

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

Milton Shoiti Misuta

**ANÁLISE DO PROCESSO DE
RASTREAMENTO AUTOMÁTICO
DE JOGADORES EM ESPORTES
COLETIVOS**

Campinas
2009

Milton Shoiti Misuta

**ANÁLISE DO PROCESSO DE
RASTREAMENTO AUTOMÁTICO
DE JOGADORES EM ESPORTES
COLETIVOS**

Tese de Doutorado apresentada à Pós-Graduação da Faculdade de Educação Física da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas
2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP

M691a	Misuta, Milton Shoiti. Análise do processo de rastreamento automático de jogadores em esportes coletivos / Milton Shoiti Misuta. - Campinas, SP: [s.n.], 2009. Orientadores: Ricardo Machado Leite de Barros. Tese (doutorado) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas. 1. Rastreamento automático. 2. Esportes coletivos. 3. Futebol. 4. Handebol. 6. Biomecânica. I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.
-------	---

Título em Inglês: Analysis of the automatic tracking of players in collective sports.

Palavras-chave em inglês (Keywords): Automatic tracking; Collective sports; Soccer; Handball; Biomechanics.

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento Humano.

Titulação: Doutorado em Educação Física.

Banca Examinadora: Cláudio Alexandre Gobatto. Pascual Jovino Figueroa Rivero. Ricardo de Oliveira Anido. Ricardo Machado Leite de Barros. Sérgio Augusto Cunha.

Data da Defesa: 05/02/2009.

Milton Shoiti Misuta

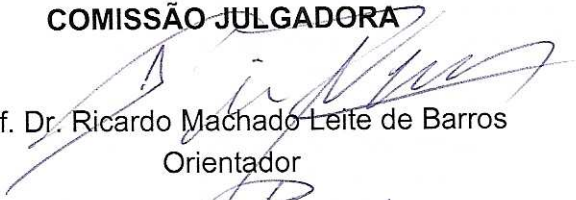
ANÁLISE DO PROCESSO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES EM ESPORTES COLETIVOS

Este exemplar corresponde à redação final da Tese de Doutorado defendida por Milton Shoiti Misuta e aprovada pela Comissão julgadora em: 05/02/2009.



Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Orientador

Campinas
2009

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Orientador



Prof. Dr. Pascual Jovino Figueroa



Prof. Dr. Claudio Gobatto



Prof. Dr. Ricardo Anido



Prof. Dr. Sergio Augusto Cunha

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos pelo apoio, amor e carinho que me possibilitaram caminhar nesta trilha

Agradecimentos

Pelo apoio, pelo convívio, pelo aprendizado, pela amizade, por termos caminhados juntos...

aos meus pais

aos meus irmãos

aos professores Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros, Prof Dr. Euclides Custódio de Lima Filho, Prof. Dr. René Brenzikofer, Prof. Dr. Sérgio Augusto Cunha, Prof. Dr. Pascual Jovino Figueroa, Prof. Dr. Luiz Eduardo Barreto Martins

aos amigos Renato, Christiane, Fernando, Henrique, Luciana, Jô, Rubens (Faísca), Sandra, Yara, Olívia, Aluana, Thais, Paula

aos amigos do Centro Espírita Casa do Espírito Amigo - Fé e Amor, do Centro Espírita Amor ao Próximo e o grupo de Constelação Familiar

aos colegas de laboratório e projeto do futebol Tiago, Rafael, Clodoaldo, Felipe, Lorena, Fernando, Juliana

aos colegas de laboratório Pedro, Olival, Luciano, Luciane, Luciana, Mario, Cintia, Fernanda, Daniela, Carla, Amanda, Karine, Aline

aos colegas da FEF Beeroth, Beth, Dulce, Geraldinho, Giovana, Lucas, Lurdinha, Newton, Ricardinho

aos funcionários da Faculdade de Educação Física

MISUTA, Milton Shoit. Análise do Processo de Rastreamento Automático de Jogadores em Esportes Coletivos. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de rastreamento automático de jogadores implementado no Sistema Dvideo em esportes coletivos. Os objetivos específicos consistiram em analisar os processos de aquisição, calibração/reconstrução e medição automática. Para isto, a análise foi realizada com base em 5 jogos de futebol em quatro diferentes estádios. Sendo que os jogos do mesmo estádio referem-se a um jogo diurno e um jogo noturno. O método foi aplicado, também, em um jogo de handebol. A determinação de um fator (ângulo beta) relacionado ao posicionamento da câmera possibilitou a caracterização do mesmo em diferentes estádios e apresentou-se como um parâmetro objetivo de comparação para os variados locais de filmagem. A calibração realizada neste trabalho apresentou boa acurácia e confiabilidade, pois apresentou erro médio de 0,2 ($\pm 0,1$)m na determinação da posição e erro médio de 0,3 ($\pm 0,1$)% na determinação da distância percorrida dos jogadores ($n=10$). O percentual de rastreamento automático para os cinco jogos de futebol foi de J-1 (93,8%), J-2 (84,8%), J-3 (88,5%), J-4 (77,6%) e J-5 (86,0%). Nos cinco jogos analisados, o erro médio encontrado na determinação de distância percorrida dos jogadores ($n=50$) foi de 2,2 ($\pm 1,7$)%. O resultado da Three-way ANOVA mostrou que o fator ângulo beta influenciou significativamente na taxa de rastreamento automático. Esta influência está baseada no fato de que valores baixos do ângulo beta estão relacionados à maior incidência das situações de junção entre jogadores. O percentual de automatização (66%) foi mais baixo para o handebol, mas é um importante resultado visando o desenvolvimento do método para ser aplicado em diferentes modalidades coletivas. A avaliação de cada processo realizada neste estudo trouxe resultados consistentes pelo percentual de automatização apresentado, pelos valores encontrados dos erros aceitáveis e comparáveis aos valores relatados na literatura e pelo fato de que todas as partidas oficiais foram de campeonatos da primeira divisão do futebol brasileiro. Considerando a taxa de rastreamento automático médio de 86,1% e o erro relativo na determinação da distância percorrida de 2,2 ($\pm 1,7$)%, pode-se inferir que os resultados experimentais desse estudo mostraram a aplicabilidade, a confiabilidade e a consistência do referido método, diante de diferentes condições apresentadas nos cinco jogos para a obtenção da trajetória dos jogadores.

Palavras-Chaves: rastreamento automático, esportes coletivos, futebol, handebol, biomecânica

MISUTA, Milton Shoiti. Análise do Processo de Rastreamento Automático de Jogadores em Esportes Coletivos. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Educação Física)-Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

ABSTRACT

The aim of this research was to analyze the automatic tracking process of the players in collective sports developed in the *Dvideo System*. The specific aims consisted of analyzing the acquisition, calibration/reconstruction and automatic tracking processes. For this, the evaluation was accomplished based on 5 soccer games in four different stadiums. In the same stadium, one of the games was played in daytime and the other one was played at night. The method was also applied in a handball game. The determination of a factor (beta angle) related to the positioning of the camera made possible the characterization in different stadiums and it can be an objective parameter of comparison among the stadiums. The calibration performed in this work presented accuracy and reliability, because it presented mean error of 0,2 ($\pm 0,1$)m in the determination of the position and mean error of 0,3 ($\pm 0,1$)% in the determination of the distance covered by the players (n=10). The percentage of automatic tracking for the five soccer games were J-1 (93,8%), J-2 (84,8%), J-3 (88,5%), J-4 (77,6%) and J-5 (86,0%). Considering the five games, the mean error found in the determination of the distance covered by the players (n=50) was of 2,2 ($\pm 1,7$)%. The statistical procedure three-way analysis of variance (ANOVA) showed that the factor beta angle influenced significantly on the percentage of automatic tracking. This is based on the fact that low value of the angle beta is related to the incidence of the occlusion among players in the image. The percentage of automatic tracking (66%) was lower in a handball game, but it showed to be an important result considering the development of this method to be applied in different sports. The evaluation of each process performed in this study presented consistent results of the percentage of automatic tracking and the relative error in the determination of the distance covered was acceptable and it was comparable to the errors presented in the literature. Furthermore, all of the games were in the Brazilian First Division Championship. Considering the percentage of the automatic tracking (86,1%) and the relative error in the determination of the distance covered of 2,2 ($\pm 1,7$)%, it can be inferred that the experimental results presented in this study showed the applicability, the reliability and the consistence of the referred method, due to different conditions presented in the five games for the obtaining of the players' trajectory.

Keywords: automatic tracking, collective sports, soccer, handball, biomechanics

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 : Descrição da posição, $p(x, y)$, do jogador feita a partir da localização de um único ponto (projeção do jogador sobre um plano).....	7
Figura 2.2: Imagem de fundo obtida	9
Figura 2.3: (a) ilustração com o valor dos <i>pixels</i> (RGB) que formam a região correspondente a um jogador. (b) ilustração da mesma região após a operação diferença.	10
Figura 2.4: Exemplo de um quadro (imagem) relativo ao jogo de futebol e o resultado da aplicação do filtro diferença.	11
Figura 2.5: ilustração com os pixels representados pela intensidade em níveis de cinza da região correspondente a um jogador utilizando a banda R.	12
Figura 2.6: Resultado da transformação da imagem em níveis de cinza após aplicar o filtro diferença.	12
Figura 2.7: ilustração com os pixels representados pela intensidade em níveis de cinza da região correspondente a um jogador. (b) ilustração da mesma região após a operação passa-alta (limiarização com filtro = 15).....	13
Figura 2.8: Resultado da aplicação do filtro passa-alta (binarização da imagem) a partir da imagem em níveis de cinza.	14
Figura 2.9: Representação binária das regiões desconexas de um jogador	14
Figura 2.10: Representação da dilatação de uma região.....	15
Figura 2.11: Representação da erosão de uma região.....	15
Figura 2.12: Imagem binária após a aplicação do filtro morfológico de dilatação.....	16
Figura 2.13: Representação da relação de conexidade conexo-4 (vizinhança-4) e conexo-8 (vizinhança-8).....	17
Figura 2.14: Ilustração de uma região com componentes conexo-4 e conexo-8. Bloco A(1) composto por um pixel, bloco B(2) composto por 11 pixels, bloco C(3) e D(4) compostos por 2 pixels, bloco E(5) e F(6) compostos por 3 pixels	18
Figura 2.15: Esquema do <i>labeling</i> dos componentes conexos que representam os jogadores nas imagens.	19
Figura 2.16: Imagem do campo e o contorno obtido para cada jogador (<i>labeling</i>).	19
Figura 2.17: modelo de jogador para identificação da equipe ao qual o jogador pertence.	20
Figura 2.18: histograma dos jogadores. Adaptada de Figueroa (2006a)	21
Figura 2.19a: Seqüência de imagens do jogo	25
Figura 3.1: Representação do ambiente de coleta no handebol.	31
Figura 3.2: Imagem das câmeras 1 e 2.	32
Figura 3.3: Esquema das câmeras posicionadas no estádio e o ângulo (β) relacionado à altura (Z_0) e recuo (Y_0).....	33
Figura 3.4: Imagem de uma câmera com os jogadores selecionados manualmente para a obtenção da dimensão dos jogadores (largura x altura) na imagem em pixels.....	35
Figura 3.5: Imagens do campo do jogo J-3 vistas pelas 4 câmeras.	36
Figura 4.1: Representação de um campo de futebol com a <i>área calibrada</i> a partir dos pontos $p_j(j=1,4,5,8,14 \text{ e } 15)$	43
Figura 4.2: Imagens do campo do jogo J-3 vistas pelas 4 câmeras. Os pontos destacados em cada uma das imagens são os pontos utilizados para a calibração.	44
Figura 4.3: Descrição da posição $p_i(x_i, y_i)$ de um jogador e o vetor associado a este ponto no quadro i.....	45
Figura 5.1: Situação com positivo, falso negativo (a-1 e a-2). Situação de junção (b). Situação de splitting (c).....	56
Figura 5.2: Exemplo com a imagem das quatro câmeras utilizadas no jogo J-3 nas quais as regiões correspondentes aos jogadores estão com as cores atribuídas na etapa identificação da equipe (azul - time A, verde - time B ou vermelho – indefinido).	57
Figura 5.3: Região delimitado por um retângulo com dimensão (11 x 20 pixels) centrado na posição $p(x,y)$ de um jogador.....	58
Figura 5.4: imagem do campo no começo 2°. tempo, meio 2°. Tempo e final 2°. Tempo.....	62
Figura 5.5: (a) imagem com os jogadores, (b) imagem de fundo obtido.	62
Figura 5.6: (a) imagem do campo, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado da dilatação, (d) obtenção do contorno dos jogadores.	63
Figura 5.7: A altura (h)/recuo(r) e a relação com a junção e/ou oclusão entre jogadores.....	64
Figura 5.8: situação de junção entre jogadores devido à relação altura(h)/recuo(r).	65
Figura 5.9: (a) imagem do campo, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado da aplicação do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.	66
Figura 5.10: (a) Imagem original, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe.....	69

Figura 5.11: Histograma dos jogadores <i>time a</i> e <i>time b</i>	69
Figura 5.12: (a) Imagem original, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe. Os jogadores em destaque num quadrado não tiveram identificação e os jogadores em destaque num círculo não foram identificados corretamente.....	70
Figura 5.13: Histograma dos jogadores <i>time a</i> , <i>time b1</i> e <i>time b2</i>	71
Figura 5.14: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-1 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.	75
Figura 5.15: (a) imagem com os jogadores de handebol, (b) imagem de fundo de uma quadra.	80
Figura 5.16: (a) imagem da quadra, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.	81
Figura 5.17: (a) imagem da quadra, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.	82
Figura 5.18: (a) Imagem com os jogadores de handebol na quadra, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe. O jogador em destaque (equipe b2) foi classificado como identificação indefinida e os demais jogadores foram corretamente identificados.....	84
Figura 5.19: Histograma dos jogadores <i>time a</i> , <i>time b1</i> e <i>time b2</i>	84
Figura 5.20: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático (9000 quadros) considerando os 6 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1: Determinação dos valores dos parâmetros relativa ao processo de identificação do time ao qual o jogador pertence para os jogos de futebol e handebol.	54
Quadro 5.2. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-3.	66
Quadro 5.3: Resultados da quantidade de intervenções ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático totalizados por jogo. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.	76
Quadro 5.4: Conjunto de variáveis e os respectivos valores que foram utilizados para a análise de correlação considerando cada jogo (J-1, J-2, J-3, J-4 e J-5).	76
Quadro 5.5: Variáveis que tiveram correlação forte ou muito forte e apresentaram significância ($P < 0.05$).	77
Quadro 5.6: Variáveis que tiveram correlação moderada ou forte sem apresentar significância ($P < 0.05$).	77
Quadro 5.7: Conjunto de variáveis e os respectivos valores que foram utilizados para a análise de correlação considerando as posições dos jogadores (ZA,LD,LE,ME,AT).	78
Quadro 5.8. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo de handebol.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Parâmetros extrínsecos das câmeras utilizadas no jogo J-3 e o ângulo beta calculado a partir de Y_0 e Z_0 .	36
Tabela 3.2: Parâmetros extrínsecos das câmeras (Y_0 e Z_0) e o ângulo beta calculado para todos os jogos.	37
Tabela 3.3: Valores médios da dimensão dos jogadores (largura x altura) relativos às quatro câmeras de todos os jogos analisados.	38
Tabela 3.4: Parâmetros extrínsecos das câmeras (Y_0 e Z_0) e o ângulo beta calculado para o jogo de handebol.	38
Tabela 3.5: Valores médios da dimensão dos jogadores (largura x altura) relativa às duas câmeras do jogo de handebol.	39
Tabela 4.1: Valores médios de distância percorrida (Dist. Perc) relativos ao efeito de calibrações feitas por diferentes operadores.	47
Tabela 4.2: Resultados do coeficiente de reprodutibilidade (R) calculados considerando as medidas de distância percorrida para cada um dos operadores.	48
Tabela 5.1: Resultado relativo à localização dos jogadores nos 2700 quadros durante o processo de segmentação para o jogo J-1 (time A e B).	67
Tabela 5.2: Resultados da segmentação de todos os jogos em termos dos valores médios e os respectivos valores de desvio padrão (positivo e falso negativo) e a totalização dos tempos em cada uma das etapas (segmentação, <i>splitting</i> e construção do grafo).	68
Tabela 5.3: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-1 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático 'Autom', tempo de rastreamento 'tempo' e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, 'Id.Certo', 'Id.Errado' e 'Id.Indef').	72
Tabela 5.4: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($Erro_{detPos}$) e da distância percorrida ($Erro_{DistPerc}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-1 (time A e B).	73
Tabela 5.5: Resultados do processo de medição automático de todos os jogos apresentado em valores médios ($\pm SD$) relativos à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático 'Autom ¹ ', tempo de rastreamento 'tempo' e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, 'Id.cCerto', 'Id.Errado' e 'Id.Indef'). E resultados de distância percorrida (medição manual e automática, 'Autom ² '), erro na determinação da posição ($Erro^2$) e da distância percorrida do jogador ($Erro^1$). Todo o processamento foi realizado num PC Core 2 Duo E6400.	74
Tabela 5.6: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo de handebol.	83
Tabela 5.7: Resultado do processo de medição automático para o jogo de handebol relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático 'Autom', tempo de rastreamento 'tempo' e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, 'Id.Certo', 'Id.Errado' e 'Id.Indef').	85
Tabela 5.8: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($Erro_{detPos}$) e da distância percorrida ($Erro_{DistPerc}$) dos jogadores relacionados ao jogo de handebol.	86

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2	5
DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO - DVIDEOW	5
2.1 AQUISIÇÃO	6
2.2 CALIBRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO BIDIMENSIONAL	6
2.3 MEDIÇÃO AUTOMÁTICA	8
CAPÍTULO 3	29
PROCESSO DE AQUISIÇÃO	29
3.1 INTRODUÇÃO	29
3.2 AQUISIÇÃO	30
3.2.1 Obtenção Parâmetros da câmera	32
3.2.2 Ângulo β	33
3.2.3 Dimensão dos Jogadores	34
3.3 RESULTADOS / DISCUSSÃO	35
CAPÍTULO 4	41
PROCESSO CALIBRAÇÃO/RECONSTRUÇÃO	41
4.1 INTRODUÇÃO	41
4.2 CALIBRAÇÃO/RECONSTRUÇÃO	42
4.2.1 Descrição da posição do jogador	44
4.2.2 Avaliação da calibração	46
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CAPÍTULO 5	49
PROCESSO DE MEDIÇÃO AUTOMÁTICA	49
5.1 INTRODUÇÃO	49
5.2 MEDIÇÃO AUTOMÁTICA	51
5.2.1 Determinação dos Valores dos Parâmetros dos Algoritmos Utilizados na Medição Automática	52
5.2.2 Medição das trajetórias	54
5.2.3 Caracterização do Blob	55
5.2.4 Análise Estatística	58
5.3 APLICAÇÃO FUTEBOL	61
5.4 APLICAÇÃO: HANDEBOL	79
5.5 DISCUSSÃO	87
CONCLUSÕES	91
PUBLICAÇÃO	95
Referências	97
ANEXO	101
APÊNDICE	115

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A análise objetiva da dinâmica de um jogo coletivo requer o desenvolvimento de metodologias eficientes para detectar e codificar o maior número de informações disponíveis durante a partida. Na literatura, há uma crescente presença da análise quantitativa das informações usando recursos da computação, da eletrônica e da matemática. O tratamento do esporte coletivo como objeto de investigação científica aponta para o desenvolvimento de métodos para registro, tratamento, análise e interpretação das informações referentes ao jogo. Com relação ao registro, diversas metodologias têm sido relatadas na literatura para a obtenção de dados contínuos sobre a posição do atleta em função do tempo em várias modalidades.

A metodologia baseada na videogrametria (INTILLE; BOBICK, 1994; TAKI et al., 1996; BARROS et al., 2001; NEEDHAM; BOYLE, 2001; IWASE; SAITO, 2004; PERS et al., 2000; DI SALVO et al., 2006; FIGUEROA et al., 2006a; FIGUEROA et al., 2006b) utilizando câmera de vídeo e computador possibilita a obtenção da posição do jogador em função do tempo de todos os jogadores, há a possibilidade de visualização de cada evento ocorrido e conseqüente associação dos eventos às trajetórias de cada atleta, bem como realizar a anotação dos eventos.

Os métodos de rastreamento automático apresentados na literatura consistem basicamente de três etapas: aquisição, calibração e medição automática. Os aspectos a serem considerados na etapa de aquisição consistem em enquadrar toda a região do campo e obter uma boa resolução dos jogadores. Para isto, o planejamento visando o posicionamento adequado das câmeras é importante para não comprometer as etapas seguintes relacionadas ao rastreamento automático (INTILLE; BOBICK, 1994).

A calibração é um processo fundamental na obtenção da posição do jogador no campo e consiste primeiramente em conhecer a relação entre as coordenadas de tela (x,y) e o sistema de referência associado ao campo. O processo de calibração envolve a obtenção

adequada de pontos conhecidos no sistema de coordenadas associadas ao campo, que serão utilizadas para a calibração das câmeras e a identificação destes pontos na imagem correspondente. Entre os métodos de calibração mais conhecidos e utilizados na literatura pode-se citar o método denominado Tsai (TSAI, 1986) e o DLT (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971).

A medição automática visando a obtenção da trajetória de todos os jogadores é o objetivo dos diversos métodos apresentados na literatura (XU et al., 2005, NEEDHAN; BOYLE, 2001, IWASE; SAITO, 2004, FIGUEROA et al. 2006a).

Dentre os esportes coletivos, o futebol tem sido uma das modalidades que tem recebido muitas contribuições com relação ao desenvolvimento de métodos de rastreamento baseados em visão computacional e processamento de imagens. No entanto, a medição automática de todos os jogadores durante toda a partida ainda não foi apresentada e é o foco dos pesquisadores.

Um grupo de pesquisadores do Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física em conjunto com o Instituto de Computação – Unicamp, motivado pelo interesse em analisar esportes coletivos e em especial o futebol criou um método de rastreamento automático de jogadores de futebol baseado na videogrametria.

O referido método está descrito em Figueroa et al. (2006a, 2006b) e os resultados apresentados representam um grande avanço dentro da pesquisa científica. Entre as contribuições pode-se destacar a obtenção da posição de cada jogador em função do tempo durante todo o jogo, com o percentual de 94% no rastreamento automático dos jogadores e com erro relativo de 1,4% na determinação da distância percorrida pelos jogadores.

O método de rastreamento automático foi desenvolvido e implementado dentro do sistema denominado Dvideo que apresenta um conjunto de interfaces e algoritmos de processamento de imagens integrados para a realização do rastreamento automático de jogadores.

Cabe destacar outro aspecto importante que consiste na portabilidade, pois alguns dos sistemas atualmente utilizados comercialmente (Amisco Pro® e o ProZone®) necessitam de uma instalação permanente dos equipamentos (câmeras, cabos de transmissão dos sinais de vídeo, entre outros) no estádio. Neste sentido, o sistema Dvideo permite maior flexibilidade no posicionamento de câmeras em diferentes estádios. No entanto, o posicionamento inadequado pode comprometer a aplicabilidade do sistema.

Além do posicionamento das câmeras, existem outros aspectos tais como a iluminação e o uniforme das equipes que podem influenciar na qualidade do rastreamento automático. Assim, é importante analisar o sistema em diferentes condições (estádios, ginásios poli-esportivos e diferentes jogos) para analisar o impacto destes fatores na taxa de rastreamento automático e na precisão dos resultados.

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de rastreamento automático do Sistema Dvideo em diferentes jogos de futebol e em um jogo de handebol. Os objetivos específicos foram:

- a) obter um parâmetro que caracterize o posicionamento da câmera no estádio ou no ginásio de esportes e analisar o enquadramento de cada câmera em cada jogo;
- b) analisar a influência da calibração feita por diferentes operadores sobre a determinação da posição e da distância percorrida dos jogadores;
- c) avaliar o percentual de rastreamento automático dos jogadores de futebol e handebol;
- d) Avaliar a acurácia na determinação da distância percorrida dos jogadores de futebol e handebol;
- e) encontrar e determinar fatores de comparação entre os jogos /estádio analisados.

Este texto está organizado em 6 capítulos. O Capítulo 2 a seguir apresenta a descrição do método de rastreamento automático (FIGUEROA et al. 2006a, 2006 b).

O Capítulo 3, que trata da aquisição, apresenta a descrição de cada um dos locais de filmagem, dos parâmetros que caracterizam o posicionamento das câmeras e do tamanho dos jogadores em cada uma das câmeras.

O Capítulo 4, que trata calibração/reconstrução, apresenta as variáveis utilizadas para analisar a influência da calibração feita por diferentes operadores e descreve a análise intra e inter-sujeito para verificar a confiabilidade da medição dos pontos de calibração feitas pelos mesmos operadores.

O Capítulo 5, que trata da medição automática, apresenta a descrição e as formas de análise do processo de segmentação e rastreamento e os resultados do percentual de rastreamento automático para cada um dos jogos. A análise estatística foi realizada para encontrar e determinar fatores de diferenciação entre os jogos de futebol. As considerações finais estão apresentadas nas Conclusões.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO - DVIDEOW

O método de rastreamento automático de jogadores de futebol baseado na videogrametria foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física-Unicamp, em conjunto com o Instituto de Computação - Unicamp. Este trabalho foi o resultado da tese de doutorado do Prof. Dr. Pascual J. Figueroa e está publicado em Figueroa et al. (2006a, 2006b). A interface e algoritmos específicos para realizar o rastreamento automático foram desenvolvidos com a linguagem de programação Visual C++. A abordagem adotada para o tratamento do rastreamento automático foi baseada em processamento de imagens.

Neste capítulo, uma breve descrição do método de rastreamento automático será feito, pois as análises realizadas neste trabalho referem-se aos processos de aquisição, calibração/reconstrução e medição automática que compõe o método.

O processo de obtenção das coordenadas de tela relativo ao movimento de cada jogador nas seqüências de imagens foi denominado de medição e pode ser feito de forma automática ou manual.

Durante o processo de rastreamento automático ocorrem situações em que a intervenção do operador é necessária (medição manual), por exemplo, nas situações em que dois ou mais jogadores estão juntos na imagem. Nestas situações, a interface do sistema Dvideow permite que se obtenham as coordenadas de tela da posição de um determinado jogador. A primeira forma de intervenção consiste em obter a posição do jogador na imagem quadro a quadro utilizando o mouse. A segunda forma consiste em obter continuamente a posição do jogador, fazendo com que o operador siga com o mouse, o deslocamento do jogador na imagem.

2.1 AQUISIÇÃO

A filmagem foi feita com quatro câmeras de vídeo digitais, com padrão NTSC e 30 Hz de frequência de aquisição. As câmeras foram posicionadas no ponto mais alto da arquibancada, em posição fixa durante todo o jogo e de forma que foi feito o enquadramento de todo o campo.

Uma vez realizada a filmagem, a sequência de imagens de cada câmera foi transferida para disco rígido do computador. Uma placa de transferência, que utiliza o padrão IEEE 1394, foi utilizada para esta finalidade. O formato do arquivo utilizado foi o AVI (Audio Video Interleaved) com resolução de 480 linhas por 720 colunas.

2.2 CALIBRAÇÃO E RECONSTRUÇÃO BIDIMENSIONAL

O estudo da movimentação do jogador de futebol apresentado neste método foi feito sem se preocupar com o tamanho do corpo ou com os movimentos de rotações do mesmo. Para isto, importa que a descrição da posição do jogador seja feita a partir da localização de um único ponto. Assim, para a descrição do movimento do jogador considerou-se a projeção do jogador sobre um plano determinado no momento da definição do sistema de coordenadas associadas ao campo (Figura 2.1).

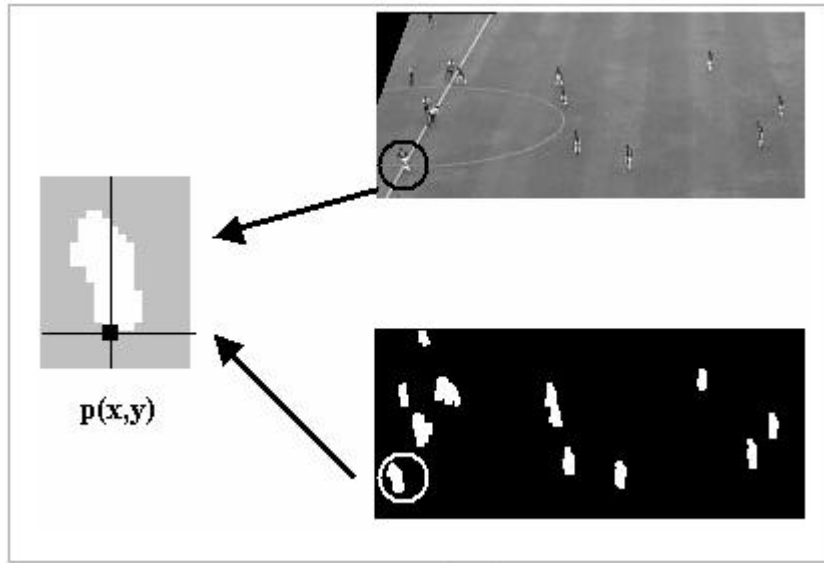


Figura 2.1 : Descrição da posição, $p(x, y)$, do jogador feita a partir da localização de um único ponto (projecção do jogador sobre um plano).

A obtenção da posição do jogador no campo consiste primeiramente em conhecer a relação entre as coordenadas de tela (x,y) e o sistema de referência associado ao campo. Para isto, a calibração de cada câmera deve ser feita a partir de, no mínimo, quatro pontos conhecidos no sistema de coordenadas associadas ao campo e as suas correspondentes coordenadas na imagem.

O método de calibração e reconstrução bidimensional (2D) utilizado foi proposto por Abdel-Aziz e Karara (1971), denominado DLT (Direct Linear Transformation).

As equações básicas do método de reconstrução tridimensional de coordenadas (DLT) foram adequadas para a reconstrução 2D e são mostradas a seguir. Para obter as coordenadas 2D (X e Y) da trajetória de um jogador a partir das coordenadas $(x$ e $y)$ de tela é preciso encontrar os parâmetros de transformação das equações. O processo de cálculo realizado para encontrar estes parâmetros é denominado de calibração e reconstrução.

$$(L_1^k - L_3^k x_i^k) X_i + (L_4^k - L_6^k x_i^k) Y_i + L_7^k - x_i^k = 0 \quad (1)$$

$$(L_2^k - L_3^k y_i^k) X_i + (L_5^k - L_6^k y_i^k) Y_i + L_8^k - y_i^k = 0 \quad (2)$$

Este sistema de equações é aplicado duas vezes, a primeira para quantificar os parâmetros da transformação (calibração) e a segunda para efetuar a reconstrução propriamente

dita. Para a calibração das câmeras temos que: x_i e y_i são as coordenadas de tela do i -ésimo ponto de um sistema de referências conhecido, para cada câmera k ; X_i e Y_i são as coordenadas no plano do i -ésimo ponto de referência e L_h^k ($h=1,...,8$) são os 8 parâmetros da transformação para a k -ésima câmera, a serem determinados.

2.3 MEDIÇÃO AUTOMÁTICA

A medição automática foi baseada em técnicas de processamento digital de imagens e os processos que envolvem foram denominados de segmentação e rastreamento. Desta forma, a identificação dos jogadores presentes nos quadros da sequência de imagens e a definição da trajetória para os respectivos jogadores foram realizadas sem a necessidade de intervenção do operador.

Segmentação

A finalidade da segmentação foi detectar o(s) objeto(s) de interesse, no caso os jogadores, a partir de uma imagem. A segmentação implementada no sistema Dvideow foi baseada em conceitos e operações de morfologia matemática.

O jogador, o campo, as placas de propaganda, entre outros objetos são representados em uma imagem colorida por um conjunto de *pixels* que possui 3 bandas associadas. A imagem colorida é armazenada em três componentes primários formando um espaço de cor. O espaço RGB, que é um dos tipos de espaço de cor, é representado por vermelho (*red* - R), verde (*green* - G) e azul (*blue* - B).

A região obtida da imagem que corresponde ao jogador é denominada de *blob*. Cada *blob* tem informações sobre cor, tamanho (número de *pixels* que representam o jogador), perímetro e coordenadas (x e y) que representam a posição do centro do *blob* na imagem. O conjunto de *operações* que foram utilizadas para a obtenção do *blob* será apresentado a seguir.

Extração de fundo. Esta operação visa a criação de uma imagem de fundo que consiste em uma imagem na qual os jogadores não estejam presentes. Ou seja, uma imagem

somente com o campo onde não haja nenhum jogador, juiz, etc. Para isto, a operação consiste em eliminar os objetos em movimento considerando um conjunto de quadros de uma seqüência de imagens. A seleção de cada um dos quadros é feita a partir de um quadro inicial (q_i) e os próximos quadros sequencialmente a cada intervalo de N quadros. O quadro inicial q_i , a quantidade total de quadros ($n=11$) e o intervalo entre os quadros ($N=60$) são estabelecidos pelo operador. Assim, ao longo desta seqüência de imagens, a movimentação do jogador é indicada pela variação de intensidade (RGB) dos *pixels* na região onde o jogador se deslocou. Por outro lado, a região em que não existe jogador esta variação não ocorre. Desta forma, a **imagem de fundo** (Figura 2.2) é construída a partir dos 11 quadros da seqüência de imagens e é obtido a partir da eliminação de objetos em movimento por uma operação de nivelamento morfológico.



Figura 2.2: Imagem de fundo obtida

Diferença. Esta operação consiste na subtração entre a imagem de fundo e o quadro corrente de uma seqüência de imagens. Os parâmetros de entrada desta operação foram constituídos pela imagem corrente, imagem de fundo e o *filtro de corte*.

O processo de limiarização (*thresholding*) em uma imagem consiste em separar uma determinada região da mesma baseada na intensidade de cor. A determinação da intensidade de cor foi dada por um intervalo entre o limite inferior e o limite superior. O **filtro de corte** corresponde ao limite inferior, que deve estar entre 0 e 255 em cada uma das bandas RGB), e o limite superior é 255. Assim, o pixel para ser classificado como região pertencente ao jogador deve ter uma das três bandas (RGB) acima do filtro de corte. O filtro de corte igual a 30 foi adotado para este exemplo.

A exemplificação desta operação foi feita a partir da ilustração de uma região da imagem que representa um jogador e os respectivos pixels (Figura 2.3a e 2.3b). Considere uma imagem de fundo cujo valor de intensidade (RGB) dos *pixels* seja 100x120x70. Na imagem corrente (Figura 2.3a), a região que corresponde ao jogador possui o valor de cada um dos pixels diferente do fundo. Além disto, duas situações de **ruído** ($r1$ e $r2$) foram colocadas e estão destacadas por uma circunferência. O **ruído** é uma região em que o valor de cada pixel possui intensidade (RGB) diferente da imagem de fundo, mas não faz parte da região relativa ao jogador.

A subtração entre a imagem de fundo e o quadro corrente é feito para cada pixel em cada uma das bandas RGB. A região que corresponde ao jogador e o respectivo valor de intensidade (RGB) resultante estão representados na Figura 2.3b. O **ruído** $r1$ foi eliminado porque o valor do pixel (25x20x10) após a diferença apresenta todas as bandas abaixo do filtro de corte, assim, na Figura 2.3b está representado com os valores (RGB) iguais a zero. O **ruído** $r2$ permaneceu porque o valor do pixel (15x35x10) após a diferença apresenta uma das bandas acima do filtro de corte.

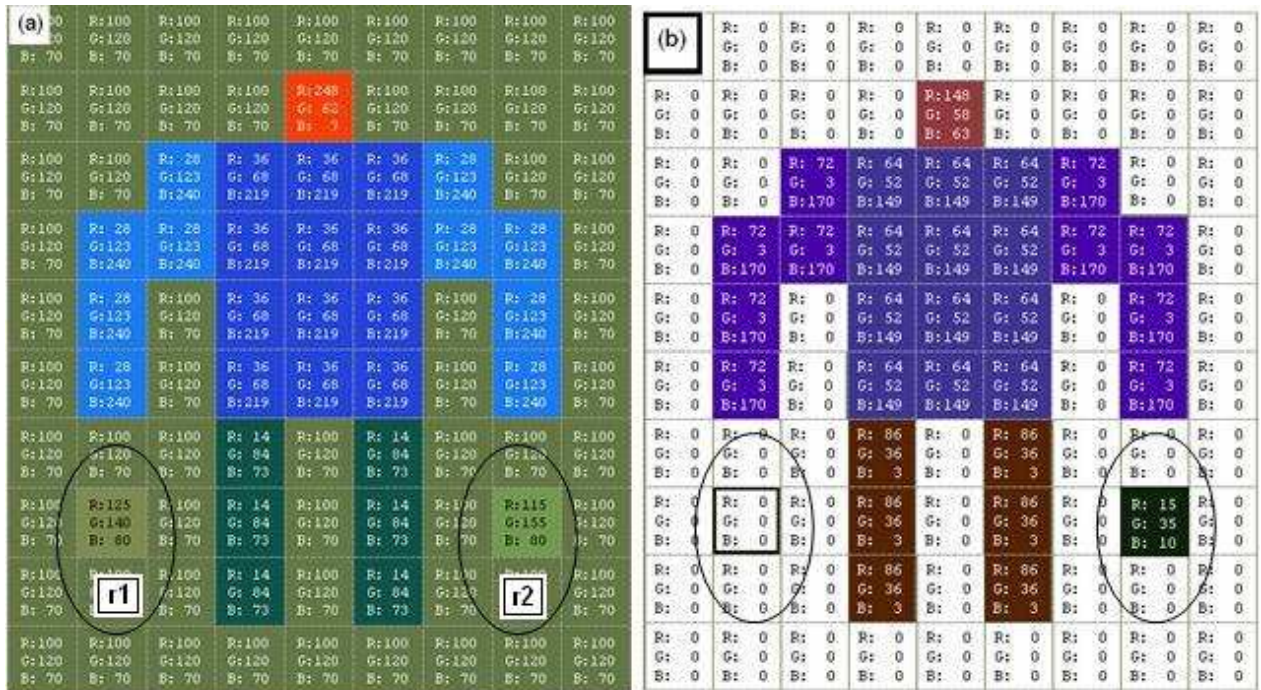


Figura 2.3: (a) ilustração com o valor dos *pixels* (RGB) que formam a região correspondente a um jogador. (b) ilustração da mesma região após a operação diferença.

