

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

RAFAEL POMBO MENEZES

**ANÁLISE CINEMÁTICA DAS
TRAJETÓRIAS DE JOGADORES
DE HANDEBOL OBTIDAS POR
RASTREAMENTO AUTOMÁTICO**

Campinas
2007

RAFAEL POMBO MENEZES

**ANÁLISE CINEMÁTICA DAS
TRAJETÓRIAS DE JOGADORES
DE HANDEBOL OBTIDAS POR
RASTREAMENTO AUTOMÁTICO**

Dissertação de Mestrado
apresentada à Pós-Graduação da
Faculdade de Educação Física da
Universidade Estadual de Campinas
para obtenção do título de Mestre
em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas
2007

RAFAEL POMBO MENEZES

**ANÁLISE CINEMÁTICA DAS
TRAJETÓRIAS DE JOGADORES
DE HANDEBOL OBTIDAS POR
RASTREAMENTO AUTOMÁTICO**

Este exemplar corresponde à
redação final da Dissertação de
Mestrado defendida por Rafael
Pombo Menezes e aprovada pela
Comissão julgadora em: 12/02/2007.



Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Orientador

Campinas
2007

UNIDADE BC
Nº CHAMADA: T/UNICAMP M524a
V. EX.
TOMBO BCCL 73704
PROC 16-P-345-02
C 0
PREÇO 11,00
DATA 14/08/07
BIB-ID 418675

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA
PELA BIBLIOTECA FEF - UNICAMP**

M524a Menezes, Rafael Pombo.
Análise cinemática das trajetórias de jogadores de handebol obtidas por rastreamento automático / Rafael Pombo Menezes. - Campinas, SP: [s.n], 2007.

Orientador: Ricardo Machado Leite de Barros.
Dissertação (mestrado) - Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.

1. Biomecânica. 2. Rastreamento automático. 3. Cinemática. 4. Handebol. I. Barros, Ricardo Machado Leite de. II. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação Física. III. Título.

(asm/fef)

Título em inglês: Kinematical analysis of handball players trajectories obtained by automatic tracking.

Palavras-chaves em inglês (Keywords): Biomechanics; Automatic Tracking; Kinematical Analysis; Handball.

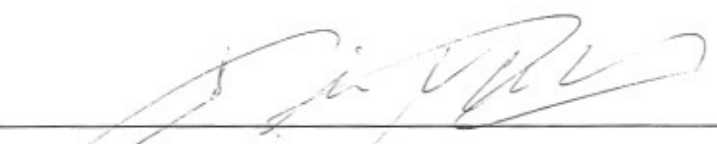
Área de Concentração: Biodinâmica do movimento humano.

Titulação: Mestrado em Educação Física.

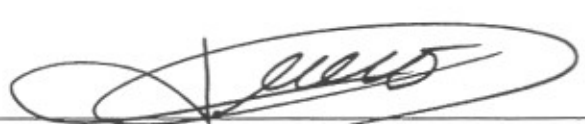
Banca Examinadora: Pablo Juan Greco. Pascual Jovino Figueroa. Sérgio Augusto Cunha. Luciano Allegretti Mercadante. Ricardo Machado Leite de Barros.

Data da defesa: 12/02/2007.

COMISSÃO JULGADORA



Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros
Faculdade de Educação Física – UNICAMP



Titular: Prof. Dr. Pablo Juan Greco
Escola de Educação Física – UFMG



Titular: Prof. Dr. Pascual Jovino Figueroa
LIB – UNICAMP



Suplente: Prof. Dr. Sérgio Augusto Cunha
Faculdade de Educação Física – UNICAMP



Suplente: Prof. Dr. Luciano Allegretti Mercadante
Faculdade de Educação Física – UNICAMP

Agradecimentos

A Deus, por ter me iluminado, dado forças nas horas em que precisei e aberto bons caminhos para que eu os trilhasse até o final.

À minha família: Marco, Flora e Rodolfo por serem o apoio necessário em todas as situações de tristeza e, principalmente, compartilharem os momentos de alegria.

À Carol e à sua família, pela atenção especial e exclusiva durante essa fase da minha vida e pelo apoio em todas as situações.

Ao Prof. Ricardo, por ter sido um espelho para a minha formação acadêmica desde o segundo ano de faculdade. Pela sua seriedade e competência profissional.

Aos amigos do LIB: Miltão, Tiago, Luciano e Marião, por estarem ao meu lado sempre que precisei, me ensinando e estimulando a continuar no eterno processo de aprendizagem.

Ao Prof. Sérgio Cunha, por ter se revelado um grande amigo e um excelente mestre, com sua paciência e seriedade acadêmicas.

Ao Clodoaldo, que durante esses 7 anos de convivência se revelou como um segundo irmão para mim.

Aos demais companheiros do LIB pelos anos de convivência.

Aos atletas das equipes de handebol com os quais trabalhei, por fazer com que eu me apaixone cada dia mais pelo esporte.

À Profa. Heloisa Reis, por ser uma pessoa fantástica dentro e fora da Universidade e por me incentivar a estudar cada vez mais o handebol.

A todos os demais que torciam a favor ou contra a ordem natural das coisas.

MENEZES, Rafael Pombo. **Análise Cinemática das Trajetórias de Jogadores de Handebol Obtidas por Rastreamento Automático**. 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

RESUMO

Os esportes coletivos têm se tornado um objeto de investigação científica em diversas áreas do conhecimento. Muitos desses estudos necessitam de desenvolvimento de metodologias para a quantificação das variáveis de análise. A análise cinemática dos jogadores por videogrametria fornece dados sobre a posição dos jogadores em função do tempo e apresenta vantagens, como a possibilidade de análise de diversos jogadores simultaneamente e a de ser um método não-invasivo, podendo ser aplicada em situações competitivas. Trabalhos recentes de desenvolvimento de metodologias para rastreamento automático de jogadores de futebol apresentam bons resultados para a obtenção de suas trajetórias e cálculo das distâncias percorridas e velocidades de cada jogador. Este trabalho consiste em propor e avaliar um método de rastreamento automático de jogadores de handebol por videogrametria e na aplicação desse método em uma partida oficial da Liga Regional de Handebol. Os objetivos do trabalho foram: a) especializar os algoritmos e habilitar o sistema de rastreamento automático desenvolvido para o futebol para identificação e rastreamento automático de jogadores de handebol; b) realizar testes de exatidão em ambiente controlado para validação da metodologia; c) obter as trajetórias dos jogadores e cálculo das distâncias percorridas e velocidades durante a partida. Os resultados da avaliação do sistema foram: erro sistemático (0,16 m), desvio padrão experimental (0,08 m) e exatidão (0,18 m). Para a segmentação das imagens foi obtida uma taxa de processamento de 2,7 quadros por segundo e a etapa de separação dos *blobs* aumentou em 25% o número de regiões identificadas referentes aos jogadores na quadra de jogo. Para o rastreamento com duas câmeras foram obtidos um percentual médio de automatização do sistema de 75% e um valor médio de 37 intervenções do pesquisador e, para o rastreamento com quatro câmeras, médias de 84% de automatização e 15,8 intervenções do pesquisador. Quanto à aplicação do método de rastreamento automático para uma partida de handebol foi possível obter as trajetórias de todos os jogadores. A partir das trajetórias foram calculadas as distâncias percorridas e as velocidades. A média das distâncias percorridas pelos jogadores foi de $4631,6 \pm 361,6$ m. A distribuição das velocidades de todos os jogadores apresentou os seguintes resultados para 27 minutos de análise: parado ($4,2 \pm 0,9$ min); caminhando ($16,5 \pm 1$ min); trotando ($4,8 \pm 0,6$ min); corrida rápida ($1,2 \pm 0,3$ min); *sprint* ($0,3 \pm 0,1$ min). Foram desenvolvidas e apresentadas formas de visualização dos dados, como: a) a representação das trajetórias de acordo com as velocidades dos jogadores; b) Análise por Componentes Principais das trajetórias dos jogadores; c) desenvolvimento de duas interfaces para visualização dos dados cinemáticos. O método proposto mostrou-se satisfatório para a identificação das variáveis cinemáticas durante situações competitivas.

Palavras-chave: Biomecânica; Rastreamento Automático; Análise Cinemática; Handebol

MENEZES, Rafael Pombo. **Kinematical Analysis of Handball Players Trajectories Obtained by Automatic Tracking**. 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ABSTRACT

The collective sports have become object of scientific investigation in many knowledge areas. A lot of these studies need the development of methodology to quantify the analysis variables. The kinematical analysis of players by videogrammetry gives data about player's position in function of time and gives advantages, like the possibility to analyze lots of players simultaneously and the method is not invasive, so it can be applied in competitive situations. Recent works of development of methodology to automatic tracking of soccer players show good results to obtain their trajectories and calculate the covered distance and the velocity of each player. The aim of this work is to propose and evaluate a method of automatic tracking of handball players by videogrammetry and its application on an official game of the Regional Handball League. The specific aims of the work are: a) the specialization of the algorithms and qualify the automatic tracking system developed to soccer for the identification and automatic tracking of handball players; b) realize accuracy tests in controlled environment for the methodology validation; c) to obtain player's trajectories and calculate the covered distances and the velocities during the game. The results of the evaluation of the system were: systematic error (0,16 m), experimental standard deviation (0,08 m) and accuracy (0,18 m). For the image segmentation was obtained a processing rate of 2,7 fps and the step of blobs splitting increases in 25% the number of players regions identified in the image. For the tracking with two cameras the automatization of the system was evaluated in 75% (average) and an average value of 37 interventions of the researcher during the tracking. For the tracking with four cameras the automatization of the system was evaluated in 84% (average) and an average value of 15.8 interventions of the researcher during the tracking. About the application of the method of automatic tracking for a handball game it was possible to get all the players trajectories. Starting from the trajectories it was possible to calculate the covered distance and the velocity. The average of the covered distances by the players was $4631,6 \pm 361,6$ m. The distribution of the velocities of all players to 27 minutes of analysis was: stopped ($4.2 \pm 0,9$ min); walking ($16,5 \pm 1$ min); slow running ($4,8 \pm 0,6$ min); fast running ($1,2 \pm 0,3$ min); sprint ($0,3 \pm 0,1$ min). It was developed and presented forms of data visualization, like: a) representation of trajectories in agreement to players' velocities; b) principal components analysis (PCA) of players' trajectories; c) development of two interfaces for kinematics data visualization. The purposed method was satisfactory for the identification of the kinematics variables during competitive situations.

Key-words: Biomechanics; Automatic Tracking; Kinematical Analysis; Handball

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLOS DE OCLUSÃO EM UMA SITUAÇÃO DE COBRANÇA DE ESCANTEIO NO FUTEBOL E DE UM PROCESSO OFENSIVO NO HANDEBOL	8
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DO AMBIENTE DE COLETA.....	14
FIGURA 3 - ENQUADRAMENTO DAS CÂMERAS 1 E 2, RESPECTIVAMENTE.....	14
FIGURA 4 - ESQUEMA DO POSICIONAMENTO DAS CÂMERAS E PONTOS UTILIZADOS PARA A CALIBRAÇÃO DESSAS CÂMERAS.....	19
FIGURA 5 - IDENTIFICAÇÃO DOS P_i PONTOS MEDIDOS NA QUADRA	20
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NA ESCOLHIDOS PARA O TESTE DE EXATIDÃO DO SISTEMA	20
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO DOS 22 PONTOS DE REFERÊNCIA ANALISADOS (A). OBSERVAÇÕES (N=10) DE CADA PONTO DE REFERÊNCIA (B)	21
FIGURA 8: DISTÂNCIA MÉDIA $\pm$ DESVIO-PADRÃO DAS 10 OBSERVAÇÕES EM RELAÇÃO AO RESPECTIVO PONTO MEDIDO.....	22
FIGURA 9 - INTERFACE DO SISTEMA DVIDEOW PARA A SEGMENTAÇÃO DAS IMAGENS.....	27
FIGURA 10 – SIMPLIFICAÇÃO EM FORMATO DE DIAGRAMA DE BLOCOS DA INTERFACE COM AS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DO SISTEMA DVIDEOW.....	27
FIGURA 11 - LEITURA DO QUADRO ATUAL DA IMAGEM	28
FIGURA 12 - SELEÇÃO DA REGIÃO DE INTERESSE PARA A SEGMENTAÇÃO	29
FIGURA 13 - IMAGEM DE FUNDO CALCULADA	30
FIGURA 14 - SUBTRAÇÃO DO FUNDO DO QUADRO ATUAL.....	31
FIGURA 15 - TRANSFORMAÇÃO DA IMAGEM RESTANTE EM NÍVEIS DE CINZA	31
FIGURA 16 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DE UM FILTRO COM LIMIAR DE INTENSIDADE DE 25. O CONTO RNO REPRESENTA A REGIÃO DE PIXELS OCUPADA PELO JOGADOR	32
FIGURA 17 - APLICAÇÃO DO FILTRO PASSA-ALTA (BINARIZAÇÃO DA IMAGEM).....	33
FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO BINÁRIA DAS REGIÕES DESCONEXAS DOS JOGADORES NA IMAGEM	33
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO DA DILATAÇÃO DE UMA REGIÃO.....	34
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO DA EROSIÃO DE UMA REGIÃO.....	35
FIGURA 21 - IMAGEM BINÁRIA APÓS A APLICAÇÃO DOS FILTROS MORFOLÓGICOS DE DILATAÇÃO E EROSIÃO	36
FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO DE CONEXIDADE COM DISTANCIA DE RAIO $\sqrt{2}$	37
FIGURA 23 - ESQUEMA DO LABELING DAS REGIÕES CONECTADAS QUE REPRESENTAM OS JOGADORES NAS IMAGENS. EM A: KERNEL 3X3 APLICADO À PRIMEIRA LINHA DA IMAGEM MXN; B: APLICAÇÃO À SEGUNDA LINHA; C: APLICAÇÃO À TERCEIRA LINHA; D: APÓS A APLICAÇÃO EM TODA A IMAGEM (COLUNA N E LINHA M)	38
FIGURA 24 - ESQUEMATIZAÇÃO DA ETAPA DE SEPARAÇÃO DOS BLOBS E DA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE GRAFOS EM 4 QUADROS CONSECUTIVOS DE UMA SEQUÊNCIA DE IMAGENS	40
FIGURA 25 - QUADROS CORRESPONDENTES AOS INSTANTES 1, 2 E 3	42
FIGURA 26 - CURVAS REFERENTES AO NÚMERO DE BLOBS IDENTIFICADOS ANTES E APÓS O PROCEDIMENTO DE SEPARAÇÃO DOS BLOBS (EM AZUL E VERMELHO, RESPECTIVAMENTE)	43
FIGURA 27 - IDENTIFICAÇÃO DO PÉ DO JOGADOR NA REGIÃO DO BLOB. A INTERSECÇÃO ENTRE O VALOR MÁXIMO DA COORDENADA Y E A POSIÇÃO CENTRAL DO BLOB NO EIXO X É O PONTO A SER RASTREADO..	45
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DO ERRO DO ALGORITMO NA (SEQUÊNCIA 1) E APÓS A CORREÇÃO DO RASTREAMENTO (SEQUÊNCIA 2)	46
FIGURA 29 - COORDENADAS REFERENTES AO RASTREAMENTO DE TODOS OS JOGADORES NA IMAGEM. OS RETÂNGULOS AZUIS E VERMELHOS INDICAM JOGADORES DE EQUIPES DIFERENTES	47
FIGURA 30 - ESQUEMA DO POSICIONAMENTO DAS 4 CÂMERAS.....	49
FIGURA 31 - IMAGENS DAS 4 CÂMERAS. NO SENTIDO HORÁRIO, A PARTIR DO CANTO SUPERIOR ESQUERDO: CÂMERA 1, CÂMERA 2, CÂMERA 4 E CÂMERA 3.....	50
FIGURA 32 - SITUAÇÃO 1: OCLUSÃO ENTRE DOIS JOGADORES VISTA PELA CÂMERA 1. SITUAÇÃO 2: OCLUSÃO "RESOLVIDA" PELA IMAGEM DA CÂMERA 3.....	53

FIGURA 33 – DISTÂNCIAS (EM METROS) ENTRE AS COORDENADAS OBTIDAS PELO RASTREAMENTO AUTOMÁTICO EM RELAÇÃO ÀS COORDENADAS OBTIDAS PELO RASTREAMENTO MANUAL.....	57
FIGURA 34 - NA ESQUERDA: GRÁFICO DA COORDENADA X MANUAL <i>VERSUS</i> COORDENADA X AUTOMÁTICA. NA DIREITA: GRÁFICO DA COORDENADA Y MANUAL <i>VERSUS</i> COORDENADA Y AUTOMÁTICA. EM PRETO ESTÃO REPRESENTADAS AS RETAS DE REGRESSÃO PARA AMBOS OS CASOS.....	59
FIGURA 35 - FILTRAGEM DAS COORDENADAS X E Y REFERENTES ÀS TRAJETÓRIAS DE UM JOGADOR. EM AZUL: BRUTA; EM VERMELHO: APÓS FILTRAGEM	68
FIGURA 36 - TRECHO DA TRAJETÓRIA DE UMA JOGADOR. EM AZUL: TRAJETÓRIA BRUTA; EM VERMELHO: TRAJETÓRIA FILTRADA.....	68
FIGURA 37 - TRAJETÓRIAS DESCRITAS PELO PIVÔ (AZUL) E PELO PONTA ESQUERDA (VERMELHO) DA MESMA EQUIPE DURANTE TODO O PRIMEIRO TEMPO DE UMA PARTIDA	70
FIGURA 38 - TRAJETÓRIAS DE TODOS OS JOGADORES DA EQUIPE A APÓS O FINAL DO PRIMEIRO TEMPO DE PARTIDA	71
FIGURA 39 - REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE FORMADA PELA QUANTIFICAÇÃO DOS TEMPOS DE PERMANÊNCIA EM CADA REGIÃO DA QUADRA	74
FIGURA 40 - TRAJETÓRIAS (A) E ZONAS DE MAIOR TEMPO DE PERMANÊNCIA (B) DO PIVÔ DA EQUIPE A DURANTE O PRIMEIRO TEMPO DE JOGO	74
FIGURA 41 - REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL FORMADAS PELA QUANTIFICAÇÃO DO TEMPO DE PERMANÊNCIA DO JOGADOR EM CADA REGIÃO DA QUADRA	76
FIGURA 42 - DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELOS JOGADORES DA EQUIPE A E EQUIPE B. PRIMEIRO TEMPO: TITULARES EM AZUL ESCURO E RESERVAS EM AZUL CLARO. SEGUNDO TEMPO: TITULARES EM AMARELO E RESERVAS EM VERMELHO	80
FIGURA 43 - CURVAS DE DISTÂNCIA PERCORRIDA DE TODOS OS JOGADORES DA EQUIPE A DURANTE O PRIMEIRO TEMPO DE UMA PARTIDA. SIGLAS: PD - PONTA DIREITA; A -C/D - ARMADOR CENTRAL/DIREITO; A -C/E - ARMADOR CENTRAL/ESQUERDO; PE - PONTA ESQUERDA; AD + AE - ARMADOR ESQUERDO E ARMADOR DIREITO (TITULAR + SUPLENTE); PV - PIVÔ.....	82
FIGURA 44 - CURVAS DE DISTÂNCIA PERCORRIDA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE TODOS JOGADORES DA EQUIPE B DURANTE O PRIMEIRO TEMPO DE PARTIDA. SIGLAS: PD - PONTA DIREITA; PE - PONTA ESQUERDA; AE - ARMADOR ESQUERDO; AC - ARMADOR CENTRAL (TITULAR + SUPLENTE); PV – PIVÔ; AD - ARMADOR DIREITO.....	83
FIGURA 45 - CURVA DE VELOCIDADE DO PONTA ESQUERDA DA EQUIPE A DURANTE UM TEMPO INTEIRO DE PARTIDA	86
FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO DA CURVA DE VELOCIDADE DO PONTA ESQUERDA DA EQUIPE A DURANTE TODO O PRIMEIRO TEMPO DE PARTIDA NA QUAL AS CORES REPRESENTAM AS DIFERENTES FAIXAS DE VELOCIDADES	88
FIGURA 47 - DISTRIBUIÇÃO DAS VELOCIDADES DO PONTA ESQUERDA DA EQUIPE A NO PRIMEIRO TEMPO DA PARTIDA	89
FIGURA 48 - DISTRIBUIÇÃO DO PERCENTUAL DE VELOCIDADES DE TODOS OS JOGADORES DAS EQUIPES A E B AO FINAL DO PRIMEIRO TEMPO DE PARTIDA. PE: PONTA ESQUERDA; PD: PONTA DIREITA; PV: PIVÔ; AC: ARMADOR CENTRAL; AE: ARMADOR ESQUERDO; AD: ARMADOR DIREITO	90
FIGURA 49 - REPRESENTAÇÃO DA DIVISÃO DOS SETORES DO HANDEBOL EM LINHAS OFENSIVAS (A) E DEFENSIVAS (B).....	97
FIGURA 50 - REPRESENTAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CONSIDERADAS NAS DIVISÕES DE ZONAS OFENSIVAS E DEFENSIVAS DOS JOGADORES DE HANDEBOL	98
FIGURA 51 - REPRESENTAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM PONTA ESQUERDA (EM VERMELHO) E DE UM PIVÔ (EM AZUL)	99
FIGURA 52 - ESQUEMA DA REPRESENTAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS E AS VARIÁVEIS CALCULADAS ..	101
FIGURA 53 - TRAJETÓRIA DE UM PONTA ESQUERDA DE ACORDO COM AS FAIXAS DE VELOCIDADE, SENDO: EM PRETO – ANDANDO; EM AZUL – TROTANDO; EM VERDE – CORRENDO; EM VERMELHO – <i>SPRINT</i>	105
FIGURA 54 - INTERFACE DESENVOLVIDA PARA A VISUALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CINEMÁTICAS	107
FIGURA 55 - INTERFACE DESENVOLVIDA PARA COMPARAÇÃO DA PCA ENTRE 2 JOGADORES	108

