



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FABIO GIULIANO CAETANO

**CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE OS ATLETAS
ADVERSÁRIOS MAIS PRÓXIMOS DURANTE PARTIDAS
OFICIAIS DE FUTEBOL EM DIFERENTES NÍVEIS DE
COMPETIÇÃO**

Londrina
2016

FABIO GIULIANO CAETANO

**CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE OS ATLETAS
ADVERSÁRIOS MAIS PRÓXIMOS DURANTE PARTIDAS
OFICIAIS DE FUTEBOL EM DIFERENTES NÍVEIS DE
COMPETIÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura

Londrina
2016

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

Caetano, Fabio Giuliano.

Caracterização da interação entre os atletas adversários mais próximos durante partidas oficiais de futebol em diferentes níveis de competição / Fabio Giuliano Caetano. - Londrina, 2016.
93 f. : il.

Orientador: Felipe Arruda Moura.

Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2016.

Inclui bibliografia.


1. Biomecânica - Tese. 2. Cinemática - Tese. 3. Esporte - Tese. 4. Futebol - Tese. I. Moura, Felipe Arruda. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

FABIO GIULIANO CAETANO

**CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE OS ATLETAS
ADVERSÁRIOS MAIS PRÓXIMOS DURANTE PARTIDAS OFICIAIS
DE FUTEBOL EM DIFERENTES NÍVEIS DE COMPETIÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha
Universidade Estadual de Campinas -
UNICAMP



Prof. Dr. Ademair Avelar de Almeida Júnior
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Londrina, 25 de novembro de 2016.

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Lucia e Mauro, pelos quais possuo
gratidão eterna devido a tudo que
fizeram por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família que esteve sempre solícita a me ajudar quando necessário, em especial a minha irmã Carolina, meu cunhado Fernando, meu primo Henrique, minha sogra Creusa, meu sogro Eduardo e minha cunhada Karina. Principalmente, minha mãe que sempre me incentivou, apoiou e colaborou de alguma forma em todas as minhas realizações, e meu pai que foi o responsável por transmitir os princípios que fizeram de mim a pessoa que sou hoje.

À minha namorada e eterna companheira Carolina por todo carinho, incentivo, e por estar junto comigo nessa jornada. Sua presença na minha vida provocou mudanças muito importantes, cujas são as maiores responsáveis por todos frutos que estou colhendo.

À Isabel que esteve presente todos esses anos em casa prestando suporte necessário para todos que vivem ali irem à busca das suas conquistas.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Felipe Arruda Moura, pelo exemplo de conduta como pessoa, docente e pesquisador. Agradeço pelas oportunidades, confiança e enorme contribuição na minha formação.

Aos colegas do Laboratório de Biomecânica Aplicada pela contribuição na minha formação através da convivência e colaboração nos meus projetos. Um agradecimento em especial aos companheiros Murilo, Tiago, Vitor e Vinícius pela amizade e ajuda durante esses anos.

Ao Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura pelos ensinamentos e inserção na área acadêmica, aos colegas do GEAFIT, em especial o Prof. Dr. Nilo Massaru Okuno e Prof. Dr. Rafael Evangelista Pedro que sempre contribuíram muito comigo.

Ao Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha pela oportunidade e colaboração nesse trabalho, bem como pelas breves conversas que foram de grande valia para minha formação.

Ao Prof. Dr. Ademar Avelar de Almeida Júnior pela colaboração nesse trabalho e contribuição nessa etapa importante da minha formação.

Ao Prof. Dr. Ricardo Anido pelas ideias e conversas que foram de extrema relevância para o desenvolvimento desse trabalho

CAETANO, Fabio Giuliano. **Caracterização da interação entre os atletas adversários mais próximos durante partidas oficiais de futebol em diferentes níveis de competição**. 2016. 93 f. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

A relação entre atletas adversários componentes de uma díade podem fornecer informações importantes a respeito do desempenho e interação entre as equipes. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi caracterizar a interação entre os adversários mais próximos durante partidas oficiais de futebol em diferentes níveis de competição. Especificamente, buscou-se analisar a magnitude dessa distância nas sequências ofensivas concluídas em finalização ao gol (FN) ou desarme (DS), bem como o padrão de coordenação interpessoal entre os jogadores adversários componentes das díades. Para isso foram registradas imagens de oito jogos profissionais de futebol (quatro de nível nacional e quatro regionais). As informações de posição dos jogadores e ações técnicas foram obtidas através do *software* DVideo. A distância euclidiana entre dois adversários mais próximos foi calculada em função do tempo. Os padrões de coordenação interpessoal foram analisados através da técnica *vector coding* e as frequências relativas de coordenação classificadas em "antifase", "fase", "fase do jogador defensivo", e "fase do jogador ofensivo". Os valores de distância entre os atletas de diferentes posições, períodos das partidas, nível de competição e os percentuais de permanência em diferentes padrões de coordenação foram comparados através da análise de variância (ANOVA) seguida pelo *post hoc* de *Tukey*. A distância mínima, máxima, amplitude e no momento de FN e DS foram comparadas pelo teste *Wilcoxon ranksum*. O teste de correlação de *Spearman* avaliou a relação entre os valores de distância dos atletas e o número de DS, FN, passes e posse de bola. A estatística circular foi utilizada para retornar o ângulo médio e dispersão angular do ângulo de acoplamento das díades, sendo aplicado o teste de *Mann-Whitney* para comparar os valores. Foram encontrados valores menores de distância entre adversários em partidas de nível nacional. Os períodos 75 e 90 min apresentaram maior distância entre atletas frente aos demais períodos. Correlações significativas ocorreram entre a distância e o número de DS ($r = -0,64$), passes certos ($r = 0,53$) e passes errados ($r = -0,36$) dos adversários. Nas sequências ofensivas o padrão antifase foi menos frequente que os outros em todas as situações e a relação em fase teve maior permanência. Sequências concluídas em FN apresentaram menor dispersão angular e percentual inferior em fase no deslocamento lateral. Os achados demonstram que o nível de proximidade é maior em uma competição mais exigente, mas essa relação é afetada pelo decorrer da partida. Além disso, sugere que se manter próximo ao adversário pode aumentar as chances de sucesso defensivo, bem como preservar a relação em fase com oponente.

Palavras-chave: Análise de desempenho. Coordenação interpessoal. Cinemática. Sistemas dinâmicos. Tática.

CAETANO, Fabio Giuliano. **Characterization of the interaction between the nearest opponent athletes during football official matches at different levels of competition.** 2016. 93 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação Associado em Educação Física – UEM/UEL) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The relationship between opponent athletes, components of a dyad, can provide important information regarding the performance and interaction between the teams. Thus, the purpose of the study was to characterize the interaction between the nearest opponents during official matches of football at different levels of competition. Specifically, it was analyzed the magnitude of this distance in offensive sequences ended shot to goal (ST) or tackle (TK), as well as the interpersonal coordination pattern of the dyads. We recorded images of eight matches (four of national level and four regional). The position information of the players and technical actions were obtained using of DVideo software. The Euclidean distance between the two nearest opponents was calculated as a function of time. The patterns of coordination were analyzed by the vector coding technique and the relative frequencies of coordination classified in "anti-phase", "phase", "phase of the defensive player" and "phase of the offensive player" were calculated. The values of distance between athletes from different positions, matches periods, competition level and the percentages of permanence in different patterns of coordination were compared by the analysis of variance (ANOVA) followed by the post hoc of Tukey. The minimum distance, maximum, amplitude and at moment of the ST and TK were compared by the Wilcoxon ranksum test. The Spearman correlation test evaluated the relationship of the distance values of the athletes and the number of the TK, ST, passes and ball possession. The circular statistics was used to return the mean angle and angular dispersion of the coupling angle of the dyads and Mann-Whitney test was applied to compare the values. We found smaller distance values on the national level matches. The periods of 75 and 90 min showed greater distance between the athletes compared to the other periods. Significant correlations occurred between the distance and the number of DS ($r = - 0.64$), correct passes ($r = 0.53$) and wrong passes ($r = - 0.36$) of the opponents. As well as greater distances on the sequences of ST compared to TK. In the offensive sequences, the antiphase pattern was less frequent than the others in all situations, and the "phase" had greater frequency. Sequences concluded on ST showed less angular dispersion and lower percentage of the phase in the lateral displacement. The findings show that the proximity level is higher in high level competition, but this relationship is affected during the match. Furthermore, results suggested that remaining near of the opponent may increase the chances of defensive success, as well as preserve an in phase relationship with the opponent.

Keywords: Dynamics systems. Interpersonal coordination. Kinematics. Performance analysis. Tactics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Figura 1 – Exemplo de configuração do posicionamento das câmeras	38
2	Figura 2 – Imagens obtidas através de um exemplo de enquadramento das câmeras	39
3	Figura 3 – Interface do <i>software</i> DVideo utilizada para o processo de segmentação, exibindo os algoritmos na parte superior, a imagem original na parte inferior direita, e os <i>blobs</i> obtidos na parte inferior esquerda	41
4	Figura 4 – Representação da construção dos grafos. A partir de uma sequência de imagens (A), criam-se os <i>blobs</i> (B), que foram utilizados para a construção do grafo (C). Cada vértice representa um ou mais <i>blobs</i> (indicado com o número dentro do círculo), ligados por uma aresta	42
5	Figura 5 – Trajetória de atletas identificadas ao longo de uma sequência de imagens	43
6	Figura 6 – Apresentação de alguns pontos utilizados como coordenadas de referência para o processo de homografia	44
7	Figura 7 – Interface do <i>software</i> DVideo para o registro das ações técnicas exibindo a sequência de imagens na parte superior, logo abaixo a barra de ações e na parte inferior a lista de registro	45
8	Figura 8 – Exemplo de representação do local de atuação de um jogador através de mapa de superfície	46
9	Figura 9 – Critérios de classificações das posições dos jogadores (Fonte: Adaptado de Di Salvo ²⁶)	46
10	Figura 10 – Representação da identificação das díades e a distância entre os adversários mais próximos	48
11	Figura 11 – Exemplo de séries temporais das coordenadas longitudinais de um lateral (LA) e um meia (ME) de equipes adversárias	49
12	Figura 12 – Gráfico de movimento relativo da série temporal de posição dos jogadores e visão ampliada de três ângulos de acoplamento	50

13	Figura 13 – Projeção de um ângulo de acoplamento para determinação do padrão de coordenação	51
14	Figura 14 – Exemplos de diferentes tipos de padrão de coordenação	52
15	Figura 15 – Propriedades retangulares do círculo unitário exemplificando quatro pontos com suas coordenadas retangulares (X e Y), tamanho do vetor médio (r) e seu respectivo ângulo (θ).....	56
16	Figura 16 – Exemplos de distribuições circulares com diferentes valores de dispersão	57
17	Figura 17 – Resultados de correlação da distância mediana de todas as díades para cada equipe com o (A) número de desarme realizado, (B) finalização ao gol sofrida, (C) passe certo realizado pela equipe adversária (EA), passe errado realizado pela EA e (E) posse de bola da EA	65
18	Figura 18 – Representação de <i>box plot</i> da distância mínima (A), máxima (B), amplitude (C) e no momento da ação técnica (D) entre as díades durante as sequências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol	66

LISTA DE TABELAS

1	Tabela 1 – Descrição das equipes e jogos analisados	36
2	Tabela 2 – Classificações dos padrões de coordenação baseados na técnica <i>vector coding</i>	51
3	Tabela 3 – Valores de frequência relativa ao tempo de jogo de ocorrência das díades de acordo com as posições de jogo	60
4	Tabela 4 – Valores de média e desvio padrão da distância entre as díades compostas por diferentes posições	62
5	Tabela 5 – Resultados estatísticos de comparação da distância entre as díades de acordo com as posições de jogo, períodos e níveis das partidas.....	63
6	Tabela 6 – Valores de média e desvio padrão da distância entre cada jogador (discriminado em suas respectivas posições) e seu adversário mais próximo, em diferentes períodos e níveis da partida	64
7	Tabela 7 – Resultados estatísticos de comparação da distância entre cada jogador (discriminado em suas respectivas posições) e seu adversário mais próximo, em diferentes períodos da partida	64
8	Tabela 8 – Valores de percentual de permanência em cada padrão de coordenação, ângulo médio e dispersão angular apresentados em graus referentes as análises de coordenação entre as díades durante as sequências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Atacante
ATAT	Atacante com atacante
ATLT	Atacante com lateral
ATME	Atacante com meia
ATVL	Atacante com volante
ATZG	Atacante com zagueiro
AVI	<i>Audio Video Interleave</i>
DLT	<i>Direct Linear Transformation</i>
DS	Desarme
EA	Equipe adversária
FN	Finalização ao gol
GPS	<i>Global Positioning System</i>
LA	Lateral
LPM	<i>Local Position Measurement</i>
LTAT	Lateral com atacante
LTLT	Lateral com lateral
LTME	Lateral com meia
LTVL	Lateral com volante
LTZG	Lateral com zagueiro
ME	Meia
MEAT	Meia com atacante
MELT	Meia com lateral
MEME	Meia com meia
MEVL	Meia com volante
MEZG	Meia com zagueiro
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
VLAT	Volante com atacante
VLLT	Volante com lateral
VLME	Volante com meia
VLVL	Volante com volante
VLZG	Volante com zagueiro
VO	Volante

ZG	Zagueiro
ZGAT	Zagueiro com atacante
ZGLT	Zagueiro com lateral
ZGME	Zagueiro com meia
ZGVL	Zagueiro com volante
ZGZG	Zagueiro com zagueiro

LISTA DE SÍMBOLOS

C_1	Posição do jogador defensivo
C_2	Posição do jogador ofensivo
i_{ec}	Jogador da equipe com posse de bola
i_{es}	Jogador da equipe sem posse de bola
\tan^{-1}	Arco tangente
DA	Dispersão angular
X	Coordenada retangular no eixo x
Y	Coordenada retangular no eixo y
$\cos \alpha$	Cosseno de ângulo alfa
\cos	Cosseno
d	Distância euclidiana em relação aos adversários
$i\#$	# Instante de tempo
n	Total de <i>frames</i> analisados
r	Tamanho do vetor médio
$\sin \alpha$	Seno de ângulo alfa
\sin	Seno
x	Coordenada na direção longitudinal
y	Coordenada na direção lateral
θ	Ângulo
θ_{vc}	Ângulo de acoplamento
θ_m	Ângulo médio

LISTA DE EQUAÇÕES

- 1 Equação 1 – $d_{j_{es}}(i) = \sqrt{(x_{j_{ec}} - x_{j_{es}})^2 + (y_{j_{ec}} - y_{j_{es}})^2}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j_{es} = 1, \dots, 10$, $j_{ec} = 1, \dots, 10$ 47
- 2 Equação 2 – $\theta_{vc}(i) = \tan^{-1} \left(\frac{c_2(i+1) - c_2(i)}{c_1(i+1) - c_1(i)} \right)$, $i = 1, 2, \dots, n - 1$ 49
- 3 Equação 3 – $X = \frac{\sum \cos(\theta_{vc}(i))}{n}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 55
- 4 Equação 4 – $Y = \frac{\sum \text{sen}(\theta_{vc}(i))}{n}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 55
- 5 Equação 5 – $r = \sqrt{X^2 + Y^2}$ 55
- 6 Equação 6 – $\cos \alpha = \frac{x}{r}$ 55
- 7 Equação 7 – $\text{sen} \alpha = \frac{y}{r}$ 55
- 8 Equação 8 – $\theta_m = \tan^{-1} \left(\frac{\text{sen} \alpha}{\cos \alpha} \right) \times \frac{180}{\pi}$ 55
- 9 Equação 9 – $\theta_m = \begin{cases} \theta_m, & \theta_m > 0 \\ 360 + \theta_m, & \theta_m < 0 \end{cases}$ 55
- 10 Equação 10 – $DA = \frac{180}{\pi} \times \sqrt{2 \times (1 - r)}$ 57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema	16
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	23
1.3.1	Objetivo Geral	23
1.3.2	Objetivos Específicos	23
1.4	Hipóteses de pesquisa	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Futebol	25
2.2	Sistemas para análises de jogo	25
2.3	Análises da exigência física e técnica	27
2.4	Análises táticas	28
2.4.1	Interações coletivas	30
2.4.2	Interações interpessoais	33
3	MÉTODOS	35
3.1	Caracterização do estudo	35
3.2	População e Amostra	35
3.3	Local	36
3.4	Instrumentos/Equipamentos e Tarefas	36
3.5	Procedimentos experimentais	37
3.5.1	Coleta de Dados	37
3.5.2	Rastreamento	39
3.5.3	Registro e Arquivamento das Ações Técnicas	44
3.5.4	Classificação das Posições dos Atletas	45
3.6	Variáveis de estudo	47
3.6.1	Distância Euclidiana entre Jogadores	47
3.6.2	Padrão de Coordenação Interpessoal	48
3.7	Análise dos dados	53
3.8	Análise estatística	53

4	RESULTADOS.....	59
5	DISCUSSÃO	68
6	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS.....	76

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problema

As pesquisas científicas vêm aumentando sua importância no futebol, bem como a aceitação por parte dos profissionais que atuam na modalidade ¹, sendo consideradas fatores importantes para melhora constante no nível de desempenho esportivo ². Dessa forma, uma grande variedade de técnicas é utilizada para analisar as atividades dos jogadores durante as partidas ou sessões de treinamento. Inicialmente as análises foram realizadas através do registro de ações realizadas pelos jogadores durante as partidas através de um sistema de anotações manual ³ e computadorizado ⁴. A demanda física das partidas também despertou interesse de pesquisadores, sendo analisada através de estimativa da distância percorrida pelos jogadores ⁵.

Posteriormente, os recentes avanços tecnológicos possibilitaram a realização de análises da demanda física de partidas ou sessões de treinamento de forma mais precisa e menos trabalhosa através da determinação da posição dos atletas em função do tempo. Dessa forma, foram realizadas pesquisas com a utilização de potenciômetros acoplados a câmeras ⁶⁻⁹, do *Global Positioning System* (GPS) ^{10, 11} e também do sistema *Local Position Measurement* (LPM) ¹²⁻¹⁴. Entretanto, esses sistemas apresentam um custo elevado e necessitam que os atletas portem sensores durante os jogos para viabilizar o registro das suas posições ao longo do tempo ^{15, 16}. Sendo assim, os procedimentos de rastreamento automático baseados em videogrametria passaram a ser aplicados no futebol ¹⁷⁻²⁰ devido a possibilidade de analisar o deslocamento de diversos indivíduos em simultâneo ^{15, 21} e não possuir a necessidade de dispositivos junto aos atletas ¹⁶.

Dessa forma, a demanda física durante partidas oficiais foi analisada através da distância total percorrida pelos jogadores, distância percorrida em diferentes faixas de velocidade ou até mesmo examinando especificamente os esforços de alta intensidade ²²⁻²⁴. As pesquisas que avaliaram a influência dos diferentes períodos das partidas demonstraram uma queda no desempenho físico dos jogadores no segundo tempo em relação ao primeiro ²³⁻²⁵. Quando comparada a demanda física de diferentes posições de jogo dos atletas, também foram

encontradas diferenças ²⁵⁻²⁸. O nível do oponente também influencia na demanda física das partidas, sendo menor quando as equipes enfrentam oponentes mais fracos ²⁹. A análise da exigência técnica também foi realizada em competições oficiais por meio da quantificação e registro da região do campo em que ocorreram ações, como por exemplo, chutes, desarmes, passes, entre outras ^{30, 31}. Corroborando os resultados sobre o desempenho físico dos atletas, foi verificado que a demanda técnica das partidas sofre um decréscimo do primeiro tempo para o segundo ^{31, 32}. A exigência técnica também apresentou diferenças quando comparadas duas competições ³³, assim como atletas de diferentes posições apresentam características distintas no volume de ações técnicas realizadas ³⁴. Além disso, foi verificado que o perfil técnico das equipes foi influenciado pelo sistema tático adotado pelas equipes durante o jogo ³². Dessa forma, a inclusão de aspectos táticos, como por exemplo, posições de jogo dos atletas e sistema de jogo das equipes em análises do desempenho físico e técnico dos jogadores sugere um crescente interesse dos pesquisadores nessa área, confirmando a ideia de outros autores que destacaram a relevância dessa variável para pesquisas científicas no esporte ^{35, 36}.

Os aspectos táticos das partidas também podem ser analisados a partir do registro de posição dos jogadores em função do tempo ³⁷. Através dessas informações, é possível chegar a representação do local de atuação do atleta ³⁸, analisar a distribuição dos jogadores pelo campo ³⁹ e, além disso, identificar a variabilidade posicional dos jogadores, bem como a organização tática das equipes durante a competição ⁴⁰. Sendo assim, características táticas das equipes passaram a ser analisadas durante as partidas através da aplicação de modelos matemáticos. Essas análises foram realizadas através de variáveis como o cálculo da área de ocupação das equipes, representando em metros quadrados a área de cobertura de cada equipe ⁴¹⁻⁴⁴. O espalhamento foi outra variável utilizada para analisar a organização das equipes, obtido através do cálculo da distância euclidiana entre jogadores da mesma equipe, apresentando um valor de dispersão em metros para cada equipe ^{41, 43, 45}. As medidas de área de ocupação e espalhamento foram comparadas em diferentes situações durante as partidas, ambas apresentando valores superiores em momentos que a equipe estava com posse de bola (ataque) em relação à quando estava sem posse de bola (defesa) ⁴³. Nesse estudo os

autores também verificaram que na fase defensiva os valores de área de ocupação e espalhamento eram maiores quando a equipe sofria finalização ao gol. Similarmente, na fase ofensiva quando as equipes conseguiam realizar a finalização ao gol, os valores de área de ocupação e espalhamento também eram superiores. Outro estudo realizou a comparação da frequência de oscilação da área de ocupação e espalhamento das equipes entre primeiro e segundo tempo, demonstrando que a velocidade de reorganização das equipes é maior no primeiro tempo ⁴⁵. Além disso, a organização tática das equipes já foi analisada através de outro modelo obtido através do cálculo da distância média de todos atletas de linha de cada equipe, representando o centroide da equipe ⁴⁶. Essa análise permite avaliar a interação entre as equipes através da distância entre os centroides das equipes, ou até mesmo o deslocamento de ambos ao longo do tempo ^{41, 47-49}.

A relação entre equipes adversárias também foi examinada através de valores de posição do centroide, área de ocupação e espalhamento na fase ofensiva de partidas ⁵⁰. Nesse estudo foi utilizada uma análise de correlação para demonstrar a similaridade entre os valores de posição dos centroides ao longo do tempo, demonstrando que eles possuem a tendência de deslocamento semelhante. Além disso, foi verificada uma correlação positiva entre valores de área de ocupação e espalhamento com ocorrência de gols, ou seja, os valores dessas variáveis táticas eram superiores em situações ofensivas que foram concluídas em gols. Outros autores analisaram a relação entre as equipes durante a fase ofensiva das partidas através das séries temporais de espalhamento ⁵¹. Essas séries temporais são os valores de espalhamento ordenados para cada instante de tempo respectivos a cada equipe. A partir dessas informações é possível analisar a coordenação entre dois osciladores, representando a relação entre eles ⁵². Dessa forma, Moura e colaboradores ⁵¹ utilizaram a técnica de *vector coding* devido a possibilidade de classificação de diversos padrões de coordenação entre as equipes. Sendo assim, foi visualizado que em ataques concluídos em finalização ao gol a relação de antifase ou fase da equipe atacante era maior comparado a ataques concluídos em desarme. Exemplificando, o padrão de antifase ocorre quando uma equipe aumenta seu valor de espalhamento enquanto a outra diminui, e "fase da equipe atacante" ocorre quando a mesma altera seu valor de espalhamento e a equipe adversária não altera ou altera com certa defasagem

temporal.