A Figura 2.4 retrata o resultado da operação diferença em um quadro da sequência de imagens do futebol.



Figura 2.4: Exemplo de um quadro (imagem) relativo ao jogo de futebol e o resultado da aplicação do filtro diferença.

Filtro gray (nível de cinza). Esta operação consiste na transformação de uma imagem em tons de cinza. A imagem convertida para tons de cinza consiste em ter as três bandas com o mesmo valor. Os valores altos aparecem na tela como *pixels* claros e os valores baixos como *pixels* escuros. Assim, a imagem é representada em tons de cinza com uma escala que varia do preto (valor 0) ao branco (valor 255).

A implementação desta ferramenta possibilita 4 opções para fazer esta transformação: a) utilizar a banda R (vermelho), b) utilizar a banda G (verde), c) utilizar a banda B (azul) ou d) utilizar o valor médio de RGB. A exemplificação desta operação (Figura 2.5) foi feita a partir da imagem resultante da operação diferença (Figura 2.5b) e a banda R foi adotada.

R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 148	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 148	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 148	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 72	R: 64	R: 64	R: 64	R: 72	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 72	G: 64	G: 64	G: 64	G: 72	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 72	B: 64	B: 64	B: 64	B: 72	B: 0	B: 0	B: 0
R: 0	R: 72	R: 72	R: 64	R: 64	R: 64	R: 72	R: 72	R: 0	R: 0
G: 0	G: 72	G: 72	G: 64	G: 64	G: 64	G: 72	G: 72	G: 0	G: 0
B: 0	B: 72	B: 72	B: 64	B: 64	B: 64	B: 72	B: 72	B: 0	B: 0
R: 0	R: 72	R: 0	R: 64	R: 64	R: 64	R: 0	R: 72	R: 0	R: 0
G: 0	G: 72	G: 0	G: 64	G: 64	G: 64	G: 0	G: 72	G: 0	G: 0
B: 0	B: 72	B: 0	B: 64	B: 64	B: 64	B: 0	B: 72	B: 0	B: 0
R: 0	R: 72	R: 0	R: 64	R: 64	R: 64	R: 0	R: 72	R: 0	R: 0
G: 0	G: 72	G: 0	G: 64	G: 64	G: 64	G: 0	G: 72	G: 0	G: 0
B: 0	B: 72	B: 0	B: 64	B: 64	B: 64	B: 0	B: 72	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 0	R: 86	R: 0	R: 86	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 86	G: 0	G: 86	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 86	B: 0	B: 86	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 0	R: 86	R: 0	R: 86	R: 0	R: 15	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 86	G: 0	G: 86	G: 0	G: 15	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 86	B: 0	B: 86	B: 0	B: 15	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 0	R: 86	R: 0	R: 86	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 86	G: 0	G: 86	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 86	B: 0	B: 86	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0
R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0	R: 0
G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0	G: 0
B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0	B: 0

Figura 2.5: ilustração com os pixels representados pela intensidade em níveis de cinza da região correspondente a um jogador utilizando a banda R.

A Figura 2.6 retrata o resultado da transformação da imagem obtida após a aplicação do filtro diferença em tons de cinza.



Figura 2.6: Resultado da transformação da imagem em níveis de cinza após aplicar o filtro diferença.

Filtro passa-alta. Esta operação consiste na transformação de uma imagem em tons de cinza para uma imagem binária. A binarização consiste ter uma imagem em que as regiões de interesse, no caso o jogador, sejam representadas pelo número 1 e as demais regiões

pelo número 0. Os parâmetros de entrada desta operação são constituídos pela imagem em tons de cinza e o filtro de corte.

A exemplificação desta operação foi feita a partir da imagem em tons de cinza e o filtro de corte adotado foi 16 (Figura 2.7). Assim, os *pixels* que representam a região do jogador apresentam valor 1 e as demais regiões o valor 0. O **ruído r2**, que tinha permanecido após a operação diferença, apresenta nesta situação a intensidade com valor 15 e assim, foi eliminado por estar abaixo do filtro de corte.

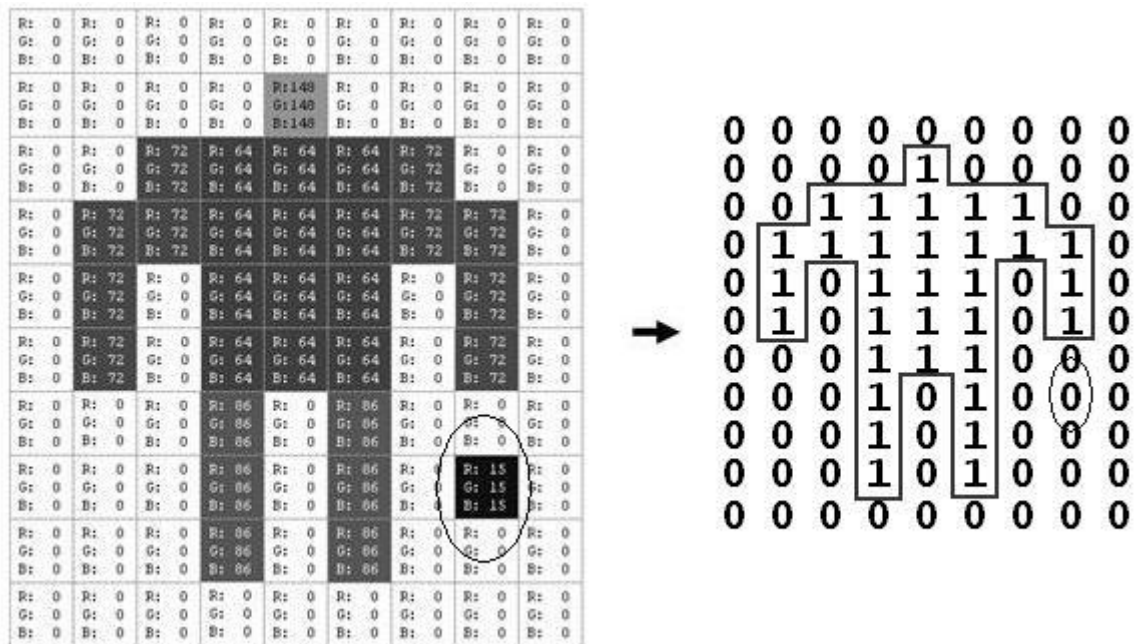


Figura 2.7: ilustração com os pixels representados pela intensidade em níveis de cinza da região correspondente a um jogador. (b) ilustração da mesma região após a operação passa-alta (limiarização com filtro = 15).

A Figura 2.8 retrata o resultado da binarização da imagem a partir da imagem em tons de cinza.



Figura 2.8: Resultado da aplicação do filtro passa-alta (binarização da imagem) a partir da imagem em níveis de cinza.

Dilatação/Erosão. A dilatação e a erosão são operações básicas de morfologia matemática que têm como características o aumento (dilatação) ou a diminuição (erosão) de uma determinada região da imagem.

Uma situação em que ocorre a separação das regiões que correspondem aos membros inferiores em relação ao tronco está representada na Figura 2.9. A utilização da operação dilatação pode ser usada para esta situação visando obter a conexão destas regiões separadas.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.9: Representação binária das regiões desconexas de um jogador

Considerando i como a função que representa a imagem como uma superfície plana e e como um elemento estruturante planar, temos $i:I \rightarrow Z$, $e:E \rightarrow Z$ e $I, E \subseteq Z^2$ (FIGUEROA et al., 2006a).

A dilatação de i por e é dada por:

$$(i \oplus e)(x) = \max_{z \in E, (x-z) \in I} \{f(x-z)\}, \text{ que esquematicamente está representada na Figura}$$

2.10.

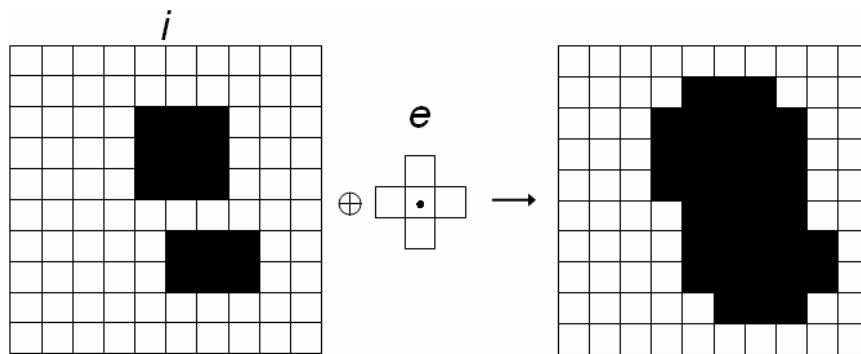


Figura 2.10: Representação da dilatação de uma região

A erosão de i por e é dada por:

$$(i \ominus e)(x) = \min_{z \in E, (x+z) \in I} \{f(x+z)\}, \text{ que esquematicamente está representada na Figura}$$

2.11.

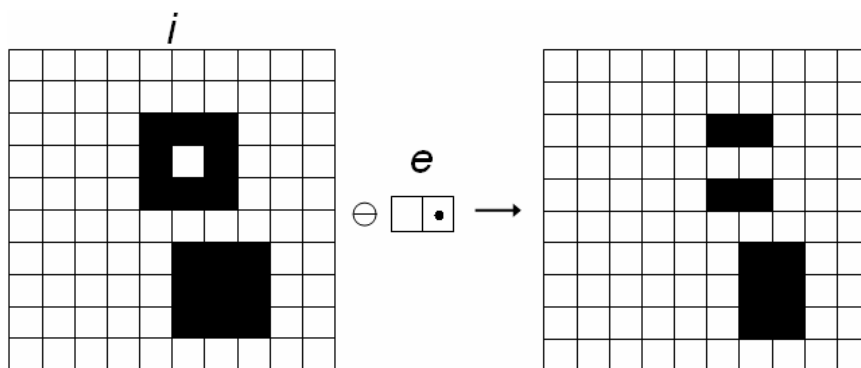


Figura 2.11: Representação da erosão de uma região.

O elemento estruturante (*kernel*) na ferramenta Dilatação/Erosão implementada é definida por uma matriz ($m \times m$) e é determinada pelo operador de acordo com as necessidades. A seguir apresentamos alguns exemplos de elemento estruturante para a dilatação:

$$\text{a) } D_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{ esta configuração visa a dilatação somente na vertical.}$$

$$\text{b) } D_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ esta configuração visa a dilatação somente na horizontal.}$$

$$\text{c) } D_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ esta configuração visa a dilatação na horizontal e na vertical.}$$

As mesmas configurações podem ser aplicadas para o processo de erosão.

A Figura 2.12 retrata o resultado da dilatação da imagem após a binarização da imagem. O elemento estruturante usado neste caso foi o D_3 .



Figura 2.12: Imagem binária após a aplicação do filtro morfológico de dilatação.

Labeling das regiões. Esta operação consiste na rotulação das *regiões de interesse* (o valor do *pixel* é 1) na imagem binarizada. A primeira etapa consiste em localizar todos os componentes conexos existentes na imagem, a segunda etapa consiste em eliminar regiões em função da *área* e a terceira etapa consiste em atribuir uma identificação a cada um dos componentes conexos que permaneceram. A área consiste na quantidade de *pixels* do contorno de cada componente conexo. Este limite é determinado pelo operador para que regiões muito pequenas (ruídos) e regiões muito grandes (junção de muitos jogadores, por exemplo) sejam desconsideradas.

Cada região de interesse é definida como componente conexo em uma imagem, ou seja, é um subconjunto em que todos os *pixels* são conexos. A relação de conexidade pode ser simplificada entendida como uma relação de vizinhança entre *pixels*.

A relação de conexidade entre dois *pixels* (p_1 e p_2) pode ser conexo-4 ou conexo-8 em função da adjacência (Figura 2.13) entre os mesmos ser vizinhança-4 (seja c em V4 o *pixel* (p_1), o *pixel* (p_2) será vizinho se e somente se estiver posicionado em uma das quatro vizinhanças [v_1 a v_4]) ou vizinhança-8 (em V8, as 8 vizinhanças são [v_1 a v_8]).

$$V4 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & v_1 & \\ \hline v_4 & c & v_2 \\ \hline & v_3 & \\ \hline \end{array}, V8 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline v_8 & v_1 & v_2 \\ \hline v_7 & c & v_3 \\ \hline v_6 & v_5 & v_4 \\ \hline \end{array}$$

Figura 2.13: Representação da relação de conexidade conexo-4 (vizinhança-4) e conexo-8 (vizinhança-8).

A exemplificação desta operação foi feita a partir da ilustração de uma região da imagem que representa um jogador. Os pixels identificados com numeração de 1 a 6 mostram o efeito de se aplicar a vizinhança-4 e a vizinhança-8 (Figura 2.14). Separando a região de interesse em 6 blocos temos: bloco A(1) composto por um pixel, bloco B(2) composto por 11 pixels, bloco C(3) e D(4) compostos por 2 pixels, bloco E(5) e F(6) compostos por 3 pixels.

Pode-se tratar esta região de duas formas de acordo com a relação de conexidade:

- *conexo-4*. por esta condição os blocos C e D não estão conexos ao bloco B, pois a ligação entre estes blocos é de conexo-8. Assim, teremos 3 regiões: uma região constituída pelos blocos A, B, E e F e duas regiões constituídas pelos blocos C e D.
- *conexo-8*. por esta condição os blocos C e D estão conexos ao bloco B. Assim, tem-se uma única região formada por todos os blocos.

				1					
			2	2	2				
		2	2	2	2	2			
	3		2	2	2		4		
	3		5		6		4		
			5		6				
			5		6				

Figura 2.14: Ilustração de uma região com componentes conexo-4 e conexo-8. Bloco A(1) composto por um pixel, bloco B(2) composto por 11 pixels, bloco C(3) e D(4) compostos por 2 pixels, bloco E(5) e F(6) compostos por 3 pixels

Uma situação em que ocorre a rotulação das regiões de interesse está representada na Figura 2.15. Na ilustração, as três regiões de interesse com a relação conexo-8 foram localizadas e a rotulação foi feita para cada uma das regiões (Figura 2.15).

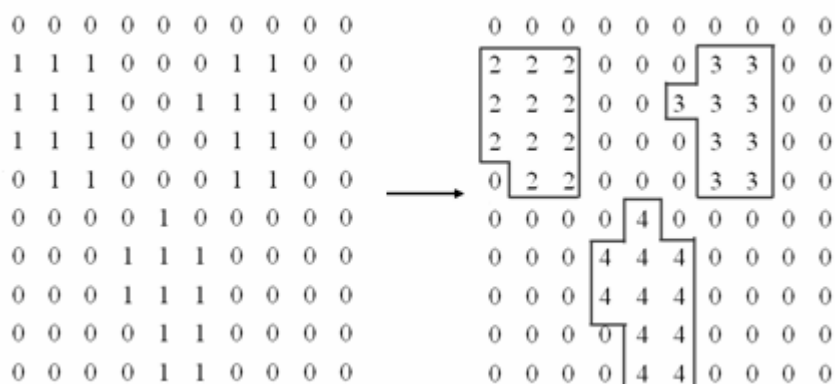


Figura 2.15: Esquema do *labeling* dos componentes conexos que representam os jogadores nas imagens.

A Figura 2.16 retrata o resultado do *labeling* e a obtenção do contorno para cada jogador a partir da imagem binarizada.



Figura 2.16: Imagem do campo e o contorno obtido para cada jogador (*labeling*).

Rastreamento

As informações obtidas após a segmentação correspondem a um conjunto de pontos discretos que podem corresponder às trajetórias dos jogadores presentes nas seqüências de imagens, mas ainda não estão associadas às trajetórias dos respectivos jogadores. Deste modo, o rastreamento consiste em fazer a correspondência entre um ponto que corresponde à posição do jogador no quadro corrente e o quadro subsequente e assim sucessivamente ao longo da seqüência de imagens.

A implementação do rastreamento foi baseada na teoria de grafos e possui dois critérios de decisão para fazer a correspondência: a) identificação da equipe, que consiste em determinar o time, ao qual pertence o jogador; b) distância euclidiana entre os jogadores em dois quadros subseqüentes.

A identificação da equipe ao qual o jogador pertence é um dos critérios utilizados no rastreamento automático, como fator de decisão nas situações de junção entre jogadores. O modelo ilustrado a seguir representa as partes que geralmente são visíveis do jogador e que serão utilizadas para a identificação da equipe (Figura 2.17). As partes consistem em *a* (cabeça), *b* (a camisa que corresponde ao tronco e a uma parte do braço), *c* (uma parte do braço e o ante-braço), *d* (o calção que corresponde à pelve e uma parte da coxa), *e* (uma parte da coxa e da perna), *f* (a meia que corresponde a uma parte da perna e ao pé).

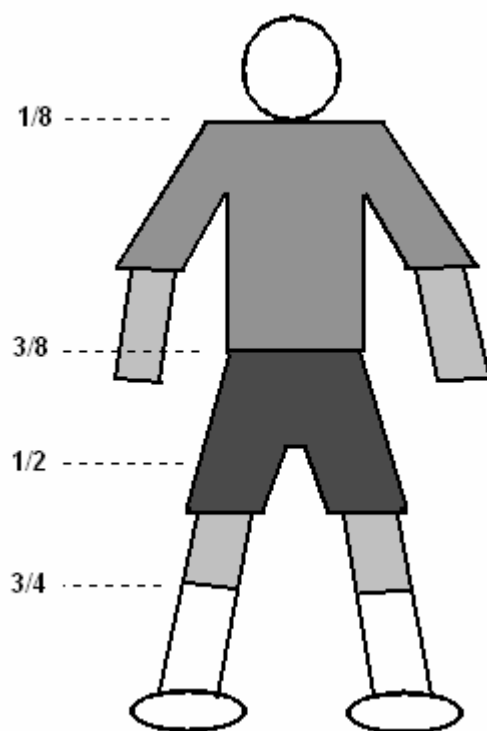


Figura 2.17: modelo de jogador para identificação da equipe ao qual o jogador pertence.

O processo de identificação da equipe é feito da seguinte forma:

a) A definição das regiões que serão utilizadas para caracterizar o uniforme de uma equipe está baseada no modelo da Figura 2.17. No exemplo da Figura 2.18, a *parte b* foi selecionada. Assim, a *equipe a* será caracterizada pelo tom de cinza claro e a *equipe b* pelo tom de cinza escuro.

b) A caracterização da região selecionada (*parte b*) em tons de cinza está ilustrada na Figura 2.18. No histograma a variação em tons de cinza ocorre na horizontal. T1 e T2 representam valores de limiar (*threshold*) indicando os limites inferior e superior de intensidade para os *pixels* do *blob*. As linhas divisórias na horizontal delimitam as partes *a*, *b*, *d*, *e* e *f*.

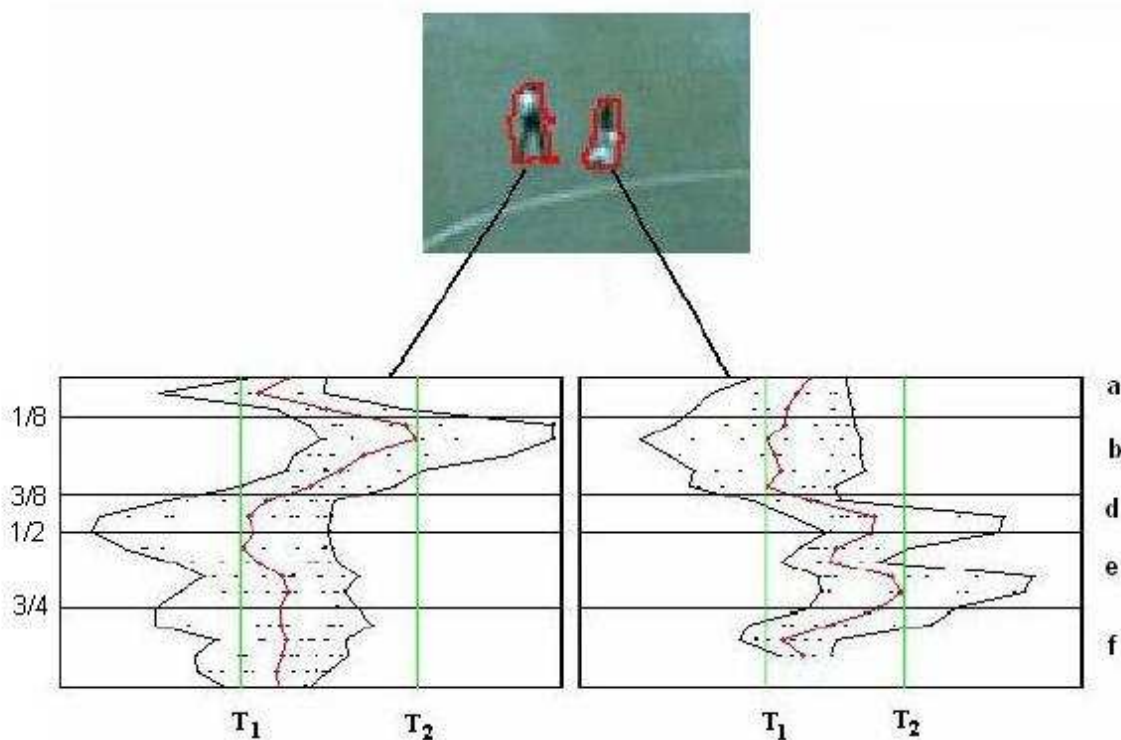


Figura 2.18: histograma dos jogadores. Adaptada de Figueroa (2006a)

Para a região selecionada (*parte b*), o valor de S1 corresponde à quantidade de *pixels* cujo valor de intensidade seja menor que T1. O valor de S2 corresponde à quantidade de *pixels* cujo valor de intensidade seja maior que T2.

Assim, a intensidade da região selecionada (C_R) pode ser definida como:

$$C_R = \left\{ \begin{array}{l} 1: \frac{S1_R}{S1_R + S2_R} > 0,6 \\ 2: \frac{S1_R}{S1_R + S2_R} < 0,4 \\ 0: \text{n\~{a}o} - \text{Identificado} \end{array} \right\}$$

O valor de $C_r > 0,6$ indica que há predominância para tons de cinza escuro e o valor de $C_r < 0,4$ indica que há predominância para tons de cinza claro.

c) Definindo a *equipe a* como cinza claro e a *equipe b* como cinza escuro, a associação de cada jogador à respectiva equipe é feita a partir da definição da intensidade da região selecionada.

Os parâmetros de configuração para a identificação do time, que são determinados pelo operador na interface do sistema Dvideo, consistem de:

1 – Definição da dimensão do jogador na imagem (largura, altura) em *pixels* com os valores mínimos e máximos para cada uma das direções é dada por:

- Variação em x [X_{minimo} , X_{maximo}]
- Variação em y [Y_{minimo} , Y_{maximo}]

2 – Determinação das partes do jogador a serem utilizadas para identificar o time. Existe a possibilidade para escolher até três regiões para caracterizar o jogador, visando a identificação do time.

A delimitação da região_r ($r = 1, \dots, 3$) é dada por:

- Limite mínimo: 1/8 a 1
- Limite máximo: 1/8 a 1

O limite mínimo e o limite máximo indicam a parte do jogador (modelo, Figura 2.17) selecionado considerando a coordenada em y. A indicação dos limites (mínimo e máximo)

é dada por um número fracionário. Por exemplo: a determinação da **região b** pode ser definida como sendo $1/8$ a $3/8$. Assim $Y_{\text{mínimo}}$ indica o início da posição do tronco e $Y_{\text{máximo}}$ indica o final da posição do tronco.

3 – Determinação da cor da região escolhida. A partir da parte do corpo do jogador selecionada pelo operador para identificar os jogadores por equipes, o operador deve definir a faixa de intensidade (escala de cinza) como sendo a cor 1(clara) e a cor 2(escura) da seguinte forma:

3.1) Determinação da cor 1 (clara):

- Limite mínimo: 0 a 255
- Limite máximo: 0 a 255

3.2) Determinação da cor 2 (escura):

- Limite mínimo: 0 a 255
- Limite máximo: 0 a 255

Grafo. O rastreamento é realizado a partir da construção do grafo utilizando as informações dos “blobs”. O grafo é uma técnica de representação de um conjunto de pontos (vértices) que podem ou não estar conectados por linhas (arestas). Sendo que dois pontos podem estar conectados por apenas uma linha. Neste caso, um vértice pode representar um ou mais blobs e a indicação do número de blobs representados está dentro de cada círculo, Figura 2.19c. A identificação do vértice é feita por $v_{i,t}$ em que i : (1, ..., número de blobs no quadro corrente) e t : (1, ..., número de frames).

A construção do grafo G para uma sequência de imagens (Figura 2.19c e 2.19f) está dividida em:

Etapa 1. Criar um vértice para cada blob encontrado no quadro corrente. Esta etapa possui os seguintes passos:

p1) criar um vértice $v_{i,1}$ para cada *blob* i encontrado no frame $t = 1$ da sequência de imagens. Em seguida, cada vértice $v_{i,1}$ é inserido no *grafo* G ;

p2) para cada *blob* i , calcular a distância $d_{i,j}$ em relação a cada *blob* j ($j:1, \dots$, número total de *blobs*) no *frame* $t+1$;

p3) para cada vértice $v_{i,1}$, inserir a linha $a_{i,j}$ que satisfaça as condições: 1) $d_{i,j} < d_{\max}$, em que $d_{\max}$ representa a distância máxima determinada pelo operador; 2) $d_{i,j}$ seja a menor distância encontrada entre o *blob* i do quadro t e o *blob* j do quadro $t+1$;

p4) criar um vértice $v_{j,t+1}$ para cada *blob* j do quadro $t+1$. Em seguida, cada vértice $v_{j,t+1}$ é inserido no *grafo* G .

p5) os passos p2-p4 são realizados para cada *frame* e o valor de t é incrementado de 1;

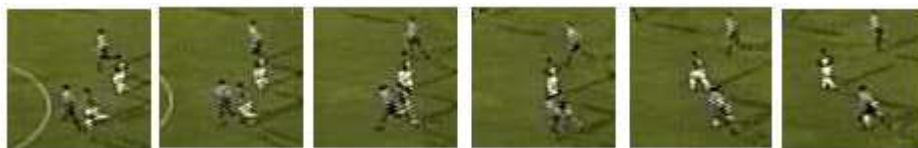


Figura 2.19a: Sequência de imagens do jogo

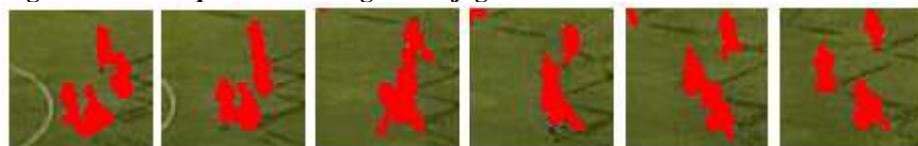


Figura 2.19b: Obtenção dos blobs correspondentes aos jogadores

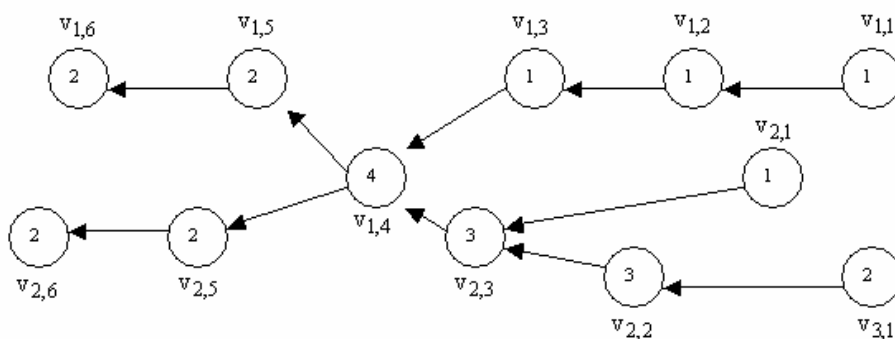


Figura 2.19c: Representação do grafo construído a partir dos blobs da Figura 2.19b

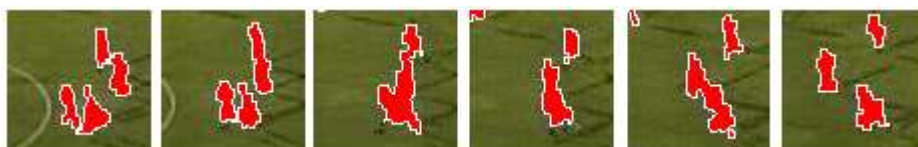


Figura 2.19d: Etapa de separação dos blobs (*splitting*)

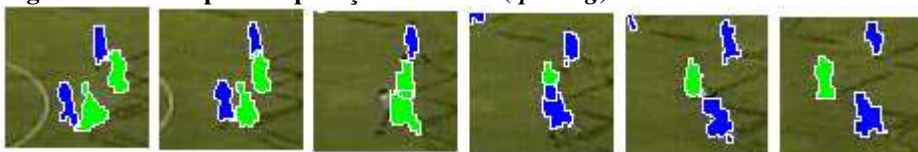


Figura 2.19e: Etapa de identificação do time a que pertence cada jogador

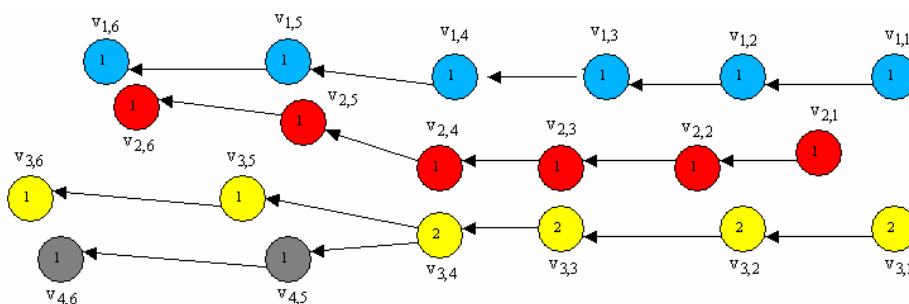


Figura 2.19f: Representação do grafo construído a partir dos blobs da Figura 2.19e

Etapa 2. *Split* dos *blobs*. Esta etapa consiste na separação do *blob* que representa mais de um jogador. A separação é feita, primeiramente, utilizando operadores morfológicos como a erosão e a dilatação. Nas situações em que a separação dos *blobs* não for possível com os operadores morfológicos, utiliza-se como modelo o jogador, cujas características estão contidas no *blob* antes da junção. Desta forma, a idéia está em encontrar na região de junção de vários jogadores aquela região que apresenta as características do modelo. O *grafo* da Figura 2.19c apresenta vértices ($v_{3,1}, v_{2,2}, v_{2,3}, v_{1,4}$) que possuem mais de um *blob*. Para cada *blob* obtido pela separação é criado um novo vértice e uma nova linha que serão inseridos na estrutura do *grafo* G. A Figura 2.19f mostra o resultado da separação dos *blobs*.

Etapa 3. Identificação do time a que pertence o jogador. No futebol, um time veste a camisa com cores claras e calção com cores escuras enquanto o outro time veste a camisa com cores escuras e calção com cores claras. Com esta informação, os *blobs* que representam os jogadores de cada time recebem cores diferentes para servirem de parâmetro no momento do rastreamento (Figura 2.19e). No entanto, há momentos em que esta diferenciação é dificultada pela claridade, pela sombra causada pelo estádio ao entardecer, etc.

Uma vez construído o *grafo*, o rastreamento é feito para cada jogador separadamente da seguinte forma:

p1- seleção do jogador no primeiro frame feito pelo operador;

p2- uma vez selecionado o primeiro vértice, busca-se a informação do próximo vértice conexo e assim, consecutivamente, em toda a seqüência do *grafo* e constrói-se a trajetória. As seqüências de vértices nas cores azul e vermelho no *grafo*, Figura 2.19f, mostram o resultado de um trecho do rastreamento para dois jogadores;

p3- no caso de haver mais de um caminho: no exemplo do vértice $v_{3,4}$, que representa mais de um *blob*, há duas possibilidades (caminhos). Nestes casos: a) utiliza-se a cor atribuída ao *blob* como critério de decisão, quando há dois caminhos. Um exemplo é mostrado na seqüência de vértices da cor amarela, Figura 2.19f; b) nos demais casos, o operador realiza a intervenção para a escolha do caminho correto.

P4-caso não seja encontrado o próximo vértice, um processo de extrapolação, que utiliza a informação das três últimas posições, é ativado para estimar a posição no quadro corrente.

CAPÍTULO 3

PROCESSO DE AQUISIÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Os principais aspectos a serem considerados na etapa de aquisição consistem em enquadrar toda a região do campo e obter uma boa resolução dos jogadores. Para isto, o planejamento visando o posicionamento adequado das câmeras é importante para não comprometer as etapas seguintes relacionadas ao rastreamento automático (INTILLE; BOBICK, 1995).

Em virtude da dimensão do campo de futebol ou mesmo da quadra poliesportiva, a aquisição com apenas uma câmera não possibilita a obtenção do jogador, com uma boa resolução, visando o rastreamento automático. Assim, as quantidades de câmeras utilizadas nos métodos apresentados na literatura tiveram uma variação de 2 a 16 câmeras (SHIOKAWA et al., 2003, TAKI et al., 1996, TOKI; SAKURAI, 2005, PERS et al., 2001, NEEDHAM; BOYLE, 2001, IWASE; SAITO, 2004, FIGUEROA et al., 2006b).

O segundo aspecto, que está relacionado à resolução do jogador na imagem, deve ser cuidadosamente realizado e ajustado durante o enquadramento da região do campo a ser filmado. Uma vez que, além da influência da dimensão do local a ser filmado, a variação na iluminação (NEEDHAM; BOYLE, 2001) é um fator determinante durante a filmagem tanto nos estádios, quanto nos ginásios.

A configuração do posicionamento das câmeras e o enquadramento são determinados pela arquitetura do estádio (XU et al., 2005 e NEEDHAM; BOYLE, 2001). Assim, considerando que cada local de filmagem apresenta características diferentes é importante obter parâmetros quantitativos que caracterizem o local a ser filmado relacionado ao posicionamento das câmeras.

Deste modo, o objetivo deste capítulo foi:

- a) obter um parâmetro que caracterize o posicionamento da câmera no estádio ou no ginásio de esportes;
- b) analisar o enquadramento de cada câmera em cada jogo com base na dimensão dos jogadores na imagem.

3.2 AQUISIÇÃO

Três jogos do Campeonato Brasileiro de Futebol e dois jogos do Campeonato Paulista de Futebol foram filmados para obter a trajetória dos jogadores. A filmagem foi feita com quatro câmeras digitais (modelo JVC GR-DVL 9500) colocadas no último degrau da arquibancada. Uma vez que os jogos foram em estádios diferentes, as câmeras foram colocadas de modo a enquadrar da melhor forma todo o campo e a gravação de todo o jogo foi realizado. Em todos os jogos foram utilizadas 4 câmeras, com frequência de aquisição de 30 Hz e o tempo de abertura do obturador da câmera (*shutter*) de 1/100s.

Os estádios e os respectivos jogos foram:

(A) *Estádio Municipal Paulo Machado de Carvalho* (SP/capital). As dimensões do gramado são 104 m x 68 m. O jogo J-1 foi realizado em um dia ensolarado, às 16h00. A variação de iluminação ocorreu pela incidência do sol em determinadas regiões do gramado, durante o primeiro tempo de jogo. No segundo tempo de jogo, não havia mais a incidência direta do sol no gramado, mas a variação da iluminação ocorreu devido à utilização da iluminação do estádio.

(B) *Estádio Brinco de Ouro da Princesa* (Campinas/SP). As dimensões do gramado são 110,1 m x 75,1 m. O jogo J-2 foi realizado em um dia ensolarado com muitas nuvens, às 16h00. Em virtude destas nuvens, houve muita variação da iluminação durante o jogo.

(C) *Estádio Urbano Caldeira* (Santos/SP). As dimensões do gramado são 106 m x 70 m. O jogo J-3 foi realizado em um dia chuvoso, às 17h00. A variação da iluminação ocorreu somente no segundo tempo de jogo devido à utilização da iluminação do estádio.

(D) *Estádio Cícero Pompeu de Toledo* (SP/capital). As dimensões do gramado são 108 m x 72 m. O jogo J-4 foi realizado em um dia chuvoso às 20h30min. A iluminação do estádio foi utilizada por ser um jogo noturno. O jogo J-5 foi realizado em um dia nublado, às 16h00. A variação de iluminação ocorreu somente no segundo tempo de jogo devido à utilização da iluminação do estádio.

Uma partida oficial válida pela Liga Regional de Handebol, categoria sub-21 masculina (jogadores com idades até 21 anos), horário 16h00, foi filmada no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP. As dimensões da quadra são 40 m x 20 m.

A filmagem foi realizada com 2 câmeras digitais (modelo JVC GR-DVL 9500) posicionadas nos camarotes do Ginásio (Figura 3.1 e 3.2). A filmagem do 1º. e o 2º. tempos de partida duraram 27 e 30,3 minutos respectivamente. Essa diferença ocorreu devido às paradas técnicas durante a partida. A frequência de aquisição foi de 30 Hz. O tempo de abertura do obturador da câmera (*shutter*) foi de 1/100 s.