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COORDENADAS (X E Y) REFERENTES A CADA VALOR ESPERADO, VALOR MÉDIO DAS N MEDIÇÕES ($\bar{x}$ E $\bar{y}$) REFERENTES AOS VALORES OBSERVADOS E VALORES DE ERRO SISTEMÁTICO (B), DESVIO PADRÃO EXPERIMENTAL (S) E EXATIDÃO (E) PARA CADA PONTO P_i	25
TABELA 2 - TESTE DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO, ONDE ESTÃO REPRESENTADOS OS JOGADORES RASTREADOS, O NÚMERO DE INTERVENÇÕES DO PESQUISADOR, O NÚMERO DE QUADROS RASTREADOS AUTOMATICAMENTE E O PERCENTUAL DE AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA EM UMA SEQUÊNCIA DE IMAGENS DE 12138 QUADROS	48
TABELA 3 - QUANTIFICAÇÃO DO NÚMERO DE INTERVENÇÕES DO PESQUISADOR DURANTE O RASTREAMENTO DE CADA JOGADOR E PERCENTUAL DE AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE RASTREAMENTO COM REDUNDÂNCIA DE IMAGENS EM UMA SEQUÊNCIA DE IMAGENS DE 2235 QUADROS	51
TABELA 4 - MÉDIA DE INTERVENÇÕES DO PESQUISADOR E MÉDIA QUADROS RASTREADOS MANUALMENTE NOS TESTES DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO COM 2 E 4 CÂMERAS	55
TABELA 5 - MEDIÇÃO DOS ERROS DO PROCEDIMENTO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO. VARIÁVEIS: E_m (MÉDIA DAS DISTÂNCIAS ENTRE A MEDIÇÃO AUTOMÁTICA E A MEDIÇÃO MANUAL); SD (DESVIO-PADRÃO DA MEDIÇÃO AUTOMÁTICA EM RELAÇÃO À MEDIÇÃO MANUAL); D (DISTÂNCIA PERCORRIDA POR CADA JOGADOR NO PERÍODO DE ANÁLISE); P (PERCENTUAL ENTRE O RASTREAMENTO AUTOMÁTICO E O RASTREAMENTO MANUAL)	58
TABELA 6 - VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS OBTIDAS A PARTIR DA REGRESSÃO LINEAR REALIZADA ENTRE AS COORDENADAS X (MANUAL E AUTOMÁTICA) E Y (MANUAL E AUTOMÁTICA). VARIÁVEIS CALCULADAS: B_x E B_y (COEFICIENTE LINEAR DAS RETAS DE REGRESSÃO PARA AS COORDENADAS X E Y, RESPECTIVAMENTE); B_{INTX} E B_{INTY} (INTERVALO DE CONFIANÇA PARA O COEFICIENTE LINEAR DAS RETAS DE REGRESSÃO PARA AS COORDENADAS X E Y, RESPECTIVAMENTE); A_x E A_y (COEFICIENTES ANGULARES DAS RETAS DE REGRESSÃO PARA AS COORDENADAS X E Y, RESPECTIVAMENTE); A_{INTX} E A_{INTY} (INTERVALO DE CONFIANÇA PARA O COEFICIENTE ANGULAR DAS RETAS DE REGRESSÃO PARA AS COORDENADAS X E Y, RESPECTIVAMENTE); $\sum res_x^2$ E $\sum res_y^2$ (SOMA DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS REFERENTES ÀS REGRESSÕES LINEARES PARA AS COORDENADAS X E Y, RESPECTIVAMENTE)	60
TABELA 7 - POSIÇÕES OFENSIVAS E DEFENSIVAS DE TODOS OS JOGADORES DA EQUIPE A DURANTE O PRIMEIRO TEMPO DE PARTIDA	72
TABELA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELOS JOGADORES DA EQUIPE A E B DURANTE TODA A PARTIDA. FUNÇÕES TÁTICAS: PE – PONTA ESQUERDA; PD – PONTA DIREITA; AD – ARMADOR DIREITO; AC – ARMADOR CENTRAL; AE – ARMADOR ESQUERDO; PV – PIVÔ	79
TABELA 9 - TEMPO DE PERMANÊNCIA EM CADA FAIXA DE VELOCIDADE POR TODOS OS ATLETAS DAS EQUIPES A E B. OS CASOS ASSINALADOS COM * CORRESPONDEM AOS JOGADORES SUBSTITUÍDOS DURANTE O PRIMEIRO TEMPO.....	91
TABELA 10 - DIVISÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADES DE ACORDO COM A PROPOSTA DE PERS ET AL. (2002). OS CASOS ASSINALADOS COM * CORRESPONDEM AOS JOGADORES SUBSTITUÍDOS DURANTE O PRIMEIRO TEMPO	92
TABELA 11 - RESULTADOS DA QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS A (EM GRAUS), EXCENTRICIDADE (E – ADIMENSIONAL) E ÁREA RELATIVA (A_r – EM PERCENTUAL), REFERENTES AOS EIXOS DAS COMPONENTES PRINCIPAIS DE TODOS OS JOGADORES DURANTE O PRIMEIRO E SEGUNDO TEMPOS DE PARTIDA. ZO E ZD REPRESENTAM ZONA OFENSIVA E ZONA DEFENSIVA. NAS DUAS ÚLTIMAS LINHAS ESTÃO REPRESENTADOS A MÉDIA E O DESVIO-PADRÃO DAS VARIÁVEIS	102

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 BREVE CARACTERIZAÇÃO DO HANDEBOL	3
1.2 OBJETIVO	4
CAPÍTULO 2.....	6
2 RASTREAMENTO DE JOGADORES	6
2.1 INTRODUÇÃO	6
2.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS	13
2.3 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA	16
2.3.1 <i>Teste de exatidão</i>	19
2.4 SEGMENTAÇÃO DAS IMAGENS.....	26
2.4.1 <i>Avaliação da segmentação das imagens</i>	41
2.5 RASTREAMENTO AUTOMÁTICO.....	45
2.5.1 <i>Avaliação do rastreamento automático com a utilização de 2 câmeras</i>	47
2.5.2 <i>Avaliação do rastreamento automático com a utilização de 4 câmeras</i>	49
2.5.2.1 <i>Discussão dos resultados do rastreamento automático com a utilização de 2 e 4 câmeras</i>	52
2.5.3 <i>Rastreamento manual x rastreamento automático</i>	56
2.6 CONCLUSÕES	61
CAPÍTULO 3.....	64
3 ANÁLISES CINEMÁTICAS DE UMA PARTIDA DE HANDEBOL	64
3.1 INTRODUÇÃO	64
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS	66
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS	67
3.4 ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS DE JOGADORES DE HANDEBOL.....	69
3.4.1 <i>Análise da trajetória</i>	69
3.4.2 <i>Análise a partir da representação por curvas de nível</i>	73
3.4.3 <i>Discussões da análise das trajetórias</i>	76
3.5 ANÁLISE DAS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS POR JOGADORES DE HANDEBOL.....	77
3.5.1 <i>Distâncias totais percorridas pelos jogadores</i>	78
3.5.2 <i>Distâncias percorridas em função do tempo</i>	81
3.5.3 <i>Discussões da análise de distâncias percorridas</i>	84
3.6 ANÁLISE DAS VELOCIDADES DE JOGADORES DE HANDEBOL	85
3.6.1 <i>Curvas de velocidade em função do tempo</i>	86
3.6.2 <i>Distribuição de velocidades em faixas de intensidade</i>	88
3.6.3 <i>Discussões das análises das velocidades</i>	92
3.7 ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)	94
3.7.1 <i>Definição dos segmentos das componentes principais</i>	95
3.7.2 <i>Determinação das regiões para cálculo da ACP</i>	96
3.7.3 <i>Descrição das variáveis quantificadas a partir da ACP</i>	99
3.7.4 <i>Resultados da ACP</i>	101
3.7.5 <i>Discussões da ACP</i>	103
3.8 VISUALIZAÇÃO DOS DADOS	104
3.8.1 <i>Velocidades de Acordo com as Trajetórias</i>	104
3.8.2 <i>Desenvolvimento de Interfaces</i>	106
3.8.2.1 <i>Interface de Análise Integrada das Variáveis</i>	106

3.8.2.2	Interface Desenvolvida para a ACP	108
3.9	CONCLUSÕES	110
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		114
APÊNDICE		117
APÊNDICE 1 – REFERÊNCIAS NA QUADRA UTILIZADAS NA CALIBRAÇÃO DO SISTEMA		117

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O handebol é um dos esportes mais praticados na Europa, onde é fonte de estudos de diversos pesquisadores. No Brasil a introdução do handebol é datada do início da década de 30 e, atualmente, desperta o interesse social, seja da iniciativa privada ou instituições governamentais, devido à notável melhora das seleções nacionais no panorama mundial.

Em decorrência de tais fatores e da necessidade de estudos para melhor compreensão da modalidade, nota-se o aumento do interesse acadêmico pelo handebol por diversas áreas do conhecimento, como: Computação (Ciências Exatas), Psicologia e Sociologia (Ciências Humanas), Fisiologia e Bioquímica (Ciências Biológicas), nas quais os pesquisadores realizam análises com diversas equipes de handebol objetivando coletar informações de variáveis apresentadas por jogadores durante as partidas. A busca pelo conhecimento específico do handebol acarreta em quantificações ou desenvolvimento de métodos, sejam eles de rastreamento de jogadores, de periodização do treinamento físico ou de interferência no treinamento técnico-tático.

Na Biomecânica existe o interesse no estudo do movimento humano, seja esse movimento de segmentos corporais, como na análise de uma corrida ou de um arremesso, ou no deslocamento de um corpo em um determinado plano, como a trajetória

do centro de massa projetada no solo. Para a quantificação das variáveis cinemáticas de jogadores de handebol nesta pesquisa foi adotado o modelo de ponto material, pois o interesse está na análise dos deslocamentos do jogador e não da movimentação dos segmentos corporais desse jogador.

Segundo Jug et al. (2003) as observações e análises de movimentos humanos devem responder (ou abranger) a alguns questionamentos como: *onde* (posição do objeto de estudo), *quem* (a identificação do objeto) e *o que isso ou ele (ela) está (ão) fazendo* (atividade que o objeto de estudo está realizando). Nesta pesquisa essas respostas podem ser representadas pelas análises das trajetórias, das distâncias percorridas e das velocidades dos jogadores de handebol durante uma partida.

As análises cinemáticas das equipes de esportes coletivos fornecem indicativos técnico-táticos para a melhoria dos sistemas ofensivos e defensivos das equipes ou mesmo fornecer parâmetros de desempenho das capacidades físicas para possíveis alterações nas variáveis durante a periodização de uma equipe.

Segundo Barros et al. (2001) a aquisição de dados contínuos da posição, velocidade e aceleração de jogadores em função do tempo permitem estudos sobre aspectos biomecânicos, fisiológicos ou estratégicos.

Porém o desenvolvimento de metodologias para análise de movimentos humanos implica em uma série de dificuldades, desde o seu desenvolvimento até sua aplicação. Nos capítulos seguintes esses tópicos serão abordados com maior detalhamento.

Este texto está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução ao problema, caracterização do handebol e objetivos desta pesquisa;
- Capítulo 2 – Rastreamento automático: segmentação e *tracking*. Introdução ao problema; metodologia; resultados; discussões e conclusões;
- Capítulo 3 – Análises cinemáticas de uma partida de handebol. Análise de trajetórias, distâncias percorridas e velocidades dos jogadores de handebol; desenvolvimento de formas de visualização das variáveis; discussões e conclusões;
- Considerações finais referentes aos capítulos 2 e 3.

1.1 Breve Caracterização do Handebol

O handebol é um esporte coletivo, disputado entre duas equipes em uma quadra com dimensões de 40 metros de comprimento por 20 metros de largura. O objetivo principal no handebol é a consecução dos gols e, conseqüentemente, evitar que a equipe adversária consiga marcar seus gols. Para isso a bola deve ser arremessada para dentro da meta adversária, sendo considerado gol quando a bola ultrapassar completamente a linha de fundo por entre as traves e abaixo do travessão.

As equipes são compostas por 14 jogadores, sendo 7 titulares (dentre eles 1 goleiro e 6 jogadores de linha) e 7 suplentes (sem a obrigatoriedade de possuir um goleiro entre os inscritos).

O tempo de jogo para partidas entre equipes masculinas e entre equipes femininas da categoria júnior é de 2 tempos de 30 minutos cada, com 10 minutos de intervalo entre os tempos de jogo.

1.2 Objetivo

Este trabalho consiste em propor, avaliar e aplicar um método de rastreamento automático de jogadores de handebol. Os objetivos específicos para o método de rastreamento automático são:

- Especializar os algoritmos e habilitar o sistema de rastreamento automático desenvolvido para o futebol para identificação e rastreamento automático de jogadores de handebol;
- Realizar um teste de exatidão em ambiente controlado para validação da metodologia;
- Realizar a análise cinemática de jogadores de handebol em uma situação competitiva.

Os objetivos específicos desta pesquisa para a análise cinemática de jogadores de handebol em uma partida oficial são:

- Obtenção das trajetórias de todos os jogadores;

- Análise das distâncias percorridas pelos jogadores;
- Análise da distribuição das velocidades dos jogadores;
- Análise por Componentes Principais e a análise por curvas de nível das trajetórias dos jogadores;
- Desenvolvimento de interfaces para a visualização das variáveis cinemáticas.

CAPÍTULO 2

2 RASTREAMENTO DE JOGADORES

2.1 Introdução

Recentes avanços nas linhas de pesquisa das técnicas de processamento digital de imagens e da visão computacional impulsionaram o desenvolvimento de métodos de análise cinemática a partir de imagens de vídeo em diferentes áreas, como em animações, em sistemas de segurança, em controle de qualidade nos processos de fabricação nas indústrias, em estudos com fins militares, em análise de movimentos esportivos, entre outros (Plänkers et al., 2001).

A aplicação dessas técnicas em situações esportivas permite a quantificação de algumas variáveis que fornecem indicativos de performance dos atletas, seja de esportes individuais ou coletivos. Kristan et al. (2005) apontam que o rastreamento de todos os jogadores na quadra durante um jogo e a obtenção de suas trajetórias é base para muitos tipos de análise interessantes para os técnicos esportivos.

Segundo Barros et al. (2001) para tornar possível uma análise da dinâmica do jogo é importante desenvolver metodologias capazes de detectar e codificar o grande número de informações disponíveis durante as partidas.

Nos esportes coletivos o desenvolvimento de técnicas de processamento de imagens e os tópicos relacionados à visão computacional têm chamado a atenção de um

grande número de pesquisadores, que enfrentam algumas particularidades, tais como: a identificação e separação de objetos ou pessoas em movimento nas imagens, os múltiplos alvos a serem rastreados, as oclusões entre os jogadores nas imagens e o problema das alterações de luminosidade no ambiente de jogo (Figuerola et al. 2006a).

O handebol, comparado com o futebol (que é um dos esportes dos quais se encontra maior número de publicações nesta área), apresenta características diferentes quanto à movimentação dos jogadores. As situações de ataque e defesa no handebol apresentam os jogadores das duas equipes concentrados ao redor das áreas reservadas ao goleiro durante a maior parte do tempo, enquanto no futebol as situações de maior aglomeração de jogadores ocorrem em situações mais específicas, como em escanteios e cobranças de falta, que serão exemplificadas a seguir.

Além das características citadas, em um jogo de futebol 22 jogadores se distribuem por um espaço de 8250 m^2 (aproximadamente um jogador a cada 375 m^2), enquanto no handebol a distribuição é de 12 jogadores em uma área de 651 m^2 (de um total de 800 m^2 de onde são descontadas as áreas referentes aos goleiros – 149 m^2 – as quais não são permitidas aos jogadores de linha, o que totaliza uma área de aproximadamente 54 m^2 para cada jogador). Nas situações de cobranças de escanteios no futebol e de equipes em posicionamento ofensivo no handebol, há uma aglomeração maior de jogadores em espaços menores, como indicado na figura 1 o que, computacionalmente, gera dificuldades na identificação e separação dos jogadores.



Figura 1 - Exemplos de oclusão em uma situação de cobrança de escanteio no futebol e de um processo ofensivo no handebol

Portanto, os algoritmos para o processamento das imagens do handebol devem possuir configurações diferentes em relação ao caso do futebol, para que permitam o rastreamento automático dos jogadores com o menor número possível de intervenções do pesquisador.

