

Análise do desempenho de árbitros de elite em futebol profissional: uma abordagem centrada na utilização de dados posicionais

Autores

Bruno Gonçalves^{1,2,3}; Diogo Coutinho⁴; Bruno Travassos^{3,5}; Pedro Figueiredo^{3,6}; João Brito³

bgoncalves@uevora.pt

Resumo

O presente estudo teve como objetivo explorar o uso dos dados posicionais para analisar o desempenho do árbitro principal e respetivos árbitros assistentes. As coordenadas bidimensionais dos jogadores, da bola e de três árbitros de elite foram obtidos através de elementos cinemáticos recolhidos por sistemas de rastreamento automático durante um jogo oficial. A partir destes dados, foram processadas as seguintes variáveis: (i) alinhamento do árbitro assistente com o penúltimo defesa; (ii) a movimentação em deslocamento diagonal do árbitro principal; (iii) distância do árbitro à bola. O alinhamento do árbitro assistente com o penúltimo defesa apresentou valores inferiores a 1 m. Desta variável, destaca-se ainda que esta distância tende a variar da primeira para a segunda parte, como resultado do comportamento das equipas. No que diz respeito ao árbitro principal, verificou-se durante a primeira parte valores da área de movimentação de 548 m² distribuídos por 18 m de comprimento e 9 m de largura (elipse). Na segunda parte, estes valores aumentaram, o que indicam uma redução dos movimentos na diagonal. Verificou-se ainda na segunda parte um aumento da distância do árbitro principal à bola com 80% do tempo com valores entre 5 e 30 m. Estes resultados podem servir como ponto de partida para criar modelos normativos do desempenho posicional em termos de espaço e movimento por parte dos árbitros, e assim, promover adaptações no planeamento do treino específico. Este estudo permite uma melhor compreensão sobre os fatores que condicionam o desempenho na arbitragem, bem como

¹ Departamento de Desporto e Saúde, Escola de Saúde e Desenvolvimento Humano, Universidade de Évora

² CHCR - Comprehensive Health Research Centre, Universidade de Évora

³ Portugal Football School, Federação Portuguesa de Futebol

⁴ CIDESD - Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

⁵ CIDESD - Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Universidade da Beira Interior

⁶ CIDESD - Centro de Investigação em Desporto, Saúde e Desenvolvimento Humano, Instituto Universitário da Maia

permitirá alavancar a análise da prestação dos árbitros e do modo como as equipas de arbitragem se relacionam no espaço e no tempo no decorrer do jogo.

Palavras-chave: cinemática, análise de desempenho; arbitragem; dados posicionais; sistemas de rastreio; posicionamento tático

Introdução

O futebol consiste num desporto coletivo no qual existe um confronto dinâmico no espaço e tempo entre duas equipas, com o objetivo de uma se superiorizar à outra. Esta relação é mediada pelos árbitros para assegurar que o jogo é realizado de acordo com as leis de jogo (Oliveira et al., 2011). Para tal, os árbitros necessitam de um nível elevado de preparação física, técnica e tática, assim como um elevado conhecimento das regras do jogo. De facto, para aplicar as regras do jogo, os árbitros têm de estar permanentemente em movimento para assegurar que a sua posição lhes permite o melhor ângulo de visualização dos incidentes de jogo, e assim, sustentar as suas ações em informação relevante (Castagna et al., 2007).

As decisões dos árbitros parecem ser assim ser influenciadas pelo seu posicionamento em campo e pela distância à bola (Catteeuw et al., 2010; Gillis et al., 2009; Hossner et al., 2019; Mallo et al., 2012). Estudos recentes têm usado dados cinemáticos que derivam de sistemas de rastreamento para produzir informação sobre o desempenho dos jogadores em termos de variáveis espaço-temporais (Aguiar et al., 2017; Folgado et al., 2018; Gonçalves et al., 2019). Os avanços significativos sobre o conhecimento do jogo e do comportamento dos jogadores, sugerem que estas variáveis podem ser utilizadas para desenvolver um conhecimento mais profundo do movimento dos árbitros em função da bola e do movimento dos jogadores.