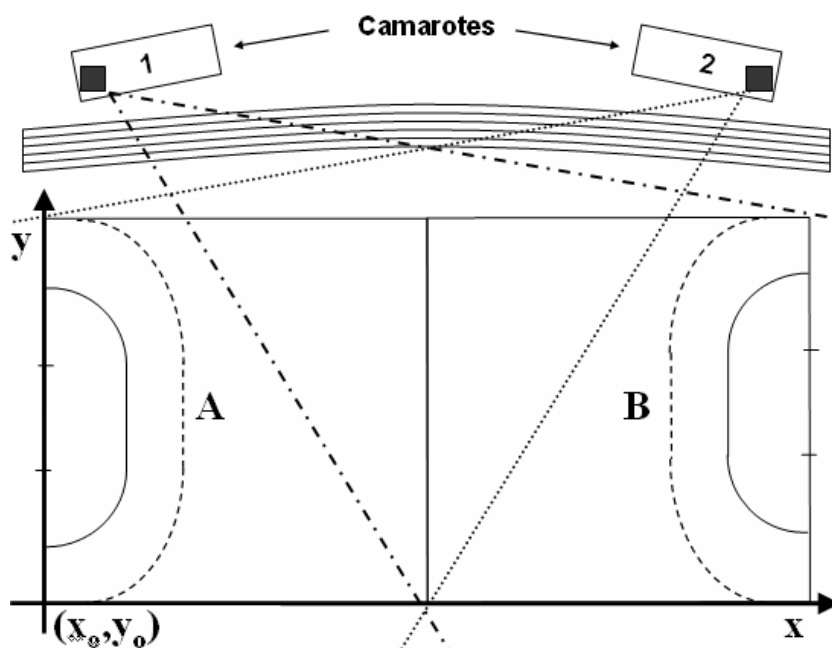


Figura 3.1: Representação do ambiente de coleta no handebol.

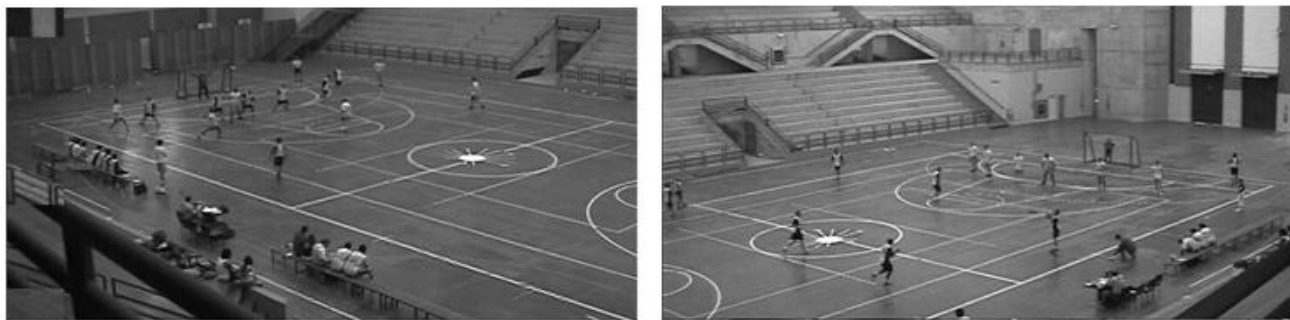


Figura 3.2: Imagem das câmeras 1 e 2.

3.2.1 Obtenção Parâmetros da câmera

Os parâmetros extrínsecos relacionados à posição da câmera em relação ao sistema de referência associado ao campo, Figura 3.3, que foram obtidos foram:

- X_0 : horizontal (direção da linha lateral do campo)
- Y_0 : horizontal (direção da linha de fundo do campo)
- Z_0 : vertical

A calibração 3D de cada uma das câmeras relativa aos cinco jogos foi feita utilizando dez pontos que correspondem a coordenadas conhecidas no campo e pontos relativos às posições dos jogadores escolhidos. Os pontos associados à trave foram utilizados nas imagens em que os mesmos eram vistos. A posição relativa à trave foi obtida por medição direta. A posição 2D de cada um dos demais pontos utilizados correspondem às posições dos jogadores e foi obtida por medição manual utilizando a interface do Sistema Dvideo. A vertical de cada um destes pontos corresponde à altura dos respectivos jogadores, que foi obtida de revistas especializadas do futebol. Os parâmetros extrínsecos foram obtidos a partir dos parâmetros do DLT (Anexo-A).

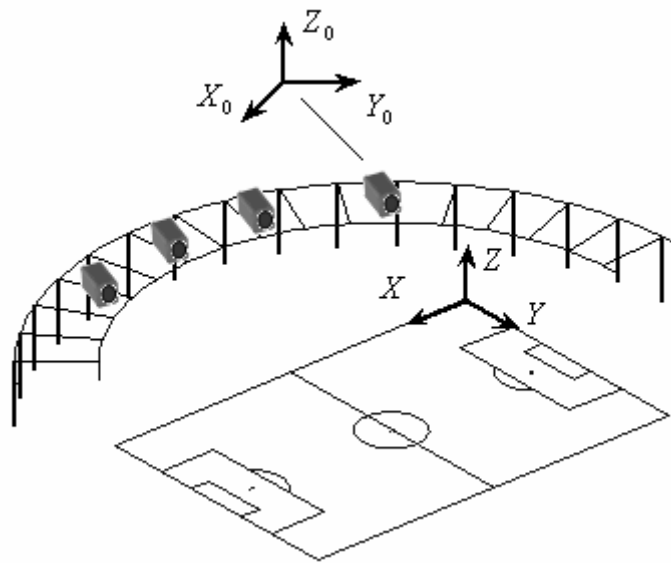


Figura 3.3: Esquema das câmeras posicionadas no estádio e o ângulo (β) relacionado à altura (Z_0) e recuo (Y_0).

3.2.2 Ângulo β

O *ângulo Beta* foi obtido em função da altura (Z_0) e do recuo (Y_0). Assim, o ângulo (β) é calculado da seguinte forma:

$$\beta = \arctan(Z_0 / Y_0) \text{ (def. 2.1)}$$

A altura (Z_0) representa a distância da câmera em relação à origem considerando o eixo na vertical (Z). O recuo (Y_0) representa a distância da câmera em relação à origem considerando o eixo Y (direção da largura do campo).

Os parâmetros extrínsecos das câmeras descritos no item 3.2.1 são importantes para descrever o posicionamento de cada câmera utilizada nas filmagens. Além disto, é importante obter uma variável que possa representar o posicionamento das câmeras utilizadas em um jogo (futebol ou handebol) para servir como parâmetro de posicionamento das mesmas nos diferentes estádios ou ginásios, bem como para análises comparativas, considerando os locais destes eventos esportivos. Assim, o ângulo beta foi calculado para cada um dos jogos de futebol e para o jogo de handebol.

3.2.3 Dimensão dos Jogadores

A dimensão dos jogadores na imagem (largura e altura em *pixels*) foi obtida para cada uma das câmeras dos cinco jogos. A marcação foi feita manualmente pelo operador na imagem ajustando um retângulo a cada jogador (Figura 3.4). A imagem de cada câmera foi selecionada de forma que pelo menos 15 jogadores estivessem presentes. A partir da medida em *pixels* dos jogadores presentes em uma imagem foi calculado o valor médio (largura e altura) dos mesmos e será denominada como dimensão dos jogadores para as análises que foram realizadas.

Os jogadores apresentam variações de forma nas imagens em função das várias posturas durante o jogo (correr, andar, saltar, abrir os braços, etc). Estas variações consistem em uma das dificuldades a serem tratadas nas etapas seguintes do processo de rastreamento automático de jogadores. Considerando esta etapa de aquisição, é importante cuidar para que a variação na dimensão dos jogadores não seja mais uma variável que possa influenciar nas próximas etapas. Assim, é desejável que o enquadramento realizado provoque a menor variação na dimensão dos jogadores nas imagens entre as câmeras utilizadas em um jogo.

A análise do enquadramento consistirá, assim, em verificar a variação da dimensão dos jogadores nas imagens das câmeras utilizadas para cada jogo.



Figura 3.4: Imagem de uma câmera com os jogadores selecionados manualmente para a obtenção da dimensão dos jogadores (largura x altura) na imagem em pixels.

3.3 RESULTADOS / DISCUSSÃO

A Tabela 3.1 apresenta os parâmetros extrínsecos das câmeras do jogo J-3 e o ângulo beta calculado a partir de Y_0 e Z_0 . As imagens das câmeras do jogo J-3 estão apresentadas na Figura 3.5.

A disposição das câmeras na arquibancada (considerando a direção do eixo x do sistema de referência) está representada por X_0 . E por estar associado ao comprimento do campo (neste caso de 106m) apresenta-se como um parâmetro objetivo e como referência para a colocação das câmeras em outros jogos. O recuo (Y_0) e a altura (Z_0) foram os dois outros parâmetros importantes para a caracterização do posicionamento de cada uma das câmeras no estádio. Uma vez que há a variação dos valores dos dois parâmetros (Y_0 e Z_0) para cada estádio, o ângulo beta apresentou-se como uma forma de caracterização do posicionamento das câmeras em função destas duas variáveis.

Considerando o posicionamento das quatro câmeras utilizadas na filmagem, o valor médio do ângulo beta ($30,9^\circ$) mostrou-se como um parâmetro objetivo de caracterização do posicionamento das câmeras deste jogo.

Tabela 3.1: Parâmetros extrínsecos das câmeras utilizadas no jogo J-3 e o ângulo beta calculado a partir de Y_0 e Z_0 .

J-3	X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	Beta [°]
cam1	24,3	-30,3	18,2	30,9
cam2	46,4	-32,2	19,0	30,5
cam3	61,1	-29,7	17,8	30,9
cam4	75,5	-34,2	20,7	31,1
Media ($\pm$ SD)				30,9 ($\pm$ 0,2)



Figura 3.5: Imagens do campo do jogo J-3 vistas pelas 4 câmeras.

A Tabela 3.2 apresenta o ângulo beta relativo a cada um dos jogos. O menor valor de Y_0 (-31,6 m) ocorreu no jogo J-3 e o maior valor (-50,7) no jogo J-2. O menor valor de Z_0 (12,5) ocorreu no jogo J-4 e o maior valor (30,7) no jogo J-2. Os valores para o ângulo beta dos jogos J-1, J-2 e J-3 foram maiores que 29° e dos jogos J-4 e J-5 foram menores que 15°.

Tabela 3.2: Parâmetros extrínsecos das câmeras (Y_0 e Z_0) e o ângulo beta calculado para todos os jogos.

		Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Beta [°] ($\pm$SD)
J-1	X₀ [m]	21,4	36,2	70,2	84,1	
	Y₀ [m]	-40,2	-40,8	-41,1	-38,6	
	Z₀ [m]	25,6	26,2	25,2	24,6	
	Beta [°]	32,5	32,7	31,5	32,5	32,3 ($\pm$ 0,5)
J-2	X₀ [m]	16,8	40,3	75,7	95,3	
	Y₀ [m]	-48,6	-51,9	-51,0	-51,2	
	Z₀ [m]	30,0	31,8	29,1	31,9	
	Beta [°]	31,7	31,5	29,7	31,9	31,2 ($\pm$ 1,0)
J-3	X₀ [m]	24,3	46,4	61,1	75,5	
	Y₀ [m]	-30,3	-32,2	-29,7	-34,2	
	Z₀ [m]	18,2	19,0	17,8	20,7	
	Beta [°]	30,9	30,5	30,9	31,2	30,9 ($\pm$ 0,2)
J-4	X₀ [m]	61,9	64,5	82,5	79,6	
	Y₀ [m]	-47,4	-51,8	-47,1	-46,0	
	Z₀ [m]	12,0	13,6	12,8	11,7	
	Beta [°]	14,2	14,7	15,2	14,3	14,6 ($\pm$ 0,5)
J-5	X₀ [m]	21,8	64,5	69,2	78,2	
	Y₀ [m]	-46,3	-49,7	-50,3	-47,2	
	Z₀ [m]	12,2	13,2	13,2	12,7	
	Beta [°]	14,8	14,8	14,7	15,0	14,8 ($\pm$ 0,2)

A Tabela 3.3 apresenta os valores médios da dimensão dos jogadores (largura x altura) em *pixels* na imagem de todos os jogos.

Tabela 3.3: Valores médios da dimensão dos jogadores (largura x altura) relativos às quatro câmeras de todos os jogos analisados.

		Cam1	Cam2	Cam3	Cam4	Δ máxima [pixels]
J-1	Largura [pixels] ($\pm$ SD)	12,3 ($\pm$ 2,6)	12,2($\pm$ 2,2)	11,6($\pm$ 2,2)	10,3($\pm$ 3,3)	1,9
	Altura [pixels] ($\pm$ SD)	27,5($\pm$ 5,3)	30,7($\pm$ 6,8)	29,0($\pm$ 4,5)	27,1($\pm$ 3,8)	3,6
J-2	Largura [pixels] ($\pm$ SD)	11,3($\pm$ 2,5)	10,7(2,8 $\pm$)	12,3($\pm$ 4,3)	10,2($\pm$ 2,4)	2,1
	Altura [pixels] ($\pm$ SD)	25,2($\pm$ 4,5)	24,7($\pm$ 4,7)	27,0($\pm$ 3,5)	24,3($\pm$ 3,7)	2,7
J-3	Largura [pixels] ($\pm$ SD)	14,0($\pm$ 4,5)	14,7($\pm$ 4,4)	15,6($\pm$ 4,1)	16,8($\pm$ 3,8)	2,8
	Altura [pixels] ($\pm$ SD)	30,2($\pm$ 6,2)	31,8($\pm$ 6,7)	33,7($\pm$ 8,6)	31,3($\pm$ 4,5)	3,5
J-4	Largura [pixels] ($\pm$ SD)	13,3($\pm$ 3,2)	12,9($\pm$ 3,4)	14,2($\pm$ 3,7)	12,0($\pm$ 2,6)	2,2
	Altura [pixels] ($\pm$ SD)	30,9($\pm$ 4,0)	34,5($\pm$ 7,1)	32,2($\pm$ 5,5)	34,0($\pm$ 5,1)	3,6
J-5	Largura [pixels] ($\pm$ SD)	10,5($\pm$ 2,8)	10,5($\pm$ 2,6)	11,6($\pm$ 2,8)	13,2($\pm$ 3,3)	2,7
	Altura [pixels] ($\pm$ SD)	27,0($\pm$ 7,6)	29,0($\pm$ 6,0)	35,1($\pm$ 7,1)	35,5($\pm$ 6,9)	8,5

A Tabela 3.4 apresenta os parâmetros extrínsecos das câmeras utilizadas no jogo de handebol. O ângulo beta foi de 28,7°.

Tabela 3.4: Parâmetros extrínsecos das câmeras (Y_0 e Z_0) e o ângulo beta calculado para o jogo de handebol.

J-3	X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	Beta [°]
cam1	43,5	-18,5	10,3	29,1
cam2	-5,3	-20,7	10,6	27,1
Media				28,1

A Tabela 3.5 apresenta o tamanho dos jogadores do jogo de handebol.

Tabela 3.5: Valores médios da dimensão dos jogadores (largura x altura) relativa às duas câmeras do jogo de handebol.

	Largura ($\pm$SD) [pixels]	Altura ($\pm$SD) [pixels]
Câmera 1	16,5 ($\pm$ 3,6)	43,1 ($\pm$ 6,8)
Câmera 2	17,6 ($\pm$ 4,5)	40,5 ($\pm$ 5,9)
média	16,75	41,6

A configuração de câmeras utilizados neste trabalho consistiu de quatro câmeras para os jogos de futebol e dois para o jogo de handebol. Entre as alternativas apresentadas na literatura para enquadrar todo o campo em que o jogador tenha resolução adequada consiste na utilização de pelo menos quatro câmeras (XU et al., 2005, SETTERWALL, 2003).

Em todos os jogos de futebol a configuração com as quatro câmeras possibilitou enquadrar toda a região do campo. Considerando o enquadramento feito com as quatro câmeras em cada jogo, os valores médios da dimensão do jogador na imagem (largura/altura em *pixels*) nos jogos apresentaram a variação máxima de 2,8 *pixels* na largura e 8,5 *pixels* na altura. A variação de 8,5 *pixels* na altura ocorreu no jogo J-5, pois não foi possível fazer o enquadramento da região do campo e manter a dimensão do jogador na imagem próximo ao das demais câmeras.

Com relação ao handebol, a configuração com duas câmeras possibilitou enquadrar toda a quadra. A configuração, Figura 3.1, visou minimizar os casos de junção em função do posicionamento e a movimentação dos jogadores. No entanto, devido à grande quantidade de jogadores presentes na quadra as situações de junção ainda foram grandes (Menezes, 2006). Considerando as duas câmeras, o tamanho dos jogadores teve a variação de 1,1 *pixels* na largura e 2,6 *pixels* na altura.

Os posicionamentos das câmeras variaram em função dos locais de filmagem. No entanto, os valores do ângulo beta calculados nos cinco jogos realizados J-1 (32,3°), J-2 (31,2°), J-3 (30,9°), J-4 (14,6°) e J-5 (14,8°) caracterizaram o posicionamento das câmeras. Observa-se que os posicionamentos das câmeras para os jogos J-1, J-2 e J-3 foram semelhantes. Por outro lado, os jogos J-4 e J-5 apresentaram os menores valores do ângulo beta em função do valor do recuo ($Y_0 = 48\text{m}$) e da altura ($Z_0 = 12,5\text{m}$). Como comparação, o jogo J-1 apresentou maior valor de recuo ($Y_0 = 50\text{m}$), mas apresentou também maior valor de altura ($Z_0 = 30,7\text{m}$).

O enquadramento estabelecido em todos os jogos propiciou que todo o campo fosse coberto com quatro câmeras e a quadra foi coberta com duas câmeras. Com relação à dimensão dos jogadores nas quatro câmeras dos jogos J-1, J-2, J-3 e J-4, a variação máxima de 2,8 *pixels* na largura e 3,6 *pixels* na altura podem ser consideradas satisfatórias. Há, no entanto, uma limitação inerente ao tipo de posicionamento das câmeras adotado, que consiste na região próxima à linha lateral oposta do campo onde as câmeras foram posicionadas. Nestas regiões, a identificação dos jogadores pode ser dificultada em alguns casos nas próximas etapas do processo de medição automática. O ângulo beta apresentou-se como um parâmetro objetivo de caracterização do posicionamento da câmera dos variados locais de filmagem.

CAPÍTULO 4

PROCESSO CALIBRAÇÃO/RECONSTRUÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

A obtenção da posição do jogador no campo consiste primeiramente em conhecer a relação entre as coordenadas de tela (x,y) e o sistema de referência associado ao campo. O processo de calibração envolve a obtenção adequada de pontos conhecidos no sistema de coordenadas associadas ao campo, que serão utilizadas para a calibração das câmeras e a identificação destes pontos na imagem correspondente. Entre os métodos de calibração mais conhecidos e utilizados na literatura pode-se citar o método denominado Tsai (TSAI, 1986) e DLT (ABDEL-AZIZ; KARARA, 1971).

O processo de calibração tem um papel fundamental dentro do processo de medição automático. Pois os valores referentes à posição e à distância percorrida do jogador dependem da calibração. Entre os aspectos que determinam a qualidade da calibração referem-se em grande parte ao processo de aquisição (qualidade da imagem (resolução), à forma de enquadramento de cada uma das regiões do campo, à influência da iluminação, etc).

Entre as dificuldades e as fontes de erro no processo de calibração estão: a) na obtenção da medida dos pontos no campo (pontos conhecidos) que serão utilizados para a calibração (IWASE; SAITO, 2004), b) na identificação correta da localização dos pontos conhecidos em cada uma das imagens e c) na quantidade mínima de pontos necessários (BEBIE; BIERI, 1998, XU et al. 2005).

Uma vez que a medição dos pontos utilizados na calibração é feita por um operador, pode ocorrer a variabilidade nas medições. Isto pode influir na acurácia da calibração e consequentemente na acurácia dos dados da trajetória dos jogadores. Assim, o objetivo deste capítulo está em avaliar a influência da calibração sobre a distância percorrida dos jogadores.

4.2 CALIBRAÇÃO/RECONSTRUÇÃO

Avaliação da influência da calibração nos dados de posição em função do tempo foi feita para o jogo J-3. A frequência de aquisição foi de 30 Hz, mas visando diminuir o custo computacional relacionado ao armazenamento e ao processamento dos dados, a frequência de amostragem foi de 7,5 Hz. O total de quadros rastreados foi de 2700 quadros (6 minutos iniciais) do segundo tempo do jogo.

Um operador realizou a medição manual da posição dos jogadores quadro a quadro para 5 jogadores de cada equipe, totalizando 10 jogadores. Foi escolhido um jogador para cada uma das posições em campo da seguinte forma: zagueiro (ZA), lateral direito (LD), lateral esquerdo (LE), meia (ME) e atacante (AT).

A medição manual dos pontos de calibração foi feita por cinco operadores experientes que trabalham com o método de rastreamento automático apresentado neste trabalho. Cada um dos operadores repetiu três vezes a medição dos pontos de calibração.

A medida (valor esperado) de cada um dos pontos p_i (X,Y) no campo de futebol, a serem utilizados para a calibração foi obtida por medição direta utilizando uma fita métrica. A ilustração, Figura 4.1, representa o enquadramento de uma região do campo e os pontos p_i ($i=1, \dots, 15$) indicam os pontos conhecidos no campo que podem ser utilizados para a calibração. A *área calibrada* é a área do polígono formado a partir do conjunto de pontos selecionados para fazer a calibração. Esta área que está ilustrada foi feita respectivamente com os pontos p_j ($j=1,4,5,8,14$ e 15).

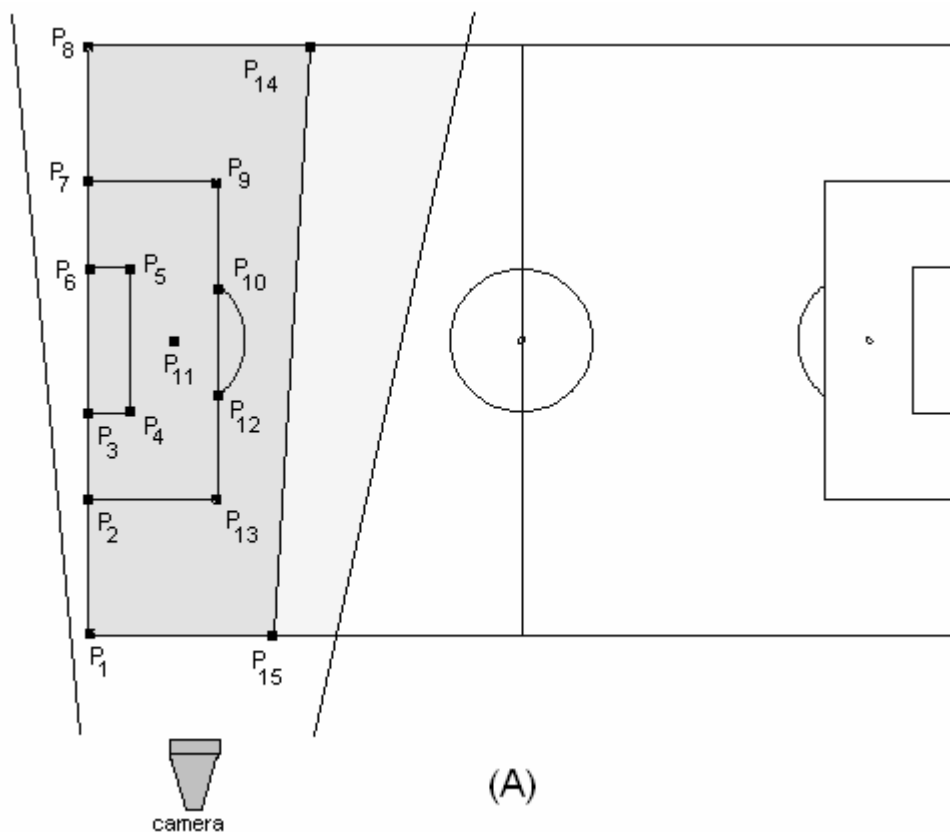


Figura 4.1: Representação de um campo de futebol com a área calibrada a partir dos pontos $p_j(j=1,4,5,8,14$ e $15)$.

Os pontos utilizados para a calibração de cada câmera do jogo J-3, estão representados na Figura 4.2. Os pontos conhecidos no campo que podem ser utilizados para a calibração totalizam 45 pontos. Os pontos de calibração utilizados para cada câmera são: câmera 1 (2, 32, 33, 39, 40, 41), câmera 2 (2, 6, 27, 33, 40, 41), câmera 3 (6, 16, 20, 24, 27) e câmera 4 (8, 11, 12, 20, 23, 24).

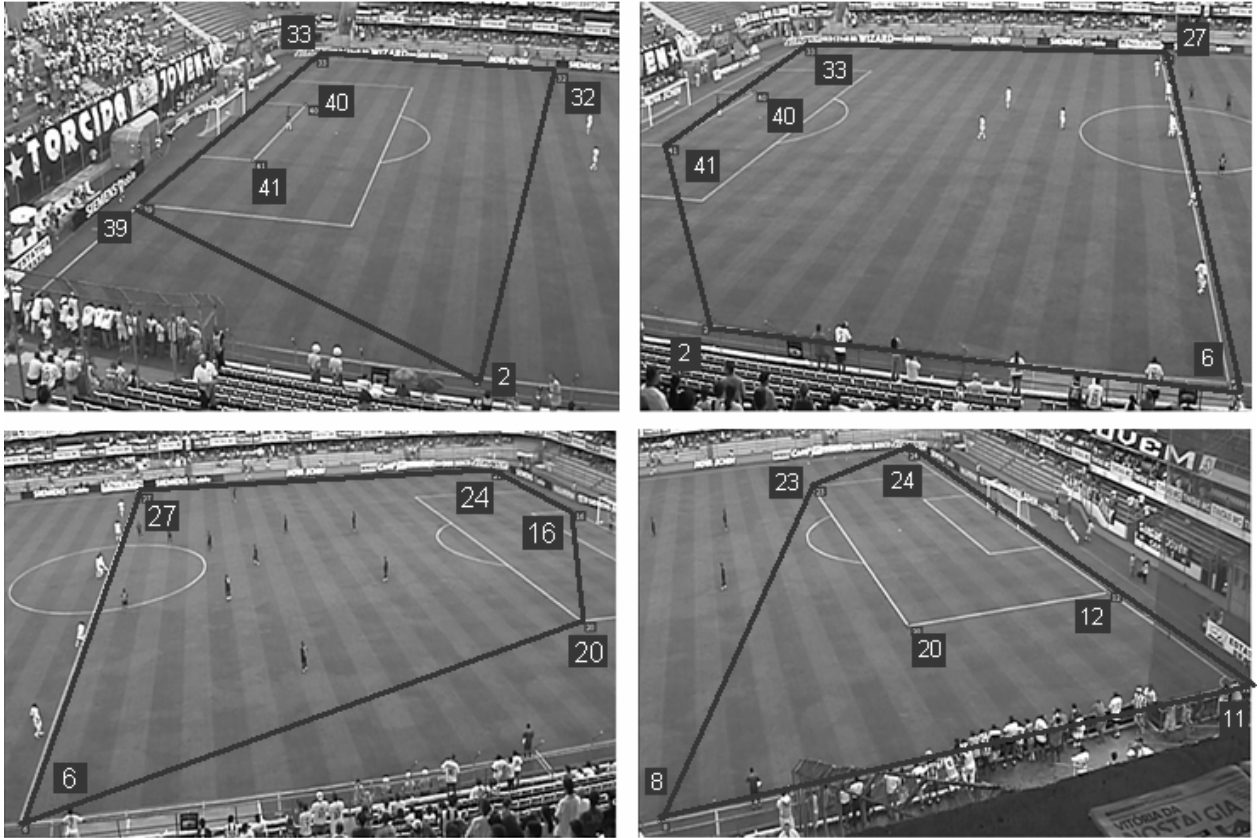


Figura 4.2: Imagens do campo do jogo J-3 vistas pelas 4 câmeras. Os pontos destacados em cada uma das imagens são os pontos utilizados para a calibração.

4.2.1 Descrição da posição do jogador

Um sistema de coordenadas associado ao campo foi adotado no qual a abscissa é dada pela linha lateral do campo, a ordenada é dada pela linha de fundo do campo e a origem está em O, Figura 4.3. Uma vez definido o referencial, a *posição do jogador* no campo é definida por um ponto $p(x, y)$ e a este ponto é atribuído um vetor $\vec{r}$ (segmento orientado com origem em O e extremidade em p). A cada ponto $p_i(x_i, y_i)$ ($i=1, \dots, \text{número total de quadros}(q)$), é associado um vetor $\vec{r}_{p_i}$ de tal forma que a sequência de vetores $\vec{r}_{p_1}, \vec{r}_{p_2}, \dots, \vec{r}_{p_q}$ descreve a trajetória do jogador no intervalo de tempo considerado.

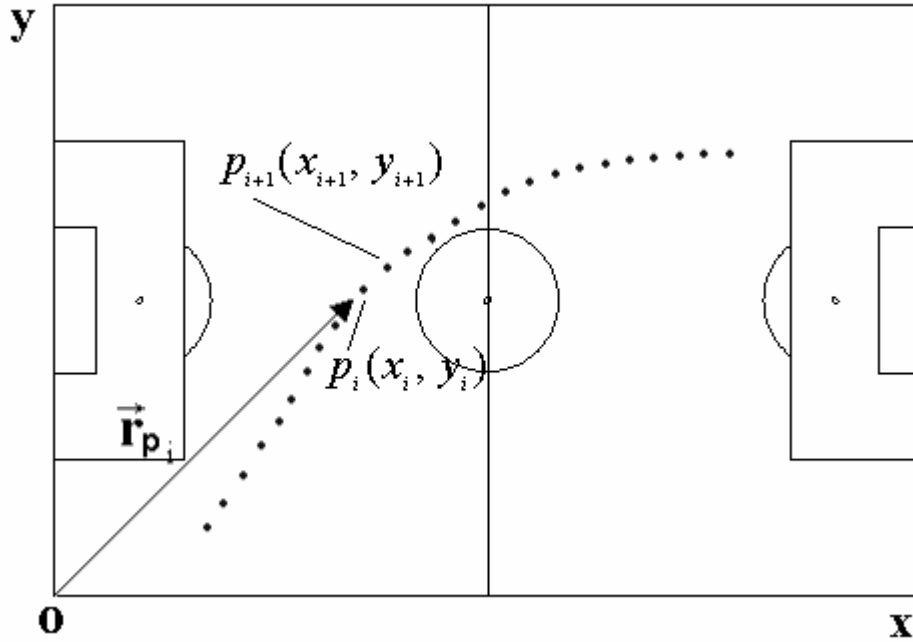


Figura 4.3: Descrição da posição $p_i(x_i, y_i)$ de um jogador e o vetor associado a este ponto no quadro i .

A partir da trajetória obtida a seguinte variável experimental é calculada:

distância percorrida. A distância percorrida foi calculada como o somatório dos deslocamentos realizados pelo atleta em cada intervalo correspondente a duas imagens consecutivas na seqüência de vídeo.

$$\text{distância percorrida} = \sum_{q=a}^b \sqrt{(x_{q+1} - x_q)^2 + (y_{q+1} - y_q)^2} \quad (\text{def. 4.1})$$

Em que x e y são as coordenadas do vetor $\vec{r}_{p_q}$ da trajetória do jogador; q : (1,..., número total de quadros - 1); a, b : $(a, b) \subset q(1,..., \text{númeroTotalQuadros} - 1)$.

As trajetórias obtidas com o rastreamento dos jogadores foram filtradas utilizando o filtro digital *ButterWorth*, implementado em ambiente Matlab®. Para a filtragem dos dados de trajetórias de jogadores de futebol, Misuta (2004) realizou um teste dinâmico, que consistiu de um percurso com medidas conhecidas no campo de futebol, para determinar os

parâmetros do filtro digital *ButterWorth*. Assim, o filtro Butter é utilizado com a seguinte configuração, o filtro “passa baixa” de 3ª ordem com frequência de corte de 0.4 Hz.

4.2.2 Avaliação da calibração

A medição manual da posição de cada um dos jogadores na imagem foi feita por um operador utilizando a *interface* do Sistema Dvideo.

A medição dos pontos de calibração foi feita por cinco operadores. Assim, um conjunto de dados, que consiste de dados de posição em função do tempo e a distância percorrida, foi gerado a partir da aplicação de cada uma das calibrações.

Análise intra-sujeito e inter-sujeito. O coeficiente de correlação intraclass (ICC – intraclass correlation coefficients) ou coeficiente de reprodutibilidade (R) é uma técnica estatística utilizada para verificar a fidedignidade intra e inter avaliadores. O algoritmo de cálculo do ICC foi obtido do site do Matlab (www.mathworks.com). O algoritmo utilizado retorna as seguintes respostas: coeficiente de reprodutibilidade (R), limite superior (LS) e inferior (LI) do coeficiente de reprodutibilidade, o valor do teste F (teste estatístico que indica se o resultado pode ser considerado significativo ou não) e o valor de P (nível de significância adotado para o teste F).

A interpretação do coeficiente de reprodutibilidade (R) é a seguinte: a) $R < 0,4$ (pobre), b) $0,4 \leq R < 0,75$ (satisfatória), c) $R \geq 0,75$ (excelente).

A análise intra e inter-sujeito foi realizada para verificar a influência da medição dos pontos de calibração feita por diferentes operadores. Para o referido processo de análise foram utilizados os valores de distância percorrida dos jogadores.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de distância percorrida calculados para os dez jogadores a partir das calibrações feitas pelos cinco operadores estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valores médios de distância percorrida (Dist. Perc) relativos ao efeito de calibrações feitas por diferentes operadores.

Jogadores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Posição	ZA(A)	LE(A)	AT(A)	ME(A)	LD(A)	LD(B)	ZA(B)	LE(B)	AT(B)	ME(B)
Operador [1]										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	709,8	794,0	704,4	860,2	781,9	739,9	661,6	843,8	874,2	847,8
[m]	($\pm 0,7$)	($\pm 0,6$)	($\pm 0,6$)	($\pm 1,0$)	($\pm 1,6$)	($\pm 0,9$)	($\pm 1,5$)	($\pm 1,7$)	($\pm 0,5$)	($\pm 0,2$)
Operador [2]										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	709,1	792,8	704,4	860,6	782,3	739,5	663,1	844,3	874,2	847,2
[m]	($\pm 0,7$)	($\pm 0,3$)	($\pm 0,2$)	($\pm 0,6$)	($\pm 2,2$)	($\pm 0,1$)	($\pm 0,2$)	($\pm 1,9$)	($\pm 0,6$)	($\pm 0,2$)
Operador [3]										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	709,2	792,4	705,2	860,4	780,3	740,3	664,3	842,1	873,9	846,8
[m]	($\pm 0,3$)	($\pm 0,2$)	($\pm 0,2$)	($\pm 0,4$)	($\pm 0,5$)	($\pm 0,2$)	($\pm 0,2$)	($\pm 0,5$)	($\pm 0,7$)	($\pm 0,3$)
Operador [4]										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	710,5	791,8	704,0	859,4	778,7	739,5	665,0	840,3	873,7	847,5
[m]	($\pm 2,2$)	($\pm 1,3$)	($\pm 0,4$)	($\pm 1,1$)	($\pm 0,4$)	($\pm 0,8$)	($\pm 1,0$)	($\pm 0,3$)	($\pm 1,7$)	($\pm 1,8$)
Operador [5]										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	710,2	793,4	704,6	860,7	782,1	739,9	662,8	844,2	874,9	848,0
[m]	($\pm 1,5$)	($\pm 1,6$)	($\pm 0,7$)	($\pm 1,3$)	($\pm 3,2$)	($\pm 0,6$)	($\pm 2,0$)	($\pm 3,6$)	($\pm 2,1$)	($\pm 1,6$)
Valores médios										
Dist.Perc ($\pm$ SD)	709,8	792,9	704,5	860,3	781,1	739,8	663,4	843,0	874,2	847,5
[m]	($\pm 0,6$)	($\pm 0,8$)	($\pm 0,4$)	($\pm 0,5$)	($\pm 1,5$)	($\pm 0,3$)	($\pm 1,3$)	($\pm 1,7$)	($\pm 0,5$)	($\pm 0,5$)

A Tabela 4.2 apresenta os resultados do coeficiente de reprodutibilidade (R) calculados considerando as medidas de distância percorrida calculados a partir das calibrações feitas pelos operadores (intra-sujeito). Os valores dos coeficientes de reprodutibilidade foram maiores que 0,9 (excelente) para todos os casos. E em todos os casos, os valores de P mostram que são altamente significativos.

Tabela 4.2: Resultados do coeficiente de reprodutibilidade (R) calculados considerando as medidas de distância percorrida para cada um dos operadores.

	R	LI	LS	F
Operador 1	0,99980 (P<0,00000)	0,99938	0,99995	17785,0
Operador 2	0,99982 (P<0,00000)	0,99947	0,99995	18487,0
Operador 3	0,99997 (P<0,00000)	0,99985	0,99999	196540,0
Operador 4	0,99972 (P<0,00000)	0,99761	0,99962	30153,0
Operador 5	0,99989 (P<0,00000)	0,99994	0,99997	35354,0

R(coeficiente de reprodutibilidade), LI (limite inferior), LS(limite superior), F(valor do teste F)

Os resultados do coeficiente de reprodutibilidade (R) calculados considerando o valor médio das medidas de distância percorrida para cada um dos operadores (inter-sujeito) foram: R(0,99997), P(0,00), LI (0,99992), LS(0,99999) e F(33254).

Os valores do coeficiente de reprodutibilidade ($R > 0,9$) encontrados na análise intra e inter-sujeito mostraram a reprodutibilidade das medições dos pontos de calibração feitas pelos operadores. Além disto, os valores de acurácia na determinação da posição (0,3m) e na distância percorrida (1%) apresentados por Misuta (2004) são aceitáveis considerando a dimensão do campo de futebol. No trabalho apresentado por Shiokawa et al. (2003), que utilizaram o método DLT para a calibração, foi encontrado o resultado de 0,4 m na determinação da posição.

Um outro aspecto relacionado à obtenção de uma boa acurácia na calibração consiste em utilizar mais pontos que o número mínimo de pontos necessário (BEBIE; BIERI, 2000). No caso da calibração 2D, o número mínimo é de 4 pontos em cada imagem a ser calibrada. Neste trabalho utilizamos pelo menos cinco pontos para calibrar cada uma das câmeras. Além disto, utilizamos também pontos que sejam comuns a duas câmeras.