Um dos trabalhos de rastreamento automático de jogadores em modalidades coletivas foi apresentado por Intille e Bobick (1995) que desenvolveram uma técnica chamada *closed-worlds* aplicada na localização de jogadores de futebol americano. Foram utilizadas câmeras móveis que procuravam enquadrar o jogador de interesse. O rastreamento deste jogador utilizava o conceito de casamento de padrões na região enquadrada ao longo da sequência de imagens. Os autores informaram que a dificuldade principal é tratar os casos onde a região enquadrada apresentava mais de um jogador.

Taki et al. (1996) apresentaram um sistema de análise de movimentos para jogos de futebol, para avaliar quantitativamente o trabalho da equipe baseado nas movimentações de todos os jogadores na partida. As câmeras foram posicionadas com eixos ópticos perpendiculares à linha lateral do campo. As etapas foram: a) digitalização

das imagens; b) extração de objetos estáticos; c) rastreamento dos objetos em movimento (jogadores, árbitro e bola); d) transformação das coordenadas dos jogadores (tela-campo); e) análise da movimentação dos jogadores. Para inicialização do algoritmo foi localizada, manualmente, uma parte do corpo do jogador, o qual era considerado o modelo inicial e atualizado quadro a quadro. Um ponto relacionado ao pé do jogador foi estimado a partir do ponto central do modelo ajustado para cada quadro. Os autores analisaram a movimentação de uma equipe e como os jogadores dessa equipe interagiam para ocupar determinados espaços do campo. O método de rastreamento necessita de correções manuais quando ocorrem oclusões entre jogadores ou um jogador cai no campo.

Ohno et al. (2000) apresentaram um sistema para rastreamento automático dos jogadores e da bola em partidas de futebol a partir de imagens obtidas por câmeras fixas. Para realização do rastreamento automático o sistema analisa as regiões da camisa e calção, constrói um modelo baseado em cores e procura pelas regiões de alinhamento vertical entre short e camisa (considerando que os jogadores permanecem em pé no início dos jogos). Quando ocorre sobreposição de jogadores na imagem os autores propõem uma solução baseada na velocidade média nos quadros anteriores para determinar a próxima posição do jogador. São identificadas e rastreadas as regiões referentes às camisas dos jogadores. Os autores retrataram que o sistema às vezes apresenta falhas na detecção desse par de regiões, devido aos ruídos na imagem ou à postura adotada pelos jogadores.

Barros et al. (2001) desenvolveram um método para rastreamento automático de jogadores de futebol a partir das imagens capturadas por 4 câmeras de vídeo (15 Hz). Para identificação das regiões correspondentes aos jogadores nas imagens foram

utilizados conceitos de processamento digital de imagens tais como filtro de movimento, binarização das imagens e aplicação de filtros morfológicos. Os jogadores foram rastreados durante 2 minutos de partida, que correspondem a 1800 quadros. Os autores concluíram que o método de rastreamento automático desenvolvido resolve situações de oclusões de 2 jogadores e em alguns casos de oclusões entre 3 jogadores, e que o funcionamento do rastreamento automático depende da separação das regiões referentes aos jogadores nas imagens.

Needham e Boyle (2001) desenvolveram um método para rastreamento de jogadores de futsal a partir da denominação *multiple object condensation*. Foi utilizada uma sequência de imagens com 835 quadros, capturada por uma câmera (6 Hz), posicionada atrás de um dos gols de uma quadra coberta. O método foi desenvolvido tendo uma estrutura de três níveis: a) identificação dos jogadores; b) trajetória do jogador; e c) conjunto de trajetórias. O rastreamento foi realizado de duas formas distintas: a partir de predição baseada no filtro de Kalman e por medição manual, assumida como a trajetória verdadeira. Como resultados os autores apresentam que o erro médio encontrado para a predição da posição dos jogadores é de 1,16 metro e que 56% da trajetória obtida na medição automática, com o erro médio encontrado, correspondem à trajetória realizada pelo jogador.

Em visão computacional as pesquisas aplicadas à análise da movimentação de jogadores apresentam diferentes soluções para problemas encontrados. Okuma et. al (2004) desenvolveram um modelo para rastreamento de jogadores de hockey, baseado no algoritmo de detecção de objetos AdaBoost (Viola e Jones, 2001). O método foi aplicado em uma sequência de imagens de uma transmissão feita pela televisão,

correspondente a uma partida oficial de hockey. Foi utilizada uma combinação do AdaBoost com um filtro de partículas para rastrear os jogadores na quadra. As vantagens desses métodos são a simplicidade, flexibilidade e tratamento sistemático de situações não-lineares e não-Gaussianas. Porém a presença de falsos positivos indica a necessidade de novos desenvolvimentos na área. O algoritmo desenvolvido foi capaz de identificar e rastrear os jogadores no espaço de jogo e também os jogadores que entravam e saíam da imagem em tempo real.

Tendo o handebol como foco de análise, Pers et al. (2000 e 2002) desenvolveram um método para análise de jogadores de handebol, que foi testado em 6 jogadores de uma equipe masculina da 1ª divisão da Eslovênia em uma situação que chamaram de “jogo modelo”. Utilizaram 2 câmeras de vídeo (25 Hz) com lentes convexas (*wide-angle lenses*) fixadas no teto de um ginásio de esportes, cada uma focalizando metade da quadra, fornecendo uma visão superior dos jogadores e facilitando a determinação da sua posição no plano da quadra. O rastreamento automático dos jogadores foi realizado a partir da extração do fundo, utilizando o conceito de casamento de padrão pelas características de cor e forma dos jogadores. Um pesquisador determinou o padrão inicial a ser rastreado por jogador e supervisionou o andamento correto do processo. A partir da metodologia desenvolvida tornou-se possível a visualização das trajetórias e quantificação de distâncias percorridas e velocidades de cada jogador.

Considerando o futebol como foco de análise, Figueroa et al. (2006a) abordaram o problema da extração do fundo de imagens de vídeo em uma aplicação *outdoor* (jogo de futebol). Trata-se de um problema de resolução complexa, devido às alterações de luminosidade ao longo da sequência de imagens, para o qual foram utilizados

conceitos de morfologia matemática e processamento digital de imagens. A segmentação das imagens foi capaz de extrair os jogadores (e suas sombras) das imagens. As sombras foram eliminadas a partir de operações binárias como a abertura e a dilatação. Para testar a eficiência do método (principalmente em presença de alterações significativas de iluminação), este foi comparado com outros dois métodos utilizados para identificar regiões de movimento a partir de extração de fundo. Foram utilizados dois tipos de cena *outdoor*: uma com alterações bruscas de iluminação (presença de nuvens) e a outra com baixas variações de luminosidade. Foram processados 500 quadros de cada seqüência de imagens, e o número obtido de regiões segmentadas foi quantificado e comparado entre os métodos. Os resultados apontam que na sua aplicação para uma seqüência de imagens de 4500 quadros (10 minutos) de 4 imagens de vídeo, o método proposto detectou melhor os objetos em movimento e o número de componentes detectados é menor do que os outros métodos, indicado pela comparação entre o número de regiões identificadas e a imagem original.

Figueroa et al. (2006b) abordaram o problema do rastreamento de jogadores de futebol, a partir da utilização de múltiplas câmeras. O rastreamento dos jogadores foi realizado a partir da representação por grafos, na qual cada nodo corresponde ao *blob* obtido durante o procedimento de segmentação das imagens. Os autores apresentaram uma forma de separação dos *blobs* baseada em operadores morfológicos e na representação por grafos nos dois sentidos da seqüência de imagens (do início para o fim e do fim para o início), que aumentaram o número de quadros rastreados automaticamente. Os resultados apontam que, para uma seqüência de imagens de 10 minutos de duração (4500 quadros) de 4 imagens de vídeo, o algoritmo foi capaz de rastrear os jogadores automaticamente em 94% dos quadros da seqüência de imagens.

Nesta pesquisa será utilizada a proposta descrita por Figueroa et al. (2004, 2006a e 2006b), na qual os algoritmos de processamento das imagens serão especializados para a situação de um jogo de handebol. Essas pesquisas foram também desenvolvidas no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da UNICAMP, onde o método foi aplicado para análises no futebol, apresentando bons resultados e possibilitando a aplicação em outras modalidades, como o handebol.

2.2 Aquisição das Imagens

Para a aquisição das seqüências de imagens foram utilizadas 2 câmeras digitais, marca JVC (modelo GR-DVL 9500), posicionadas nos camarotes na lateral do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP (câmeras 1 e 2). Um esquema do ambiente de coleta está representado na figura 2. Foram filmadas 2 partidas de handebol da categoria sub-21, sendo uma partida entre equipes masculinas e a outra entre equipes femininas.

A origem do sistema de referência foi definida na intersecção entre a linha lateral oposta à câmera 1 e a linha de fundo mais próxima a esta câmera. Assim, a direção longitudinal da quadra corresponde ao eixo x (comprimento da quadra) e a direção transversal da quadra corresponde ao eixo y (largura da quadra). A câmera 1 enquadrava a meia-quadra B e a câmera 2 a meia-quadra A (figura 1). Uma imagem original da seqüência de imagens adquirida por cada câmera 1 e 2 estão apresentadas na figura 3.

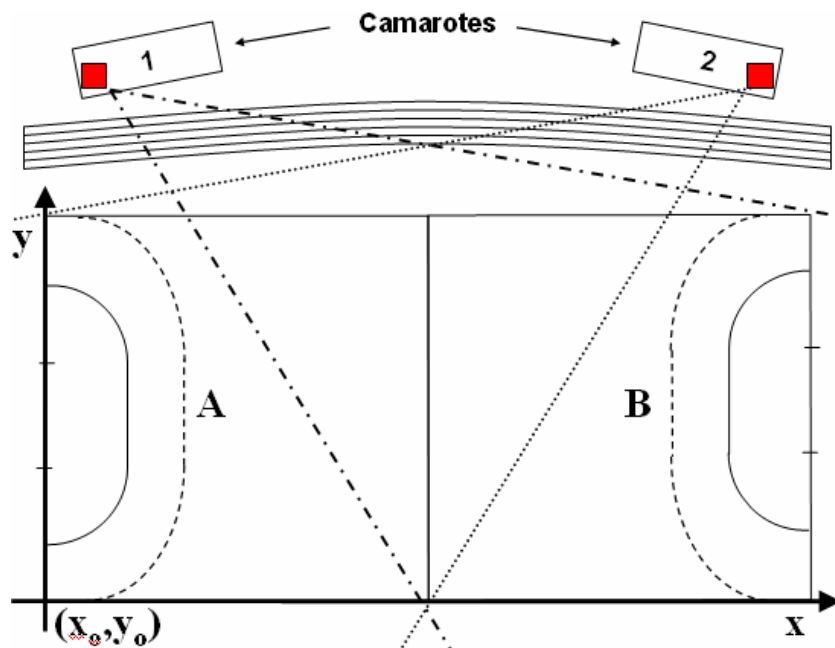


Figura 2 - Representação do ambiente de coleta



Figura 3 - Enquadramento das câmeras 1 e 2, respectivamente

O posicionamento das câmeras para aquisição das imagens, conforme as figuras 2 e 3, foi utilizado em função das características da movimentação dos atletas durante o jogo, com objetivo de minimizar as oclusões entre os jogadores. Neste posicionamento ocorrem menos oclusões em comparação com câmeras posicionadas

perpendicularmente à linha lateral, pois jogadores nos sistemas defensivos agrupam-se, geralmente, em torno da área de gol.

As imagens foram capturadas com uma frequência de 30 Hz e armazenadas em fitas modelo Mini-DV. Em cada câmera foi utilizada uma fita para capturar as imagens de cada tempo de partida, totalizando 8 fitas por partida.

A transferência das imagens das fitas para os computadores foi realizada por intermédio de uma placa de captura, padrão IEEE 1394. Essas imagens foram armazenadas em formato AVI (*Audio Video Interleaved*), com frequência de 30 Hz. Após a transferência e o armazenamento, as imagens foram compactadas (utilizando o compactador Indeo Video[®] 5) na frequência de 15 Hz em uma interface do Sistema Dvideow, ou seja, a cada 2 quadros sem o desentrelaçamento dos campos, 1 quadro é analisado.

A redução da frequência de amostragem dos dados diminuiu o custo computacional com relação ao espaço de armazenamento e tempo de processamento das imagens. Misuta et. al (2004) reportaram que para a análise cinemática de jogadores de futebol a frequência de 7,5 Hz é considerada suficiente, sem perdas de informações.

Para a análise cinemática de jogadores de handebol a frequência de 15 Hz é suficiente, pois não existem mudanças “bruscas” nas direções das trajetórias dos jogadores em um tempo de 0,067 segundo.

2.3 Calibração do Sistema

Para obter as coordenadas dos jogadores na quadra de jogo é necessário estabelecer uma correspondência precisa entre pontos que representem o jogador no espaço 3D (em relação a um sistema de referência global) e suas imagens projetadas 2D (em relação às coordenadas de tela), é utilizado um procedimento de calibração. Esse procedimento consiste em conhecer os parâmetros intrínsecos e extrínsecos das câmeras, permitindo a transformação objeto-imagem das coordenadas dos jogadores.

Na área de visão computacional a homografia é a relação entre duas imagens, sendo que para qualquer ponto em uma imagem exista apenas um ponto correspondente na outra imagem, e vice-versa. É definida em um espaço bidimensional como o mapeamento entre um ponto no sistema de coordenadas mundo visto por uma câmera, para o mesmo ponto no sistema de coordenadas mundo visto por uma segunda câmera. Para a realização da homografia, uma matriz (H) armazena as informações sobre a câmera e a estrutura da cena, que facilita no estabelecimento de correspondências entre pontos nas duas imagens.

Para a calibração do sistema são necessários, no mínimo, quatro pontos de referência com coordenadas conhecidas na quadra de jogo, para que se torne possível a transformação imagem-objeto das coordenadas dos jogadores.

É aplicada uma matriz de projeção perspectiva que relaciona as coordenadas de tela da imagem com o sistema de coordenadas da quadra. O sistema de

coordenadas das imagens $o-xy$ e o sistema de coordenadas da quadra $O-XYZ$ podem ser expressos utilizando as seguintes coordenadas homogêneas:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ h \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{h} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Onde C é uma matriz 3×4 que realiza a rotação e a projeção perspectiva (Figueroa et. al 2006b). Expandindo (1) e (2) temos:

$$XC_{11} + YC_{12} + ZC_{13} + C_{14} - XxC_{31} - YxC_{32} - ZxC_{33} - xC_{34} = 0 \quad (3)$$

$$XC_{21} + YC_{22} + ZC_{23} + C_{24} - XyC_{31} - YyC_{32} - ZyC_{33} - yC_{34} = 0 \quad (4)$$

Assumindo que a quadra de jogo é um plano, podemos considerar que os valores para a coordenada Z são iguais a zero, por tratar-se de uma análise bidimensional, e $C_{34} = 1$ no sistema de coordenadas homogêneas, temos a seguinte equação de transformação linear:

$$Ax = b \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1X_1 & -x_1Y_1 \\ 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & 1 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 \\ X_2 & Y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2X_2 & -x_2Y_2 \\ 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & 1 & -y_2X_2 & -y_2Y_2 \\ X_3 & Y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3X_3 & -x_3Y_3 \\ 0 & 0 & 0 & X_3 & Y_3 & 1 & -y_3X_3 & -y_3Y_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_nX_n & -x_nY_n \\ 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & 1 & -y_nX_n & -y_nY_n \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x}^T = [C_{11} \ C_{12} \ C_{14} \ C_{21} \ C_{22} \ C_{24} \ C_{31} \ C_{32}],$$

$$\mathbf{b}^T = [x_1 \ y_1 \ x_2 \ y_2 \ x_3 \ y_3 \ \dots \ x_n \ y_n],$$

Onde $(X_i, Y_i, 0)$ representa as coordenadas do ponto de referência i e (x_i, y_i) são as coordenadas de tela do mesmo ponto na imagem. Ao resolver a equação 5 são encontrados os parâmetros necessários para a transformação imagem-objeto (homografia). Quando há um número superior a quatro pontos envolvidos na calibração, a equação 5 é resolvida pelo método de quadrados mínimos (Figuerola et. al 2006b).

Na calibração do sistema desenvolvido nesta pesquisa, foram utilizados 10 pontos na quadra, com coordenadas apresentadas no Apêndice 1, sendo que cada uma das câmeras enquadrava 8 pontos, havendo redundância em 6 pontos (figura 4).

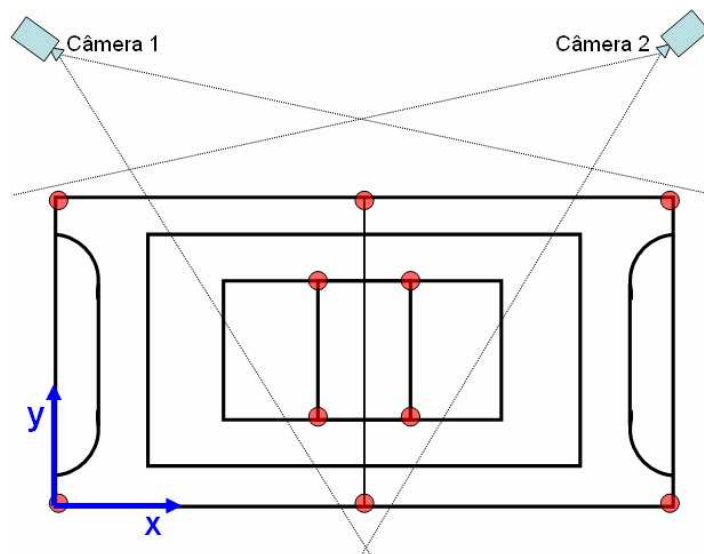


Figura 4 - Esquema do posicionamento das câmeras e pontos utilizados para a calibração dessas câmeras

2.3.1 Teste de exatidão

O teste foi realizado com o objetivo de avaliar a exatidão do sistema na determinação da posição de um ponto na quadra de jogo. Foram utilizados quadros das imagens de jogo onde não estavam presentes os jogadores.

Foram medidos 22 pontos P_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 22$) na quadra, esquematizados na figura 5, que correspondem às intersecções entre algumas linhas das quadras de voleibol, basquetebol e handebol. A origem do sistema de coordenadas da quadra foi fixada no ponto P_1 .

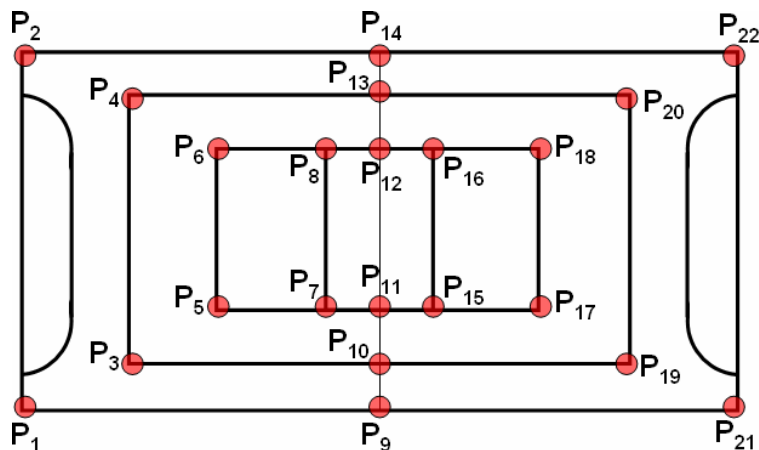


Figura 5 - Identificação dos P_i pontos medidos na quadra

Para a determinação dos pontos apresentados na figura 4 foi medida a intersecção externa das linhas externas das quadras (figura 6A) nas quais estão localizados os seguintes pontos: P_1 ao P_6 e P_{17} ao P_{22} . Para os pontos P_7 ao P_9 e P_{14} ao P_{15} foi calculada a média da largura da linha e projetada na borda externa de interesse (figura 6B). Para os demais pontos (P_{10} ao P_{13}) o cálculo foi feito da mesma forma que para o ponto P_7 , porém a projeção foi feita para a borda externa da linha da quadra (figura 6C).