Sabendo que o jogo de futebol apresenta grande variabilidade, a dinâmica posicional entre o árbitro e os seus assistentes constituem-se como fatores preponderantes para melhorar a sua prestação e melhorar a sua tomada de decisão no decorrer do mesmo. A movimentação em deslocamento diagonal do árbitro principal, a distância à bola, bem como o alinhamento dos árbitros assistentes pelo penúltimo defesa são exemplos de variáveis consideradas preponderantes para a sua prestação, mas muito pouco

estudadas de forma precisa e fiável. Através dos dados posicionais do árbitro e árbitros assistentes, estas variáveis podem ser calculadas refletindo com uma fiabilidade extremamente elevada, a sua dinâmica posicional no decorrer do jogo.

Dentro desta perspetiva, é evidente que urge desenvolver mais conhecimento sobre como os árbitros se movem em função da zona do campo, do local da bola e dos árbitros assistentes para assegurar a posição mais indicada para suportar as decisões. Apesar da investigação desenvolvida na arbitragem nos últimos anos, a sua grande maioria centrou-se em analisar o desempenho físico dos árbitros com o objetivo de auxiliar o planeamento e desenho de intervenções de treino com foco nos aspetos físicos (Castagna et al., 2007; Castillo et al., 2017; Mallo et al., 2009; Riiser et al., 2017) sem qualquer referência aos aspetos posicionais para suportar as suas decisões e potenciar o processo de treino.

Assim, o objetivo do presente estudo foi explorar, através de dados posicionais, variáveis que auxiliem uma melhor compreensão do posicionamento dos árbitros durante um jogo de futebol, tendo em consideração a posição da bola, dos árbitros assistentes e o penúltimo jogador da linha defensiva (linha de fora-de-jogo).

Métodos

Para o efeito do presente estudo foi usado um jogo internacional entre equipas de elite. O posicionamento dinâmico do árbitro principal, dos dois árbitros assistentes, dos jogadores e da bola foi registado e transformado em coordenadas cartesianas usando o sistema *TRACAB Optical Image Tracking System* com uma frequência de recolha de 25 Hz (<https://chyronhego.com>). O sistema usa câmaras super-HD e tecnologia de processamento de imagem patenteada para o registo posicional em tempo real de todos os objetos em movimento num espaço definido, com um atraso máximo de apenas três *frames* de imagem (<https://chyronhego.com>). O sistema (TRACAB) está validado contra um sistema de referência (sistema de captura de movimento VICON) (Linke, Link, & Lames, 2020). O erro médio (RMSE) foi de 0,09 m nas medições de posição, $0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na velocidade instantânea e $0,26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ em acelerações. Para a distância total percorrida e velocidade máxima, foram

identificados desvios triviais em relação ao sistema de referência ($0,42 \pm 0,60\%$ e $<0,5\%$, respetivamente).

Variáveis, Processamento e Tratamento da Informação

Através dos elementos cinemáticos obtidos, três abordagens foram desenvolvidas:

(i) Deslocamento Diagonal do árbitro

Através da Análise de Componentes Principais (ACP) foi possível identificar a variabilidade de deslocamento do árbitro principal, através de dois segmentos ortogonais partindo da sua posição média. A densidade espacial foi representada através de um mapa de calor (coordenadas x e y do posicionamento do árbitro ao longo do jogo) e foi processada para ambas as partes (consultar Sundqvist (2010) para o algoritmo de computação), permitindo identificar as regiões do campo que o árbitro ocupou preferencialmente.

A ACP foi aplicada a partir de uma matriz de informação do deslocamento do árbitro ($x(i)$, $y(i)$), onde $x(i)$ e $y(i)$ representam as coordenadas no campo ao longo do jogo, com $i=1, \dots, N$, onde N consiste no tempo do jogo. Dois segmentos ortogonais foram criados a partir do posicionamento médio do árbitro, e a direção dos segmentos foi obtida através dos vetores da ACP. O comprimento de cada segmento foi definido como o desvio padrão (σ_1 e σ_2) em torno da média, que foi calculado através da extração da raiz quadrada de cada vector, λ_1 e λ_2 (Moura et al., 2015). Os resultados deste processamento foram representados através de um gráfico de calor representativo da densidade posicional do árbitro principal.

(ii) Distância do árbitro à bola

A distância do árbitro à bola foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$Distance(a_{x(t),y(t)}, b_{x(t),y(t)}) = \sqrt{(a_{x(t)} - b_{x(t)})^2 + (a_{y(t)} - b_{y(t)})^2}$$

onde a corresponde ao árbitro, x e y às coordenadas longitudinais e laterais do campo, respetivamente, t para o tempo, e b para a bola. Adicionalmente, as distâncias foram ainda analisadas tendo em consideração a variabilidade expressa através do coeficiente de variação.

