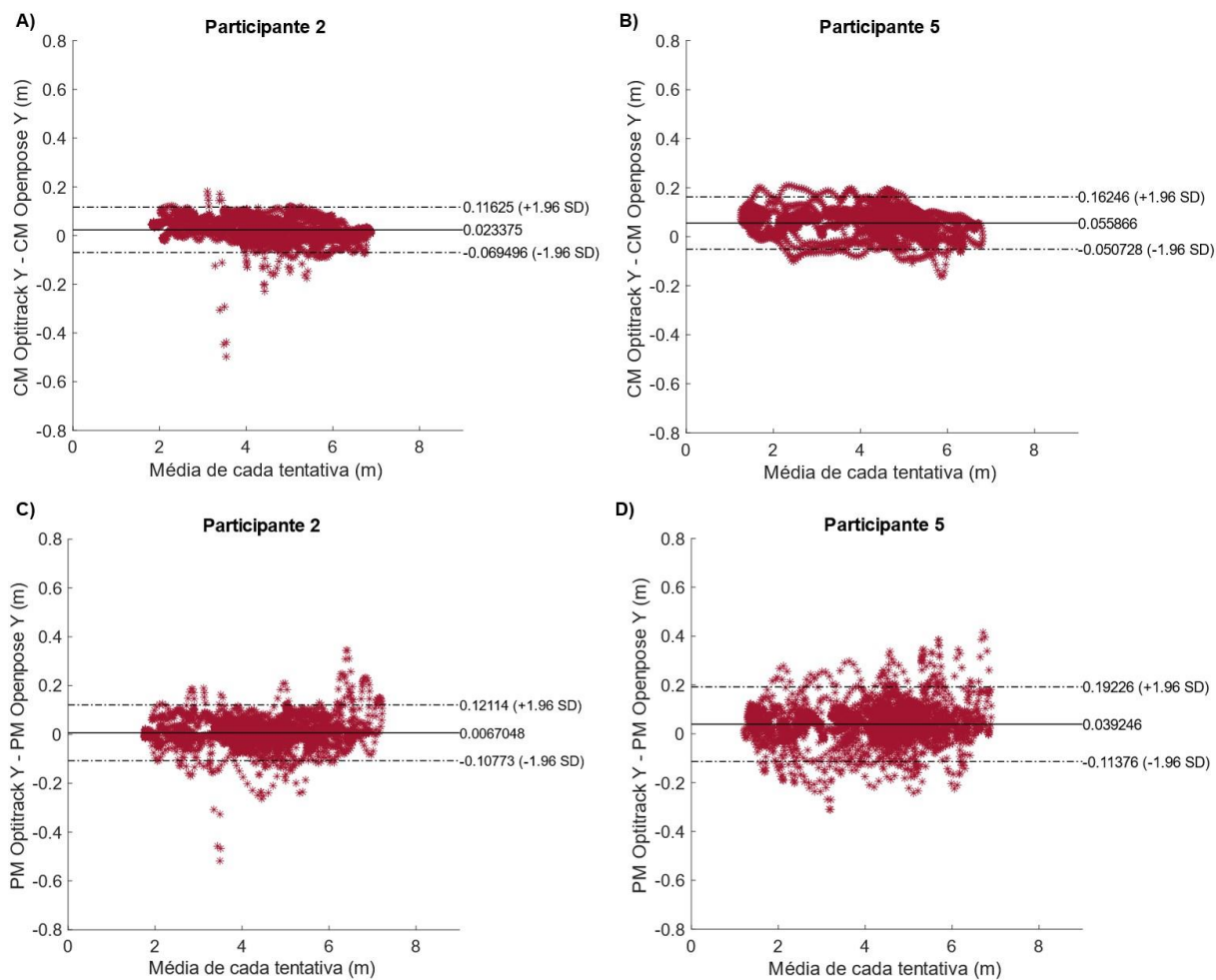
Com adversário								
	CM X		PM X		CM Y		PM Y	
	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)	RMS (m)	EPM (m)
Participante 1	0,086	0,001	0,125	0,002	0,072	0,001	0,113	0,002
Participante 2	0,100	0,001	0,119	0,002	0,082	0,001	0,102	0,001
Participante 3	0,128	0,002	0,157	0,003	0,106	0,001	0,133	0,002
Participante 4	0,099	0,002	0,161	0,003	0,104	0,002	0,144	0,003
Participante 5	0,071	0,001	0,121	0,002	0,106	0,001	0,121	0,002
Participante 6	0,072	0,001	0,141	0,002	0,071	0,001	0,152	0,002
Média	<b>0,094</b>	<b>0,001</b>	<b>0,140</b>	<b>0,002</b>	<b>0,094</b>	<b>0,001</b>	<b>0,130</b>	<b>0,002</b>
DP	<b>0,021</b>	<b>0,000</b>	<b>0,019</b>	<b>0,000</b>	<b>0,017</b>	<b>0,000</b>	<b>0,019</b>	<b>0,000</b>

EPM: Erro Padrão da Média; DP: Desvio Padrão; CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

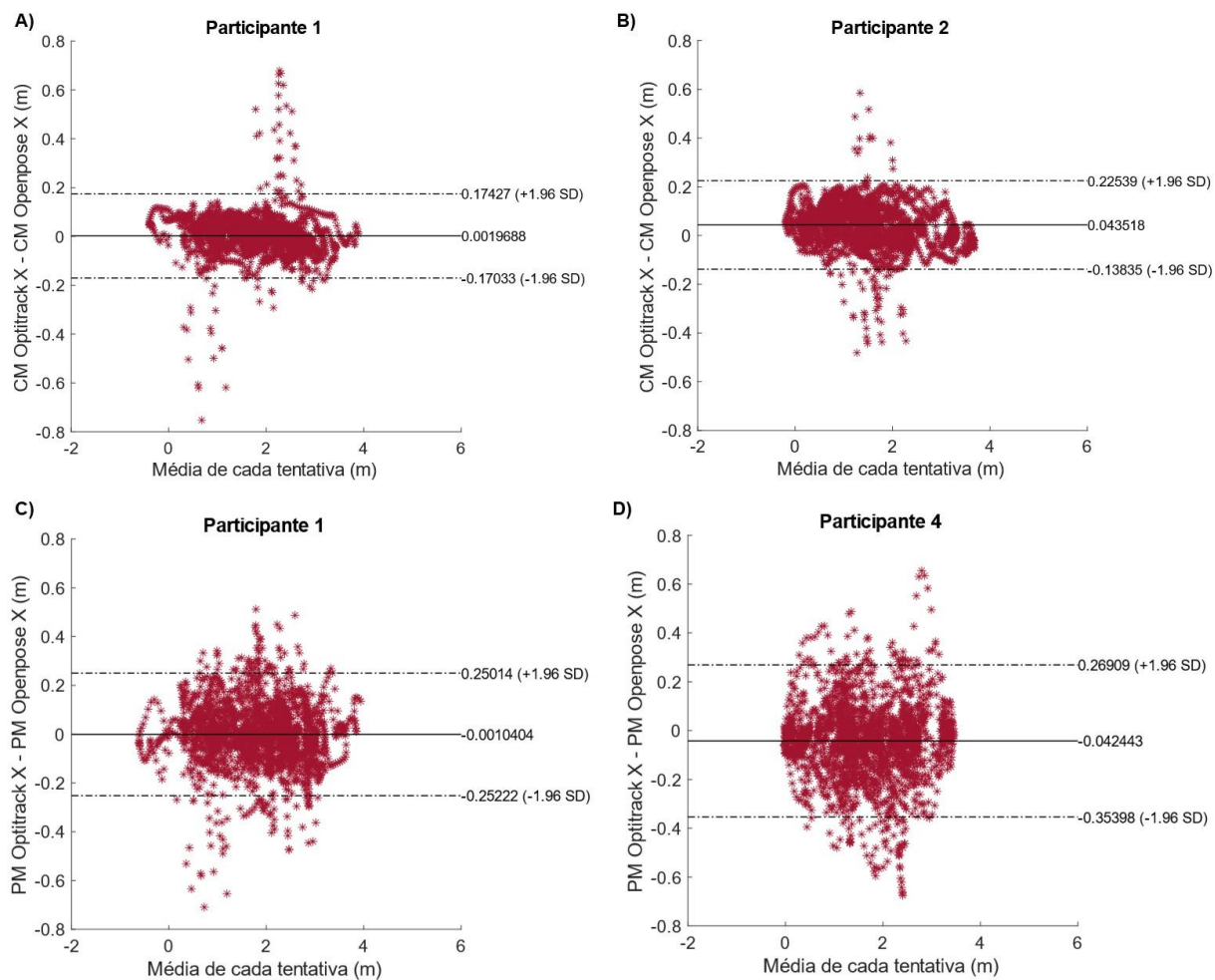
Pela análise gráfica de *Bland e Altman*, foram encontrados erros sistemáticos, na condição sem adversário, que variaram de 0,005 a 0,045 m para o CM e de 0,011 a 0,036 m para o PM na coordenada x (Figura 11, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Para a coordenada y, os erros variaram de 0,023 a 0,056 m para o CM e de 0,006 a 0,039 m para o PM (Figura 12, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Na condição com adversário, os erros sistemáticos variaram de 0,002 a 0,044 m para o CM e de 0,001 a 0,042 m para o PM na coordenada x (Figura 13, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Para a coordenada y, os erros variaram de 0,028 a 0,083 m para o CM e de 0,005 a 0,055 m para o PM (Figura 14, com resultados do menor e maior valor de bias encontrado). Considerando a diferença média entre os métodos e os limites de concordância de 95%, há concordância entre os métodos.



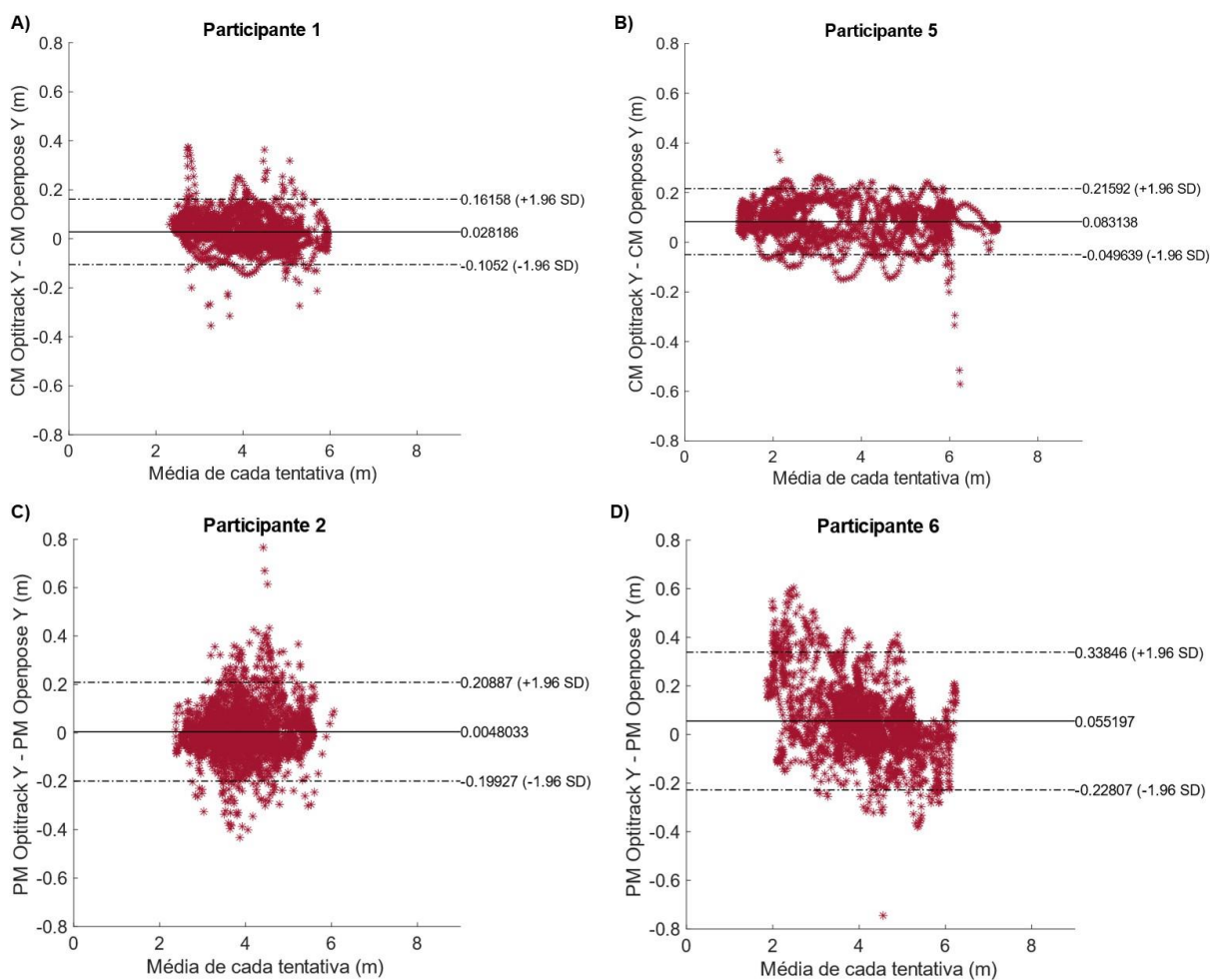
**Figura 11** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional x na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 12** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional y na condição sem adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 13** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional x na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.



**Figura 14** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura da coordenada tridimensional y na condição com adversário. A) Participante com melhor concordância para o CM; B) Participante com pior concordância para o CM; C) Participante com melhor concordância para o PM; D) Participante com pior concordância para o PM.

O Openpose apresentou uma alta confiabilidade, com valores de Coeficiente de Correlação Intraclassa classificados como excelente ( $ICC > 0,90$ ) para condição sem e com adversário, em ambas as direções, x e y (Tabelas 7 e 8).

**Tabela 7** - Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições tridimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição sem adversário.

<b>Sem adversário</b>				
	<b>CM X</b>	<b>PM X</b>	<b>CM Y</b>	<b>PM Y</b>
	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>
<b>Participante 1</b>	0,997* (0,997-0,997)	0,993* (0,992-0,993)	0,997* (0,997-0,997)	0,994* (0,994-0,995)
<b>Participante 2</b>	0,997* (0,997-0,997)	0,997* (0,997-0,997)	0,999* (0,998-0,999)	0,998* (0,998-0,999)
<b>Participante 3</b>	0,996* (0,996-0,996)	0,995* (0,995-0,995)	0,998* (0,998-0,998)	0,998* (0,997-0,998)
<b>Participante 4</b>	0,998* (0,997-0,998)	0,997* (0,997-0,997)	0,998* (0,998-0,998)	0,994* (0,994-0,994)
<b>Participante 5</b>	0,997* (0,996-0,997)	0,995* (0,995-0,996)	0,998* (0,998-0,998)	0,998* (0,997-0,998)
<b>Participante 6</b>	0,997* (0,997-0,998)	0,996* (0,996-0,997)	0,998* (0,998-0,998)	0,997* (0,997-0,998)

\* Correlação significativa,  $p < 0,001$ . CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

**Tabela 8** - Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) das posições tridimensionais do centro de massa e do ponto médio entre os pés nos sistemas Optitrack e Openpose na condição com adversário.

<b>Com adversário</b>				
	<b>CM X</b>	<b>PM X</b>	<b>CM Y</b>	<b>PM Y</b>
	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>	<b>ICC (IC 95%)</b>
<b>Participante 1</b>	0,994* (0,994-0,995)	0,989* (0,989-0,990)	0,996* (0,996-0,996)	0,992* (0,991-0,992)
<b>Participante 2</b>	0,993* (0,993-0,994)	0,991* (0,990-0,991)	0,993* (0,993-0,994)	0,990* (0,989-0,991)
<b>Participante 3</b>	0,992* (0,991-0,993)	0,989* (0,988-0,990)	0,997* (0,997-0,997)	0,995* (0,995-0,996)
<b>Participante 4</b>	0,993* (0,992-0,993)	0,983* (0,982-0,984)	0,995* (0,995-0,996)	0,992* (0,991-0,993)
<b>Participante 5</b>	0,994* (0,993-0,994)	0,984* (0,983-0,986)	0,997* (0,997-0,998)	0,997* (0,997-0,997)
<b>Participante 6</b>	0,996* (0,996-0,997)	0,988* (0,987-0,989)	0,996* (0,996-0,997)	0,987* (0,986-0,988)

\* Correlação significativa,  $p < 0,001$ . CM: Centro de Massa; PM: Ponto médio entre os pés; X: Coordenada Ântero-Posterior; Y: Coordenada Médio-Lateral.

## 7 DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo comparar a acurácia entre um método sem marcadores, o Openpose, com um método padrão ouro (sistema optoeletrônico), na determinação da posição do centro de massa e ponto médio entre os pés em movimentos associados a taekwondistas em uma área de combate oficial. Até onde sabemos, nenhum trabalho anterior investigou os aspectos de confiabilidade do rastreamento sem marcadores em movimentos associados ao taekwondo. O principal achado deste estudo indicou que houve alta confiabilidade e concordância entre os métodos independentemente do tipo de captura e da condição. Nos parágrafos seguintes, as possíveis fontes de erros são discutidas.

Erros encontrados na condição com adversário podem ter sido causados, pois mais interpolações foram necessárias devido a um maior número de oclusões por parte do adversário, o que afeta a estimativa dos pontos anatômicos. Embora as interpolações tenham sido limitadas às janelas de no máximo 1 s, era esperado que maiores erros aconteceriam nesta condição. Apesar dos algoritmos do Openpose terem sido treinados com várias pessoas em movimento, sozinhas ou envolvidas em atividades sociais (PAGNON; DOMALAIN; REVERET, 2021), até onde sabemos, não há estudos que avaliaram a acurácia do Openpose em esportes em situações com interação.

No que diz a respeito ao rastreamento pelo PM, erros podem ocorrer devido as mudanças repentinas na velocidade, nas quais podem alterar as propriedades da imagem, influenciando a estimativa da pose humana (PALUCCI VIEIRA *et al.*, 2022). Visto que no taekwondo o deslocamento do pé ocorre em alta velocidade, podendo chegar a uma velocidade linear de 14,66 m/s (GAVAGAN; SAYERS, 2017), é esperado que o rastreamento pelo PM seja afetado devido às movimentações mais rápidas nesta articulação que possivelmente não representa bem o movimento do corpo como ponto único. Estudos prévios sustentam nosso resultado, no qual foi identificado que a articulação do tornozelo produz maiores erros durante o rastreamento sem marcadores nas tarefas de caminhada e corrida (ONG; HARRIS; HAMILL, 2017; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021; YAMAMOTO *et al.*, 2021), chegando a um erro médio absoluto de até 58,1 mm para articulação do tornozelo durante a caminhada (NAKANO *et al.*, 2020). Uma possível razão para maiores erros nesta articulação é que o tornozelo durante a marcha muda rapidamente em um curto período e possui uma alta velocidade angular (YAMAMOTO *et al.*, 2021).

Em relação ao rastreamento do PM e do CM, a estimativa dos mesmos pode ter sido afetada em virtude da frequência de aquisição das câmeras digitais, neste estudo adotada em 30 Hz. Ainda que estudos anteriores demonstraram que com a uma frequência de aquisição de 30 Hz é possível fornecer informações a respeito do deslocamento humano em esportes como tênis (LARA *et al.*, 2018), futebol (BARROS *et al.*, 2007) e handebol (BARROS *et al.*, 2011), os métodos de rastreamento propostos por estes estudos foram conduzidos por meio de segmentação da imagem, na qual detecta o jogador como um todo, determina-se o centro de gravidade dos *pixels* referentes ao jogador, e projeta-se no plano do campo/quadra. No entanto, informações mais precisas são obtidas com a detecção de cada ponto anatômico e posteriormente com o cálculo de centro de massa (NEEDHAM *et al.*, 2021). Além disso, o taekwondo requer movimentos rápidos dos segmentos, desta forma, é importante considerar o posicionamento de cada segmento para então rastrear o atleta na área de combate.

Ademais, a literatura relata que um possível problema para os sistemas sem marcadores são os movimentos desfocados e/ou borrados, provocados pela baixa frequência de aquisição, principalmente na captura de movimentos rápidos (ONG; HARRIS; HAMILL, 2017; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021). A magnitude dos erros aumenta à medida que a velocidade do objeto/pessoa de interesse aumenta (LINKE; LINK; LAMES, 2018). Assim, é previsto que as estimativas do PM e CM sejam afetadas pela baixa frequência de aquisição. Desta forma, espera-se que métodos de gravação com frequência mais alta possam melhorar a acurácia da estimativa de pose em taekwondistas. Porém, imagens em alta frequência raramente são utilizadas pelas câmeras de transmissão de campeonatos esportivos, seja pela televisão ou pela internet, dada a quantidade de dados que precisa ser transmitida.

Em relação à confiabilidade dos dados na captura bidimensional, observamos erros que variaram de 0,13 m a 0,32 m, representando um erro de 1,62% a 4% da largura e comprimento da quadra oficial de taekwondo. Estes valores são similares aos encontrados no tênis, no qual erros na posição dos jogadores variaram de 0,17 m a 0,24 m, resultando em uma acurácia de 0,36 m, o que representa 3,3% da largura e 3% do comprimento da quadra de tênis (LARA *et al.*, 2018). Por outro lado, para o futebol encontraram um erro de 56 m ao verificar a acurácia do centro de massa entre câmeras digitais e optoeletrônicas durante jogos reduzidos de futebol

(LINKE; LINK; LAMES, 2018). Essa discrepância pode ser justificada pelas diferenças na frequência de aquisição (16 Hz vs 30 Hz), no tamanho da área de captura (900 m<sup>2</sup> vs 84 m<sup>2</sup>), no posicionamento dos marcadores para captura optoeletrônica (5 marcadores nos membros superiores vs 17 marcadores ao longo de todo corpo), no modelo de rastreamento para captura digital (segmentação da imagem vs Openpose), no tipo de movimento analisado (futebol vs taekwondo) e na distância e ângulo da câmera.

Em relação ao posicionamento da câmera, nosso estudo as alocou no mesmo plano em que ocorreram as movimentações, provocando um maior número de oclusões e erro de perspectiva. Usualmente câmeras são dispostas no topo e/ou no lugar mais alto do ginásio a fim de reduzir as oclusões geradas pela interação dos participantes e melhorar a projeção no plano da área de combate, diminuindo-se os erros de perspectivas. Entretanto, a detecção do pontos-chave pelo Openpose poderia ser prejudicada caso as câmeras fossem posicionadas no topo do ginásio. Além disso, raramente câmeras de transmissão utilizam esse enquadramento, o que comprometeria a aplicação dos resultados da presente pesquisa em vídeos disponíveis. Sendo assim, recomenda-se que novos estudos considerem câmeras em pontos mais altos ou com diferentes orientações.