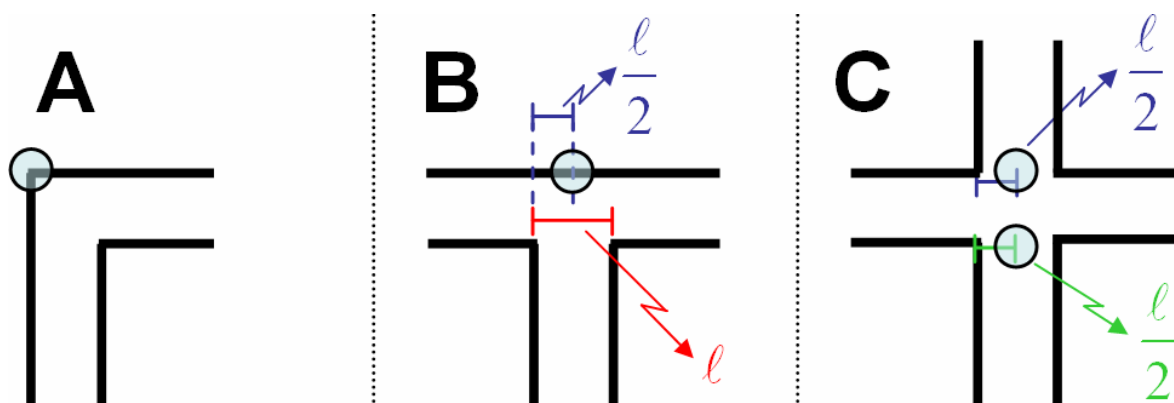


Figura 6 - Localização dos pontos utilizados na escolhidos para o teste de exatidão do sistema

Cada ponto P_i foi medido manualmente no Sistema Dvideow por um pesquisador, que clicava com o *mouse* na tela sobre os pontos. As medições de cada ponto foram repetidas 10 vezes ($N = 10$) pelo mesmo pesquisador. Ao final de cada medição o Sistema Dvideow era encerrado e o procedimento era iniciado novamente.

Os pontos medidos pelas imagens da câmera 1 foram, seqüencialmente, do P_{15} ao P_{22} , e os pontos medidos pela câmera 2 foram de P_1 ao P_{14} , também seqüencialmente.

Na figura 7A estão representadas as coordenadas esperadas (reais) dos 22 pontos e na figura 7B está representado o conjunto de 10 observações (μ) de cada ponto.

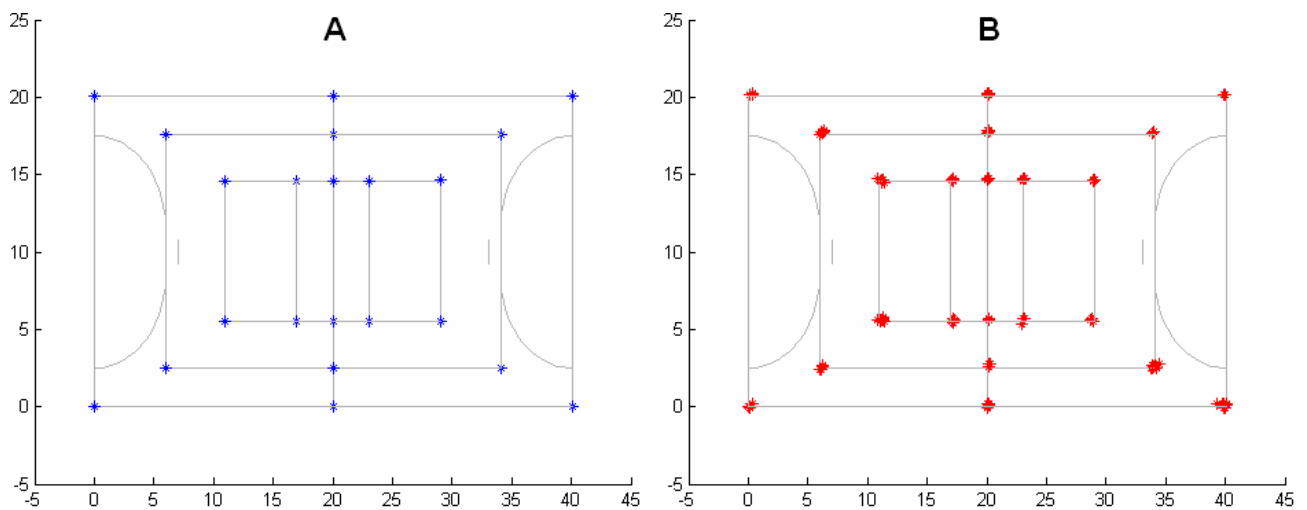


Figura 7 - Representação dos 22 pontos de referência analisados (A). Observações ($n=10$) de cada ponto de referência (B)

Com base na figura 7B podemos observar que há um espalhamento em torno de cada um dos pontos, referentes às 10 diferentes observações, indicando uma

variabilidade das 10 observações em relação às coordenadas reais. Calculou-se, então, a distância de cada ponto medido em relação a cada uma das observações realizadas, que forneceu um conjunto de 10 distâncias para cada ponto em relação ao ponto medido.

Desse conjunto de 10 distâncias foram calculados a distância média e o desvio-padrão foi possível verificar as regiões das imagens nas quais os pontos apresentavam-se mais distantes dos reais e suas respectivas variabilidades. Na figura 8 estão indicadas as distâncias médias e desvio-padrão para cada um dos pontos medidos.

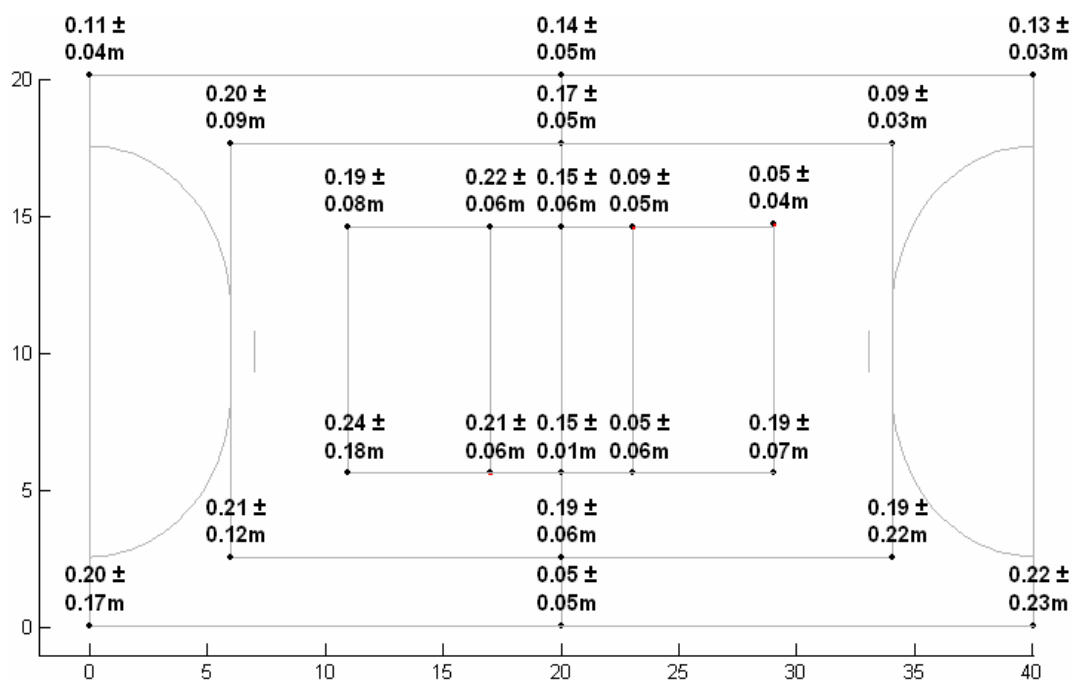


Figura 8: Distância média $\pm$ desvio-padrão das 10 observações em relação ao respectivo ponto medido

A variabilidade encontrada em algumas das marcas medidas pode ter ocorrido devido a fatores como: a) algumas das linhas da quadra não apareciam nitidamente nas imagens, o que dificultava a identificação das intersecções; b) a dificuldade em apontar o centro de uma marca em linhas mais distantes da câmera.

Para verificar os erros de medição do sistema foi realizado um teste de exatidão. Foram seleccionados na quadra de jogo 22 pontos, os quais foram medidos com a utilização de uma trena de 50 m de comprimento graduada em centímetros. O valor referente à medição de cada um dos pontos (medição direta) foi assumido como o valor verdadeiro.

A partir das coordenadas bidimensionais referentes às medições dos pontos no Sistema Dvideow foram calculadas a média das medidas experimentais, o erro sistemático (média das medidas experimentais menos o valor verdadeiro, indicada pela variável b), o desvio padrão experimental (que é uma medida de dispersão dos resultados nas N medidas, indicado pela variável s) e o valor de exatidão (indicado pela variável e).

Segundo a Portaria 029 de 1995 do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia), a exatidão de um instrumento de medição é a “aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas ao valor verdadeiro”. Desta forma, quanto menor o valor encontrado no cálculo da exatidão, maior é a exatidão do sistema. Para o cálculo da exatidão são levados em consideração o erro sistemático e o desvio padrão experimental. O cálculo do erro sistemático (b), do desvio padrão experimental (s) e da exatidão (e) estão representados pelas e 6, 7 e 8, respectivamente.

$$b = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\mu - m_j| \quad (6)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N |m_j - \bar{m}|^2}{N-1}} \quad (7)$$

$$e^2 = b^2 + p^2 \quad (8)$$

Das três equações anteriores temos as seguintes variáveis:

- b : erro sistemático;
- s : desvio padrão experimental;
- e : exatidão;
- μ : valor esperado correspondente às coordenadas obtidas por medição direta (realizada na quadra com a utilização de uma trena de 50 metros, graduada em centímetros) de cada ponto P_i ;
- m_j : medições (x,y) associadas a cada ponto P_i ($j = 1, 2, \dots, 10$);
- $\bar{m}$: valor médio das m_j medições realizadas;
- N : número de medições realizadas ($N = 10$).

Para o cálculo do erro sistemático e do desvio padrão experimental foram utilizadas as coordenadas reais (μ), as m_j medições de cada ponto e a média ($\bar{m}$) das m_j medições. O valor de exatidão de cada ponto P_i foi calculado a partir dos valores do erro sistemático e do desvio padrão experimental do respectivo ponto. Para cálculo do valor de exatidão média foram considerados o valor médio de erro sistemático (correspondente à média do erro sistemático para todas as medições m_j) e o valor médio de desvio padrão experimental (correspondente à média do desvio padrão experimental para todas as m_j medições dos pontos P_i).

Na tabela 1 estão representados os valores esperados (coordenadas x e y) para cada ponto P_i , o valor médio observado (coordenadas $\bar{x}$ e $\bar{y}$, correspondentes à média das m_j medições no Sistema Dvideow de cada ponto P_i), e os valores de erro sistemático, desvio padrão experimental e exatidão (colunas b , s e e , respectivamente) para cada ponto P_i .

Tabela 1 - Coordenadas (x e y) referentes a cada valor esperado, valor médio das N medições ($\bar{x}$ e $\bar{y}$) referentes aos valores observados e valores de erro sistemático (b), desvio padrão experimental (s) e exatidão (e) para cada ponto P_i

P_i	Valor esperado		Valor médio observado		Variáveis calculadas		
	x [m]	y [m]	$\bar{x}$ [m]	$\bar{y}$ [m]	b [m]	s [m]	e [m]
P1	0,00	0,00	0,16	0,08	0,20	0,17	0,26
P2	0,00	20,08	0,21	20,18	0,11	0,04	0,12
P3	6,00	2,49	6,19	2,55	0,21	0,12	0,24
P4	6,00	17,60	6,21	17,74	0,20	0,09	0,22
P5	10,99	5,55	11,22	5,60	0,24	0,18	0,31
P6	10,99	14,54	11,18	14,63	0,19	0,08	0,20
P7	17,00	5,55	17,19	5,63	0,21	0,06	0,22
P8	17,00	14,54	17,15	14,70	0,22	0,06	0,23
P9	20,03	0,00	20,07	0,05	0,05	0,05	0,07
P10	20,03	2,49	20,20	2,67	0,19	0,06	0,20
P11	20,03	5,55	20,16	5,62	0,15	0,01	0,15
P12	20,03	14,54	20,11	14,68	0,15	0,06	0,16
P13	20,03	17,60	20,11	17,76	0,17	0,05	0,18
P14	20,03	20,08	20,09	20,21	0,14	0,05	0,15
P15	23,08	5,55	23,06	5,58	0,05	0,06	0,08
P16	23,08	14,54	23,09	14,67	0,09	0,05	0,10
P17	29,05	5,55	28,83	5,62	0,19	0,07	0,20
P18	29,05	14,54	28,98	14,64	0,05	0,04	0,07
P19	34,08	2,49	34,01	2,61	0,19	0,22	0,29
P20	34,08	17,60	33,92	17,71	0,09	0,03	0,09
P21	40,07	0,00	39,85	0,06	0,22	0,23	0,32
P22	40,07	20,08	39,86	20,18	0,13	0,03	0,14
Média					0,16	0,08	0,18

A partir dos dados calculados, foram obtidos os seguintes valores médios:

- Erro sistemático: 0,16 [m];

- Desvio padrão experimental: 0,08 [m];
- Exatidão: 0,18 [m].

Misuta (2004) avaliou um método de rastreamento automático de jogadores de futebol, baseado no método de videogrametria. O teste estático realizado apresentou um valor de exatidão de 0,30 [m] na determinação da posição de jogadores de futebol. Pers et al. (2002), no sistema desenvolvido para o rastreamento de jogadores de handebol, calcularam a exatidão do sistema e encontraram valores que variam de 0,2 a 0,6 [m].

Considerando as dimensões da quadra de jogo de handebol desta pesquisa, que mede 40,07 [m] de comprimento x 20,08 [m] de largura e sua diagonal mede 44,82 [m], o percentual de erro calculado a partir do valor da exatidão (0,18 [m]) e a distância máxima da quadra é de 0,4 %. Esse percentual nos permite considerar o valor de exatidão encontrado nesta pesquisa como aceitável.

2.4 Segmentação das Imagens

Para a identificação automática dos jogadores na sequência de imagens de cada câmera do jogo de handebol foram desenvolvidos e testados algoritmos em uma interface específica do Sistema Dvideow (Misuta, 2004). A interface específica do Sistema Dvideow utilizada para o processamento das imagens está apresentado na figura 9. Na figura 10 está apresentado um diagrama de blocos correspondente a um esquema simplificado das etapas do processamento realizados nessa interface.

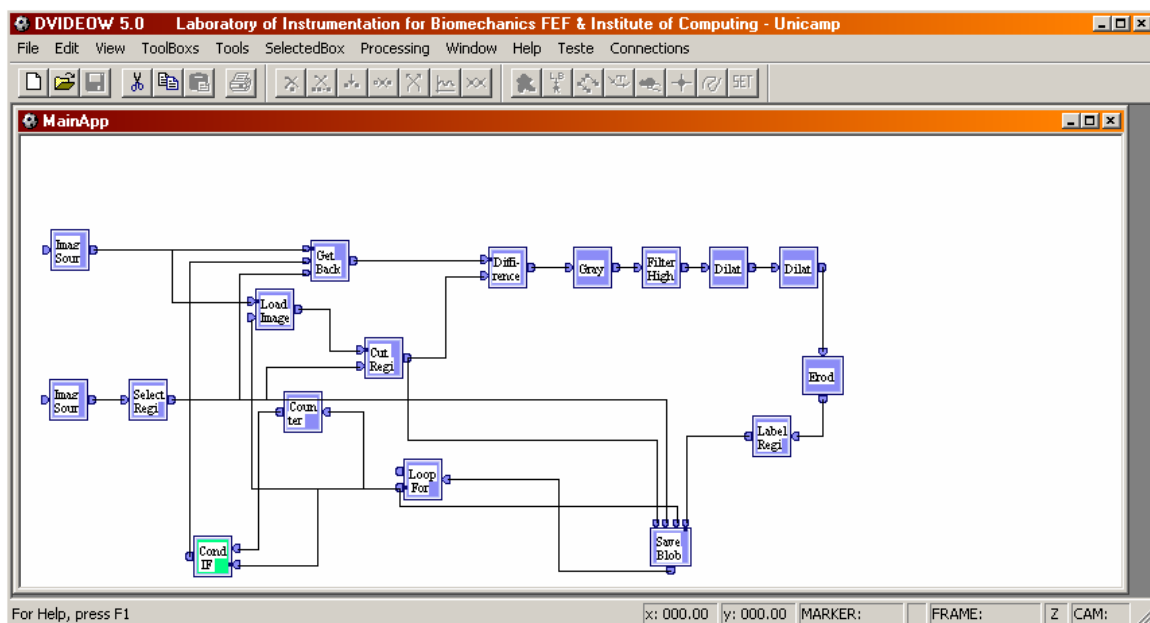


Figura 9 - Interface do Sistema Dvideow para a segmentação das imagens

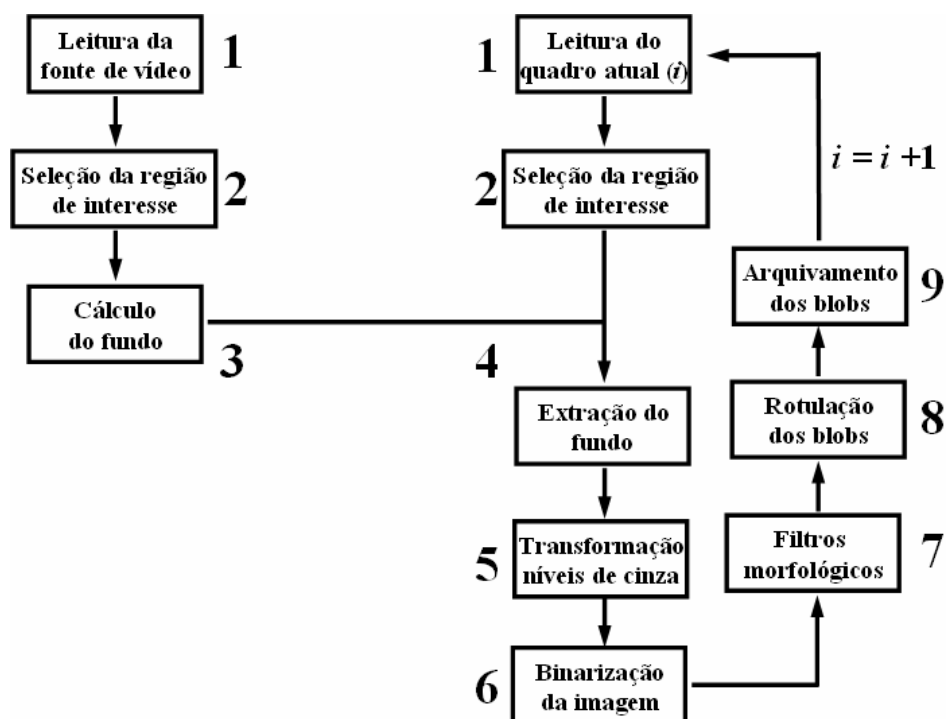


Figura 10 – Simplificação em formato de diagrama de blocos da interface com as etapas de processamento das imagens do Sistema Dvideow

As imagens foram processadas a partir de uma sequência de procedimentos enumerada no diagrama de blocos apresentado, assim descrita:

1. Leitura do quadro atual da fonte de vídeo (figura 11): processamento de cada quadro da sequência de imagem, em formato AVI (*Audio Video Interleaved*) a 15 Hz sem a realização do desentrelaçamento dos campos. O compactador utilizado nas imagens foi o Indeo Video 5. Nesta imagem serão selecionados os pontos que delimitarão a região de processamento.