(iii) Alinhamento do árbitro assistente com o penúltimo defesa

Esta variável foi calculada através da diferença entre as coordenadas no eixo do x dos árbitros assistentes (direção baliza-baliza) e as coordenadas no eixo do x da posição do penúltimo defesa (pertencente à equipa que está a defender considerando o meio-campo do árbitro assistente) de acordo com a seguinte fórmula:

$$Alignment(a_{x(t)}, b_{x(t)}) = a_{x(t)} - b_{x(t)}$$

onde a corresponde ao posicionamento do árbitro assistente, x corresponde às coordenadas da direção baliza-baliza, t corresponde ao tempo, e b ao penúltimo defesa (Figura 1). Para efeitos do processamento, foram excluídos os dados quando o penúltimo defesa avançou para o meio-campo ofensivo.

Os dados foram analisados de forma independente para a primeira e segunda parte e processados para o momento em que a bola se encontrava em jogo (i.e., todas as paragens de jogo foram excluídas da análise). Todos os cálculos foram processados em Matlab® (The MathWorks Inc., Natick, MA, EUA).

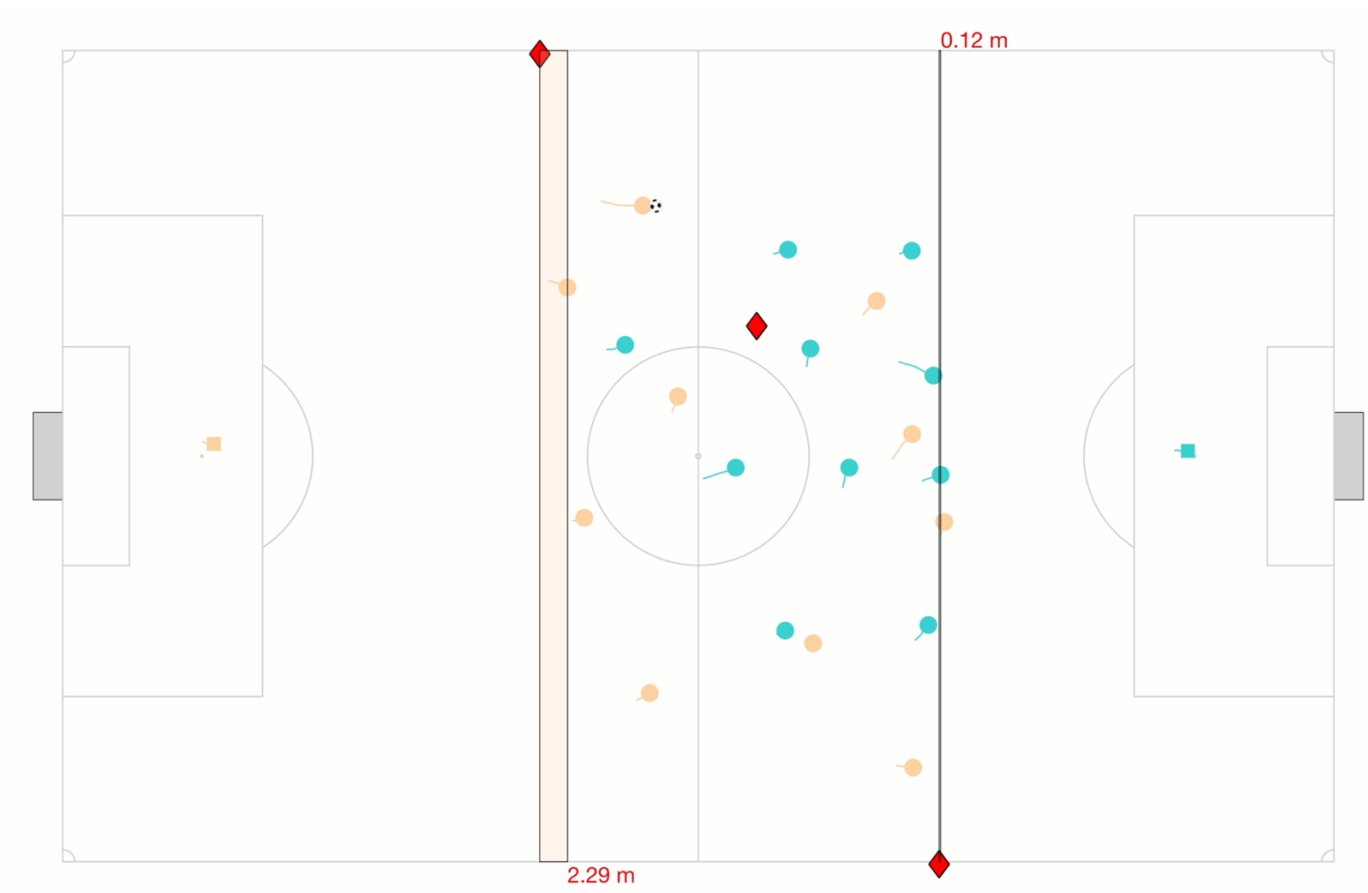


Figura 1. Representação de um instante real do jogo. O posicionamento do árbitro principal e dos árbitros assistentes estão representados através do losango vermelho. As distâncias representadas refletem o alinhamento do árbitro assistente e o penúltimo defesa. Por exemplo, o árbitro assistente do lado esquerdo tem um desalinhamento com o penúltimo defesa (linha do fora-de-jogo) de 2.29m.

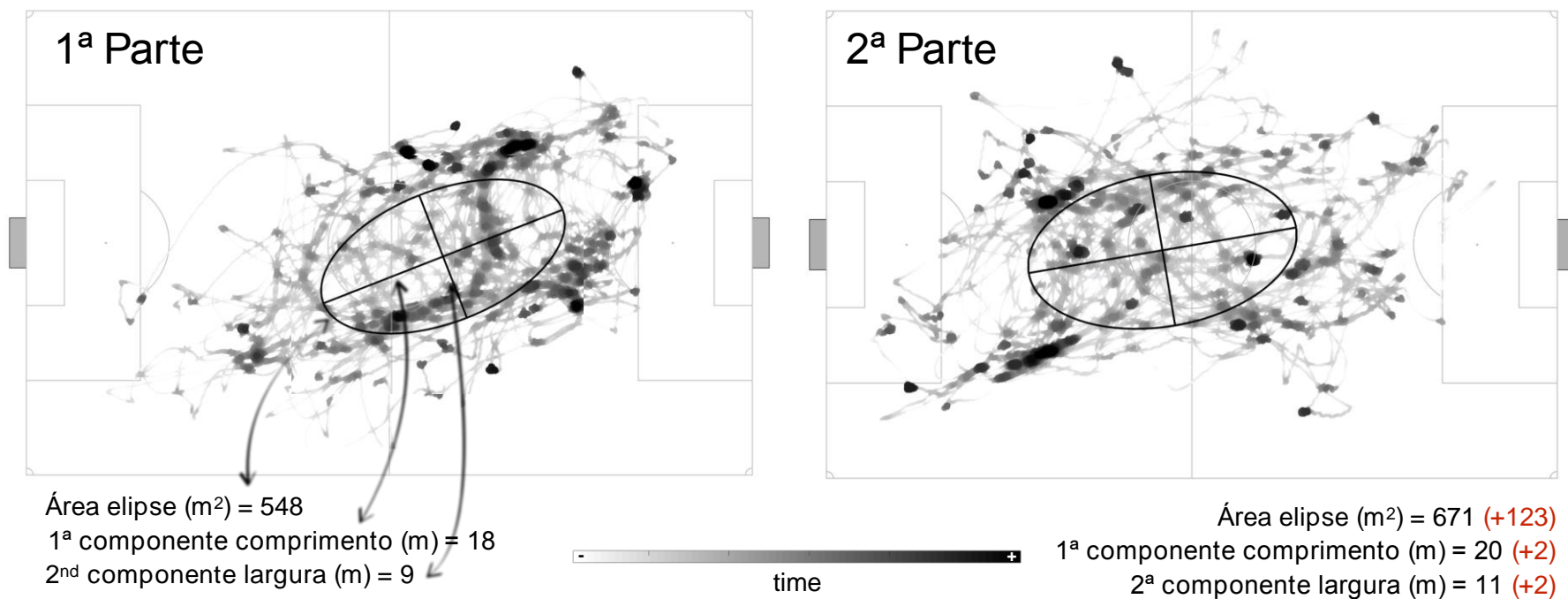


Figura 2. Deslocamento na diagonal do árbitro. O mapa de calor representa a densidade do posicionamento do árbitro principal (áreas mais escuras representam maior densidade) e as elipses representam os resultados da análise de componentes principais através da variabilidade do posicionamento árbitro principal em cada parte.