O processo de calibração tem, assim, um papel fundamental dentro do processo de medição automático. Assim, os resultados apresentados neste capítulo mostraram que o processo de calibração realizado está adequado para a determinação da distância percorrida.

CAPÍTULO 5

PROCESSO DE MEDIÇÃO AUTOMÁTICA

5.1 INTRODUÇÃO

A medição automática visando a obtenção da trajetória de todos os jogadores é o objetivo dos diversos métodos apresentados na literatura (XU et al., 2005, NEEDHAN; BOYLE, 2001, IWASE; SAITO, 2004, FIGUEROA et al. 2006a). Dentre as modalidades esportivas coletivas, o futebol tem sido uma das modalidades que tem recebido muitas contribuições com relação ao desenvolvimento de métodos de rastreamento, baseados em visão computacional e processamento de imagens. As várias dificuldades encontradas ao tratar esta modalidade fazem com que a medição totalmente automática de todos os jogadores durante toda a partida não tenha sido apresentada.

Alguns problemas relacionados ao método e que são relatados na literatura são:

- a) a impossibilidade do enquadramento com uma única câmera de todo o campo, com a resolução espacial adequada (TAKI et al, 1996; BARROS et al, 2001; FIGUEROA et al., 2006b);
- b) a existência de múltiplos alvos a serem rastreados simultaneamente (TAKI et al, 1996; FIGUEROA et al., 2006b, INTILLE; BOBICK, 1994; Needham; Boyle, 2001);
- c) a dificuldade no acompanhamento de cada jogador devido à complexidade das situações como em oclusões mútuas dos jogadores e ações realizados por dois ou mais jogadores quando estão muito próximos (INTILLE; BOBICK 1994; TAKI et al, 1996; NEEDHAM; BOYLE, 2001; PERS at al., 2001; IWASE; SAITO, 2004; FIGUEROA et al., 2006b);
- d) a variabilidade dos elementos da imagem em função das mudanças na iluminação e perdas nos processos de registro (FIGUEROA et al., 2006a);
- e) alto custo computacional de armazenamento e processamento das imagens.

Os trabalhos apresentados na literatura referem-se ao processo de medição automática de diferentes formas e com diferentes etapas. O método utilizado neste trabalho foi

baseado em processamento de imagens e a medição automática foi subdividida em segmentação e rastreamento. A finalidade da segmentação está em localizar o(s) objeto(s) de interesse, no caso os jogadores, a partir de uma imagem. O rastreamento consiste basicamente encontrar para cada jogador a correspondência entre a posição obtida num quadro e o quadro subsequente e assim sucessivamente ao longo de toda a sequência de quadros. Ou seja, obter a trajetória do jogador em uma partida.

O primeiro aspecto relacionado à segmentação (FIGUEROA et al., 2006b) descrito no capítulo 2, consiste na obtenção adequada da imagem de fundo. Em seguida, esta imagem obtida é utilizada para aplicar o filtro diferença que consiste numa operação morfológica, visando a obtenção da região na imagem que corresponde aos jogadores. No entanto, objetivo de obter o blob em que o seu contorno seja o mais próximo possível do contorno do jogador nem sempre é possível em virtude de fatores como a variação de iluminação e as situações de junção.

Com relação ao rastreamento, o critério distância e a identificação da equipe são considerados para obter a trajetória de cada jogador. As dificuldades e os erros na determinação da posição de cada jogador automaticamente ocorrem nas seguintes situações:

a) a distância euclidiana entre a posição do *blob* no quadro corrente e o quadro subsequente apresenta variações em função do formato do *blob* obtido. Isto se dá nas situações de ocorrência de sombras e em situações de junção entre jogadores;

b) a identificação incorreta da equipe ao qual pertence o jogador. Isto ocorre principalmente nas situações de junção entre jogadores.

Considerando estes aspectos, o objetivo deste capítulo está em avaliar o processo de medição automática da seguinte forma:

- a) Avaliar o percentual de rastreamento automático dos jogadores de futebol e handebol;
- b) Avaliar a acurácia na determinação da distância percorrida dos jogadores de futebol e handebol;
- c) Encontrar e determinar fatores de comparação entre os jogos /estádio analisados (futebol);

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: a próxima seção 5.2 apresenta a metodologia relacionada à análise do processo de medição automática. Os resultados relativos ao

futebol serão apresentados na seção 5.3 e os resultados relativos ao handebol serão apresentados na seção 5.4. Por fim a discussão será apresentada na seção 5.5.

5.2 MEDIÇÃO AUTOMÁTICA

Neste estudo, a avaliação do processo de medição automática foi realizada abordando as etapas de segmentação e rastreamento para cinco jogos no futebol e um jogo no handebol. Com relação ao futebol, a análise considerando os fatores posicionamento do jogador no campo, proximidade da câmera e o estádio, também, foi realizada.

A descrição das variáveis e das formas de análises, que serão apresentadas com relação às etapas segmentação e rastreamento e que são comuns para o futebol e para o handebol, estão exemplificadas utilizando os casos do futebol.

A medição do jogo de futebol foi feita para os cinco jogos de futebol descritos no capítulo aquisição. A frequência de aquisição foi de 30 Hz, mas visando diminuir o custo computacional relacionado ao armazenamento e ao processamento dos dados, a frequência de amostragem foi de 7,5 Hz. O total de quadros rastreados foi de 2700 quadros (6 minutos iniciais) do segundo tempo de cada jogo. Para realizar a análise, a escolha dos jogadores baseou-se no posicionamento dos mesmos em campo (ZA, LD, LE, ME e AT). Assim, a medição em cada um dos jogos foi feita para cinco jogadores (um jogador de cada posição) de cada equipe totalizando dez jogadores.

A medição do jogo de handebol foi feita para o jogo de handebol descrito no capítulo aquisição. A frequência de amostragem foi de 30 Hz. O total de quadros rastreados foi de 9000 quadros (5 minutos iniciais) do segundo tempo de jogo. Para realizar a análise, a medição foi feita para todos os jogadores de linha da mesma equipe (6 jogadores).

A medição dos jogos foi realizada num PC DualCore Intel Core 2 Duo E6400, 2133 MHz.

Os dados 2D foram filtrados com o filtro ButterWorth “passa baixa” de 3ª ordem com frequência de corte de 0.4 Hz.

5.2.1 Determinação dos Valores dos Parâmetros dos Algoritmos Utilizados na Medição Automática

A determinação dos valores dos parâmetros dos algoritmos relacionados à etapa de segmentação descritos no capítulo 2 será apresentada a seguir:

Os valores dos parâmetros relativos a cada uma das operações morfológicas aplicadas para o futebol foram determinados pelo operador. Assim, a primeira etapa de obtenção dos blobs para os jogos de futebol foi feita utilizando as seguintes operações morfológicas:

a) criação da imagem de fundo. Os valores dos parâmetros do algoritmo de extração de fundo (quantidade total de quadros, $n=11$, e intervalo, $N=60$, entre os quadros) foram os mesmos para todos os jogos. A construção da imagem de fundo foi feita a cada 250 quadros para os jogos J-1 e J-2 e a cada 500 quadros para os jogos J-3, J-4 e J-5;

b) filtro diferença. O valor do parâmetro (filtro de corte = 30) foi adotado para todos os jogos;

c) filtro *gray*. Para realçar a região relativa ao jogador em termos da intensidade (RGB) e conseqüentemente diferenciar em relação ao campo que é verde, a transformação da imagem em níveis de cinza foi realizada com a banda de vermelho;

d) filtro passa alta. O valor do parâmetro (filtro de corte = 10) foi adotado para todos os jogos;

e) dilatação. O elemento estruturante D_f foi aplicado para todos os jogos;

f) labeling.

O elemento estruturante D_f utilizado para o futebol é definido por:

$$D_f = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Os valores dos parâmetros relativos a cada uma das operações morfológicas aplicadas para o handebol foram determinados pelo operador. Assim, a primeira etapa de obtenção dos *blobs* para os jogos de handebol foi feita utilizando as seguintes operações morfológicas:

- a) criação da imagem de fundo. A construção da imagem de fundo foi feita a cada 3000 quadros e os respectivos valores dos parâmetros quantidade total de quadros ($n=11$) e intervalo ($N=60$) entre os quadros foram adotados;
- b) diferença. O valor do parâmetro filtro de corte = 30 foi adotado;
- c) filtro *gray*. Para realçar a região relativa ao jogador em termos da intensidade (RGB) e conseqüentemente diferenciar em relação ao campo que é verde, a transformação da imagem em níveis de cinza foi realizada com a banda de vermelho;
- d) filtro passa alta. O valor do parâmetro filtro de corte = 10 foi adotado;
- e) dilatação. O elemento estruturante D_h foi aplicado;
- f) labeling.

O elemento estruturante D_h utilizado para o handebol é definido por:

$$D_h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

A segunda etapa de obtenção dos *blobs* para os jogos de futebol e handebol consiste em fazer a separação dos *blobs* que estão juntos. Para isto foi aplicado o *splitting* baseado em grafo (FIGUEROA et. al, 2006a) descrito no capítulo 2.

Os critérios de decisão utilizados para o rastreamento automático são distância e identificação do time. A definição dos valores dos parâmetros para os dois critérios é feita pelo

operador antes de iniciar o processo de construção do grafo. O valor do parâmetro distância foi definido em 5 m.

O Quadro 5.1 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para fazer a identificação do time ao qual o jogador pertence para cada jogo de futebol e para o handebol. Para os jogos de futebol J-1 e J-2 foram definidas duas regiões de acordo com o modelo definido para identificar os jogadores (Figura 2.17) às respectivas equipes que pertencem. Para os demais jogos foi necessária uma região. No jogo de handebol foi necessária a definição de duas regiões para identificação dos jogadores.

Quadro 5.1: Determinação dos valores dos parâmetros relativa ao processo de identificação do time ao qual o jogador pertence para os jogos de futebol e handebol.

	$X_{\min}/X_{\max}$	$Y_{\min}/Y_{\max}$	Região[1]	Cor [1]	Cor [2]	Região[2]	Cor [1]	Cor [2]
J-1	5-10	15-30	1/8-3/8	0-70	120-256	3/8-4/8	0-70	120-256
J-2	5-10	15-20	1/8-4/8	0-50	80-256	4/8-6/8	0-50	80-256
J-3	5-20	15-40	1/8-3/8	0-70	120-256			
J-4	5-20	15-40	3/8-6/8	0-70	120-256			
J-5	5-20	15-40	1/8-4/8	0-70	120-256			
handebol	5-20	15-50	1/8-3/8	0-70	120-256	3/8-4/8	0-70	120-256

Dimensão dos jogadores (largura x altura) na imagem: $X_{\min}$, $X_{\max}$, $Y_{\min}$, $Y_{\max}$.

5.2.2 Medição das trajetórias

A medição manual quadro a quadro na obtenção da posição dos jogadores para os cinco jogos foi feita por um operador utilizando a *interface* do Sistema Dvideow. Os dados de posição em função do tempo e os valores de distância percorrida dos jogadores a partir da medição manual foram adotados como o valor esperado.

O processo de medição dos cinco jogos foi semi-automático, pois houve a necessidade de intervenção do operador. Os dados de posição em função do tempo e os valores de distância percorrida dos jogadores a partir do processo de medição automática serão adotados como o valor observado.

A obtenção do percentual de rastreamento automático foi feita pelo operador durante o processo de medição automática. Para isto, foi feita a anotação com a identificação do

quadro inicial e do quadro final de cada uma das situações de intervenção manual executada pelo operador. Consequentemente, todos os demais quadros da seqüência de imagens correspondem aos quadros rastreados automaticamente.

A partir dos dados de posição dos jogadores obtidos pela medição manual e automática foram calculadas as seguintes variáveis e as avaliações associadas:

A primeira avaliação refere-se ao erro na determinação da posição do jogador no campo no processo de medição automática ($Erro_{detPos}$). Para isto, o valor esperado ($P_{Esperado}$) refere-se aos dados de posição em função do tempo da medição manual e o valor observado ($P_{Observado}$) refere-se aos dados da medição automática. O $Erro_{dist}$ foi definido como a distância euclidiana entre $P_{Esperado}$ e $P_{Observado}$ para cada quadro. O cálculo do $Erro_{detPos}$ para cada jogador é definido por:

$$Erro_{detPos} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Erro_{dist(i)} \quad \text{onde } n \text{ é o número total de quadros. (def. 5.1)}$$

A segunda avaliação refere-se ao erro na determinação da distância percorrida ($Erro_{DistPerc}$), que consiste no valor percentual da diferença entre a medida de distância percorrida considerando o valor esperado e a distância percorrida considerando o valor observado. Para isto, o valor esperado refere-se ao valor de distância percorrida obtida a partir da medição manual e o valor observado ao valor obtido a partir da medição automática.

5.2.3 Caracterização do Blob

Na imagem de uma determinada câmera posicionada para enquadrar uma região do campo, os dois casos tratados com relação à localização do jogador foram: a) positivo: o jogador está na imagem e está associado a um *blob* (Figura 5.1a-1); b) falso negativo: o jogador está presente na imagem, mas não foi associado a nenhum *blob* (não foi localizado, Figura 5.1a-2).

Com relação aos jogadores e os respectivos *blobs* associados, um ou mais jogadores podem aparecer isoladamente ou juntos (Figura 5.1b). Os casos de junção podem ser

parciais ou totais. Para realizar as análises neste trabalho foi criada a seguinte definição sobre a situação do *blob*:

a) Situação isolado: um *blob* corresponde a apenas um jogador (Figura 5.1b).

b) Situação de junção: um *blob* corresponde a mais de um jogador (Figura 5.1b).

c) Situação de *splitting* (Figura 5.1c). A classificação do *blob* entre “isolado” ou “junção” será em função da forma de rastreamento. O *blob* será classificado como isolado se a determinação da posição deste jogador no quadro corrente em que a situação de junção está acontecendo ocorrer pelo rastreamento automático. Caso tenha a intervenção do operador, será classificado como junção.

Assim, os *blobs* separados pelo processo de *splitting*, no exemplo da Figura 5.1c, podem ter as seguintes classificações: a) ambos de junção, b) ambos de isolado ou c) um ser classificado como isolado e o outro ser classificado como junção.

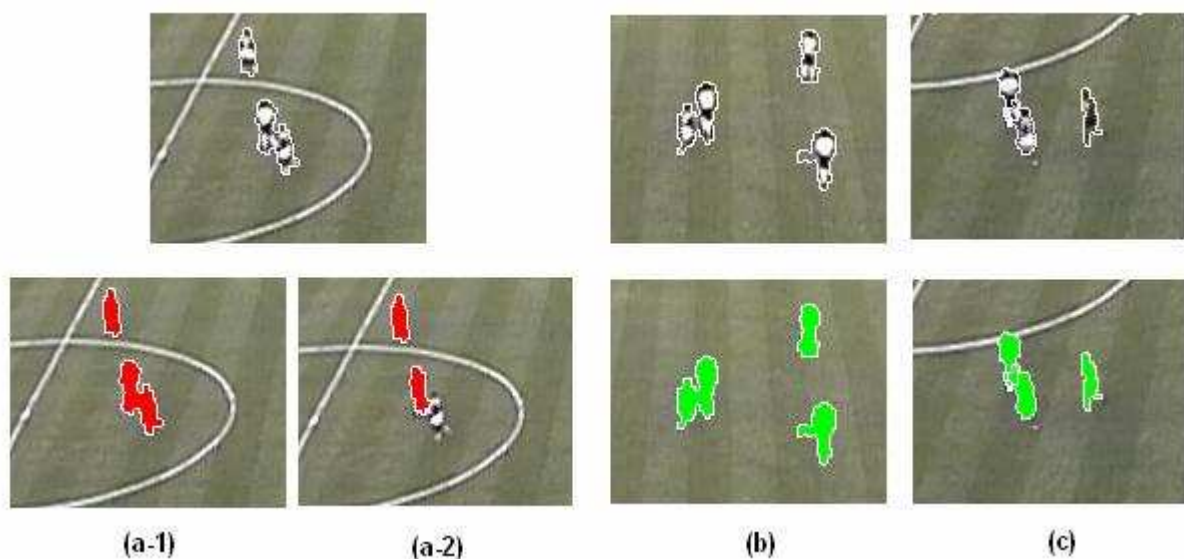


Figura 5.1: Situação com positivo, falso negativo (a-1 e a-2). Situação de junção (b). Situação de *splitting* (c)

A contagem das situações ‘falso negativo’ (1), ‘Id. Certo’ (2 - identificação correta do jogador ao time), ‘Id. Errado’ (3 - identificação incorreta do jogador ao time) e ‘Id. Indef.’ (4 - identificação não definida) foi realizada para cada quadro em que o jogador foi rastreado automaticamente utilizando um algoritmo desenvolvido em ambiente matlab.

Para isto, o primeiro passo consistiu em utilizar a interface do sistema Dvideo, que permite a visualização de cada quadro da seqüência de imagens em que a região correspondente ao jogador apareça com a cor atribuída (azul - time A, verde - time B ou vermelho – não definido) na etapa identificação da equipe. É possível também criar uma nova seqüência de imagens em que a região correspondente a cada jogador esteja com a cor atribuída. Assim, foi criada uma nova seqüência de imagens para cada uma das quatro câmeras utilizadas em cada um dos jogos, Figura 5.2.

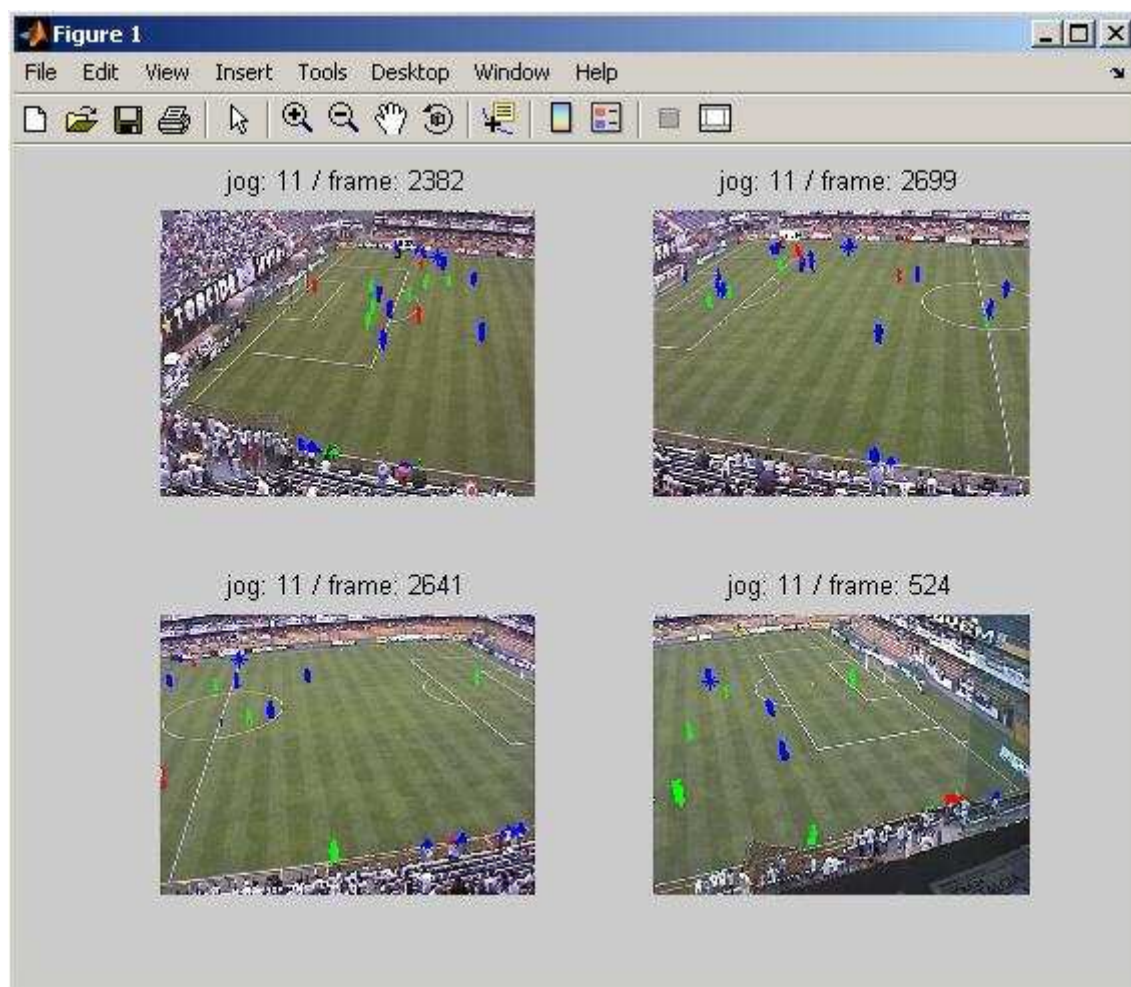


Figura 5.2: Exemplo com a imagem das quatro câmeras utilizadas no jogo J-3 nas quais as regiões correspondentes aos jogadores estão com as cores atribuídas na etapa identificação da equipe (azul - time A, verde - time B ou vermelho – indefinido).

O algoritmo desenvolvido neste estudo para realizar a contagem baseia-se na posição do jogador obtida pelo rastreamento manual. Desta forma, a posição do jogador, em cada quadro da seqüência de imagens em que o mesmo foi rastreado é conhecida. Assim, a

identificação da equipe ao qual pertence o jogador é feita de acordo com a cor da região associada à posição do jogador. Esta região consiste em um retângulo com dimensão de 11×20 pixels e está centrado na posição (p) do jogador, Figura 5.3. E, assim a contabilização é feita sucessivamente ao longo da sequência de imagens para todos os jogadores.



Figura 5.3: Região delimitado por um retângulo com dimensão (11×20 pixels) centrado na posição $p(x,y)$ de um jogador.

As seguintes convenções foram adotadas para definir as demais variáveis:

- A ‘situação isolado’ corresponde ao somatório entre ‘Id. Certo’, ‘Id. Errado’ e ‘Id. Indef.’.
- A ‘situação positivo’ corresponde ao somatório entre os casos ‘situação isolado’ e ‘situação junção’.
- No quadro em que o jogador for classificado como ‘situação falso negativo’, o mesmo foi contabilizado como rastreamento automático. Isto porque nesta situação a extrapolação, descrita no capítulo 2 para a etapa de rastreamento automático, foi aplicada e consequentemente não houve intervenção do operador. Assim, a ‘situação falso negativo’ é somada à ‘situação isolado’ na contabilização dos quadros considerados como rastreamento automático.

5.2.4 Análise Estatística

a) A correlação de Pearson foi aplicada para as seguintes situações:

a.1) Analisar a correlação considerando os cinco jogos. O nível de significância adotado foi de 0,05.

- O ângulo beta foi utilizado como fator de diferenciação entre os jogos e estabeleceu-se a seguinte associação: J-1 (Beta 1), J-2 (Beta 2), J-3 (Beta 3), J-4 (Beta 4) e J-5 (Beta 5).
- As variáveis utilizadas foram: 'Id.certo' (1), 'Id.errado' (2), 'Id.Indef' (3), 'Sit.juncao' (4), 'Falso Negativo' (5), 'Autom' (6), 'Tempo' (7), 'Erro_{Dpercorrida}' (8), 'Beta' (9), 'Yo' (10), 'Zo' (11).

a.2) Analisar correlação considerando a posição dos jogadores. O nível de significância adotado foi de 0,05.

- As posições dos jogadores foram classificadas como: zagueiro (ZA), lateral direito (LD), lateral esquerdo (LE), meia (ME), atacante (AT).
- As variáveis utilizadas foram: 'Id.certo' (1), 'Id.errado' (2), 'Id.Indef' (3), 'Sit.juncao' (4), 'Falso Negativo' (5), 'Autom' (6), 'Tempo' (7), 'Erro_{DistPerc}' (8).

b) Análise de variância 3-way (ANOVA) foi utilizada para comparar as variáveis relacionadas ao rastreamento automático de acordo com três fatores (posição do jogador, proximidade da câmera e ângulo beta). O nível de significância adotado foi de 0,05. Os dados correspondem a todos os jogadores (n=50).

As variáveis relacionadas ao rastreamento automático são: percentual de rastreamento automático ('autom'), tempo de rastreamento automático ('tempo'), Erro_{DistPerc} ('Erro_{DistPerc}') e percentual de junção ('Sit.junção').

Os fatores e os respectivos níveis são: a) ângulo beta com cinco níveis (beta1,beta2,beta3,beta4,beta5), b) posição do jogador com cinco níveis (ZA,LD,LE,ME e AT) e c) proximidade em relação à câmera com dois níveis (perto / longe).

A verificação do efeito da calibração associada ao local do campo onde o jogador se movimenta foi feita considerando a proximidade do jogador em relação à posição da câmera (*fator proximidade*). O fator proximidade foi determinado como perto / longe. A referência é o ponto médio ($\bar{y}_{campo}$) na coordenada y do sistema de referência associado ao campo. A posição média em relação à coordenada y do jogador é definida por

$$\bar{y}_{jogador} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=2700} y_i \quad (\text{def. 5.2})$$

Assim, o fator proximidade é considerado perto se $\bar{y}_{jogador} < \bar{y}_{campo}$ e longe se $\bar{y}_{jogador} > \bar{y}_{campo}$.

Nas situações em que houve diferença significativa, o teste de Tukey foi aplicado para verificar entre quais fatores ou interações entre grupos houve constatação de diferença significativa. O nível de significância adotado foi de 0,05.

Os dados foram analisados no programa Matlab 7.0.

5.3 APLICAÇÃO FUTEBOL

A apresentação dos resultados será feita primeiramente com as descrições das situações que ocorreram e que foram analisados neste capítulo, relacionados à segmentação e ao rastreamento automático.

Com relação à segmentação, as descrições para as seguintes situações serão apresentadas:

- a) criação da imagem de fundo;
- b) obtenção adequada do *blob*;
- c) situação de junção do *blob*;
- d) influência da sombra na obtenção do *blob*.

Com relação ao rastreamento automático, as descrições para as seguintes situações serão apresentadas:

- a) situação em que houve a identificação correta dos jogadores às respectivas equipes;
- b) situação em que houve erros na identificação dos jogadores.

Após a apresentação das referidas descrições, os resultados das análises relacionadas às etapas de segmentação e rastreamento serão apresentadas.

A seguir serão apresentadas as descrições das situações que ocorreram e que caracterizaram os casos tratados neste capítulo relacionados à segmentação.

a) Criação da imagem de fundo. A criação da imagem de fundo é a primeira etapa dentro do processo de segmentação. A correta e adequada extração do fundo é fundamental na obtenção correta dos *blobs* referentes aos jogadores.

A variação da iluminação foi o principal fator que dificultou a criação do fundo nos jogos analisados. Um exemplo desta variação está apresentado na Figura 5.4 e representa três momentos do segundo tempo de uma partida. O início está com luz natural, na metade do

segundo tempo está com luz natural e ocorre a influência da luz artificial e o fim do segundo tempo somente com luz artificial.



Figura 5.4: imagem do campo no começo 2º. tempo, meio 2º. Tempo e final 2º. Tempo.

Nos casos em que a variação de iluminação não ocorreu, a obtenção da imagem de fundo foi adequada. A imagem corrente com os jogadores (imagem a) e imagem de fundo criada (imagem b) estão exemplificadas na Figura 5.5. Observa-se que a imagem de fundo criada é bem próxima da imagem corrente se não tivessem os jogadores e pode ser considerada adequada para ser utilizada na operação morfológica *Diferença*.

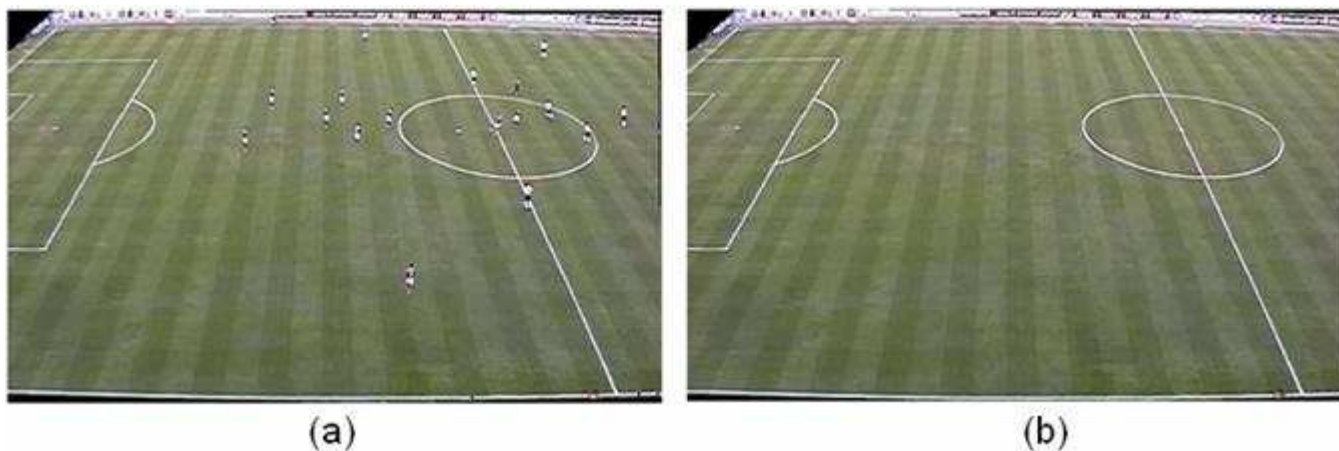


Figura 5.5: (a) imagem com os jogadores, (b) imagem de fundo obtido.

Devido às alterações de iluminação que ocorreram, Figura 5.4, o valor do parâmetro do algoritmo de obtenção da imagem de fundo foi ajustado pelo operador conforme a situação em cada um dos jogos.

O processo de construção da imagem de fundo é computacionalmente custoso. Assim, quanto maior a variação da iluminação, a construção da imagem de fundo deve ser feita

num intervalo menor de tempo e consequentemente elevando o tempo de processamento. No caso do futebol, os jogos J-1 e J-2 foram feitos a cada 250 quadros (33 segundos). Nos jogos J-3, J-4 e J-5 foram feitos a cada 500 quadros (66 segundos).

b) Obtenção adequada do *blob*. A descrição de cada processo na obtenção do *blob* numa situação em que os *blobs* foram obtidos adequadamente está apresentada na Figura 5.6. A região relativa a cada jogador foi obtida sem que houvesse separação de algum segmento corporal. Pode-se observar que o contorno obtido com os *blobs* relativos aos jogadores do *time a* estão mais próximos ao contorno do jogador. Analisando cada operação morfológica temos:

- Diferença (Figura 5.6a). As regiões da imagem que correspondem aos jogadores estão presentes na imagem. Observa-se, também, que a região relativa aos jogadores do *time b* é superestimado. A extração de fundo está adequada, pois não há muitos ruídos.
- Passa-alta. O limiar estabelecido mostrou-se adequado, pois toda a região de interesse já obtido na etapa anterior foi mantida.
- Dilatação (Figura 5.6c). Como a obtenção das regiões de interesse foi bem sucedida nas etapas anteriores, o efeito da dilatação foi no sentido de preencher algumas lacunas que existiam nestas regiões.
- *Labeling* (Figura 5.6d). Os *blobs* foram obtidos e em todos os casos os contornos estão bem próximos dos contornos de cada jogador. No entanto, como já foi observado na etapa diferença, o contorno relativo aos jogadores do *time b* são maiores comparados aos jogadores do *time a*.

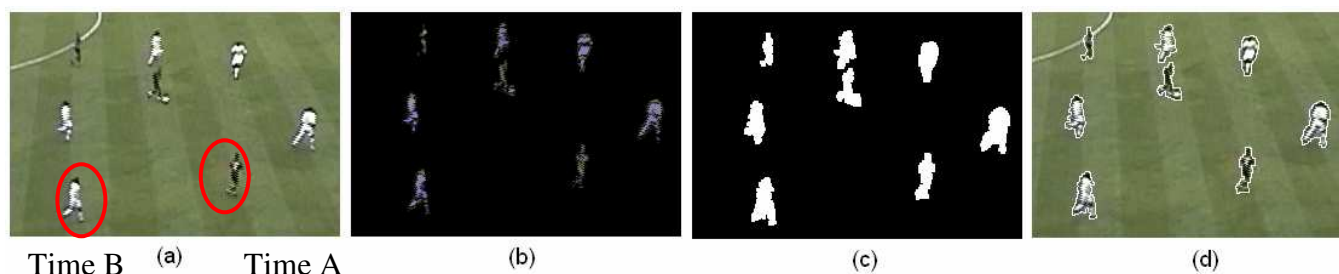


Figura 5.6: (a) imagem do campo, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado da dilatação, (d) obtenção do contorno dos jogadores.

c) situação de junção do *blob*. As situações de junção que ocorreram nos jogos como na grande área durante a cobrança de escanteio, nas jogadas de disputa de bola em que dois

jogadores ficam juntos, entre outros são inerentes à modalidade. No entanto, a situação que será apresentada a seguir refere-se a uma situação de junção que ocorreu em função da altura (Z_0) e recuo (Y_0) do local onde a câmera foi posicionada nos jogos J-4 e J-5. Este tipo de situação de junção está esquematicamente exemplificado na Figura 5.7 e a seqüência de imagens em que esta situação de junção ocorreu está apresentada na Figura 5.8. Na ilustração, j_1 e j_2 representam dois jogadores que estão separados por uma distância ($d=d'$) e o recuo ($r < r'$).

A *situação a* retrata um caso em que não ocorre junção entre dois jogadores (j_1 e j_2). A *situação b* retrata um caso em que ocorre junção entre dois jogadores (j_1 e j_2), pois ambos aparecem juntos na imagem desta câmera. Nesta situação, $r < r'$ e as demais variáveis se mantêm ($h=h'$, $d=d'$).

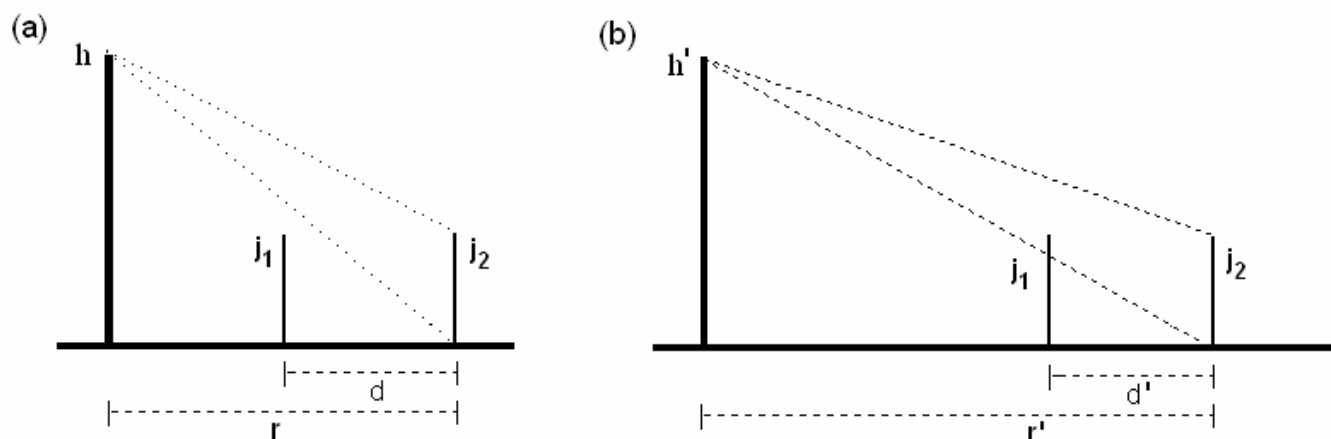


Figura 5.7: A altura (h)/recuo(r) e a relação com a junção e/ou oclusão entre jogadores.

A seqüência de imagens, Figura 5.8, exemplifica a situação em que o posicionamento da câmera em termos da altura (Z_0) e recuo (Y_0) favoreceram este tipo de situação de junção. Conforme foi apresentado no capítulo 3, o ângulo beta calculado para estes dois jogos (J-4 e J-5) apresentou valores menores comparados aos demais jogos.

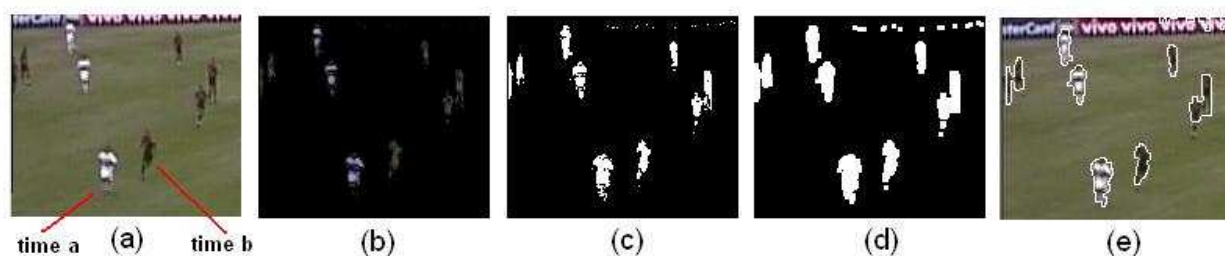


Figura 5.8: situação de junção entre jogadores devido à relação altura(h)/recuo(r).

d) influência da sombra na obtenção do *blob*. A sombra, que está relacionada com a iluminação, foi um dos fatores que dificultaram a obtenção adequada do *blob*. Tanto na situação em que um jogador corresponde a um *blob* quanto na ocorrência de junção como é o caso exemplificado na Figura 5.9e foram causados pela presença da sombra. A descrição de cada processo na obtenção do *blob* numa situação com a existência da sombra está exemplificada na Figura 5.9.