A posição do indivíduo em cada *frame* pode influenciar na detecção de uma pose incorreta (NAKANO *et al.*, 2020). Neste estudo, os participantes não foram restritos a se movimentar em um único plano, gerando erros de identificação dos pontos-chave e de perspectiva. Deste modo, a acurácia do sistema pode ter sido afetada devido às diferentes posições que os participantes assumiram, conforme verificado nos diferentes resultados encontrados para os eixos x e y. Por outro lado, isso representa a realidade das modalidades de combate, nas quais atletas podem se mover em diferentes sentidos e direções.

Quando analisamos a condição tridimensional, encontramos erros que variaram de 0,05 m a 0,16 m, representando um erro de 0,63% a 2% da largura e comprimento da quadra oficial de taekwondo. Estudos prévios identificaram que o erro médio absoluto da estimativa tridimensional das articulações, utilizando o Openpose, durante as tarefas de caminhar, saltar e arremessar foram de 47% abaixo de 0,02 m, 80% abaixo de 0,03 m e de 10% acima de 0,04 m (NAKANO *et al.*, 2020). Para uma ação de chute no futebol em um ambiente natural (campo) foi relatado um erro médio absoluto de 0,034 m (PALUCCI VIEIRA *et al.*, 2022).

Durante uma tarefa de *sprint* linear, verificou-se que o Openpose proporciona erro de 0,05 m na posição do CM, entretanto, maiores erros foram encontrados durante a posição de saída (NEEDHAM *et al.*, 2021). Os autores justificam este aumento do erro devido à pose incomum que esta fase proporciona. O Openpose foi treinado a partir de poses comuns, assim, avaliações conduzidas com poses similares aos modelos de treinamento geram melhores resultados (BINI *et al.*, 2022; NEEDHAM *et al.*, 2021). Considerando que o taekwondo é uma modalidade de combate que contém diversas poses corporais inusuais do que a rede foi treinada, é esperado que houvesse maior quantidade de erro em comparação as atividades citadas.

Outras possíveis fontes de erro são: o número de câmeras utilizadas, o problema intrínseco do Openpose, os problemas extrínsecos da captura optoeletrônica e a variação da frequência de aquisição ao longo da captura. Primeiramente, a estimativa da posição articular melhora à medida que o número de câmeras aumenta (NAKANO *et al.*, 2020). Nosso estudo utilizou apenas duas câmeras. Em contrapartida, os demais estudos utilizaram quatro (PALUCCI VIEIRA *et al.*, 2022), cinco (NAKANO *et al.*, 2020) e nove câmeras (NEEDHAM *et al.*, 2021). Em segundo lugar, ainda que a estimativa do centro de massa tenha sido feita para ambos os sistemas, os pontos-chave identificados pelo Openpose não são os mesmos que são utilizados para a captura optoeletrônica, provavelmente causando erros, mesmo que em uma menor magnitude. Ademais, os sistemas optoeletrônicos, embora sejam considerados padrão ouro de movimento, proporcionam erros advindos da experiência do avaliado na fixação dos marcadores e da movimentação da pele (BENOIT *et al.*, 2006; SINCLAIR; HEBRON; TAYLOR, 2014). Por fim, ainda que as câmeras tenham sido sincronizadas, a frequência de aquisição não é constante, podendo causar atrasos na série temporal e, conseqüentemente, erros relativamente pequenos (NAKANO *et al.*, 2020).

Apesar de todas as fontes de erro apresentadas, o Openpose apresentou boa confiabilidade e concordância em relação ao sistema optoeletrônico, com valores de ICC classificados como excelente. Desta maneira, o Openpose tem potencial para estimar a posição de taekwondistas, em situações com e sem interação, em uma área oficial. Entretanto, cuidado deve ser tomado ao analisar vídeos de competições oficiais. Ainda que nossa pesquisa tenha conduzido uma coleta em uma condição com interação, há mais ruídos em competições oficiais, advindos das demais pessoas presentes no vídeo, tais como os árbitros e torcida. Além disso, foi instruído

para que apenas o avaliado realizasse os golpes, o que não acontece em um combate oficial, no qual os dois atletas podem desferir golpes simultaneamente.

Ademais, as competições de taekwondo acontecem com a implementação do *dobok*, uniforme oficial, e proteções obrigatórias (capacete, colete, luvas, meia eletrônica e caneleiras). Apesar de ser especulado que uso de roupas largas e de grandes dispositivos e/ou próteses possam afetar a estimativa correta dos pontos-chave, não foi avaliada a influência dos mesmos (STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2021; YAMAMOTO *et al.*, 2021). Em contrapartida, ao avaliar o efeito de dois tipos diferentes de condição de vestuário, durante a marcha, nos comprimentos dos segmentos, parâmetros espaço-temporais e medidas cinemáticas das articulações dos membros inferiores, foi encontrada diferença média dos segmentos que variaram de 0,1 a 0,9 cm, sendo o segmento da coxa aquele que apresentou maiores diferenças e menor correlação ( $r=0,60$ ) e concordância ( $ICC=0,55$ ) em comparação aos segmentos dos membros superiores e da perna (KELLER *et al.*, 2022). Os autores indicaram que a roupa tem um efeito mínimo na estimativa dos pontos-chave em uma análise sem marcadores, demonstrando que a roupa não afetaria significativamente as análises clínicas (KELLER *et al.*, 2022). Deste modo, acreditamos que o uso do *dobok* não influenciaria de maneira significativa no rastreamento dos atletas.

De maneira geral, o presente estudo apresentou limitações como o pequeno número amostral, a baixa frequência de aquisição e a falta de análise em condições reais de combate. Embora a amostra de seis participantes seja considerada pequena, destacamos as quantidades de frames analisados. Em ambos os sistemas, há independência das medidas em cada instante de tempo. Logo, o grande volume de frames e poses analisadas fortalecem os achados do presente estudo. Além disto, foi utilizada uma rede pré-treinada, no entanto, pode ser possível a obtenção de resultados mais acurados a partir de um retreinamento das redes neurais, em características próprias da atividade de interesse.

## **8 CONCLUSÃO**

Em conclusão, o sistema sem marcadores Openpose é uma alternativa viável para o rastreamento bidimensional e tridimensional de atletas de taekwondo em área de combate oficial. Conduzir uma análise acurada de rastreamento sem marcadores de taekwondistas em competições reais permitirá que técnicos extraiam informações técnico-táticas de diferentes atletas por meio de vídeos com uma tecnologia acessível e de baixo custo. Ainda assim, recomenda-se que estudos futuros devam investigar a acurácia com a implementação de mais câmeras e/ou com o aumento da frequência de aquisição das imagens em busca da melhor relação custo-benefício em função das variáveis que se almeja coletar.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry. **Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry**, p. 1–18, 1 fev. 1971. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0099-1112&volume=81&issue=2&spage=103>>.
- AVAKIAN, P.; MIARKA, B.; ACHOUR JUNIOR, A. Análise de frequência das ações técnico-táticas competitivas no taekwondo: uma revisão. **Revista de Artes Marciales Asiáticas**, v. 11, n. 2, p. 83–98, 2016. Disponível em: <<http://revpubli.unileon.es/ojs/index.php/artesmarciales/article/view/3228>>.
- BADIOLA-BENGOA, A.; MENDEZ-ZORRILLA, A. A Systematic Review of the Application of Camera-Based Human Pose Estimation in the Field of Sport and Physical Exercise. **Sensors**, v. 21, n. 18, p. 5996, 2021.
- BARBIERI, F. A.; SANTAIGO, P. R. P.; GOBBI, L. T. B.; CUNHA, S. A. Diferenças entre o chute realizado com o membro dominante e não-dominante no futsal: Variabilidade, velocidade linear das articulações, velocidade da bola e desempenho. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 29, n. 2, p. 129–146, 2008.
- BARROS, R. M. L.; MENEZES, R. P.; RUSSOMANNO, T. G.; MISUTA, M. S.; BRANDÃO, B. C.; FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; GOLDENSTEIN, S. K. Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 14, n. 1, p. 53–63, fev. 2011. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10255842.2010.494602>>.
- BARROS, R. M. L.; MISUTA, M. S.; MENEZES, R. P.; FIGUEROA, P. J.; MOURA, F. A.; CUNHA, S. A.; ANIDO, R.; LEITE, N. J. Analysis of the distances covered by first division brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 6, n. 2, p. 233–242, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24149334>>.
- BEHENDI, S. K.; MORGAN, S.; FOOKES, C. B. Non-invasive performance measurement in combat sports. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports (ISCSS)., 2016, [...]. 2016. v. 392, p. 3–10.
- BENOIT, D. L.; RAMSEY, D. K.; LAMONTAGNE, M.; XU, L.; WRETENBERG, P.; RENSTRÖM, P. Effect of skin movement artifact on knee kinematics during gait and cutting motions measured in vivo. **Gait & Posture**, v. 24, n. 2, p. 152–164, out. 2006. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636205001700>>.
- BINI, R. R.; SERRANCOLI, G.; SANTIAGO, P. R. P.; PINTO, A.; MOURA, F. Validity of Neural Networks to Determine Body Position on the Bicycle. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, p. 1–8, 16 maio 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2070103>>.
- BRIDGE, C. A.; JONES, M. A.; DRUST, B. Physiological Responses and Perceived Exertion During International Taekwondo Competition. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, n. 4, p. 485–493, dez. 2009. Disponível em: <<https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/4/4/article-p485.xml>>.

BUCHHEIT, M.; ALLEN, A.; POON, T. K.; MODONUTTI, M.; GREGSON, W.; DI SALVO, V. Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. **Journal of Sports Sciences**, v. 32, n. 20, p. 1844–1857, 14 dez. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2014.942687>>.

CAETANO, F. G.; DE OLIVEIRA, M. J.; MARCHE, A. L.; NAKAMURA, F. Y.; CUNHA, S. A.; MOURA, F. A. Characterization of the Sprint and Repeated-Sprint Sequences Performed by Professional Futsal Players, According to Playing Position, During Official Matches. **Journal of Applied Biomechanics**, v. 31, n. 6, p. 423–429, dez. 2015. Disponível em: <<https://journals.humankinetics.com/view/journals/jab/31/6/article-p423.xml>>.

CARLING, C.; BLOOMFIELD, J.; NELSEN, L.; REILLY, T. The Role of Motion Analysis in Elite Soccer: contemporary performance measurements techniques and work rate data. **Sports Medicine**, v. 38, n. 10, p. 839–862, dez. 2008. Disponível em: <[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=19062774](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=19062774)>.

CORNEJO, C.; CUADROS, Z.; MORALES, R.; PAREDES, J. Interpersonal Coordination: Methods, Achievements, and Challenges. **Frontiers in Psychology**, v. 8, p. 1–16, 27 set. 2017. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2017.01685/full>>.

CORNMAN, H. L.; STENUM, J.; ROEMMICH, R. T. Video-based quantification of human movement frequency using pose estimation: A pilot study. **PLoS ONE**, v. 16, n. 12, p. e0261450, 20 dez. 2021. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0261450>>.

DE LEVA, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. **Journal of Biomechanics**, v. 29, n. 9, p. 1223–1230, 1996. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ima.22019>>.

ESTEVA, I.; FALCO, C.; SILVERNAIL, J. F.; JANDACKA, D. Comparison of Lower Limb Segments Kinematics in a Taekwondo Kick. An Approach to the Proximal to Distal Motion. **Journal of Human Kinetics**, v. 47, n. 1, p. 41–49, 1 set. 2015. Disponível em: <<https://www.sciendo.com/article/10.1515/hukin-2015-0060>>.

FALCO, C.; ALVAREZ, O.; CASTILLO, I.; ESTEVA, I.; MARTOS, J.; MUGARRA, F.; IRADI, A. Influence of the distance in a roundhouse kick's execution time and impact force in Taekwondo. **Journal of Biomechanics**, v. 42, n. 3, p. 242–248, fev. 2009. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021929008005460>>.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. **Computer Vision and Image Understanding**, v. 101, n. 2, p. 122–135, fev. 2006a. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1077314205001293>>.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N. J.; BARROS, R. M. L. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. **Image and Vision Computing**, v. 24, n. 4, p. 363–374, abr. 2006b. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0262885606000059>>.

GAVAGAN, C. J.; SAYERS, M. G. L. A biomechanical analysis of the roundhouse kicking technique of expert practitioners: A comparison between the martial arts disciplines of Muay Thai, Karate, and Taekwondo. **PLoS ONE**, v. 12, n. 8, p. e0182645, 25 ago. 2017. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0182645>>.

KELLER, V. T.; OUTERLEYS, J. B.; KANKO, R. M.; LAENDE, E. K.; DELUZIO, K. J. Clothing condition does not affect meaningful clinical interpretation in markerless motion capture. **Journal of Biomechanics**, v. 141, p. 111182, ago. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2022.111182>>.

KIM, J.; KWON, M.; YENUGA, S. S.; KWON, Y. The effects of target distance on pivot hip , trunk , pelvis , and kicking leg kinematics in Taekwondo roundhouse kicks. **Sports Biomechanics**, v. 9, n. 2, p. 98–114, 2010a.

KIM, J. W.; KWON, M. S.; YENUGA, S. S.; KWON, Y. H. The effects of target distance on pivot hip, trunk, pelvis, and kicking leg kinematics in Taekwondo roundhouse kicks. **Sports Biomechanics**, v. 9, n. 2, p. 98–114, 2010b.

LARA, J. P. R.; VIEIRA, C. L. R.; MISUTA, M. S.; MOURA, F. A.; BARROS, R. M. L. de. Validation of a video-based system for automatic tracking of tennis players. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v. 18, n. 1, p. 137–150, 2 jan. 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1080/24748668.2018.1456886>>.

LINKE, D.; LINK, D.; LAMES, M. Validation of electronic performance and tracking systems EPTS under field conditions. **PLoS ONE**, v. 13, n. 7, p. e0199519, 23 jul. 2018. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0199519>>.

MALONEY, M. A.; RENSHAW, I.; HEADRICK, J.; MARTIN, D. T.; FARROW, D. Taekwondo Fighting in Training Does Not Simulate the Affective and Cognitive Demands of Competition: Implications for Behavior and Transfer. **Frontiers in Psychology**, v. 9, n. 25, p. 1–13, 31 jan. 2018. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2018.00025/full>>.

MENESCARDI, C.; FALCO, C.; ROS, C.; MORALES-SÁNCHEZ, V.; HERNÁNDEZ-MENDO, A. Technical-Tactical Actions Used to Score in Taekwondo: An Analysis of Two Medalists in Two Olympic Championships. **Frontiers in Psychology**, v. 10, p. 1–13, 10 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6914813/>>.

MÜNDERMANN, L.; CORAZZA, S.; ANDRIACCHI, T. P. Markerless Motion Capture for Biomechanical Applications. *In*: **Human Motion**. [s.l: s.n.]p. 377–398.

MUNEA, T. L.; JEMBRE, Y. Z.; WELDEGEBRIEL, H. T.; CHEN, L.; HUANG, C.; YANG, C. The Progress of Human Pose Estimation: A Survey and Taxonomy of Models Applied in 2D Human Pose Estimation. **IEEE Access**, v. 8, p. 133330–133348, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9144178/>>.

NAKANO, N.; SAKURA, T.; UEDA, K.; OMURA, L.; KIMURA, A.; IINO, Y.; FUKASHIRO, S.; YOSHIOKA, S. Evaluation of 3D Markerless Motion Capture Accuracy Using OpenPose With Multiple Video Cameras. **Frontiers in Sports and Active Living**, v. 2, n. 50, 27 maio 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fspor.2020.00050/full>>.

NEEDHAM, L.; EVANS, M.; COSKER, D. P.; COLYER, S. L. Can Markerless Pose

Estimation Algorithms Estimate 3D Mass Centre Positions and Velocities during Linear Sprinting Activities? **Sensors**, v. 21, n. 8, p. 2889, 20 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2889>>.

ONG, A.; HARRIS, I. S.; HAMILL, J. The efficacy of a video-based marker-less tracking system for gait analysis. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 20, n. 10, p. 1089–1095, 27 jul. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10255842.2017.1334768>>.

OTA, M.; TATEUCHI, H.; HASHIGUCHI, T.; KATO, T.; OGINO, Y.; YAMAGATA, M.; ICHIHASHI, N. Verification of reliability and validity of motion analysis systems during bilateral squat using human pose tracking algorithm. **Gait & Posture**, v. 80, p. 62–67, jul. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.05.027>>.

PAGNON, D.; DOMALAIN, M.; REVERET, L. Pose2sim: An end-to-end workflow for 3D markerless sports kinematics—Part 1: Robustness. **Sensors**, v. 21, n. 19, p. 6530, 30 set. 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/19/6530>>.

PALUCCI VIEIRA, L. H.; SANTIAGO, P. R. P.; PINTO, A.; AQUINO, R.; TORRES, R. da S.; BARBIERI, F. A. Automatic Markerless Motion Detector Method against Traditional Digitisation for 3-Dimensional Movement Kinematic Analysis of Ball Kicking in Soccer Field Context. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 3, p. 1179, 21 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1660-4601/19/3/1179>>.

QIAO, S.; WANG, Y.; LI, J. Real-Time Human Gesture Grading Based on OpenPose. In: 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI), 2017, [...]. 2017. p. 1–6.

RICO-GONZÁLEZ, M.; PINO-ORTEGA, J.; NAKAMURA, F. Y.; ARRUDA MOURA, F.; ROJAS-VALVERDE, D.; LOS ARCOS, A. Past, present, and future of the technological tracking methods to assess tactical variables in team sports: A systematic review. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology**, v. 234, n. 4, p. 281–290, 1 dez. 2020. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1754337120932023>>.

SANTOS, V. G. F.; FRANCHINI, E.; LIMA-SILVA, A. E. Relationship between attack and skipping in taekwondo contests. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 6, p. 1743–1751, 2011.

SARRO, K. J.; MISUTA, M. S.; BURKETT, B.; MALONE, L. A.; BARROS, R. M. L. Tracking of wheelchair rugby players in the 2008 Demolition Derby final. **Journal of Sports Sciences**, v. 28, n. 2, p. 193–200, 5 jan. 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02640410903428541>>.

SINCLAIR, J.; HEBRON, J.; TAYLOR, P. J. The influence of tester experience on the reliability of 3D kinematic information during running. **Gait & Posture**, v. 40, n. 4, p. 707–711, set. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.06.004>>.

STENUM, J.; ROSSI, C.; ROEMMICH, R. T. Two-dimensional video-based analysis of human gait using pose estimation. **PLoS Computational Biology**, v. 17, n. 4, p. e1008935, 23 abr. 2021. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008935>>.

TAYECH, A.; MEJRI, M. A.; CHAABENE, H.; CHAOUACHI, M.; BEHM, D. G.; CHAOUACHI, A. Test-retest reliability and criterion validity of a new Taekwondo Anaerobic Intermittent Kick Test. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 59, n. 2, p. 230–237, jan. 2018. Disponível em: <<https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R40Y2019N02A0230>>.

TORNELLO, F.; CAPRANICA, L.; MINGANTI, C.; CHIODO, S.; CONDELLO, G.; TESSITORE, A. Technical-Tactical Analysis of Youth Olympic Taekwondo Combat. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 28, n. 4, p. 1151–1157, abr. 2014. Disponível em: <<https://journals.lww.com/00124278-201404000-00037>>.

VERLEKAR, T. T.; DE VROEY, H.; CLAEYS, K.; HALLEZ, H.; SOARES, L. D.; CORREIA, P. L. Estimation and validation of temporal gait features using a markerless 2D video system. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 175, p. 45–51, jul. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.04.002>>.

World Taekwondo. About WT. Disponível em: <<http://www.worldtaekwondo.org/index.html>>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.

YAMAMOTO, M.; SHIMATANI, K.; HASEGAWA, M.; KURITA, Y.; ISHIGE, Y.; TAKEMURA, H. Accuracy of Temporo-Spatial and Lower Limb Joint Kinematics Parameters Using OpenPose for Various Gait Patterns With Orthosis. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 29, p. 2666–2675, 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9652561/>>.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

#### **“Análise da coordenação interpessoal de taekwondistas em competições oficiais de diferentes categorias por meio do rastreamento automático”**

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-la para participar da pesquisa **“Análise da coordenação interpessoal de taekwondistas em competições oficiais de diferentes categorias por meio do rastreamento automático”**, a ser realizada na **“Academia Sparta”**. O objetivo da pesquisa é “avaliar a acurácia bidimensional e tridimensional do sistema sem marcador da biblioteca Openpose, em relação a um sistema optoeletrônico”.

Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: primeiramente, os procedimentos serão explicados, possíveis dúvidas serão sanadas. Em seguida, serão afixados com fita dupla face marcadores refletivos em processos anatômicos do peito por meio do processo de palpação. Logo após, será realizado um combate simulado de taekwondo, de acordo com as regras da confederação mundial.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerada por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação. O benefício esperado será ampliar a possibilidade de realizar investigações fidedignas em diferentes competições com diferentes atletas, sem a necessidade de uma pesquisa em campo e como benefício para você disponibilizaremos um relatório com seus resultados individuais de desempenho técnico-tático. Quanto aos riscos, são mínimos. Porém, como qualquer prática de exercício físico a participante pode sofrer uma lesão durante a execução. Portanto, caso seja necessário atendimento médico, a participante será acompanhada pela

pesquisadora principal. Além disto, a pesquisadora principal se responsabilizará em amparar o participante até que o desconforto causado pela pesquisa cesse.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar Luíza dos Santos Banks, Rua José Evanildo Clóvis de Souza, 180, Monte Belo, Londrina-PR, celular (43) 9 9611-4413, email: luiza.ban@hotmail.com ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: [cep268@uel.br](mailto:cep268@uel.br).

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Londrina, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 202\_\_.

### **Pesquisador Responsável**

\_\_\_\_\_ (NOME POR EXTENSO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B – Termo de confidencialidade e sigilo

Eu, **Luíza dos Santos Banks, brasileira, solteira, estudante**, inscrito(a) no CPF/MF sob o nº **076.641.829-48**, abaixo firmado, assumo o compromisso de manter confidencialidade e sigilo sobre todas as informações técnicas e outras relacionadas ao projeto de pesquisa intitulado “**Análise da coordenação interpessoal de taekwondistas em competições oficiais de diferentes categorias por meio do rastreamento automático**”, a que tiver acesso nas dependências do “**departamento de ciências do esporte**” da “**Universidade Estadual de Londrina**”.