Distância do árbitro à bola

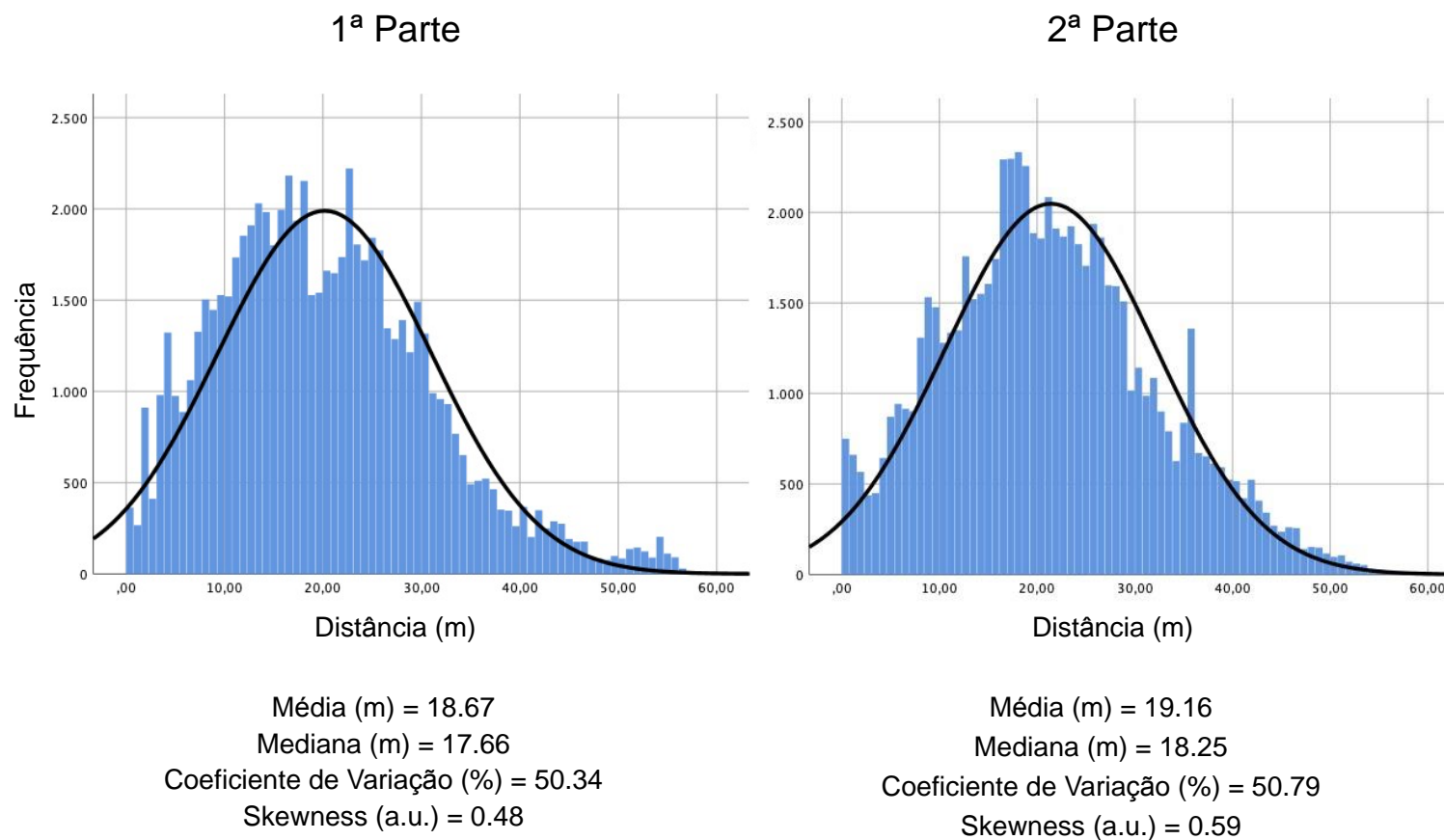


Figura 3. Distribuição e caracterização da distância do árbitro à bola em cada parte.

Resultados

(i) Movimentos diagonais do árbitro

A figura 2 representa a densidade posicional do árbitro principal, bem como a variabilidade do seu movimento, obtidos através da ACP. Os resultados demonstram uma área de movimentação referente à sua elipse foi 548 m², com o valor de primeira componente principal o comprimento (18 m), e como segunda componente principal a largura (9 m). Durante a segunda parte, estes valores aumentaram 123 m² para a área das elipses, e 2 m tanto para a primeira como para a segunda componente, sugerindo uma redução dos movimentos na diagonal e deslocamentos em torno do centro das elipses.