Partindo em busca da investigação da relação entre adversários, diversos pesquisadores propõem a utilização da análise de coordenação entre os deslocamentos dos atletas ou equipes ao longo do tempo⁵³⁻⁵⁵. Entretanto, Glazier⁵⁶ sugere que as análises dos comportamentos individuais podem representar o comportamento do grupo como um todo, além de elucidar como os atletas influenciam e são influenciados por todo o sistema dinâmico que eles compõem. Dessa forma, o comportamento individual foi analisado inicialmente pela determinação do local de atuação dos atletas⁵⁷, bem como através do diagrama de *Voronoi*⁵⁸. Esse método foi utilizado para representar a área em metros quadrados de responsabilidade de cada jogador durante partidas oficiais, demonstrando que cada posição de jogo possui característica distinta em relação ao tamanho da sua área de domínio⁵⁹. A coordenação entre atletas da mesma equipe também foi avaliada, demonstrando diferentes níveis de coordenação entre as posições de jogo e equipes mais coordenadas quando a equipe adversária é de nível de competição superior⁶⁰. Outros pesquisadores destacam a relevância da análise das interações entre jogadores adversários, na qual é possível obter informações importantes a respeito do desempenho das equipes^{53, 61, 62}. Dessa forma, pesquisas foram realizadas analisando a relação entre díades constituídas por dois atletas adversários durante sessões de treinamento com jogos em campo reduzido, sendo um atacante e um defensor⁶³⁻⁶⁵. A distância entre os jogadores e a bola foi avaliada, demonstrando que conforme aumenta a proximidade ao gol a distância entre a bola e o defensor diminui⁶³. Outro estudo demonstrou que, conforme os atletas se aproximam do gol, a distância entre eles diminui, assim como a velocidade de deslocamento aumenta, especialmente para os atacantes⁶⁴. A relação entre as distâncias dos jogadores para o gol apresentou maior variabilidade em oportunidades de sucesso do atacante, ou seja, quando ele conseguiu ultrapassar o defensor⁶⁵. Além disso, foi analisada a coordenação entre atacantes e defensores durante um tempo de uma partida oficial, sendo visualizado que a relação entre os jogadores ocorre predominantemente em fase e perturbações nesse padrão pode representar tentativas de finalização ao gol⁶⁶.

Sendo assim, a literatura apresenta dados a respeito da relação entre atacantes e zagueiros adversários durante simulações de jogos em

treinamentos^{63, 64}, ou durante um tempo de uma partida⁶⁶. Entretanto, essa relação não foi analisada durante partidas oficiais ou até mesmo entre díades formadas por jogadores de diferentes posições. Essa análise possibilita verificar o grau de proximidade dos atletas, a frequência de proximidade de atletas das diferentes posições de jogo. Além disso, em diversos estudos foi demonstrado que o nível técnico das equipes influencia na demanda física da partida²⁹, bem como na exigência técnica³³ e até mesmo em aspectos táticos das equipes⁶⁰. Similarmente, diferenças nas variáveis físicas, técnicas e organização tática das equipes entre o primeiro e segundo tempo de partidas foram demonstradas por pesquisas anteriores^{23-25, 31, 32, 45}. Porém não se sabe quanto o nível técnico das equipes (equipes de diferentes níveis de competição, por exemplo) afeta a relação de díades compostas pelos adversários mais próximos, ou até mesmo o comportamento dessa variável nos diferentes períodos das partidas. As pesquisas realizadas no futebol também apontam comportamentos táticos coletivos distintos em situações de ataque que ocorrem finalização ao gol ou desarme^{43, 50, 51}. No entanto, a relação entre díades durante esses momentos decisivos não foi explorada durante partidas oficiais no futebol, apesar de já ter sido alvo de pesquisas em diversas modalidades como no rúgbi⁶⁷, basquete⁶⁸, e no futsal⁶⁹⁻⁷¹. Esses estudos ressaltam a importância dessa análise em momentos específicos das partidas, como por exemplo, em situações de ataque quando um jogador tenta realizar uma finalização ao gol e o jogador adversário tenta impedi-lo, assim como sugerido em outros estudos para pesquisas futuras no futebol^{50, 66}. Dessa forma, informações sobre a relação dos adversários mais próximos durante momentos decisivos das partidas possibilitam visualizar o comportamento dos atletas em situações que afetam diretamente o desempenho na modalidade.

1.2. Justificativa

Os aspectos táticos do futebol têm sido amplamente estudados através de modelos matemáticos com o intuito de analisar a organização das equipes de forma coletiva^{43, 46, 49} e individual^{57, 59}. Outros estudos buscaram avaliar o comportamento individual dos jogadores através da relação com o adversário utilizando o deslocamento do jogador com posse de bola⁷², bem como a distância entre os jogadores mais próximos⁶⁴, a distância entre os jogadores e a bola⁶³, ou até mesmo a relação da distância de ambos para o gol⁶⁵, destacando a importância

das ações individuais e a interação entre os adversários mais próximos, denominados de díades, para compreender o desempenho na modalidade. Essas análises demonstram a relevância em identificar o grau de proximidade entre atletas que compõem as díades. Entretanto, esses estudos foram realizados durante sessões de treinamento com jogos em campo reduzido ou simulações de situações específicas de uma partida. Sendo assim, esses resultados podem não representar o que ocorre durante uma partida oficial, corroborando resultados que sugerem que o tamanho da área de jogo⁷³ ou número de jogadores⁷⁴ tem influência nos padrões de interação das equipes. Além disso, a ausência de outros jogadores pode alterar o comportamento durante as simulações, não refletindo a real complexidade de uma partida, na qual os atletas são considerados elementos de um sistema dinâmico que estão interagindo constantemente⁷⁵.

Partindo dessa abordagem de sistema dinâmico, alguns pesquisadores analisaram a coordenação entre as equipes durante partidas de futebol através do cálculo de correlação^{50, 76}, bem como através da técnica de transformada de *Hilbert*^{66, 77}. No entanto, em pesquisas nessa modalidade esportiva apenas um estudo foi realizado com a aplicação da técnica *vector coding* para avaliar a coordenação do espalhamento de equipes adversárias⁵¹, apesar dessa ferramenta já ter sido utilizada para analisar a coordenação no movimento humano⁷⁸⁻⁸¹, bem como no âmbito esportivo⁸². Além disso, pesquisadores sugerem que ela possui pontos positivos frente às outras técnicas e deve ser considerada uma opção para avaliar diferentes padrões de coordenação entre dois osciladores⁵². Outros estudos buscaram avaliar a coordenação no futebol utilizando dois osciladores, nesses casos constituídos por jogadores de uma mesma equipe^{60, 83}, assim como díades formadas por atacantes e defensores de equipes adversárias⁶⁶. A análise da coordenação entre dois adversários vem sendo amplamente estudada em diversos esportes coletivos⁶⁷⁻⁷¹. Entretanto, apesar de ser considerada uma abordagem interessante, na análise do futebol foi pouco explorada. Quando utilizada, limitou-se a atacantes e defensores⁶⁶, sendo negligenciadas díades formadas por jogadores que exercem outras funções durante o jogo. Além disso, é sugerido avaliar o comportamento de coordenação em situações específicas durante a partida⁶², assim como pesquisas com objetivo de analisar o desempenho na modalidade devem considerar variáveis contextuais⁸⁴.

Nesse sentido alguns estudos foram realizados com intuito de analisar a influência de diferentes níveis de equipe sobre o desempenho durante as partidas^{60, 85-88} bem como verificar a demanda em relação as diferentes posições de jogo²⁵⁻²⁸. Outras pesquisas investigaram a *performance* dos jogadores no primeiro tempo em comparação com o segundo^{23-25, 31, 32, 45}. Além disso, a coordenação entre díades foi analisada em momentos críticos do jogo em diversas modalidades⁶⁷⁻⁷¹. No entanto, a influência dessas variáveis sobre aspectos táticos de partidas oficiais foi pouco explorada no futebol.

Dessa forma, com base nos pontos apresentados pela literatura anteriormente é possível identificar que há uma lacuna sobre a relação entre os adversários mais próximos durante partidas oficiais. Embora estes estudos tenham trazido valiosas contribuições acerca das análises táticas do futebol, algumas questões ainda precisam ser sanadas, tais como:

- Qual a magnitude da distância entre os adversários mais próximos ao longo da partida e a frequência de ocorrência dessas díades de acordo com as posições de jogo em diferentes níveis de competição?

- Há diferenças na relação entre os atletas que constituem as díades em situações específicas de finalização a gol e desarme?

Sendo assim, identificar a distância entre os adversários mais próximos e compreender como ocorre a formação dessas díades ao longo das partidas pode auxiliar na caracterização do comportamento tático dos atletas. Além disso, analisar o padrão de coordenação entre díades durante situações determinantes do jogo (como desarmes e finalizações) possibilita uma melhor compreensão do desempenho tático da modalidade, principalmente em momentos decisivos. Essas informações serão de extrema valia para construção de conhecimento da modalidade, promovendo fundamentação teórica para pesquisadores da área, bem como fornecendo subsídios aos profissionais que atuam como técnicos ou treinadores no planejamento e execução de suas funções.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo do presente estudo foi caracterizar a interação entre os atletas adversários mais próximos durante partidas oficiais de futebol de diferentes níveis de competição.

1.3.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos como metas a serem atingidas ao longo da pesquisa:

- Compreender o grau de proximidade entre os jogadores adversários de acordo com as diferentes posições de jogo dos atletas em diferentes níveis de competição (nacional e regional);

- Analisar a distância entre jogadores adversários em momentos de desarme ou finalização ao gol, bem como sua relação com o número de passes certos e errados da equipe atacante;

- Caracterizar a coordenação interpessoal entre jogadores adversários durante sequências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol.

1.4. Hipóteses de pesquisa

H₁ – A distância entre os atletas adversários é menor em partidas de nível de competição superior;

H₂ – A distância entre os atletas adversários é maior durante o segundo tempo em comparação ao primeiro;

H₃ – Nas situações em que a equipe realiza o desarme os atletas estão mais próximos de seus adversários, em comparação à situação quando a equipe sofre a finalização ao gol;

H₄ – As equipes que apresentam menores valores de distância

realizam mais desarmes, sofrem número menor de finalizações ao gol, seus adversários realizam menos passes certos, mais passes errados e apresentam menor posse de bola;

H₅ – O padrão de coordenação entre as díades apresenta maior oscilação em situações de finalização ao gol, assim como em situações de desarme os atletas apresentam maior permanência no padrão de coordenação em fase.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Futebol

O futebol é um esporte de campo, realizado com duas equipes contendo 11 jogadores cada, sendo 10 atletas de linha e um goleiro. Os técnicos das equipes podem realizar ainda a substituição de três jogadores durante a partida. O jogo ocorre em uma área retangular de 90 m a 120 m de comprimento por 45 m a 90 m de largura. As partidas têm a duração de 90 min divididos em dois períodos de 45 min, sendo adicionados acréscimos se o árbitro julgar necessário ⁸⁹. Atualmente a comunidade do futebol compreende 209 organizações e aproximadamente 270 milhões de jogadores, técnicos, árbitros, entre outros participantes ⁹⁰. A modalidade é considerada o esporte mais popular do mundo sendo praticada por homens e mulheres, em diversas faixas etárias e níveis de desempenho ⁹¹. Devido a sua popularidade, o futebol desperta alto interesse financeiro e uma crescente busca por recursos que possibilitem melhorar o desempenho dos atletas. Sendo assim, esse esporte tem sido alvo de um número cada vez maior de pesquisas envolvendo diversas áreas da ciência ⁹². O desempenho no futebol é mais complexo do que em esportes individuais porque ele deve ser analisado de forma individual referente aos atletas, bem como o trabalho da equipe como um todo ⁹³. Dessa forma, o futebol no contexto científico aborda conceitos de física, matemática, economia e outras áreas com intuito de avaliar ações dos jogadores e aspectos básicos do jogo para tentar avaliar a chance de decisão dos resultados nesse esporte ⁹⁴. Assim como pesquisas na área da biomecânica podem fornecer informações relevantes para o progresso da modalidade ⁹⁵.

2.2. Sistemas para análises de jogo

O estudo pioneiro em análise de jogos foi realizado por Reep e Benjamin ³, com intuito de avaliar o desempenho de jogadores de futebol através de um sistema de anotações. Os pesquisadores realizavam o registro de ações, como por exemplo, passes ou chutes a gol. Além disso, caracterizavam essas ações através de informações a respeito da região de origem e o desfecho das jogadas, ou seja, local onde se iniciou e qual foi o resultado da jogada. Dessa forma, era construído um conjunto de dados no qual se aplicavam análises estatísticas com

objetivo de identificar tendências relacionadas ao sucesso em atingir o gol adversário ³. Posteriormente, Hughes ⁴ utilizou um sistema computadorizado de anotações para registrar as ações e ocorrência de situações durante as partidas destacando a possibilidade de análises do desempenho técnico e tático dos jogadores e equipes e sendo assim de grande utilidade no processo de intervenção dos treinadores, como por exemplo, no planejamento de estratégias a longo e curto prazo, treinamento e seleção de talentos. Além disso, a demanda física dos atletas era avaliada através da relação de esforço e repouso. Reilly e Thomas ⁵ acreditavam que, analisando-se variáveis como a distância percorrida durante uma partida, bem como a distância percorrida em diferentes intensidades, inferências sobre a demanda física do futebol poderiam ser realizadas. Os autores realizaram o registro das imagens do jogador durante a partida através de uma câmera e quantificaram o número de passos que o atleta realizava em diferentes categorias de movimento, como por exemplo, caminhada, corrida e *sprinting*. Através do comprimento estimado da passada do atleta, a distância percorrida em diferentes intensidades foi quantificada.

Esses estudos ³⁻⁵ e os recentes avanços tecnológicos possibilitaram a realização de diversas pesquisas com intuito de quantificar a demanda física dos atletas durante as partidas e sessões de treinamentos através da determinação da posição do atleta em função do tempo de forma mais precisa. Foram realizados estudos que utilizaram um par de câmeras com potenciômetros acoplados para determinar a posição dos atletas, permitindo avaliar os resultados de distância percorrida em diferentes faixas de velocidade logo após o término da partida ⁶⁻⁹. Entretanto, esse método não possibilita a análise simultânea de mais de um atleta o que limita a realização de análises táticas, bem como a compressão da influência dessa variável sobre a exigência física da partida ¹⁵. Outros estudos utilizaram o GPS para determinar a posição de indivíduos em função do tempo ⁹⁶⁻⁹⁸, inclusive no futebol ^{10, 11, 99, 100}. Esse sistema possibilita a análise dos deslocamentos dos atletas em diferentes faixas de velocidade, assim como os dados de posição e deslocamento podem ser utilizados em análises táticas logo após o evento em esportes de campo ^{16, 101}. Além disso, fornece o número e intensidade de colisões sofridas pelos atletas ¹⁰². Porém, a acurácia desse sistema sofre influência do número de conexões de satélites disponíveis e a configuração do terreno ¹⁰³. Além

disso, o GPS pode não fornecer medidas com um bom nível de acurácia durante deslocamentos de alta intensidade ¹¹. O LPM também foi utilizado em pesquisas envolvendo futebol ^{12-14, 41, 73}. O LPM possui uma alta frequência de aquisição e possibilita diversas análises ¹². Entretanto, esse sistema pode sofrer interferências eletrônicas e a força do sinal pode ser influenciada pelo tamanho da área do campo ¹⁰⁴. Estudos que avaliaram o pico de aceleração, desaceleração e velocidade instantânea em movimentos dinâmicos, demonstraram que a acurácia do LPM em movimentos altamente dinâmicos é limitada ^{13, 105}. Além disso, o LPM e o GPS necessitam que os atletas portem sensores durante as partidas e são sistemas altamente sofisticados que apresentam um custo elevado ^{15, 16}. Dessa forma, procedimentos de rastreamento automático baseados em videogrametria ¹⁰⁶⁻¹⁰⁹ desenvolvidos para analisar o movimento humano passaram a ser aplicados no futebol ¹⁷⁻²⁰.

Os sistemas de rastreamento através de vídeo possuem algumas limitações, como por exemplo, a necessidade de realização de diversas etapas de processamento de imagem o que demanda mais tempo para a análise ¹¹⁰. Além disso, em situações em que os atletas se cruzam ou se encontram muito próximos podem ocorrer erros de identificação dos atletas, havendo a necessidade de intervenção humana ¹⁰³. Entretanto, há a possibilidade de analisar o deslocamento de todos os atletas, bem como os árbitros, e a bola durante a partida inteira ^{15, 21}, possibilitando análises individuais e coletivas em desempenho físico, tático ou técnico. O outro ponto positivo desses sistemas é que não há necessidade de nenhum dispositivo junto aos atletas, possibilitando as análises durante partidas oficiais sem intervenção nenhuma aos jogadores ¹⁶. Além disso, análises com esse sistema já foram realizadas com frequência de aquisição de 30 Hz ^{111, 112}, sendo suficiente para fornecer informações a respeito de deslocamentos humanos ¹¹³.

2.3. Análises da exigência física e técnica

As primeiras pesquisas envolvendo competições oficiais foram realizadas com intuito de compreender a demanda física das partidas através de variáveis como a distância total percorrida, bem como a distância percorrida em diferentes faixas de velocidade ou análise dos esforços de alta intensidade ²²⁻²⁴. As pesquisas demonstram que os atletas percorrem aproximadamente de 10 a 12 km

durante as partidas, sendo grande parte dessa distância percorrida em baixa intensidade^{23, 25-27, 114, 115}. As mudanças de atividade durante o jogo também foram identificadas, ocorrendo em média a cada quatro segundos¹¹⁶, sendo portanto, caracterizado como um esporte intermitente no qual o metabolismo aeróbio é predominante^{115, 117, 118}. Além disso, diversos estudos analisaram essas variáveis relacionadas às posições dos jogadores, demonstrando que atletas que atuam no meio de campo ou laterais são mais exigidos fisicamente durante a partida²⁵⁻²⁸. Foi analisada a influência de variáveis contextuais, como o nível de oponente^{27, 29}, local da partida, e o resultado parcial ou final do jogo¹¹⁹ no qual foi verificada uma demanda física superior em equipes de nível superior^{27, 29}, assim como em partidas disputadas como mandante e momentos em que a equipes estava perdendo¹¹⁹.

As pesquisas, com objetivo de analisar o desempenho físico no futebol, utilizaram frequentemente a comparação entre o primeiro e segundo tempo, visualizando queda de desempenho durante o segundo tempo, sendo percorrida uma distância menor ou até mesmo reduzindo ações de alta intensidade^{23, 25, 27}. A exigência técnica também foi analisada com a quantificação das ações que ocorreram durante as partidas, como por exemplo, chutes, desarmes, passes, entre outras³⁰⁻³⁴. Os pesquisadores também analisaram o desempenho técnico dos jogadores durante os períodos da partida, encontrando um decréscimo no número de passes e passes realizados com sucesso durante o segundo tempo quando comparado ao primeiro^{31, 32}. Além disso, o desempenho técnico foi avaliado de forma individualizada de acordo com a posição dos atletas, sendo visualizado um número maior de passes para atletas do meio de campo e taxa de sucesso superior em duelos de cabeça para os defensores^{33, 34}. Identificou-se também que o sistema tático adotado pelas equipes durante o jogo pode reduzir ou aumentar a demanda técnica das partidas³². Portanto, a inclusão de aspectos táticos nas análises sugere o aumento de interesse dos pesquisadores sobre a sua influência no desempenho dos atletas, corroborando a ideia de autores que destacaram anteriormente a importância dessa variável para a pesquisa científica no esporte^{35, 36}.

2.4. Análises táticas

A tática no esporte compreende às estratégias realizadas pelos atletas ou equipes visando obter sucesso em situações enfrentadas durante as

competições ou partidas ¹²⁰. Mitchell ¹²¹ descreve tais situações como problemas táticos e destaca que quando a equipe tem a posse de bola deve adotar estratégias de ataque, com intuito de marcar o gol, e quando se encontra sem posse de bola deve se defender para evitar que a equipe adversária marque o gol. Assim, em situações de ataque deve-se executar tarefas como manter a posse de bola, atacar em direção ao gol, criar espaço no ataque e usá-lo efetivamente. Entretanto, em situações de defesa os atletas devem defender o espaço, bem como seu próprio gol e ganhar a posse de bola.

Frencken e colaboradores ⁴¹ sugerem que durante a partida ocorre um padrão repetitivo de situações de ataque e defesa. Os comportamentos individuais e coletivos durante as partidas podem ser registrados e através de ferramentas matemáticas serem realizadas análises quantitativas do jogo ¹²². Além disso, Moura ³⁷ destaca que a identificação da posição dos atletas em função do tempo possibilita a análise dos aspectos táticos durante as partidas. Através do registro das coordenadas bidimensionais de um jogador durante a partida e a aplicação da análise por componentes principais foi realizada a representação do local de atuação do atleta ³⁸, tornando possível a análise da distribuição dos jogadores pelo campo ³⁹, ou até mesmo identificar o sistema de jogo das equipes sem a necessidade do processamento de toda a partida ¹²³. Nesse estudo, Menezes e colaboradores ¹²³ identificaram que há pouca variação no posicionamento dos jogadores após os 18 minutos de jogo. Além disso, esse método permite identificar a variabilidade posicional dos jogadores, bem como a organização tática das equipes durante a competição ⁴⁰.

A organização das equipes em campo também já foi analisada através de outros modelos matemáticos, como a área de ocupação, sendo representada pelo cálculo da área de um quadrilátero definido a partir da posição dos jogadores mais próximos das extremidades do campo ⁴². Posteriormente, outros pesquisadores ^{41, 43, 44} representaram a área de ocupação através da área de um envoltório convexo formado a partir da posição todos os jogadores de linha da equipe. O espalhamento foi outra variável utilizada para analisar a organização das equipes, obtida através do cálculo da distância euclidiana entre cada jogador da mesma equipe, gerando uma matriz na qual foi aplicado o cálculo da norma de *Frobenius* ^{43, 45}. Os resultados de espalhamento e área de ocupação apresentaram

valores superiores em momentos que a equipe estava com a posse de bola em comparação quando estava sem posse de bola. Quando analisada a perspectiva da equipe atacante, a mesma era mais dispersa, ou seja, apresentou valores maiores quando conseguiu realizar a finalização ao gol em comparação à quando sofreu o desarme. Considerando a equipe defensiva, essa era mais compacta em situações que realizou o desarme em relação à quando sofreu a finalização ⁴³. A partir de uma análise espectral na série temporal de espalhamento e área de ocupação das equipes durante as partidas, os pesquisadores encontraram valores de frequência de oscilação maiores no primeiro tempo comparado ao segundo, ou seja, a velocidade com que os atletas se distribuem e se reorganizam é superior na primeira etapa da partida ⁴⁵.

A partir das coordenadas dos jogadores, é possível também calcular a posição média de todos os atletas de linha de uma mesma equipe, representando assim o centro geométrico da equipe, denominado centroide ⁴⁶. Dessa forma, é possível investigar a interação entre as equipes através da distância entre os centroides, bem como do comportamento dos centroides visualizado a partir dos deslocamentos nas diferentes direções ao longo do tempo.