Figura 11 - Leitura do quadro atual da imagem

2. Seleção da região da imagem onde ocorrerá o rastreamento. O pesquisador delimita qual é a área de interesse da imagem, clicando com o *mouse*, de forma a excluir regiões nas quais os jogadores não se deslocarão, como as arquibancadas. Essa região de interesse é selecionada no primeiro quadro da sequência de imagens e corresponde à quadra de jogo. As coordenadas de tela

que delimitam o polígono, dentro do qual está a região de interesse, são arquivadas e aplicadas em cada uma das imagens subseqüentes, não havendo necessidade de analisar toda a imagem (figura 12).



Figura 12 - Seleção da região de interesse para a segmentação

3. Obtenção da imagem de fundo. Como a filmagem foi realizada em um ginásio coberto, não foram detectadas alterações bruscas de luminosidade do ambiente. Desta forma, a cada 3000 quadros da seqüência de imagens, 11 quadros foram utilizados para a construção do fundo, com intervalo entre cada um de 300 quadros. A imagem de fundo, representada na figura 13, é construída a partir dos 11 quadros da seqüência nos quais cada pixel da imagem de fundo é obtido a partir da eliminação de objetos em movimento por uma operação de nivelamento morfológico (Figuerola, 2006a).



Figura 13 - Imagem de fundo calculada

4. Subtração entre a imagem de fundo e o quadro corrente (figura 14). Os valores de cada um dos canais RGB da imagem de fundo, pixel a pixel, foram subtraídos dos valores referentes a cada canal na imagem corrente.

O resultado desta operação é a obtenção das regiões referentes aos jogadores no quadro atual. Regiões não correspondentes aos possíveis jogadores também são encontradas, pois a imagem de fundo foi construída a partir de imagens que contêm jogadores e que pode apresentar diferenças de luminosidade em relação ao quadro atual. Em algumas situações as cores referentes às pernas dos jogadores e à imagem de fundo eram semelhantes, que após a subtração desapareciam.



Figura 14 - Subtração do fundo do quadro atual

5. Transformação de cada imagem resultante dessa operação para níveis de cinza (figura 15). As imagens são convertidas do padrão RGB para escala de cinza, em um procedimento que elimina a cor e a saturação, assumindo seus valores como sendo zero, e armazenando os valores de brilho (intensidade) de cada pixel. A imagem é representada em tons de cinza, escala na qual o valor 0 corresponde ao preto e o valor 255 corresponde ao branco.



Figura 15 - Transformação da imagem restante em níveis de cinza

6. Aplicação de filtro passa-alta. A partir da imagem em níveis de cinza foi estabelecido um valor como limiar do tom de cinza, que determina o corte do filtro (ajustado de acordo com a qualidade dos resultados das etapas anteriores). Para os pixels que apresentam valores inferiores a esse limiar adota-se o valor 0 e para os pixels com valores superiores ao limiar adota-se 1, acarretando em uma binarização da imagem. Na figura 16 está representado um esquema de binarização para uma determinada região da imagem, na qual o valor de cada pixel é representado como tons de cinza e o valor estabelecido como limiar do filtro é de 25. Na figura 17 está representado o quadro da sequência de imagem após a aplicação do filtro passa-alta.

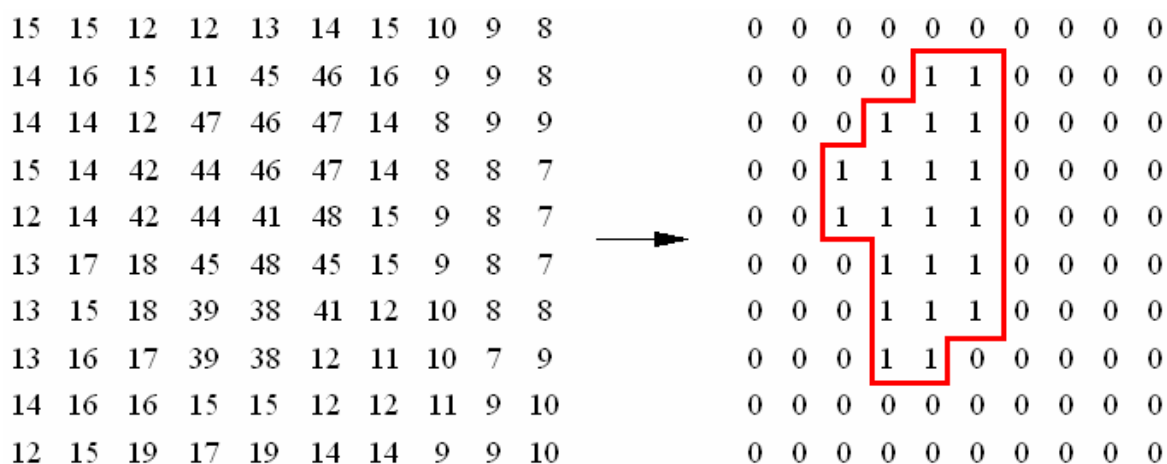


Figura 16 – Exemplo da aplicação de um filtro com limiar de intensidade de 25. O contorno representa a região de pixels ocupada pelo jogador



Figura 17 - Aplicação do filtro passa-alta (binarização da imagem)