(ii) Distância do árbitro principal à bola

A figura 3 apresentam a distribuição e caracterização da distância do árbitro à bola em cada parte. De uma forma geral, o árbitro passou >80% do tempo em distâncias compreendidas entre 5 e 30 m. Os valores aumentaram ligeiramente durante a segunda parte, e com valores de coeficiente de variação de aproximadamente de 50% e de ~0.5 de *skewness*. A sobreposição dos dois histogramas de densidade, ou seja, de ambas as partes, foi de 89.1%.

(iii) - Alinhamento do árbitro assistente com o penúltimo defesa

A figura 4 representa o alinhamento entre o árbitro assistente e o penúltimo defesa ao longo do jogo. Os resultados demonstram que os valores médios são ~1m. Os resultados variaram da primeira para a segunda parte. De facto, na primeira o primeiro árbitro assistente revelou valores superiores ao do segundo árbitro assistente (árbitro assistente 1 = 1.04±0.51 m, árbitro assistente 2 = 0.77±0.35 m), enquanto durante a segunda parte o alinhamento do primeiro árbitro assistente foi inferior (0.70±0.50 m).

Alinhamento do árbitro assistente com o penúltimo defesa

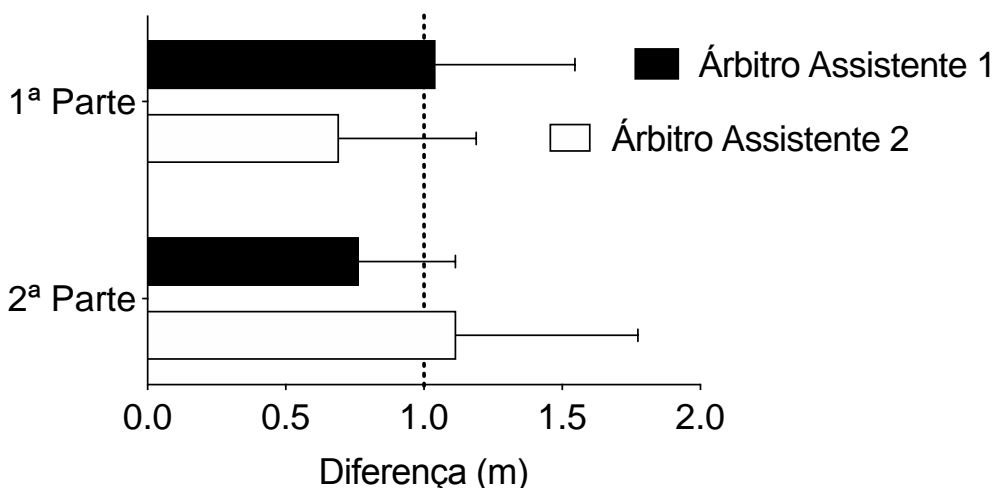


Figura 4. Alinhamento da distância entre o árbitro assistente e o penúltimo defesa.

Discussão

O objetivo do presente estudo foi explorar novas variáveis que contribuam para uma melhor compreensão do posicionamento dos árbitros de futebol durante um jogo de futebol, tendo em consideração a posição da bola, dos árbitros assistentes e o último jogador da linha defensiva (linha de fora-de-jogo). Foi ainda considerado a variação de desempenho da primeira para a segunda parte. Os resultados demonstraram que o árbitro principal manteve uma distância estável para a bola durante todo o jogo. No entanto, verificou-se uma redução dos movimentos na diagonal após se ter verificado uma distância superior à bola durante a segunda parte comparativamente com a primeira. No que diz respeito aos árbitros assistentes, os resultados demonstraram alinhamentos com o penúltimo defesa de ~1 m, o que sugere uma elevada coordenação com o último jogador da linha defensiva.