Os valores de intensidade (RGB) da região da sombra neste caso variaram de $40 \times 45 \times 9$ a $58 \times 58 \times 26$. A intensidade (RGB) do campo (fundo) variou de $75 \times 80 \times 40$ a $90 \times 90 \times 50$. A sombra que aparece na imagem (Figura 5.9a) permaneceu após o processamento causando a junção dos *blobs* e a obtenção de um *blob* com o contorno deformado (jogador + sombra). Analisando cada operação morfológica temos:

- Diferença (Figura 5.9b): Após a aplicação do filtro diferença, os valores de intensidade (RGB) da região dos jogadores variaram de $23 \times 31 \times 15$ a $69 \times 60 \times 70$. A intensidade da região da sombra variou de $25 \times 32 \times 12$ a $41 \times 43 \times 36$. A variação da intensidade da região da sombra está contida na variação de intensidade da região do jogador. Assim, todas as regiões relativas aos jogadores permaneceram após esta operação, inclusive as sombras. A extração de fundo foi adequada com relação à pouca presença de ruídos. No entanto, a obtenção da região que corresponde ao jogador não está adequada devido à presença da sombra.
- Passa-alta (Figura 5.9c). O limiar estabelecido mostrou-se adequado, pois toda a região de interesse já obtido na etapa anterior foi mantida. Assim, a região relativa aos jogadores foi obtida juntamente com as sombras.

- Dilatação (Figura 5.9d). Restabeleceu a junção das regiões do corpo que estavam separadas.
- *Labeling* (Figura 5.9e). O contorno obtido corresponde ao jogador junto com a sombra e houve a junção de dois *blobs*.

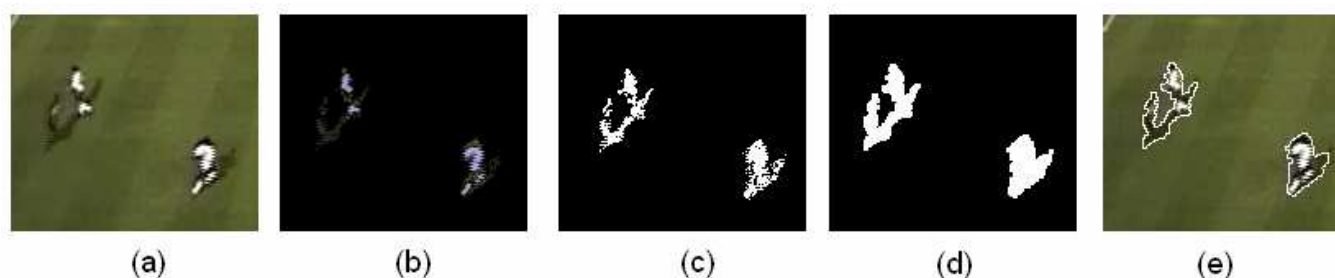


Figura 5.9: (a) imagem do campo, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado da aplicação do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.

A seguir serão apresentados os resultados de segmentação do jogo J-1, Quadro 5.2. O tempo de processamento para fazer o *splitting* foi maior nas câmeras 2 e 3 devido à maior quantidade de *blobs*. O tempo para montagem do grafo foi de dois minutos para as quatro câmeras.

Quadro 5.2. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-3.

	Processo de Segmentação			
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	8	2	2	50
Câmera 2	8	7		
Câmera 3	8	6		
Câmera 4	7	2		
Total	31	17	2	50

Os resultados relativos à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-1 estão apresentados na Tabela 5.1. O percentual de localização dos jogadores (positivo) está acima dos 99,3%. Estes dados representam o resultado considerando as duas etapas do processo de segmentação. O maior valor de percentual de falso negativo encontrado foi de 0,7 % e ocorreu durante a segunda etapa. Basicamente, o falso negativo se origina em função da eliminação de regiões (*blobs*), que ficam pequenos, durante o processo de *splitting*. Isto é, o jogador que passa a fazer parte do falso negativo é aquele que teve a região na imagem correspondente segmentada em pedaços menores e foi eliminada.

Tabela 5.1: Resultado relativo à localização dos jogadores nos 2700 quadros durante o processo de segmentação para o jogo J-1 (time A e B).

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
LD(A)	2700 (100,0%)	0,0 (0,0%)
ZA(A)	2686 (99,5%)	14,0 (0,5%)
AT(A)	2683 (99,4%)	17,0 (0,6%)
ME(A)	2697 (99,9%)	3,0 (0,1%)
LE(A)	2698 (99,9%)	2,0 (0,1%)
LD(B)	2695 (99,8%)	5,0 (0,2%)
ZA(B)	2682 (99,3%)	18,0 (0,7%)
LE(B)	2696 (99,9%)	4,0 (0,1%)
ME(B)	2700 (100,0%)	0,0 (0,0%)
AT(B)	2689(99,6)	11,0 (0,4%)
Media	2692,6 (99,7%)	7,4 (0,3%)
($\pm$SD)	($\pm$ 7,0)	($\pm$ 7,0)

Os resultados da segmentação de todos os jogos em termos dos valores médios e os respectivos valores de desvio padrão e a totalização dos tempos em cada uma das etapas (segmentação, *splitting* e construção do grafo) estão apresentados na Tabela 5.2. O tempo de segmentação dos jogos J-1, J-2 e J-3 foram maiores devido ao enquadramento das câmeras. Assim, o tamanho da imagem a ser processado foi maior comparado aos jogos J-4 e J-5. O tempo de processamento para fazer o *splitting* foi maior nas câmeras 2 e 3 devido à maior quantidade de *blobs* para todos os jogos. O tempo total de processamento foi de 4h21 min. O percentual de localização dos jogadores está acima dos 99,2%. Os resultados relativos à segmentação dos demais jogos estão no Apêndice A e B.

Tabela 5.2: Resultados da segmentação de todos os jogos em termos dos valores médios e os respectivos valores de desvio padrão (positivo e falso negativo) e a totalização dos tempos em cada uma das etapas (segmentação, *splitting* e construção do grafo).

	Positivo ($\pm$ SD)	Falso Negativo ($\pm$ SD)	Segmentação [min]	<i>Splitting</i> [min]	Grafo [min]	Total [min]
J-1	2692,6 (99,7%) ($\pm$ 7,0)	7,4 (0,3%) ($\pm$ 7,0)	31	17	2	50
J-2	2687,2 (99,5%) ($\pm$ 10,8)	12,8 (0,5%) ($\pm$ 10,8)	35	17	2	54
J-3	2678,4 (99,2%) ($\pm$ 5,3)	21,6 (0,8%) ($\pm$ 5,3)	30	29	2	61
J-4	2687,5 (99,5%) ($\pm$ 10,7)	12,5 (0,5%) ($\pm$ 10,7)	21	21	2	44
J-5	2686,8 (99,5%) ($\pm$ 11,6)	13,2 (0,5%) ($\pm$ 11,6)	23	27	2	52
media	2686,5 (99,5%)	13,5 (0,5%)	28	22,2	2	52,2

A seguir serão apresentadas as descrições das situações que ocorreram e que caracterizaram os casos tratados neste capítulo relacionados ao rastreamento automático.

a) identificação correta dos jogadores às respectivas equipes. A identificação dos jogadores às respectivas equipes foi feita com base nas cores que caracterizam predominantemente o uniforme. A principal dificuldade foi em determinar a região ou as regiões de acordo com o modelo de representação do corpo do jogador (descrito no capítulo 2) para diferenciar as duas equipes. Nos cinco jogos analisados, o percentual de identificação foi maior das equipes em que os uniformes apresentaram características semelhantes ao exemplo da Figura 5.10. Neste caso verificou-se que os uniformes apresentaram predominantemente cores escuras (equipe b) e claras (equipe a). E isto se confirmou pelo histograma dos dois *blobs* (equipe a e equipe b, Figura 5.10) apresentados na Figura 5.11. A identificação da equipe foi feita usando a *parte b* (modelo do jogador – Figura 18). A cor azul foi atribuída ao *time a* e a cor verde para o *time b*.

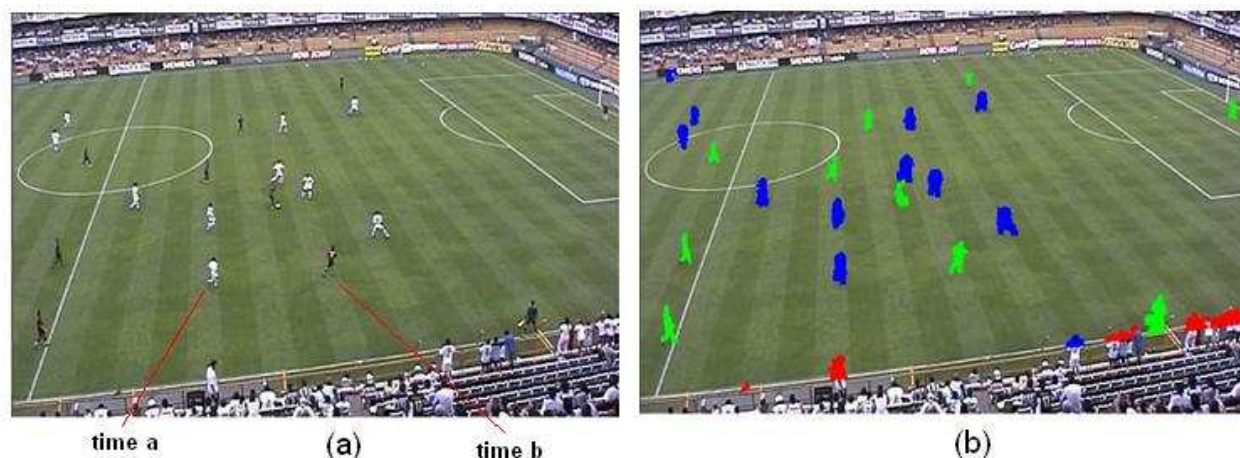


Figura 5.10: (a) Imagem original, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe.

O histograma do *blob* relativo aos dois jogadores identificados na Figura 5.10 como *time a* e *time b* estão apresentados na Figura 5.11. O histograma do jogador (*time a*) apresenta características para a cor clara. Enquanto o histograma do jogador (*time b*) apresenta características para a cor escura. O histograma para os demais jogadores de ambas as equipes foram semelhantes ao histograma mostrado na Figura 5.11.

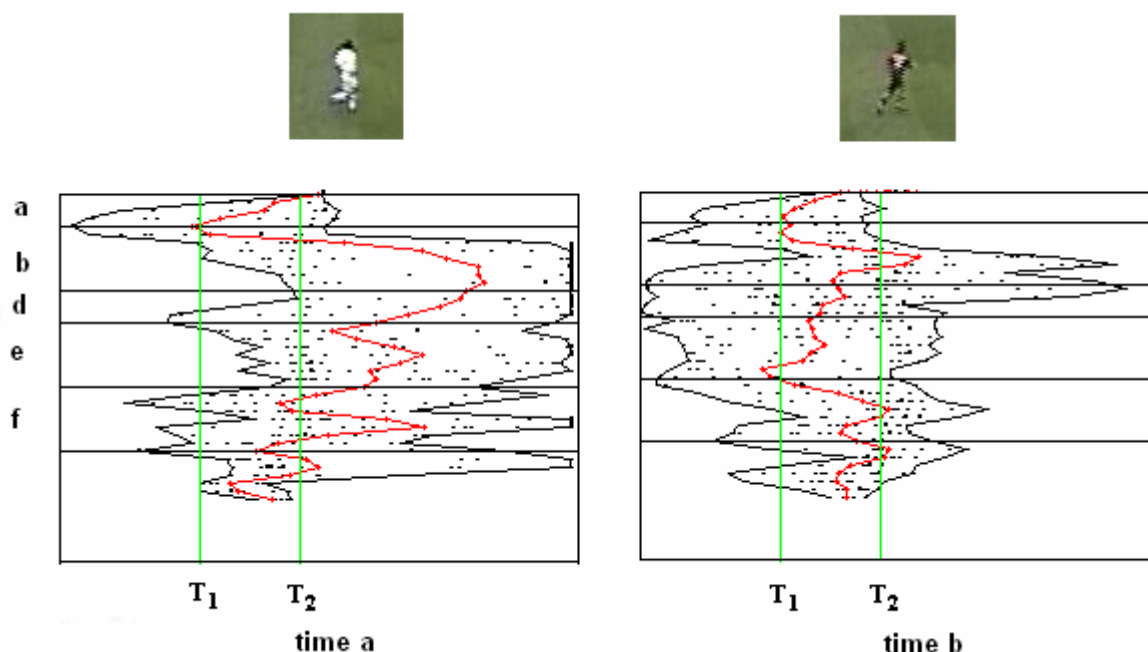


Figura 5.11: Histograma dos jogadores *time a* e *time b*.

b) Erro de identificação dos jogadores às respectivas equipes. Diferentemente do caso anterior (Figura 5.12), a distinção dos *blobs* pela cor não é tão evidente principalmente para os

jogadores do *time b*. Os jogadores destacados num círculo foram identificados como *time a*, mas deveriam ser identificados como *time b*. E os jogadores destacados num quadrado foram classificados como indefinidos ('Id. Indef'). A dificuldade na identificação pode ser confirmada pelo histograma dos *blobs* associados aos jogadores em destaque (equipe a, equipe b1 e equipe b2 – Figura 5.12). A identificação da equipe, neste caso, foi feita usando a *parte b* e *d* (modelo de representação do jogador – Figura 2.17). A cor azul foi atribuída ao *time b* e a cor verde para o *time a*. A cor vermelha indica que não houve identificação do uniforme para *time a* ou *time b*.

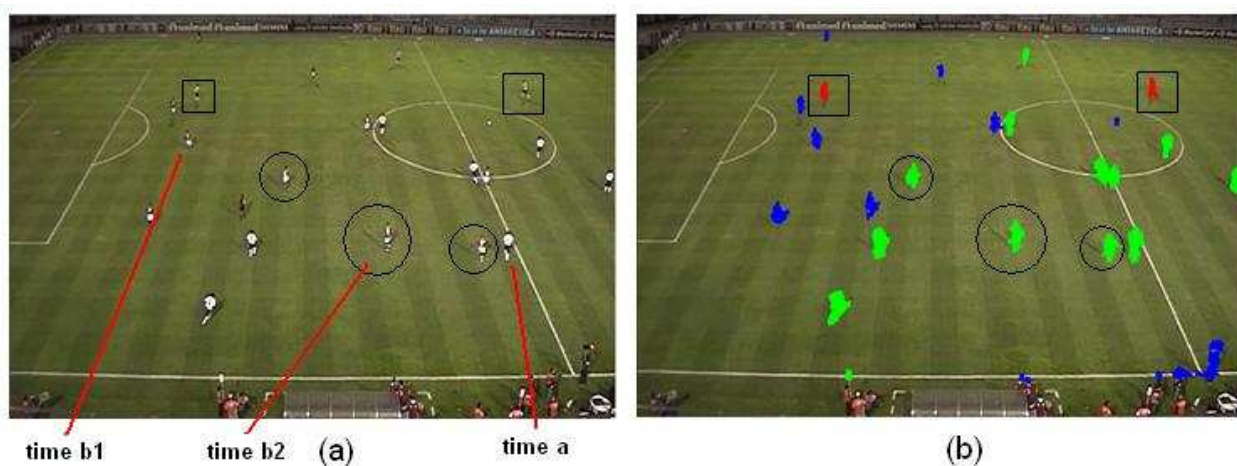


Figura 5.12: (a) Imagem original, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe. Os jogadores em destaque num quadrado não tiveram identificação e os jogadores em destaque num círculo não foram identificados corretamente.

O histograma do *blob* relativo aos dois jogadores identificados na Figura 5.12 como *time a*, *time b1* e *time b2* estão apresentados na Figura 5.13. O histograma do jogador (*time a*) apresenta características para a cor clara. No entanto, o histograma dos jogadores do *time b* que deveria tender para a cor escura variou bastante dependendo da posição do jogador (de frente, de lado, de costas, etc) devido ao número da camisa ser branco. Esta variação pode ser observada pelo histograma do jogador que teve a identificação correta, 'Id. Certo', (Figura 5.13 - *time b1*) e o jogador que não foi corretamente identificado, 'Id. Errado', (Figura 5.13 - *time b2*). O histograma para os demais jogadores de ambas as equipes foram semelhantes ao histograma mostrado.

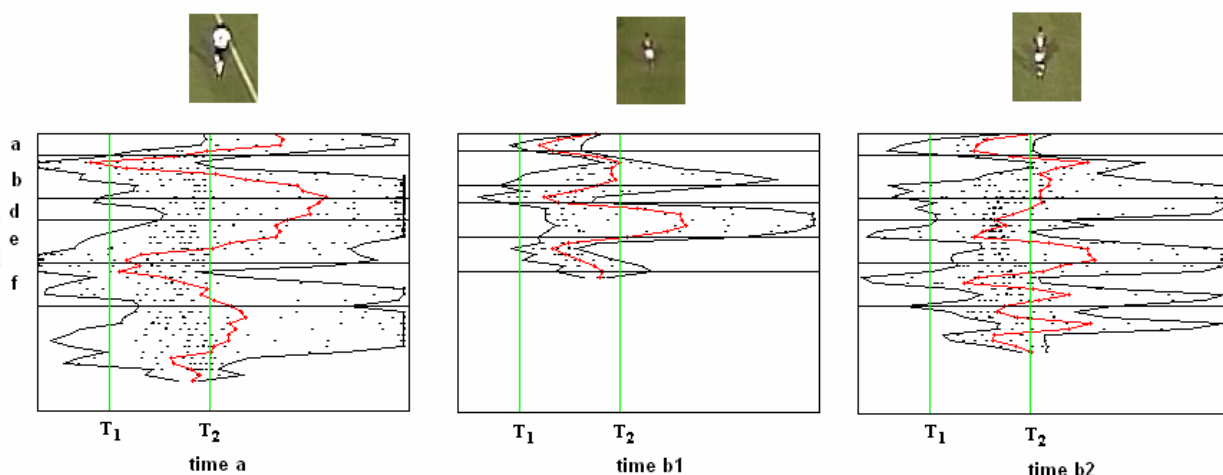


Figura 5.13: Histograma dos jogadores *time a*, *time b1* e *time b2*.

A seguir serão apresentados os resultados relativos ao rastreamento automático do jogo J-1, Tabela 5.3. O valor médio do percentual de rastreamento automático para os jogadores do time A foi de 96,1 % e o percentual de junção variou de 2,1 % a 6,7 %. O jogador LD(A) apresentou o maior percentual de rastreamento automático (97,9 %) e o jogador ME(A) apresentou o maior percentual de junção (6,7 %). Todas as intervenções feitas pelo operador que ocorreram na fase de rastreamento automático foram numa situação de junção.

Os jogadores do time B apresentaram valor médio de 90,6 % de percentual de rastreamento automático e o percentual de junção variou de 3,3 % a 20,3 %. O maior percentual da situação de junção, AT(B) 20,3 %, deve-se à característica de um atacante que devido à marcação dos zagueiros permanece junto com algum jogador de defesa.

Tabela 5.3: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-1 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático ‘Autom’, tempo de rastreamento ‘tempo’ e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, ‘Id.Certo’, ‘Id.Errado’ e ‘Id.Indef’).

	Segmentação				Rastreamento		
	Isolado			Junção [Quadros]	F. Neg [Quadros]	Autom [%]	tempo rastr [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id. Indef [Quadros]				
LD(A)		2641 (97,9%)		58 (2,1%)	0 (0,0%)	97,9	11
	2556(94,7%)	84 (3,1%)	1(0,0%)				
ZA(A)		2589 (95,9%)		96 (3,6%)	14 (0,5%)	96,4	11
	2412(89,4%)	166(6,2%)	11(0,4%)				
AT(A)		2591 (96,0%)		91 (3,4%)	17 (0,6%)	96,6	9
	2349(87,0%)	232(8,6%)	10(0,4%)				
ME(A)		2515 (93,2%)		181 (6,7%)	3 (0,1%)	93,3	12
	2405(89,1%)	101(3,7%)	9 (0,3%)				
LE(A)		2597 (96,2%)		100 (3,7%)	2 (0,1%)	96,3	7
	2490(92,3%)	103(3,8%)	4(0,1%)				
LD(B)		2496 (92,5%)		198 (7,3%)	5 (0,2%)	92,7	21
	1826(67,7%)	632(23,4%)	38(1,4%)				
ZA(B)		2552 (94,6%)		129 (4,8%)	18 (0,7%)	95,2	7
	2248(83,3%)	270 (10,0%)	34(1,3%)				
LE(B)		2605 (96,5%)		90 (3,3%)	4 (0,1%)	96,7	9
	507(18,8%)	2094(77,6%)	4(0,1%)				
ME(B)		2403 (89,0%)		296 (11,0%)	0 (0,0%)	89,0	17
	1613(59,8%)	771 (28,6%)	19(0,7%)				
AT(B)		2140 (79,3%)		548 (20,3%)	11 (0,4%)	79,7	15
	1472(54,5%)	663(24,6%)	5(0,2%)				
Media (±SD)		2512,9 (93,1%)					
		(±147,9)		178,7 (6,6%)	7,4 (0,3%)	93,4	11,9
	1987,8(73,6%)	511,6(19,0%)	13,5(0,5%)	(±147,6)	(±7,0)	(±5,5)	(±4,5)
	(±645,7)	(±613,1)	(±12,9)				

*Identificação certa (Id.Certo), identificação errada (Id.Errado) e identificação indefinida (Id.Indef).

A classificação do tipo de identificação (‘Id.Certo’, ‘Id. errado’, ‘Id.indef’) do blob associado ao jogador foi feito nos quadros em que foi considerado como situação de ‘isolado’. A equipe A apresenta percentuais menores de identificação errado (‘Id. errado’) e identificação indefinido (‘Id.indef’). Os percentuais menores foram do jogador LD(A) (3,1% e 0%) e os percentuais maiores foram do jogador AT(A) (8,6% e 0,4%). A equipe B apresenta percentuais maiores de identificação errado e identificação indefinido. Os percentuais menores foram do jogador ZA(B) (10,0% e 1,3%) e os percentuais maiores foram do jogador LE (77,6% e 0,1%). Esta diferença encontrada, do jogador LE (B), se deve ao posicionamento deste jogador

em relação à câmera (fator proximidade - longe) e pelo uniforme que dificulta a identificação como foi mostrado na Figura 5.12.

Os altos valores percentuais de erro na identificação da equipe, principalmente dos jogadores da equipe B indicam que o percentual de rastreamento pode ser aumentado ao melhorar a identificação do time.

Os resultados do rastreamento automático para os demais jogos estão apresentados no Apêndice C.

Os resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição e da distância percorrida dos jogadores relacionados ao jogo J-1 estão apresentados na Tabela 5.4. O menor valor de erro encontrado na determinação da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) e na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) foi respectivamente de 0,1% e 0,6 m do jogador ME(B). Enquanto o jogador LD(A) apresentou os maiores valores respectivamente de 3,3% e 0,9 m. Os jogadores LD(A), ZA(A) e ME(A) tiveram percentual de $\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ maiores, mas o $\text{Erro}_{\text{detPos}}$ está próximo dos demais jogadores. Os resultados dos demais jogos estão no Apêndice D.

Tabela 5.4: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-1 (time A e B).

J-1	Manual [m]	Autom [m]	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ [%]	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$ [m]
LD(A)	593,4	573,3	3,3	0,9
ZA(A)	630,3	609,7	3,2	0,8
AT(A)	620,3	611,0	1,4	0,6
ME(A)	844,1	816,8	3,2	0,6
LE(A)	855,4	842,1	1,5	0,5
LD(B)	787,9	772,0	2,0	0,4
ZA(B)	579,1	571,7	1,2	0,6
LE(B)	740,9	735,1	0,7	0,6
ME(B)	719,0	718,2	0,1	0,6
AT(B)	634,0	639,5	0,8	0,6
Media	700,4	688,9	1,7	0,6
($\pm$ SD)	($\pm$ 103,4)	($\pm$ 100,9)	($\pm$ 1,1)	($\pm$ 0,1)

Os resultados do rastreamento automático representados pelos valores médios de cada uma das variáveis por jogo estão na Tabela 5.5. O maior valor percentual de rastreamento automático foi de 93,8 ($\pm$ 5,5)% e o menor valor foi de 77,6 ($\pm$ 9,1)%. Os menores tempos de rastreamento ocorreram nos jogos J-1 (11,9 $\pm$ 4,5) min e J-3 (11 $\pm$ 4,1) min.

O maior valor percentual de situação de junção foi no jogo J-4 ($20,9 \pm 9,1\%$). A identificação correta do time ('Id.certo') comparado aos jogos J-1, J-3 e J-5 foi menor para o jogo J-2 ($60,1 \pm 13,5\%$) devido à ocorrência de sombras e para o jogo J-4 ($57,9 \pm 21,1\%$) devido às características dos uniformes e à influência da iluminação do estádio.

O $\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ variou de 1,3 % a 3,0% e o $\text{Erro}_{\text{detPos}}$ variou de 0,6 m a 1,1 m. O maior $\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ encontrado foi no jogo J-3 ($3,0 \pm 2,5\%$).

Tabela 5.5: Resultados do processo de medição automático de todos os jogos apresentado em valores médios ($\pm$ SD) relativos à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático 'Autom¹', tempo de rastreamento 'tempo' e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, 'Id.certo', 'Id.Errado' e 'Id.Indef'). E resultados de distância percorrida (medição manual e automática, 'Autom²'), erro na determinação da posição (Erro²) e da distância percorrida do jogador (Erro¹). Todo o processamento foi realizado num PC Core 2 Duo E6400.

	Segmentação					Rastreamento					
	Isolado			F. Neg [%]	Junção [%]	Autom ¹ [%]	Tempo [min]	Manual [m]	Autom ² [m]	Erro ¹ [%]	Erro ² [m]
	Id. Certo [%]	Id. Errado [%]	Id. Indef [%]								
J-1	93,1(±5,5)			0,3	6,6	93,8	11,9	700,4	688,9	1,7	0,6
	73,6 (±23,9)	19,0 (±22,7)	0,5 (±0,5)	(±0,3)	(±5,5)	(±5,5)	(±4,5)	(±103,4)	(±100,9)	(±1,1)	(±0,1)
J-2	83,7 (±10,3)			0,5	15,9	84,8	14,2	700,4	688,9	1,7	0,6
	60,1 (±13,5)	19,9 (±11,9)	3,6 (±2,6%)	(±0,4)	(±10,3)	(±10,1)	(±5,3)	(±103,4)	(100,9±)	(±1,1)	(±0,1)
J-3	89,7(±5,5)			0,8	9,5	88,5	11	780,6	757,2	3,0	0,7
	74,5 (±11,4)	5,1 (±3,3%)	10,1 (±5,9%)	(±0,2)	(±5,5)	(±6,4)	(±4,1)	(±73,9)	(±75,5)	(±2,5)	(±0,2)
J-4	78,4 (±9,1)			0,7	20,9	77,6	23,1	773,7	765,5	1,3	1,1
	57,9 (±21,1)	9,7 (±5,1)	10,8 (±11,0)	(±0,4)	(±9,1)	(±9,1)	(±3,8)	(±92,0)	(±91,4)	(±1,1)	(±0,3)
J-5	84,9 (±6,7)			0,5	14,6	86,0	16,7	703,4	685,9	2,7	0,9
	78,7 (±6,3%)	2,9 (±1,9%)	3,3 (±1,5%)	(±0,4)	(±6,4)	(±6,3)	(±4,7)	(±62,4)	(±64,8)	(±1,5)	(±0,1)
Média	86,0			0,5	13,5	86,1	15,38	730,1	719,8	2,2	0,9
	69,0	11,3	5,7								

A quantidade de intervenções manuais ao longo dos 2700 quadros do jogo J-1 considerando os dez jogadores que foram rastreados está apresentada na Figura 5.14. O valor percentual para cada situação foi: sem intervenção (52,1%), uma intervenção (32,9%), duas

intervenções (11,9%), três intervenções (2,8%), quatro intervenções (0,3%) e não houve situações com mais de quatro intervenções. As figuras com os resultados relativos à quantidade de intervenções para os demais jogos estão apresentadas no Apêndice E.

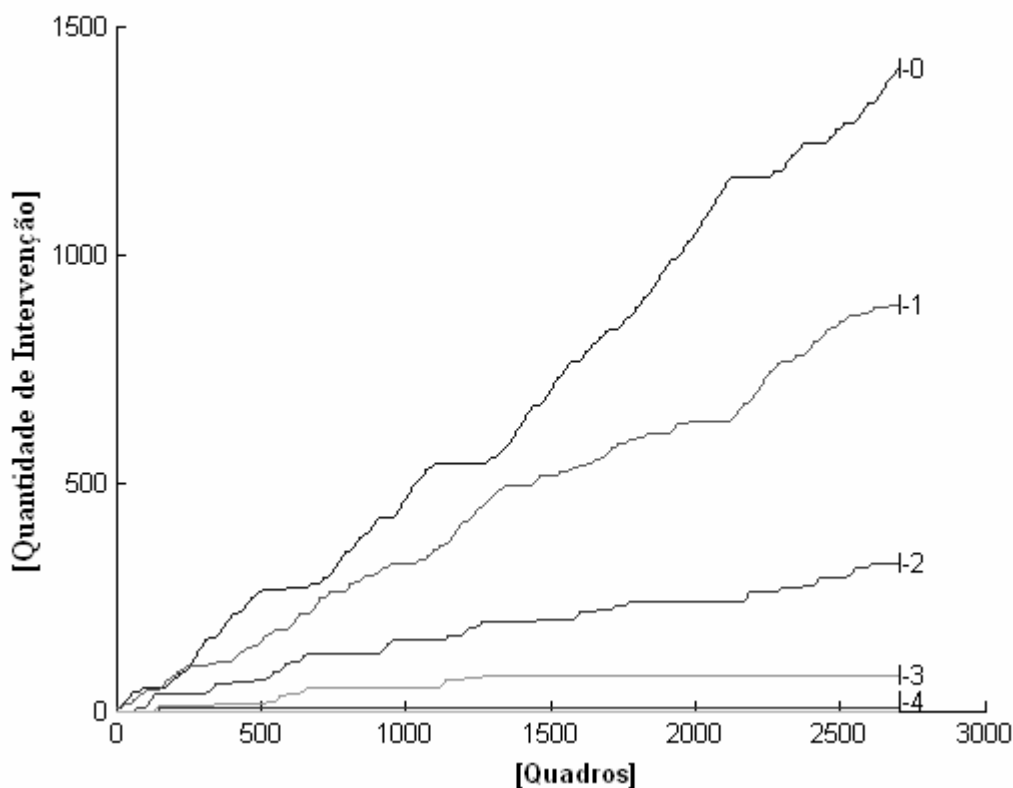


Figura 5.14: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-1 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.

Os resultados com a quantidade de intervenções ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático totalizados por jogo estão apresentados no Quadro 5.3. O jogo J-1 apresentou o maior percentual de quadros sem intervenção (52,1%) sendo que não houve situação com mais de quatro intervenções.

O jogo J-4 apresentou o menor percentual de quadros sem intervenção (15,7%). Em 84,3 % dos casos há alguma intervenção, sendo que os percentuais nas situações com quatro intervenções ou mais são maiores que nos demais jogos.

Considerando a quantidade de intervenções, a situação de uma e duas intervenções por quadro foram maiores para todos os jogos.

Quadro 5.3: Resultados da quantidade de intervenções ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático totalizados por jogo. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.

	I-0	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5
	[quadros]	[quadros]	[quadros]	[quadros]	[quadros]	[quadros]
J-1	1407 (52,1%)	887 (32,9%)	322 (11,9%)	76 (2,8%)	7 (0,3%)	0 (0,0%)
J-2	691 (25,6%)	877 (32,5%)	510 (18,9%)	255 (9,4%)	241 (8,9%)	125 (4,6%)
J-3	1142 (42,3%)	815 (30,2%)	583 (21,6%)	99 (3,7%)	27 (1,0%)	33 (1,2%)
J-4	425 (15,7%)	585 (21,7%)	578 (21,4%)	410 (15,2%)	380 (14,1%)	321 (11,9%)
J-5	823 (30,5%)	775 (28,7%)	453 (16,8%)	417 (15,5%)	156 (5,8%)	75 (2,8%)

A seguir serão apresentados os resultados das análises estatísticas de correlação e análise de variância (para encontrar e determinar os fatores de diferenciação entre os jogos).

O Quadro 5.4 apresenta o conjunto de variáveis e os respectivos valores que foram utilizados para a análise de correlação considerando cada jogo (J-1, J-2, J-3, J-4 e J-5).

Quadro 5.4: Conjunto de variáveis e os respectivos valores que foram utilizados para a análise de correlação considerando cada jogo (J-1, J-2, J-3, J-4 e J-5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
	Id.certo	Id.errado	Id.Indef	Sit.juncao	F. Neg.	Autom	Tempo	Erro	Beta	Yo	Zo
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[min]	[%]	[°]	[m]	[m]
J-1	73,6	19,0	0,5	6,6	0,3	93,8	11,9	1,7	32,3	-39,8	25,4
J-2	60,1	19,9	3,6	15,9	0,5	84,8	14,2	2,1	31,2	-49,3	30,6
J-3	74,5	5,1	10,1	9,5	0,8	88,5	11,0	3,0	30,9	-31,6	18,9
J-4	57,9	9,7	10,8	20,9	0,7	77,6	23,1	1,3	14,6	-49,6	13,0
J-5	78,7	2,9	3,3	14,6	0,5	86,0	16,7	2,7	14,8	-46,9	12,6

Os significados das siglas utilizadas para as variáveis são: Identificação certa (Id.Certo), identificação errada (Id.Errado), identificação indefinida (Id.Indef), situação de junção (sit.junção), falso negativo (F.Neg.), percentual de rastreamento automático (Autom), tempo de rastreamento automático (tempo), valor do erro na determinação da distância percorrida do jogador (Erro), fator ângulo beta, parâmetros extrínsecos da câmera (Y_0 e Z_0).

As variáveis que apresentaram correlação com significância estão apresentadas no Quadro 5.5. A correlação negativa em Corr_1 (muito forte) indica que quanto menor as situações de junção maior o percentual de rastreamento automático. A correlação positiva em Corr_2 (muito forte) indica que quanto maior as situações de junção maior é o tempo de rastreamento. A correlação negativa em Corr_3 (forte) indica que quanto maior o percentual de rastreamento automático menor o tempo gasto para o mesmo.

Quadro 5.5: Variáveis que tiveram correlação forte ou muito forte e apresentaram significância ($P < 0.05$).

	Variável (1)	Variável (2)	Correlação (R)	P
Corr₁	Sit.juncao	Autom	-0,9844	0,002333
Corr₂	Sit.juncao	tempo	0,92845	0,022728
Corr₃	Autom	tempo	-0,88713	0,044739

Os significados das siglas utilizadas para as variáveis são: situação de junção (sit.junção), percentual de rastreamento automático (Autom) e tempo de rastreamento automático (tempo).

As variáveis que apresentaram correlação alta estão no Quadro 5.6, que embora não tenham apresentado significância indicam que tem influência no processo de rastreamento automático. A correlação positiva Corr_{s3} (moderada) indica que o percentual de rastreamento automático foi maior quando o ângulo beta foi maior. A correlação negativa Corr_{s1} (forte) indica que quanto menor o ângulo beta maior é o tempo de rastreamento automático. A correlação negativa Corr_{s2} (forte) indica que quanto maior o ângulo beta menor são as situações de junção.

Quadro 5.6: Variáveis que tiveram correlação moderada ou forte sem apresentar significância ($P < 0.05$).

	Variável (1)	Variável (2)	Correlação (R)	P
Corr_{s1}	tempo	beta	-0,85438	0,065227
Corr_{s2}	Sit.juncao	beta	-0,72579	0,1651
Corr_{s3}	Autom	beta	0,69821	0,18975

Os significados das siglas utilizadas para as variáveis são: situação de junção (sit.junção), percentual de rastreamento automático (Autom) e tempo de rastreamento automático (tempo) e o fator ângulo beta.

A correlação apresentada pelos fatores ‘situação de junção’, ‘rastreamento automático’ e ‘tempo de rastreamento’ indica a influência do ângulo beta no processo de segmentação com relação ao aumento ou diminuição das situações de junção.

O Quadro 5.7 apresenta o conjunto de dados que foram utilizados para a correlação de acordo com a posição dos jogadores (ZA,LD,LE,ME,AT).

Quadro 5.7: Conjunto de variáveis e os respectivos valores que foram utilizados para a análise de correlação considerando as posições dos jogadores (ZA,LD,LE,ME,AT).

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Id.certo	Id.errado	Id.Indef	Sit.juncao	F.Neg.	Autom	Tempo	Erro
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[min]	[%]
ZA	68,7	9,0	4,6	17,2	0,5	83,2	14,1	2,7
LD	74,2	9,0	6,5	9,8	0,4	90,6	16,1	2,6
LE	66,2	17,3	5,1	10,8	0,6	86,7	14,5	1,9
M	70,6	9,2	6,6	13,0	0,6	86,3	15,0	1,9
A	65,2	12,1	5,4	16,6	0,6	83,9	17,2	1,7

Os significados das siglas utilizadas para as variáveis são: Identificação certa (Id.Certo), identificação errada (Id.Errado), identificação indefinida (Id.Indef), situação de junção (sit.junção), falso negativo (F.Neg.), percentual de rastreamento automático (Autom), tempo de rastreamento automático (tempo), valor do erro na determinação da distância percorrida do jogador (Erro).

A correlação negativa (muito forte) entre ‘sit.junção’ e ‘autom’ (-0,9591, $p=0,009867$) indica que quanto menor a ‘sit.junção’ maior é o percentual de rastreamento automático. A correlação positiva (forte) entre ‘Id.certo’ e ‘autom’ (0,72084, $p=0,16945$) embora não apresente significância indica que quanto maior a identificação correta do jogador associado ao time, o percentual de rastreamento automático é maior. Estes resultados confirmam que independentemente da posição do jogador a ‘situação de junção’ interfere no método de rastreamento automático desde a etapa de aquisição.

A seguir serão apresentados os resultados da análise de variância realizadas para as variáveis (percentual de rastreamento automático (‘autom’), tempo de rastreamento automático (‘tempo’), percentual de erro na determinação da distância percorrida (Erro_{DistPerc} - ‘erro’) e percentual de junção (‘junção’).