7. Após a transformação para níveis de cinza e posterior aplicação do filtro passa-alta, em muitos casos o jogador era representado por duas regiões desconexas: camisa/calção e meias/tênis, conforme a representação binária da figura 18. A aplicação de filtros morfológicos tem como objetivo obter as regiões do jogador como um todo, ou seja, conectar as regiões de cada jogador e melhorar as delimitações das regiões correspondentes aos jogadores na imagem (contorno dos jogadores).

```

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 18 - Representação binária das regiões desconexas dos jogadores na imagem

A aplicação dos filtros morfológicos, como a dilatação e a erosão, tornou-se necessária para conectar essas regiões de interesse. Para aplicação das operações morfológicas foram definidos elementos estruturantes de acordo com a operação. Um elemento estruturante (ou *kernel*) é uma máscara que contém um conjunto de coordenadas de pixels conhecidos, que desliza sobre a imagem como no caso de uma convolução discreta.

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.

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., 2003).

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 19.

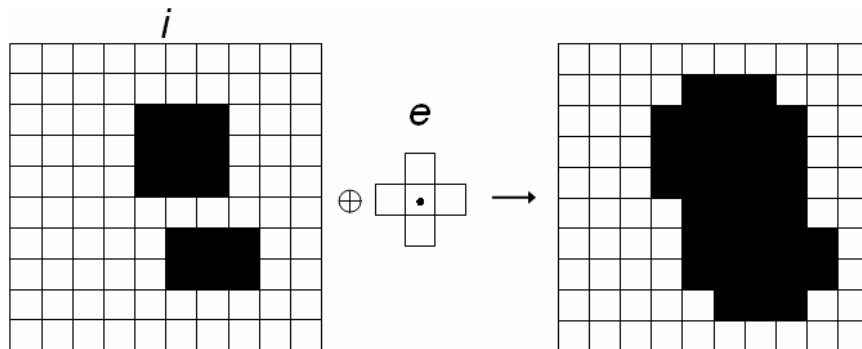


Figura 19 - Representação da dilatação de uma região

E 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 20.

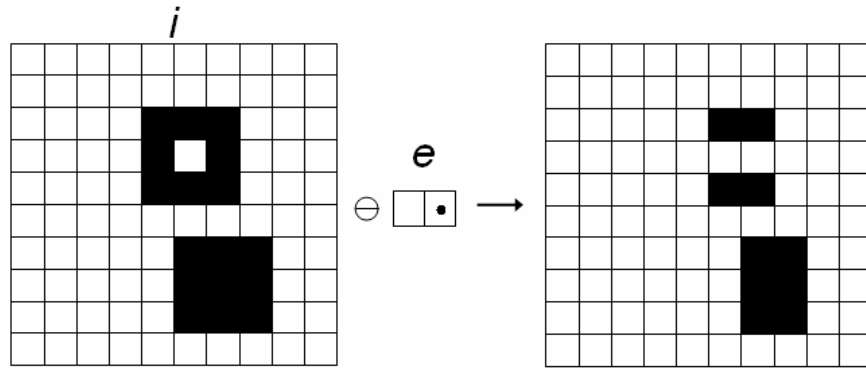


Figura 20 - Representação da erosão de uma região

Foi realizada a operação de dilatação, para que as regiões desconexas entre camisa/calção e meias/tênis fossem conectadas. O procedimento foi realizado duas vezes, com os elementos estruturantes apresentados abaixo:

$$D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{ e } D_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

Assim, o elemento estruturante D_1 dilatou os jogadores em sua totalidade, porém em alguns casos as regiões não se conectaram. O elemento estruturante D_2 dilatou verticalmente as regiões correspondentes aos jogadores, garantindo desta

forma essa conexão. Porém ao aplicar as dilatações as regiões assumiram tamanhos maiores do que os jogadores aos quais pertenciam, sendo necessária a posterior aplicação de uma erosão para reduzir os tamanhos dessas regiões e aproximar ao máximo do tamanho real dos jogadores.

O procedimento de erosão foi realizado uma vez com o seguinte elemento estruturante:

$$E_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

O elemento estruturante E_1 fez com que as regiões referentes aos jogadores na imagem binária assumissem tamanhos mais próximos da região ocupada pelos jogadores, sem perda de conexão na região central. Na figura 21 está representado o resultado das operações morfológicas para um quadro da sequência de imagens.

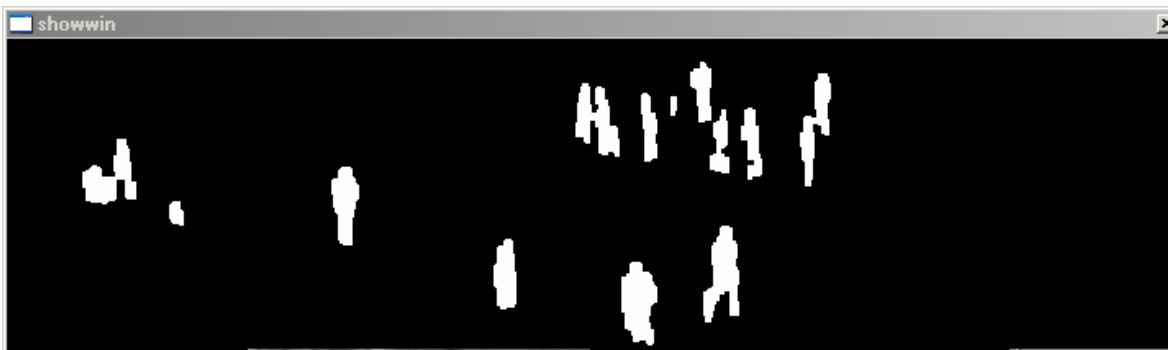


Figura 21 - Imagem binária após a aplicação dos filtros morfológicos de dilatação e erosão

8. *Labeling* das regiões. Os pixels são rotulados de acordo com um parâmetro de conexidade, que leva em consideração os pixels 8-conexos. Um *kernel* ($K_{3 \times 3}$) percorre os pixels da imagem no qual é analisada a região em torno do pixel central ($K_{2,2}$), a uma distância de raio $\sqrt{2}$ em relação a esse, como indicado na figura 22.

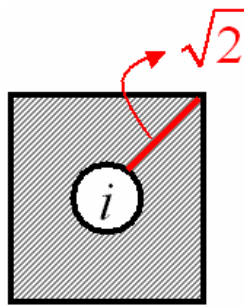


Figura 22 - Representação de conexidade com distancia de raio $\sqrt{2}$

Caso exista algum pixel i (x_i, y_i) em torno do pixel central com valor diferente de zero (fundo da imagem), o pixel identificado é rotulado a partir de um contador j (que varia de 2 até o número de *blobs* da imagem). O número desse contador é alterado quando é encontrado um pixel desconexo dos demais, que recebe o valor $j+1$. Quando o *kernel* encontra valores diferentes de 1 e 0 a uma distância de raio $\sqrt{2}$ do pixel i , o pixel i recebe o mesmo rótulo do valor encontrado, conforme o esquema apresentado na figura 23.

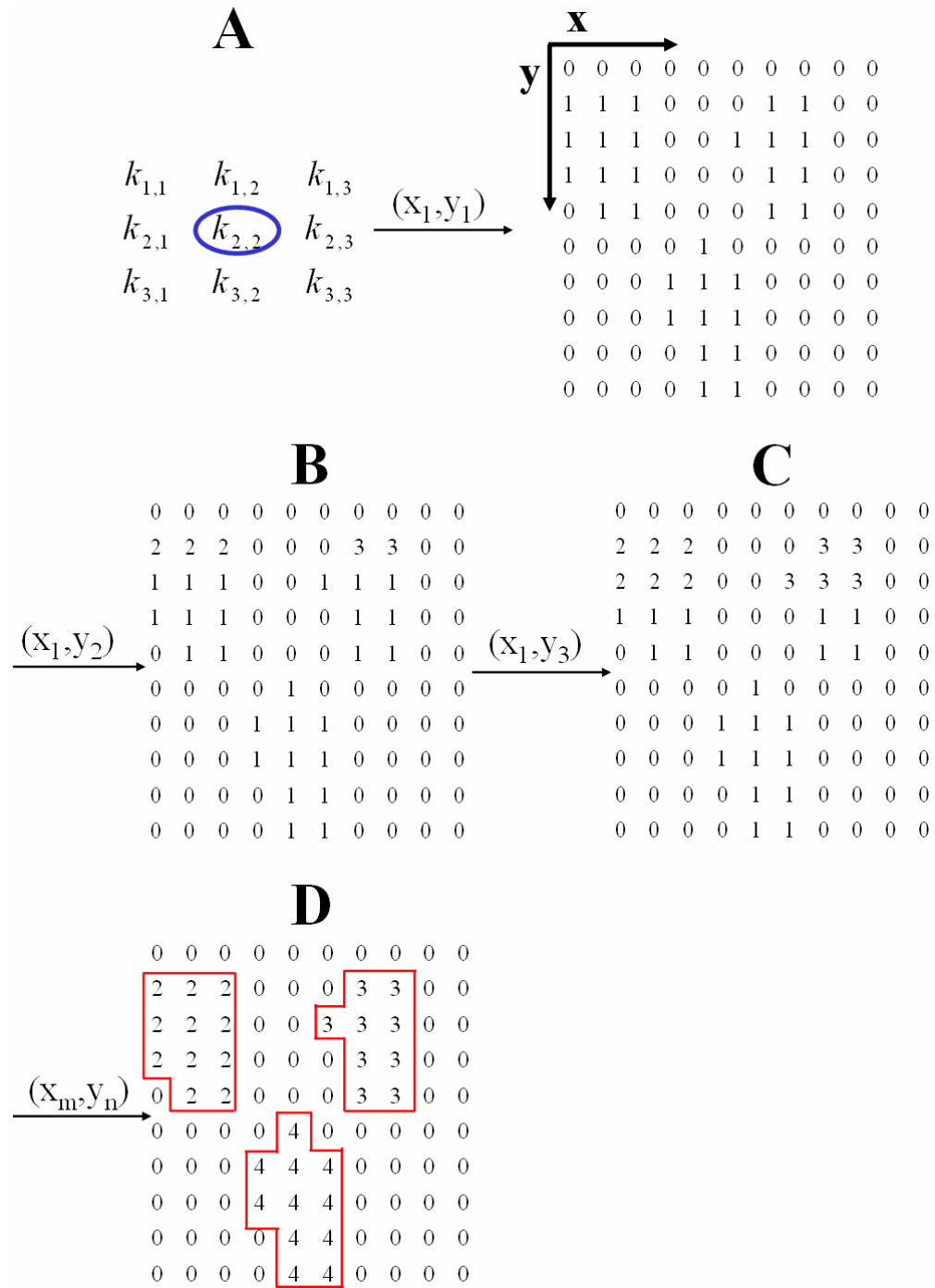


Figura 23 - Esquema do labeling das regiões conectadas que representam os jogadores nas imagens. Em A: kernel 3x3 aplicado à primeira linha da imagem mxn; B: aplicação à segunda linha; C: aplicação à terceira linha; D: após a aplicação em toda a imagem (coluna n e linha m)

9. Arquivamento dos *blobs*. As regiões rotuladas são arquivadas para o posterior procedimento de separação dos *blobs* (ou *splitting dos blobs*).

10. Separação dos *blobs*. Após a obtenção dos blobs referentes aos jogadores durante toda a seqüência de imagens, é realizado o procedimento de separação dos *blobs* que consiste em separar os *blobs* de dois ou mais jogadores que eventualmente foram unidos na segmentação das imagens devido aos filtros morfológicos aplicados.

Dentre os métodos existentes para a representação adequada deste tipo de conjunto de dados, a teoria de grafos é uma das formas utilizadas. O grafo que representa o conjunto de dados deve ter uma especificação simples, ou seja, uma especificação que contenha um conjunto de vértices e arestas (Misuta, 2004).

Segundo Figueroa et al. (2006b) a distância entre os *blobs*, usada para incluir nodos no grafo, é computada como a mínima distância entre dois pixels que pertençam ao contorno de cada *blob*. Cada nodo armazena informações sobre alguns parâmetros dos *blobs*, tais como: altura, largura, área e coordenadas x e y do centro do *blob*.

Em casos de oclusões, o modelo extraído dos *blobs* antes da oclusão é considerado no instante em que os *blobs* estão conectados. Essa busca é executada colocando e deslocando o modelo no *blob* atual e procurando o melhor ajuste. Primeiro tenta-se separar os *blobs* do início para o final da seqüência de imagens e depois no sentido inverso (do final para o início do

arquivo), sendo selecionada a região com maior intersecção de pixels. Este processo é descrito detalhadamente em Figueroa et al. (2006b).

A justificativa para a aplicação do modelo de separação dos *blobs*, com base em grafos nas duas direções da sequência de imagens, se deve ao fato de que as oclusões entre os jogadores podem ser resolvidas no início da fase de oclusão (quando aplicamos do início para o final da sequência), ou no final da oclusão (quando aplicamos do final para o início da sequência).

Dessa forma, algumas oclusões que têm a duração de poucos quadros podem ser resolvidas totalmente, enquanto que oclusões que possuem um número maior de quadros podem ser minimizadas, mas nem sempre resolvidas totalmente. Na figura 24 está representado um esquema da etapa de separação dos *blobs* a partir da aplicação do conceito de grafos.

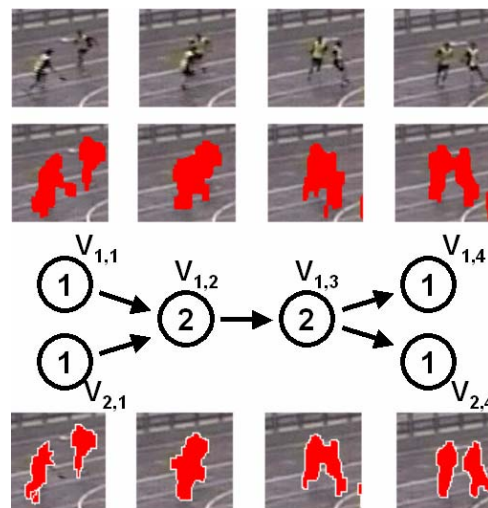


Figura 24 - Esquematização da etapa de separação dos *blobs* e da aplicação do conceito de grafos em 4 quadros consecutivos de uma sequência de imagens

Quando os procedimentos de separação dos *blobs* por filtragem morfológica e pelo uso de grafos não são suficientes para desconectar dois ou mais *blobs* em alguns quadros da sequência de imagens, o rastreamento automático pode não ser eficiente, necessitando da intervenção do pesquisador nesses instantes para a realização do rastreamento manual.

2.4.1 Avaliação da segmentação das imagens

Alguns fatores dificultaram a identificação dos jogadores, tais como: a) a qualidade das imagens coletadas; b) a iluminação do ambiente (que em algumas regiões da quadra proporcionou sombras dos jogadores); c) as oclusões entre os jogadores (que dificultavam a identificação de cada jogador); e d) o contraste entre as pernas dos atletas e a quadra de jogo (que acabava por dividir as regiões correspondentes aos jogadores em duas: tronco e pernas).

A avaliação realizada neste item corresponde às etapas de segmentação das imagens e separação dos *blobs*. Para avaliar esta etapa foi utilizada uma sequência de 450 quadros, referentes a 30 segundos do segundo tempo de uma partida, inspecionados quadro-a-quadro visualmente. O trecho corresponde a sequências ofensivas de uma equipe, com as imagens podendo conter no máximo 15 *blobs*, referentes a 12 jogadores de linha, 1 goleiro e 2 árbitros. A sequência analisada apresenta um grande número de oclusões entre os jogadores, principalmente na região central da quadra.

Na figura 25 estão representados três instantes da sequência analisada após a segmentação das imagens:

- 1 – início da sequência de imagens (quadro 1);
- 2 – representa o quadro de número 196;
- 3 – representa o quadro de número 276.

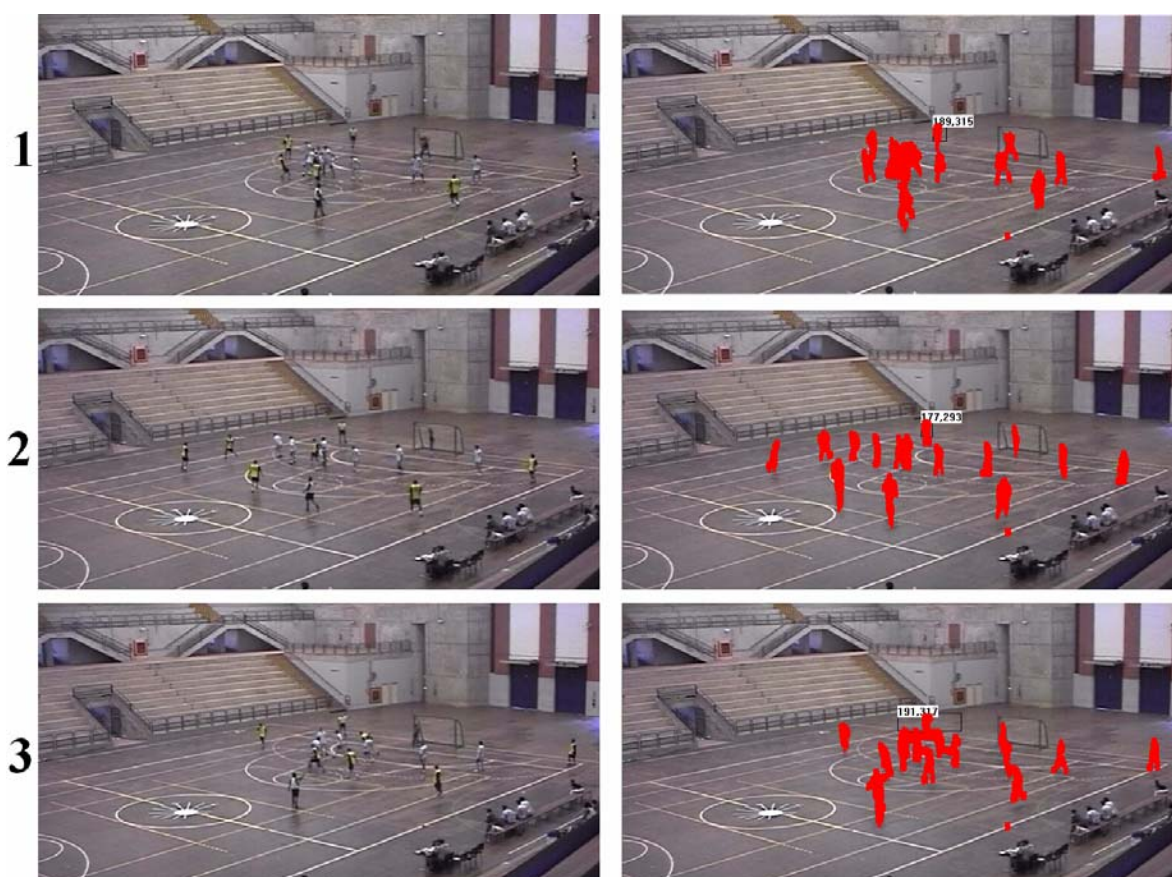


Figura 25 - Quadros correspondentes aos instantes 1, 2 e 3

Os quadros 1 e 276, ao comparados visualmente com o quadro 196, apresentam um número maior de oclusões entre os jogadores, que dificulta a identificação nos respectivos instantes. Apesar das oclusões, todos os jogadores foram identificados

durante toda a sequência de imagens, ou seja, cada *blob* representou a região ocupada na imagem por um ou mais jogadores. Nenhum jogador deixou de ser associado a um *blob*.

Os possíveis *blobs* que contêm dois ou mais jogadores nesta etapa podem ser separados na etapa de separação dos *blobs*. Na figura 26 estão apresentadas as curvas referentes ao número de *blobs* identificados após a segmentação das imagens (em azul) e após o procedimento de separação dos *blobs* (em vermelho).

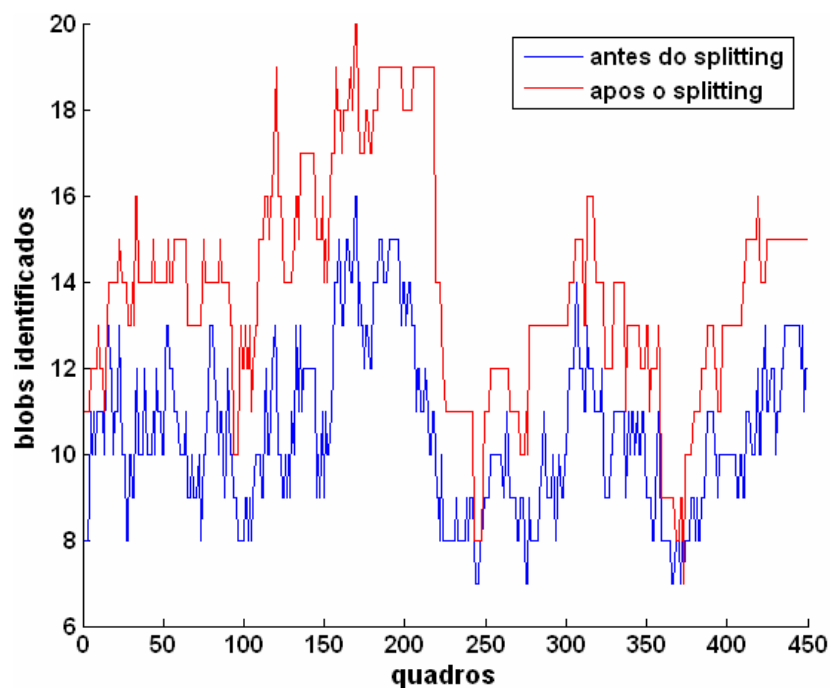


Figura 26 - Curvas referentes ao número de *blobs* identificados antes e após o procedimento de separação dos *blobs* (em azul e vermelho, respectivamente)

O número médio de *blobs* identificados após a etapa de segmentação das imagens foi de 10.5, que equivalem a 70% do número máximo de *blobs* a ser encontrado (15). Após o procedimento de separação dos *blobs* o número médio de *blobs* identificado foi de 13.9, que correspondem a 93% do número máximo.

Quando o número de *blobs* identificados em um quadro supera o valor máximo esperado (neste caso 15), o que se pôde observar foi a separação de uma das pernas dos jogadores em relação ao *blob* que contém esse jogador, formando um novo *blob*.

A utilização do algoritmo de separação dos *blobs* mostrou-se satisfatória, pelo fato de identificar 25% a mais de *blobs* em relação à etapa de segmentação das imagens e separar *blobs* que continham dois ou mais jogadores.

Quanto ao tempo de processamento, a taxa para a segmentação das imagens foi de 2.7 quadros por segundo e a taxa de separação dos *blobs* foi de 1.8 quadro por segundo. O procedimento de separação é mais custoso computacionalmente devido ao fato de ocorrer nos dois sentidos da seqüência de imagens.

O tempo necessário para a segmentação das imagens de uma câmera em um tempo de partida com aproximadamente 25000 quadros, em um computador com processador Pentium IV (2.8 GHz) e 2 Gb de Memória SDRAM, é de 2 horas e 34 minutos. Para a separação dos *blobs* o tempo estimado para o processamento da mesma seqüência de imagens é de 3 horas e 52 minutos. Ou seja, o processamento pré-rastreamento dos jogadores para cada câmera é de aproximadamente 6 horas e 26 minutos.

Os algoritmos para o processamento digital das imagens mostraram-se satisfatórios para a identificação das regiões ocupadas por todos os jogadores na seqüência de imagens, uma vez que todos os jogadores presentes na quadra foram identificados em toda a seqüência de imagens. Nenhum dos jogadores presentes na quadra deixou de ser associado a um *blob*.

2.5 Rastreamento Automático

O algoritmo de rastreamento é inicializado manualmente com o pesquisador clicando com o *mouse* no jogador a ser rastreado, a partir do qual a identificação das coordenadas dos *blobs* será feita automaticamente. Para identificação do *blob* correto ao longo da seqüência de imagens é levada em consideração a cor da camisa do jogador e as informações armazenadas nos grafos.

Durante o rastreamento automático a localização dos jogadores ao longo da seqüência de imagens é dada pela região do pé do jogador no *blob*. Essa posição é encontrada a partir do cálculo do valor máximo da coordenada y e do valor médio do *blob* no eixo x , como indicado na figura 27.

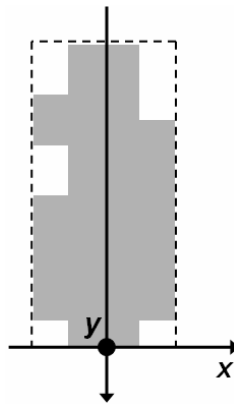


Figura 27 - Identificação do pé do jogador na região do *blob*. A intersecção entre o valor máximo da coordenada y e a posição central do *blob* no eixo x é o ponto a ser rastreado

Quando os jogadores saltam na quadra de jogo para executar um arremesso ou receber uma bola, o algoritmo continua o rastreamento, porém a projeção do

jogador na quadra de jogo não corresponde ao seu deslocamento horizontal, e sim à projeção do deslocamento vertical. Essa situação é resolvida na etapa de tratamento dos dados com a filtragem das trajetórias, que será apresentada no próximo capítulo.

Após o rastreamento de todos os jogadores em toda a seqüência de imagens o pesquisador verifica os resultados e corrige as situações em que houve erro no rastreamento, como as trocas de trajetórias. Quando isso ocorre o pesquisador intervém, corrigindo quadro a quadro ou então arrastando o mouse de maneira a apontar com o *mouse* a trajetória correta na tela do computador (*track mouse*). Na figura 28 estão indicadas as seqüências 1, que representa o erro no algoritmo de rastreamento (troca de jogadores) e 2, que representa a correção do algoritmo, com o rastreamento manual do jogador correto. Na figura 29 está apresentada a interface com o rastreamento de todos os jogadores.



Figura 28 - Representação do erro do algoritmo na (seqüência 1) e após a correção do rastreamento (seqüência 2)

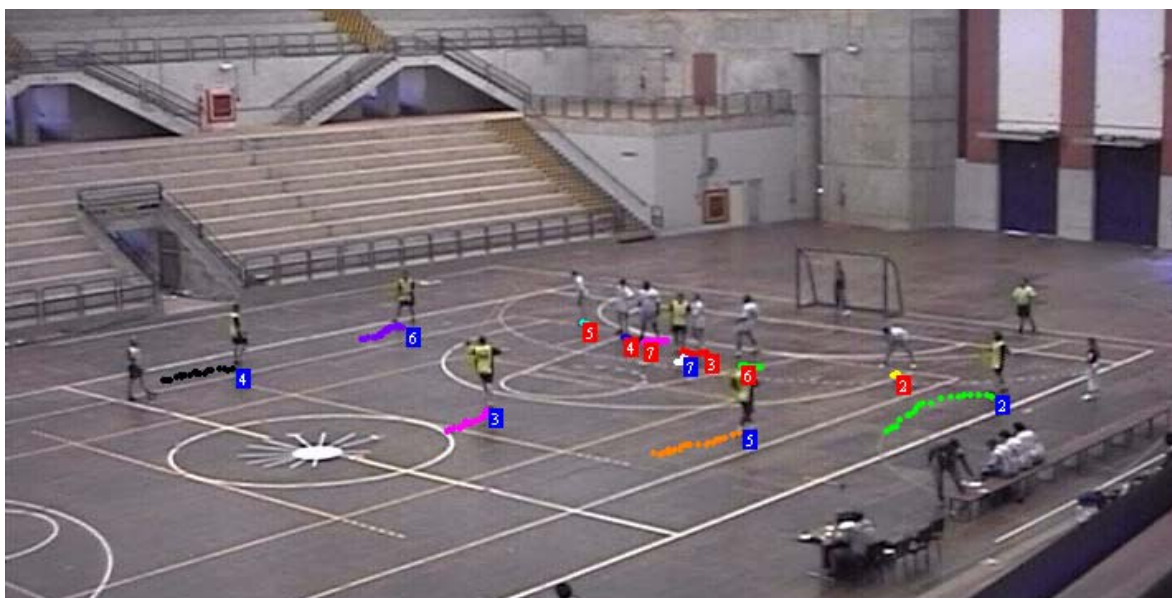


Figura 29 - Coordenadas referentes ao rastreamento de todos os jogadores na imagem. Os retângulos azuis e vermelhos indicam jogadores de equipes diferentes

O rastreamento automático foi avaliado em duas situações: a) com a utilização de 2 câmeras na mesma lateral da quadra; b) com a utilização de 4 câmeras, sendo 2 em cada lateral da quadra.

2.5.1 Avaliação do rastreamento automático com a utilização de 2 câmeras