2.4.1. Interações coletivas

O futebol, de forma semelhante a outras modalidades coletivas apresenta-se como um sistema dinâmico, no qual ocorre uma complexa relação de competição entre as equipes e cooperação dos membros de uma mesma equipe ¹²⁴. Um sistema dinâmico é uma estrutura com a capacidade de auto-organização que gera um padrão estável para um conjunto de situações ¹²⁵. Sugere-se que o jogo acontece em um padrão estável de oscilação em momentos de ataque e defesa, e que perturbações nesse sistema podem representar situações determinantes ^{126, 127}. Memmert e colegas ¹²⁸ destacam que a análise da interação dos centroides pode descrever o fluxo rítmico de ataque e defesa que ocorre durante as partidas. Estudos foram realizados utilizando essa técnica para analisar a interação entre os centroides das equipes durante sessões de treinamento ^{41, 47}, ou partidas de futsal ⁴⁸. Segundo Yue e colegas ⁴⁶ a amplitude do deslocamento dos centroides das equipes na direção lateral é muito menor em relação a longitudinal, comportamento esperado devido as dimensões do campo e características da

modalidade (esporte de invasão). Além disso, os centroides apresentam amplitudes de deslocamento na direção longitudinal próximas as amplitudes de deslocamento da bola nessa mesma direção. A interação entre os jogadores e os centroides já foi avaliada de forma mais específica em partidas simuladas, sendo definido um centroide para cada grupo de atletas referente à sua função ou posicionamento em campo (por exemplo, defensores, meio-campistas e atacantes) ⁴⁹. Nessa pesquisa foi visualizado que os jogadores ficam mais próximos aos centroides relativos as suas próprias posições de jogo.

A relação entre adversários também foi alvo de investigações de diversos pesquisadores que propõem a utilização da análise de coordenação entre os deslocamentos dos atletas ou equipes ao longo do tempo ⁵³⁻⁵⁵. A posição de um jogador durante a partida possui diversas informações ordenadas no tempo que constituem uma série temporal. Essa série temporal apresenta oscilações referentes à alteração na posição do jogador, sendo considerada um sinal oscilatório. Além disso, as séries temporais possuem características próprias de oscilação, como por exemplo, amplitude, fase e frequência que representam o quanto, como e com que velocidade oscilam. Dessa forma, a relação entre dois sinais oscilatórios, ou seja, dois osciladores, possibilita avaliar a coordenação entre eles. Corbetta e Thelen ¹²⁹ sugerem que a partir do cálculo de correlação entre dois conjuntos de dados é possível identificar padrões de coordenação entre eles. Assim, através da análise de similaridade entre séries temporais foi avaliada a coordenação da área de ocupação das equipes durante sessões de treinamento com jogos simulados de sete contra sete ⁷⁶, a coordenação entre os centroides das equipes, área de ocupação e o espalhamento durante partidas de futebol ⁵⁰. Os estudos reportaram uma alta sincronia no deslocamento dos centroides das equipes durante a partida, bem como das medidas de dispersão das equipes. Além disso, foi destacado que quebras nesse padrão podem ser relacionadas com momentos críticos do jogo, como por exemplo, tentativas de dribles, finalização ao gol ou desarmes.

Entretanto, Van Emmerik e colaboradores ⁵² ressaltam que as propriedades de coordenação podem ser identificadas através da relação de fase entre dois osciladores. Essa abordagem, denominada de fase relativa, foi representada em experimentos anteriores ¹³⁰⁻¹³². Essa análise apresenta padrões

de coordenação em fase ou contra fase, como por exemplo, quando os osciladores estão se deslocando para mesma direção ou em direções opostas, respectivamente. No futebol, um estudo analisou a coordenação entre os deslocamentos das equipes durante as partidas, bem como dos jogadores com a sua própria equipe ⁷⁷. Esse trabalho também demonstrou uma tendência de coordenação em fase entre as equipes, bem como dos atletas com a sua própria equipe. Esse método também foi utilizado para avaliar a relação dos atletas com centroides específicos às suas posições de jogo, sendo demonstrada um padrão de coordenação em fase entre eles ⁴⁹. Outra pesquisa ⁶⁶ utilizou essa mesma técnica para analisar a coordenação de deslocamento das equipes durante um tempo de uma partida oficial. Corroborando os trabalhos destacados anteriormente ^{49, 50, 77}, foi identificado que o padrão de coordenação no futebol é predominantemente em fase e perturbações nesse padrão ocorrem em momentos decisivos da partida.

A relação entre dois osciladores também pode ser analisada através da técnica *vector coding*, na qual há mais possibilidades de análise do padrão de coordenação. Esse método permite a identificação de mais dois padrões de coordenação, como por exemplo, identificar qual oscilador está “liderando” a série temporal ⁵². Diversos pesquisadores sugerem a utilização dessa análise para avaliar a coordenação entre osciladores durante o movimento humano ⁷⁸⁻⁸². Recentemente, Moura e colaboradores ⁵¹ aplicaram essa técnica para analisar a coordenação entre o espalhamento de equipes adversárias ao longo da partida e em situações de finalização ao gol e desarme. Nesse estudo, os pesquisadores identificaram que as equipes permanecem em fase durante grande parte da partida. Porém, quando observadas as situações de ataque que resultaram em finalização ao gol, foram achados valores superiores de coordenação em antifase em comparação a situações de ataque que foram concluídas em desarmes. Essas análises promovem informações a respeito da dinâmica do futebol e interação entre adversários que podem ser utilizadas na compreensão dessa modalidade. Entretanto, aspectos táticos e estratégias podem ser visualizados sob a perspectiva da equipe ou individualmente, sendo os atletas unidades operadoras com funções de acordo com o seu posicionamento ¹³³.

2.5. Interações interpessoais

A organização tática das equipes, bem como o comportamento individual pode ser representado com a determinação do local de atuação dos atletas ⁵⁷. Além disso, a área de responsabilidade dos jogadores também pode ser visualizada através do diagrama de *Voronoi* ⁵⁸. A representação da área de responsabilidade de cada jogador foi realizada anteriormente por meio dessa ferramenta durante sessões de treinamento ¹³⁴ e partidas oficiais ⁵⁹, sendo demonstrado que cada função no jogo possui característica distinta em relação ao tamanho da sua área de domínio.

Pesquisadores sugerem que o comportamento dos atletas também pode ser analisado através da interação entre dois jogadores, o que rotulam de díades ¹³⁵⁻¹³⁹. A relação entre díades constituídas por jogadores da mesma equipe foi analisada em períodos com número maior ou menor de dias de descanso entre os jogos ⁸³. Os autores reportaram que em partidas com mais dias de descanso os jogadores apresentaram maior nível de coordenação. Além disso, a relação entre colegas de equipe foi analisada e comparada de acordo com o nível técnico da equipe adversária ⁶⁰. Os atletas se apresentaram mais coordenados com seus colegas de equipe quando enfrentaram oponentes de nível superior. Outros pesquisadores destacam a relevância da análise das interações entre jogadores adversários, na qual é possível obter informações importantes a respeito do desempenho das equipes ^{53, 61, 62}. Além disso, compreender essas interações interpessoais auxilia na caracterização do jogo ¹⁴⁰.

Dessa forma, outras pesquisas foram realizadas analisando o comportamento individual dos atletas durante sessões de treinamento com jogos em campo reduzido, simulando situações específicas do jogo, classificadas como subfases do futebol. Esses estudos avaliaram as interações entre dois jogadores constituintes de uma díade, nesses casos definidos pelos adversários mais próximos, sendo um atacante e um defensor ^{63-65, 72}. Foram examinados os deslocamentos do atacante durante simulações de tentativas ofensivas em situações de risco, neutra e conservadora ⁷². Foram consideradas “situação de risco” quando a equipe do atacante estava perdendo e o mesmo deveria marcar gol o mais rápido possível, “conservadora” quando seu time estava ganhando e deveria

aguardar uma boa oportunidade de ataque, e “neutra” quando a tarefa deveria ser simplesmente tentar marcar o gol sem preocupações com o placar do jogo. Nesse estudo, foi visualizado diferentes comportamentos de deslocamento, assim como a duração das tentativas de ataque em cada situação. Outro estudo analisou as distâncias entre os jogadores e a bola durante tentativas de drible em diferentes regiões do campo ⁶³. Identificou-se que a distância entre o defensor e a bola diminui conforme os atletas se aproximam do gol. Recentemente, foram investigadas a distância, velocidade e amplitude angular entre díades formadas por atacante e defensor, sendo a amplitude angular representada pelo ângulo formado através da posição dos jogadores ⁶⁴. Nesse trabalho, foi verificado que a distância entre os atletas diminui quando aumenta a proximidade ao gol, assim como a diferença da velocidade e a amplitude angular aumenta especialmente quando o atacante tenta ultrapassar o defensor. Além disso, foi avaliada a relação entre as séries temporais dos valores de distância dos jogadores para o gol ⁶⁵. Demonstrando que em tentativas de sucesso dos atacantes apresentou-se um nível menor de coordenação entre as séries quando comparadas ao êxito dos defensores.

Recentemente, a relação entre atletas adversários foi investigada através da coordenação entre os deslocamentos de atacantes e defensores foi alvo de pesquisas no rúgbi ⁶⁷, basquete ⁶⁸, e no futsal ⁶⁹⁻⁷¹. Os autores destacam a relevância de compreender a relação entre atletas durante momentos decisivos da partida. No futebol a coordenação entre atacantes e zagueiros foi investigada durante um período de uma partida, demonstrando que a relação entre eles ocorre claramente em fase, bem como indicam a necessidade de se avaliar os momentos críticos das partidas ⁶⁶, assim como sugerido em outros estudos para pesquisas futuras no futebol ⁵⁰. Os pesquisadores ainda destacam que essa análise pode fornecer informações relevantes sobre o desempenho na modalidade. Assim, na busca de preencher parte desta lacuna ainda presente na literatura, o presente estudo teve como foco a análise da interação entre díades formadas por jogadores adversários, ao longo de toda partida, bem como em momentos determinantes do jogo, como situações de desarmes a finalizações.

3. MÉTODOS

3.1. Caracterização do estudo

Esse estudo foi constituído por uma pesquisa com delineamento transversal, sendo utilizada uma análise descritiva comparativa de natureza aplicada.

3.2. População e Amostra

A população do presente estudo é de jogadores brasileiros profissionais de futebol de diferentes níveis de competição. Dessa forma, amostra foi constituída por 204 atletas do sexo masculino, jogadores profissionais de futebol pertencentes a equipes que disputaram uma competição de nível nacional ($n = 103$) e equipes que participaram de uma competição regional ($n = 101$). Foram analisados quatro jogos do campeonato Brasileiro Série A do ano de 2008 e quatro jogos do campeonato Paulista Série A-2 de 2014. As descrições das partidas que foram analisadas nesse estudo podem ser visualizadas na Tabela 1. Além disso, foram analisadas 2394 sequências ofensivas para as comparações entre momentos de desarme ($n = 2156$) e finalização ao gol ($n = 238$).

Tabela 1. Descrição das equipes e jogos analisados.

Jogo	Equipes	Câmeras utilizadas	Competição	Ano de ocorrência	Dimensões do campo	Resultado da partida	Classificação final
1	Time 1	6	Brasileiro Série A	2008	105 x 68 m	0	13° ao 16°
	Time 2					3	5° ao 8°
2	Time 1	6	Brasileiro Série A	2008	105 x 68 m	1	13° ao 16°
	Time 2					1	9° ao 12°
3	Time 1	6	Brasileiro Série A	2008	105 x 68 m	1	13° ao 16°
	Time 2					2	1° ao 4°
4	Time 1	6	Brasileiro Série A	2008	105 x 68 m	1	13° ao 16°
	Time 2					1	1° ao 4°
5	Time 1	4	Paulista Série A-2	2014	105 x 68 m	1	1° ao 4°
	Time 2					0	1° ao 4°
6	Time 1	4	Paulista Série A-2	2014	105 x 68 m	1	1° ao 4°
	Time 2					0	17° ao 20°
7	Time 1	4	Paulista Série A-2	2014	105 x 68 m	2	1° ao 4°
	Time 2					1	13° ao 16°
8	Time 1	4	Paulista Série A-2	2014	105 x 68 m	3	1° ao 4°
	Time 2					1	5° ao 8°

3.3. Local

Os procedimentos de coleta dos jogos do Campeonato Brasileiro Série A ocorreram na cidade de Curitiba, estado do Paraná, no estádio Joaquim Américo Guimarães. A aquisição de dados das partidas do Campeonato Paulista Série A-2 ocorreu na cidade de Campinas, estado de São Paulo, no estádio Moisés Lucarelli.

3.4. Instrumentos/Equipamentos e Tarefas

A aquisição das imagens das partidas foi realizada utilizando de quatro a seis câmeras digitais da marca CASIO®, modelo EX-F1, com frequência de

aquisição de 30 Hz. Uma trena manual de fibra de vidro com escala de dois milímetros foi utilizada para medir as distâncias entre pontos específicos dos campos de jogo. Os processamentos das imagens e análise dos dados foram realizados em computadores pessoais. O *software* DVide©, versão 6.02 foi utilizado para registrar a posição dos atletas em função do tempo e as ações técnicas realizadas durante as partidas. As análises dos dados, bem como as análises estatísticas foram realizadas no *software* MATLAB[®], versão R2009a.

3.5. Procedimentos experimentais

Imagens de partidas oficiais de futebol foram registradas por meio de câmeras digitais. Posteriormente, essas imagens foram transferidas para o computador e sincronizadas. Após a sincronização, foram obtidas as informações de posição dos jogadores em função do tempo através do procedimento de rastreamento. Posteriormente, os momentos em que a equipe sofreu finalização ao gol ou realizou desarme foram identificados através de uma ferramenta que permite o registro e arquivamento das ações técnicas. Para identificar os atletas adversários mais próximos a cada instante de tempo (formando assim uma díade), foram calculadas as distâncias euclidianas de cada jogador para todos os jogadores da equipe adversária, identificando assim o jogador que estivesse mais próximo. A coordenação entre os atletas das díades foi analisada através da técnica *vector coding*. As distâncias euclidianas de cada díade formada, bem como os valores de frequência de ocorrência, foram analisadas ao longo da partida. Além disso, foram realizadas comparações entre momentos em que ocorreu finalizações e desarmes, entre diferentes períodos das partidas, entre posições de jogo dos atletas e entre os níveis de competição. Os dados de coordenação foram analisados durante os momentos de finalização ao gol e desarme. Todas estas etapas serão descritas em detalhes, conforme a seguir.

3.5.1. Coleta de dados

As imagens das partidas foram registradas através de quatro câmeras digitais. Posicionamos essas câmeras em pontos elevados do estádio onde permaneceram fixas do início ao fim do jogo (Figura 1). Cada câmera enquadrava aproximadamente um quarto do campo, com regiões de sobreposição

entre elas (Figura 2). Para algumas partidas foram adicionadas mais duas câmeras, cada uma enquadrando a área próxima ao gol de um lado do campo. Essas câmeras foram adicionadas com intuito de fornecer uma outra visão em lances de escanteio. Após o término das partidas, essas imagens foram transferidas para o computador na extensão “.avi” (*Audio Video Interleave*) com resolução de 480 por 640 *pixels*. Posteriormente, através da identificação de eventos específicos, como por exemplo, um chute que ocorreu nas regiões de sobreposição, sincronizamos as imagens das câmeras.

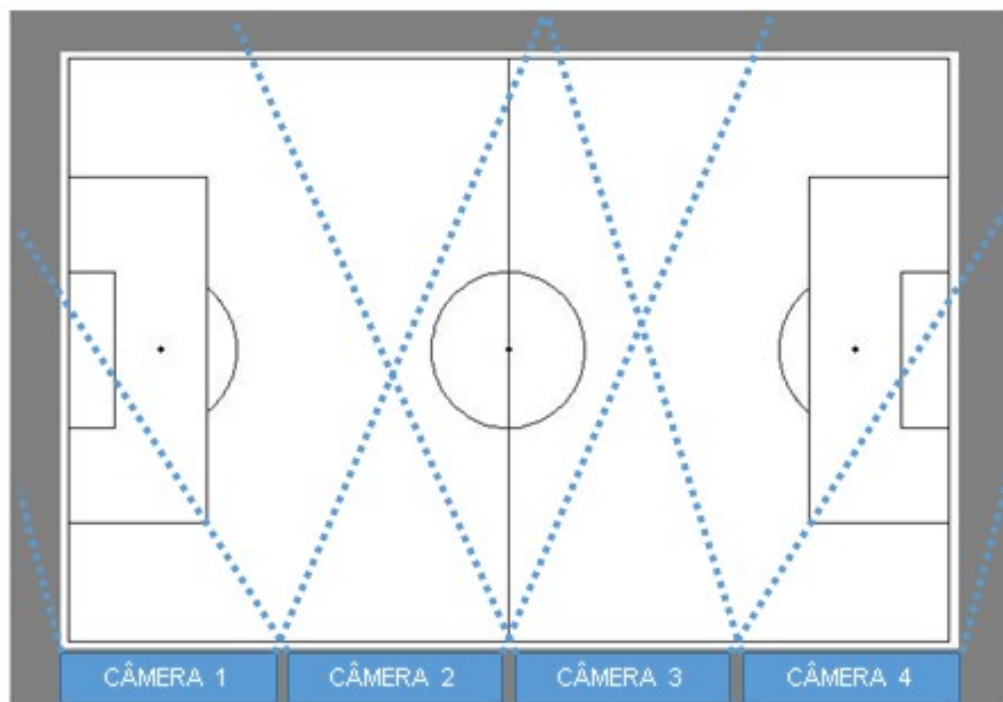


Figura 1. Exemplo de configuração do posicionamento das câmeras.

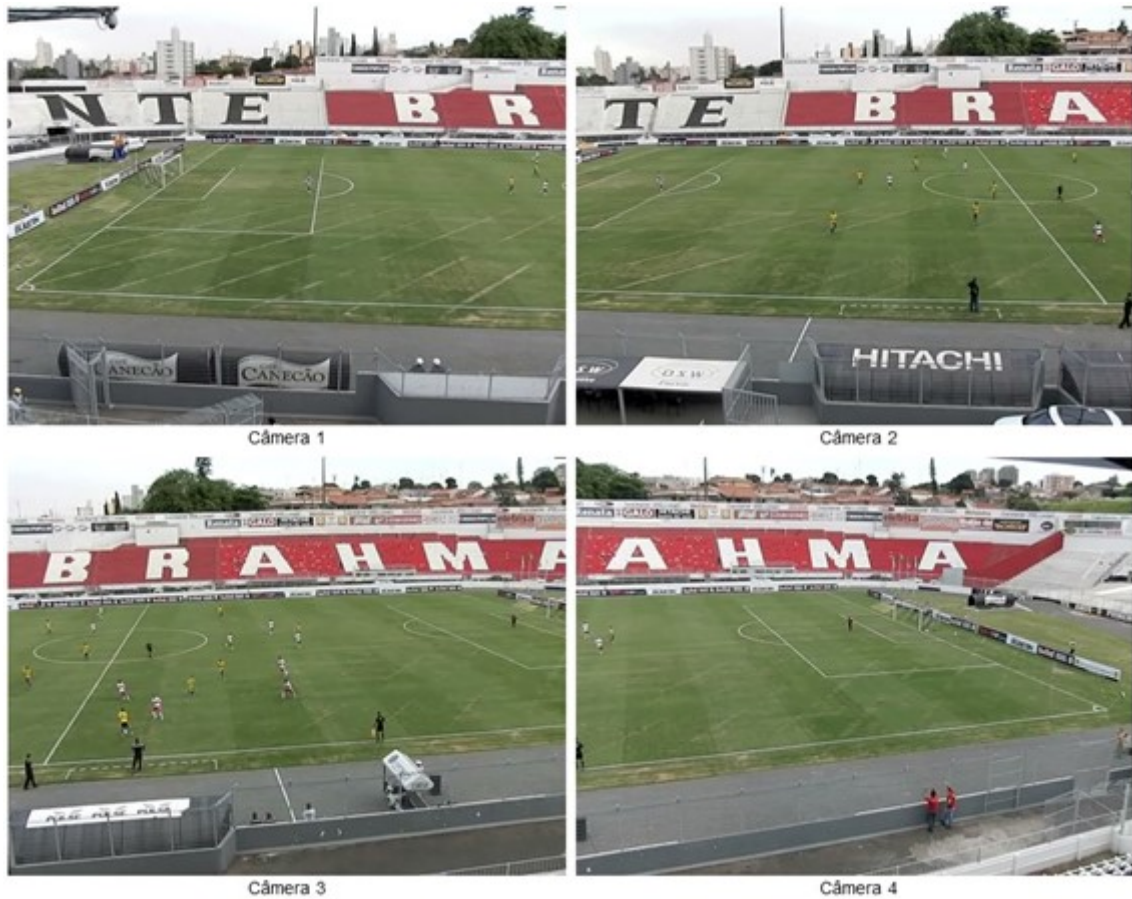


Figura 2. Imagens obtidas através de um exemplo de enquadramento das câmeras.

3.5.2. Rastreamento

Através do *software* DVideo, foram registradas as coordenadas de tela dos jogadores e conseqüentemente as trajetórias dos mesmos, de acordo com o método de rastreamento automático proposto anteriormente^{17, 18}. Esse sistema apresenta um erro médio de 0,3 m na determinação da posição do jogador, e erro relativo de 1,4 % para a estimativa de distância percorrida¹⁴¹. Os erros do sistema calculados por Misuta¹⁴¹ foram obtidos através do cálculo de acurácia. A acurácia é calculada através do valor de *bias* e precisão, sendo considerado *bias* o quão distante do valor esperado e precisão o quão aleatório são as medições. Assim, foram calculados os valores de *bias* e precisão em diversas medições, posteriormente, o valor de acurácia.

No rastreamento automático, identifica-se o objeto de interesse em um primeiro instante e o *software* identifica a posição desse objeto nos momentos seguintes. Quando o *software* identificou erroneamente a posição, a mesma foi

identificada de forma manual. O sistema possui taxa de 94 % de rastreamento automático para o futebol ¹⁸. Anteriormente ao processo de rastreamento automático foram realizados os procedimentos de segmentação e criação dos grafos.

A segmentação é o processo que possibilita ao *software* identificar automaticamente a posição do objeto de interesse, pois a função desse processo é justamente distinguir os elementos de interesse e elementos irrelevantes na imagem. O *software* disponibiliza uma interface configurável na qual são realizados diversos processos computacionais editados de acordo com as condições da coleta. Nesse procedimento o *software* considera o relevo topográfico definido pela intensidade de *pixels* da imagem do jogador em determinada região do campo. Isso ocorre através de diversas etapas, como por exemplo, a seleção da região de interesse ou a análise da variação de intensidade de cor dos *pixels* em diversos quadros (*frames*), sendo considerados elementos irrelevantes as imagens com valores de *pixels* constantes. Posteriormente, são obtidas imagens binárias e as regiões conexas recebem o nome de *blobs* (Figura 3). Cada *blob* possui informações sobre cor, tamanho e coordenadas.