Por este termo de confidencialidade e sigilo comprometo-me a:

1. não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio exclusivo e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para o uso de terceiros;
2. não efetuar nenhuma gravação ou cópia da documentação confidencial a que tiver acesso;
3. não me apropriar de material confidencial e/ou sigiloso que venha a ser disponível;
4. não repassar o conhecimento das informações confidenciais, responsabilizando-me por todas as pessoas que vierem a ter acesso às informações, por meu intermédio, e obrigando-me, assim, a ressarcir a ocorrência de qualquer dano e/ou prejuízo oriundo de uma eventual quebra de sigilo das informações fornecidas.

Neste Termo, as seguintes expressões serão assim definidas:

Informação Confidencial significará toda informação revelada ou cedida pelo participante da pesquisa, a respeito da pesquisa, ou associada à Avaliação de seus dados, sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios. Avaliação significará todas e quaisquer discussões, conversações ou negociações entre, ou com as partes, de alguma forma relacionada ou associada com o desenvolvimento da pesquisa.

Informação Confidencial inclui, mas não se limita, à dados pessoais, informação relativa à operações, processos, planos ou intenções, informações sobre produção, instalações, equipamentos, segredos de negócio, segredo de fábrica, dados, habilidades especializadas, projetos, métodos e metodologia, fluxogramas, especializações, componentes, fórmulas, produtos, amostras, diagramas, desenhos de esquema industrial, patentes, oportunidades de mercado e questões relativas a negócios.

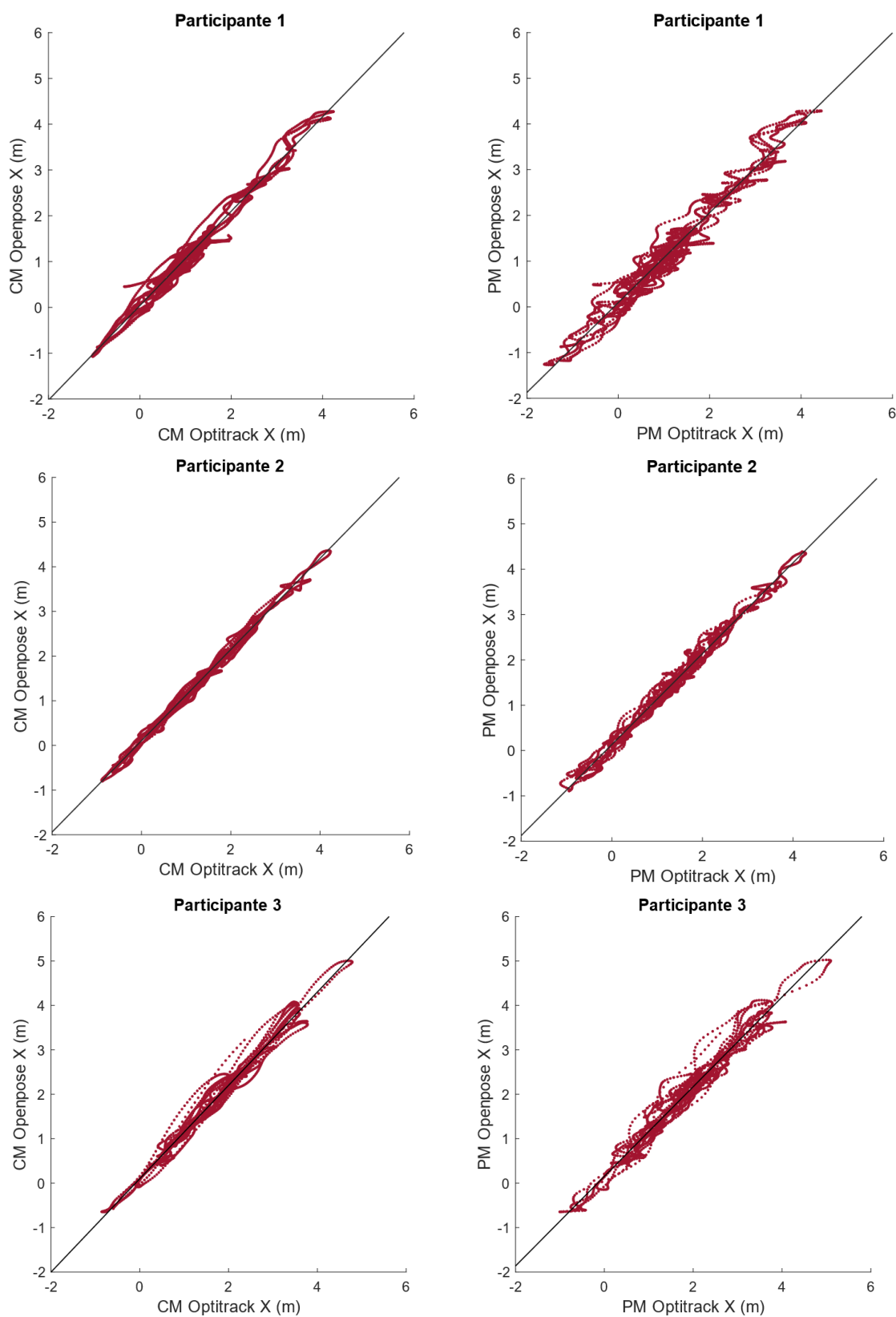
Pelo não cumprimento do presente Termo de Confidencialidade e Sigilo, fica o abaixo assinado ciente de que sanções judiciais poderão advir.

Londrina, 10/08/2021.

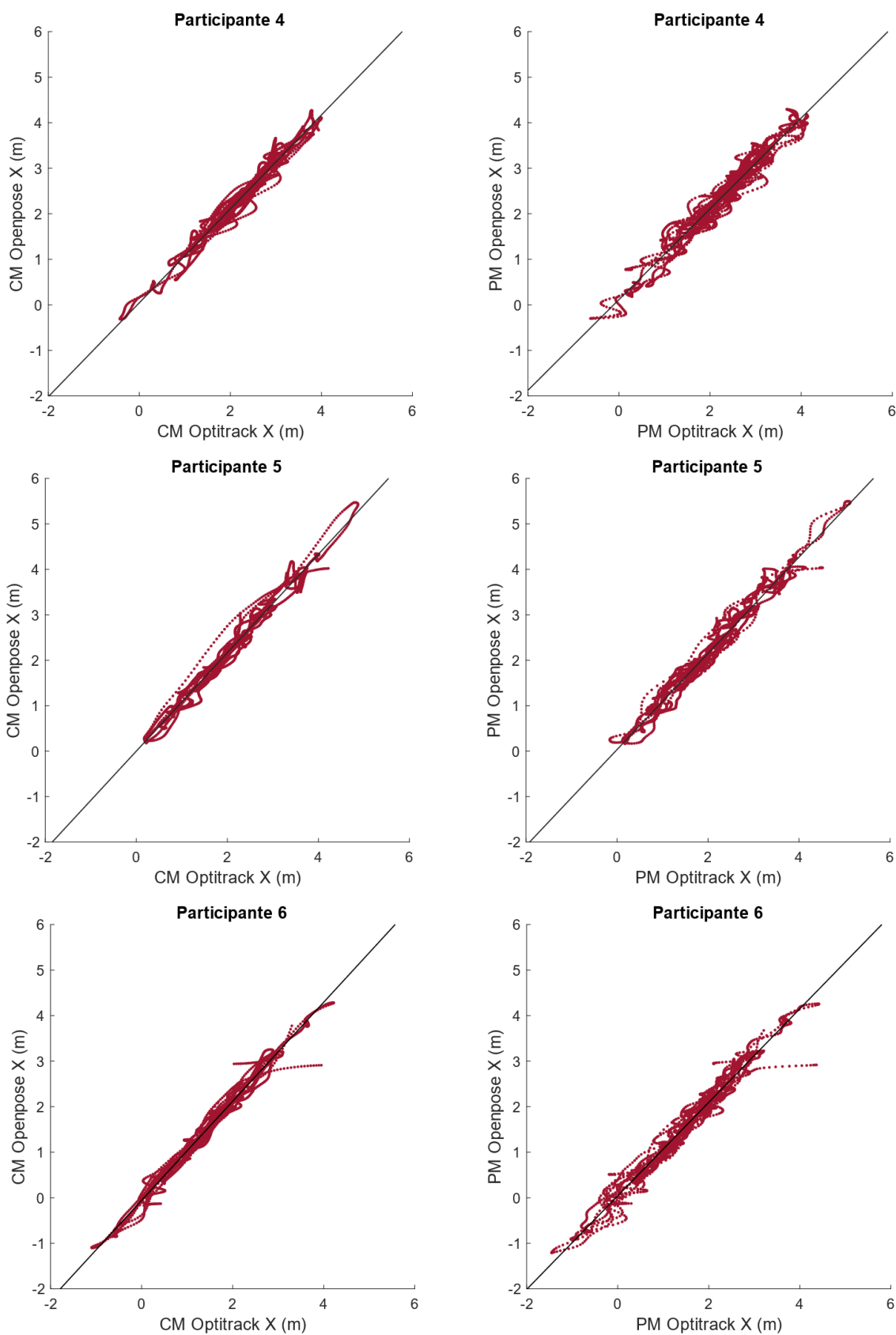
Ass. \_\_\_\_\_

**Luíza dos Santos Banks**

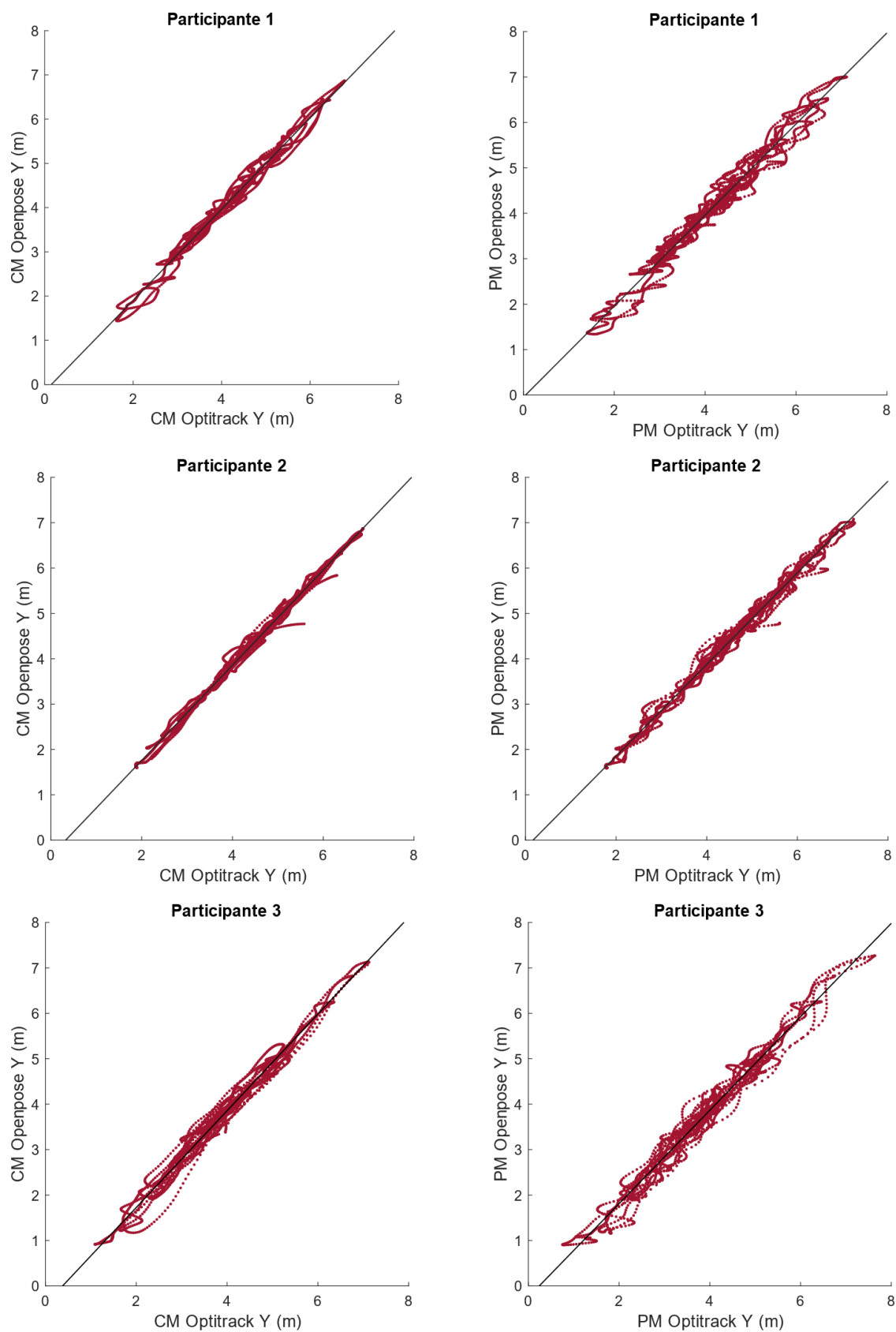
APÊNDICE C – Regressão Linear das coordenadas bidimensionais x e y nas condições sem e com adversário



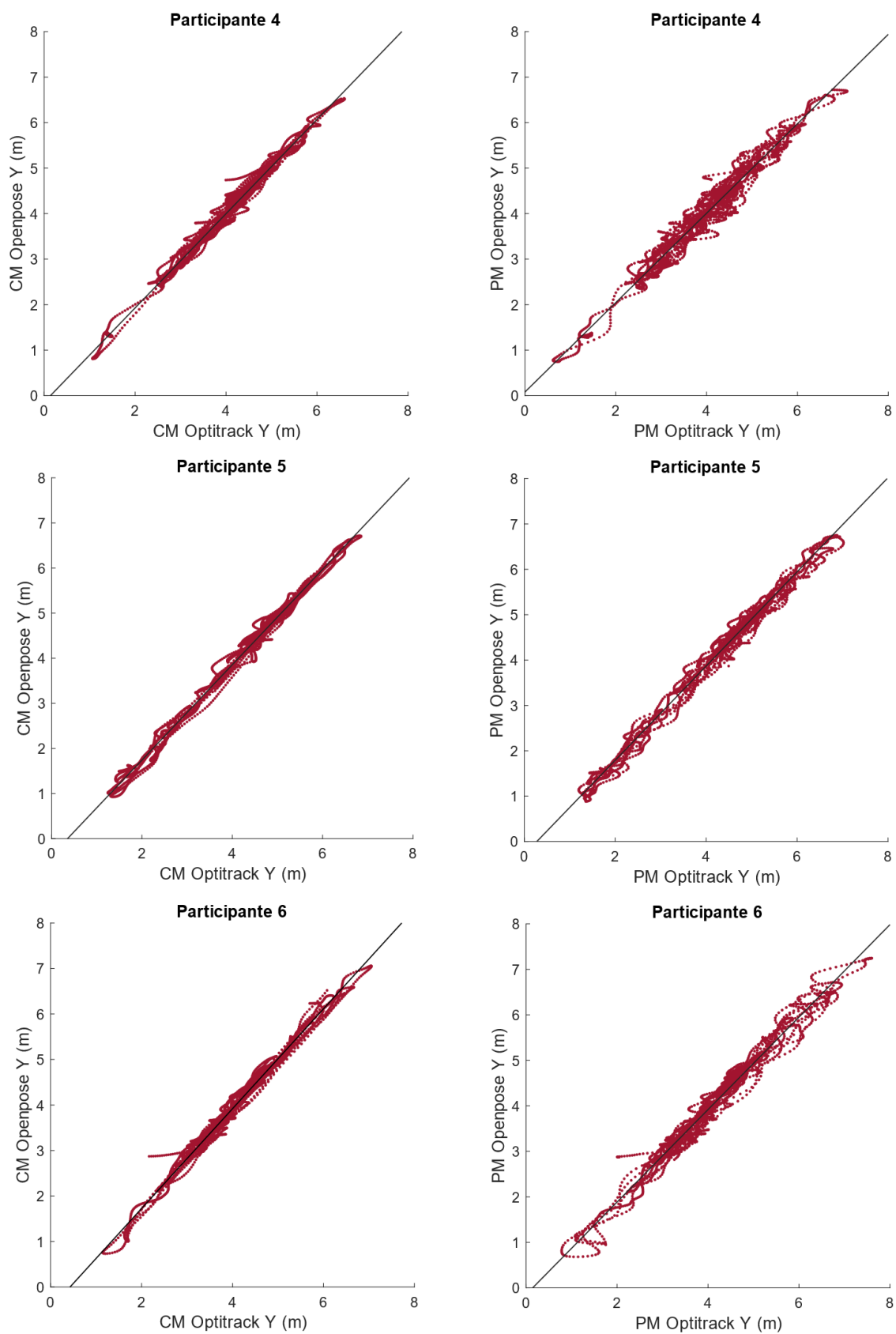
**Figura 15** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário.



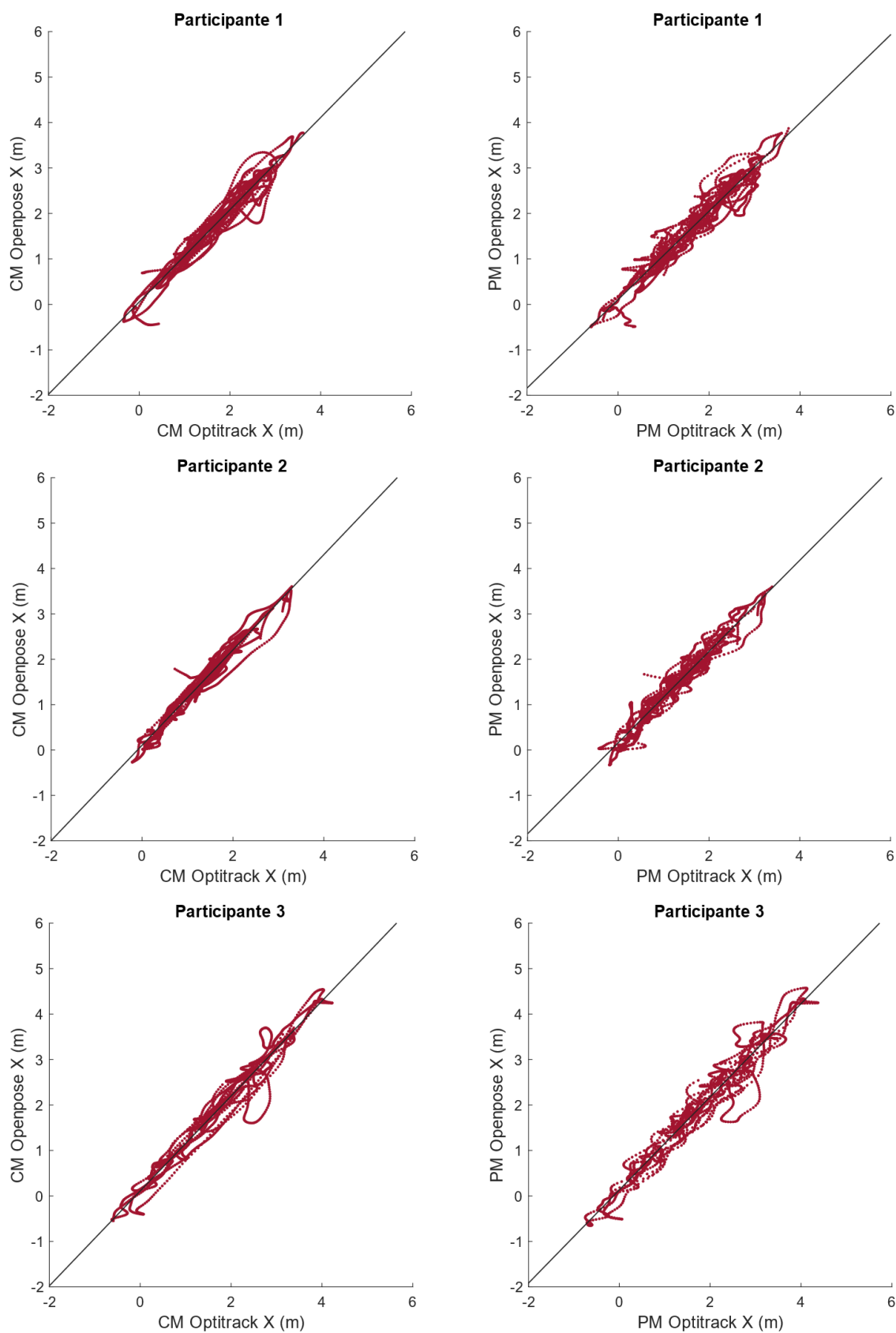
**Figura 15** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário. Continuação.



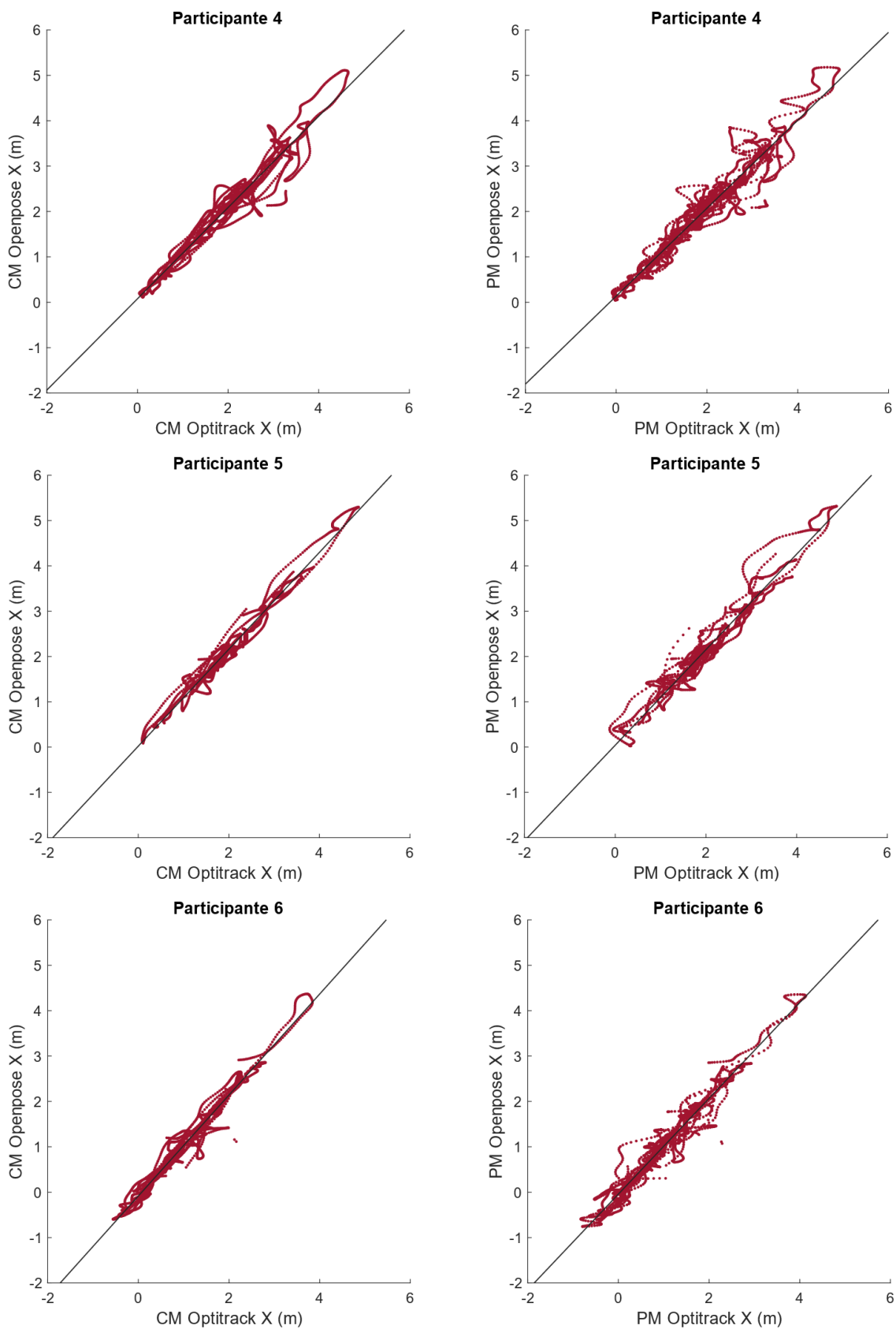
**Figura 16** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário.