Análise de variância comparando o percentual de rastreamento automático ('autom'): Houve diferença significativa para o fator beta ($F = 5,74$, $p = 0,0046$). A análise estatística para o fator beta removendo os efeitos da posição e proximidade apresentou diferença significativa em que o percentual de rastreamento de beta 4 ($77,6 \pm 9,1 \%$) foi menor que beta 1 ($93,8 \pm 5,3 \%$) e beta3 ($88,5 \pm 6,4\%$). Os outros fatores não apresentaram diferença significativa. Não houve também diferença significativa nas interações.

Análise de variância comparando o tempo de rastreamento automático ('tempo'): Houve diferença significativa para o fator beta ($F = 12,52$, $p = 0,0001$). A análise estatística para o fator beta removendo os efeitos da posição e proximidade apresentou diferença significativa em que o tempo de rastreamento automático de beta 4 ($23,1 \pm 3,8$ min) foi maior que beta 1 ($11,9 \pm 4,5$ min), beta 2 ($14,2 \pm 5,3$ min), beta 3 ($11 \pm 4,1$ min) e beta 5 ($16,7 \pm 4,7$ min). Os outros fatores não apresentaram diferença significativa. Não houve também diferença significativa nas interações.

Análise de variância comparando o percentual de $\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ ('erro'): Não houve diferença significativa nos fatores e não houve diferença significativa nas interações.

Análise de variância comparando o percentual de junção ('junção'): Houve diferença significativa para o fator beta ($F = 6,77$, $p = 0,0022$). A análise estatística para o fator beta removendo os efeitos da posição e proximidade apresentou diferença significativa em que o percentual de junção de beta 4 ($20,9 \pm 9,1 \%$) foi maior que beta 1 ($6,6 \pm 5,5 \%$) e beta 3 ($9,4 \pm 5,5 \%$). Os outros fatores não apresentaram diferença significativa. Não houve também diferença significativa nas interações.

5.4 APLICAÇÃO: HANDEBOL

A apresentação dos resultados será feita primeiramente com as descrições das situações que ocorreram e que caracterizaram os casos tratados neste capítulo relacionados à segmentação e ao rastreamento automático. Com relação à segmentação, as descrições para as seguintes situações serão apresentadas: a) criação da imagem de fundo; b) obtenção adequada do

blob; e) influência da sombra na obtenção do *blob*. Com relação ao rastreamento automático, a descrição que retrata a identificação dos jogadores às respectivas equipes será apresentada.

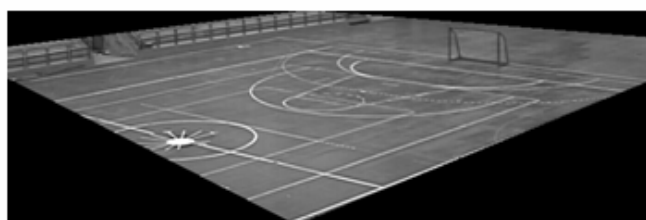
Após a apresentação das referidas descrições, os resultados das análises relacionadas às etapas de segmentação e rastreamento serão apresentadas.

A seguir serão apresentadas as descrições das situações que ocorreram e que caracterizaram os casos tratados neste capítulo relacionados à segmentação.

a) Criação da Imagem de Fundo. Uma particularidade existente nas quadras em função do tipo de material do piso está relacionada ao brilho da quadra. Assim, a influência da luz que reflete na quadra dificulta a obtenção adequada da imagem de fundo, bem como nos demais processos de segmentação. Além disto, existem as situações de ocorrência de sombras da mesma forma como foi relatado nos jogos de futebol. O exemplo mostrado na Figura 5.15 retrata um quadro com a imagem corrente com os jogadores (imagem a) e imagem de fundo criada (imagem b). Observa-se que a imagem de fundo criada é bem próxima da imagem corrente, se não tivessem os jogadores e pode ser considerada adequada para ser utilizada na operação morfológica *Diferença*.



(a)



(b)

Figura 5.15: (a) imagem com os jogadores de handebol, (b) imagem de fundo de uma quadra.

A variação na iluminação em ambiente fechado é menor comparado aos estádios de futebol. Mesmo a iluminação externa que incidiu na quadra entrando por alguma abertura (janelas, portas, entre outros) não provocou dificuldades para a extração de fundo. Assim, a construção da imagem de fundo foi feita a cada 3000 quadros (3,3 minutos).

b) Obtenção adequada do Blob. A descrição de cada processo na obtenção do blob numa situação em que os blobs foram obtidos adequadamente está apresentada na Figura 5.16. A obtenção do *blob* é adequada, pois a região relativa a cada jogador foi obtida sem que houvesse separação de algum segmento corporal. Analisando cada operação morfológica temos:

Diferença (Figura 5.16a). A região que corresponde ao jogador foi extraída numa situação em que várias partes corporais não foram identificadas. O fato de não haver ruído indica uma boa extração de fundo, mas neste caso houve, também, a eliminação de regiões pertencentes ao corpo, devido ao valor de intensidade ser próximo ao ruído.

Passa-alta (Figura 5.16b). O limiar estabelecido mostrou-se adequado, pois toda a região de interesse já obtido na etapa anterior foi mantida.

Dilatação (Figura 5.16c). Restabeleceu todas as partes que representam o corpo e que estavam separadas.

Labeling (Figura 5.16d). Cada um dos contornos obtidos corresponde a um *blob* e em todos os casos os contornos obtidos estão bem próximos dos contornos de cada jogador.

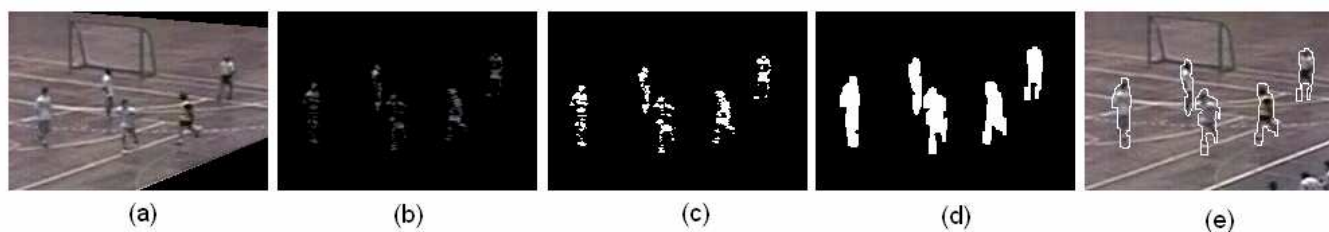


Figura 5.16: (a) imagem da quadra, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.

c) influência da sombra na obtenção do blob. A sombra, que está relacionada com a iluminação, foi um dos fatores que dificultaram a obtenção adequada do *blob* em algumas partes da quadra. A descrição de cada processo na obtenção do *blob* numa situação com a existência da sombra está exemplificada na Figura 5.17. A variação de intensidade (RGB) da região da sombra neste caso foi de 64x60x57 a 97x97x95. A variação de intensidade (RGB) da quadra (fundo) foi de 107x101x98 a 128x123x123. A sombra que aparece na imagem (Figura 5.17a) permanece após o processamento causando a obtenção de um *blob* com o contorno deformado (jogador + sombra). Analisando cada operação morfológica temos:

- Diferença (Figura 5.17b): Após a aplicação do filtro diferença, a variação de intensidade (RGB) da região do jogador foi de $2 \times 3 \times 50$ a $143 \times 149 \times 93$. A variação de intensidade da região da sombra foi de $27 \times 33 \times 35$ a $50 \times 59 \times 53$. Observa-se que a variação da intensidade da região da sombra está contida na variação de intensidade da região do jogador. Assim, todas as regiões relativas aos jogadores permanecem após esta operação, inclusive as sombras. A extração de fundo foi adequada com relação à pouca presença de ruídos. No entanto, a obtenção da região que corresponde ao jogador não está adequada devido à presença da sombra..
- Passa-alta (Figura 5.17c). O limiar estabelecido mostrou-se adequado, pois toda a região de interesse já obtido na etapa anterior foi mantida. No entanto, a região relativa aos jogadores foi obtida juntamente com as sombras.
- Dilatação (Figura 5.17d). Restabeleceram-se todas as partes do corpo que estiveram separadas inclusive a sombra.
- *Labeling*. O contorno obtido corresponde ao jogador junto com a sombra.

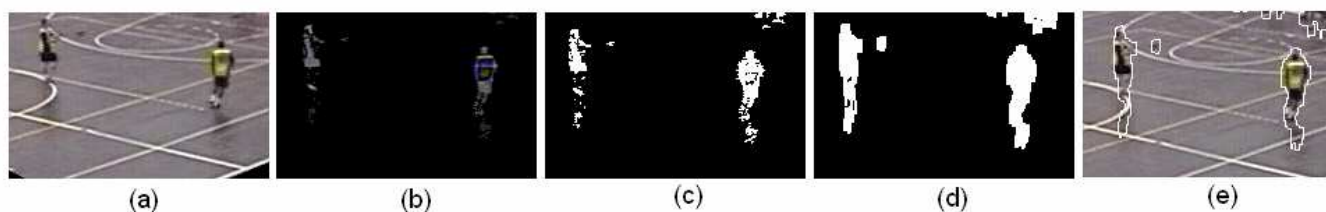


Figura 5.17: (a) imagem da quadra, (b) resultado da aplicação do filtro diferença, (c) resultado do filtro passa-alta, (d) resultado da dilatação, (e) obtenção do contorno dos jogadores.

A seguir serão apresentados os resultados de segmentação do jogo de handebol, Quadro 5.8. Os tempos de processamento para fazer o *splitting* para as duas câmeras apresentaram valores próximos. O tempo para montagem do grafo foi de cinco minutos para as duas câmeras.

Quadro 5.8. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo de handebol.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	27	36	5	
Câmera 2	25	35		
Total	52	71	5	128

Os dados referentes à localização dos jogadores no processo de segmentação estão apresentados na Tabela 5.6. O percentual de localização dos jogadores está acima dos 99,5%. Estes dados representam o resultado considerando as duas etapas do processo de segmentação. O percentual de falso negativo que não ultrapassou 0,5 % ocorreu durante a segunda etapa.

Tabela 5.6: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo de handebol.

	Localização dos Jogadores	
	Positivo [Quadros]	Falso Negativo [Quadros]
1	8988 (99,9%)	10 (0,1%)
2	8969 (99,7%)	29 (0,3%)
3	8973 (99,7%)	25 (0,3%)
4	8991 (99,9%)	7 (0,1%)
5	8955 (99,5%)	43 (0,5%)
6	8966 (99,6%)	32 (0,4%)
Media	8973,7 (99,7%)	24,3(0,3%)
(±SD)	(±13,7)	(±13,7)

A seguir será apresentada a descrição que retrata a identificação dos jogadores às respectivas equipes num jogo de handebol.

a) Identificação do time. A identificação dos jogadores às respectivas equipes foi feita com base nas cores que caracterizam predominantemente o uniforme. A situação em que os jogadores foram associados às respectivas equipes está exemplificada na Figura 5.18. A identificação da equipe foi feita usando a *parte b* (modelo do jogador – Figura 2.17). A cor verde foi atribuída ao *time a* e a cor azul para o *time b*.

Neste exemplo, o jogador b2 foi classificado como indefinido ('Id. Indef'). Os demais jogadores foram corretamente identificados.

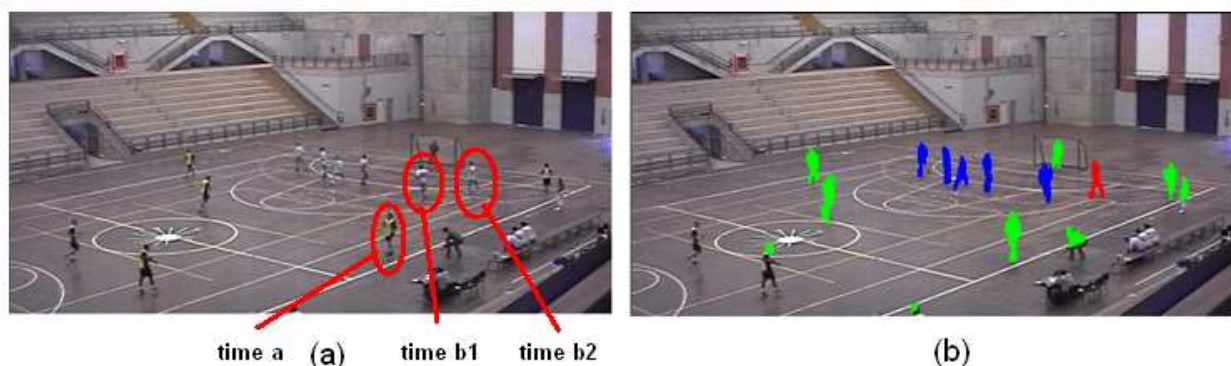


Figura 5.18: (a) Imagem com os jogadores de handebol na quadra, (b) imagem com a identificação dos jogadores de acordo com a equipe. O jogador em destaque (equipe b2) foi classificado como identificação indefinida e os demais jogadores foram corretamente identificados.

O histograma do *blob* relativo aos dois jogadores identificados na Figura 5.18 como *time a*, *time b1* e *time b2* estão apresentados na Figura 5.19. O histograma do jogador (*time a*) apresenta características para a cor escura. O histograma do jogador (*time b1*) apresenta características para a cor clara. No entanto, o histograma do jogador (*time b2*) apresenta características para a cor clara e para a cor escura. Esta é uma situação em que não ocorre a associação do jogador a nenhuma equipe e a cor vermelha indica esta situação. O histograma para os demais jogadores de ambas as equipes foram semelhantes às situações apresentadas.

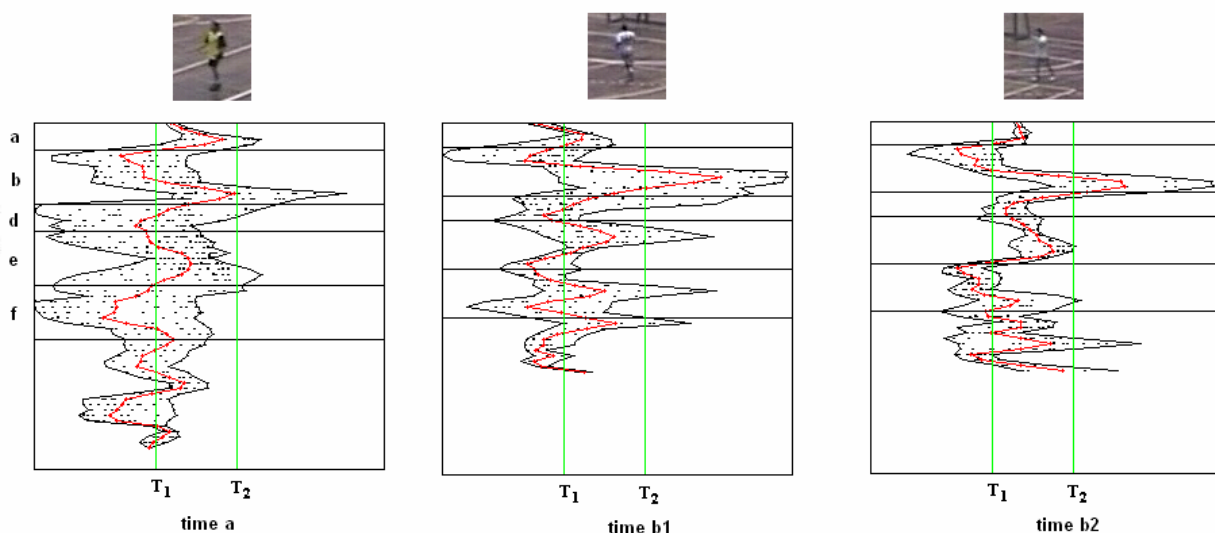


Figura 5.19: Histograma dos jogadores *time a*, *time b1* e *time b2*.

A seguir serão apresentados os resultados relativos ao rastreamento automático, Tabela 5.7. O percentual médio de rastreamento automático foi de 65,9 % e o percentual de

junção variou de 32,0 % a 36,6 %. O jogador 5 apresentou o maior percentual de rastreamento automático (68,5 %). Da mesma forma como no futebol, as intervenções feitas pelo operador que ocorreram na fase de rastreamento automático foram numa situação de junção.

A classificação do tipo de identificação ('Id.Certo', 'Id. errado', 'Id.indef') do *blob* associado ao jogador foi feita nos quadros em que foi considerado como situação de 'isolado'. O percentual de identificação certo ('Id.certo') variou de 52,6% a 56,3%. O maior percentual de identificação errado ('Id.errado') foi do jogador 5 (10,7%).

Tabela 5.7: Resultado do processo de medição automático para o jogo de handebol relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático 'Autom', tempo de rastreamento 'tempo' e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, 'Id.Certo', 'Id.Errado' e 'Id.Indef').

	Segmentação			Rastreamento			
	Isolado			Junção [Quadros]	F.Neg. [Quadros]	Autom [%]	Tempo [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id.Indef [Quadros]				
1		5980 (66,5%)		3008 (33,4%)	10 (0,1%)	67.3	30
	5066 (56,3%)	374 (4,2%)	540 (6,0%)				
2		5847 (65,0%)		3122 (34,7%)	29 (0,3%)	66.1	35
	5049 (56,1%)	474 (5,3%)	324 (3,6%)				
3		5684 (63,2 %)		3289 (36,6%)	25 (0,3%)	64.1	35
	4730 (52,6%)	595 (6,6%)	359 (4,0%)				
4		5820 (64,7%)		3171 (35,2%)	7 (0,1%)	65.3	40
	5225 (58,1%)	398 (4,4%)	197 (2,2%)				
5		6079 (67,6%)		2876 (32,0%)	43 (0,5%)	68.5	30
	4790 (53,2%)	963 (10,7%)	326 (3,6%)				
6		5721 (63,6%)		3245 (36,1%)	32 (0,4%)	64.3	25
	4771 (53,0%)	631 (7,0%)	319 (3,5%)				
Media (±SD)		5855,2 (65,1%) (±151,2)		3118,5 (±154,2)	24,3 (0,3%) (±13,7)	65,9 (±1,7)	32,5 (±5,2)
	4938,5 (54,9%) (±202,1)	572,5 (6,4%) (±217,2)	344,2 (3,8%) (±111,0)				

*Identificação certa (Id.Certo), identificação errada (Id.Errado) e identificação indefinida (Id.Indef).

Os resultados da distância percorrida estão apresentados na Tabela 5.8. O menor valor de erro encontrado na determinação da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) foi para o jogador 1 e 3 com 0,8% e na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) foi de 0,8 e 0,4 m respectivamente. O maior $\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ foi do jogador 6 com 7,3% ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$ de 0,5 m).

Tabela 5.8: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo de handebol.

	Manual [m]	Autom [m]	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ [%]	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$ [m]
1	440.4	436.5	0.8	0,8
2	447.3	454.7	1.6	0,6
3	381.4	378.3	0.8	0,4
4	325.5	318.3	2.2	0,7
5	367.2	370.6	0.9	0,5
6	435.2	467.1	7.3	0,5
Media	399,5	404,3	2,2	0,6
($\pm$ SD)	($\pm$ 49,2)	($\pm$ 57,8)	($\pm$ 2,5)	($\pm$ 0,1)

A quantidade de intervenções manuais ao longo dos 9000 quadros do jogo considerando os 6 jogadores que foram rastreados está apresentada na Figura 5.20. A quantidade de quadros e o valor percentual para cada situação foram: sem intervenção (1054 e 11,7%), uma intervenção (2463 e 27,4%), duas intervenções (2254 e 25,1%), três intervenções (1668 e 18,5%), quatro intervenções (1075 e 11,9%) e mais de 4 intervenções (484 e 5,4%). Em apenas 11,7 % dos quadros houve a situação sem intervenção. Em 60,9 % dos casos ocorreram as situações com 2 ou mais intervenções.

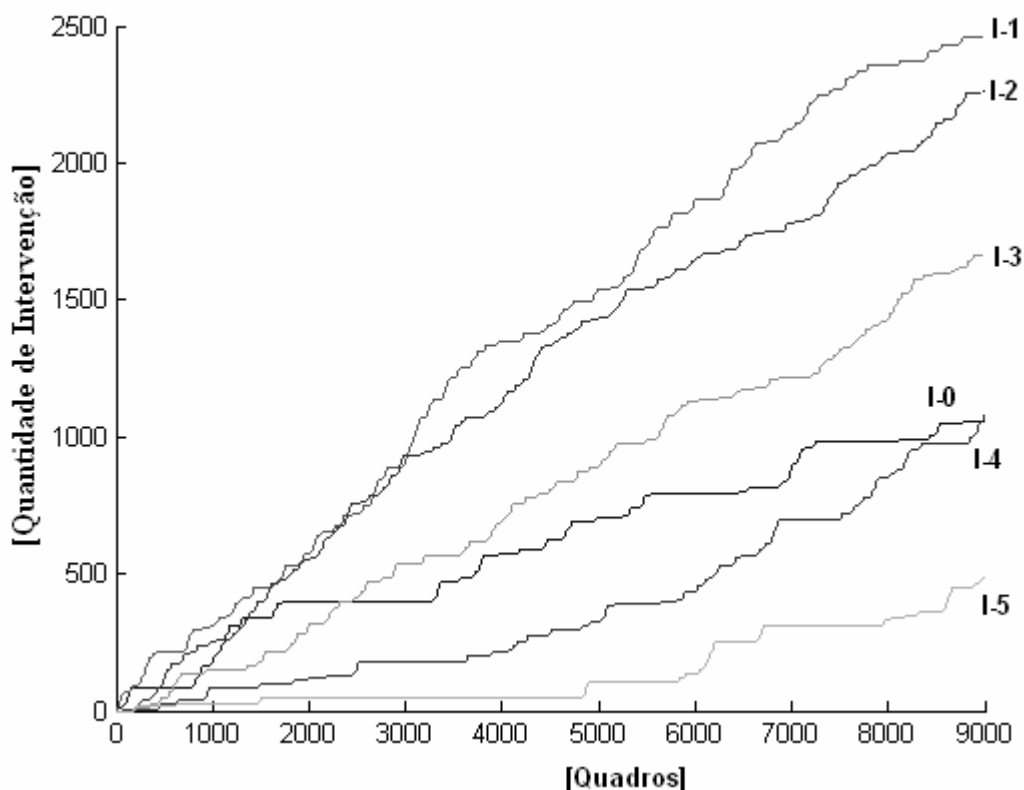


Figura 5.20: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático (9000 quadros) considerando os 6 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.

5.5 DISCUSSÃO

O método de rastreamento automático apresentado possibilitou a obtenção da trajetória de todos os jogadores. A análise do processo de rastreamento automático representou a situação de cinco jogos em quatro estádios diferentes e um jogo de handebol em ginásio coberto. Os jogos de futebol J-4 (jogo noturno) e J-5 (jogo diurno) foram no mesmo estádio.

O objetivo de localizar o jogador no campo é uma das dificuldades descritas, tanto para os métodos baseados em processamento de imagens quanto em visão computacional devido aos inúmeros problemas envolvidos, que devem ser gerenciados como oclusões, variação na iluminação, múltiplos objetos, etc (LASHKIA et al., 2003). Uma das principais diferenças entre as duas abordagens (visão computacional e processamento de imagens) consiste no fato de

que, a primeira visa localizar a região da imagem que pode corresponder ao jogador a partir de padrões pré-estabelecidos (OKUMA et al., 2004, VIOLA; JONES, 2001), enquanto a segunda, baseia-se na segmentação (descrita no capítulo 2). Para isto, o ponto chave da primeira abordagem está em definir adequadamente os padrões para que uma determinada região da imagem possa representar um jogador (positivo) e a região que não é jogador (negativo). Enquanto a segunda abordagem visa obter primeiramente a região da imagem que pode corresponder a um ou mais jogadores (positivo). E depois aplicar o *splitting* para obter a região que possa corresponder a um jogador para as regiões com mais de um jogador.

Assim, o percentual de localização dos jogadores apresentado neste trabalho está acima dos 99,3% (futebol) e 99,5% (handebol). Relembrando que nestes valores percentuais estão considerados tanto os jogadores que estão na ‘situação isolado’ quanto na ‘situação de junção’. O percentual de falso negativo não ultrapassou 0,7 % (futebol) e 0,5% (handebol). Basicamente, o falso negativo se originou em função da eliminação de regiões (*blobs*), que ficaram pequenos, durante o processo de *splitting*. Isto é, o jogador que passou a fazer parte do falso negativo foi aquele que teve a região na imagem correspondente segmentada em pedaços menores e foi eliminada. As situações de junção variaram de 6,6 % a 20,9% para os jogos de futebol. As situações de junção do jogo J-2 (15,9%) ocorreram devido à ocorrência de sombras. As situações de junção dos jogos J-4 (20,9%) e J-5(14,6%) ocorreram devido ao posicionamento da câmera. O ângulo beta calculado para estes dois jogos (14,6° e 14,8°) foram menores comparados aos demais jogos (J-1: 32,3°; J-2: 31,2°; J-3: 30,9°). Além disto, o jogo J-4, que foi realizado de noite, apresentou situações com sombras. A situação de junção (32,0 % a 36,6 %) no caso do handebol foi maior devido à dinâmica da modalidade nas quais os jogadores, principalmente na defesa, permanecerem juntos ou bem próximos um do outro.

O resultado de rastreamento automático para os cinco jogos de futebol foi de J-1 (93,8%), J-2 (84,8%), J-3 (88,5%), J-4 (77,6%) e J-5 (86,0%). Estes resultados são satisfatórios e são comparáveis a outros trabalhos na literatura (LASHKIA et al., 2003 com 84,7% e XU et al., 2005 com 90%). A aplicação do método de rastreamento automático, em um jogo de handebol trouxe resultados importantes visando o desenvolvimento metodológico para diferentes modalidades coletivas, bem como para um ambiente totalmente diferente do estádio que é o ginásio poli-esportivo. Assim, o percentual de rastreamento automático (66%) representa um grande avanço para a modalidade. Além disto, a quantidade de quadros a serem rastreados é

muito grande e é inviável fazer manualmente. É importante observar que o método de rastreamento automático apresentado foi desenvolvido para o ambiente do futebol. Assim não foi feito nenhum tipo de desenvolvimento específico para o handebol. O método apresentado por Perš (2000), foi desenvolvido para o handebol e segundo o autor, não foi aplicado em outras modalidades esportivas. Assim, segundo Perš (2000), o percentual obtido de 94% poderia não se repetir para uma outra modalidade. Isto indica que adequações serão necessárias, principalmente devido às diferentes características entre o futebol e as modalidades de quadra.

Outro fator relacionado com o percentual de rastreamento automático é o erro na identificação da equipe. Assim, os índices de identificação errado do time indicam a necessidade de adequações no processo de identificação da equipe para melhorar consequentemente o percentual de rastreamento. Os aspectos identificados para serem tratados consistem no tipo de uniforme (cores diferentes, com ou sem listra, etc) e na resolução da imagem associadas à variação da iluminação (LASHKIA et al. 2003, HORPRASERT et al. 2000). Esta dificuldade foi mais evidente nos jogos em que o uniforme dos jogadores apresentou características parecidas aos da outra equipe dependendo da posição que estavam em relação à câmera (de frente, de lado, de costas).

Com relação ao erro na determinação da posição do jogador, o $Erro_{detPos}$ nos cinco jogos variou de 0,6 ($\pm 0,1$) m a 1,2 ($\pm 0,3$) m. Ao analisar a trajetória do jogador (rastreamento automático) verifica-se um deslocamento sistemático em relação à trajetória adotada como esperada. Este deslocamento foi em virtude dos problemas que ocorreram na obtenção do blob (sombras, junção, etc). No entanto, os resultados de distância percorrida dos jogadores ($n=50$) são aceitáveis, considerando o valor médio do erro na determinação da distância percorrida ($Erro_{DistPerc}$) de 2,2 ($\pm 1,7$)%. Com relação ao handebol, o $Erro_{detPos}$ na determinação da posição foi de 0,6 ($\pm 0,1$) m. Perš (2000) apresentou o erro na determinação da posição de 0,35m, aplicado a 30s de um jogo em ambiente controlado. O deslocamento sistemático em relação à trajetória ocorrida no futebol, também, ocorreu no handebol. O $Erro_{DistPerc}$ foi de 1,0 ($\pm 3,4$) %.

O posicionamento da câmera, bem como fazer um bom enquadramento é fundamental (XU et al. 2005), visando o rastreamento automático. Neste sentido, o ângulo beta apresentou-se como um fator importante de diferenciação e como referência para o

posicionamento da câmera nos estádios. Isto se confirmou nas análises de variância realizadas com a variável percentual de rastreamento automático ('autom'), tempo de rastreamento automático ('tempo') e percentual de junção ('junção').

As correlações observadas entre as variáveis 'junção'/ 'autom' (-0,9844, $P=0,002333$), 'junção'/ 'tempo' (0,92845, $P=0,022728$) e 'autom'/ 'tempo' (-0,88713, $P=0,044739$) confirmam a influência do ângulo beta principalmente sobre a ocorrência da 'situação de junção' que afeta diretamente o rastreamento automático.

O fato de não haver diferença significativa considerando a variável 'percentual de erro na determinação da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$)' indicou que este erro verificado neste capítulo, não está relacionado aos fatores considerados (posição, proximidade e ângulo beta). Embora uma combinação de aspectos relacionados aos fatores proximidade e ângulo beta juntamente com a influência da sombra podem causar estas diferenças. Assim, outros estudos serão necessários para identificar e diminuir o erro na determinação da distância percorrida.

CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação do método de rastreamento automático apresentados neste trabalho referem-se a cinco jogos de futebol. O método foi aplicado, também, em um jogo de handebol. O rastreamento foi semi-automático, pois houve a intervenção do operador para corrigir a trajetória nas situações em que foram necessárias.

Com relação à aquisição, o posicionamento das câmeras para o futebol (número de câmeras = quatro) e para o handebol (número de câmeras = duas) e o respectivo enquadramento, em cada jogo foram descritos. O posicionamento das câmeras, em apenas um lado da arquibancada adotada em todas as filmagens, mostrou-se adequada dentro dos limites aqui apresentados para o futebol e para o handebol. Pode-se observar com este estudo, que os resultados relacionados à forma de enquadramento e o posicionamento das câmeras podem auxiliar na filmagem de outros jogos mantendo esta configuração ou mesmo na filmagem em estádios, que só possibilitam o posicionamento em apenas um lado da arquibancada. A determinação do fator ângulo beta relacionado ao posicionamento da câmera possibilitou a caracterização do mesmo, em diferentes estádios e apresentou-se como um parâmetro objetivo de caracterização para os variados locais de filmagem.

Com relação à calibração/reconstrução, os resultados mostraram que a calibração utilizada neste trabalho apresentou boa acurácia e confiabilidade, pois a influência de calibrações feitas por diferentes operadores experientes acarretou erro médio de 0,2 ($\pm 0,1$)m e 0,3 ($\pm 0,1$)% respectivamente, na determinação da posição e da distância percorrida dos jogadores ($n=10$). A obtenção da calibração com estas características consistiu, também, em adequar a quantidade de pontos para cada uma das imagens (mínimo de cinco pontos) e em utilizar o maior número de pontos que sejam comuns entre dois pares de câmeras.

Com relação à análise do processo de medição automática, o percentual de rastreamento automático para os cinco jogos foi de J-1 (93,8%), J-2 (84,8%), J-3 (88,5%), J-4 (77,6%) e J-5 (86,0%) de partidas oficiais de campeonatos da primeira divisão do futebol brasileiro. O resultado foi satisfatório pelos percentuais apresentados e pelo erro médio de 2,2

($\pm 1,7$)% encontrados na determinação de distância percorrida dos jogadores (n=50). Isto mostra a aplicabilidade e a consistência do método de rastreamento automático diante das diferentes situações apresentadas nos cinco jogos.

A variabilidade encontrada na determinação da posição do jogador de futebol está relacionada com um deslocamento sistemático em relação à posição do mesmo adotado como esperada. Este deslocamento foi em virtude dos problemas que ocorreram na obtenção do *blob* (sombras, junção, etc). Sugere-se a necessidade de continuar e aprofundar os estudos do processo de medição, visando diminuir a variabilidade na determinação da posição e diminuindo conseqüentemente, o erro na determinação da distância percorrida dos jogadores.

A aplicação do método de rastreamento automático em um jogo de handebol trouxe resultados importantes, visando o desenvolvimento metodológico para diferentes modalidades coletivas, bem como, para um espaço de menor dimensão que é o ginásio poliesportivo. Assim, o percentual de rastreamento automático (66%) e o erro relativo na determinação da distância percorrida de 2,2 ($\pm 2,5$)% indicam a aplicabilidade do método para esta modalidade. Além disto, a quantidade de quadros a serem rastreados é muito grande e é inviável de ser feito manualmente.

O ângulo beta apresentou-se como um fator importante de diferenciação e como referência para o posicionamento das câmeras nos estádios. Isto se confirmou nas análises de variância realizadas com a variável percentual de rastreamento automático ('autom'), tempo de rastreamento automático ('tempo') e percentual de junção ('junção'). As análises de correlações realizadas confirmam a influência do ângulo beta principalmente sobre a ocorrência da 'situação de junção' que afeta diretamente o rastreamento automático.

Os resultados apresentados neste trabalho confirmam a acurácia do método de rastreamento automático para a obtenção da posição do jogador em função do tempo para os jogos de futebol e de handebol. Os resultados, também, apontam os grandes avanços com relação ao método de rastreamento automático, bem como as dificuldades verificadas diante de diferentes condições apresentadas nos jogos analisados. Assim, cada um dos aspectos levantados nos respectivos capítulos que tratam da aquisição, calibração/reconstrução e medição mostram a complexidade do problema. Diante desta complexidade, os resultados das análises apontam a consistência do método para o rastreamento automático dos jogadores. Por outro lado, verificou-

se a necessidade de mais estudos e consequentemente o desenvolvimento visando o rastreamento automático para tratar as situações de junção entre jogadores.

Considerando, assim, a taxa de rastreamento automático médio de 86,1% e o erro relativo na determinação da distância percorrida de 2,2 ($\pm 1,7$)%, pode-se inferir que os resultados experimentais desse estudo mostraram a aplicabilidade, a confiabilidade e a consistência do referido método, diante de diferentes condições apresentadas nos cinco jogos para a obtenção da trajetória dos jogadores.

PUBLICAÇÃO

Analysis of the Distances Covered by First Division Brazilian Soccer Players Obtained With An Automatic Tracking Method

Este trabalho está publicado em:

RICARDO M. L. BARROS et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. **Journal of sports Sciences and Medicine**, n. 6, 233-242, 2007.

Referências

ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. In: SYMPOSIUM. ONCLOSE-RANE PHOTOGRAMMETRY, Urbana, 1971. **Proceedings...** Urbana: ASP/UI, 1971. p. 1-18.

BARROS, R. M. L. et al. Automatic tracking of soccer players. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS, 18., Zürich, 2001. **Proceedings...** Zurich: International Society of Biomechanics, 2001. p. 236-237.

BEBIE, T.; BIERI H. A video-based 3d-reconstruction of soccer games. **Computer Graphics Forum**, v. 19, n.3, p. 391-400, 2000.

DI SALVO, V. et al.. Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. **International Journal of Performance Analysis in Sport**, v.6, n. 1, 2006. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa>, 2006.

FIGUEROA, P. J.; LEITE, N.J. ; BARROS, R.M.L. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. **Image and Vision Computing**, v. 24, n. 4, p. 363-374, 2006a.

_____. Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. **Computer Vision and Image Understanding**, v.101, n. 2, p.122-135, 2006b.

HENNIG, E. M.; BRIEHLE, R. Game analysis by GPS satellite tracking of soccer players. In: CONGRESS OF THE CANADIAN SOCIETY FOR BIOMECHANICS, 11., Montreal, 2000. **Proceedings...** Montreal: Congress of the Canadian Society for Biomechanics, 2000, p. 44.

HENNIG, E. M.; STERZING, T. F. The use of global positioning systems (GPS and DGPS) for tracking of human motion. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS, 17., Canada, 1999. **Proceedings...** Canada: Congress of the International Society of Biomechanics, 1999, p. 193-194.

HORPRASERT, T.; HARWOOD D.; DAVIS, L. S. A Robust background subtraction and shadow detection. In: ACCV'2000, Taipie, 2000. **Proceedings...** Taipie-Taiwan: ACCV, 2000. Disponível em: <ftp://ftp.umiacs.umd.edu/pub/thanarat/Publications/HorprasertACCV2000.pdf>.

INTILLE, S.S.; BOBICK, A. F. Visual tracking using closed-worlds, MIT Media Lab. Perceptual Computing Group, TR no. 294, acesso em 10/06/2001, p. 1-18, 1994. Disponível em: www-white.media.mit.edu.

IWASE, S. ; SAITO, H. Parallel tracking of all soccer players by integrating detected positions in multiple view images. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION (ICPR), 17., Cambridge-UK, 2004, **Proceedings...** Cambridge-UK: ICPR, 2004, p. 751-754.

LASHKIA, G. et al. A team play analysis support system for soccer games, 2003. Disponível em: http://kopernik.eos.uoguelph.ca/_zelek/vi2003/papers/S2/S2_lashkia_31.pdf.

MISUTA, M. S. **Rastreamento automático de trajetórias de jogadores de futebol por videogrametria**: validação do método e análise dos resultados. 2004. 74f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MENEZES, R. P. **Análise cinemática das trajetórias de jogadores de handebol obtidas por rastreamento automático**. 128f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NEEDHAM, C. J.; BOYLE, R. D. Tracking multiple sports players through occlusion. In: British Machine Vision Conference, 2001, Londres, **Proceedings...** Londres: T. and Taylor, C., 2001, p. 93-102.

OHASHI, J. et al. Measurent movement speeds and distances covered during soccer match-play. In: WORLD CONGRESS OF SCIENCE AND FOOTBALL, 1., Liverpool, 1987, **Proceedings...** Liverpool: World Congress of Science and Football, 1987, p. 329-333.

OKUMA, K. et al. A boosted particle filter: multitarget detection and tracking. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION, Prague, 2004, **Proceedings...** Prague: European Conference on Computer Vision, 2004.