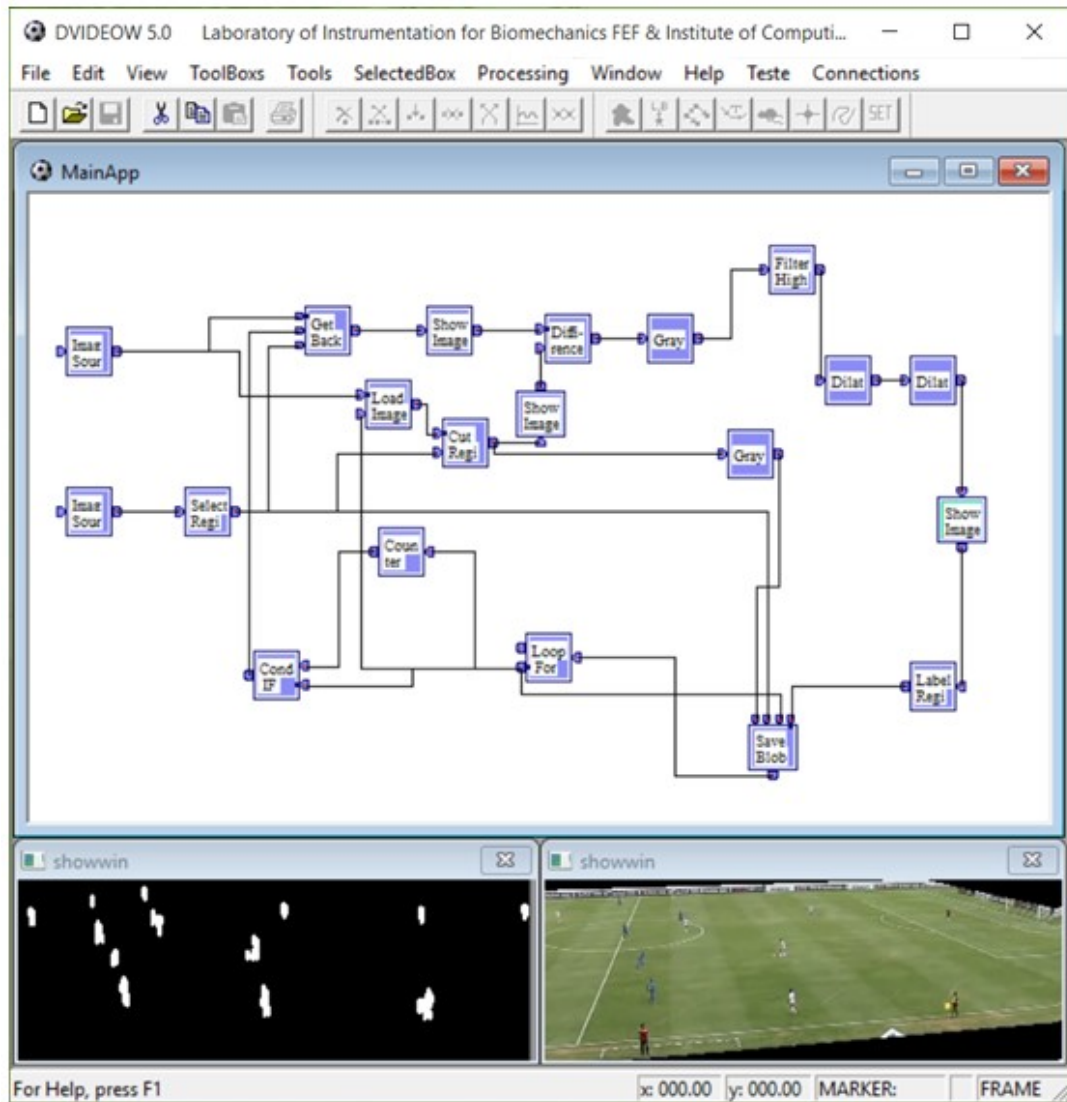


Figura 3. Interface do *software* DVideo utilizada para o processo de segmentação, exibindo os algoritmos na parte superior, a imagem original na parte inferior direita, e os *blobs* obtidos na parte inferior esquerda.

Essas informações obtidas no processo de segmentação são pontos discretos e são associadas às trajetórias dos jogadores através da teoria de grafos ¹⁴². O grafo é representado por um conjunto de vértices conectados por arestas, podendo ser visualizado em uma representação geométrica na qual os vértices são pontos distintos do plano e arestas são linhas unindo os pontos correspondentes ¹⁴². No presente estudo, vértices foram representados por um ou mais *blobs* e dois pontos poderiam ser conectados somente por uma aresta (Figura 4). Após serem associados os *blobs* aos jogadores, foi realizada a separação de *blobs* que possuem mais de um jogador, através do procedimento *splitting blobs*. Esse processo utiliza o próprio jogador como referência, bem como as

características presentes no *blob* anterior à junção.

Posteriormente, com base na intensidade das cores de uma região do corpo ou a combinação de diferentes regiões, foi identificado o grupo a que o jogador pertence. Essa intensidade é medida através da faixa de *Red*, *Green*, *Blue* (RGB). Assim, os *blobs* receberam cores distintas e são utilizados como parâmetros no momento do rastreamento, sendo a cor verde atribuída a faixas menos intensas de RGB e azul o inverso. Quando não foi possível identificar a qual grupo o jogador pertence, o *software* associa esse *blob* a uma terceira cor, o vermelho. Após a construção do grafo realizada a partir das informações dos *blobs* foi realizado o procedimento de rastreamento para cada jogador separadamente. A seleção do vértice no primeiro quadro foi realizada pelo operador, em sequência, o sistema buscou o próximo ponto baseado nas informações do grafo. A Figura 5 apresenta um exemplo de trajetórias dos jogadores identificadas ao longo de uma sequência de imagens.

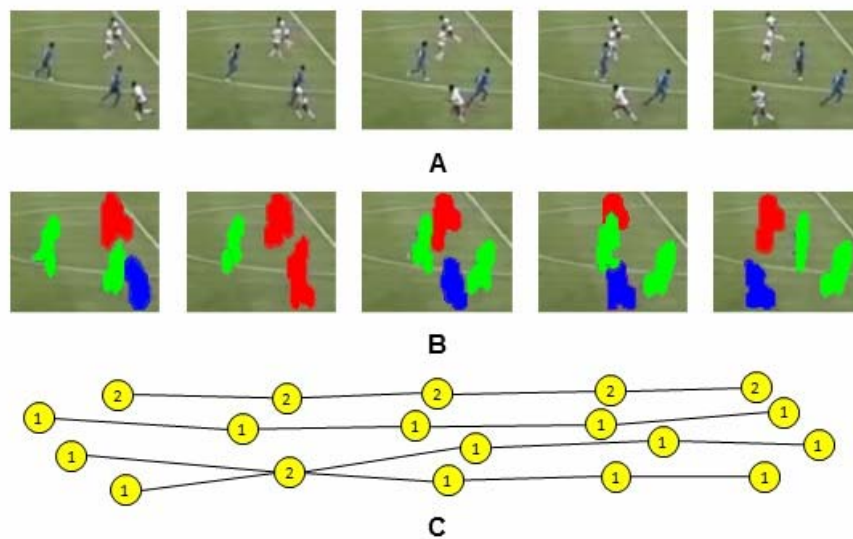


Figura 4. Representação da construção dos grafos. A partir de uma sequência de imagens (A) criam-se os *blobs* (B) que foram utilizados para a construção do grafo (C). Cada vértice representa um ou mais *blobs* (indicado com o número dentro do círculo), ligados por uma aresta.

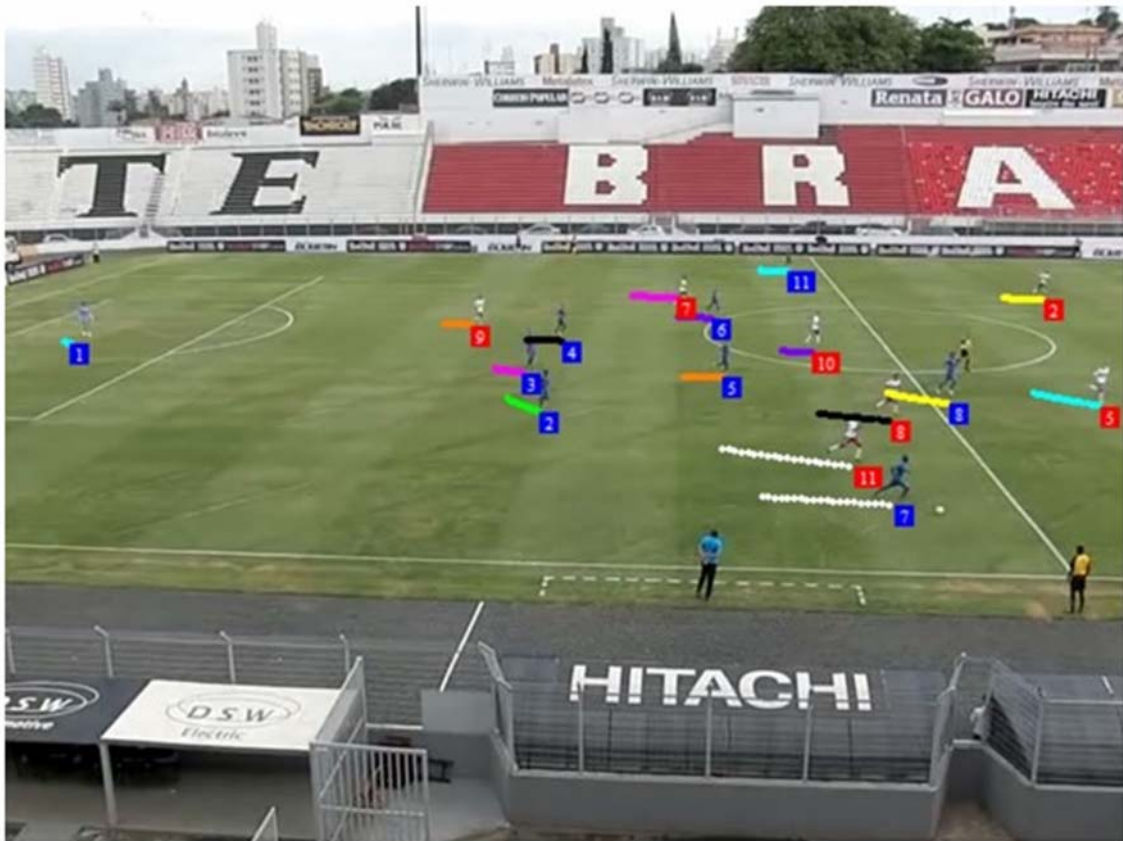


Figura 5. Trajetórias de atletas identificadas ao longo de uma sequência de imagens.

Após o registro da trajetória dos jogadores é necessário a realização do procedimento de homografia para obtenção das coordenadas dos mesmos em relação ao sistema de coordenadas associado à área de jogo. Para realizar a homografia, foram registradas coordenadas de pontos específicos em relação ao sistema de coordenadas associado ao campo utilizando-se de uma trena (Figura 6). No *software* DVideo, esses pontos foram identificados na imagem projetada e determinados os parâmetros de homografia baseados no método *Direct Linear Transformation* (DLT) proposto por Abdel-Aziz e Karara ¹⁴³, e posteriormente realizada a reconstrução das coordenadas bidimensionais dos atletas. Obtidas as coordenadas bidimensionais reais dos jogadores, as mesmas foram suavizadas através de um filtro digital passa-baixa *Butterworth* de 3º ordem com frequência de corte de 0,375 Hz. A frequência de corte utilizada foi definida de acordo com o método proposto por Misuta ¹⁴¹, seguido por uma análise de resíduos e derivadas apresentada por Cunha ¹⁴⁴.

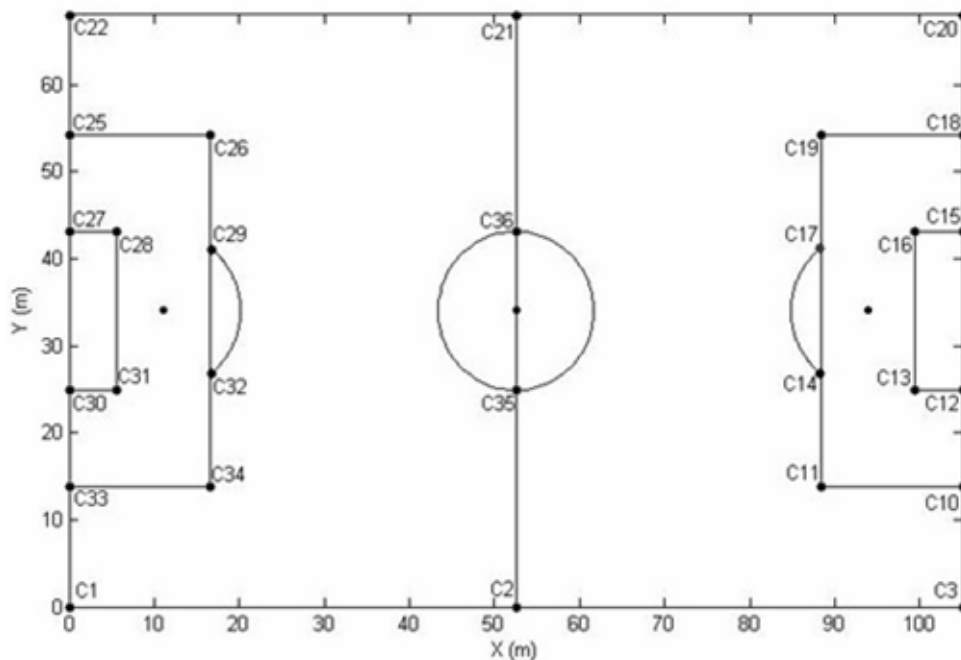


Figura 6. Apresentação de alguns pontos utilizados como coordenadas de referência para o processo de homografia.

3.5.3. Registro e arquivamento das ações técnicas

O *software* DVideo possibilita o registro de ações técnicas ou eventos que ocorreram durante a partida. Através de uma interface do *software* é possível identificar com o *mouse* os eventos de interesse enquanto a sequência de imagens é exibida (Figura 7). Sendo assim, foram registradas as ações técnicas realizadas pelos jogadores de ambas equipes durante as partidas. Após o registro desses eventos foi criado um algoritmo para identificar todos os instantes de tempo em que ocorreram a finalização ao gol ou o desarme, bem como identificar qual equipe estava com posse de bola em cada instante de tempo. Dessa forma, foi considerado que a equipe conquistou a posse de bola quando duas ações consecutivas foram realizadas por integrantes da mesma. Além disso, considerou-se que a equipe não perdeu a posse de bola caso tenha ocorrido uma ação realizada por um atleta da equipe adversária, mas a bola retornou a ela. Em momentos de jogo paralisado, a posse de bola foi atribuída à equipe que realizou a próxima ação.

Para analisar os momentos de finalização a gol e desarme, primeiramente foram definidas as sequências ofensivas, sendo consideradas seu

início o instante de tempo em que a equipe adquiriu a posse da bola, e a conclusão foi o momento em que ocorreu a finalização ao gol ou o desarme.

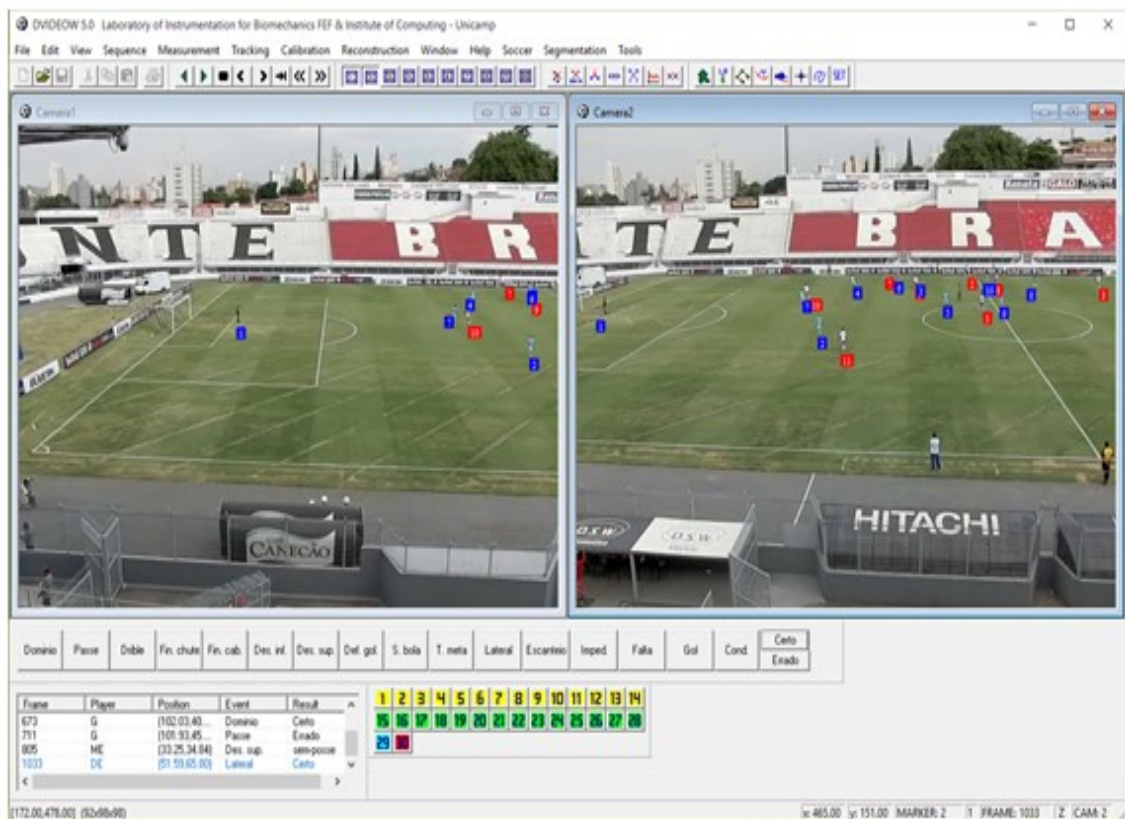


Figura 7. Interface do *software* DVideo utilizada para o registro das ações técnicas exibindo a sequência de imagens na parte superior, logo abaixo a barra de ações e na parte inferior a lista de registro.

3.5.4. Classificação da posição dos atletas

Após a obtenção das coordenadas bidimensionais dos atletas, as mesmas foram utilizadas para criação de um mapa de superfície para cada jogador, representando os locais de maior atuação durante a partida (Figura 8). Além disso, foi criado um mapa de superfície para cada equipe, possibilitando visualizar o posicionamento da equipe como um todo para parâmetro na definição da posição dos atletas. Através de uma análise visual desses mapas de superfície e identificação dos locais de maior atuação dos jogadores, foram classificadas as posições de cada atleta durante a partida, tomando como referência um modelo adaptado da classificação sugerida por Di Salvo e colaboradores²⁶ (Figura 9). Dessa forma, todos os jogadores de linha foram classificados em um dos cinco grupos de posições: zagueiro (ZG), lateral (LA), volante (VO), meia (ME) e atacante

(AT).

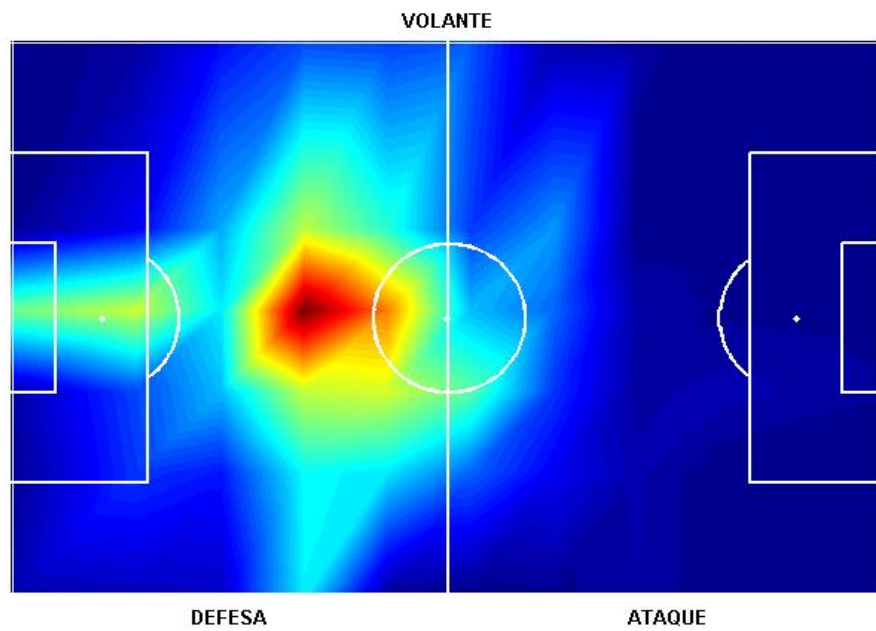


Figura 8. Exemplo de representação do local de atuação de um jogador através de mapa de superfície.

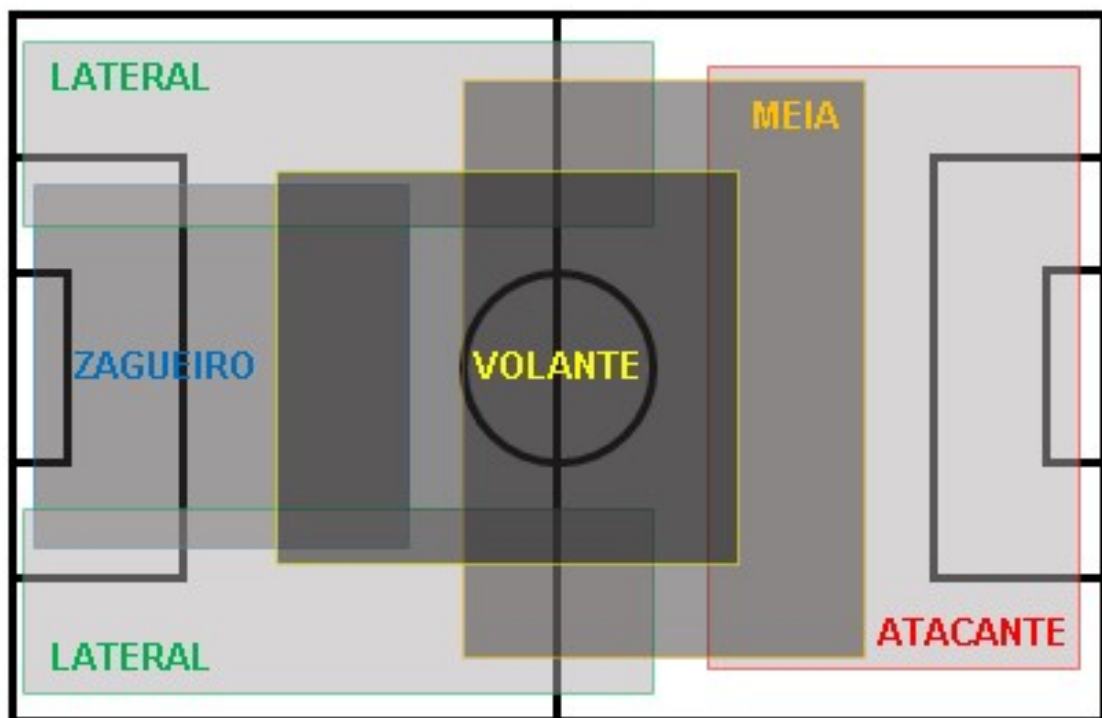


Figura 9. Critérios de classificações das posições dos jogadores (Fonte: Adaptado de Di Salvo ²⁶).