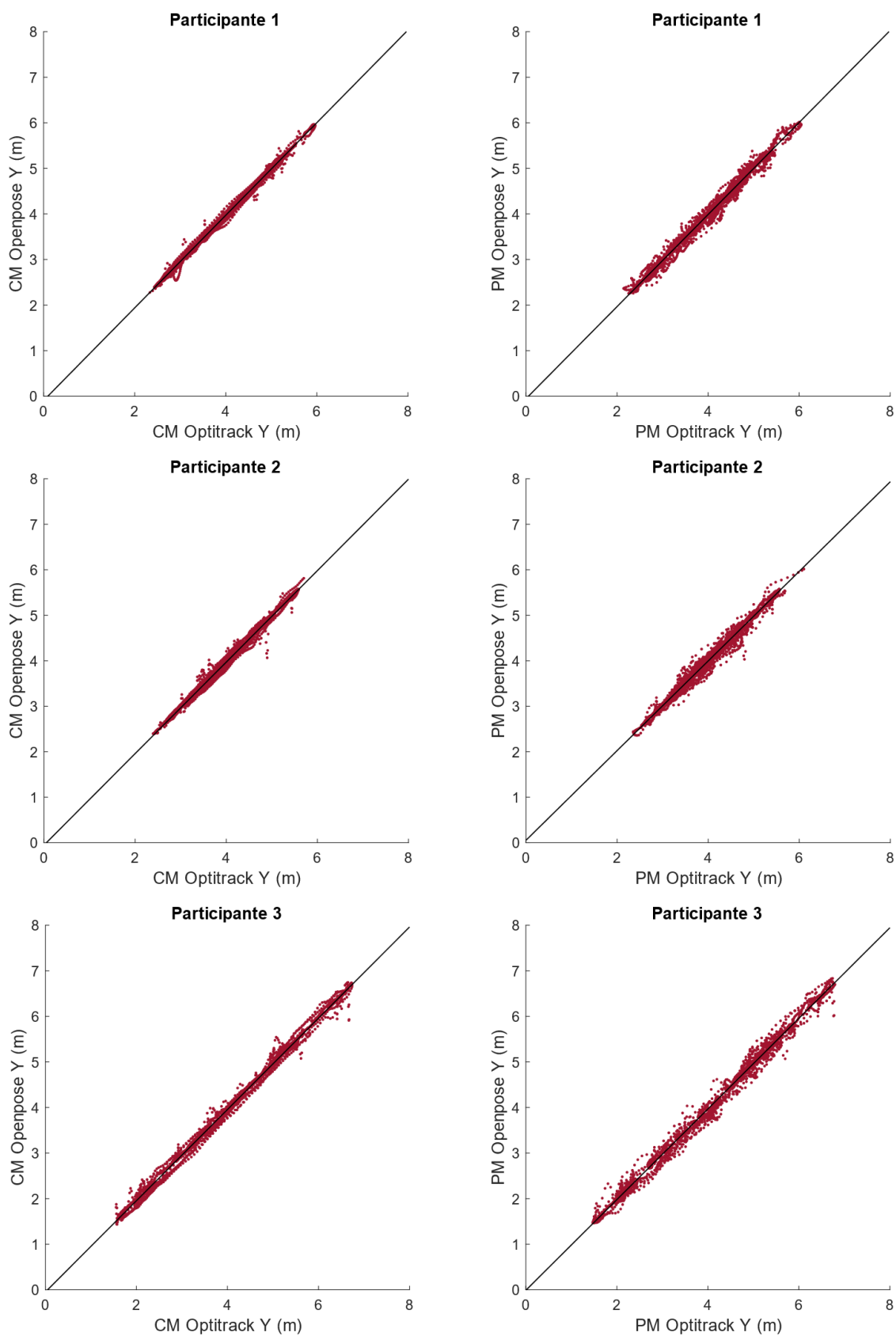
**Figura 16** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário. Continuação.



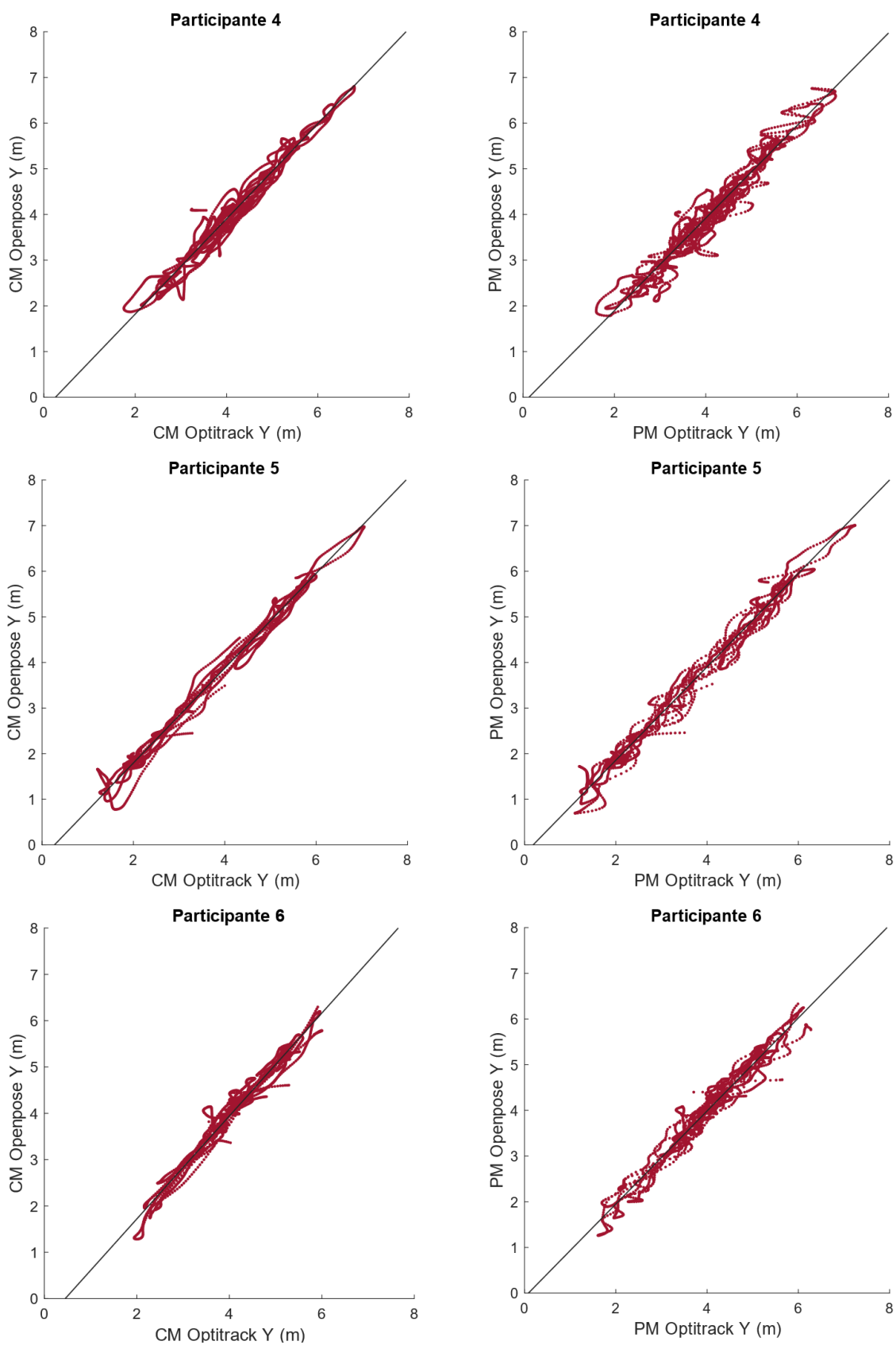
**Figura 17** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário.



**Figura 17** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário. Continuação.

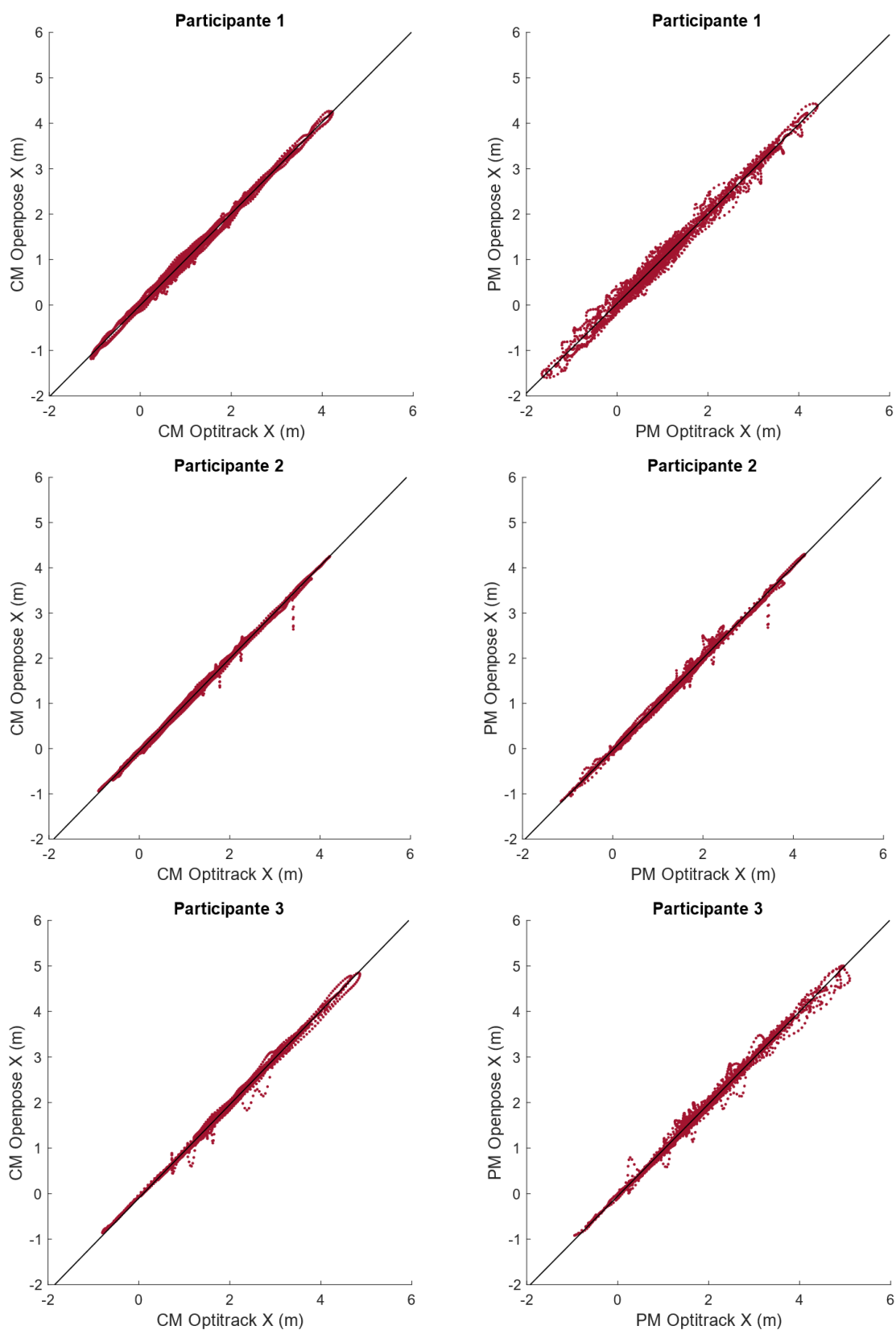


**Figura 18** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário.

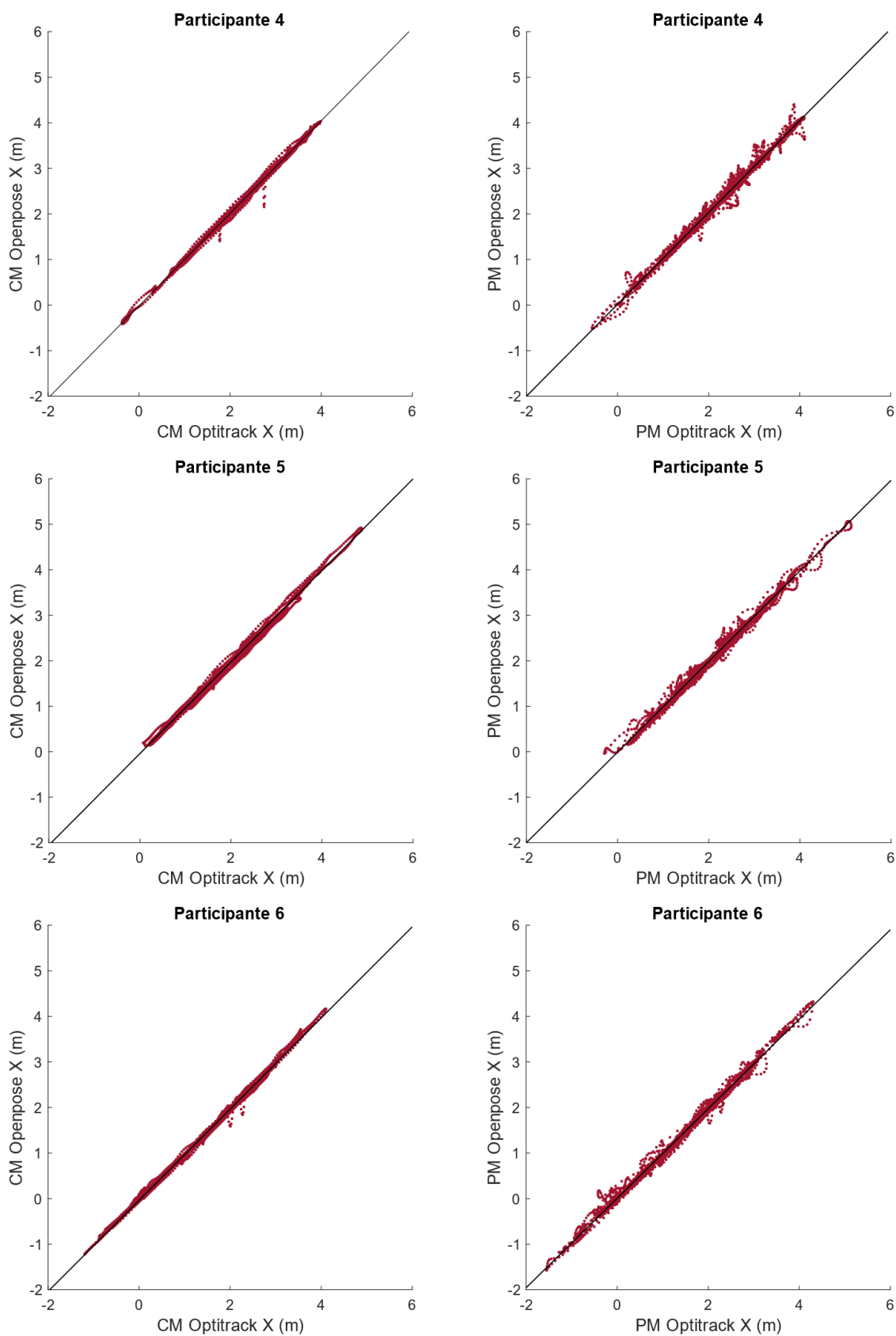


**Figura 18** - Regressão Linear da análise bidimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário. Continuação.

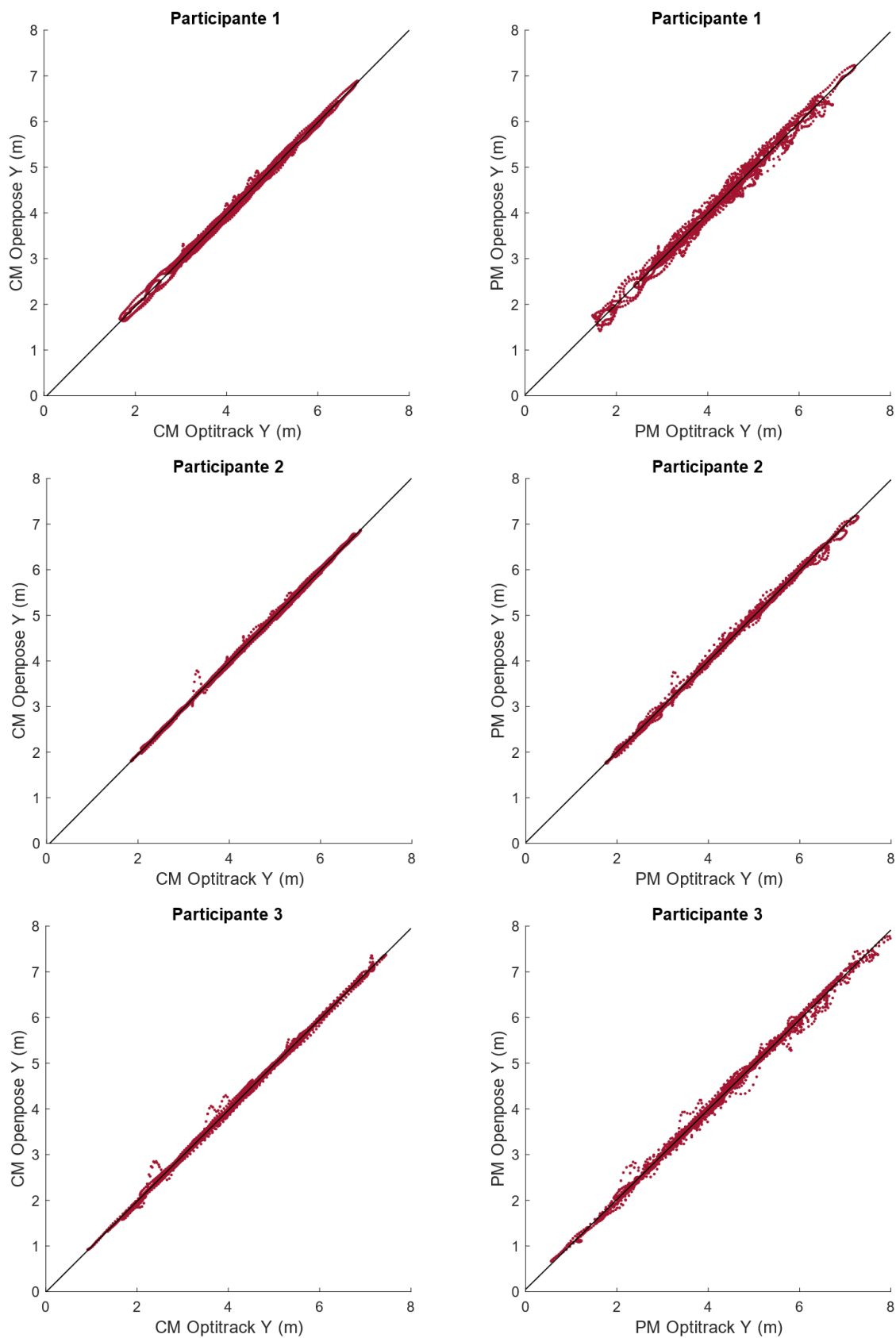
APÊNDICE D – Regressão Linear das coordenadas tridimensionais x e y nas condições sem e com adversário



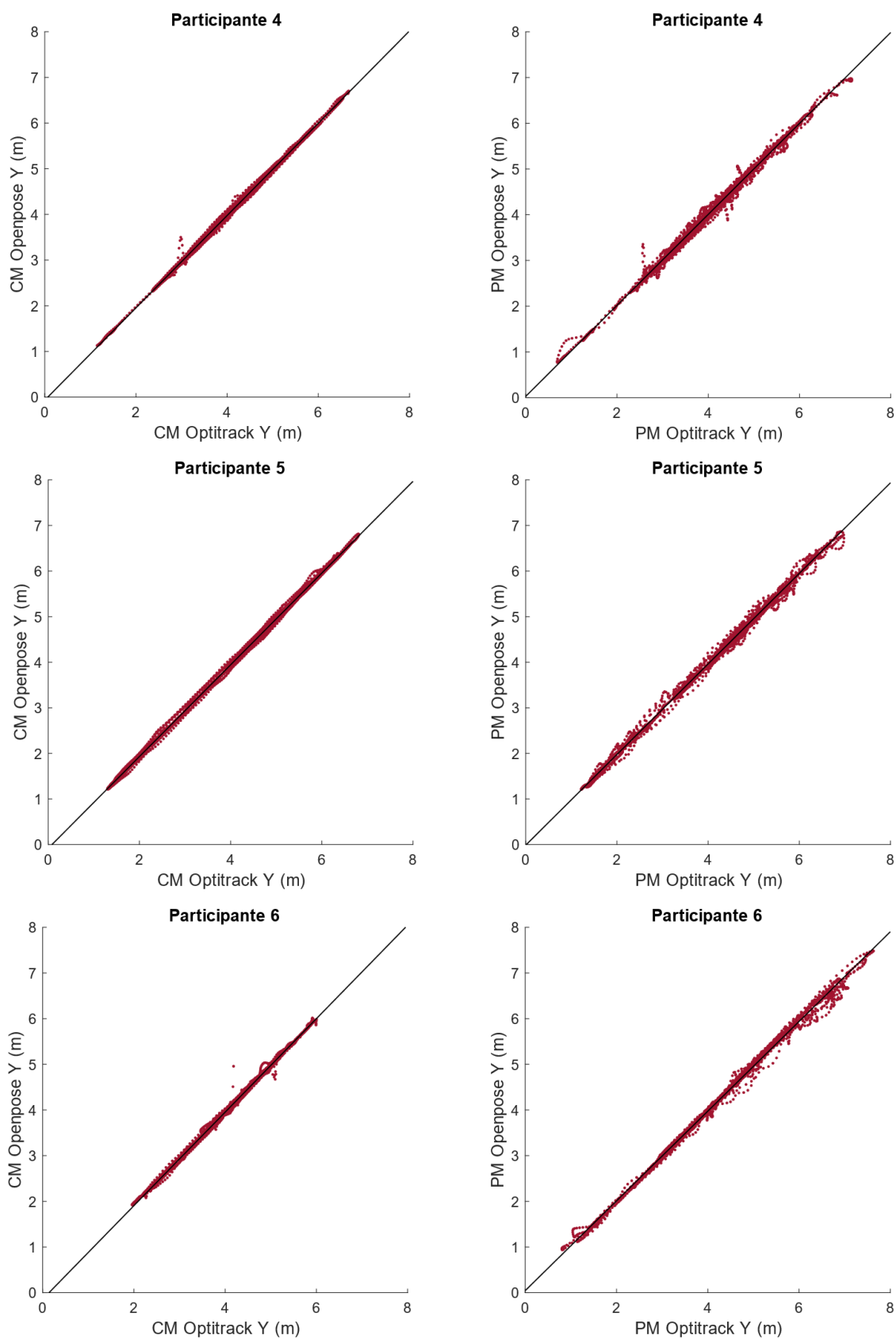
**Figura 19** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário.