PERS, J.; BON, M.; KOVACIC, S. Errors and mistakes in automated player tracking. In: COMPUTER VISION WINTER WORKSHOP, 6., Bled, Slovenia, 2001, **Proceedings...** Bled, Slovenia: Computer Vision Winter Workshop, 2001, p.25-36.

PERS, J.; KOVACIC, S. Computer vision system for tracking players in sports games. In: INT'L WORKSHOP ON IMAGE AND SIGNAL PROCESSING AND ANALYSIS (IWISPA), 1., Pula, Croatia, 2000, **Proceedings...** Pula, Croatia: IWISPA, 2000, p.81-86.

SETTERWALL, D. **Computerised video analysis of football**: technical and commercial possibilities for football coaching. Master's Thesis in computer science, CID-247, NADA, ISSN 1403 - 0721 (print) 1403 - 073 X (Web/PDF), Stockholm, 2003.

SHIOKAWA, M. et al. Computer analysis of a soccer game by the DLT method focusing on the movement of the players and the ball. In: WORLD CONGRESS OF SCIENCE AND FOOTBALL, 5., Lisbon-Portugal, 2003, **Proceedings...** Liverpool: World Congress of Science and Football, 2003, p. 267.

TAKI, T.; HASEGAWA, J.; FUKUMURA, T. Development of motion analysis system for quantitative ealuation of teamwork in soccer games. In: INT. CONF. IMAGE PROCESSING, 1996, **Proceedings...** Int. Conf. Image Processing, 1996, p.815-818.

TOKI, S.; SAKURAI, S. Quantitative match analysis of soccer games with two dimensional DLT procedures. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS, 20., Cleveland-USA, 2005, **Proceedings...** Cleveland-USA: Congress of International Society of Biomechanics, 2005, p.911.

TSAI, R. An efficient and accurate camera calibration technique for 3d machine vision. IN: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 1986, **Proceedings...** CVPR, 1986, p.323–344.

VIOLA, P.; JONES, MJ. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, 2001, **Proceedings...** CVPR, 2001.

XU, M. et al. Architecture and algorithms for tracking football players with multiple cameras. In: IEEE VISION, IMAGE AND SIGNAL PROCESSING, 2005, **Proceedings...** Vision, Image and Signal Processing, 2005, v.152, n.2, p. 232-241.

ANEXO



ANEXO-A: Parâmetros Extrínsecos da Câmera.

O método de calibração e reconstrução tridimensional utilizado foi proposto por Abdel-Aziz e Karara (1971), denominado DLT (Direct Linear Transformation).

As equações básicas do método de reconstrução tridimensional de coordenadas (DLT) são mostradas a seguir. Para obter as coordenadas 3D da trajetória de um jogador a partir das coordenadas (x e y) de tela é preciso encontrar os parâmetros de transformação das equações. O processo de cálculo realizado para encontrar estes parâmetros é denominado de calibração e reconstrução.

$$\begin{aligned}(L_1^k - L_3^k x_i^k)X_i + (L_4^k - L_6^k x_i^k)Y_i + (L_7^k - L_9^k x_i^k)Z_i + L_{10}^k - x_i^k &= 0 \\ (L_2^k - L_3^k y_i^k)X_i + (L_5^k - L_6^k y_i^k)Y_i + (L_8^k - L_9^k y_i^k)Z_i + L_{11}^k - y_i^k &= 0\end{aligned}$$

Este sistema de equações é aplicado duas vezes, a primeira para quantificar os parâmetros da transformação (calibração) e a segunda para efetuar a reconstrução propriamente dita. Para a calibração das câmeras temos que: x_i e y_i são as coordenadas de tela do i-ésimo ponto de um sistema de referências conhecido, para cada câmera k; X_i , Y_i e Z_i são as coordenadas no plano do i-ésimo ponto de referência e L_h^k ($h=1,...,11$) são os 11 parâmetros da transformação para a k-ésima câmera, a serem determinados.

Obtenção da posição da câmera (X_0 , Y_0 , Z_0) a partir dos parâmetros do DLT é dado por:

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 \\ L_5 & L_6 & L_7 \\ L_9 & L_{10} & L_{11} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -L_4 \\ -L_8 \\ -1 \end{bmatrix}$$

X_0 , Y_0 , Z_0 : posição da câmera (real)

L_h^k ($h=1,...,11$) são os 11 parâmetros da transformação para a k-ésima câmera

ANEXO-B: Analysis of the Distances Covered by First Division Brazilian Soccer Players
Obtained With An Automatic Tracking Method

Research article

Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method

Ricardo M. L. Barros¹✉, Milton S. Misuta¹, Rafael P. Menezes¹, Pascual J. Figueroa², Felipe A. Moura³, Sergio A Cunha³, Ricardo Anido² and Neucimar J. Leite²

¹ Laboratory of Instrumentation for Biomechanics, College of Physical Education, Campinas State University, Campinas, Brazil, ² Institute of Computing, Campinas State University, Campinas, Brazil, ³ Laboratory of Biomechanical Analysis, Department of Physical Education, Paulista State University, Departamento de Educação Física, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brazil

Abstract

Methods based on visual estimation still is the most widely used analysis of the distances that is covered by soccer players during matches, and most description available in the literature were obtained using such an approach. Recently, systems based on computer vision techniques have appeared and the very first results are available for comparisons. The aim of the present study was to analyse the distances covered by Brazilian soccer players and compare the results to the European players', both data measured by automatic tracking system. Four regular Brazilian First Division Championship matches between different teams were filmed. Applying a previously developed automatic tracking system (DVideo, Campinas, Brazil), the results of 55 outline players participated in the whole game ($n = 55$) are presented. The results of mean distances covered, standard deviations (s) and coefficient of variation (cv) after 90 minutes were 10,012 m, $s = 1,024$ m and $cv = 10.2\%$, respectively. The results of three-way ANOVA according to playing positions, showed that the distances covered by external defender (10642 ± 663 m), central midfielders (10476 ± 702 m) and external midfielders (10598 ± 890 m) were greater than forwards (9612 ± 772 m) and forwards covered greater distances than central defenders (9029 ± 860 m). The greater distances were covered in standing, walking, or jogging, 5537 ± 263 m, followed by moderate-speed running, 1731 ± 399 m; low speed running, 1615 ± 351 m; high-speed running, 691 ± 190 m and sprinting, 437 ± 171 m. Mean distance covered in the first half was 5,173 m ($s = 394$ m, $cv = 7.6\%$) highly significant greater ($p < 0.001$) than the mean value 4,808 m ($s = 375$ m, $cv = 7.8\%$) in the second half. A minute-by-minute analysis revealed that after eight minutes of the second half, player performance has already decreased and this reduction is maintained throughout the second half.

Key words: Biomechanics, soccer, distance covered, tracking.

Introduction

Kinematical analysis of soccer players during play can provide useful information about their performance. The distance covered by players in a match, according to players positioning and range of velocities can be used, for example, to better planning subsequent training periods or evaluating the player performance during competitions.

For the collection and analysis of such information many methods, based on various principles, have thus been proposed in the literature. One of the pioneering

papers describing the fundamentals of motion analyses in soccer players was that of Reilly and Thomas (1976). The method consisted of the counting of numbers of strides for each discrete activity; this was converted into distance on the basis of length of average stride for each type of movement (e.g. standing, walking, jogging and sprinting).

Methods based on visual estimation, however, still the most widely used for the analysis of the distances covered by soccer players during matches, and most description available were obtained using such an approach (Bangsbo et al., 1991; Mohr et al., 2003; Withers et al., 1982). Such methods, however, are extremely time consuming, as well as, providing only low spatial and temporal resolutions; moreover, most of them do not allow simultaneous analyses of more than one player.

Newer options are being developed, however. Hennig and Briehle (2000) used a global positioning system (GPS) for the analysis of the movements of soccer players. This kind of system locates the position of an object on the globe by using satellites which receive signals emitted by a transmitter located on the earth's surface. Other possibilities would include the use of sensor-transmitters for the localization of players on the playing field (Holzer et al., 2003). Methods based on such principles are potentially able to supply real-time measurements of the positions of various players during the game, as well as that of the trajectory of the ball. However, they require the attachment of devices to the body of the players, but this has not yet been permitted by the rules of FIFA for official competitions. Results using this approach were obtained in simulation or training.

Image processing and analyses have also been used although the majority of them present only partial results. In the paper of Ohashi et al. (2002), only a single player was tracked in each game. Iwase and Saito, (2004) reported that all players were tracked, but for only short periods of time. On the other hand, in the study of Toki and Sakurai (2005), all players were tracked for a whole game, but manually (frame-by-frame). Needham and Boyle (2001) dealt with the problem of tracking multiple sports players but again only partial results are reported.

Preliminary results using automatic tracking systems have also been described (Figueroa et al., 2004; Misuta et al., 2005; Shiokawa et al., 2003; Toki and Sakurai, 2005). Advances in the application of information technology for sports performance and the use of a com-

mercial automatic system for tracking soccer (Amisco System) are discussed in Liebermann et al. (2002).

In two recent papers, we have dealt with the problem of the automatic detection of soccer players in the analysis of video sequences. In the first one (Figueroa et al., 2006a), we considered the problem of recovering background pixel information for use in segmentation and tracking of video image components. The solution proposed was to involve a non-parametric morphological labelling operation which takes into consideration the specific problem of lighting changes and the fact that a given scene may include both slow and fast motion. Segmentation of soccer players was based on differences between image sequences and the corresponding background representation recovered after applying morphological filters. The problems related to the reduction of shadows in digital video of soccer games were also treated.

In the second paper (Figueroa et al., 2006b), tracking was performed for all players during an entire game using a representation based on Graph Theory, with nodes corresponding to the blobs obtained by image segmentation and edges, weighted using the information about blobs trajectory in the image sequence, representing the distance between nodes. A new way of treating occlusions was presented, which involved the splitting of segmented blobs based on morphological operators, as well as, backward and forward application of graphs allowing an increase in the number of automatically tracked frames. The method automatically located players in 94% of processed frames with a relative error of only 1.4% of the distance covered. An interface was used to complete the trajectories manually when automatic tracking fails.

Also recently, Rampinini et al. (2007) used a match analysis image recognition system, (ProZone®, Leeds, UK), to validate field tests as indicators of match-related physical performances in soccer players. They report total distances covered by 18 European professional soccer players at different ranges of velocities. Di Salvo et al. (2006, 2007), using another computerized match analysis system (Amisco®, Nice, France) published the validation of the system and data of distances covered at different playing positions and work rate from 300 European elite soccer players.

The aim of the present study was to analyse the distances covered by soccer players measured with an automatic tracking system (DVideo, Campinas, Brazil). The analysis comprises a) determination of the distance covered by 55 Brazilian soccer players of the First Division Championship according to playing positions, ranges of velocities and game periods; b) general comparison of the distances covered by Brazilian and European players; c) evaluation of the accumulated distance covered in a minute-by-minute analysis of the play in the two halves in order to determine how long it takes before a statistical significant reduction in the distance covered occurs.

Methods

Data collection

This research received the approval of the Ethics Committee of the Paulista State University. Four regular Brazilian

First Division Championship matches between different teams were filmed, from 2001 to 2004 with temperatures ranging from 20°C to 30°C. In each game, four digital cameras (JVC, model GR-DVL9500, 30 Hz) were fixed at the highest points of the stadiums, each covering approximately a quarter of the field, but including overlapping regions. Since the games took place in different stadiums, separate evaluations of best possible locations for the cameras were made. Figure 1 illustrates the locations of the cameras.

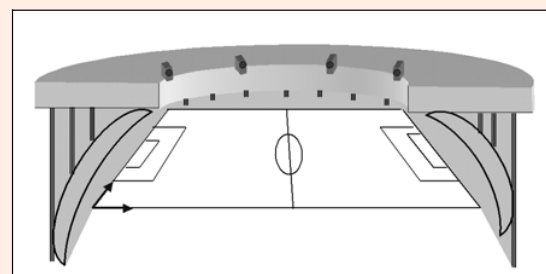


Figure 1. Positioning of cameras in the stadiums.

Subjects

The trajectories of 112 different players were tracked in the four games. In order to be able to compare the distances covered by the players in the two halves, however, only the results of those outline players who participated in the whole game ($n = 55$ players) were analyzed. Only the first 45 minutes in each half were considered, independent of any allowance for time lost, as this varied from game to game.

Automatic tracking method

After the games, the video sequences were transferred to personal computers (PC) for analysis. Since stadium, lighting conditions, uniforms etc varied from one game to another, individual software parameters were established for processing each game. The two basic automatic procedures of segmentation and tracking were adopted using an interface of the DVideo software (Barros et al., 2006, Figueroa et al., 2003).

Situations not automatically solved were corrected manually. The majority of these consisted of players trajectory changes during periods of occlusions, which required only the correction of the labels for those parts of the trajectories. Two additional tools were used. The tracking of mouse positions when the player was being followed by an operator and the frame-by-frame marking of the positions of the players. The percentage of automatic tracking remained around 95% for each player. Figure 2 illustrates the segmentation and tracking steps of the method.

For each game, the segmentation phase involved approximately 6 hours of automatic processing time with four PC's working in parallel. Automatic tracking required an additional 4 hours but on a single PC. The mouse tracking and manual corrections involved an additional 6 hours of work by an operator. In order to reduce the amount of data to be processed, the video sequences were analyzed at 7.5 Hz.



Figure 2. Results of image segmentation (top) and tracking (bottom).

Before the games, approximately 20 control points were established directly by measurement of the field using a tape measure. These positions were then used to calculate image-object transformations for the calibration

of the cameras. After measuring the players positions in the video sequences, the 2D coordinates of the players in relation to these field coordinate systems were reconstructed using an image-object transformation method (Direct Linear Transformation-DLT).

The 2D coordinates of the players trajectories were then filtered using a third order Butterworth low-pass filter. In a previous study (Misuta et al., 2005), the cutoff frequency was defined as 0.4 Hz and the spatial resolution was estimated to be 0.3 m in relation to the absolute position on the field and 1.4% of the distance covered.

The distances covered by each player were calculated as the cumulative sum of players displacement between two successive sampling. The Matlab[®] environment was used to calculate the distances covered and to perform the statistical analyses.

The players were classified in five positional groups: central defenders (CD, $n = 15$), external defenders (ED, $n = 12$), central midfield players (CM, $n = 11$), external midfield players (EM, $n = 9$) and forwards (F, $n = 8$). From the time-position curve obtained for each player, the time-velocity curve was numerically derived. The distances covered in each one of the following five ranges of velocities were calculated: $0 \leq V1 < 11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (standing, walking and jogging); $11 \leq V2 < 14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (low speed running); $14 \leq V3 < 19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (moderate-speed running); $19 \leq V4 < 23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (high-speed running); $V5 \geq 23 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (sprinting). This classification of playing positions and ranges of velocities were selected in order to make possible comparisons with the data described in Di Salvo et al. (2007), obtained from European soccer players with a similar video-based tracking system.

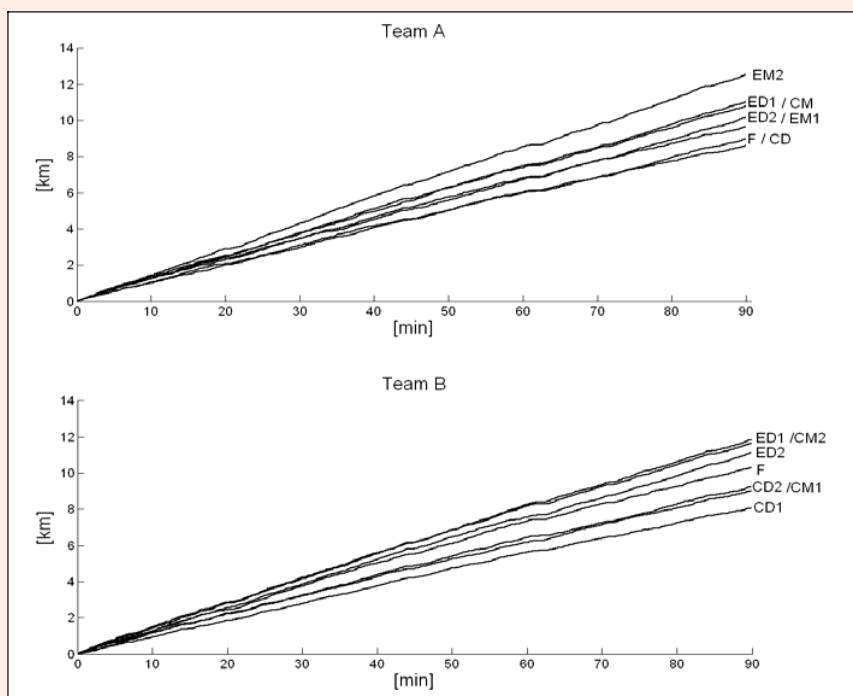


Figure 3. Distances covered by the outline players of two teams (A and B) of Brazilian soccer players during the 90 minutes of a game. The players were classified as central defenders (CD), external defenders (ED), central midfield players (CM), external midfield players (EM) and forwards (F).

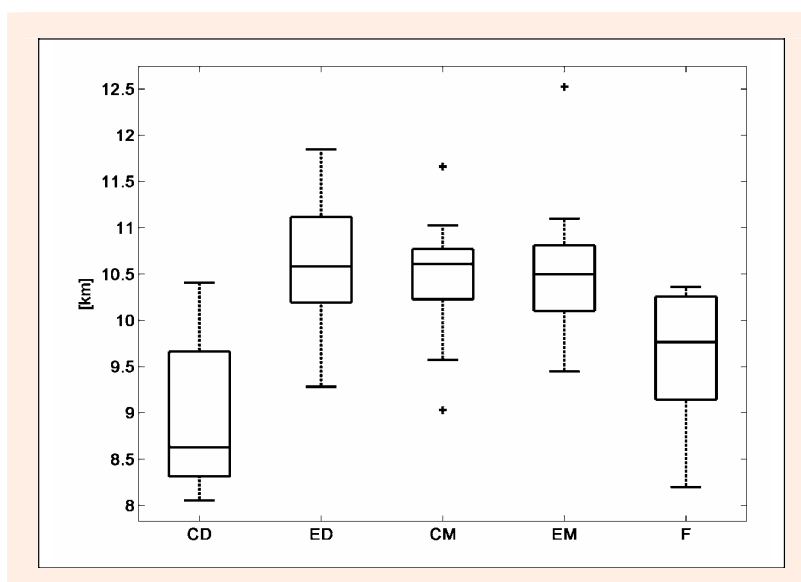


Figure 4. Box Plot representation of distances covered by First Division Brazilian soccer players ($n = 55$) according to playing positions after 90 minutes of play, including only those who played the whole game. The players were classified in five positional groups: central defenders (CD, $n = 15$), external defenders (ED, $n = 12$), central midfield players (CM, $n = 11$), external midfield players (EM, $n = 9$) and forwards (F, $n = 8$).

Statistical analysis

The distances covered were expressed in terms of mean, standard deviation (s) and percentual coefficient of variation (standard deviation divided by mean multiplied by 100; cv). Box Plots were used to represent the distributions of the distances covered according to playing positions, ranges of velocities and game periods. Median value curves and interquartile range were used to represent the distances covered as a function of time.

The differences between the mean distances covered by the 55 players after the end of the first and second halves were evaluated, as well as, between the cumulative

minute-by-minute analyses, indicating the moment when the means reveal a significant difference. Paired t-tests for repeated measures were performed, after initial testing of the normality of the distributions (Lilliefors test, $P < 0.01$). Alternatively Kruskal-Wallis non-parametric test was used. Two significance levels were adopted: $P < 0.05$ for significant differences and $P < 0.001$ for highly significant differences. The results were then compared to the values found in the literature.

Three-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare the means distances covered according to three factors: playing positions, with five factor levels

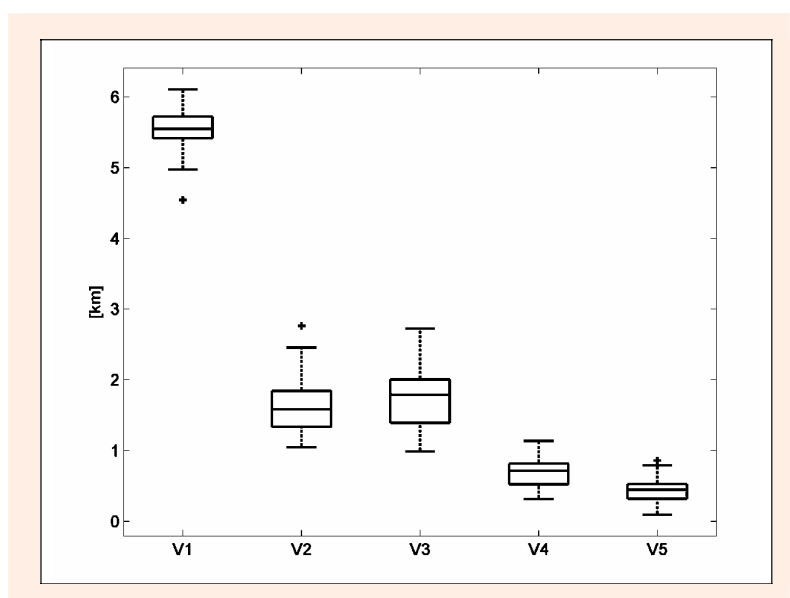


Figure 5. Box Plot representation of distances covered by First Division Brazilian soccer players ($n=55$) according to ranges of velocities after 90 minutes of play, including only those who played the whole game. The ranges of velocities are $0 \leq V1 < 11$ km/h (standing, walking and jogging); $11 \leq V2 < 14$ km/h (low speed running); $14 \leq V3 < 19$ km/h (moderate-speed running); $19 \leq V4 < 23$ km/h (high-speed running); $V5 \geq 23$ km/h (sprinting).

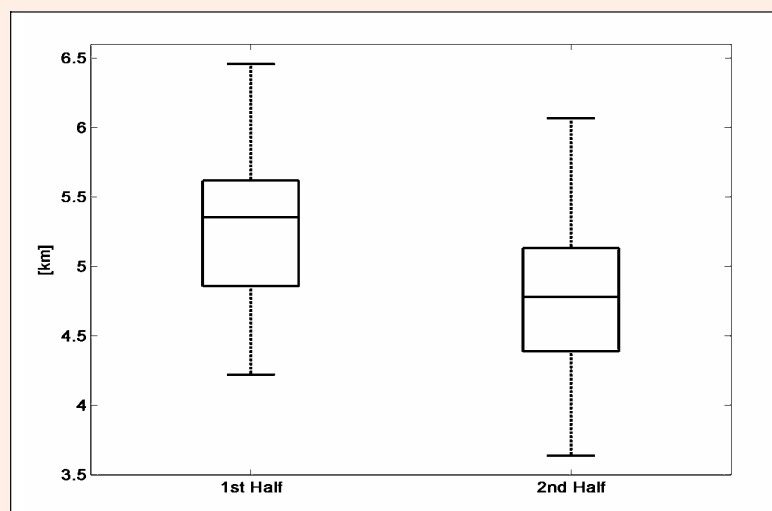


Figure 6. Box Plot representation of distances covered by First Division Brazilian soccer players ($n = 55$) according to game periods after 90 minutes of play, including only those who played the whole game.

(CD, ED, CM, EM, F); ranges of velocities, with five factor levels (V1, V2, V3, V4 and V5) and the game periods with two factor levels (1st and 2nd halves). Initially a full model was used for testing all interactions. The non-significant interactions were removed from the model and the ANOVA was recalculated. Where a significant effect was detected, Tukey's honestly significant difference criterion ($p < 0.05$) was performed. The data were analyzed using Matlab® 7.0.

Results

Figure 3 shows the distances covered as a function of time for those outline players who played the entire game for both teams (A and B). This representation makes it possible to distinguish the performance of individual player and simultaneously observe certain aspects of the dynam-

ics of the game. For instance, the midfielder player *MP3* of team A regularly covered greater distances/time interval than the other players. Furthermore, the curves of all the players show a slight plateau after about 62 minutes, revealing a reduction of the average velocities. The video shows that this period corresponds to an interruption due to fault commitment in the game.

Figures 4, 5 and 6 show the Box Plots representation of total distances covered by the First Division Brazilian soccer players ($n = 55$), respectively according to playing positions, ranges of velocities and game periods.

Table 1 shows the values of distances covered by Brazilian soccer players according to playing positions, ranges of velocities and game periods. Table 2 summarizes the results of ANOVA and Tukey's honestly significant difference criterion.

Table 1. Mean distances covered ($\pm$ Standard Deviation) by First Division Brazilian soccer players ($n = 55$) according to playing positions, ranges of velocities (V1 to V5) and game period (1st and 2nd halves). The players were classified in five positional groups: central defenders (CD, $n = 15$), external defenders (ED, $n = 12$), central midfield players (CM, $n = 11$), external midfield players (EM, $n = 9$) and forwards (F, $n = 8$). All values of distances covered are in meters.

	Distances covered in different ranges of velocities in the first and second halves												
Positions	0 ≤ V1 < 11 km·h ⁻¹		11 ≤ V2 < 14 km·h ⁻¹		14 ≤ V3 < 19 km·h ⁻¹		19 ≤ V4 < 23 km·h ⁻¹		V5 ≥ 23 km·h ⁻¹		Total IND VEL		Total IND PER
	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd	
CD	2860 (106)	2628 (209)	705 (89)	586 (120)	718 (142)	622 (148)	295 (115)	265 (100)	191 (94)	161 (84)	4768 (353)	4262 (532)	9029 (860)
ED	2832 (117)	2735 (160)	946 (155)	858 (115)	1008 (190)	923 (106)	416 (111)	363 (97)	290 (114)	272 (101)	5491 (360)	5151 (357)	10642 (663)
CM	2885 (127)	2788 (113)	974 (150)	801 (194)	1066 (201)	871 (194)	387 (106)	332 (95)	178 (70)	189 (73)	5493 (457)	4983 (383)	10476 (702)
EM	2862 (140)	2739 (109)	998 (183)	843 (214)	1075 (214)	869 (220)	425 (121)	331 (73)	245 (103)	212 (89)	5605 (411)	4993 (520)	10598 (890)
F	2738 (140)	2587 (239)	834 (237)	635 (155)	927 (213)	718 (170)	394 (106)	299 (82)	269 (84)	212 (67)	5161 (618)	4450 (370)	9612 (772)
Total IND POS	2846 (134)	2680 (209)	874 (188)	726 (181)	935 (229)	786 (197)	375 (119)	316 (96)	231 (102)	206 (91)	5,173 (394)	4808 (375)	
Total IND PER	5537 (263)		1615 (351)		1731 (399)		691 (190)		437 (171)		10012 (1024)		

Abbreviations: IND VEL = independent of velocities, IND PER = independent of period, IND POS = independent of positions.

Table 2. Statistical results from ANOVA and Tukey's honestly significant difference criterion with respect to three factors: Playing positions, with five factor levels (CD, ED, CM, EM, F); ranges of velocities, with five factor levels (V1, V2, V3, V4 and V5) and the game periods with two factor levels (1st and 2nd).

Factor	Statistical Significant Differences ($p < 0.05$)
Playing Positions:	ED, CM, EM > F > CD
Range of Velocities:	V1 > V3 > V2 > V4 > V5
Periods:	1 st > 2 nd
Playing Positions X Range of Velocities:	V1: CM > F; V2: ED, CM, EM > CD, F (except CMxF); V3: ED, CM, EM > CD
Range of Velocities X Periods:	V1: 1 st > 2 nd , V2: 1 st > 2 nd , V3: 1 st > 2 nd

Statistically significant differences were found for the three main factors: playing position ($F = 32.62$, $p = 0$), ranges of velocities ($F = 5514.02$, $p = 0$) and game periods ($F = 73.99$, $p = 0$). Two interactions presented significant differences: playing positions against ranges of velocities ($F = 4.48$, $p = 0$) and ranges of velocities against periods ($F = 4.64$, $p = 0.0011$).

The results of the statistical analysis according to playing positions, removing the effects of velocity and period, showed that the distances covered by external defender (10642 ± 663 m), central midfielders (10476 ± 702 m) and external midfielders (10598 ± 890 m) did not present statistical differences. However these three groups covered greater distances than forwards (9612 ± 772 m) and forwards covered greater distances than central defenders (9029 ± 860 m).

Comparing the distances covered in the five ranges of velocities, statistical differences were found among all of them. The greater distances were covered in V1 (standing, walking, jogging), 5537 ± 263 m, follow by V3 (moderate-speed running), 1731 ± 399 m, V2 (low speed running), 1615 ± 351 m, V4 (high-speed running), 691 ± 190 m and V5 (sprinting), 437 ± 171 m.

According to the ANOVA, the distances covered in the first half ($5,173 \pm 394$ m) were greater than in the second half ($4,808 \pm 375$ m), independently of playing positions and ranges of velocities. A highly significant reduction of 7% was observed from the first to the second half; moreover, fifty one players (93%) covered greater distances in the first half.

The interaction playing positions against ranges of velocities revealed the following results. In V1, the only significant difference appeared comparing the distances

covered by CD (2744 ± 201 m) with F (176 ± 89 m). ED (902 ± 140 m), CM (888 ± 191 m) and EM (920 ± 208 m) covered significantly greater distance than CD (645 ± 120 m) and F (734 ± 218 m), in the range of velocity V2 (low speed running), except for the comparison between CM and F. In V3 (moderate-speed running), ED (965 ± 156 m), CM (969 ± 236 m), and EM (971 ± 235 m) covered significant greater distances than CD (670 ± 150 m). No statistical differences were found among playing positions in V4 (high-speed running) and V5 (sprinting).

The interaction of ranges of velocities against time showed significant differences in V1 (standing, walking, jogging) comparing distances covered in the first (2846 ± 134 m) and second (2680 ± 209 m) halves. Greater distances were also covered in the first half (874 ± 188 m) than in the second (726 ± 181 m), in V2 (low speed running). The same significant difference was found in V3 (moderate-speed running), comparing the distances covered in the first (935 ± 229 m) and second (786 ± 197 m) halves. No statistical differences were found comparing the distances covered in the first and second halves in V4 (high-speed running) and V5 (sprinting).

Non-significant differences ($p = 0.3353$) was found in the interaction of playing positions against periods, therefore, the Tukey's honestly significant difference criterion was not applied. Although the distances covered in the first half were significantly greater than in the second half when comparing all players together, it was not possible, for instance, to stat that CD players covered greater distances in the first than in the second half due to the overall variability.

The curves presented in Figure 7 correspond to the minute-by-minute medians of the distance covered in the

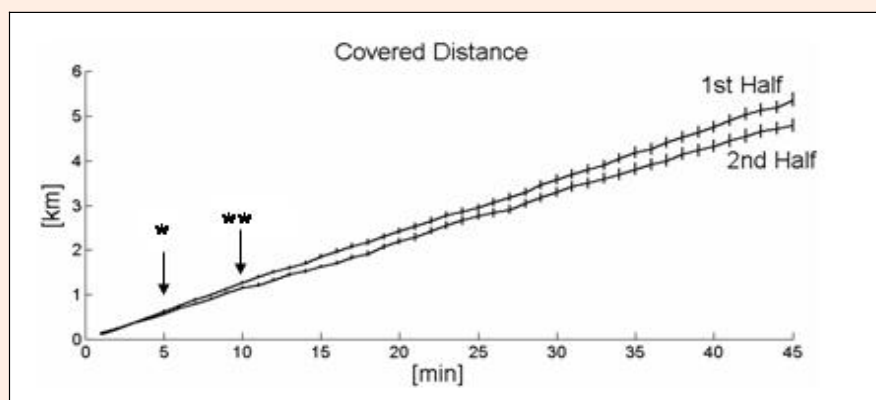


Figure 7. Minute-by-minute comparison of median distances covered by First Division Brazilian soccer players ($n = 55$) in the first and second halves. Vertical bars represent the 95% confidence interval for the median. To improve visualization, bars are displayed for each minute. Once differences have reached significance, these differences are sustained.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$.

Table 3. Mean distances covered ($\pm$ Standard Deviation) by First Division Brazilian soccer players ($n=55$) in the 1st, 2nd halves compared to similar data reported in the literature.

Article	Players	1st Half (m)	2nd Half (m)	Total (m)	Diff (%)
Bangsbo (1991)		5520	5250	10800	5%
Hennig and Briehle (2000)		-	-	10600	4%
(Rienzi <i>et al.</i> , 2000)	17 South American professionals 6 English Premier League	4605 (625)	4415 (634)	8638 (1158) 10104 (703)	4%
(Mohr <i>et al.</i> , 2003)	18 top class 24 moderate	5510 (100) 5200 (140)	5350 (90) 5130 (120)	10860 (180) 10330 (260)	3% 1%
(Thatcher and Batterham, 2004)	12 professional 12 under 19s	-	-	10274 (609) 9741 (882)	-
(Krustrup <i>et al.</i> , 2005)	14 elite female	-	-	10300 range: 9700-11300	-
(Rampinini <i>et al.</i> , 2006)	18 Professional	-	-	10864 (918)	8%
(Di Salvo <i>et al.</i> , 2006)	300 Elite European	5709 (485)	5684 (663)	11393 (1016)	9%
Present paper	55 First Division Brazilian	5173 (394)	4808 (375)	10012 (1024)	7%

Diff. refers to percentage difference in relation to distances covered in the first and second halves.

first and second halves by the 55 players, with the vertical bars representing the 95% confidence interval for the medians. The minute-by-minute statistical tests revealed that after the fifth minute the median distance covered in the first half was significantly greater than in the second ($p < 0.05$). After eight minutes highly significant ($p < 0.001$) differences were found.

Discussion

The method proved to be applicable in official matches and provided useful information about the distances covered by soccer players. The data were collected from four different stadiums, with different lighting conditions (both daylight and artificial lighting) and without any special requirements for players' uniforms.

Uncertainties in relation to the measurement of distances covered were estimated in previous works to account for approximately 1% of the 10,012 m covered during the match, although inter-players variability was 10.2% for the four games, 7.6% and 7.8% for the first and second halves of those games, respectively. This means that the uncertainties associated with the method were at least seven times less than that associated within the players. It thus seems possible to affirm that the method provides reliable data about the distances covered by soccer players during official matches.

Although the method demonstrates applicability, it requires further development. The 95% of the tracking which was done automatically, is much higher than that of previous reported methods (Bangsbo *et al.*, 1991; Mohr *et al.*, 2003; Ohashi *et al.*, 2002; Toki and Sakurai, 2005; Withers *et al.*, 1982). Even so, the number of frames requiring manual tracking (5%) represents a great amount of work.

One possible way of overcoming this problem is the use of more cameras to record the game. The majority of problems occurred while tracking a player located on the opposite side of the field from the cameras. Such a solution would require placing cameras on both sides of the stadium, which would increase processing time, although it seems a reasonable option. Bangsbo *et al.* (2006), for example, used eight cameras.

The results of these First Division Brazilian soccer players are summarized in Table 3 and compared to recent and similar results found in the literature.

Although the results of Brazilian players are not matched for age and proficiency with those investigated with different methods, the comparison does provide a useful reference for consideration.

Bearing in mind the mean distances covered, these results agree with those of Mohr *et al.* (2003) who used time – motion analysis to demonstrate that elite players typically cover a total distance of 9 – 12 km during a game.

The mean distances covered these First Division Brazilian soccer players were also similar to those obtained in other countries analysing top class or moderate soccer players (Mohr *et al.*, 2003), professional players and those under 19 (Thatcher and Batterham, 2004) as well as elite female players (Krustrup *et al.*, 2005) or Top-Level European players (Di Salvo *et al.*, 2007; Rampinini *et al.*, 2007). They contrasts with those reported by (Rienzi *et al.*, 2000) who found that international South American players covered significantly less total distance ($p < 0.05$) than English Premier League players did during a game.

Standard deviations vary considerably among the studies probably due to inter-players variability as shown in the Table 3. It remains unclear whether these differences can be explained by the differences between groups or whether methodological effects may be involved. A more consistent result is related to the comparison of variabilities obtained in the three studies that used tracking systems based on image processing (Di Salvo *et al.*, 2007; Rampinini *et al.*, 2007; the present paper).

Previous studies have reported reductions comparing the first and second halves in 3% (Mohr *et al.*, 2003) for top class players and 1% for moderate players, although this was not statistically significant. Hennig and Briehle, (2000) reported significant reduction of 4% and Bangsbo *et al.*, (1991) found a significant reduction of 5%. Recently, Di Salvo *et al.* (2007) reported no difference in the mean distance covered comparing the first and second halves analyzing a large number of European professional players (300). In our study, which also con-

ducted with a large number of players ($n = 55$), the mean distance covered by Brazilian soccer players revealed a consistent reduction of 7% in the second half period (highly significant, $p < 0.001$). It is important to emphasize that this result considered only the players who participated in the whole game. Analysing the references, it was not possible to know whether all of them followed the same procedure.

According to Mohr et al. (2005), the time – motion analyses and performance measures during match-play, fatigue or reduced performance seems to occur at three different stages in the game: (1) after short-term intense periods in both halves; (2) in the initial phase of the second half; and (3) towards the end of the game.

The results of the three-way ANOVA used for analysing the distances covered according to playing positions, ranges of velocities and game periods were mainly compared to the recent study of Di Salvo et al. (2007) because of the similarities in the data collection (tracking system) and classifications of playing positions and ranges of velocities.

The results of Brazilian players were that ED, CM and EM covered greater distance than F, as well as CD. According to Di Salvo et al. (2007), CM and EM players covered a greater distance than CD and ED, as well as the group of F. The only difference was that Brazilian ED players covered distances as much as CM and EM players.

The comparisons between Brazilian and European (Di Salvo et al., 2007) players according to range of velocities showed that the order of distances covered in each range of velocity independent of playing positions was the same ($V1 > V3 > V2 > V4 > V5$). Taking into account the playing positions, in V1 the only significant difference was found comparing Brazilian CM and F players. In V2, the group of ED, CM and EM Brazilian players covered significantly greater distances than CD and F while the Europeans presented the following order: $CM > EM > F$, $ED > CD$. In V3, the results of Brazilian players were ED, CM, $EM > CD$ while the European presented CM, $EM > ED > F > CD$. In V4 and V5 no differences were found in the Brazilian players covered distances.