3.6. Variáveis de estudo

3.6.1. Distância euclidiana entre jogadores

A cada instante de tempo, através das posições dos jogadores, foi calculada a distância de cada atleta em relação a todos os membros da equipe adversária, exceto os goleiros. Foram realizados os cálculos tomando como referência os jogadores da equipe que se encontra sem posse de bola, conforme a equação abaixo:

$$d_{jes}(i) = \sqrt{(x_{jec} - x_{jes})^2 + (y_{jec} - y_{jes})^2}, i = 1, 2, \dots, n, j_{es} = 1, \dots, 10, j_{ec} = 1, \dots, 10 \quad (1)$$

Na qual i indica o instante de tempo e n o total de *frames* que os jogadores foram analisados. Na sequência o j representa o jogador analisado, es a equipe sem posse de bola, e ec a equipe com posse de bola. Posteriormente, foi identificado o atleta adversário mais próximo constituindo uma díade e registrada a distância que o mesmo se encontra (Figura 10). Foi considerado como defensivo o componente da díade que se encontra sem posse de bola e o jogador ofensivo quem está com a posse de bola. Dessa forma, poderá haver casos em que dois jogadores defensivos possuem como integrante de sua díade o mesmo atleta adversário, sendo analisados separadamente, ou seja, como duas díades (Figura 10). Além disso, foi quantificada a frequência de ocorrência em todos os casos de díades identificados durante as partidas. Em outras palavras, foi identificada a frequência com que cada jogador adversário se apresentou como adversário mais próximo. Essa análise permitiu identificar quais atletas compõem um número maior de díades ao longo da partida, e quais atletas atuam de forma que, preponderantemente, constituam díades com poucos jogadores adversários.

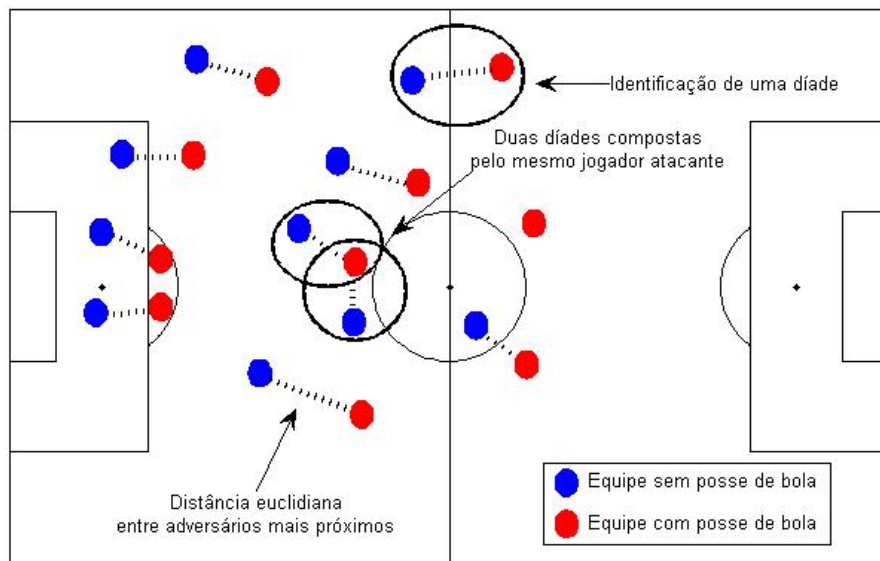


Figura 10. Representação da identificação das díades e a distância entre os adversários mais próximos.

3.6.2. Padrões de coordenação interpessoal

Após a identificação das díades, as coordenadas dos jogadores ao longo do tempo foram utilizadas para analisar a coordenação entre os integrantes de uma mesma díade. Através do processo de rastreamento, foram registradas coordenadas no eixo x e y de cada atleta, em cada instante de tempo, representando a posição em função do tempo e permitindo visualizar o deslocamento nas direções longitudinal e lateral, respectivamente. Dessa forma, o deslocamento de um jogador em uma direção ao longo do tempo pode ser visualizado como diversas informações de coordenadas ordenadas no tempo, ou seja, essas informações compõem uma série temporal (Figura 11). Essa série temporal apresenta oscilações que representam a mudança de posição do atleta, sendo assim um sinal oscilatório. Dessa forma, a coordenação entre dois atletas é uma análise da relação entre dois sinais oscilatórios, sendo exemplificada nesse caso pelo deslocamento dos dois jogadores no mesmo sentido (relação em fase), ou em sentidos opostos (relação em antifase) ao longo do tempo (Figura 11).

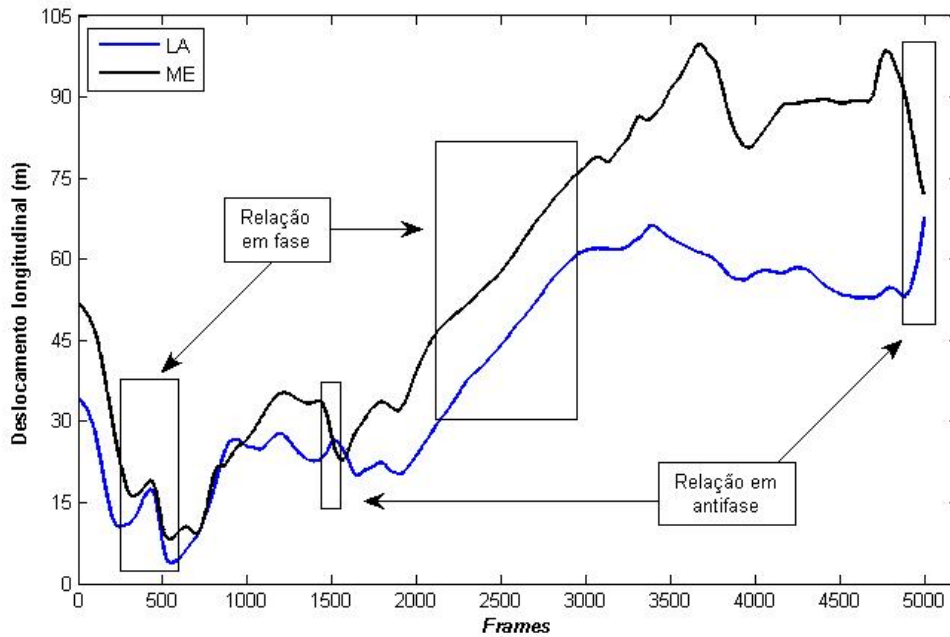


Figura 11. Exemplo de séries temporais das coordenadas longitudinais de um lateral (LA) e um meia (ME) de equipes adversárias.

A coordenação entre os jogadores adversários integrantes de uma mesma diáde foi analisada através da técnica *vector coding* proposta por Sparrow⁷⁸ e as classificações de padrões foram adaptadas conforme as sugeridas por Chang⁷⁹. Para isso, um gráfico de movimento relativo da posição dos dois jogadores foi construído (Figura 12) e analisados nas direções longitudinal e lateral separadamente, a partir das coordenadas bidimensionais dos atletas. Assim, C_1 no eixo x desse gráfico representa a coordenada do jogador defensivo, e a coordenada do jogador ofensivo é representada por C_2 no eixo y. O acoplamento entre C_1 e C_2 definido pela técnica *vector coding* foi quantificado pelo ângulo de acoplamento (θ_{vc}), representado pelo ângulo oriundo de um vetor ligando duas coordenadas consecutivas, relativo a horizontal direita (Figura 12). Posteriormente, esse ângulo é projetado no centro do gráfico de movimento relativo possibilitando visualizar o padrão de coordenação relativo a esse instante (Figura 13).

$$\theta_{vc}(i) = \tan^{-1} \left(\frac{C_2(i+1) - C_2(i)}{C_1(i+1) - C_1(i)} \right), i = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2)$$

Na qual i indica o instante de tempo e n representa o total de *frames* que os jogadores foram analisados. O ângulo de acoplamento representa uma

relação espacial instantânea de um dos quatro padrões de coordenação que podem ser identificados: (1) antifase, (2) fase, (3) fase do jogador defensivo e (4) fase do jogador ofensivo. Os quatro padrões são encontrados na vertical, horizontal e diagonais de 45°. Quando os ângulos de acoplamento são 45° e 225° (diagonal positiva), o acoplamento é em fase, ou seja, ambos os jogadores estão se deslocando na mesma direção. Entretanto, se os ângulos de acoplamento são 135° e 315° (diagonal negativa), o acoplamento é em antifase, o que representa que os jogadores estão se deslocando em direções opostas. No caso em que o ângulo de acoplamento se apresenta paralelo a horizontal (0° ou 180°), representa a fase do jogador defensivo, na qual ele lidera a série temporal, ou seja, o jogador defensivo se desloca e seu oponente não se movimenta ou o acompanha com certa defasagem temporal. Porém, ângulos de acoplamento direcionados na vertical (90° ou 270°), representam a fase do jogador ofensivo, ou seja, o jogador ofensivo está liderando a série temporal.

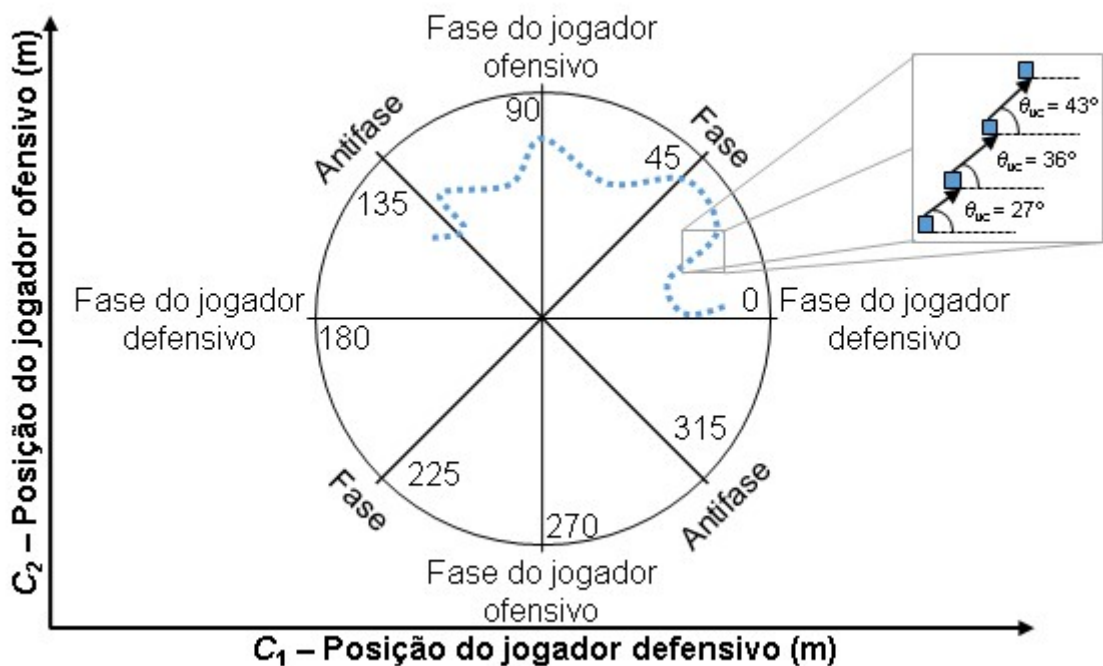


Figura 12. Gráfico de movimento relativo da série temporal de posição dos jogadores e visão ampliada de três ângulos de acoplamento.

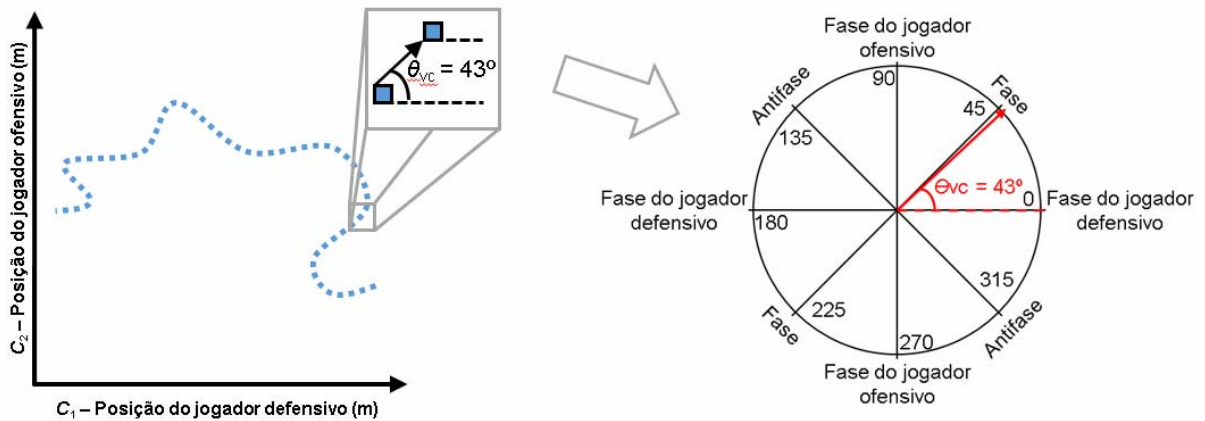


Figura 13. Projeção de um ângulo de acoplamento para determinação do padrão de coordenação.

Os ângulos de acoplamento foram classificados em um dos quatro padrões de coordenação (Tabela 2). O círculo de unidade foi dividido em partes de 45° , como não é sempre que os ângulos de acoplamento caem precisamente na vertical, horizontal ou diagonal de 45° . Além disso, foram quantificadas as frequências relativas de cada padrão de coordenação para cada díade formada.

Tabela 2. Classificação dos padrões de coordenação baseados na técnica *vector coding*.

Padrão de coordenação	Ângulos de acoplamento
Antifase	$112.5^\circ \leq \theta_{vc} < 157.5^\circ$, $292.5^\circ \leq \theta_{vc} < 337.5^\circ$
Fase	$22.5^\circ \leq \theta_{vc} < 67.5^\circ$, $202.5^\circ \leq \theta_{vc} < 247.5^\circ$
Fase jogador defensivo	$0 \leq \theta_{vc} < 22.5^\circ$, $157.5^\circ \leq \theta_{vc} < 202.5^\circ$, $337.5^\circ \leq \theta_{vc} \leq 360^\circ$
Fase jogador ofensivo	$67.5^\circ \leq \theta_{vc} < 112.5^\circ$, $247.5^\circ \leq \theta_{vc} < 292.5^\circ$

Segue abaixo exemplos dos diferentes tipos de padrão de coordenação entre os deslocamentos de dois atletas durante a partida (Figura 14).

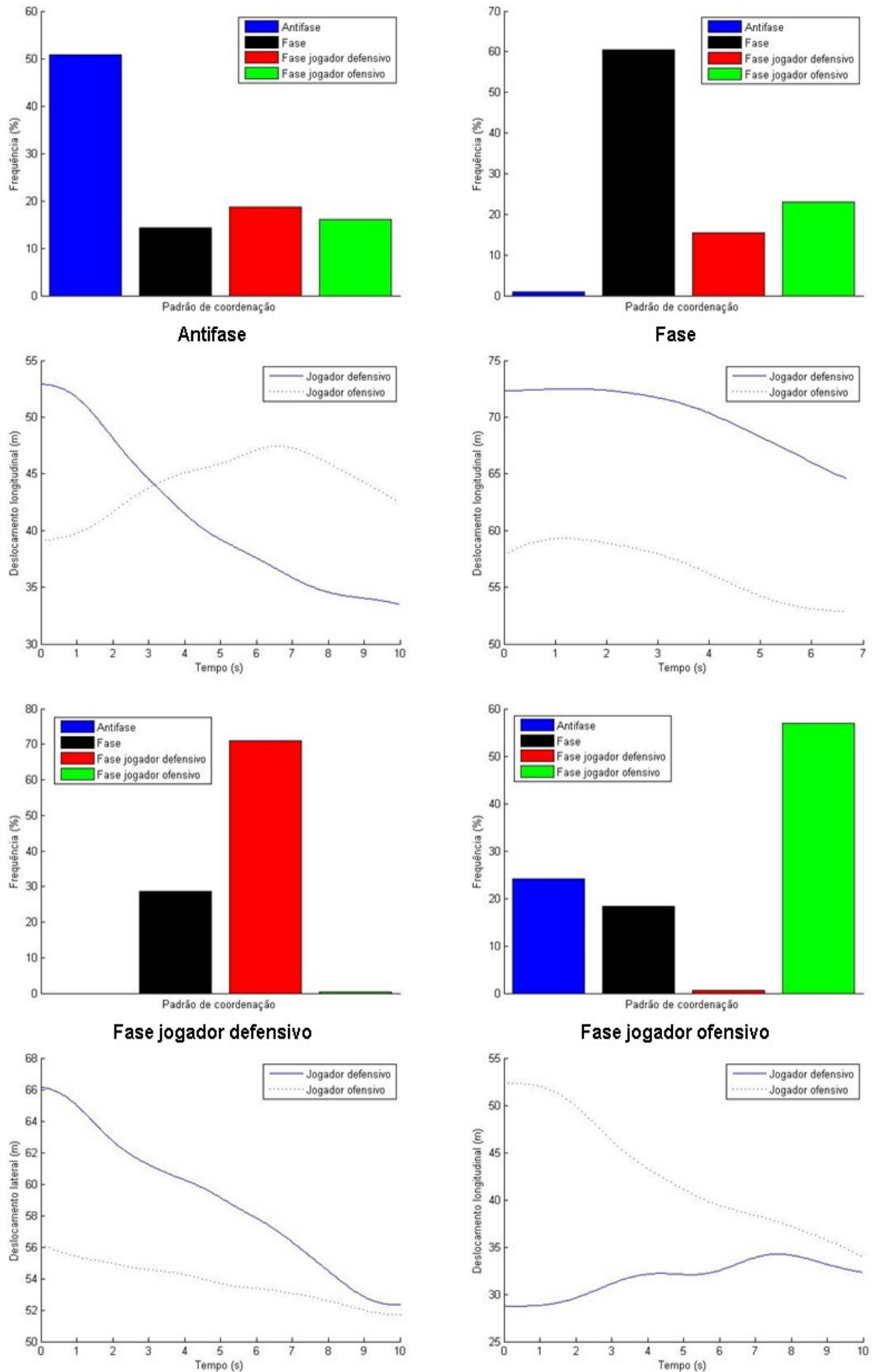


Figura 14. Exemplos de diferentes tipos de padrão de coordenação.

3.7. Análise dos dados

A distância entre os jogadores adversários mais próximos foi caracterizada durante toda a partida, a partir da sua magnitude e frequência de ocorrência das díades, bem como de acordo com a posição de jogo dos atletas que compõem a díade. Os valores de distância encontrados para os atletas durante as partidas foram utilizados para definição do valor de distância de suas respectivas equipes. Posteriormente, foi avaliada a relação dessas distâncias com dados de desempenho técnico das partidas. O comportamento de magnitude da distância entre os jogadores das díades, assim como os padrões de coordenação foram analisados em situações específicas de finalização a gol e desarme. Sendo assim, essas variáveis foram analisadas durante as sequências ofensivas, iniciando no momento em que a equipe adquire a posse de bola e a conclusão da sequência (finalização ao gol ou desarme). Os atletas envolvidos nessa análise são os que constituem as díades no momento da conclusão da sequência ofensiva, ou seja, o atleta que realizou a ação técnica e o adversário mais próximo naquele instante. Além disso, as ações de desarme ou finalização ao gol, oriundas de cobranças de escanteios e faltas foram excluídas das análises realizadas a partir das sequências ofensivas. Os procedimentos de estatística circular foram realizados para avaliar a tendência central e variabilidade do ângulo de acoplamento das díades durante as sequências ofensivas. Esse processo se fez necessário devido ao fato da estatística tradicional não fornecer medidas representativas nesse conjunto de dados.

3.8. Análise estatística

O teste de *Lilliefors* foi aplicado para verificar a normalidade dos dados. Além disso, os dados que foram comparados através da análise de variância (ANOVA) foram verificados enquanto a sua homogeneidade das variâncias através do teste de *Levene*. Assim, nos casos em que os dados apresentaram diferenças entre as variâncias, a transformação de *Box-cox* foi realizada para reduzir as anomalias, como não aditividade, não normalidade, e de heterocedasticidade.

As frequências relativas de formação de cada díade são apresentadas de maneira descritiva. O teste estatístico de ANOVA *three-way* foi utilizado para comparar os valores de distância euclidiana entre os atletas mais

próximos conforme três fatores: as posições em relação a todas posições (ex: ZG x ZG, ZG x LT, ..., ZG x AT), o período da partida (primeiro e segundo tempo) e nível de competição (nacional e regional). Os valores de distância também foram comparados através de outra ANOVA *three-way*, dessa vez considerando os seguintes fatores: as posições (ZG, LT, VO, ME, AT), período da partida (15, 30, 45, 60, 75 e 90 min), e nível de competição (nacional e regional).

O teste de correlação de *Spearman* foi utilizado para avaliar a relação entre os valores medianos da distância entre os adversários mais próximos e número de desarmes realizados, número de finalizações sofridas, número de passes certos realizados pela equipe adversária (EA), número de passes errados realizados pela EA e posse de bola da EA. Os números das ações técnicas foram normalizados pela posse de bola da EA. As classificações do coeficiente de correlação foram realizadas de acordo com o proposto por Mukaka ¹⁴⁵.

O teste *Wilcoxon rank sum* foi utilizado para comparar os valores mínimos de distância, máximos, amplitude (definida como a diferença entre o valor máximo e mínimo) e distância no momento da ação entre os componentes das díades durante as sequências ofensivas que foram concluídas em desarme ou finalização ao gol. Nesse caso os valores de distância foram apresentados em mediana e intervalo interquartil. As frequências dos padrões de coordenação foram comparadas através de uma ANOVA *two-way* (situação: desarme e finalização ao gol; padrão de coordenação: antifase, fase, fase do jogador defensivo e fase do jogador ofensivo). Em todas as comparações realizadas através de ANOVA, foi utilizado o teste de *Tukey* para a análise de *post hoc* e os valores de tendência central e dispersão foram apresentados através de média e desvio padrão.

A estatística circular foi utilizada para calcular o ângulo médio e a dispersão angular do ângulo de acoplamento durante as sequências ofensivas, conforme sugerido por Zar ¹⁴⁶. Primeiramente, assumimos que um círculo é dividido em coordenadas retangulares com origem no centro do círculo, ou seja, zero em cada um dos eixos (Figura 15). O ângulo de acoplamento dos jogadores foi calculado em cada instante durante as sequências ofensivas, gerando uma matriz com diversos valores de ângulo. O ângulo médio (θ_m) foi apresentado como uma medida de tendência central desses valores, podendo ser computado através do

cálculo das coordenadas retangulares (X e Y), tamanho do vetor médio (r) e posteriormente os valores de seno de ângulo alfa ($\text{sen } \alpha$) e cosseno de ângulo alfa ($\text{cos } \alpha$), conforme equações abaixo:

$$X = \frac{\sum \cos(\theta_{vc(i)})}{n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum \text{sen}(\theta_{vc(i)})}{n}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Nas Equações (3 e 4), i indica o instante de tempo e n representa o total de *frames* que os jogadores foram analisados.