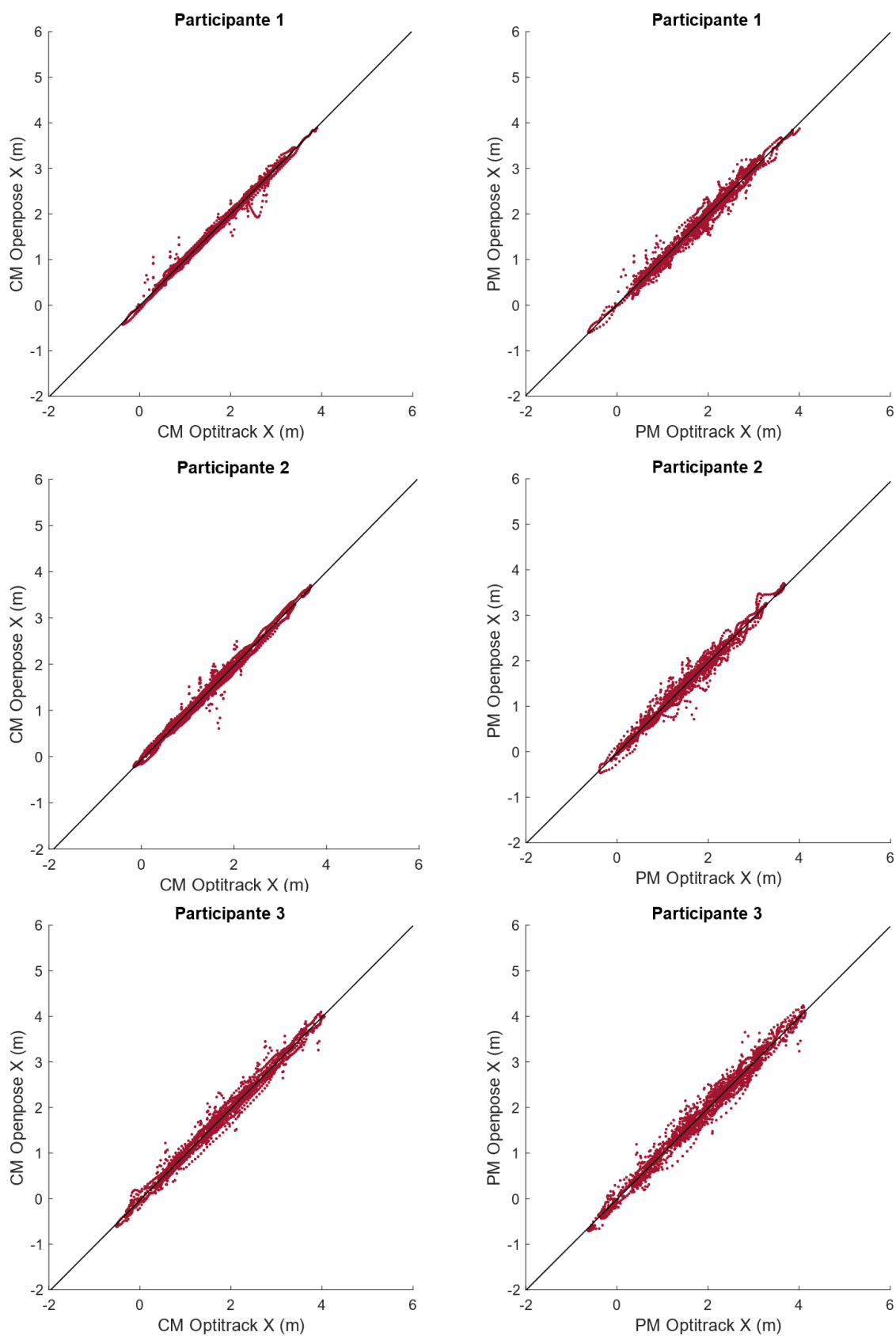
**Figura 19** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição sem adversário. Continuação.



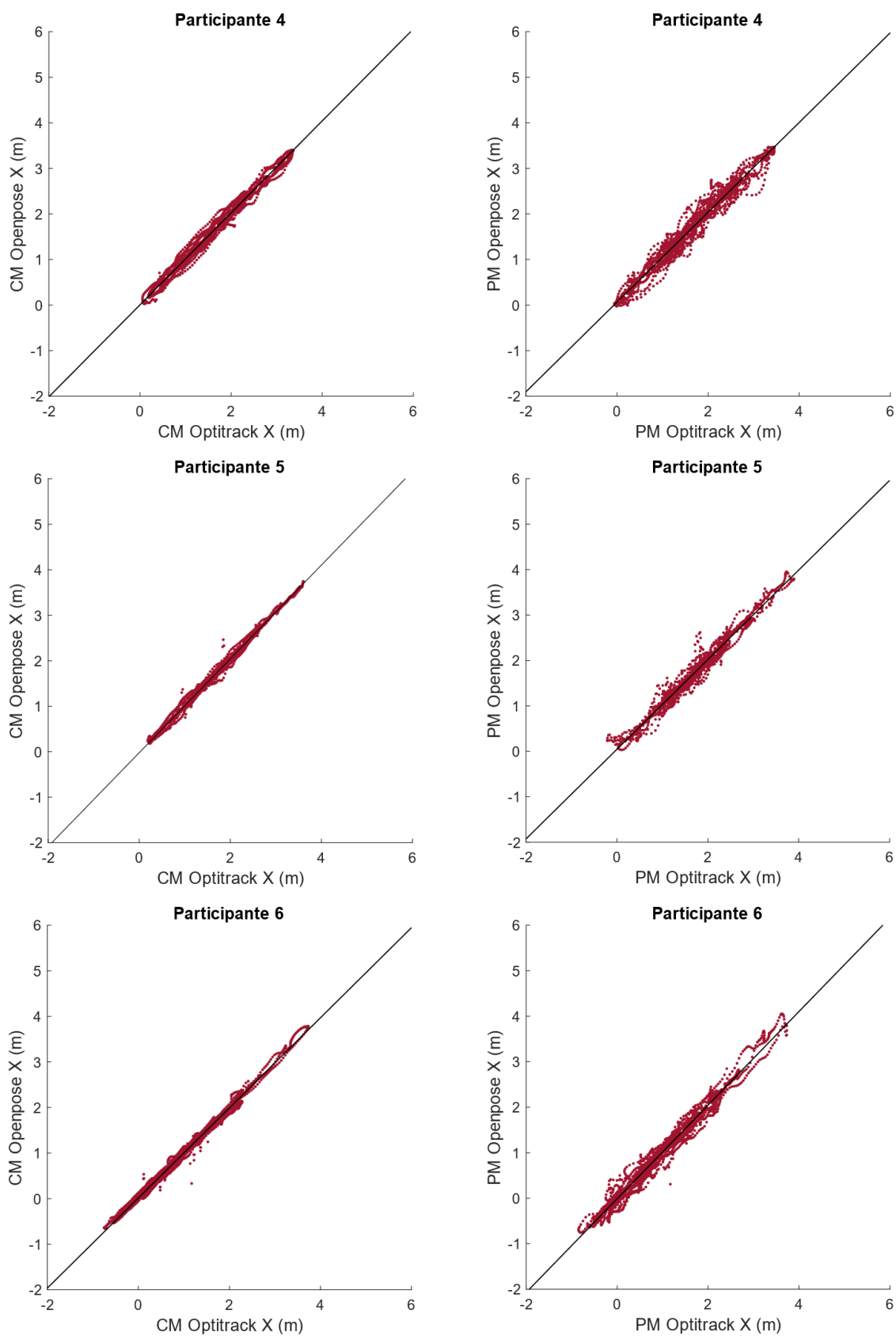
**Figura 20** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário.



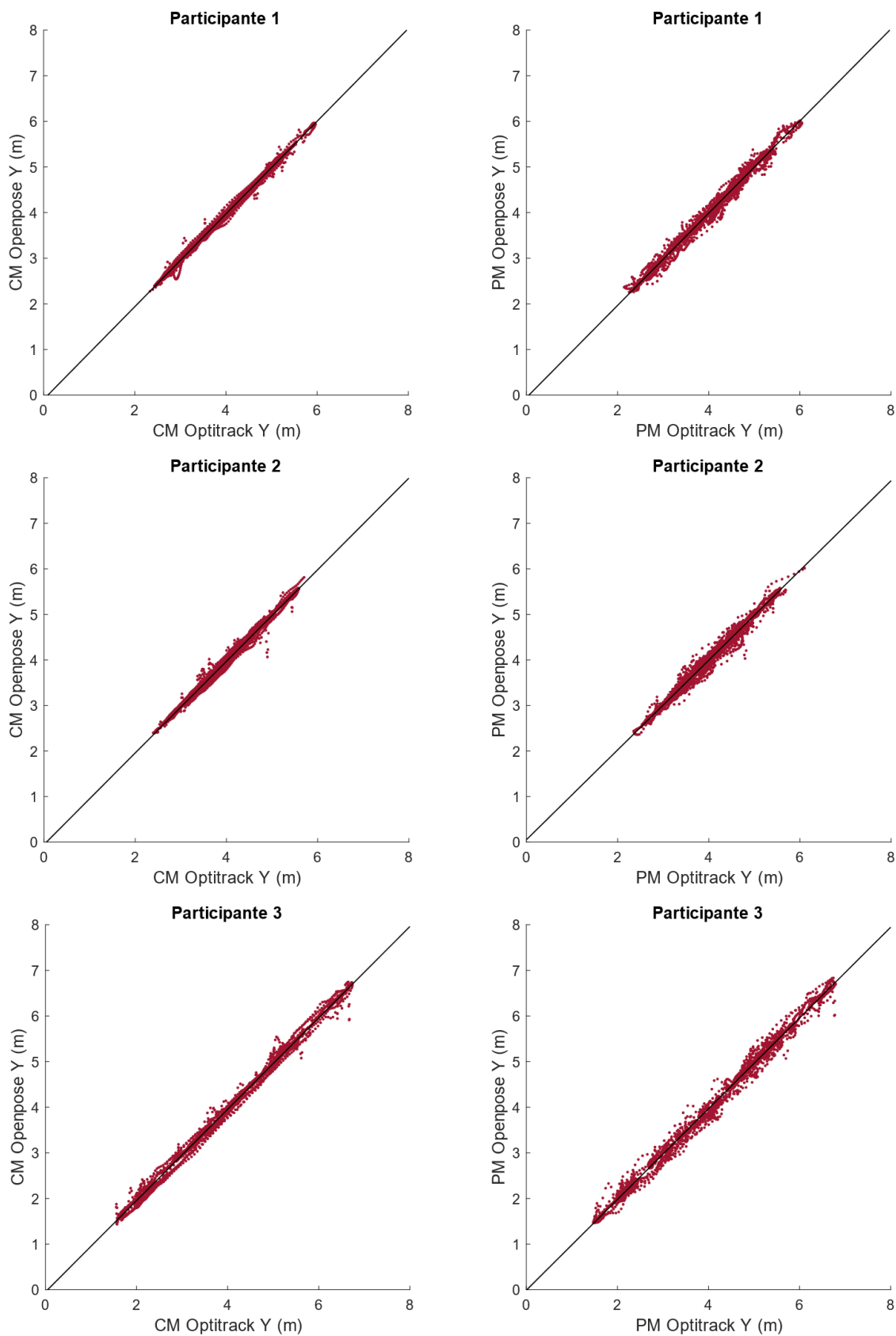
**Figura 20** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição sem adversário. Continuação.



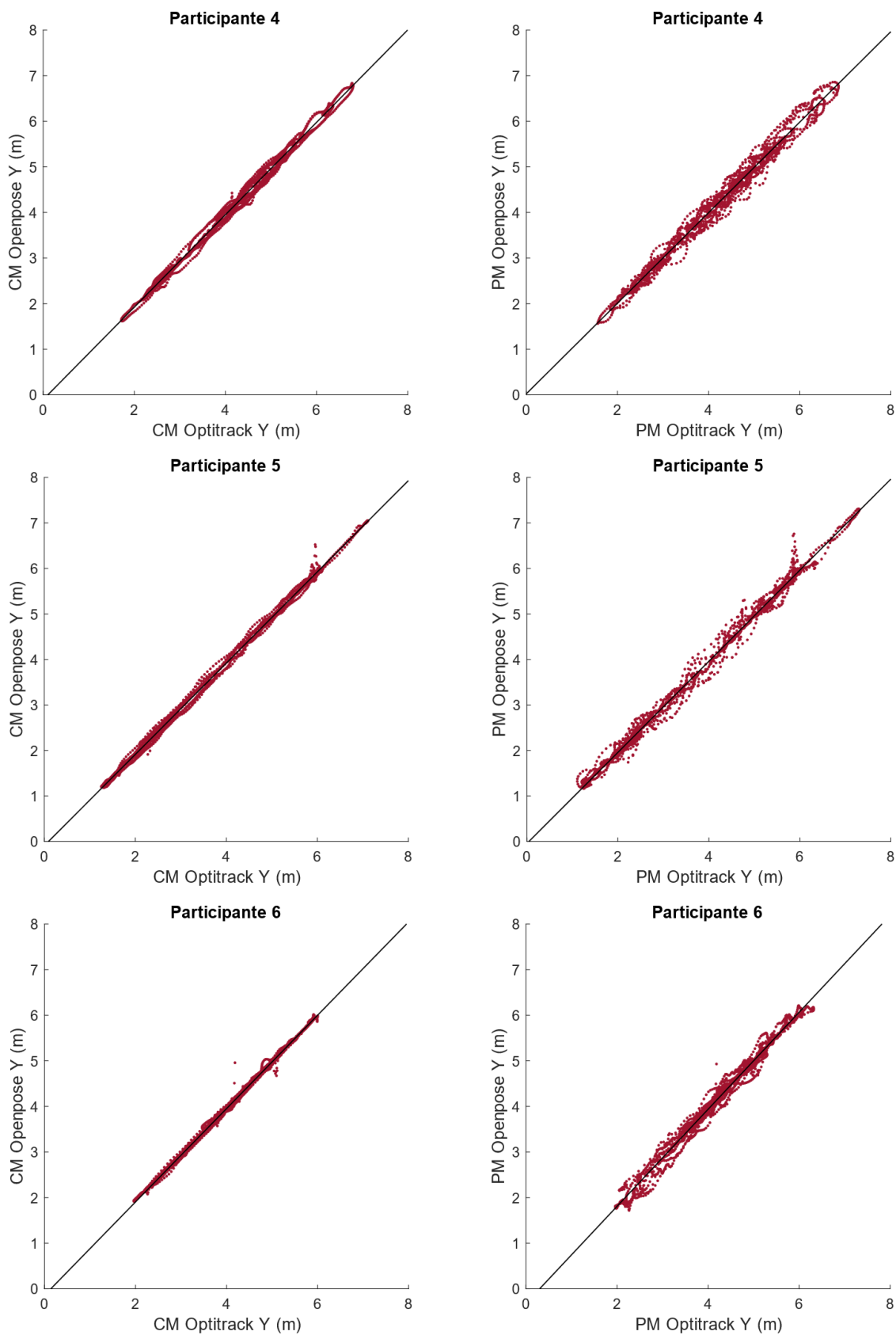
**Figura 21** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário.



**Figura 21** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada x na condição com adversário. Continuação.

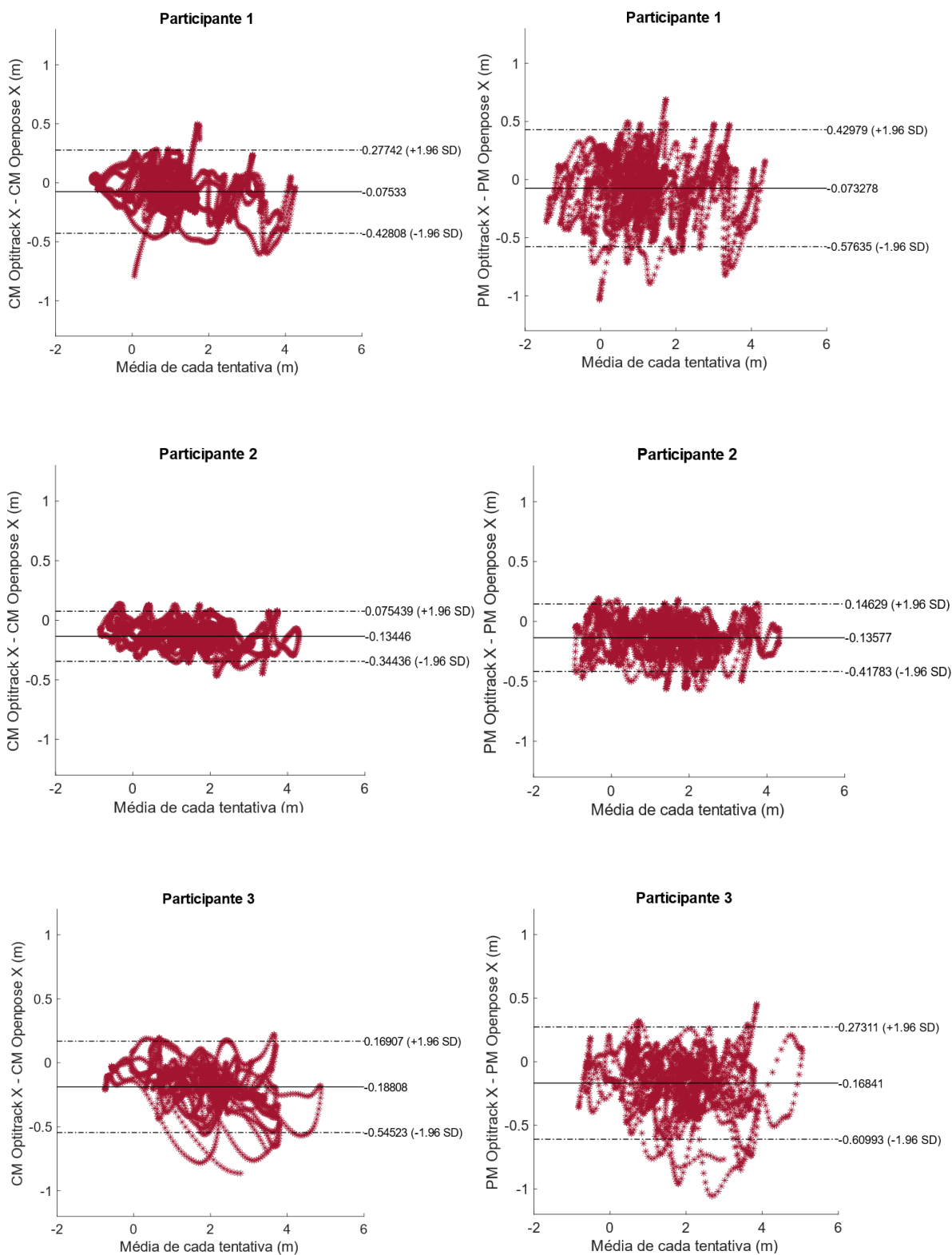


**Figura 22** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário.

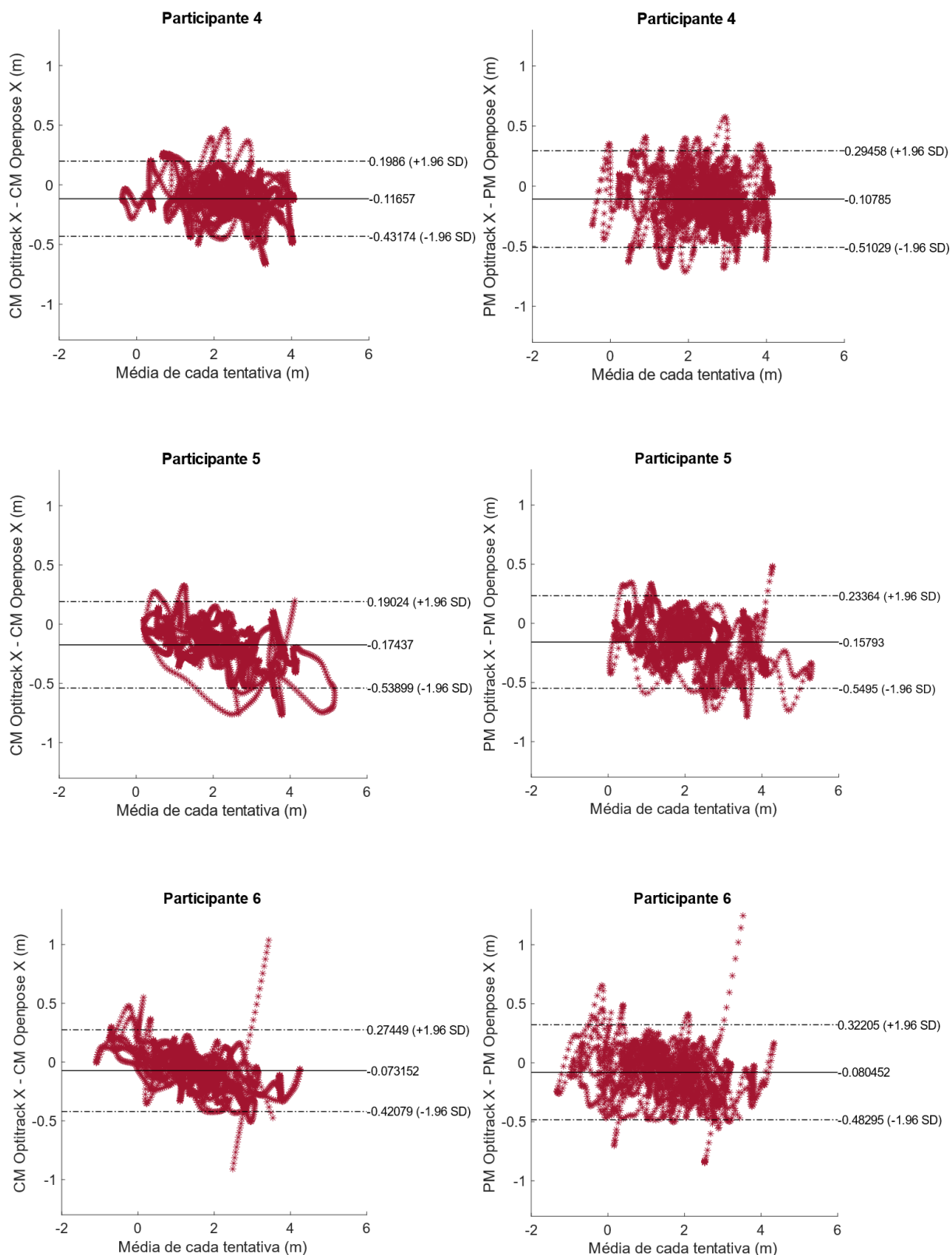


**Figura 22** - Regressão Linear da análise tridimensional de cada participante da coordenada y na condição com adversário. Continuação.