Para avaliação do método foi selecionada uma seqüência de imagens de 12138 quadros, correspondentes a metade de um tempo de partida (13,5 minutos), na qual todos os jogadores que participaram da partida foram rastreados.

Foram quantificados os quadros rastreados automaticamente e o número de intervenções do pesquisador para correção do algoritmo em instantes nos quais o

rastreamento do jogador não foi realizado corretamente. Obtivemos, desta forma, um percentual de automatização do sistema para cada jogador rastreado e a média final.

Na tabela 2 estão indicados todos os jogadores rastreados, o número de intervenções do pesquisador no rastreamento de cada jogador para realização do rastreamento quadro a quadro e o número de quadros e percentual de rastreamento automático.

Tabela 2 - Teste do algoritmo de rastreamento automático, onde estão representados os jogadores rastreados, o número de intervenções do pesquisador, o número de quadros rastreados automaticamente e o percentual de automatização do sistema em uma sequência de imagens de 12138 quadros

Jogador	Intervenções	Quadros rastreados automaticamente
1	31	9341 (77%)
2	36	8326 (69%)
3	39	8618 (71%)
4	45	7787 (65%)
5 [†]	21	11284 (93%)
6 ^{††}	49	7162 (59%)
7	43	8374 (69%)
8	37	10196 (84%)
9	39	10317 (85%)
10	36	9347 (77%)
11 [†]	23	11048 (91%)
12 ^{††}	45	7404 (61%)
média	37	9100 (75%)

[†]Jogadores com maior percentual de rastreamento automático, posicionados próximos às câmeras

^{††} Jogadores com menor percentual de rastreamento automático, posicionados entre os jogadores no ataque e na defesa

O rastreamento permitiu identificar as coordenadas bidimensionais de cada jogador durante o tempo de análise para avaliação do método e posterior realização das análises das variáveis cinemáticas.

2.5.2 Avaliação do rastreamento automático com a utilização de 4 câmeras

Foram utilizadas quatro câmeras, sendo que cada uma delas enquadrrou metade da quadra de jogo. Desta forma, uma mesma metade da quadra foi enquadrada por duas câmeras, conforme esquema apresentado na figura 30 e imagens das câmeras apresentadas na figura 31.

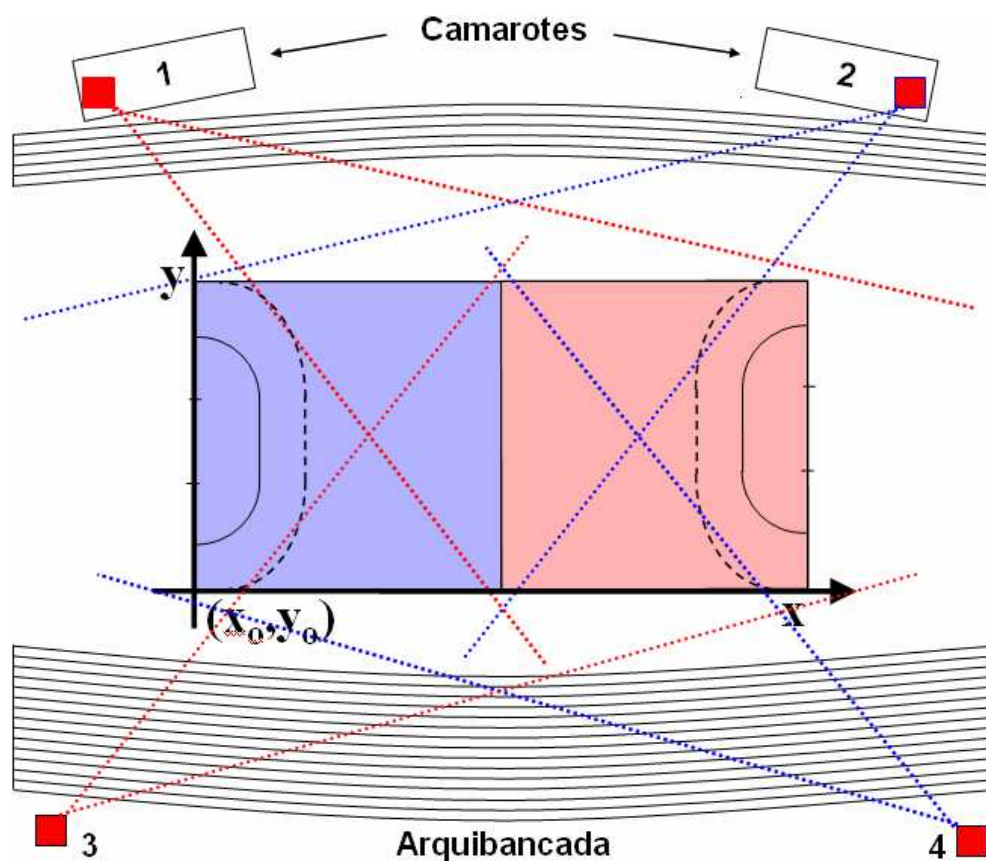


Figura 30 - Esquema do posicionamento das 4 câmeras

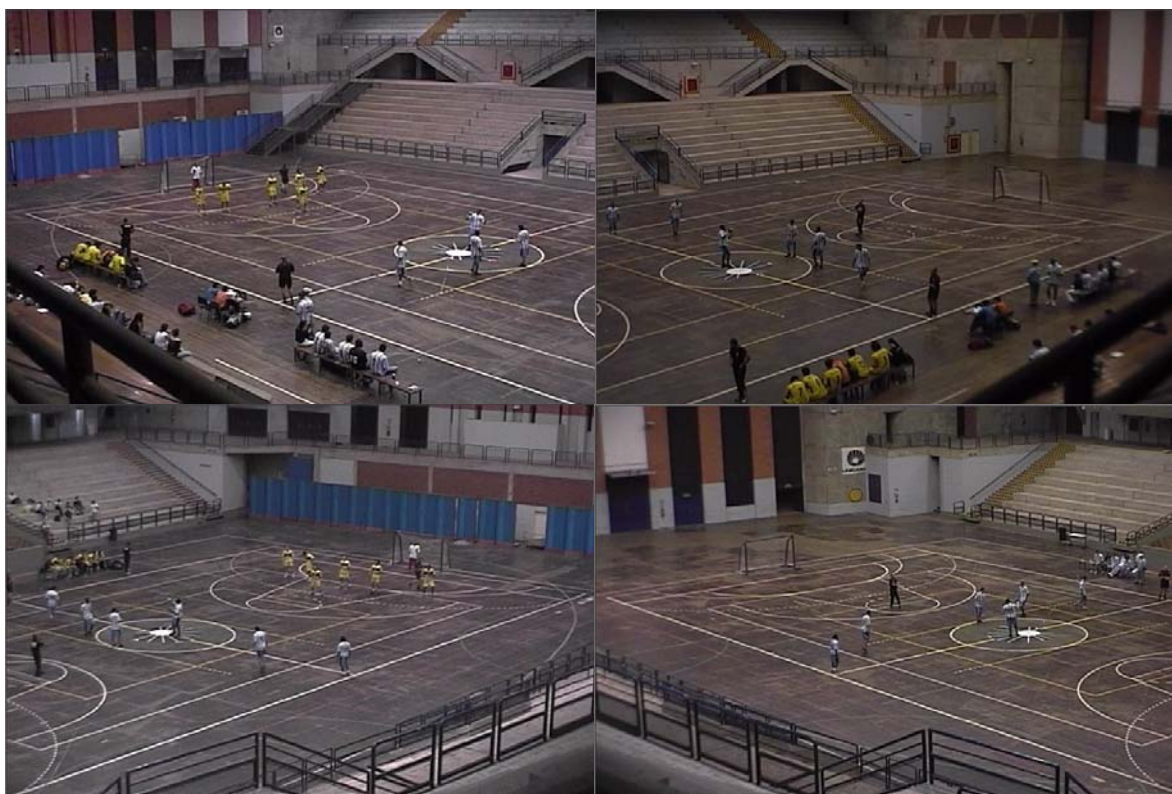


Figura 31 - Imagens das 4 câmeras. No sentido horário, a partir do canto superior esquerdo: câmera 1, câmera 2, câmera 4 e câmera 3

Para as quatro câmeras as imagens foram processadas conforme metodologia descrita e construção dos grafos para o rastreamento dos jogadores. O objetivo da redundância de imagens é o aumento do percentual do rastreamento automático dos jogadores a partir de múltiplas visões de situações de oclusões.

As imagens foram capturadas pelas câmeras com uma frequência de 30 Hz, sendo compactadas posteriormente para análise a 15 Hz.

Para a análise do rastreamento automático com a redundância das imagens foi utilizada uma sequência de imagens de 2235 quadros, correspondentes a aproximadamente 2,5 minutos de partida, na qual todos os jogadores que participaram da partida foram rastreados.

Foram quantificados os quadros rastreados automaticamente e o número de intervenções do pesquisador para correção do algoritmo, que forneceu um percentual de rastreamento automático para cada jogador. O percentual médio de rastreamento foi obtido a partir do cálculo da média de rastreamento automático de todos os jogadores.

Na tabela 3 estão indicados todos os jogadores rastreados, o número de intervenções do pesquisador e o percentual de rastreamento automático para cada jogador.

Tabela 3 - Quantificação do número de intervenções do pesquisador durante o rastreamento de cada jogador e percentual de automatização do sistema de rastreamento com redundância de imagens em uma sequência de imagens de 2235 quadros

Jogador	Intervenções	Quadros rastreados automaticamente
2 [†]	15	1839 (92%) – total de 1999 quadros
3	23	1971 (88.2%)
4	21	1989 (89%)
5	12	2046 (91.5%)
6	18	2019 (90.3%)
7	17	1726 (77.2%)
8 [†]	2	191 (81.2%) – total de 236 quadros
2+8	17	2030 (90.8%)
16	15	1825 (81.7%)
17	12	1733 (77.5%)
18 ^{††}	9	883 (77.1%) – total de 1146 quadros
19	16	1657 (74.1%)
20	17	1844 (82.5%)
21	13	1976 (88.4%)
Média	15.8	1877(84%)

[†] O jogador 8 substituiu por um pequeno período de tempo o jogador 2

^{††} O jogador 18 recebeu uma punição de 2 minutos, sendo obrigado a sair da quadra

2.5.2.1 Discussão dos resultados do rastreamento automático com a utilização de 2 e 4 câmeras

As medições das coordenadas foram realizadas de forma semi-automática, tanto com a utilização de 2 câmeras quanto com a utilização de 4 câmeras, devido à intervenção do pesquisador em situações de oclusão entre os jogadores, nas quais o método automático não conseguiu identificar corretamente.

Os casos de oclusões entre 3 ou mais jogadores dificilmente foram resolvidos no teste com 2 câmeras, principalmente na região central da quadra, local onde ocorrem oclusões de jogadores de ambas as equipes.

Para o teste com 2 câmeras, o rastreamento automático dos jogadores 5 e 11 foi realizado em um maior número de quadros do que os outros jogadores (93 e 91%, respectivamente). Esses jogadores se posicionaram mais próximos às câmeras, e correspondem ao ponta direita da equipe A e ao ponta esquerda da equipe B. O rastreamento automático dos jogadores 6 e 12 foram realizados em um tempo menor que os outros jogadores (59 e 61%, respectivamente). Esses jogadores posicionam-se defensivamente e ofensivamente entre 2 ou 3 jogadores e correspondem aos pivôs.

Para o teste com 4 câmeras, o rastreamento também foi executado de forma semi-automática, pois houve a necessidade de intervenção do pesquisador para a resolução de situações de oclusões, principalmente nas regiões mais próximas às áreas. Nessas regiões os jogadores se posicionam muito próximos uns aos outros, o que dificulta a

separação dos *blobs* e posterior rastreamento automático, no qual o algoritmo opta pelo jogador “errado” após a oclusão.

Porém, com as imagens de duas câmeras adicionais, obtivemos uma melhoria no percentual de rastreamento automático de 75% para 84%. Essa melhoria se deve ao fato de que alguns casos de oclusão provocados pela distância dos jogadores em relação às duas câmeras utilizadas na primeira avaliação tenham sido resolvidos pelas imagens adicionais.

Na figura 32 estão representadas 2 situações: a situação 1 é a imagem da câmera 1, na qual está representada a oclusão de dois jogadores pela projeção da imagem; na situação 2 está representado o mesmo quadro da seqüência de imagens, porém com a imagem da câmera 3, na qual esse caso de oclusão foi resolvido.



Figura 32 - Situação 1: oclusão entre dois jogadores vista pela câmera 1. Situação 2: oclusão "resolvida" pela imagem da câmera 3

Para solucionar as oclusões na região central da quadra uma possibilidade é a de posicionar câmeras em pontos altos do ginásio perpendicularmente em relação à linha do gol, que fornece uma visão frontal do gol. Outra possibilidade é a utilização de um número maior de câmeras.

O percentual de rastreamento automático obtido na análise de jogadores de futebol por Figueroa et al. 2006b, com o valor de 94%, foi maior do que os percentuais obtidos nesta pesquisa (média de 75% sem a redundância das imagens, e média de 84% com a redundância das imagens). As possíveis causas para este fato foram: a) um espaço de jogo relativamente menor em função do número de jogadores; b) os tamanhos dos jogadores nas imagens (regiões ocupadas pelos jogadores na imagem); c) os posicionamentos táticos durante as ações ofensivas e defensivas, que provocam maior número de oclusões; e d) as câmeras posicionadas em pontos mais baixos e próximos da quadra em relação ao futebol. O ajuste de parâmetros específicos, tais como parâmetros de filtros e utilização de diferentes ferramentas de morfologia matemática durante o processamento das imagens pode aumentar a automatização para o handebol.

Para a melhoria do percentual de rastreamento automático uma possibilidade é a aquisição das imagens a partir de câmeras posicionadas em pontos ainda mais altos em relação ao plano da quadra, o que poderá reduzir o número de oclusões e auxiliar na identificação dos jogadores.

O posicionamento das câmeras adotado para esta pesquisa possibilita a obtenção de dados em situações competitivas em quadras que possuam arquibancadas altas à sua volta. Pers et. al (2002) propuseram uma metodologia na qual sua aplicação envolveu

um posicionamento das câmeras no teto do ginásio, com eixo ótico perpendicular ao plano da quadra.

Na tabela 4 estão apresentados os dados referentes à média de intervenções do pesquisador e à média de quadros rastreados manualmente para os testes de rastreamento automático com 2 e 4 câmeras.

Tabela 4 - Média de intervenções do pesquisador e média quadros rastreados manualmente nos testes de rastreamento automático com 2 e 4 câmeras

Número de câmeras utilizadas	Média de intervenções	Média de quadros rastreados manualmente
2 [†]	37	82.1
4 ^{††}	15.8	21

[†] Seqüência de imagens de 27 minutos

^{††} Seqüência de imagens de 2.5 minutos

Comparando o número de intervenções apresentados nas duas avaliações do rastreamento automático (tabela 4) notamos que para o rastreamento com 2 câmeras o número médio de intervenções do pesquisador foi de 37 (para 27 minutos), enquanto que no rastreamento com 4 câmeras foi de 15.8 (para 2,5 minutos). O número médio de quadros rastreados manualmente por intervenção do pesquisador no rastreamento com 2 câmeras foi de aproximadamente 82.1 quadros, enquanto que no rastreamento com 4 câmeras foi de aproximadamente 21 quadros.

Esses valores nos revelam que, para o caso do rastreamento com 2 câmeras, o pesquisador rastreia manualmente um número maior de quadros, o que torna o procedimento de rastreamento mais lento (pela interferência do pesquisador). Para o caso do rastreamento com 4 câmeras o número de intervenções do pesquisador é maior, porém o

número de quadros rastreados manualmente é menor, de onde conclui-se que o grau de automatização do sistema é otimizado.

2.5.3 Rastreamento manual x rastreamento automático

Nesta análise, todos os jogadores de uma equipe que participou da partida analisada com a redundância das imagens foram rastreados manualmente, com frequência de 15 Hz.

As coordenadas obtidas com o rastreamento manual foram assumidas como as coordenadas “reais”, em relação às quais serão comparadas as trajetórias obtidas a partir do rastreamento automático.

Foram comparadas, quadro a quadro, as coordenadas obtidas manualmente com as coordenadas obtidas automaticamente. Na figura 33 está representada a curva de distância (em [m]) entre a coordenada obtida automaticamente e a coordenada obtida no rastreamento manual em cada quadro da sequência de imagens.

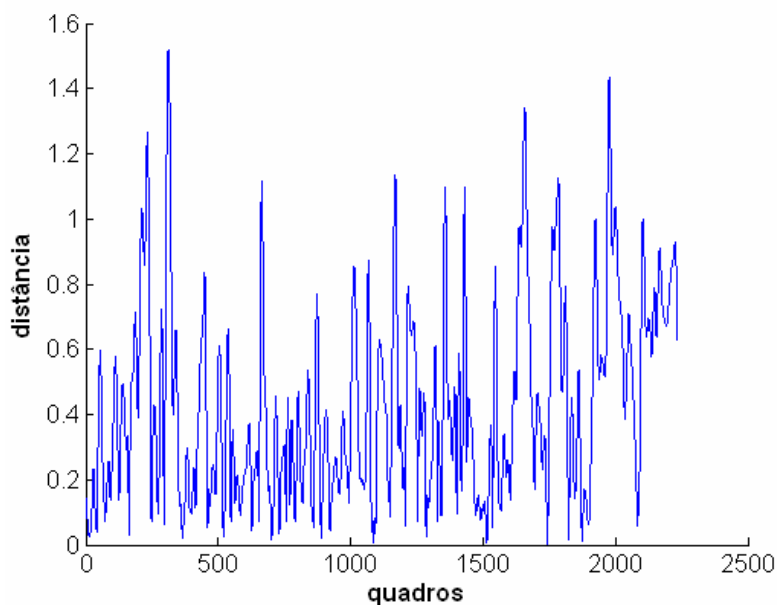


Figura 33 – Distâncias (em metros) entre as coordenadas obtidas pelo rastreamento automático em relação às coordenadas obtidas pelo rastreamento manual

Na tabela 5 estão representadas as seguintes variáveis relacionadas com a comparação entre o rastreamento automático e o manual: a) a distância média, em [m], ou erro médio (indicado pela variável E_m); b) o desvio-padrão, em [m], das distâncias em todos os quadros (variável sd); c) as distâncias percorridas por cada jogador, em [m], pelos métodos manual e automático (variável D); e d) o percentual entre o rastreamento automático e o rastreamento manual (variável P).

Tabela 5 - Medição dos erros do procedimento de rastreamento automático. Variáveis: E_m (média das distâncias entre a medição automática e a medição manual); sd (desvio-padrão da medição automática em relação à medição manual); d (distância percorrida por cada jogador no período de análise); P (percentual entre o rastreamento automático e o rastreamento manual)

Jogador	E_m	sd	d [m]		P [%] ^{††}
			manual	automático	
2 [†]	0,60	0,41	218,1	216,8	-0,60
3	0,57	0,40	234,1	230,6	-1,49
4	0,49	0,32	223,5	223,4	-0,04
5	0,48	0,33	226,2	229,9	1,63
6	0,47	0,32	244,7	237,9	-2,78
7	0,43	0,3	192,8	194,7	0,98
8 [†]	0,26	0,19	29,2	28,5	-2,39
Média	0,47	0,32	228,1	227,0	-0,67

[†] Os jogadores 2 e 8 não participaram de todo o período de partida analisado

^{††} Os valores negativos indicam que a distância calculada a partir do rastreamento automático apresentou valor inferior à distância calculada a partir do rastreamento manual

Com base nos resultados apresentados na tabela 5, podemos apontar que o rastreamento automático, em média, subestimou a distância total percorrida pelos atletas em 0.67% em comparação com o rastreamento manual.

Na figura 34 estão representadas: as coordenadas x obtidas manualmente *versus* coordenadas x obtidas automaticamente (em azul) para o caso de um jogador; as coordenadas y obtidas manualmente *versus* coordenadas y obtidas automaticamente (em vermelho) para o mesmo jogador; e em preto as retas de regressão para cada coordenada.

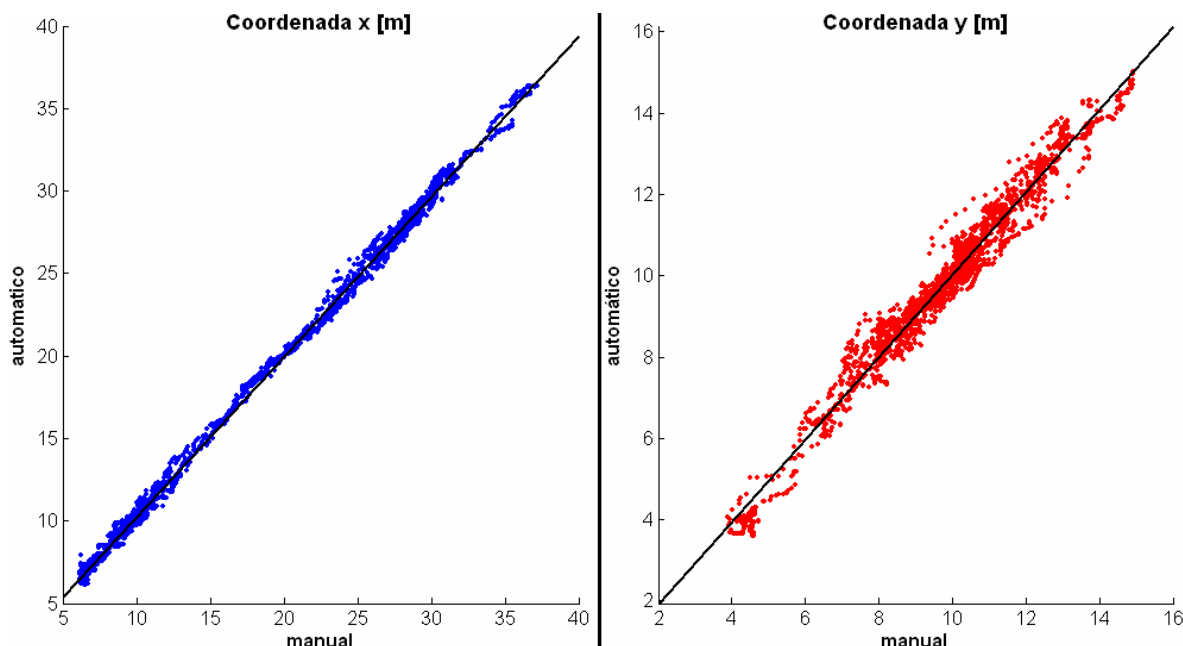


Figura 34 - Na esquerda: gráfico da coordenada x manual *versus* coordenada x automática. Na direita: gráfico da coordenada y manual *versus* coordenada y automática. Em preto estão representadas as retas de regressão para ambos os casos

Foi feita a regressão linear para as curvas referentes às coordenadas x e y (manual $\times$ automático) das trajetórias de cada jogador para o período de análise (2235 quadros – aproximadamente 2.5 minutos).

Como as medições se referem à mesma trajetória, quanto mais próxima à condição $y = x$, mais confiável será o procedimento de rastreamento automático. Ou seja, na equação da reta definida por: $y = ax + b$, quanto mais próximo a 1 obtivermos o valor de a (coeficiente angular) e mais próximo de 0 para o valor de b (coeficiente linear), maior será a reprodutibilidade da variável y em relação à variável x.