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{X}{r} \quad (6)$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{Y}{r} \quad (7)$$

$$\theta_m = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (8)$$

$$\theta_m = \begin{cases} \theta_m, & \theta_m > 0 \\ 360 + \theta_m, & \theta_m < 0 \end{cases} \quad (9)$$

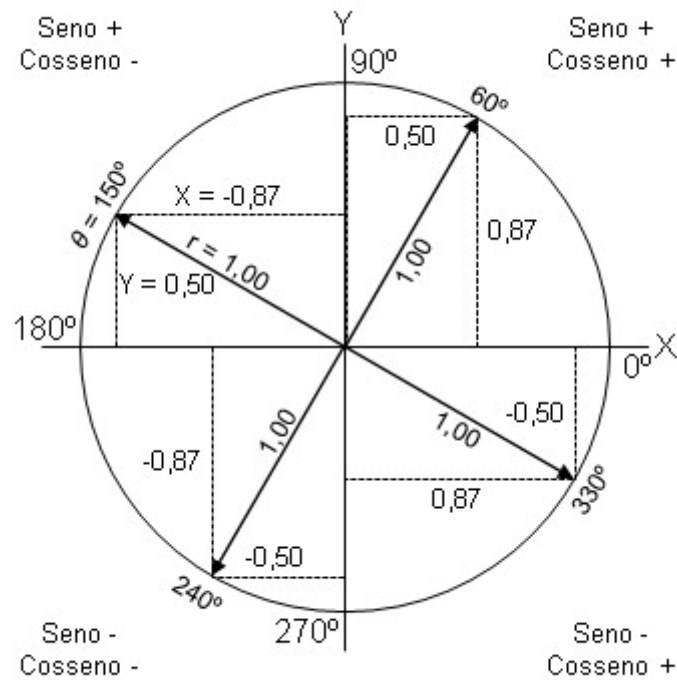


Figura 15. Propriedades retangulares do círculo unitário exemplificando quatro pontos com suas coordenadas retangulares (X e Y), tamanho do vetor médio (r) e seu respectivo ângulo (θ).

A dispersão angular foi calculada para obter a faixa de dispersão dos ângulos de acoplamento durante as sequências ofensivas. Inicialmente é definido o conceito de que o r é uma medida de concentração, ou seja, quanto maior o valor de r , menor a dispersão angular (Figura 16).

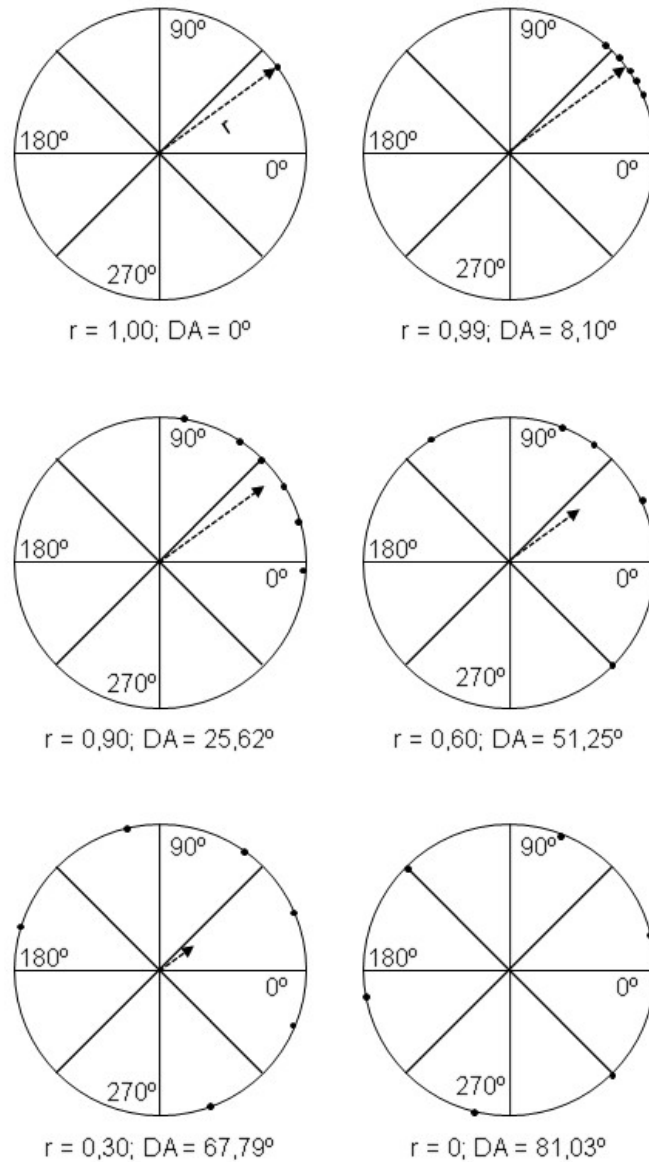


Figura 16. Exemplos de distribuições circulares com diferentes valores de dispersão.

Após o cálculo de r , demonstrado através das Equações 3, 4 e 5, foi calculada a dispersão angular (DA), conforme a Equação (10).

$$DA = \frac{180}{\pi} \times \sqrt{2 \times (1 - r)} \quad (10)$$

Posteriormente, os valores de dispersão angular para as seqüências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol foram

comparados através do teste de Mann-Whitney. O nível de significância adotado para todas as análises estatísticas foi de $p < 0,05$.

4. RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os valores de frequência de ocorrência das díades de acordo com as posições de jogo dos atletas. Visualmente, é possível identificar que existe um padrão independentemente de período da partida ou nível da competição. Dessa forma, na maioria dos casos cada posição predominantemente compõe díade com uma posição específica, assim como fica claro que essa relação é recíproca; por exemplo, zagueiros ficam mais próximos dos atacantes e quando os atacantes estão sem posse de bola também ficam mais próximos dos zagueiros. Além disso, os atacantes visivelmente possuem percentual acumulado elevado frente às outras posições, o que significa que durante muitos momentos das partidas existiam no mínimo dois atletas permanecendo mais próximo a eles.

Tabela 3. Valores de frequência relativa ao tempo de jogo de ocorrência das diádes de acordo com as posições de jogo.

	Zagueiro		Lateral		Volante		Meia		Atacante	
	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo
Nacional										
Zagueiro	6,3	4,5	3,4	4,1	3,9	8,0	11,7	22,4	74,7	60,9
Lateral	7,1	5,3	48,1	33,2	8,3	13,8	15,5	20,3	21,0	27,3
Volante	7,0	7,6	6,0	10,9	20,8	19,0	37,5	31,3	28,6	31,1
Meia	14,8	20,4	16,0	15,9	51,0	33,4	11,8	19,5	6,4	10,8
Atacante	60,6	51,4	10,4	13,1	20,7	18,6	4,7	9,4	3,6	7,5
% acumulado	95,8	89,2	83,9	77,2	104,7	92,9	81,2	103,0	134,4	137,6
Regional										
Zagueiro	3,5	4,4	2,5	7,1	4,5	7,8	13,7	12,9	75,9	67,8
Lateral	2,4	7,6	8,4	12,5	6,1	7,4	34,0	29,6	49,1	42,9
Volante	4,0	7,1	4,7	7,0	26,5	19,2	38,1	35,1	26,7	31,6
Meia	8,3	8,5	29,1	20,4	25,8	28,7	22,1	27,4	14,7	15,0
Atacante	33,6	32,9	24,6	23,0	24,1	20,3	13,4	13,5	4,2	10,4
% acumulado	51,9	60,5	69,3	70,0	87,1	83,5	121,1	118,4	170,6	167,7

Os atletas sem a posse de bola são apresentados nas linhas e atletas com posse de bola nas colunas.

Os valores de distância entre as díades de acordo com as posições de jogo dos atletas podem ser visualizados na Tabela 4. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as díades formadas por diferentes posições de jogo ($F(24,6842133) = 17228,4$; $p = < 0,01$). O primeiro tempo apresentou valor de distância menor entre os atletas em comparação ao segundo ($F(1,6842133) = 56,2$; $p = < 0,01$), assim como o nível de competição nacional em relação ao regional ($F(1,6842133) = 116016,59$; $p = < 0,01$). As diferenças entre os níveis dos três fatores são descritas na Tabela 5.

Tabela 4. Valores de média e desvio padrão da distância entre as díades compostas por diferentes posições.

	Zagueiro		Lateral		Volante		Meia		Atacante	
	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo	1º tempo	2º tempo
Nacional										
Zagueiro	2,92 ± 2,59	3,57 ± 3,88	6,89 ± 6,01	7,40 ± 6,03	4,88 ± 3,72	5,57 ± 4,51	7,53 ± 6,88	5,98 ± 4,88	4,60 ± 3,72	4,98 ± 4,02
Lateral	5,86 ± 4,11	5,86 ± 5,19	6,22 ± 3,66	6,28 ± 4,06	6,57 ± 3,73	6,19 ± 4,06	7,27 ± 5,19	7,30 ± 5,16	6,13 ± 4,05	6,20 ± 4,57
Volante	4,44 ± 4,50	5,84 ± 5,49	5,42 ± 3,61	6,84 ± 4,97	5,09 ± 2,96	5,27 ± 3,39	3,89 ± 2,91	5,09 ± 3,82	4,67 ± 3,42	5,09 ± 3,73
Meia	4,87 ± 3,37	4,77 ± 3,98	5,66 ± 4,20	6,03 ± 4,27	3,88 ± 2,78	4,86 ± 3,40	4,89 ± 2,89	5,78 ± 4,58	5,11 ± 3,75	5,76 ± 4,11
Atacante	4,09 ± 2,92	4,02 ± 2,85	5,36 ± 4,21	5,69 ± 4,13	4,76 ± 3,27	4,55 ± 3,13	4,89 ± 3,22	5,55 ± 4,71	3,85 ± 2,56	5,49 ± 4,48
Regional										
Zagueiro	3,05 ± 2,61	3,38 ± 3,12	6,13 ± 4,52	7,60 ± 6,37	5,80 ± 3,97	7,09 ± 4,72	7,22 ± 5,21	6,55 ± 5,19	5,55 ± 4,01	5,97 ± 4,55
Lateral	5,40 ± 3,82	6,84 ± 5,54	7,29 ± 4,41	7,76 ± 5,57	6,98 ± 4,28	6,88 ± 4,69	6,36 ± 4,32	6,60 ± 4,64	5,52 ± 4,07	6,18 ± 4,55
Volante	4,94 ± 3,13	5,46 ± 4,37	5,29 ± 3,32	6,35 ± 3,56	4,83 ± 2,88	5,77 ± 4,15	5,00 ± 3,08	5,61 ± 3,44	5,64 ± 3,51	5,79 ± 3,77
Meia	6,06 ± 3,43	5,57 ± 3,41	6,84 ± 3,61	6,28 ± 3,60	5,69 ± 3,23	6,12 ± 3,64	6,60 ± 3,49	6,17 ± 3,43	6,94 ± 4,21	6,84 ± 3,96
Atacante	5,51 ± 4,01	5,20 ± 3,60	5,74 ± 3,62	5,91 ± 3,83	5,63 ± 2,99	6,09 ± 4,16	6,54 ± 3,68	6,47 ± 3,76	5,36 ± 3,79	6,06 ± 3,95

Os atletas sem a posse de bola são apresentados nas linhas e atletas com posse de bola nas colunas.

Tabela 5. Resultados estatísticos de comparação da distância entre as díades de acordo com as posições de jogo, períodos e níveis das partidas.

Fator	Diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$)
Posições de jogo:	Sem posse de bola:
	ZG: ZGZG < ZGAT < ZGVL < ZGME < ZGLT
	LT: LTAT < LTZG < LTVL < LTME = LTLT
	VL: VLME < VLZG < VLVL < VLAT < VLLT
	ME: MEVL = MEZG < MEME < MEAT = MELT
	AT: ATZG < ATAT < ATVL < ATLT < ATME
	Com posse de bola:
	ZG: ZGZG < ATZG < VLZG = MEZG < LTZG
	LT: ATLT < VLLT < MELT < ZGLT < LTLT
	VL: MEVL < ATVL = VLVL < ZGVL < LTVL
	ME: VLME < ATME = MEME < ZGME < LTME
AT: ATAT < ZGAT < VLAT < LTAT < MEAT	
Períodos:	1º tempo < 2º tempo
Níveis:	Nacional < Regional

AT: Atacante; ATAT: Atacante com atacante; ATLT: Atacante com lateral; ATME: Atacante com meia; ATVL: Atacante com volante; ATZG: Atacante com zagueiro; LT: Lateral; LTAT: Lateral com atacante; LTLT: Lateral com lateral; LTME: Lateral com meia; LTVL: Lateral com volante; LTZG: Lateral com zagueiro; ME: Meia; MEAT: Meia com atacante; MELT: Meia com lateral; MEME: Meia com meia; MEVL: Meia com volante; MEZG: Meia com zagueiro; VL: Volante; VLAT: Volante com atacante; VLLT: Volante com lateral; VLME: Volante com meia; VLVL: Volante com volante; VLZG: Volante com zagueiro; ZGAT: Zagueiro com atacante; ZGLT: Zagueiro com lateral; ZGME: Zagueiro com meia; ZGVL: Zagueiro com volante; ZG: Zagueiro; ZGZG: Zagueiro com zagueiro.

A Tabela 6 apresenta os valores de distância entre cada jogador (discriminado em suas respectivas posições) e seu adversário mais próximo de acordo com os períodos das partidas. As comparações demonstraram diferenças estatisticamente significativas (Tabela 7) entre todas as posições de jogo ($F(4,6456527) = 50066,45$; $p = < 0,01$), com os atacantes apresentando menor valor de distância, seguidos por volantes, zagueiros, meias e laterais, respectivamente. O período das partidas definido como 90 min possui valor superior ao 75 min, por sua vez maior que 15 min, seguido pelos intervalos de 45 min e 60 min que não

possuem diferença significativa entre si, mas ambos apresentam valores maiores que 30 min ($F(5,6456527) = 5023,36$; $p < 0,01$). Os níveis de competição demonstram valores superiores no regional frente ao nacional ($F(1,6456527) = 220839,54$; $p < 0,01$).

Tabela 6. Valores de média e desvio padrão da distância entre cada jogador (discriminado em suas respectivas posições) e seu adversário mais próximo, em diferentes períodos da partida.

	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min
Nacional						
Zagueiro	4,96 ± 3,99	4,64 ± 3,64	5,15 ± 5,43	4,91 ± 4,01	5,07 ± 4,08	5,81 ± 5,02
Lateral	6,19 ± 3,67	6,18 ± 3,74	6,72 ± 4,71	6,33 ± 4,40	6,16 ± 4,12	6,81 ± 5,05
Volante	4,42 ± 3,16	4,29 ± 2,99	4,73 ± 3,66	5,03 ± 3,58	5,14 ± 3,61	5,95 ± 4,96
Meia	4,54 ± 3,13	4,48 ± 3,47	4,48 ± 3,24	4,76 ± 3,08	5,17 ± 3,69	5,95 ± 5,01
Atacante	4,47 ± 3,09	4,35 ± 3,13	4,28 ± 3,32	4,32 ± 4,46	4,46 ± 3,41	5,02 ± 4,04
Regional						
Zagueiro	5,73 ± 3,99	5,94 ± 4,46	5,38 ± 4,03	5,60 ± 4,35	5,87 ± 4,47	6,47 ± 4,70
Lateral	6,18 ± 4,22	6,24 ± 4,36	5,79 ± 4,18	5,96 ± 4,30	7,11 ± 5,02	6,62 ± 4,78
Volante	5,40 ± 3,37	5,23 ± 3,31	5,17 ± 3,49	5,57 ± 4,15	5,69 ± 3,37	5,87 ± 3,51
Meia	6,51 ± 3,60	6,45 ± 3,55	6,36 ± 3,70	5,81 ± 3,37	6,47 ± 3,69	6,34 ± 3,64
Atacante	5,83 ± 4,15	5,72 ± 11,26	5,61 ± 3,35	5,49 ± 3,86	6,08 ± 4,01	5,70 ± 3,60

Tabela 7. Resultados estatísticos de comparação da distância entre cada jogador (discriminado em suas respectivas posições) e seu adversário mais próximo, em diferentes períodos e níveis da partida.

Fator	Diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$)
Posições de jogo:	AT < VL < ZG < ME < LT
Períodos (min):	30 < 60 = 45 < 15 < 75 < 90
Níveis:	Nacional < regional

ZG: Zagueiro; AT: Atacante; VL: Volante; ME: Meia; LT: Lateral.

Os resultados das análises de correlação (Figura 17) entre os valores de mediana das distâncias entre os jogadores de todas as díades para cada equipe e as ações técnicas realizadas demonstraram uma relação negativa

moderada ($r = -0,64$; $p < 0,01$) com o número de desarmes realizados, bem como uma relação positiva moderada ($r = 0,53$; $p < 0,01$) com o número de passes certos realizados pela EA, e por fim, foi identificada uma relação negativa baixa ($r = -0,36$; $p = 0,04$) com passe errado realizado pela EA. Os coeficientes de correlação encontrados para o número de finalização sofrida e posse de bola da EA são desprezíveis.

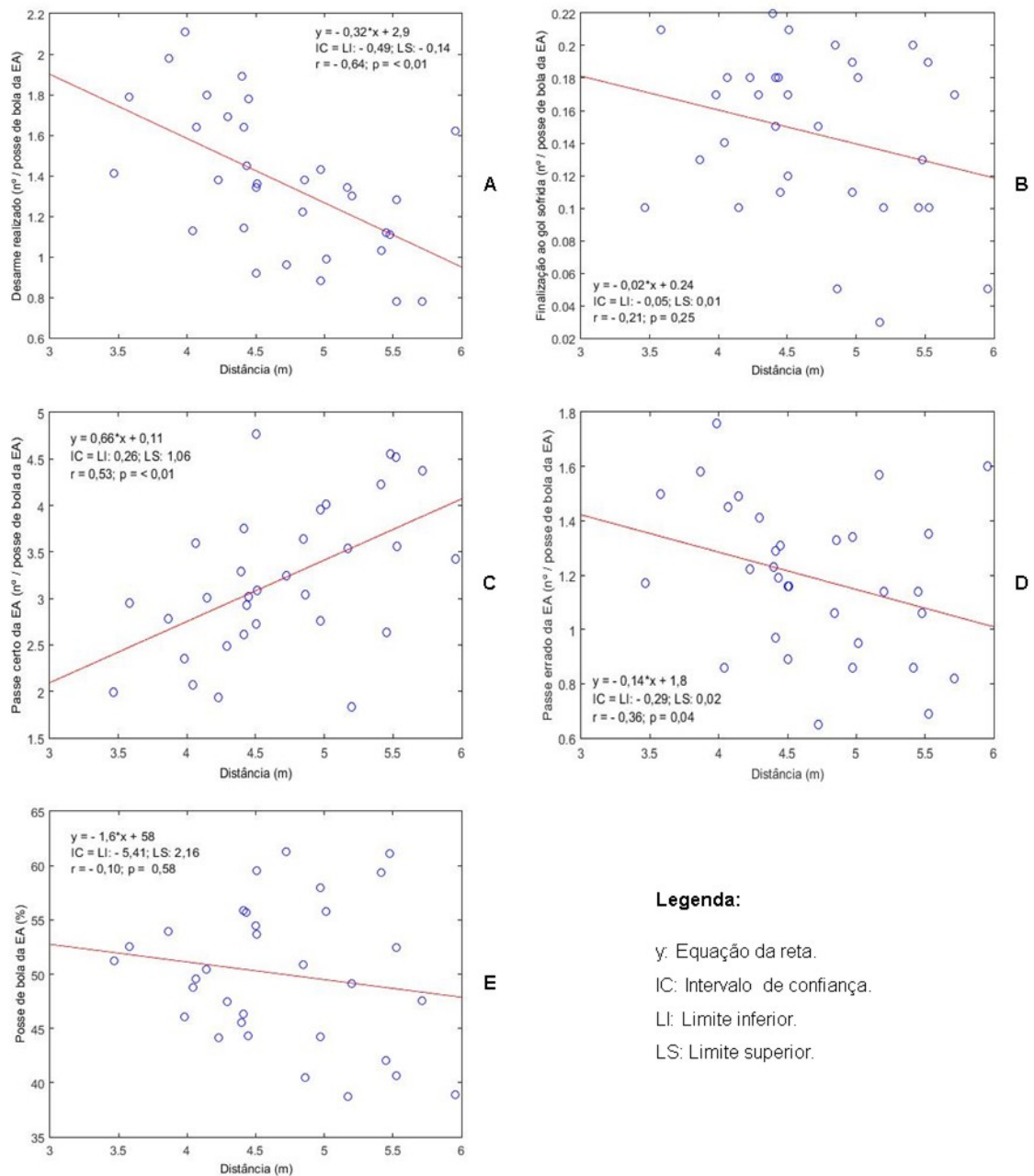


Figura 17. Resultados de correlação da distância mediana de todas as díades para cada equipe com o (A) número de desarme realizado, (B) finalização ao gol sofrida, (C) passe certo realizado pela equipe adversária (EA), (D) passe errado realizado pela EA e (E) posse de bola da EA.

Os resultados de magnitude da distância das díades durante as sequências ofensivas concluídas em desarme (DS) ou finalização ao gol (FN) mostraram diferenças estatisticamente significativas (Figura 18). Foram encontrados valores maiores ($p < 0,01$) de distância mínima entre os adversários (DS: 1,01 (1,22); FN: 1,18 (2,39)), distância máxima (DS: 5,82(5,80); FN: 7,36(4,84)), amplitude (DS: 4,76 (5,70); FN: 5,99 (4,56)) e no momento da ação (DS: 1,60 (1,25); FN: 2,97 (3,02)) para sequências ofensivas concluídas em finalização comparadas às situações de desarme.

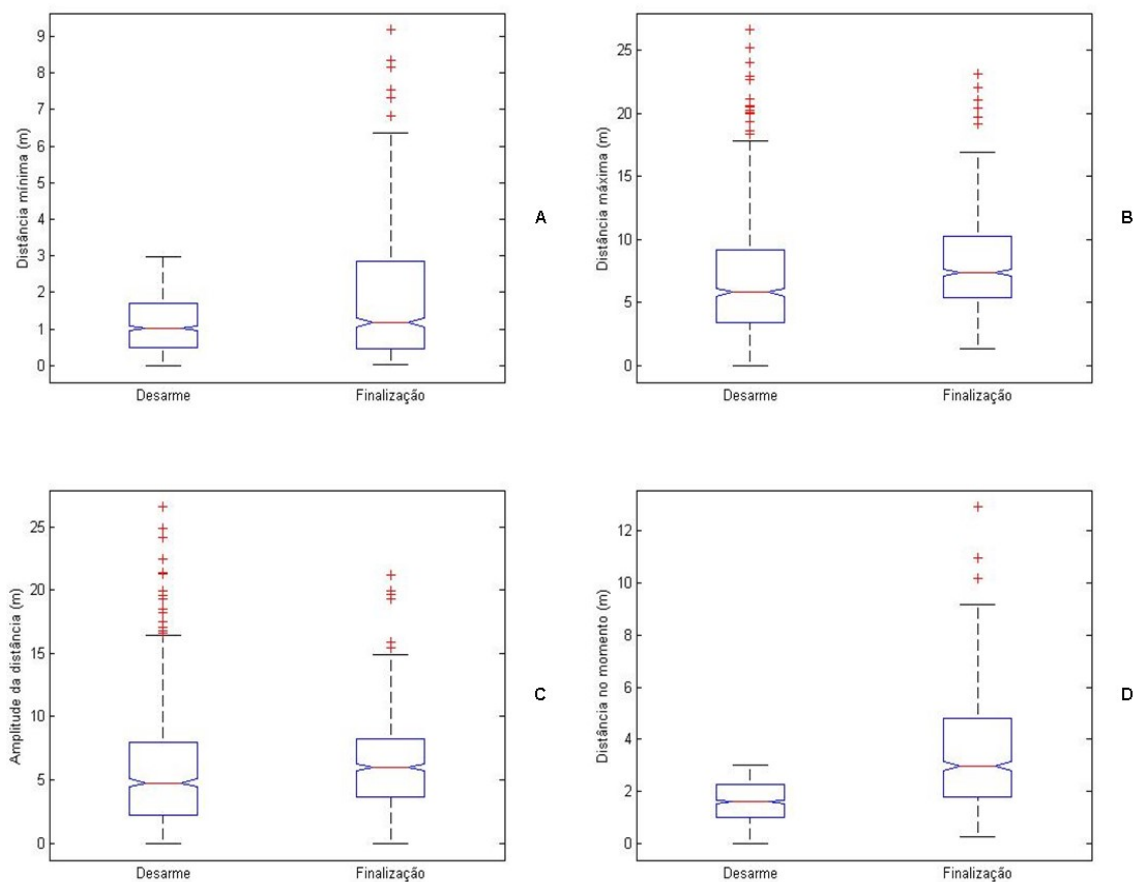


Figura 18. Representação de *box plot* da distância mínima (A), máxima (B), amplitude (C) e no momento da ação técnica (D) entre as díades durante as sequências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol.