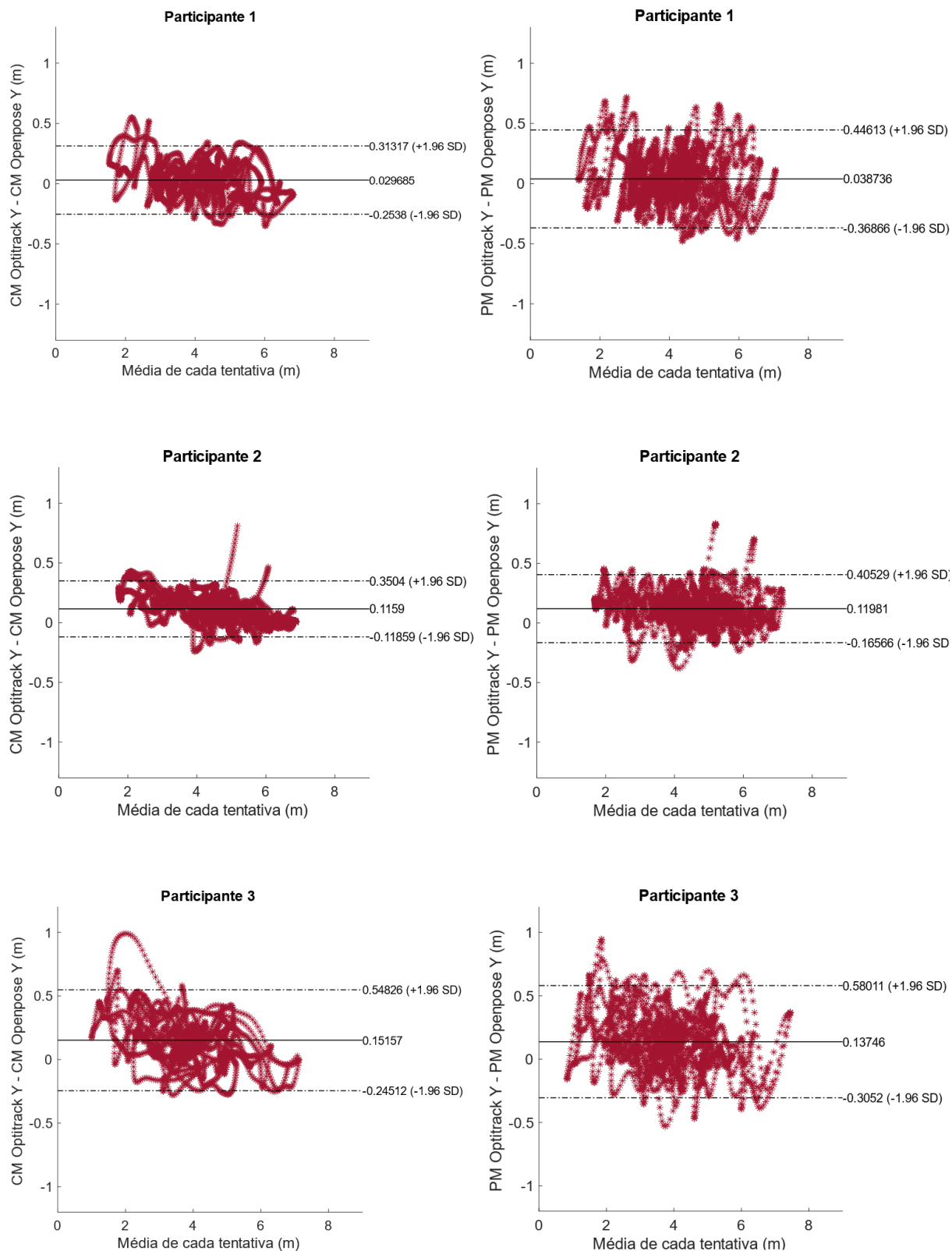
APÊNDICE E – *Bland e Altman* das coordenadas bidimensionais x e y nas condições sem e com adversário



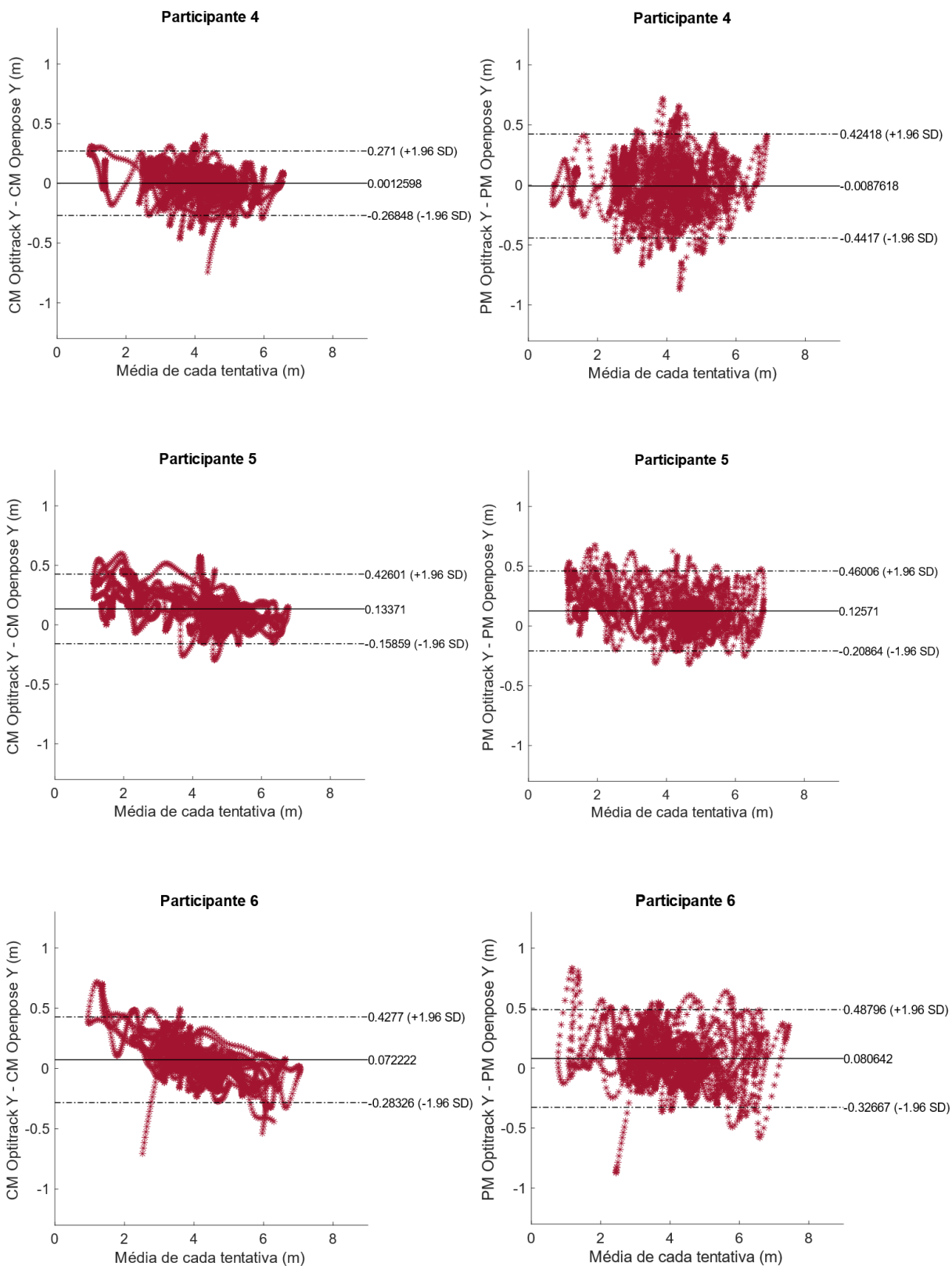
**Figura 23** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição sem adversário.



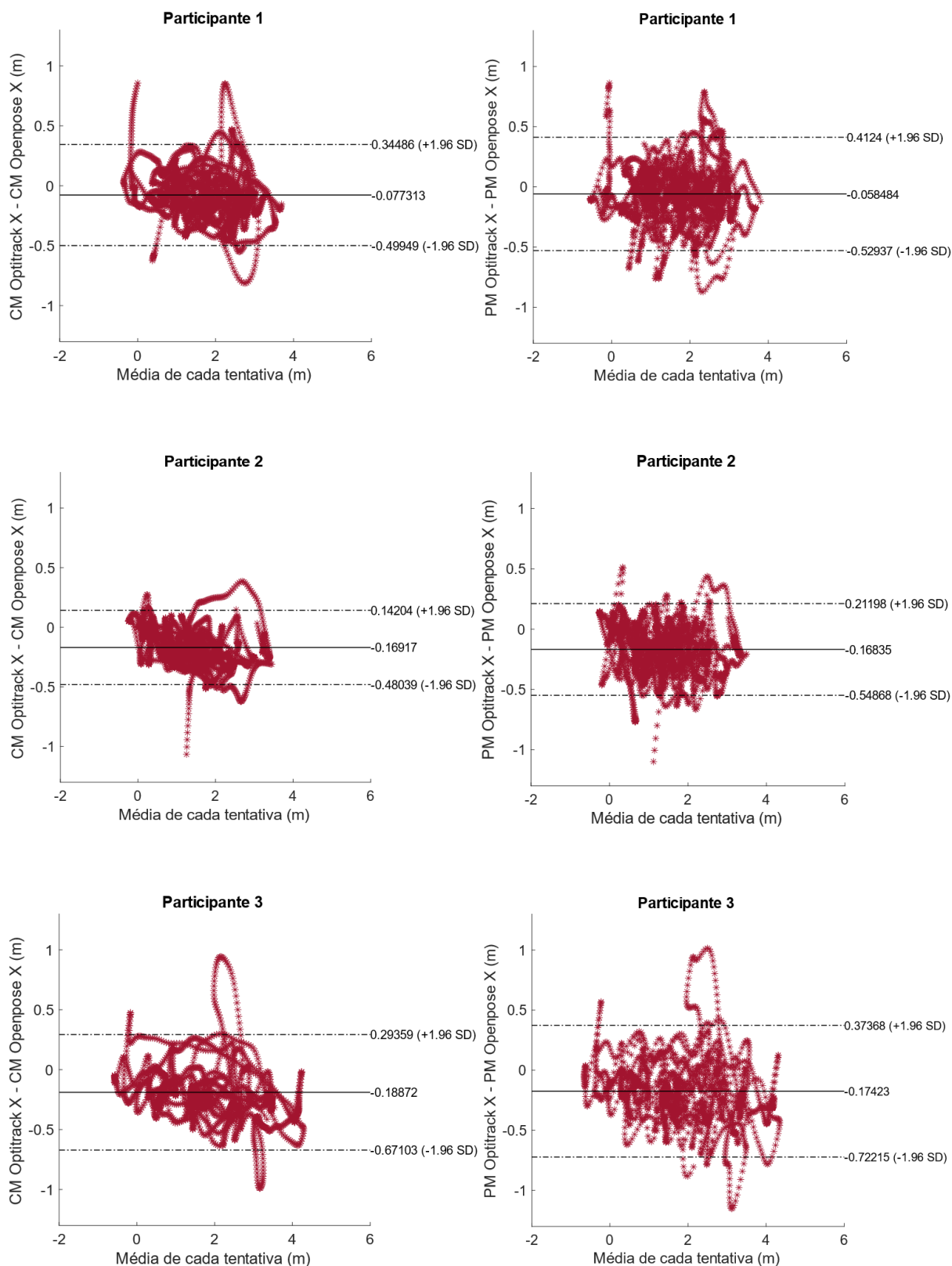
**Figura 23** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição sem adversário. Continuação.



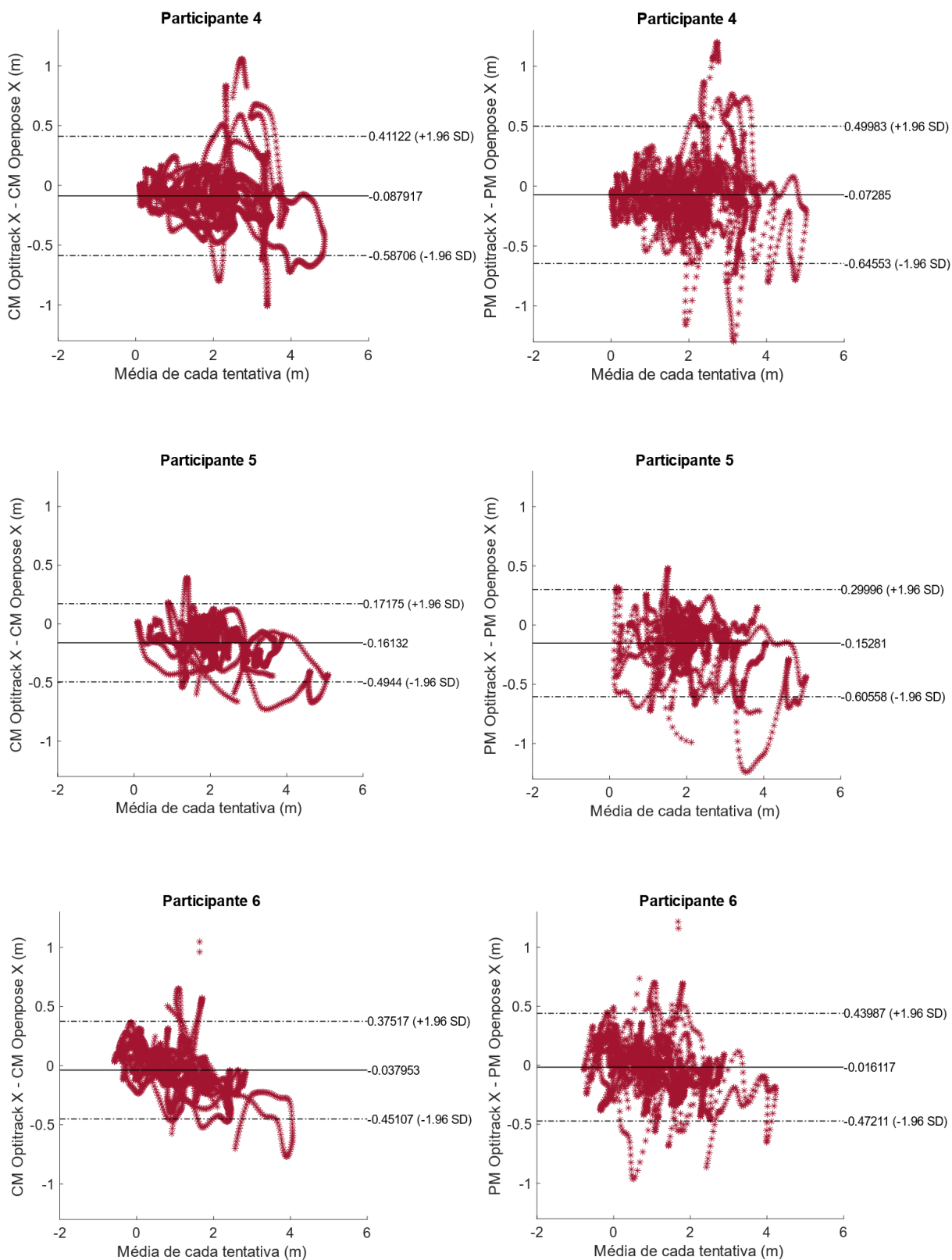
**Figura 24** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição sem adversário.



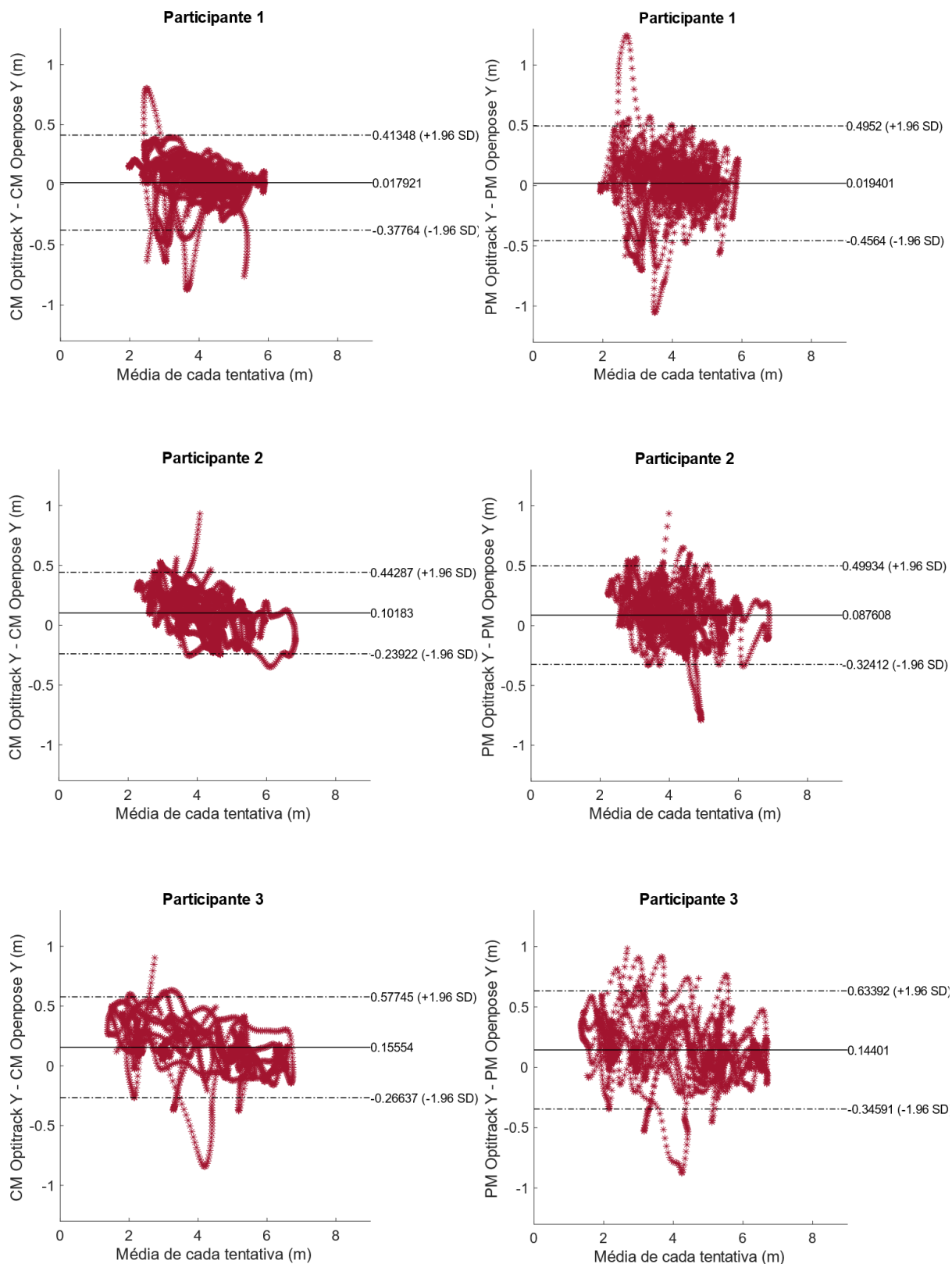
**Figura 24** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição sem adversário. Continuação.