O posicionamento dos árbitros e a respetiva distância à bola têm vindo a ser identificadas como variáveis decisivas para suportar as decisões dos árbitros em termos de decisões corretas (Catteeuw et al., 2010; Gilis et al., 2009; Hossner et al., 2019; Mallo et al., 2012). De facto, para reduzir o número de decisões erradas, a FIFA recomenda que o posicionamento dos árbitros seja feito numa perspetiva diagonal

considerando as linhas do centro do jogo e os vértices do campo, enquanto que ao mesmo tempo devem evitar estar demasiado próximos da bola (FIFA, 2020). No presente estudo verificámos um predomínio de movimentos na diagonal através do mapa de calor e da área de deslocamento representada pela elipse. Esta variável permite medir e compreender os tipos de movimentos na diagonal por parte dos árbitros, podendo ser utilizada para avaliar o nível de adequação dos seus movimentos em campo em função do posicionamento da bola (ler o jogo, saber onde se posicionar e adaptabilidade em função das jogadas (Aragão e Pina et al., 2019)), ou simplesmente para através desta variável avaliar o grau de experiência e conhecimento dos árbitros pela análise das suas trajetórias de deslocamento.

Estes movimentos são tanto mais relevantes uma vez que a distância dos árbitros à bola parece ser fundamental no processo de decisão dos árbitros (Johansen & Erikstad, 2021; Mallo et al., 2012; Oliveira et al., 2011). No presente estudo, os valores médios de distância à bola situaram-se nos 18 m. Neste domínio, a literatura tem demonstrado resultados inconsistentes sobre o melhor distanciamento entre o árbitro e a bola (Johansen & Erikstad, 2021; Mallo et al., 2012; Oliveira et al., 2011). Apesar disto, a Associação de Futebol Inglesa propõe que os árbitros não estejam a mais de 20 metros de distância do local da bola (FA, 2017), uma vez que distâncias superiores podem interferir na capacidade dos árbitros em ajuizar corretamente as jogadas, e aumentando o risco de erro (Johansen & Erikstad, 2021). Assim, os resultados deste estudo revelaram que os árbitros podem ter de ajustar o seu posicionamento em função da posição da bola, para assegurar que conseguem identificar a informação relevante que suporte a decisão de apitar ou não (Lane et al., 2006).

De uma forma geral, o papel dos árbitros assistentes é suportar as decisões dos árbitros principais, especialmente relacionadas com a regra do fora-de-jogo. Tal como se verificou para o árbitro principal, o posicionamento dos árbitros assistentes também tem um papel fundamental na sua decisão, especialmente relacionado com a regra do fora-de-jogo. No presente estudo, foram identificadas distâncias superior a 1 m entre o árbitro assistente e o penúltimo defesa, o que parece suportar as evidências que sugerem que os árbitros assistentes estão normalmente desfasados face ao posicionamento do último jogador da linha defensiva (~53%) ou adiantados (~33%) face a esta linha do fora-de-jogo (Mallo et al., 2012). Dentro desta perspetiva, seria

importante no futuro analisar se este método é fiável para comparar as decisões corretas e erradas em termos do fora-de-jogo considerando a distância do árbitro assistente ao penúltimo defesa, ou de acordo com o tipo de passe (curto ou longo).

Conclusões e aplicabilidade

No jogo observado, o árbitro manteve uma distância de ~18 m ao local da bola, principalmente numa perspetiva na diagonal, tal como evidenciado pelo mapa de calor e pela área das elipses. Relativamente aos árbitros assistentes, foram identificados valores médios de distância dos árbitros assistentes à linha de fora-de-jogo de ~1 m, sugerindo uma elevada capacidade dos árbitros de manterem uma distância curta face à linha de fora-de-jogo. Adicionalmente, a diferença na distância dos árbitros assistentes para a linha de fora-de-jogo entre a primeira e a segunda parte, parecem refletir a natureza dinâmica e imprevisível do jogo, reforçando o papel destas variáveis como candidatas para complementar a análise de desempenho dos árbitros assistentes. Estes resultados podem ainda servir de base para se estabelecer orientações normativas sobre o tipo de movimento dos árbitros durante o jogo, e assim, melhorar o planeamento de tarefas específicas para os árbitros de futebol.

Consideramos que este estudo abre portas para a análise de novas questões, possibilitando a otimização de metodologias de análise e sobretudo de treino na arbitragem. A partir deste tipo de análises será possível criar perfis individuais do comportamento tático dos árbitros, identificar aspetos a melhorar, identificar melhorias nos posicionamentos em função das equipas em jogo, e sobretudo criar exercícios de treino individualizados que respondam aos seus problemas de posicionamento e dinâmica dentro da própria equipa de arbitragem.