A análise de coordenação das díades durante as sequências ofensivas revelou diferenças estatisticamente significativas (Tabela 8) entre o percentual de permanência dos padrões de coordenação, nas direções de deslocamento longitudinal ($F(3,4391) = 23,52$; $p < 0,01$) e lateral ($F(3,4391) =$

10,04; $p = < 0,01$). Entretanto, quando consideramos a comparação dos padrões de coordenação entre as sequências ofensivas concluídas em desarme e finalização ao gol, foi encontrada diferença ($F(3,4391) = 4,04$; $p = < 0,01$) apenas no padrão de coordenação em fase, somente no deslocamento lateral. Os resultados de dispersão angular também podem ser visualizados na Tabela 8, na qual foi apresentado valor menor ($p = < 0,01$) em sequências ofensivas concluídas em finalização ao gol em comparação a desarme.

Tabela 8. Valores de percentual de permanência em cada padrão de coordenação, ângulo médio e dispersão angular apresentados em graus referentes as análises de coordenação entre as díades durante as sequências ofensivas concluídas em desarme ou finalização ao gol

	X (Deslocamento longitudinal)		Y (Deslocamento lateral)	
	Desarme realizado	Finalização sofrida	Desarme realizado	Finalização sofrida
Antifase	10,78 ± 16,98 ^{\$&*}	8,95 ± 13,35 ^{\$&*}	12,86 ± 16,78 ^{\$&*}	14,54 ± 14,42 ^{\$&*}
Fase	52,20 ± 29,36 ^{&*}	54,98 ± 29,06 ^{&*}	44,87 ± 28,81 ^{&+*}	36,23 ± 22,81 ^{&*}
Fase jogador defensivo	18,80 ± 21,09	16,75 ± 20,85	22,49 ± 21,82	24,44 ± 21,22
Fase jogador ofensivo	18,22 ± 20,23	19,32 ± 21,43	19,78 ± 20,54	24,79 ± 19,27
Ângulo médio	261,67	285,53	261,82	76,93
Dispersão angular	80,51	77,12	80,31 ⁺	79,27

\$ diferente de fase, $p < 0,01$.

& diferente de fase jogador defensivo, $p < 0,01$.

* diferente de fase jogador ofensivo, $p < 0,01$.

+ diferente de finalização sofrida, $p < 0,01$.

5. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como proposta caracterizar a interação entre os adversários mais próximos durante partidas oficiais de futebol de diferentes níveis de competição. Especificamente, o intuito foi compreender a proximidade desses atletas considerando as posições de jogo, nível da competição e os períodos da partida. Além disso, objetivou-se analisar a magnitude da distância entre as díades durante sequências ofensivas concluídas em finalização ao gol ou desarmes, assim como avaliar o padrão de coordenação entre os atletas nessas mesmas situações. Os principais resultados a respeito da distância entre os adversários demonstraram valores menores de distância nas partidas de nível nacional em relação ao regional, e nos períodos finais das partidas, apresentaram distâncias superiores confirmando nossas hipóteses iniciais. Quando observados os resultados de distância entre as díades durante as sequências ofensivas, nossa hipótese de que os atletas estariam mais próximos durante situações em que ocorreram desarmes também foi confirmada. Na associação dos valores de distância das equipes com as ações técnicas a nossa hipótese foi parcialmente confirmada pela correlação negativa encontrada com o número de desarmes realizados e relação positiva com os passes certos de EA. Além disso, a respeito das análises de coordenação, nós hipotetizamos que o padrão de coordenação em fase seria mais frequente em situações de desarme em comparação a finalização ao gol, comportamento também visualizado nos resultados obtidos para o deslocamento lateral.

Os resultados de frequência de ocorrência entre os atletas, considerando as díades compostas entre as diferentes posições de jogo, permitem avaliar esses valores de perspectivas distintas (Tabela 3). A presente proposta permite analisar quando atletas de determinada posição estavam sem posse de bola e estavam engajados em táticas defensivas, assim como é possível analisar esses mesmos atletas com posse de bola, sendo alvos de estratégias defensivas. Quando observamos os achados dessa análise, é possível visualizar que há uma certa reciprocidade nas relações entre os atletas. Por exemplo, quando estão sem posse de bola, os jogadores que atuam como zagueiros apresentam valores de frequência superiores com os atacantes em comparação as demais posições.

Invertendo a condição de posse de bola, os atacantes com posse de bola são acompanhados com maior frequência pelos zagueiros em relação aos atletas de outra posição. Além disso, os atacantes apresentam valores de percentual acumulado elevados em comparação ao restante dos atletas. O percentual acumulado acima de 100 % significa que durante diversos instantes mais de um adversário estavam acompanhando-os, afim de prevenir tentativas de ataque. Provavelmente, isso ocorre devido aos mesmos atuarem mais próximos a área do gol e estarem diretamente envolvidos nas estratégias ofensivas, representando maior perigo para a equipe defensiva. Esse padrão de interação entre as posições pode ser visualizado a partir dos valores de distância na Tabela 5. Nessa relação entre as diferentes posições, ocorreram alguns resultados que merecem destaque. Foi identificado que os zagueiros apresentam menor distância com os zagueiros adversários frente as outras posições, semelhante à relação dos atacantes com os oponentes de mesma função tática, que demonstram valores de distância que estão entre os menores. Porém, recorrendo mais uma vez aos valores de frequência de ocorrência, é visível que em ambos os casos as díades formadas por essas combinações de posições apresentam valores percentuais baixos. Dessa forma, acreditamos que ocorram em momentos específicos do jogo, como por exemplo, cobranças de faltas ou escanteios que resultem em passes aéreos para região próxima ao gol, resultando em estratégias defensivas de marcação nas quais jogadores acabam se aproximando de jogadores adversários que atuam na mesma função. Por exemplo, uma possível explicação para essa orientação pode ser baseada na efetividade em duelos aéreos por parte dos zagueiros identificada anteriormente na literatura ^{33, 34} ou a estatura predominantemente superior de atletas de determinadas posições ^{147, 148}. Assim, é possível que zagueiros, por serem mais altos, acabem se aproximando dos zagueiros adversários apenas nestes momentos reposição de jogo por meio de cobranças de escanteios e faltas próximas à área defensiva. Devido à proximidade da área e a iminência de um gol, as distâncias entre os jogadores tendem a serem menores.

Quando analisamos os resultados de distância entre adversários, tomando como referência a posição de jogo do atleta sem posse de bola, independentemente da posição dos seus adversários (Tabela 7), foi verificado valores menores de distância para as posições de volantes e zagueiros, que de fato

possuem uma maior preocupação tática defensiva, exceto pelo caso dos atacantes, que apresentaram valores menores que as demais posições. Esse achado pode ocorrer devido ao fato que mesmo em momentos que a equipe dos atacantes não possui a bola, existem atletas adversários se mantendo próximos a eles.

A relação entre adversários mais próximos também demonstrou que em partidas do nível nacional os atletas apresentam menores valores de distância em comparação ao nível regional (Tabelas 5 e 7). Resultados que podem ser visualizados de forma semelhante para outras análises já apresentadas na literatura ^{27, 29, 60}. Foi demonstrado que atletas de nível superior percorrem maiores distâncias em corrida de intensidade moderada e alta, assim como em *sprint* ²⁷. A distância total percorrida e distância percorrida em alta intensidade também é maior quando as equipes enfrentam oponentes de nível mais competitivo ²⁹. Além disso, quando foi analisada a coordenação entre colegas de equipe em relação a diferentes níveis de adversários, foi identificado que os atletas apresentam maior tendência de sincronização quando jogam contra equipes de nível superior. Dessa forma, no presente estudo foi assumido como nível de competição superior o campeonato nacional, sendo esperado maior exigência e conseqüentemente atletas com maior proximidade dos adversários, corroborando os dados citados acima de diferentes investigações científicas.

Além disso, o presente estudo analisou a distância entre os adversários durante diferentes períodos da partida, sendo apresentados valores de distância maiores no segundo tempo em comparação ao primeiro (Tabela 5). Quando analisados de forma mais detalhada, discriminados em períodos de 15 minutos, os 30 minutos finais (representados pelos períodos 75 min e 90 min) apresentaram valores maiores de distância (Tabela 7). Pesquisas anteriores já reportaram queda de rendimento físico no segundo tempo em relação ao primeiro, identificando que os atletas percorriam uma menor distância ou realizavam um número menor de ações de alta intensidade ^{23, 25, 27}. Na demanda técnica foi visualizado uma redução no número de passes e na efetividade dos passes do primeiro para o segundo tempo ^{31, 32}. No contexto tático, através de uma análise espectral da série temporal de espalhamento das equipes durante primeiro e segundo tempo, foi demonstrado que a velocidade de reorganização tática das equipes diminuiu no segundo período das partidas ⁴⁵. Esses resultados apontados

pela literatura são comumente associados ao desgaste físico dos atletas oriundo dos esforços realizados durante a partida, devido a mudanças fisiológicas, como desidratação, redução na reserva de glicogênio podem resultar em um estado de fadiga^{91, 149}. Essa mesma associação pode ser realizada no presente estudo, no qual acredita-se que possivelmente devido à redução de desempenho dos atletas, os mesmos não consigam manter o nível de proximidade aos seus adversários nos períodos finais das partidas. Outra possibilidade é a influência do placar da partida, já apresentada na literatura que equipes quando estão ganhando e com um resultado muito favorável possuem desempenho inferior a momentos de resultado adverso^{86, 119}. Essa queda de desempenho é associada a uma estratégia de *pacing*, ou seja, com o resultado do jogo definido os atletas começam a poupar esforços¹⁵⁰. Na nossa investigação os períodos finais com a vitória parcial de sua equipe podem acarretar na realização de estratégia de *pacing* por parte dos atletas, que adotariam uma tática defensiva menos agressiva e com menor proximidade com seus adversários.

Quando analisamos a distância entre os adversários mais próximos durante as partidas, partimos de um pressuposto que quanto maior for essa proximidade, maiores as chances dessa equipe evitar que seu oponente tenha êxito na sua tentativa de ataque. Dessa forma, os resultados de correlação entre a distância de todos os atletas de cada equipe com suas respectivas díades e ações técnicas, como desarmes realizados, ou o número de passes certos e errados realizados pela EA, podem sustentar essa hipótese (Figura 17). Os nossos achados demonstraram que quanto maior a distância entre os atletas, menor é o número de desarmes realizados e maior o número de passes certos realizados pela EA. Essas informações sugerem que esse comportamento pode ser associado a uma menor eficiência tática defensiva das equipes. No caso do número de passes errados efetuados pelos oponentes foi visualizada uma relação, ainda que pequena, de que quanto mais próximo estão os atletas maior a chance de forçar o erro de seu adversário. Entretanto, era esperado que distâncias maiores apresentariam forte relação com o número de finalizações sofridas, o que não ocorreu. A possível explicação para esse resultado é que nesse valor de distância são considerados todos os atletas das equipes, havendo a possibilidade de jogadores que não estão próximos a região que ocorre a ação estarem distantes de seus adversários. Além

disso, há um número considerável de finalizações que ocorrem durante jogadas com bolas alçadas para área próxima ao gol. Nessas situações, a distância entre os adversários presente na nossa análise não é representativa, devido a disputa ocorrer em deslocamentos verticais. Nosso método de registro da posição dos jogadores ocorre em duas dimensões, o que compreende somente a deslocamentos horizontais nas direções lateral e longitudinal.

Dessa forma, na investigação da distância entre os atletas durante as sequências ofensivas foram excluídas essas situações e analisados somente os jogadores que participaram diretamente. Quando verificamos essa distância durante as sequências que resultam em finalização ao gol no momento em que ocorre a ação, essas apresentam valores superiores frente as sequências concluídas em desarmes (Figura 18). Os valores mínimos, máximos e a amplitude dessa distância entre os jogadores envolvidos no desarme/finalização durante toda a sequência ofensiva também são superiores em sequências encerradas em finalizações. Dessa forma, parece que além dos atletas estarem mais distantes, ainda ocorre um comportamento com maior variação dessa distância entre os adversários em situações de finalização.

Considerando os resultados da análise de coordenação entre os atletas constituintes das díades durante as sequências ofensivas, em ambas as direções de deslocamento, e desfechos das sequências, foram encontrados percentuais de frequência mais elevados no padrão de coordenação em fase quando comparado aos demais (Tabela 8). Também foi visualizado que o padrão de antifase teve menor permanência que fase do jogador defensivo e ofensivo. A predominância dessa relação em fase no futebol já foi destacada em investigações a respeito da coordenação do deslocamento de centroides das equipes adversárias⁵⁰, entre colegas de equipe^{49, 77}, valores de espalhamento das equipes adversárias⁵¹, e deslocamento de atacantes e zagueiros⁶⁶. Assim, destaca-se que no futebol há uma tendência de sincronismo entre os elementos participantes e esta relação ocorre predominantemente em fase. Portanto, sugere-se que momentos determinantes da partida poderiam representar uma quebra nesse padrão^{50, 66, 126, 127}. Porém, nossa investigação apresentou que mesmo durante os momentos críticos de finalização ao gol ou desarme, a relação em fase ainda se mantém predominante. Entretanto, nossos resultados na direção lateral demonstraram um

valor menor de permanência no padrão em fase nas tentativas de ataque concluídas em finalização em relação à quando as equipes realizaram o desarme. A redução da relação em fase durante as sequências de finalização pode apontar a tendência de aumento da distribuição de permanência nos diferentes padrões de coordenação. Dessa forma, a capacidade do defensor em acompanhar os movimentos do jogador ofensivo pode ser importante para a realização do desarme. O atleta ofensivo por sua vez, efetuando alguma ação que consiga quebrar essa relação em fase, pode estar relacionado a maiores chances de finalização ao gol. Acompanhando os achados do estudo de Moura e colaboradores⁵¹ que encontraram um valor maior de permanência em antifase e fase da equipe atacante no início das sequências ofensivas de finalização ao gol comparado a desarmes.

Os resultados obtidos através da estatística circular nos permitem olhar sob uma outra perspectiva. Os ângulos médios apresentados, embora distintos, referem-se ao mesmo padrão de coordenação interpessoal (fase do jogador ofensivo) para ambas as situações (finalização ou desarme). Fortalecendo a ideia que existe uma permanência considerável no respectivo padrão de coordenação. Entretanto, foi visualizada menor dispersão angular em sequências que resultaram em finalização ao gol, sugerindo predominância desse padrão maior nesse desfecho. O que sugere o atleta ofensivo “liderando” a série temporal, ou seja, efetuando ações com o intuito de desestabilizar os defensores, os quais, estão reagindo a essas ações e tentando acompanhá-los.

6. CONCLUSÃO

As análises realizadas no presente estudo tiveram o intuito de caracterizar a interação entre os adversários mais próximos, compreendendo a diferença nessa relação respectiva a diferentes níveis de competição, decorrer da partida e posições de jogo. Além disso, objetivou-se avaliar essa interação durante momentos decisivos das partidas. Os resultados obtidos nos permitem concluir que oponentes se mantêm mais próximos quando o nível de competição é superior. As distâncias entre os adversários aumentam nos períodos finais das partidas e cada posição de jogo apresenta características particulares nessa relação. As informações a respeito dessa interação em situações específicas do jogo sugerem que equipes cujos integrantes ficam mais próximos aos adversários realizam maior número de desarmes, bem como dificultam o desempenho de passes dos seus oponentes. Além disso, durante as sequências ofensivas concluídas em finalizações, os atletas que compõe as díades estavam mais distantes e apresentam maior variação dessa distância entre eles. Nestas situações, também se reportou menor permanência no padrão de coordenação em fase, quando comparada aos momentos de desarmes.

Os resultados alcançados nesse trabalho contribuem para a área acadêmica fornecendo subsídios para a construção de conhecimento no âmbito científico, apresentando informações a respeito do comportamento da interação dos atletas para com seus adversários, considerando os diferentes níveis técnicos, períodos da partida, função tática do atleta e situações determinantes do jogo. Além disso, o presente estudo pode ser de grande auxílio também a profissionais que atuam na área prática dessa modalidade, podendo utilizar esses elementos durante o planejamento e aplicação das suas intervenções. Conforme verificadas as características distintas de interação para as posições de jogo, os treinamentos devem considera-las, ou seja, posições que apresentam maior proximidade aos adversários nas partidas devem experimentar a mesma realidade nas suas preparações. Atletas que são acompanhados por mais de um adversário simultaneamente, podem enfrentar essas situações em simulações com jogos em campo reduzido. Sugere-se também que as equipes ou atletas devem procurar manter a proximidade e o padrão de relação em fase com seus oponentes para

possivelmente aumentar suas chances de sucesso nas tentativas defensivas. O inverso é aconselhado nas táticas ofensivas, nas quais os atletas devem tentar quebrar essa relação em fase com os adversários para buscar maior efetividade no seu objetivo. As investigações futuras a respeito da interação entre atletas adversários podem considerar em suas análises o sistema tático adotado pelas equipes, bem como as diferentes regiões do campo, fornecendo, portanto, dados a respeito do comportamento dessa relação nas diferentes áreas de jogo e como a formação tática, ou seja, uma estratégia ou intervenção do técnico, pode influenciar essa interação.

REFERÊNCIAS

1. Reilly T. Science and soccer. New York: E & FN Spon; 1996.
2. Williams AM, Hodges NJ. Practice, instruction and skill acquisition in soccer: challenging tradition. *J Sports Sci.* 2005 Jun;23(6):637-50. PubMed PMID: 16195012.
3. Reep C, Benjamin B. Skill and chance in association football. *Journal of the Royal Statistical Society.* 1968;134:581-5.
4. Hughes M. Computerized notation analysis in field games. *Ergonomics.* 2007 Nov;31(11):1585-92. PubMed PMID: WOS:A1988R399200010.
5. Reilly T, Thomas V. A motion analysis work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies.* 1976;2:87-97.
6. Ohashi J, Miyagi O, Nagahama H, Ogushi T, Ohashi K. Application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match. In: Spinks W, Reilly T, Murphy A, editors. *Science and football IV.* London: Routledge; 2002. p. 132-6.
7. Ohashi J, Togari H, Isokawa M, Suzuki S. Measuring movement speeds and distances covered during soccer match-play. In: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy WJ, editors. *Science and football : proceedings of the first World Congress of Science and Football.* London: E. & F.N. Spon; 1988. p. 449-55.
8. Miyagi O, Ohashi J. Energy expenditure and movement distance during a game of under-15 soccer in Japan: Communications to the Fifth World Congress of Science and Football [abstract]. *J Sports Sci.* 2004 Jun;22(6):551-2.
9. Miyagi O, Ohashi J, Kitagawa K. Motion characteristics of an elite soccer player during a game: Communications to the Fourth World Congress of Science and Football [abstract]. *J Sports Sci.* 1999 Jan;17(10):816.

10. Coutts AJ, Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2010 Jan;13(1):133-5. PubMed PMID: 19054711. Epub 2008/12/05.
11. Dwyer DB, Gabbett TJ. Global positioning system data analysis: velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2012 Mar;26(3):818-24. PubMed PMID: 22310509. Epub 2012/02/09.
12. Frencken WGP, Lemmink KAPM, Delleman NJ. Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2010 Nov;13(6):641-5. PubMed PMID: 20594910.
13. Stevens TGA, de Ruiter CJ, van Niel C, van de Rhee R, Beek PJ, Savelsbergh GJP. Measuring acceleration and deceleration in soccer-specific movements using a Local Position Measurement (LPM) system. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014 May;9(3):446-56. PubMed PMID: 24509777.
14. Frencken WGP, Lemmink KAPM. Team kinematics of small-sided soccer games: A systematic approach. In: Reilly T, Korkusuz F, editors. *Science and Football VI*. New York: Routledge; 2008. p. 161-6.
15. Carling C, Williams AM, Reilly T. *Handbook of Soccer Match Analysis: A Systematic Approach to Improving Performance*. New York: Routledge; 2005.
16. Buchheit M, Allen A, Poon TK, Modonutti M, Gregson W, Di Salvo V. Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies. *J Sports Sci*. 2014 Dec;32(20):1844-57. PubMed PMID: 25093242.
17. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. *Image and Vision Computing*. 2006;24(4):363-74.

18. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. *Computer Vision and Image Understanding*. 2006;101(2):122-35.
19. Liu J, Tong X, Li W, Wang T, Zhang Y, Wang H. Automatic player detection, labeling and tracking in broadcast soccer video. *Pattern Recognition Letters*. 2009;30(2):103-13.
20. Toki S, Sakurai S. Quantitative Match Analysis of Soccer Games with Two Dimensional DLT Procedures. XXth Congress of International Society of Biomechanics; Cleveland2005. p. 911.
21. Liebermann DG, Katz L, Hughes MD, Bartlett RM, McClements J, Franks IM. Advances in the application of information technology to sport performance. *J Sports Sci*. 2002 Oct;20(10):755-69. PubMed PMID: 12363293.
22. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res*. 2003 Nov;17(4):775-80. PubMed PMID: 14636107. Epub 2003/11/26.
23. Bradley PS, Sheldon W, Wooster B, Olsen P, Boanas P, Krstrup P. High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci*. 2009 Jan;27(2):159-68. PubMed PMID: 19153866. Epub 2009/01/21.
24. Gabbett TJ, Wiig H, Spencer M. Repeated high-intensity running and sprinting in elite women's soccer competition. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013 Mar;8(2):130-8. PubMed PMID: 22868237.
25. Barros RML, Misuta MS, Menezes RP, Figueroa PJ, Moura FA, Cunha SA, et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2007;6(2):233-42.
26. Di Salvo V, Baron R, Tschan H, Calderon Montero FJ, Bachl N, Pigozzi F. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *Int J Sports*

Med. 2007 Mar;28(3):222-7. PubMed PMID: 17024626. Epub 2006/10/07.

27. Mohr M, Krstrup P, Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003 Jul;21(7):519-28. PubMed PMID: 12848386. Epub 2003/07/10.

28. Di Salvo V, Baron R, Gonzalez-Haro C, Gormasz C, Pigozzi F, Bachl N. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *J Sports Sci.* 2010 Dec;28(14):1489-94. PubMed PMID: 21049314. Epub 2010/11/05.

29. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM. Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med.* 2007 Dec;28(12):1018-24. PubMed PMID: 17497575. Epub 2007/05/15.

30. Moura FA, Santiago PRP, Misuta MS, Barros RML, Cunha SA. Analysis of the shots to goal strategies of first division Brazilian professional soccer teams. *Proceedings of the XXV International Symposium on Biomechanics in Sports.* 2007 Aug;358-61. Pubmed Central PMCID: 2007.

31. Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Coutts AJ, Wisloff U. Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia.* 2009 Jan;12(1):227-33. PubMed PMID: 18083631. Epub 2007/12/18.

32. Bradley PS, Carling C, Archer D, Roberts J, Dodds A, Di Mascio M, et al. The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci.* 2011 May;29(8):821-30. PubMed PMID: 21512949.

33. Dellal A, Chamari K, Wong DP, Ahmaidi S, Keller D, Barros R, et al. Comparison of physical and technical performance in European soccer match-play: FA Premier League and La Liga. *European journal of sport science.* 2011 2011/01/01;11(1):51-9.

34. Dellal A, Wong DP, Moalla W, Chamari K. Physical and technical activity of soccer players in the French first league – with special reference to their playing position. *International SportMed Journal*. 2010;11(2):278-90.
35. Dufour W. Computer assisted scouting in soccer. *Science and Football II*. 1993:160-6.
36. Bishovets A, Gadjiev G, Godik M. Computer analysis of the effectiveness of collective technical and tactical moves of footballers in the matches of 1988 olympics and 1990 world cup. In: Reilly T, Clarys J, Stibbe A, editors. *Science and Football II*. London: E. & FN Spon; 1991. p. 203-5.
37. Moura FA. Análise quantitativa da distribuição de jogadores de futebol em campo durante jogos oficiais. Campinas, SP, Brasil: Universidade Estadual de Campinas - Unicamp; 2011.
38. Cunha SA, Binoto MR, Barros RML. Análise da variabilidade na medição de posicionamento tático no futebol. *Rev Paul Educ Fís*. 2001;15(2):111 - 6.
39. Barros RML, Cunha SA, Magalhães Junior. WJ, Guimarães MF. Representation and analysis of soccer players' actions using principal components. *Journal of Human Movement Studies*. 2006;51(2):103-16.
40. Moura FA, Santana JE, Vieira NA, Santiago PRP, Cunha SA. Analysis of Soccer Players' Positional Variability During the 2012 UEFA European Championship: A Case Study. *Journal of human kinetics*. 2015 Sep;47:225-36. PubMed PMID: 26557206. Pubmed Central PMCID: 4633258.
41. Frencken WGP, Lemmink KAPM, Delleman N, Visscher C. Oscillations of centroid position and surface area of soccer teams in small-sided games. *European journal of sport science*. 2011;11(4):215-23. PubMed PMID: 62610404.
42. Okihara K, Kan A, Shiokawa M, Choi CS, Deguchi T, Matsumoto M, et al. Compactness as a strategy in a soccer match in relation to a change in offence and defense: Communications to the Fifth World Congress of Science and Football

[abstract]. *J Sports Sci.* 2004 Jun;22(6):515.

43. Moura FA, Martins LEB, Anido RO, Barros RML, Cunha SA. Quantitative analysis of Brazilian football players' organisation on the pitch. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports.* 2012 Mar;11(1):85-96. PubMed PMID: 22518947.

44. Clemente FM, Couceiro MS, Martins FML. Towards a new method to analyze the Soccer Teams Tactical Behaviour: Measuring the Effective Area of Play. *Indian J Sci Technol.* 2012;5(12):3792-801.

45. Moura FA, Martins LEB, Anido RO, Ruffino PR, Barros RML, Cunha SA. A spectral analysis of team dynamics and tactics in Brazilian football. *J Sports Sci.* 2013;31(14):1568-77. PubMed PMID: 23631771.

46. Yue Z, Broich H, Seifriz F, Mester J. Mathematical Analysis of a Soccer Game. Part I: Individual and Collective Behaviors. *Studies in Applied Mathematics.* 2008 Oct;121(3):223-43. PubMed PMID: ISI:000262364100001.

47. Frias T, Duarte R. Man-to-man or zone defense? Measuring team dispersion behaviors in small-sided soccer games. *Trends in Sport Sciences.* 2014;21(3).

48. Moura FA, Santana JE, Marche AL, Aguiar TH, Rodrigues ACMA, Barros RML, et al. Quantitative analysis of futsal players' organization on the court. *Rev Port Cien Desp.* 2011;11(2):105-8.

49. Gonçalves BV, Figueira BE, Macas V, Sampaio J. Effect of player position on movement behaviour, physical and physiological performances during an 11-a-side football game. *J Sports Sci.* 2014;32(2):191-9. PubMed PMID: 24016056.

50. Bartlett R, Button C, Robins M, Dutt-Mazumder A, Kennedy G. Analysing team coordination patterns from player movement trajectories in soccer: methodological considerations. *Int J Perform Anal Sport.* 2012;12(2):398-424.

51. Moura FA, Van Emmerik REA, Santana JE, Martins LEB, Barros RML, Cunha

- SA. Coordination Analysis of Players Distribution in Football using Cross-correlation and Vector Coding Techniques. *J Sports Sci*. 2015.
52. van Emmerik REA, Miller RH, Hamill J. Dynamical systems analysis of coordination. In: Robertson DGE, Caldwell GE, Hamill J, Kamen G, Whittlesey SN, editors. *Research methods in biomechanics*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics; 2004. p. 291-315.
53. Vilar L, Araujo D, Davids K, Button C. The role of ecological dynamics in analysing performance in team sports. *Sports medicine*. 2012 Jan;42(1):1-10. PubMed PMID: 22149695.
54. Travassos B, Araújo D, Correia V, Esteves P. Eco-dynamics approach to the study of team sports performance. *Open Sports Sci J*. 2010;3:56-7.
55. McGarry T, Anderson DI, Wallace SA, Hughes MD, Franks IM. Sport competition as a dynamical self-organizing system. *J Sports Sci*. 2002 Oct;20(10):771-81. PubMed PMID: 12363294. Epub 2002/10/05.
56. Glazier PS. Game, set and match? Substantive issues and future directions in performance analysis. *Sports medicine*. 2010 Aug;40(8):625-34. PubMed PMID: 20632735.
57. Taylor JB, Mellalieu SD, James N. A comparison of individual and unit tactical behaviour and team strategy in professional soccer. *Int J Perform Anal Sport*. 2005;5(2):87-101.
58. Kim S. Voronoi Analysis of a Soccer Game. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*. 2004;9(3):233-40.
59. Santana JE. Representação da área de responsabilidade de jogadores de futebol através do Diagrama de Voronoi [Dissertação de mestrado]. Campinas: UNICAMP; 2011.
60. Folgado H, Duarte R, Fernandes O, Sampaio J. Competing with lower level

opponents decreases intra-team movement synchronization and time-motion demands during pre-season soccer matches. *PloS one*. 2014;9(5):e97145. PubMed PMID: 24817186. Pubmed Central PMCID: 4016249.

61. Araújo D, Passos P, Esteves P, Duarte R, Lopes J, Hristovski R, et al. The micro-macro link in understanding sport tactical behaviours: Integrating information and action at different levels of system analysis in sport. *Movement & Sport Sciences / Science & Motricité*. 2015 (89):53-63.

62. Travassos B, Davids K, Araújo D, Esteves PT. Performance analysis in team sports: Advances from an Ecological Dynamics approach. *Int J Perform Anal Sport*. 2013;13(1):83-95.

63. Headrick J, Davids K, Renshaw I, Araujo D, Passos P, Fernandes O. Proximity-to-goal as a constraint on patterns of behaviour in attacker-defender dyads in team games. *J Sports Sci*. 2012;30(3):247-53. PubMed PMID: 22176036.

64. Clemente FM, Couceiro MS, Martins FM, Dias G, Mendes R. Interpersonal dynamics: 1v1 sub-phase at sub-18 football players. *Journal of human kinetics*. 2013 Mar;36:179-89. PubMed PMID: 23717367. Pubmed Central PMCID: 3661890.

65. Duarte R, Araujo D, Davids K, Travassos B, Gazimba V, Sampaio J. Interpersonal coordination tendencies shape 1-vs-1 sub-phase performance outcomes in youth soccer. *J Sports Sci*. 2012 May;30(9):871-7. PubMed PMID: 22545768.

66. Siegle M, Lames M. Modeling soccer by means of relative phase. *J Systems Science & Complexity*. 2013;26(1):14-20.

67. Correia V, Passos P, Araujo D, Davids K, Diniz A, Kelso JAS. Coupling tendencies during exploratory behaviours of competing players in rugby union dyads. *European journal of sport science*. 2014 May(ahead-of-print):1-9. PubMed PMID: 24814417.

68. Bourbousson J, Seve C, McGarry T. Space-time coordination dynamics in

basketball: Part 1. Intra- and inter-couplings among player dyads. *J Sports Sci.* 2010 Feb;28(3):339-47. PubMed PMID: 20131146. Epub 2010/02/05.

69. Travassos B, Araujo D, Vilar L, McGarry T. Interpersonal coordination and ball dynamics in futsal (indoor football). *Human movement science.* 2011 Dec;30(6):1245-59. PubMed PMID: 21683464.

70. Vilar L, Araujo D, Travassos B, Davids K. Coordination tendencies are shaped by attacker and defender interactions with the goal and the ball in futsal. *Human movement science.* 2014 Feb;33:14-24. PubMed PMID: 24576704.

71. Travassos B, Araujo D, Duarte R, McGarry T. Spatiotemporal coordination behaviors in futsal (indoor football) are guided by informational game constraints. *Human movement science.* 2012 Aug;31(4):932-45. PubMed PMID: 22672740.

72. Clemente FM, Couceiro MS, Martins FM, Dias G, Mendes R. The influence of task constraints on attacker trajectories during 1v1 sub-phase in soccer practice. *SportLogia.* 2012;8(1):13-20.

73. Frencken WGP, Van Der Plaats J, Visscher C, Lemmink KAPM. Size matters: Pitch dimensions constrain interactive team behaviour in soccer. *J Syst Sci Complex.* 2013 Feb;26(1):85-93.

74. Silva P, Vilar L, Davids K, Araujo D, Garganta J. Sports teams as complex adaptive systems: manipulating player numbers shapes behaviours during football small-sided games. *SpringerPlus.* 2016;5:191. PubMed PMID: 27026887. Pubmed Central PMCID: 4769238.

75. Grehaigne JF, Bouthier D, David B. Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. *J Sports Sci.* 1997 Apr;15(2):137-49. PubMed PMID: 9258844.

76. Duarte R, Araujo D, Freire L, Folgado H, Fernandes O, Davids K. Intra- and inter-group coordination patterns reveal collective behaviors of football players near the scoring zone. *Human movement science.* 2012 Dec;31(6):1639-51. PubMed

PMID: 22513231.

77. Duarte R, Araujo D, Correia V, Davids K, Marques P, Richardson MJ. Competing together: Assessing the dynamics of team-team and player-team synchrony in professional association football. *Human movement science*. 2013 Aug;32(4):555-66. PubMed PMID: 24054894.

78. Sparrow WA, Donovan E, Van Emmerik R, Barry EB. Using relative motion plots to measure changes in intra-limb and inter-limb coordination. *J Mot Behav*. 1987;19(1):115-29.

79. Chang R, Van Emmerik R, Hamill J. Quantifying rearfoot-forefoot coordination in human walking. *J Biomech*. 2008 Oct;41(14):3101-5. PubMed PMID: 18778823.

80. Ferber R, Davis IM, Williams DS, 3rd. Effect of foot orthotics on rearfoot and tibia joint coupling patterns and variability. *J Biomech*. 2005 Mar;38(3):477-83. PubMed PMID: 15652545.

81. Heiderscheit BC. Variability of Stride Characteristics and joint Coordination Among Individuals. *J Appl Biomech*. 2002;18:110-21.

82. Wilson C, Simpson SE, van Emmerik RE, Hamill J. Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*. 2008 Jan;7(1):2-9. PubMed PMID: 18341132.

83. Folgado H, Duarte R, Marques P, Sampaio J. The effects of congested fixtures period on tactical and physical performance in elite football. *J Sports Sci*. 2015;33(12):1238-47. PubMed PMID: 25765524.

84. Mackenzie R, Cushion C. Performance analysis in football: a critical review and implications for future research. *J Sports Sci*. 2013;31(6):639-76. PubMed PMID: 23249092.

85. Lago-Penas C, Lago-Ballesteros J. Game location and team quality effects on performance profiles in professional soccer. *Journal of Sports Science and*

Medicine. 2011;10(3):465-71. PubMed PMID: 24150619. Pubmed Central PMCID: 3737821.

86. Lago C. The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football. *J Sports Sci.* 2009 Nov;27(13):1463-9. PubMed PMID: 19757296. Epub 2009/09/17.

87. Taylor JB, Mellalieu SD, James N, Shearer DA. The influence of match location, quality of opposition, and match status on technical performance in professional association football. *J Sports Sci.* 2008 Jul;26(9):885-95. PubMed PMID: 18569554.

88. Almeida CH, Ferreira AP, Volossovitch A. Effects of Match Location, Match Status and Quality of Opposition on Regaining Possession in UEFA Champions League. *Journal of human kinetics.* 2014 Jun;41(1):203-14. PubMed PMID: 25114747. Pubmed Central PMCID: 4120454.

89. IFAB. Laws of the game 2016/17 2016 [01/07/2016]. Available from: http://www.fifa.com/mm/Document/FootballDevelopment/Refereeing/02/79/92/44/Laws.of.the.Game.2016.2017_Neutral.pdf.

90. FIFA. The home of FIFA 2015 [cited 2015 01/09/2015]. Available from: <http://www.fifa.com/about-fifa/home-of-fifa/fifa-headquarters.html>.

91. Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports medicine.* 2005;35(6):501-36. PubMed PMID: 15974635. Epub 2005/06/25.

92. Reilly T, Gilbourne D. Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci.* 2003 Sep;21(9):693-705. PubMed PMID: 14579867.

93. Reilly T. The science of training—soccer: A scientific approach to developing strength, speed and endurance: Routledge; 2007.

94. Wesson J. The science of soccer: CRC Press; 2002.

95. Lees A, Nolan L. The biomechanics of soccer: a review. *J Sports Sci.* 1998 Apr;16(3):211-34. PubMed PMID: 9596356. Epub 1998/05/22.
96. Hennig EM, Sterzing TF, editors. The use of global positioning systems (GPS and DGPS) for the tracking of human motion. XVII Congress of the International Society of Biomechanics; 1999; Canada.
97. Schutz Y, Chambaz A. Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European journal of clinical nutrition.* 1997 May;51(5):338-9. PubMed PMID: 9152686.
98. Schutz Y, Herren R. Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine and science in sports and exercise.* 2000 Mar;32(3):642-6. PubMed PMID: 10731007.
99. Castagna C, Impellizzeri F, Cecchini E, Rampinini E, Alvarez JC. Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009 Oct;23(7):1954-9. PubMed PMID: 19855318.
100. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Simpson BM, Bourdon PC. Match running performance and fitness in youth soccer. *Int J Sports Med.* 2010 Nov;31(11):818-25. PubMed PMID: 20703978.
101. McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. Performance analysis of elite Rugby League match play using global positioning systems. *J Strength Cond Res.* 2011 Jun;25(6):1703-10. PubMed PMID: 21358424.
102. Cummins C, Orr R, O'Connor H, West C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine.* 2013 Oct;43(10):1025-42. PubMed PMID: 23812857.
103. Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports medicine.* 2008;38(10):839-62. PubMed PMID: 18803436. Epub 2008/09/23.

104. Edgecomb SJ, Norton KI. Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian football. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*. 2006 May;9(1-2):25-32. PubMed PMID: 16580251.
105. Ogris G, Leser R, Horsak B, Kornfeind P, Heller M, Baca A. Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes. *J Sports Sci*. 2012;30(14):1503-11. PubMed PMID: 22906154.
106. Bobick AF, Davis JW. The recognition of human movement using temporal templates. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2001;23(3):257-67.
107. Intille SS, Bobick AF. *Visual tracking using closed-worlds*: Citeseer; 1994.
108. Intille SS, Davis JW, Bobick AF, editors. *Real-time closed-world tracking*. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition; 1997.
109. Seo Y, Choi S, Kim H, Hong K-S. Where are the ball and players? Soccer game analysis with color-based tracking and image mosaick. In: Del Bimbo A, editor. *Image Analysis and Processing*. Lecture Notes in Computer Science. 1311: Springer Berlin Heidelberg; 1997. p. 196-203.
110. Barris S, Button C. A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports medicine*. 2008;38(12):1025-43. PubMed PMID: 19026019.
111. Bueno MJO, Caetano FG, Pereira TJ, De Souza NM, Moreira GD, Nakamura FY, et al. Analysis of the distance covered by Brazilian professional futsal players during official matches. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*. 2014 Sep:1-11. PubMed PMID: 25224298.
112. Caetano FG, Bueno MJO, Marche AL, Nakamura FY, Cunha SA, Moura FA. Characterization of the Sprint and Repeated-Sprint Sequences Performed by Professional Futsal Players, According to Playing Position, During Official Matches.

J Appl Biomech. 2015 Dec;31(6):423-9. PubMed PMID: 26155741.

113. Grimshaw P, Lees A, Fowler N, Burden A. Sport and exercise biomechanics. New York: Taylor & Francis Group; 2006. 392 p.

114. Weston M, Drust B, Gregson W. Intensities of exercise during match-play in FA Premier League referees and players. J Sports Sci. 2011 Mar;29(5):527-32. PubMed PMID: 21294032.

115. Vigne G, Gaudino C, Rogowski I, Alloatti G, Hautier C. Activity profile in elite Italian soccer team. Int J Sports Med. 2010 May;31(5):304-10. PubMed PMID: 20301042.

116. Rienzi E, Drust B, Reilly T, Carter JE, Martin A. Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. The Journal of sports medicine and physical fitness. 2000 Jun;40(2):162-9. PubMed PMID: 11034438.

117. Drust B, Reilly T, Cable NT. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. J Sports Sci. 2000 Nov;18(11):885-92. PubMed PMID: 11144865.

118. Reilly T. An ergonomics model of the soccer training process. J Sports Sci. 2005 Jun;23(6):561-72. PubMed PMID: 16195005.

119. Castellano J, Blanco-Villasenor A, Alvarez D. Contextual variables and time-motion analysis in soccer. Int J Sports Med. 2011 Jun;32(6):415-21. PubMed PMID: 21590641. Epub 17.05.2011.

120. Barbanti VJ. Dicionário de Educação Física e Esporte. Barueri: Manole; 1994.

121. Mitchell SA. Approaches to Teaching Games: Improving invasion game performance. The Journal of Physical Education, Recreation and Dance. 1996;2(2):30-3.

122. Yue Z, Broich H, Seifriz F, Mester J. Mathematical Analysis of a Soccer Game. Part II: Energy, Spectral, and Correlation Analyses. *Studies in Applied Mathematics*. 2008 Oct;121(3):245-61. PubMed PMID: ISI:000262364100002.
123. Menezes RP, Misuta MS, Figueroa PJ, Cunha SA, Barros RML, editors. Variabilidade da representação por componentes principais das posições de jogadores de futebol. XI Congresso Brasileiro de Biomecânica; 2005; João Pessoa, Brazil 2005.
124. Bar-Yam Y. *Complex systems and sports: complex systems insights to building effective teams*. Cambridge (MA): NECSI. 2003.
125. Kelso JAS. *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*: MIT press; 1995.
126. Hughes M, Dawkins N, David R, Mills J. Part II: Interdisciplinary. *J Sports Sci*. 1998 Jan;16(1):14-25.
127. James N, Rees GD, Griffin E, Barter P, Taylor J, Heath L, et al. Analysing soccer using perturbation attempts. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2012;7(2).
128. Memmert D, Lemmink KA, Sampaio J. Current Approaches to Tactical Performance Analyses in Soccer Using Position Data. *Sports medicine*. 2016 Jun. PubMed PMID: 27251334.
129. Corbetta D, Thelen E. The developmental origins of bimanual coordination: a dynamic perspective. *Journal of experimental psychology Human perception and performance*. 1996 Apr;22(2):502-22. PubMed PMID: 8934856.
130. Haken H, Kelso JAS, Bunz H. A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biol Cybern*. 1985;51(5):347-56. PubMed PMID: 3978150.
131. Kelso JAS. Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *The American journal of physiology*. 1984 Jun;246(6 Pt 2):R1000-4.

PubMed PMID: 6742155.

132. Kelso JAS, Holt KG, Rubin P, Kugler PN. Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of non-linear, limit cycle oscillatory processes: theory and data. *J Mot Behav.* 1981;13(4):226-61.

133. James N, Mellalieu SD, Hollely C. Analysis of strategies in soccer as a function of European and domestic competition. *Int J Perform Anal Sport.* 2002;2(1):85-103.

134. Fonseca S, Milho J, Travassos B, Araujo D. Spatial dynamics of team sports exposed by Voronoi diagrams. *Human movement science.* 2012 Dec;31(6):1652-9. PubMed PMID: 22770973.

135. Araújo D, Diniz A, Passos P, Davids K. Decision making in social neurobiological systems modeled as transitions in dynamic pattern formation. *Adapt Behav.* 2014;22(1):21-30.

136. Shafizadeh M, Davids K, Correia V, Wheat J, Hizan H. Informational constraints on interceptive actions of elite football goalkeepers in 1v1 dyads during competitive performance. *J Sports Sci.* 2016 Sep;34(17):1596-601. PubMed PMID: 26652039.

137. Passos P, Araujo D, Davids K. Self-organization processes in field-invasion team sports : implications for leadership. *Sports medicine.* 2013 Jan;43(1):1-7. PubMed PMID: 23315752.

138. Esteves PT, Araujo D, Davids K, Vilar L, Travassos B, Esteves C. Interpersonal dynamics and relative positioning to scoring target of performers in 1 vs. 1 sub-phases of team sports. *J Sports Sci.* 2012;30(12):1285-93. PubMed PMID: 22852826.

139. Balagué N, Torrents C, Hristovski R, Davids K, Araújo D. Overview of complex systems in sport. *J Syst Sci Complex.* 2013;26(1):4-13.

140. Davids K, Araújo D, Shuttleworth R. Applications of dynamical systems theory

to football. *Science and football* V. 2005:537-50.

141. Misuta MS. Rastreamento automático de trajetórias de jogadores de futebol por videogrametria: validação do método e análise dos resultados [Dissertação de Mestrado]. Campinas: UNICAMP; 2004.

142. Szwarcfiter JL. Grafos e algoritmos computacionais. Rio de Janeiro: Campus; 1984.

143. Abdel-Aziz YI, Karara HM, editors. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry 1971*; Urbana, Illinois.

144. Cunha SA, Lima Filho EC. Metodologia para suavização de dados biomecânicos por função não paramétrica ponderada local robusta. *Revista Brasileira de Biomecânica*. 2003;1(6):23-8.

145. Mukaka MM. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J*. 2012;24(3):69-71. PubMed PMID: PMC3576830.

146. Zar JH. *Biostatistical Analysis*. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall; 2010. 944 p.

147. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*. 2000 Sep;18(9):669-83. PubMed PMID: 11043893.

148. Bell W, Rhodes G. The morphological characteristics of the association football player. *Brit J Sports Med*. 1975;9(4):196.

149. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci*. 2005 Jun;23(6):593-9. PubMed PMID: 16195008. Epub 2005/10/01.

150. Bradley PS, Noakes TD. Match running performance fluctuations in elite soccer: indicative of fatigue, pacing or situational influences? *J Sports Sci*.

2013;31(15):1627-38. PubMed PMID: 23808376.