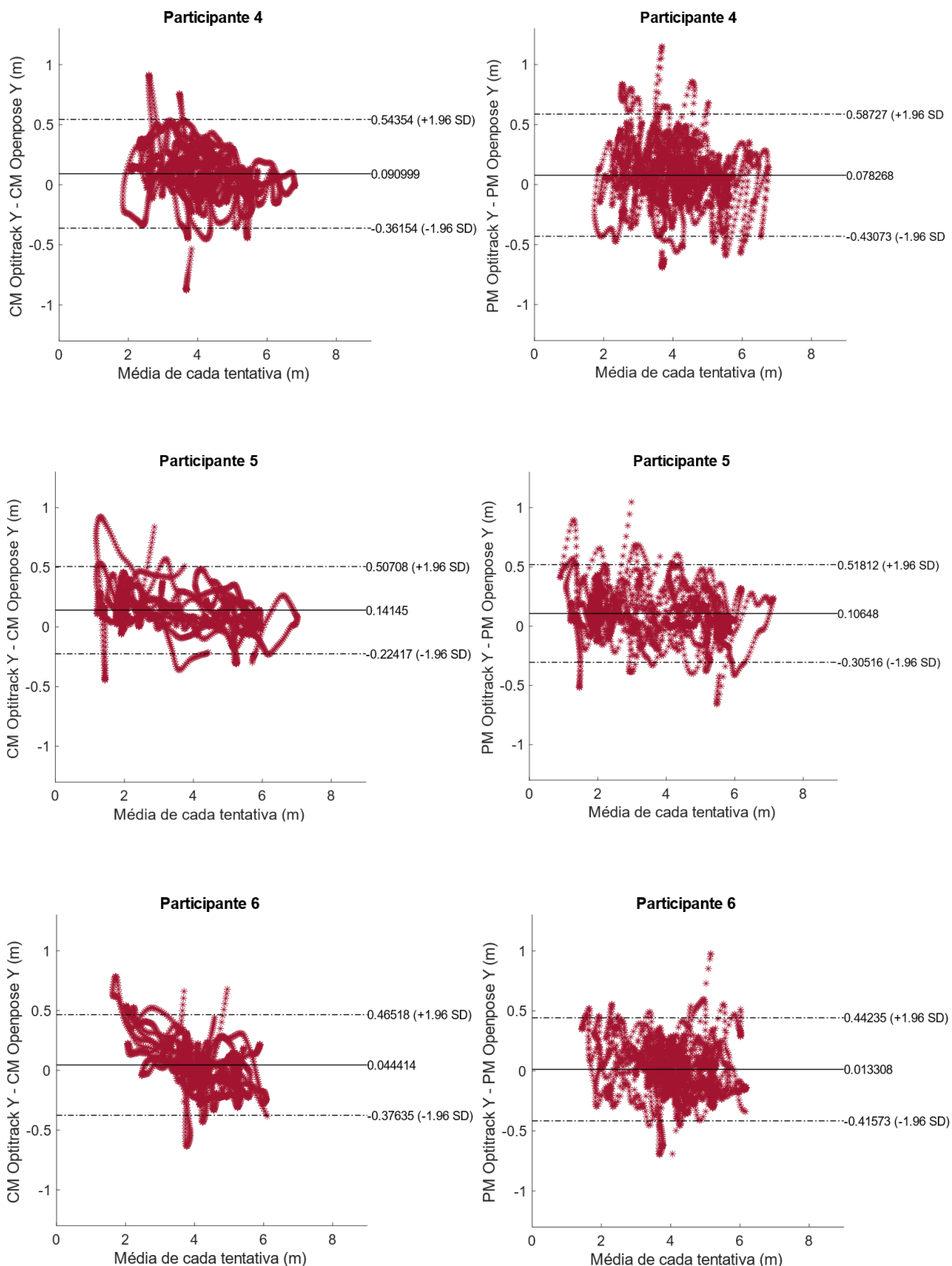
**Figura 25** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição com adversário.



**Figura 25** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional x na condição com adversário. Continuação.

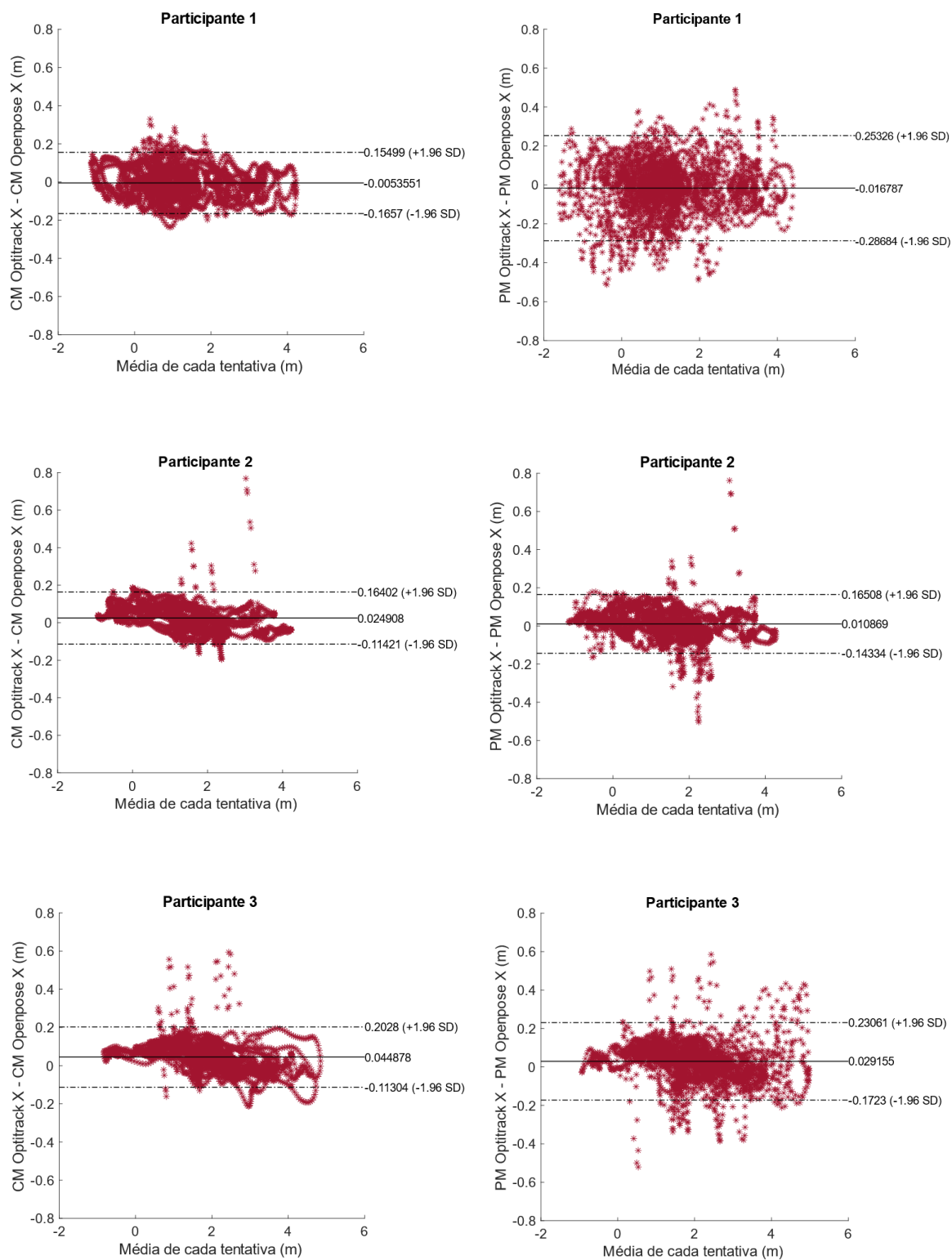


**Figura 26** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição com adversário.

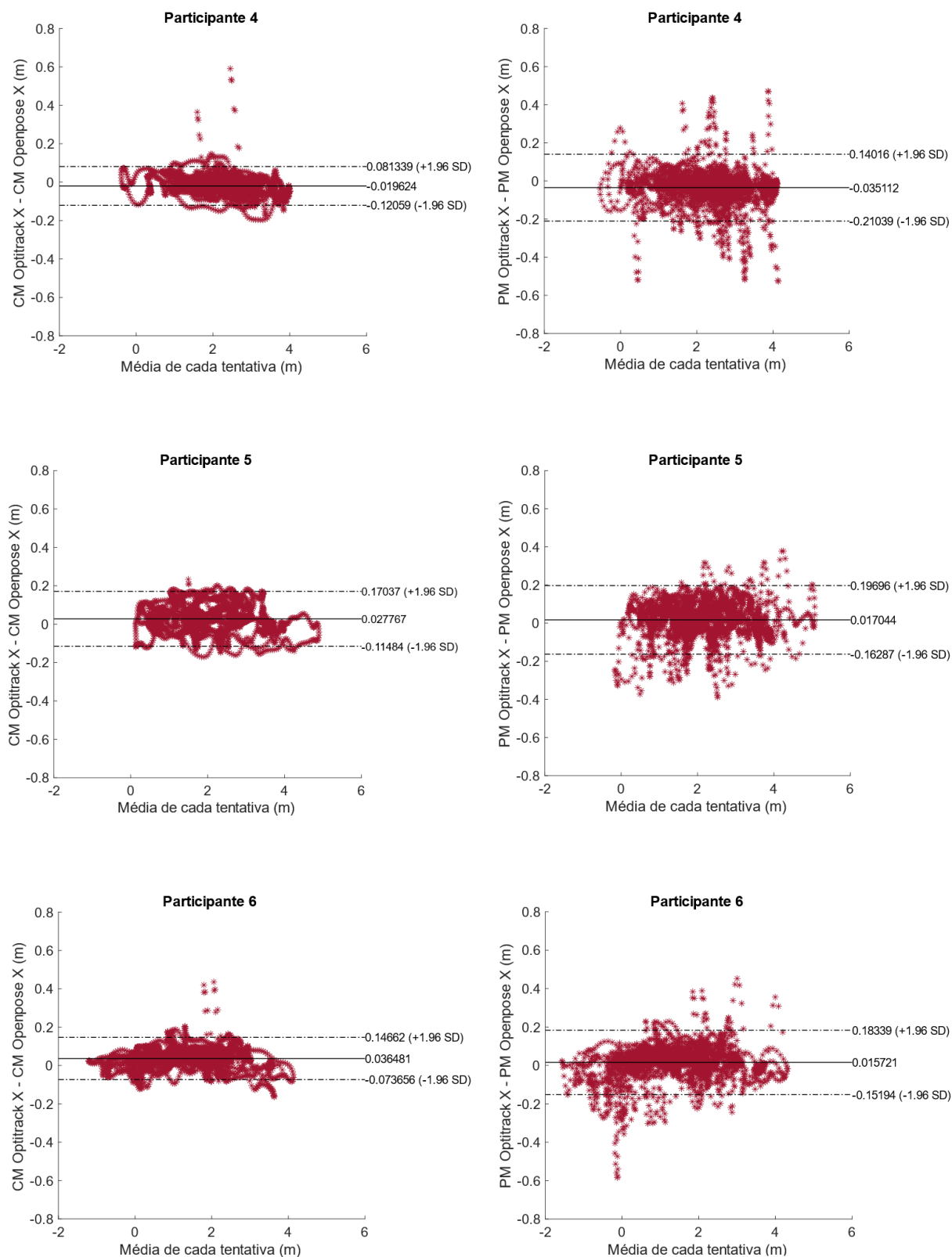


**Figura 26** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada bidimensional y na condição com adversário. Continuação.

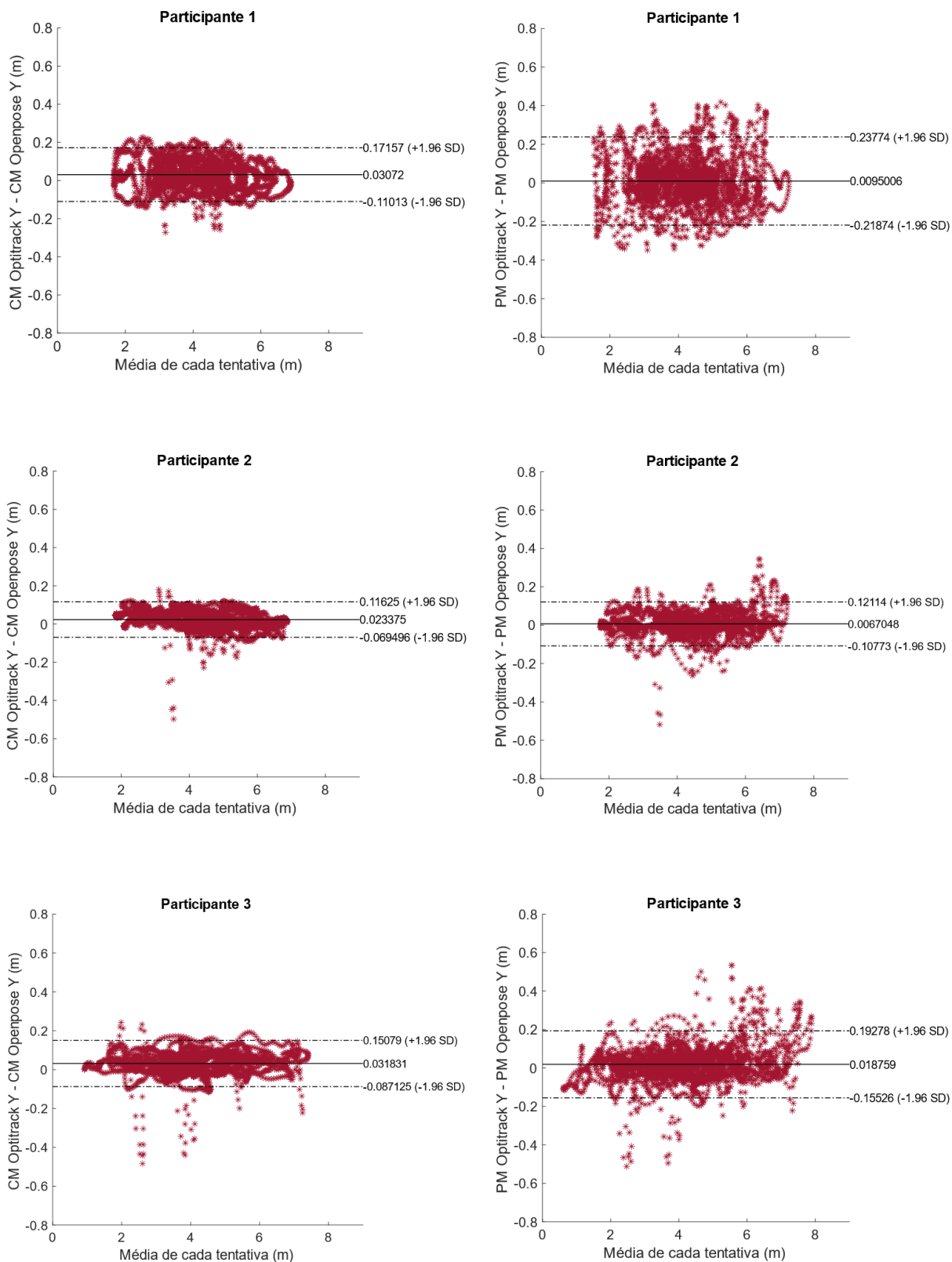
APÊNDICE F – *Bland e Altman* das coordenadas tridimensionais x e y nas condições sem e com adversário



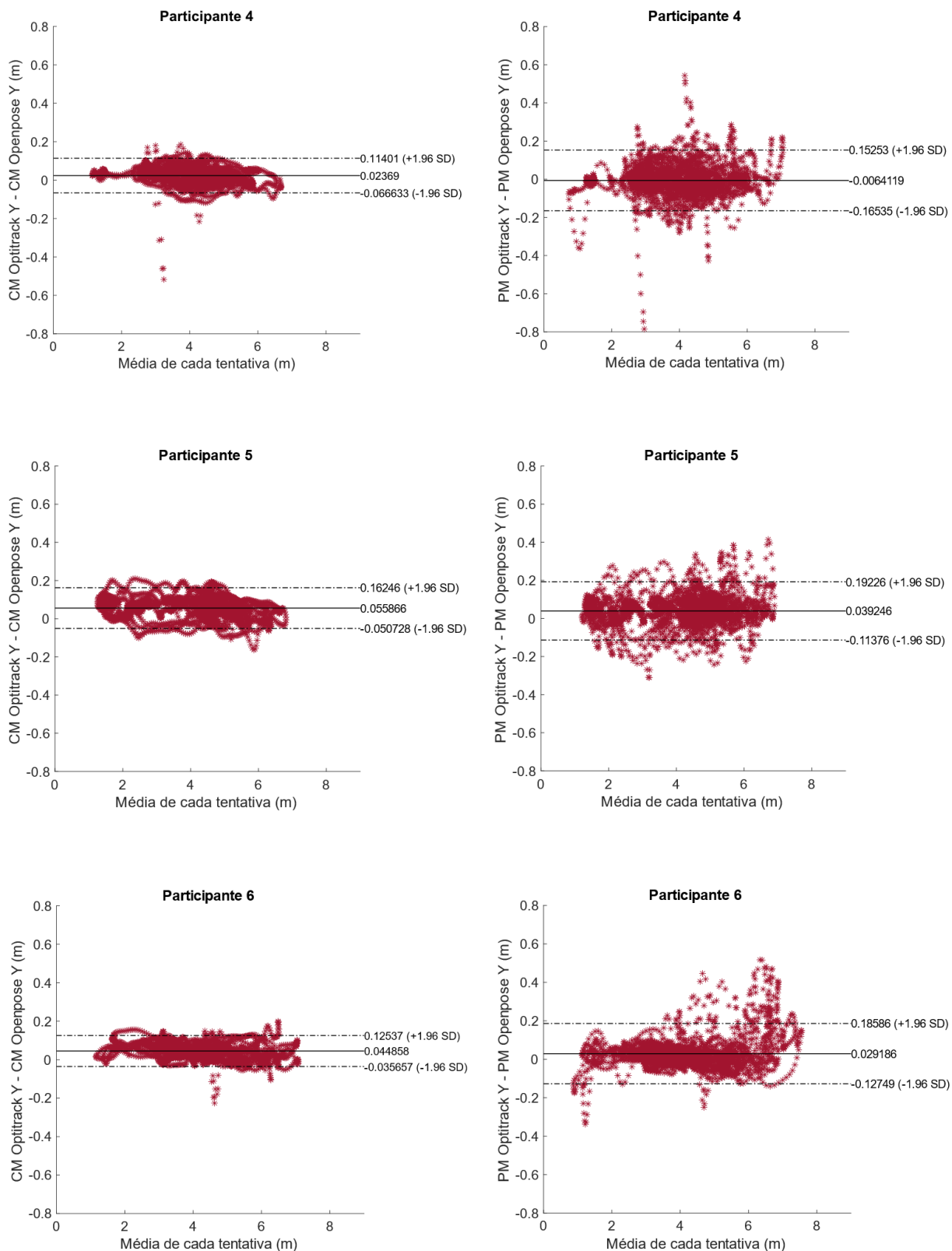
**Figura 27** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição sem adversário.



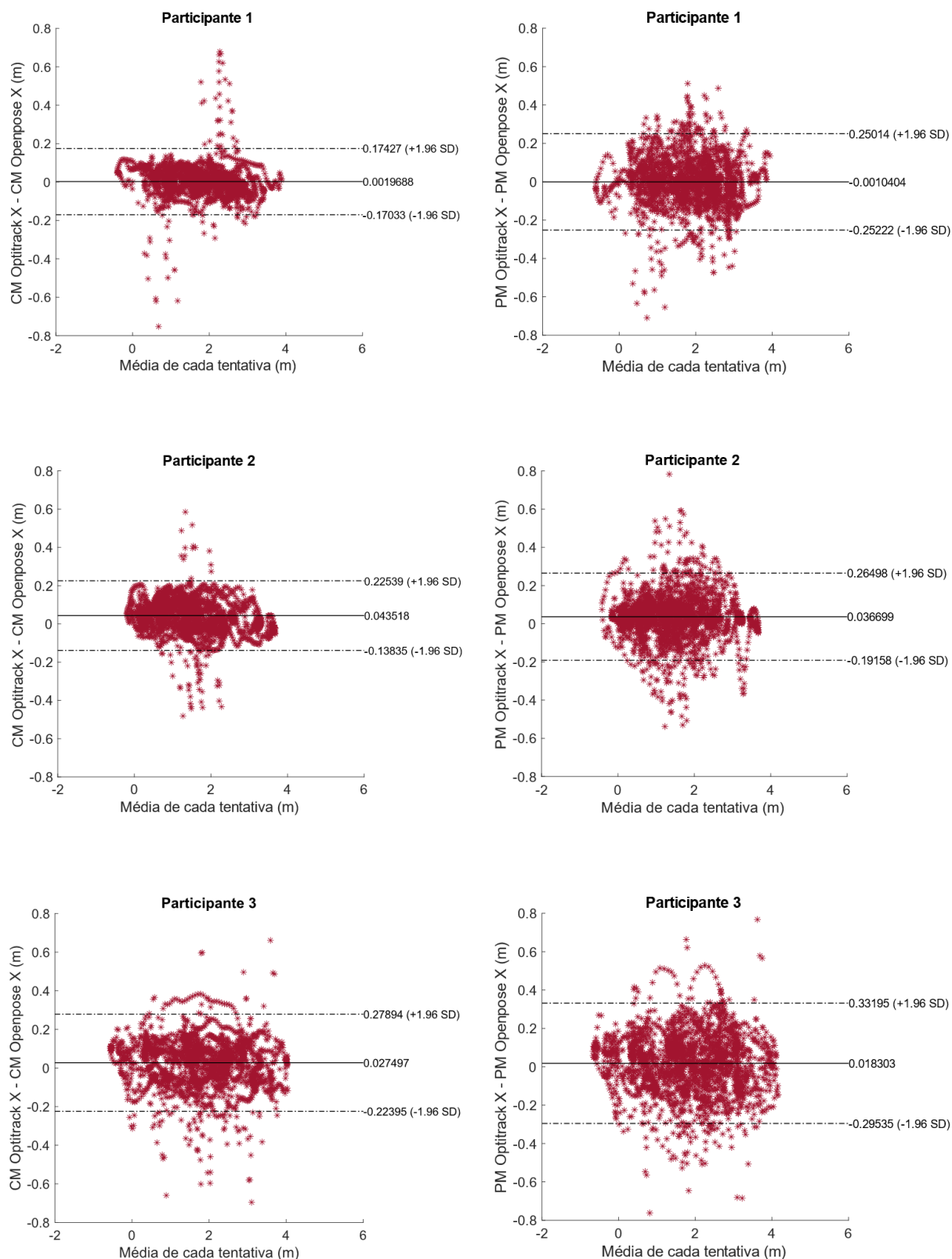
**Figura 27** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição sem adversário. Continuação.