Bibliografia

- Aguiar, M., Gonçalves, B., Botelho, G., Duarte, R., & Sampaio, J. (2017). Regularity of interpersonal positioning discriminates short and long sequences of play in smallsided soccer games. *Science and Medicine in Football*, 1-7. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1353220>
- Aragão e Pina, J., Passos, A. M., Carvalho, H., & Travis Maynard, M. (2019). To be or not to be an excellent football referee: different experts' viewpoints. *Journal of Sports Sciences*, 37(6), 692-700. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1522940>
- Association, F. (2017). *Laws of the Game & FA Rules*. <http://www.thefa.com/soccerrules-governance/lawsandrules>. Castagna, C., Abt, G., & D'Ottavio, S. (2007). Physiological aspects of soccer refereeing performance and training. *Sports Medicine*, 37(7), 625-646. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00006>
- Castillo, D., Cámara, J., Sedano, S., & Yanci, J. (2017). Impact of official matches on soccer referees' horizontal-jump performance. *Science and Medicine in Football*, 1(2), 145-150. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1330549>
- Catteeuw, P., Gilis, B., Wagemans, J., & Helsen, W. (2010). Offside decision making of assistant referees in the English Premier League: Impact of physical and perceptual-cognitive factors on match performance. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 471-481. <https://doi.org/10.1080/02640410903518184>
- Fédération Internationale de Football Association, F. (2020). *The Laws of the Game 2020/21*. FIFA.
- Folgado, H., Duarte, R., Marques, P., Gonçalves, B., & Sampaio, J. (2018). Exploring how movement synchronization is related to match outcome in elite professional football. *Science and Medicine in Football*, 1-7. <https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1431399>

- Gilis, B., Helsen, W., Catteeuw, P., Van Roie, E., & Wagemans, J. (2009). Interpretation and application of the offside law by expert assistant referees: Perception of spatial positions in complex dynamic events on and off the field. *Journal of Sports Sciences*, 27(6), 551-563. <https://doi.org/10.1080/02640410802702178>
- Gonçalves, B., Coutinho, D., Exel, J., Travassos, B., Lago, C., & Sampaio, J. (2019). Extracting spatial-temporal features that describe a team match demands when considering the effects of the quality of opposition in elite football. *PLoS One*, 14(8), e0221368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221368>
- Hossner, E.-J., Schnyder, U., Schmid, J., & Kredel, R. (2019). The role of viewing distance and viewing angle on referees' decision-making performance during the FIFA World Cup 2014. *Journal of Sports Sciences*, 37(13), 1481-1489. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1570898>
- Johansen, B. T., & Erikstad, M. K. (2021). A Preliminary Analysis of the Importance of Distance, Angle, and Insight When Soccer Referees Make Penalty Decisions [Original Research]. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2(218). <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.595703>
- Lane, A. M., Nevill, A. M., Ahmad, N. S., & Balmer, N. (2006). Soccer Referee DecisionMaking: 'shall I Blow the Whistle?'. *Journal of sports science & medicine*, 5(2), 243-253. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24259997>
- Linke, D., Link, D., & Lames, M. (2020). Football-specific validity of TRACAB's optical video tracking systems. *PLoS ONE*, 15(3), e0230179. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230179>
- Mallo, J., Frutos, P. G., Juárez, D., & Navarro, E. (2012). Effect of positioning on the accuracy of decision making of association football top-class referees and assistant referees during competitive matches. *Journal of Sport Sciences*, 30(13), 1437-1445. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.711485>
- Mallo, J., Navarro, E., Garcia Aranda, J. M., & Helsen, W. (2009). Physical demands of top-class soccer assistant refereeing during high-standard matches. *Int J Sports Med*, 30(5), 331-336. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1202339>

- Moura, F. A., Santana, J. E., Vieira, N. A., Santiago, P. R. P., & Cunha, S. A. (2015). Analysis of Soccer Players' Positional Variability During the 2012 UEFA European Championship: A Case Study. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 225-236. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0078>
- Oliveira, M., Orbetelli, R., & Neto, T. (2011). Call Accuracy and Distance from the Play: A Study with Brazilian Soccer Referees. *International journal of exercise science*, 4(1), 30-38. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27182355>
- Riiser, A., Pettersen, S. A., Andersen, V., Saeterbakken, A. H., Froyd, C., Ylvisåker, E., & Moe, V. F. (2017). Accelerations and high intensity running in field and assistant football referees during match play. *Science and Medicine in Football*, 1(3), 280-287. <https://doi.org/10.1080/24733938.2017.1341640>
- Sundqvist, P. (2010). Color dot plot, MATLAB Central File Exchange. Retrieved 2016 from <http://blogs.mathworks.com/community/2010/12/13/citing-file-exchangesubmissions/>