The main discrepancy between the results of the present study with the paper of Di Salvo et al. (2007) concerns the comparison of distances covered by all players in the first and second halves. The present paper showed consistently reduction in the distances covered by players in the second half, in agreement with the majority of papers in the literature, but different than the results reported by Di Salvo et al. (2007).

Considering the interaction of range of velocities against periods of game, the two studies pointed out statistical differences for the three lower ranges of velocities (V1, V2 and V3). The only difference was that Di Salvo et al. (2007) found that players covered a greater distance in the second half in V1.

In the present study, the minute-by-minute analysis revealed significant differences after the fifth minute ($p < 0.05$), with highly significant differences after the eighth. From then on, the performance was always reduced when comparing the same cumulated time intervals in the first and second halves.

These results agree only partially with Mohr et al. (2005) and Krstrup et al. (2006), since these authors found no significant differences between the distance covered in the second 5-min periods of the first and second halves. In the present study, the differences were maintained throughout the entire game. No similar results were found in the literature and this seems to be another original contribution of the paper. This information may be useful in better understanding the fatigue of soccer players during the game and/or evaluating the players performance.

Furthermore, the representation of the distances covered as a function of time has proved to be very sensitive to the performance of individual players, as well as, to the dynamics of the game, therefore being suitable for comparisons.

Conclusion

In this paper, we have presented results of distances covered during soccer matches for 55 outline First Division Brazilian soccer players and compared the results with similar studies. The data presented were obtained using a method of automatic tracking. This novel method has proved to be a useful and less labor-intensive and should constitute an important tool for supplying data about the performance of players.

The results of the statistical analysis according to playing positions showed that the distances covered by external defender, central midfielders and external midfielders were greater than forwards and forwards covered greater distances than central defenders, in agreement with recent published papers.

The greater distances were covered standing, walking or jogging, follow by moderate-speed running, low speed running, high-speed running and sprinting, also agreeing with similar studies.

The present paper showed consistently reduction in the distances covered by players in the second half, in agreement with the majority of previous studies, but different than the recently results reported in the literature. Moreover after eight minutes of the second half, player performance has already decreased and this reduction is maintained throughout the second half.

Acknowledgement

We would like to thank the players who participated in the study. This research was supported by Fapesp (00/01293-1, 00/07258-3 and 05/53262-6), Capes (Prodoc), CNPq (47771/2004-1) and Rede Globo de Televisão.

References

- Bangsbo, J., Mohr, M. and Krstrup P. (2006) Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences* **24**(7), 665-674.
- Bangsbo, J., Norregaard, L. and Thorso, F. (1991) Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences* **16**(2), 110-116.
- Barros, R.M.L., Russomanno, T.G., Brenzikofer, R. and Figueroa, P.J. (2006) A method to synchronise video cameras using the audio band. *Journal of Biomechanics* **39**(4), 776-780.
- Di Salvo, V., Collins, A., McNeill, B. and Cardinale, M. (2006) Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sport*

- (serial online) **6(1)**, (12 screens/inclusive page), June. Available from URL: <http://www.ingentaconnect.com/content/uwic/ujpa>
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F.J., Bachl, N. and Pigozzi, F. (2007) Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine (serial online)* **28(3)**, (06 screens/inclusive page), March. Available from URL: <http://www.thieme-connect.com/ejournals/toc/sportsmed/>
- Figueroa, P., Leite, N., Barros, R.M.L., Cohen, I. and Medioni, G. (2004) Tracking soccer players using the graph representation. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), August 23-26, Cambridge-UK, IV*. 787-790.
- Figueroa, P.J., Leite, N.J. and Barros, R.M. (2003) A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* **72(2)**, 155-165.
- Figueroa, P.J., Leite, N.J. and Barros, R.M.L. (2006a) Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. *Image and Vision Computing* **24(4)**, 363-374.
- Figueroa, P.J., Leite, N.J. and Barros, R.M.L. (2006b) Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis. *Computer Vision and Image Understanding* **101(2)**, 122-135.
- Hennig, E. and Briehle, R. (2000) Game analysis by GPS satellite tracking of soccer players. *XI Congress of the Canadian Society for Biomechanics, Montreal-Canada. Book of Abstract*. 44.
- Holzer, C., Hartmann, U., Beetz, M. and von der Grun, T. (2003) Match analysis by transmitter position measurement. *V World Congress of Science and Football, Lisbon-Portugal. Book of Abstract*. 152.
- Iwase, S. and Saito, H. (2004) Parallel tracking of all soccer players by integrating detected positions in multiple view images. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), August 23-26, Cambridge-UK, IV*. 751 - 754.
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H. and Bangsbo, J. (2005) Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **37(7)**, 1242-1248.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M. and J. Bangsbo (2006) Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **38(6)**, 1165-1174.
- Liebermann, D.G., Katz, L., Hughes, M.D., Bartlett, R.M., McClements, J. and Franks, I. M. (2002) Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences* **20(10)**, 755-769.
- Misuta, M.S., Menezes, R.P., Figueroa, P.J., Cunha, S.A. and R.M.L. Barros (2005) Representation and analysis of soccer players' trajectories. *XXth Congress of the International Society of Biomechanics, Cleveland, USA*, 415.
- Mohr, M., Krustrup, P. and Bangsbo, J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences* **21(7)**, 519-28.
- Mohr, M., Krustrup, P. and Bangsbo, J. (2005) Fatigue in soccer: a brief review. *Journal of Sports Sciences* **23(6)**, 593-599.
- Needham, C. J. and Boyle, R. D. (2001). Tracking multiple sports players through occlusion. *British Machine Vision Conference, Manchester-UK*. 93-102.
- Ohashi, J., Miyagi, O., Nagahama, H., Ogushi, T. and Ohashi, K. (2002) Application of an analysis system evaluating intermittent activity during a soccer match. *Proc. Science and Football IV, W. Spinks, T. Reilly and A. Murphy, London and New York, Routledge*. 32-136.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S.M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R. and Impellizzeri, F.M. (2007) Validity of Simple Field Tests as Indicators of Match-Related Physical Performance in Top-Level Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine (serial online)* **28(3)**, (08 screens/inclusive page), March. Available from URL: <http://www.thieme-connect.com/ejournals/toc/sportsmed/>
- Reilly, T. and Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match play. *Journal of Human Movement Studies* **2**, 87-97.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J.E. and Martin, A. (2000) Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **40(2)**, 162-1699.
- Shiokawa, M., Takahashi, K., Kan, A., Usui, K.O.S., Choi, C.S. and Deguchi, T. (2003) Computer analysis of a soccer game by the DLT method focusing on the movement of the players and the ball. *V World Congress of Science and Football, Lisbon-Portugal. Book of Abstract*. 267.
- Thatcher, R. and Batterham, A.M. (2004) Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **44(1)**, 15-22.
- Toki, S. and Sakurai, S. (2005) Quantitative match analysis of soccer games with two dimensional DLT procedures. *XXth Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland-USA*. 911.
- Withers, R. T., Maricic, Z., Wasilewski, S. and Kelly, L. (1982) Match analyses of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies* **8**, 159-176.

Key points

- A novel automatic tracking method was presented. No previous work was found in the literature reporting data of simultaneous trajectories of all soccer players obtained by an automatic tracking method.
- The study reveals 7% reduction in mean distance covered in the second half and moreover after eight minutes of the second half, player performance has already decreased and this reduction is maintained throughout the second half.

AUTHORS BIOGRAPHY

Ricardo M.L. BARROS

Employment

Assoc. Prof., College of Physical Education, Campinas State Univ., Campinas, Brazil.

Degrees

MS, PhD

Research interest

Biomechanics.

E-mail: ricardo@fef.unicamp.br

Milton S. MISUTA

Employment

PhD student, PhD Program of Physical Education, College of Physical Education, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degree

Physical Education, MS

Research interest

Sports biomechanics.

E-mail: misuta@fef.unicamp.br

Rafael P. MENEZES

Employment

Master student, College of Physical Education, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degree

Physical Education

Research interest

Sports biomechanics.

E-mail: misuta@fef.unicamp.br

Pascual J. FIGUEROA

Employment

PosDoc student, College of Physical Education/Institute of Computing, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degrees

Computer Sciences, MS, PhD

Research interest

Computer sciences.

E-mail: pafir@yahoo.com.br

FELIPE A. MOURA**Employment**

PhD student, PhD Program of Physical Education, Department of Physical Education, Paulista State University, Departamento de Educação Física, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brazil.

Degrees

PT, MS

Research interests

Biomechanics, soccer.

E-mail: pnmlo@hotmail.com

Sergio A. CUNHA**Employment**

Associate Professor, College of Physical Education, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degrees

Physical Education, MS, PhD

Research interest

Sports Biomechanics.

E-mail: scunha@fef.unicamp.br

Ricardo ANIDO**Employment**

Associate Professor, Institute of Computing, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degrees

Computer Sciences, MS, PhD

Research interest

Computer sciences.

E-mail: ranido@ic.unicamp.br

Neucimar J. LEITE**Employment**

Associate Professor, Institute of Computing, Campinas State University, Campinas, Brazil.

Degrees

Computer Sciences, MS, PhD

Research interest

Computer sciences.

E-mail: neucimar@ic.unicamp.br

✉ **Prof. Dr. Ricardo M. L. Barros**

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Física, DEM, Laboratório de Instrumentação para Biomecânica CX 6134, CEP 13083-851, Campinas, São Paulo, BRAZIL

APÊNDICE



APÊNDICE-A: Tempo de processamento - segmentação.

Quadro A.1. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-1.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	8	2		
Câmera 2	8	7	2	
Câmera 3	8	6		
Câmera 4	7	2		
Total	31	17	2	50

Quadro A.2. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-2.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	10	1		
Câmera 2	8	3	2	
Câmera 3	9	7		
Câmera 4	8	6		
Total	35	17	2	54

Quadro A.3. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-3.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	7	4		
Câmera 2	7	11	2	
Câmera 3	7	10		
Câmera 4	9	4		
Total	30	29	2	61

Quadro A.4. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-4.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	5	2	2	
Câmera 2	5	8		
Câmera 3	6	7		
Câmera 4	5	4	2	44
Total	21	21		

Quadro A.5. Resultados com os tempos de duração de cada uma das etapas do processo de segmentação do jogo J-3.

Processo de Segmentação				
	Segmentação [min]	splitting [min]	Grafo [min]	Total [min]
Câmera 1	5	3	2	
Câmera 2	6	13		
Câmera 3	6	8		
Câmera 4	6	3	2	52
Total	23	27		

APÊNDICE-B: Percentual de Localização dos Jogadores - segmentação.

Tabela B.1: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-1 (time A e B)

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
ZA(A)	2686(99,5%)	14(0,5%)
LE(A)	2698(99,9%)	2(0,1%)
LD(A)	2700(100,0%)	0(0,0%)
ME(A)	2697(99,9%)	3(0,1%)
AT(A)	2683(99,4%)	17(0,6%)
ZA(B)	2682(99,3%)	18(0,7%)
LE(B)	2696(99,9%)	4(0,1%)
LD(B)	2695(99,8%)	5(0,2%)
ME(B)	2700(100,0%)	0(0,0%)
AT(B)	2689(99,6%)	11(0,4%)
Media	2692,6 (99,7%)	7,4 (0,3%)
(±SD)	(± 7,0)	(±7,0)

Tabela B.2: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-2 (time A e B)

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
ZA(A)	2691(99,7%)	9(0,3%)
LE(A)	2682(99,3%)	18(0,7%)
LD(A)	2686(99,5%)	14(0,5%)
ME(A)	2663(98,6%)	37(1,4%)
AT(A)	2677(99,1%)	23(0,9%)
ZA(B)	2696(99,9%)	4(0,1%)
LE(B)	2694(99,8%)	6(0,2%)
LD(B)	2698(99,9%)	2(0,1%)
ME(B)	2690(99,6%)	10(0,4%)
AT(B)	2695(99,8%)	5(0,2%)
Media	2687,2(99,5%)	12,8(0,5%)
(±SD)	(±10,8)	(±10,8)

Tabela B.3: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-3 (time A e B).

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
ZA(A)	2682(99,3%)	18(0,7%)
LE(A)	2680(99,3%)	20(0,7%)
LD(A)	2678(99,2%)	22(0,8%)
ME(A)	2681(99,3%)	19(0,7%)
AT(A)	2684(99,4%)	16(0,6%)
ZA(B)	2668(98,8%)	32(1,2%)
LE(B)	2670(98,9%)	30(1,1%)
LD(B)	2680(99,3%)	20(0,7%)
ME(B)	2678(99,2%)	22(0,8%)
AT(B)	2683(99,4%)	17(0,6%)
Media	2678,4(99,2%)	21,6(0,8%)
(±SD)	(±5,3)	(±5,3)

Tabela B.4: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-4 (time A e B).

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
ZA(A)	2698(99,9%)	2(0,1%)
LE(A)	2687(99,5%)	13(0,5%)
LD(A)	2698(99,9%)	2(0,1%)
ME(A)	2689(99,6%)	11(0,4%)
AT(A)	2694(99,8%)	6(0,2%)
ZA(B)	2691(99,7%)	9(0,3%)
LE(B)	2695(99,8%)	5(0,2%)
LD(B)	2667(98,8%)	33(1,2%)
ME(B)	2685(99,4%)	15(0,6%)
AT(B)	2671(98,9%)	29(1,1%)
Media	2687,5(99,5%)	12,5(0,5%)
(±SD)	(±10,7)	(±10,7)

Tabela B.5: Resultado relativo à localização dos jogadores no processo de segmentação para o jogo J-5 (time A e B).

	Localização dos Jogadores	
	Positivo	Falso Negativo
ZA(A)	2696(99,9%)	4(0,1%)
LE(A)	2693(99,7%)	7(0,3%)
LD(A)	2699(100,0%)	1(0,0%)
ME(A)	2684(99,4%)	16(0,6%)
AT(A)	2693(99,7%)	7(0,3%)
ZA(B)	2678(99,2%)	22(0,8%)
LE(B)	2659(98,5%)	41(1,5%)
LD(B)	2692(99,7%)	8(0,3%)
ME(B)	2685(99,4%)	15(0,6%)
AT(B)	2689(99,6%)	11(0,4%)
Media	2686,8(99,5%)	13,2(0,5%)
(±SD)	(±11,6)	(±11,6)

APÊNDICE-C: Resultados do processo de medição automático.

Tabela C.1: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-2 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático ‘Autom’, tempo de rastreamento ‘tempo’ e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, ‘Id.Certo’, ‘Id.Errado’ e ‘Id.Indef’).

	Segmentação					Rastreamento	
	Isolado			Junção [Quadros]	F. Neg [Quadros]	Autom [%]	tempo rastr [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id. Indef [Quadros]				
ZA(A)	2290 (84,8%)			400 (14,8%)	9 (0,3%)	85,7	8
	1963(72,7%)	288 (10,7%)	39 (1,4%)				
LE(A)	2145 (79,5%)			536 (19,9%)	18 (0,7%)	81,1	14
	1587(58,8%)	508 (18,8%)	50 (1,9%)				
LD(A)	2641 (97,9%)			44 (1,6%)	14 (0,5%)	98,7	18
	2051(76,0%)	350 (13,0%)	240 (8,9%)				
ME(A)	2235 (82,8%)			427 (15,8%)	37 (1,4%)	84,7	15
	1861(69,0%)	261 (9,7%)	113 (4,2%)				
AT(A)	1936 (71,7%)			740 (27,4%)	23 (0,9%)	73,1	16
	1588(58,8%)	244 (9,0%)	104 (3,9%)				
ZA(B)	1940 (71,9%)			755 (28,0%)	4 (0,1%)	72,8	22
	1483(54,9%)	392 (14,5%)	65 (2,4%)				
LE(B)	2334 (86,5%)			359 (13,3%)	6 (0,2%)	87,4	18
	1221(45,2%)	1063(39,4%)	50 (1,9%)				
LD(B)	1915 (71,0%)			782 (29,0%)	2 (0,1%)	72,1	16
	909 (33,7%)	815 (30,2%)	191 (7,1%)				
ME(B)	2492 (92,3%)			197 (7,3%)	10 (0,4%)	93,3	4
	2001(74,1%)	401 (14,9%)	90 (3,3%)				
AT(B)	2654 (98,3%)			40 (1,5%)	5 (0,2%)	98,6	11
	1562(57,9%)	1060 (39,3%)	32 (1,2%)				
Media	2258,2 (83,7%)($\pm 279,1$)			428,0 (15,9%)	12,8 (0,5%)	84,8	14,2
($\pm$SD)	1622,6(60,1%) ($\pm 364,5$)	538,2(19,9%) ($\pm 320,9$)	97,4 (3,6%) ($\pm 68,9$)	($\pm 278,5$)	($\pm 10,8$)	($\pm 10,1$)	($\pm 5,3$)

Tabela C.2: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-3 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático ‘Autom’, tempo de rastreamento ‘tempo’ e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, ‘Id.Certo’, ‘Id.Errado’ e ‘Id.Indef’)

	Segmentação					Rastreamento	
	Isolado			Junção [Quadros]	F. Neg [Quadros]	Autom [%]	tempo rastr [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id. Indef [Quadros]				
ZA(A)	2322(86,0%)	2543 (94,2%) 90 (3,3%)	131 (4,9%)	138 (5,1%)	18 (0,7%)	95,2	8
LE(A)	2304(85,4%)	2532 (93,8%) 59 (2,2%)	169 (6,3%)	147 (5,4%)	20 (0,7%)	94,9	9
LD(A)	2585(95,8%)	2657 (98,4%) 2 (0,1%)	70 (2,6%)	20 (0,7%)	22 (0,8%)	99,4	4
ME(A)	1917(71,0%)	2352 (87,1%) 138 (5,1%)	297 (11,0%)	328 (12,2%)	19 (0,7%)	88,3	12
AT(A)	1880(69,7%)	2342 (86,8%) 321 (11,9%)	141 (5,2%)	341 (12,6%)	16 (0,6%)	87,9	15
ZA(B)	1660(61,5%)	2247 (83,3%) 193 (7,2%)	394 (14,6%)	420 (15,6%)	32 (1,2%)	85,0	16
LE(B)	2074(76,8%)	2574 (95,4%) 146 (5,4%)	354 (13,1%)	95 (3,5%)	30 (1,1%)	77,0	8
LD(B)	1724(63,9%)	2419 (89,6%) 86 (3,2 %)	609 (22,6%)	260 (9,6%)	20 (0,7%)	90,8	11
ME(B)	1709(63,3%)	2201 (81,5%) 167 (6,2%)	325 (12,0%)	476 (17,6%)	22 (0,8%)	83,3	17
AT(B)	1932(71,6%)	2356 (87,3%) 186 (6,9%)	238 (8,8%)	326 (12,1%)	17 (0,6%)	88,8	10
Media (±SD)	2010 (74,5%) (±306,4)	2422,3 (89,7%)(±149,2) 138,8 (5,1%) (±87,9)	272,8(10,1%) (±159,2)	255,1(9,5%) (±149,1)	21,6(0,8%) (±5,3)	89,1 (±6,4)	11,0 (±4,1)

Tabela C.3: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-4 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático ‘Autom’, tempo de rastreamento ‘tempo’ e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, ‘Id.Certo’, ‘Id.Errado’ e ‘Id.Indef’)

	Segmentação					Rastreamento	
	Isolado			Junção [Quadros]	F. Neg [Quadros]	Autom [%]	tempo rastr [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id. Indef [Quadros]				
ZA(A)	1808 (67,0%)			889 (32,9%)	2 (0,1%)	67,0	20
	1399 (51,8%)	395 (14,6%)	14 (0,5%)				
LE(A)	2313 (85,7%)			373 (13,8%)	13 (0,5%)	86,8	21
	2182 (80,8%)	94 (3,5%)	37 (1,4%)				
LD(A)	2312 (85,7%)			385 (14,3%)	2 (0,1%)	86,4	19
	2224 (82,4%)	69 (2,6%)	19 (0,7%)				
ME(A)	2361 (87,5%)			327 (12,1%)	11 (0,4%)	88,4	18
	2214 (82,0%)	131 (4,9%)	16 (0,6%)				
AT(A)	2128 (78,8%)			565 (20,9%)	6 (0,2%)	79,9	28
	1996 (74,0%)	74 (2,7%)	58 (2,1%)				
ZA(B)	1795(66,5%)			895(33,2%)	9(0,3%)	67,8	21
	986(36,5%)	436(16,2%)	373(13,8%)				
LE(B)	1916(71,0%)			778(28,8%)	5(0,2%)	72,3	26
	930(34,5%)	275(10,2%)	711(26,3%)				
LD(B)	2242(83,1%)			424(15,7%)	33(1,2%)	85,2	23
	1482(54,9%)	295(10,9%)	465(17,2%)				
ME(B)	2045(75,8%)			639(23,7%)	15(0,6%)	77,2	28
	1014(37,6%)	345(12,8%)	686(25,4%)				
AT(B)	1695(62,8%)			975(36,1%)	29(1,1%)	64,9	27
	904(33,5%)	210(7,8%)	581(21,5%)				
Media (±SD)	2061,5(76,4%) (±245,8)			625,0(23,2%) (±245,5)	12,5(0,5%) (±10,7)	77,6 (±9,1)	23,1 (±3,8)
	1533,1(56,8%) (±570,1)	232,4(8,6%) (±136,6)	296,0(11,0%) (±297,9)				

Tabela C.4: Resultado do processo de medição automático para o jogo J-5 relativo à etapa de segmentação (falso negativo, isolado e junção) e à etapa de rastreamento automático (percentual de rastreamento automático ‘Autom’, tempo de rastreamento ‘tempo’ e a descrição da classificação feita no processo de identificação do time*, ‘Id.Certo’, ‘Id.Errado’ e ‘Id.Indef’)

	Segmentação					Rastreamento	
	Isolado			Junção [Quadros]	F. Neg [Quadros]	Autom [%]	tempo rastr [min]
	Id. Certo [Quadros]	Id. Errado [Quadros]	Id. Indef [Quadros]				
ZA(A)	2186(81,0%)	2434(90,2%) 125(4,6%)	123(4,6%)	261(9,7%)	4(0,1%)	90,8	7
LE(A)	2321(86,0%)	2503(92,7%) 109(4,0%)	73(2,7%)	189(7,0%)	7(0,3%)	93,2	20
LD(A)	2280(84,5%)	2387(88,4%) 56(2,1%)	51(1,9%)	311(11,5%)	1(0,0%)	89,0	18
ME(A)	2008(74,4%)	2118(78,5%) 38(1,4%)	72(2,7%)	565(20,9%)	16(0,6%)	79,7	14
AT(A)	1927(71,4%)	2137(79,2%) 80(3,0%)	130(4,8%)	555(20,6%)	7(0,3%)	80,1	20
ZA(B)	1893(70,1%)	2023(75,0%) 64(2,4%)	66(2,4%)	654(24,2%)	22(0,8%)	76,5	21
LD(B)	2401(89,0%)	2529(93,7%) 46(1,7%)	82(3,0%)	162(6,0%)	8(0,3%)	94,4	20
LE(B)	2074(76,8%)	2141(79,3%) 28(1,0%)	39(1,4%)	517(19,2%)	41(1,5%)	81,3	13
ME(B)	2130(78,9%)	2263(83,8%) 48(1,8%)	85(3,1%)	421(15,6%)	15(0,6%)	85,4	13
AT(B)	2022(74,9%)	2391(88,6%) 193(7,2%)	176(6,5%)	297(11,0%)	11(0,4%)	89,5	21
Media	2292,6 (84,9%)(±179,5)			393,2(14,6%)	13,2(0,5%)	86,0	16,7
(±SD)	2124,2(78,7%) (±170,7)	78,7(2,9%) (±50,7)	89,7(3,3%) (±41,5)	(±172,7)	(11,6±)	(±6,3)	(±4,7)

APÊNDICE-D: Resultados de distância percorrida.

Tabela D.1: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-2 (time A e B)

J-2	Manual [m]	Autom [m]	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ [%]	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$ [m]
ZA(A)	678,4	706,9	4,2	0,7
LE(A)	830	852,1	2,6	1,2
LD(A)	641,1	652,4	1,7	0,9
ME(A)	878,1	893,6	1,7	1,2
AT(A)	613,2	646,4	5,4	0,9
ZA(B)	595,7	585,6	-1,7	1,2
LE(B)	798	805,7	0,9	1,1
LD(B)	756,6	740,2	-2,1	1,4
ME(B)	569,9	568,1	0,3	1,6
AT(B)	563,6	561,8	0,3	1,5
Media	692,5	701,3	2,1	1,2
($\pm$ SD)	($\pm 114,9$)	($\pm 119,3$)	($\pm 1,6$)	($\pm 0,3$)

Tabela D.2: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-3 (time A e B)

J-3	Manual [m]	Autom [m]	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$ [%]	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$ [m]
ZA(A)	708,8	682,2	-3,7	0,7
LE(A)	791,6	770,0	-2,7	0,7
LD(A)	779,6	712,0	-8,6	1,1
AT(A)	703,3	689,4	-1,9	0,7
ME(A)	858,0	805,6	-6,1	1,0
ZA(B)	664,7	649,4	-2,3	0,6
LE(B)	841,6	844,9	0,3	0,6
LD(B)	737,9	725,0	-1,7	0,6
AT(B)	872,3	856,6	-1,7	0,8
ME(B)	848,3	836,8	-1,3	0,6
Media	780,6	757,2	3,0	0,7
($\pm$ SD)	($\pm 73,9$)	($\pm 75,5$)	($\pm 2,5$)	($\pm 0,2$)

Tabela D.3: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-4 (time A e B)

J-4	Manual	Autom	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$
	[m]	[m]	[%]	[m]
ZA(A)	670,4	663,7	-1,0	1,7
LE(A)	859,3	829,9	-3,4	1,1
LD(A)	737,1	727,3	-1,3	1,3
ME(A)	745,9	756,7	1,4	1,2
AT(A)	796,0	777,4	-2,3	0,9
ZA(B)	659,3	641,6	-2,6	0,9
LE(B)	676,0	675,0	-0,1	1,1
LD(B)	863,0	857,2	-0,6	0,8
ME(B)	801,0	800,0	-0,1	0,7
AT(B)	929,2	926,2	-0,3	0,9
Media	773,7	765,5	1,3	1,1
($\pm$ SD)	($\pm$ 92,0)	($\pm$ 91,4)	($\pm$ 1,1)	($\pm$ 0,3)

Tabela D.4: Resultados de distância percorrida e dos erros relativos na determinação da posição ($\text{Erro}_{\text{detPos}}$) e da distância percorrida ($\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$) dos jogadores relacionados ao jogo J-5 (time A e B)

J-5	Manual	Autom	$\text{Erro}_{\text{DistPerc}}$	$\text{Erro}_{\text{detPos}}$
	[m]	[m]	[%]	[m]
ZA(A)	591,4	556,1	-5,9	1,0
LE(A)	661,8	641	-3,1	0,9
LD(A)	701,8	674,1	-3,9	1,1
ME(A)	824,9	804,7	-2,4	1,1
AT(A)	680,1	670,9	-1,3	1,1
ZA(B)	723,2	710,9	-1,6	0,7
LE(B)	704,4	677,5	-3,8	1,0
LD(B)	663,7	671,5	1,1	0,9
ME(B)	758,5	739,9	-2,4	0,7
AT(B)	724,6	711,9	-1,7	1,0
Media	703,44	685,85	2,72	0,9
($\pm$ SD)	($\pm$ 62,4)	($\pm$ 64,8)	($\pm$ 1,5)	($\pm$ 0,1)

APÊNDICE-E: Quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro.

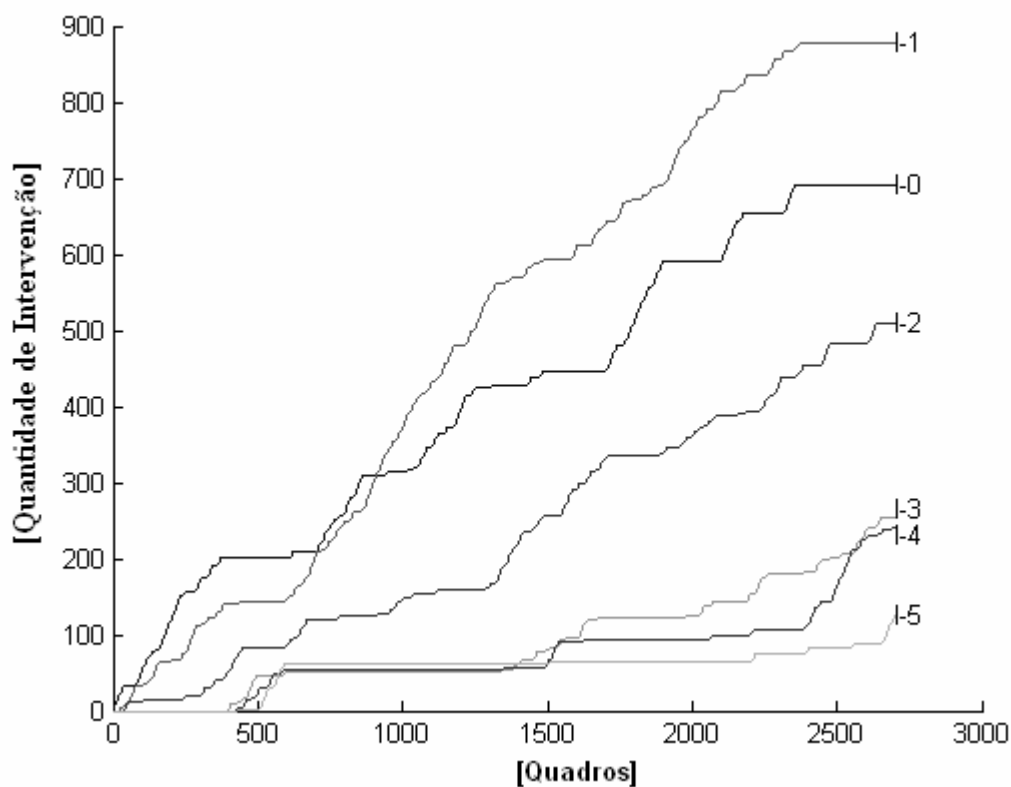


Figura E.1: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-2 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções.

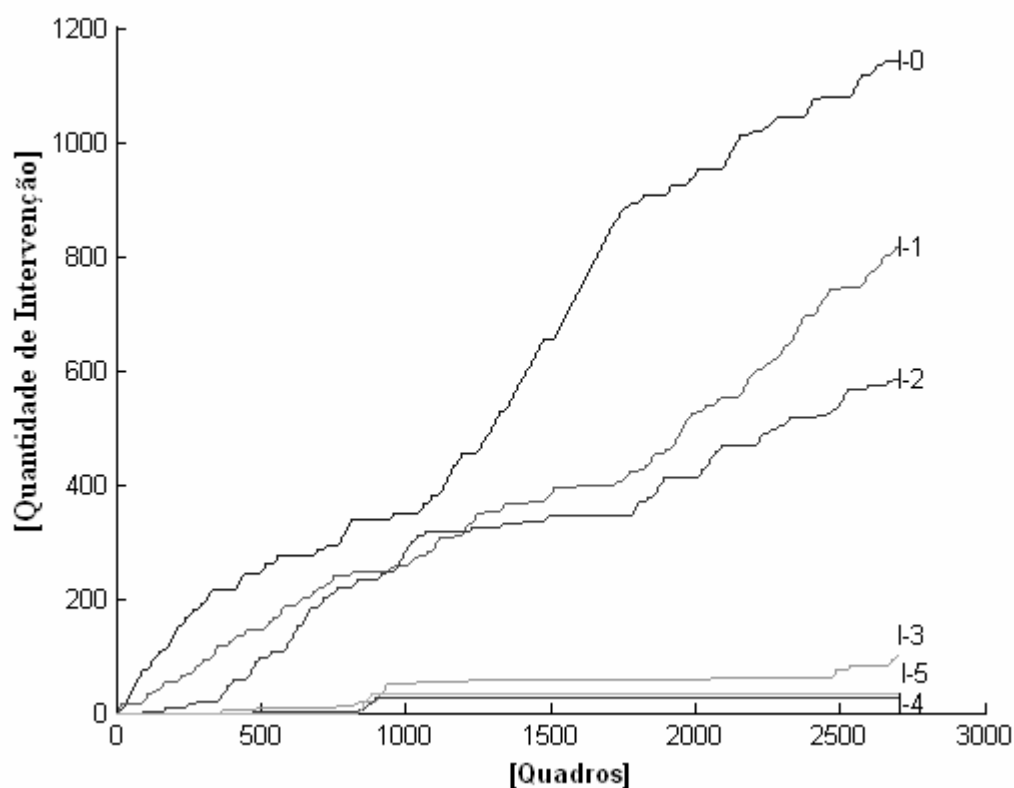


Figura E.2: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-3 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções..

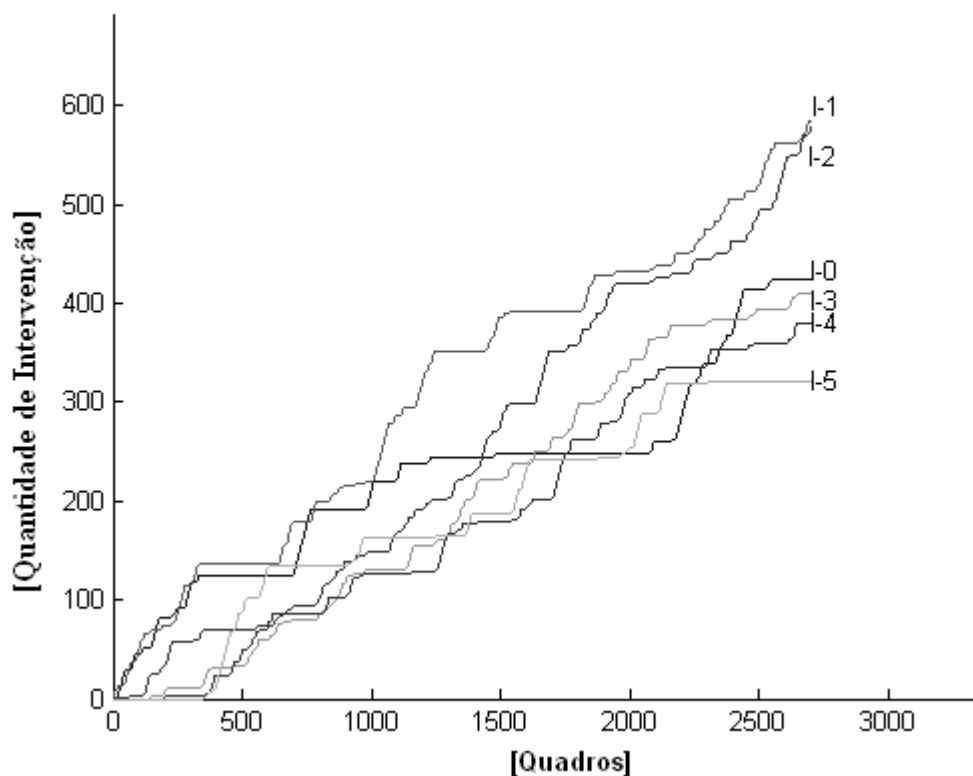


Figura E.3: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-4 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções..

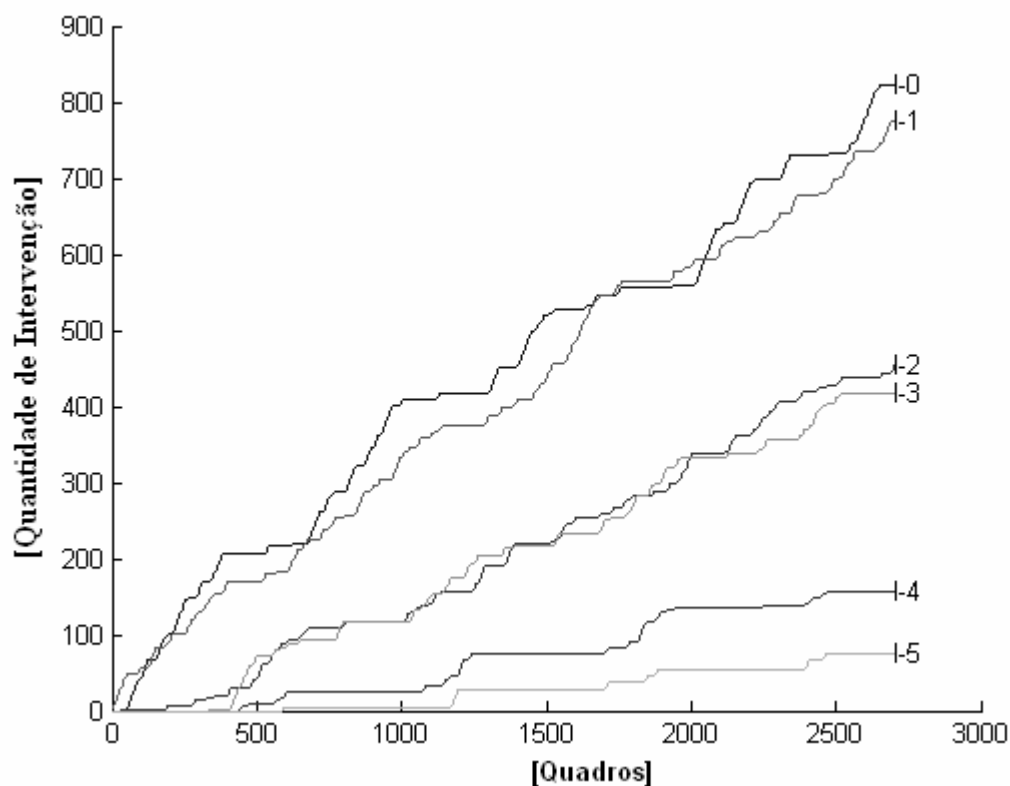


Figura E.4: Resultados da quantidade de intervenções manuais ocorridas em cada quadro durante o rastreamento automático do jogo J-5 (2700 quadros) considerando os 10 jogadores. I-0 (sem intervenção), I-1: 1 intervenção, I-2: 2 intervenções, I-3: 3 intervenções, I-4: 4 intervenções, I-5: mais que 4 intervenções..