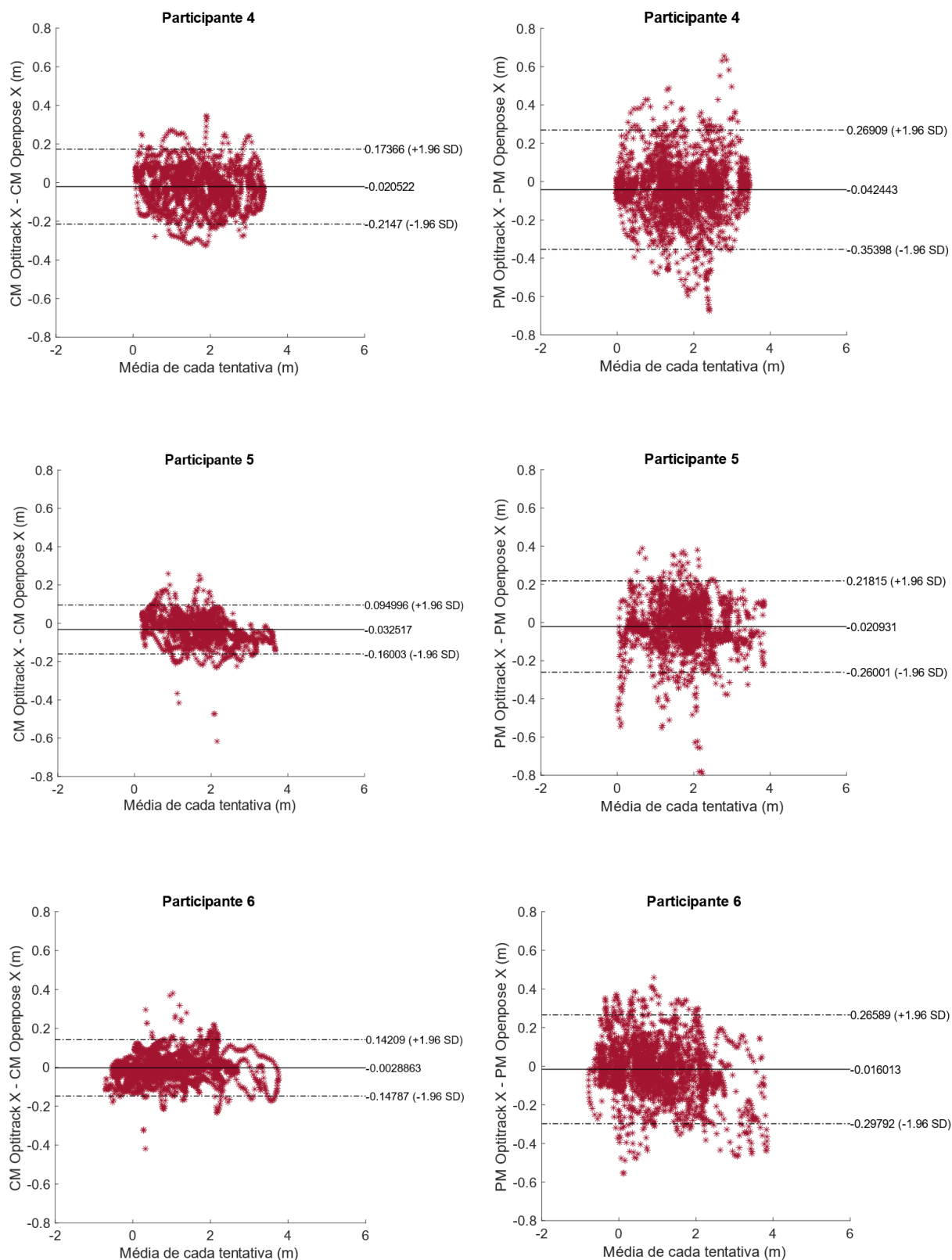
**Figura 28** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional y na condição sem adversário.



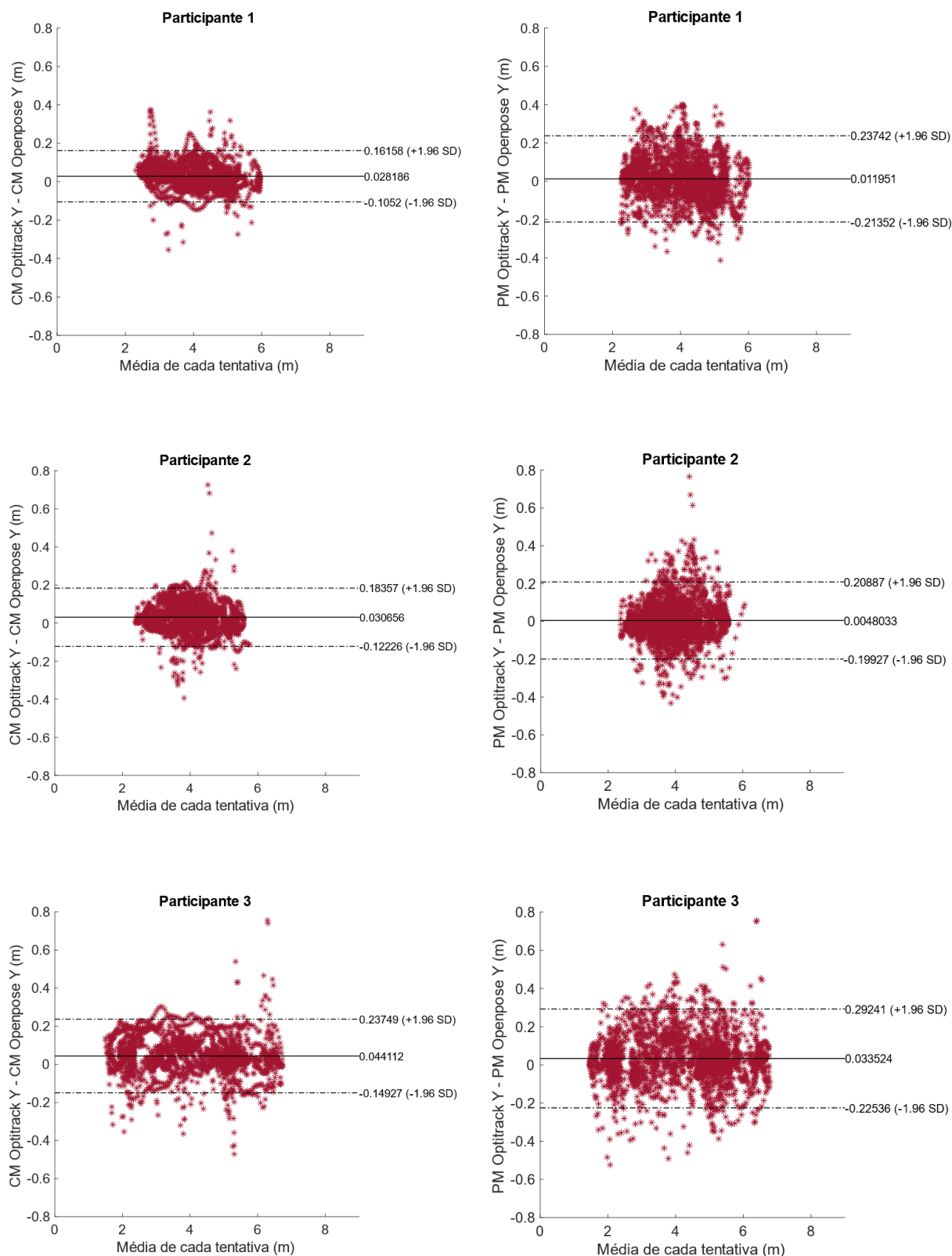
**Figura 28** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição sem adversário. Continuação.



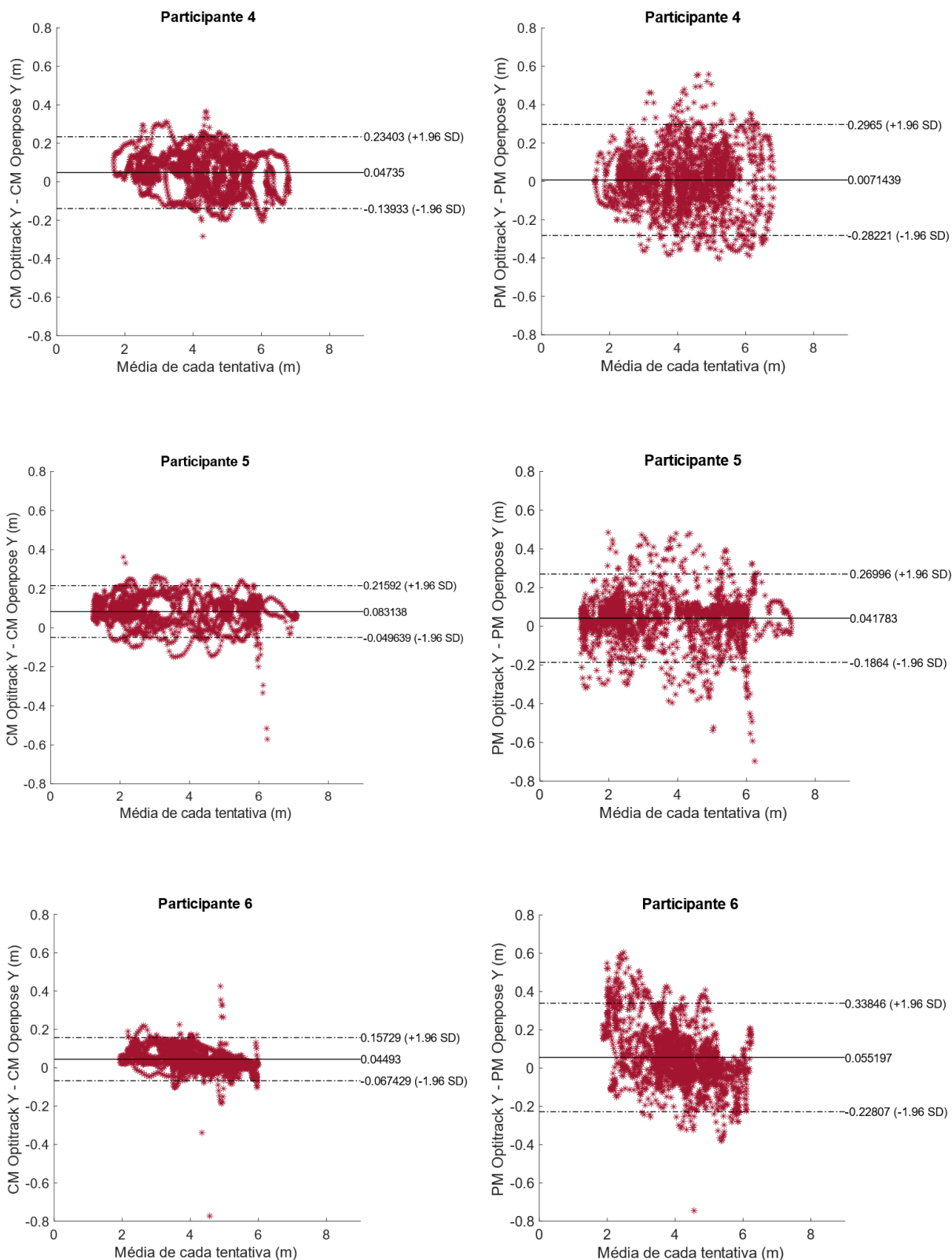
**Figura 29** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição com adversário.



**Figura 29** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional x na condição com adversário. Continuação.



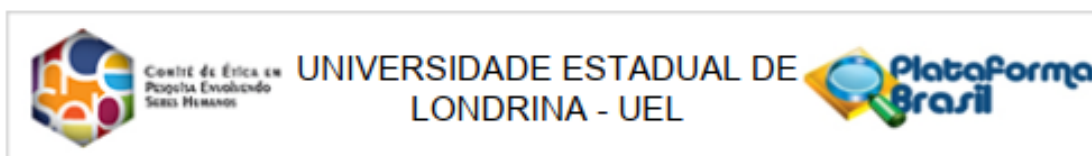
**Figura 30** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional y na condição com adversário.



**Figura 30** - Análise de concordância de Bland e Altman entre os sistemas de captura de cada participante da coordenada tridimensional y na condição com adversário. Continuação.

## ANEXOS

### ANEXO A – Parecer Comitê de Ética em Pesquisa UEL



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** ANÁLISE DA COORDENAÇÃO INTERPESSOAL DE TAEKWONDISTAS EM COMPETIÇÕES OFICIAIS DE DIFERENTES CATEGORIAS POR MEIO DO RASTREAMENTO AUTOMÁTICO

**Pesquisador:** LUIZA DOS SANTOS BANKS

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 50683921.1.0000.5231

**Instituição Proponente:** CEFE - PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA UEM/UEL

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 4.987.601

##### Apresentação do Projeto:

Trechos extraídos do original do(a) pesquisador(a):

"O taekwondo é um esporte olímpico onde os atletas estão em constante movimentação para desviar do ataque adversário ou para criar estratégias eficazes para golpeá-lo. Desta maneira, os golpes ocorrem a partir das percepções dos atletas acerca do ambiente. A coordenação interpessoal foi estudada em alguns esportes de combate demonstrando que os atletas podem realizar um comportamento em fase (ambos indo para a mesma direção) ou antifase (ambos indo para direções opostas). No entanto, atletas de diferentes categorias de peso e sexo podem apresentar diferentes estratégias técnico-táticas para conseguir a pontuação. Além disto, a fadiga ao longo dos rounds também é um fator que pode modificar o comportamento do cada atleta. Entretanto, ainda é escasso informações a respeito das adaptações coordenativas de cada categoria em competições reais de taekwondo. Deste modo, se faz necessário validar o rastreamento dos atletas por meio de uma análise de vídeos a fim de obter informações fidedignas dos atletas em ambientes reais. Em vista disso, este estudo verificará primeiramente se o sistema Openpose é um método fidedigno para o rastreamento automático de atletas de taekwondo, e posteriormente investigará o padrão coordenativo em diferentes categorias de peso e sexo ao longo de combates oficiais. Para atingir os objetivos do estudo, primeiramente, será realizada uma acurácia das coordenadas bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) entre o sistema Openpose e

**Endereço:** LABESC - Sala 14

**Bairro:** Campus Universitário

**UF:** PR

**Telefone:** (43)3371-5455

**Município:** LONDRINA

**CEP:** 86.057-970

**E-mail:** cep268@uel.br



Centro de Ética em  
Educação Física  
Seus Humanos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 4.987.601

optoeletrônico. Assim, câmeras optoeletrônicas e digitais serão alocadas ao redor da quadra de combate em uma frequência de aquisição de 120 Hz e 30 Hz, respectivamente. Comparações entre o centro de massa projetado no solo e o ponto médio do pé (2D e 3D) em ambos os sistemas serão analisadas pelo coeficiente de correlação interclasse (ICC). Posteriormente, análises do padrão de coordenação e da distância interpessoal dos taekwondistas serão realizadas a partir das lutas finais e semifinais do campeonato 5th WT Presidents Cup-European Edition (G-2), 2020, disponíveis na plataforma youtube. Os padrões coordenativos serão analisados através da técnica de vector coding e a distância interpessoal utilizando a distância euclidiana. Os padrões de coordenação serão classificados em quatro categorias diferentes: (1) antifase, (2) em fase, (3) fase do atacante, e (4) fase do defensor. Uma análise de variância será realizada para comparar o percentual de tempo de permanência tanto da distância interpessoal quanto em cada padrão coordenativo entre as diferentes categorias de sexo e peso ao longo do combate de taekwondo.”

“Por meio de uma análise de vídeos, torna-se possível uma investigação automatizada bidimensional e tridimensional dos movimentos a partir da entrada de gravações de vídeos sincronizados (STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2020). Dentro desta perspectiva, o Openpose é um sistema que consiste em uma biblioteca gratuita, proposta pela Carnegie Mellon University em 2017, capaz de identificar até 135 pontos chaves (pontos anatômicos), por meio de algoritmos de aprendizagem de máquina, incluindo rosto, pés e mãos, através de gravações de vídeo e/ou imagens RGB como arquivo de entrada, fornecendo coordenadas bidimensionais dos participantes em cada quadro, como arquivo de saída (QIAO; WANG; LI, 2017; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2020). Assim, câmeras de vídeo são dispostas ao redor do ambiente a ser coletado e em seguida os vídeos são digitalizados automaticamente fornecendo coordenadas bidimensional de tela de cada ponto chave”.

“Assim, o Openpose é um método capaz de reproduzir corretamente o movimento do participante, mas pode necessitar de ajustes de rastreamento manual e/ou melhorias nos algoritmos da rede neural para uma melhor eficácia. Além dos erros que podem ocorrer com uma baixa frequência de aquisição, trocas na identificação de membros, posicionamento do avaliado em relação ao campo focal da câmera, os movimentos rápidos e a oclusão dos avaliados também podem ser um problema durante as análises (CORNMAN; STENUM; ROEMMICH, 2021; NAKANO et al., 2020; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2020). Entretanto, alguns desses problemas podem ser resolvidos com a implementação de mais câmeras, taxas de quadro mais altas e melhorias nos algoritmos (MÜNDERMANN; CORAZZA; ANDRIACCHI, 2008; PAPIĆ et al., 2020; STENUM; ROSSI; ROEMMICH, 2020). Apesar de todas as informações citadas acerca do OpenPose, ainda é incerto a acurácia

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

CEP: 86.057-970

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Conselho de Ética em  
Pesquisa Envolvendo  
Serres Humanos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 4.987.601

deste sistema em ambientes que podem ocorrer a oclusão dos avaliados, como o caso das lutas. Deste modo, se faz necessário verificar a acurácia deste sistema nestas condições.”

“Primeiramente, para fase experimental, serão recrutados dois atletas voluntários de taekwondo, com idade entre 18 e 30 anos, residentes da cidade de Londrina ou região. Antes do início das coletas, os participantes serão informados sobre o objetivo do estudo. As coletas serão realizadas na Academia Sparta localizada na cidade de Cambé-PR. Será realizado combates simulados de Taekwondo de acordo com a regras da World taekwondo (WT).”

“Serão utilizados vídeos disponíveis para o público da plataforma YouTube com uma ampla visibilidade da área da competição disponibilizados em <https://www.youtube.com/c/reStrikeVR/videos>. O download dos vídeos acontecerá em uma resolução de 1080p e em uma frequência de aquisição de 30 Hz. O rastreamento será realizado pelo centro de massa ou pelo ponto médio entre os pés.”

“Todos os equipamentos necessários para coleta de dados estão disponíveis no laboratório de biomecânica aplicada da UEL, coordenado pelo professor Felipe Arruda Moura orientador da pesquisadora principal. (...) Na segunda etapa do projeto serão utilizadas imagens de lutas disponibilizadas pela plataforma Youtube de domínio público. Ainda sim serão preservadas as identidades dos lutadores.”

Tamanho da Amostra no Brasil: 20

#### Objetivo da Pesquisa:

Trechos extraídos do original do(a) pesquisador(a):

“Objetivo Primário: Descrever a coordenação interpessoal de taekwondistas em competições oficiais por meio do Openpose e compreender as possíveis diferenças existentes entre categorias ao longo dos combates.”

“Objetivo Secundário: verificar a acurácia bidimensional e tridimensional de um sistema sem marcador utilizando o Openpose, em relação a um sistema optoeletrônico; investigar como os padrões de coordenação interpessoal se alteram ao longo dos rounds; descrever as diferenças dos padrões coordenativos entre as diferentes categorias de sexo e peso.”

#### Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Trechos extraídos do original do(a) pesquisador(a):

Riscos:

Para a fase experimental os riscos podem ser devido a alergia pela fita dupla face e uma possível lesão ao combate, entretanto os voluntários estarão equipados com as devidas proteções recomendadas pela Confederação mundial. Além disto, os os voluntários já estão acostumado com

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

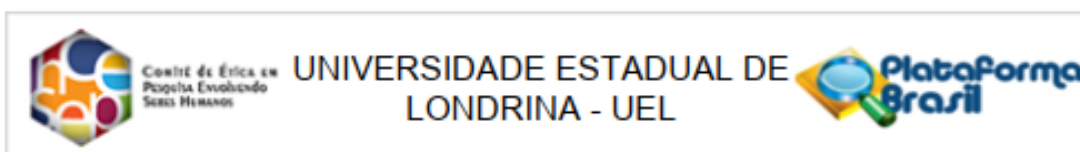
CEP: 86.057-970

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Continuação do Parecer: 4.987.601

as lutas devido a sua rotina de treino. Caso seja necessário atendimento médico, a participante será acompanhada pela pesquisadora principal. Além disto, a pesquisadora principal se responsabilizará em amparar o participante até que o desconforto causado pela pesquisa cesse.

**Benefícios:**

A validação do sistema Openpose pode oferecer análises em diversos ambientes com um baixo custo, além disto os resultados destas análises podem auxiliar técnicos a desenvolver um programa individual de treinamento para cada categoria. Além disto, iremos proporcionar um relatório individual de desempenho técnico-tático para cada voluntário.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Nada a constar.

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

- Folha de Rosto devidamente assinada pela coordenação do programa de pós-graduação.
- TCLE apresentado corretamente.
- Termo de Confidencialidade e Sigilo apresentado.
- Declaração de concordância da Academia Sparta apresentada.
- Cronograma apresentado corretamente, com coleta de dados entre 25/10/2021 a 29/10/2021, finalizando o projeto em 31/01/2022.
- Orçamento corretamente apresentado, no valor de R\$ 90,00.

**Recomendações:**

...

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

Pendências providenciadas com clareza e precisão.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Prezado(a) Pesquisador(a),

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

Ressaltamos, para início da pesquisa, as seguintes atribuições do pesquisador, conforme Resolução CNS 466/2012 e 510/2016:

A responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe:

- conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido;

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Centro de Ética em  
Pesquisa Evoluindo  
Ciências Humanas

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 4.987.601

- apresentar dados solicitados pelo sistema CEP/CONEP a qualquer momento;
- desenvolver o projeto conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção;
- elaborar e apresentar os relatórios parciais e final;
- manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa;
- encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores e pessoal técnico integrante do projeto;
- justificar fundamentadamente, perante o sistema CEP/CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Coordenação CEP/UEL.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1740244.pdf	08/09/2021 21:43:33		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.docx	08/09/2021 21:40:52	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito
Outros	Carta_Resposta.docx	08/09/2021 21:40:25	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	02/09/2021 11:47:36	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito
Outros	Termo_Confidencialidade_Sigilo.pdf	10/08/2021 16:01:26	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Instituicao_coparticipante.jpeg	10/08/2021 15:54:05	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	10/08/2021 15:51:03	LUIZA DOS SANTOS BANKS	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

CEP: 86.057-970

UF: PR

Município: LONDRINA

Telefone: (43)3371-5455

E-mail: cep268@uel.br



Centro de Ética em  
População e Avaliação  
Social - CENEP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
LONDRINA - UEL



Continuação do Parecer: 4.987.601

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

LONDRINA, 21 de Setembro de 2021

---

Assinado por:

**Adriana Lourenço Soares Russo**  
(Coordenador(a))

Endereço: LABESC - Sala 14

Bairro: Campus Universitário

UF: PR

Telefone: (43)3371-5455

Município: LONDRINA

CEP: 86.057-970

E-mail: cep268@uel.br