Na tabela 6 estão representados os resultados obtidos após a regressão linear para cada jogador. As variáveis contidas na tabela são: b_x e b_y (coeficiente linear das

retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); b_{intx} e b_{inty} (intervalo de confiança para o coeficiente linear das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); α_x e α_y (coeficientes angulares das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); α_{intx} e α_{inty} (intervalo de confiança para o coeficiente angular das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); $\sum res_x^2$ e $\sum res_y^2$ (soma dos quadrados dos resíduos referentes às regressões lineares para as coordenadas x e y, respectivamente)

Tabela 6 - Variáveis estatísticas obtidas a partir da regressão linear realizada entre as coordenadas x (manual e automática) e y (manual e automática). Variáveis calculadas: b_x e b_y (coeficiente linear das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); b_{intx} e b_{inty} (intervalo de confiança para o coeficiente linear das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); α_x e α_y (coeficientes angulares das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); α_{intx} e α_{inty} (intervalo de confiança para o coeficiente angular das retas de regressão para as coordenadas x e y, respectivamente); $\sum res_x^2$ e $\sum res_y^2$ (soma dos quadrados dos resíduos referentes às regressões lineares para as coordenadas x e y, respectivamente)

	Variável	Jogador							Média
		2	3	4	5	6	7	8	
Coordenada x	b_x	0.20	0.65	0.55	0.49	0.47	0.24	0.15	0.39
	b_{intx}	0.14	0.61	0.51	0.44	0.42	0.19	0.04	-
	α_x	0.27	0.70	0.59	0.53	0.51	0.28	0.25	-
	α_{intx}	0.99	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	1.00	0.98
	α_{intx}	0.98	0.96	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	-
	$\sum res_x^2$	0.99	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	1.01	-
Coordenada y	b_y	0.997	0.998	0.997	0.997	0.998	0.998	0.994	0.997
	b_{inty}	0.39	0.73	-0.09	0.21	0.01	-0.15	0.20	0.19
	α_y	0.19	0.64	-0.16	0.17	-0.01	-0.24	-0.06	-
	α_{inty}	0.58	0.82	-0.02	0.25	0.03	-0.07	0.46	-
	α_{inty}	0.99	0.96	1.01	0.94	0.96	1.01	0.99	0.98
	$\sum res_y^2$	0.98	0.96	1.01	0.93	0.95	1.01	0.98	-
	$\sum res_y^2$	1.00	0.97	1.02	0.95	0.97	1.02	1.01	-
		0.939	0.974	0.974	0.966	0.973	0.964	0.985	0.968

Com base nos resultados apresentados na tabela 6 os valores médios dos coeficientes angulares para as coordenadas x e y (α_x e α_y) apresentaram valores próximos a

1 (ambos iguais a 0.98), o que significa que as retas de regressão têm inclinação de aproximadamente 45° e que para as coordenadas x e y o método automático reproduz os valores obtidos manualmente. Os valores médios dos coeficientes lineares (que indicam os interceptos do eixo y) para as coordenadas x e y (b_x e b_y) foram, respectivamente, 0.39 e 0.19, o que pode indicar uma variação maior na medição da coordenada x.

A soma dos quadrados dos resíduos para as coordenadas x e y ($\sum \text{res}_x^2$ e $\sum \text{res}_y^2$), referentes à variância das medições, apresentou valores médios de 0.997 e 0.968. Quanto mais próximo de um for o resultado da soma dos quadrados dos resíduos, menor será a variância dos dados, ou seja, menos ele se desvia do valor ajustado (neste caso a reta de regressão).

Os resultados nos permitem concluir que, apesar das diferenças encontradas entre o rastreamento automático e o rastreamento manual, conforme apresentado na tabela 5, o procedimento de rastreamento automático apresenta uma reprodutibilidade dos valores reais, indicados pelo rastreamento manual. Ou seja, a utilização do rastreamento automático é confiável para a obtenção das coordenadas bidimensionais de jogadores de handebol em situações competitivas.

2.6 Conclusões

A etapa de segmentação das imagens permitiu identificar e extrair as regiões ocupadas pelos jogadores, sem que nenhum jogador deixasse de ser associado a

cada *blob*, mesmo que em apenas um *blob* contivesse informações de dois ou mais jogadores.

A utilização do algoritmo de separação dos *blobs* mostrou-se eficiente para o objetivo proposto, permitindo que *blobs* que continham dois jogadores, por exemplo, pudessem ser separados em dois, cada um associado às informações de um jogador.

O rastreamento automático com 4 câmeras apresentou um percentual superior ao mesmo procedimento quando utilizadas 2 câmeras. Esse resultado era esperado, uma vez que situações de oclusões provocadas pela distância dos jogadores em relação às câmeras foram minimizadas.

As alterações em alguns parâmetros das etapas de processamento das imagens e de rastreamento automático proporcionarão um percentual maior de automatização do sistema.

Em relação ao método desenvolvido para o futebol, o método desenvolvido para o handebol apresenta algumas particularidades:

O rastreamento de jogadores de handebol envolve problemas como uma grande quantidade de oclusões entre os jogadores durante longos períodos da partida, o que no futebol ocorre em com menos frequência ou em situações específicas de jogo;

A diferença entre as imagens obtidas no futebol e no handebol, desde o enquadramento até a qualidade, é outro aspecto a ser considerado, pois o procedimento de tratamento das imagens foi diferenciado nas das situações;

A diferenciação no tratamento das imagens envolve a aplicação de diferentes procedimentos nas etapas de processamento das imagens, que vão desde a aplicação de filtros até o tipo de *kernel* utilizado para as operações morfológicas;

A especialização dos algoritmos é um aspecto importante de ser ressaltado, pois há diferentes problemas envolvendo o rastreamento de jogadores de handebol e o rastreamento de jogadores de futebol, desde o posicionamento das câmeras para a aquisição das imagens até as etapas de processamento das imagens e separação dos *blobs*.

As novidades envolvidas no rastreamento de jogadores de handebol desenvolvidas nesta pesquisa envolvem a redundância das imagens, obtidas por câmeras posicionadas em lados opostos da quadra de jogo, e também o esporte envolvido, o qual apresenta um número restrito de pesquisas sobre desenvolvimento de metodologias de rastreamento.

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISES CINEMÁTICAS DE UMA PARTIDA DE HANDEBOL

3.1 Introdução

As análises cinemáticas de uma partida de handebol, em situação competitiva, têm como objetivos quantificar as variáveis diretamente relacionadas com a performance tática e física dos jogadores, tais como as trajetórias, distâncias percorridas e distribuição de velocidades. A quantificação dessas variáveis pode auxiliar treinadores e preparadores físicos a planejarem com maior especificidade as sessões de treinamento tático e treinamento físico.

Yamanaka et al. (2002) fizeram um estudo para analisar padrões de jogo em oito partidas das Eliminatórias Asiáticas da Copa do Mundo de Futebol, enfatizando a Seleção Japonesa. O campo foi dividido em dezoito regiões, sendo três longitudinais e seis transversais. A frequência de cada ação (passes, faltas, chutes a gol etc) por área foi arquivada. Foram realizadas análises quantitativas de 13 variáveis de 4 equipes (Japão, Coreia do Sul, Arábia Saudita e Iraque), sendo apresentados gráficos da distribuição de passes por quadrantes das equipes e não sendo quantificados dados das trajetórias dos jogadores.

Sforza et al. (1997) realizaram a filmagem de duas jogadas ensaiadas e executadas por duas equipes júnior de futebol (sendo uma semi-profissional e outra amadora). As jogadas de ataque (ensaiadas) foram executadas 20 vezes cada, sendo computadas as coordenadas de cada jogador durante a execução das jogadas. Os autores realizaram uma análise bivariada, justificada por esses por proporcionar um método mais correto de avaliação de posições do ponto de vista estatístico, onde as coordenadas horizontais e verticais dependem uma da outra. A média da posição de cada jogador foi calculada e elipses com determinados intervalos de confiança foram utilizadas para a visualização da variabilidade de simples repetições.

Trabalhos como os de Misuta et al. (2004, 2005, 2006) propõem métodos de análises cinemáticas das trajetórias e das distâncias percorridas por jogadores brasileiros de futebol durante partidas oficiais, a partir de um método de rastreamento automático baseado em videogrametria. Toki e Sakurai (2005) apresentam trajetórias de jogadores japoneses de futebol e quantificação de distâncias percorridas, a partir de rastreamento manual em uma sequência de imagens capturadas com frequência de 2 Hz.

No sistema desenvolvido por Pers et al. (2000, 2002) para a análise de jogadores de handebol, os autores relataram a possibilidade de visualização das trajetórias e quantificação de distâncias percorridas e velocidades de cada jogador. Os resultados apresentados pelos autores são apresentados nas seções 3.5.3 (referente às discussões dos dados de distâncias percorridas) 3.6.2 (referente à distribuição de velocidades dos jogadores em faixas de intensidade).

Nesta pesquisa será utilizado o método proposto no capítulo anterior, baseado na aquisição de imagens por duas câmeras digitais, processamento digital das

imagens para extração das regiões referentes aos jogadores e construção de grafos para o rastreamento automático dos jogadores. As análises cinemáticas serão realizadas a partir da matriz de coordenadas bidimensionais referentes às posições dos jogadores em função do tempo.

Este capítulo apresenta a seguinte estrutura:

- Caracterização dos dados, onde são caracterizados os sujeitos e local da filmagem;
- Tratamento dos dados, onde são apresentados os parâmetros utilizados para suavização dos dados;
- Descrição das variáveis cinemáticas quantificadas e analisadas: trajetórias, distâncias percorridas, velocidades;
- Apresentação das interfaces desenvolvidas para a visualização dos dados;
- Conclusões.

3.2 Caracterização dos dados

Para a análise cinemática a partir o método de rastreamento automático foi filmada uma partida oficial válida pela Liga Regional de Handebol de 2005, disputada entre as equipes A e B, da categoria sub-21 masculina (jogadores com idades até 21 anos), no Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP.

A filmagem foi realizada com 2 câmeras digitais (modelo GR-DVL 9500) posicionadas nos camarotes do Ginásio. Foram filmados o primeiro e segundo tempos de partida, com duração de 27 e 30,3 minutos respectivamente. As imagens foram capturadas a 30 Hz, processadas e analisadas a 15 Hz, conforme descrito no capítulo 2.

3.3 Tratamento dos dados

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, com um percurso medido e conhecido no campo de futebol, para determinar os parâmetros do filtro digital *ButterWorth*. O autor adotou, após os testes, o filtro “passa baixa” de 3ª ordem com frequência de corte de 0.375 Hz.

Neste trabalho, devido à não realização de um teste dinâmico, o parâmetro de filtragem foi ajustado a partir da comparação entre as coordenadas retornadas pelo Sistema Dvideow e as coordenadas retornadas após a aplicação do filtro. Foi utilizado um filtro “passa baixa” de 3ª ordem com frequência de corte de 0.75 Hz, para filtragem dos dados.

Na figura 35 estão representadas as coordenadas x e y referentes a um trecho da trajetória de um jogador antes da filtragem (bruto, em azul) e após a filtragem (em vermelho). Na figura 36 está representado um trecho da trajetória bruta (em azul) de um jogador e o mesmo trecho após a filtragem das coordenadas (em vermelho).

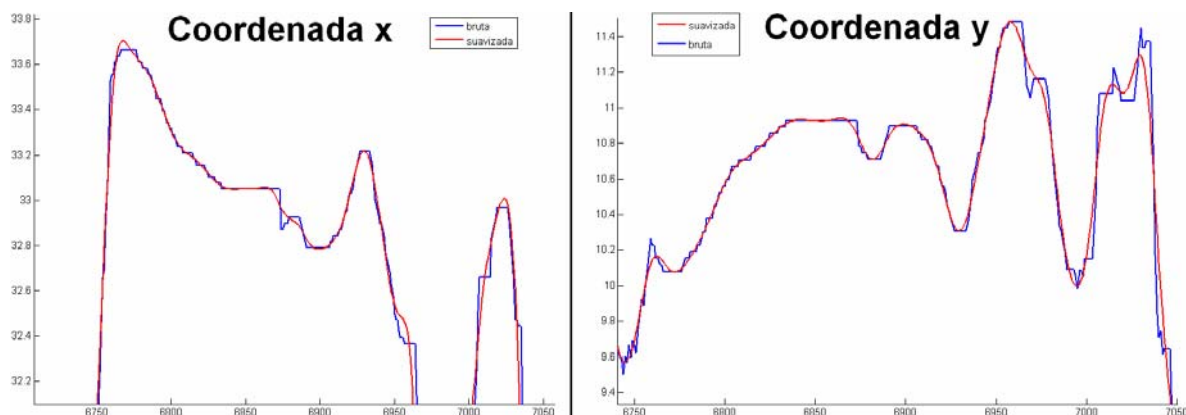


Figura 35 - Filtragem das coordenadas x e y referentes às trajetórias de um jogador. Em azul: bruta; em vermelho: após filtragem

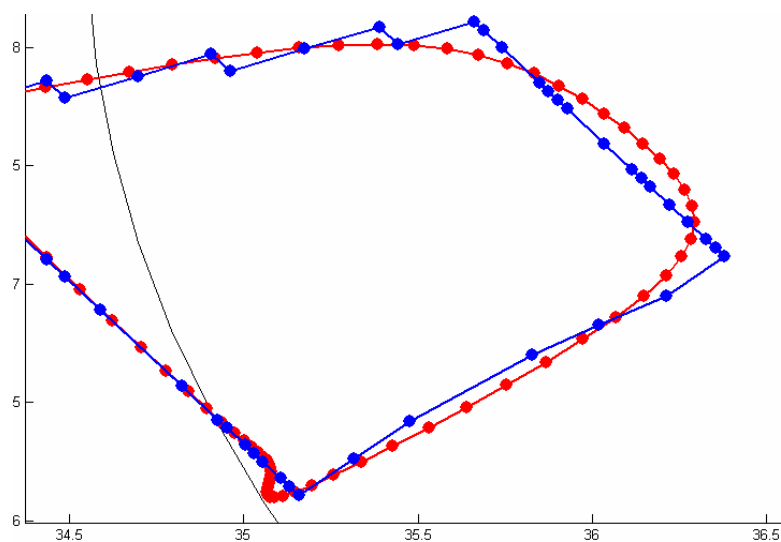


Figura 36 - Trecho da trajetória de uma jogador. Em azul: trajetória bruta; em vermelho: trajetória filtrada

A partir da obtenção das coordenadas das posições dos jogadores em função do tempo, conforme descrito anteriormente, foram realizadas as seguintes análises:

- a) análise das trajetórias dos jogadores; b) análise das distâncias percorridas pelos jogadores; c) análise das velocidades dos jogadores.

3.4 Análise de Trajetórias de Jogadores de Handebol

As trajetórias de jogadores de handebol, assim como das outras modalidades desportivas, servem como ponto de partida para uma análise tática de cada jogador e da equipe, e também para o cálculo das variáveis cinemáticas diretamente relacionadas com a posição em função do tempo, que são neste trabalho: distâncias percorridas e velocidades.

Serão apresentadas duas possibilidades de análise das trajetórias dos jogadores: a) a análise da trajetória propriamente dita; b) a análise a partir da representação por curvas de nível.

3.4.1 Análise da trajetória

A obtenção das trajetórias de jogadores proporciona, a partir de análises de suas movimentações e ocupações de espaço na quadra de jogo, uma análise da tática individual (permitindo identificar as funções táticas desempenhadas por cada atleta) e também uma análise da tática coletiva (interação entre os jogadores quanto à ocupação de espaços). Torna-se possível também a realização de comparações entre atletas de mesma equipe ou equipes adversárias que desempenham funções táticas diferenciadas.

Na figura 37 estão representadas as trajetórias, durante todo o primeiro tempo de partida, de dois jogadores que atuam na mesma equipe. Em azul está representado

o pivô da equipe e em vermelho o ponta esquerda. O pivô é responsável por criar espaços entre os defensores e o ponta geralmente é responsável pelas finalizações da equipe nas zonas laterais da quadra.

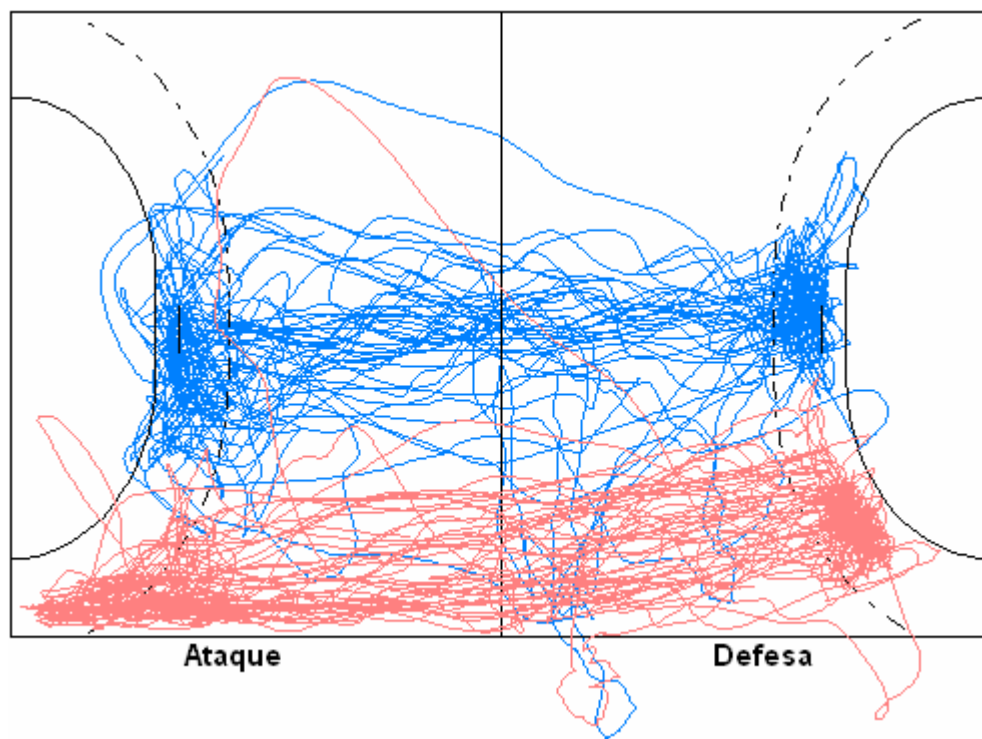


Figura 37 - Trajetórias descritas pelo pivô (azul) e pelo ponta esquerda (vermelho) da mesma equipe durante todo o primeiro tempo de uma partida

Na figura 38 estão apresentadas as trajetórias de todos os jogadores da equipe A após o final do primeiro tempo da partida.

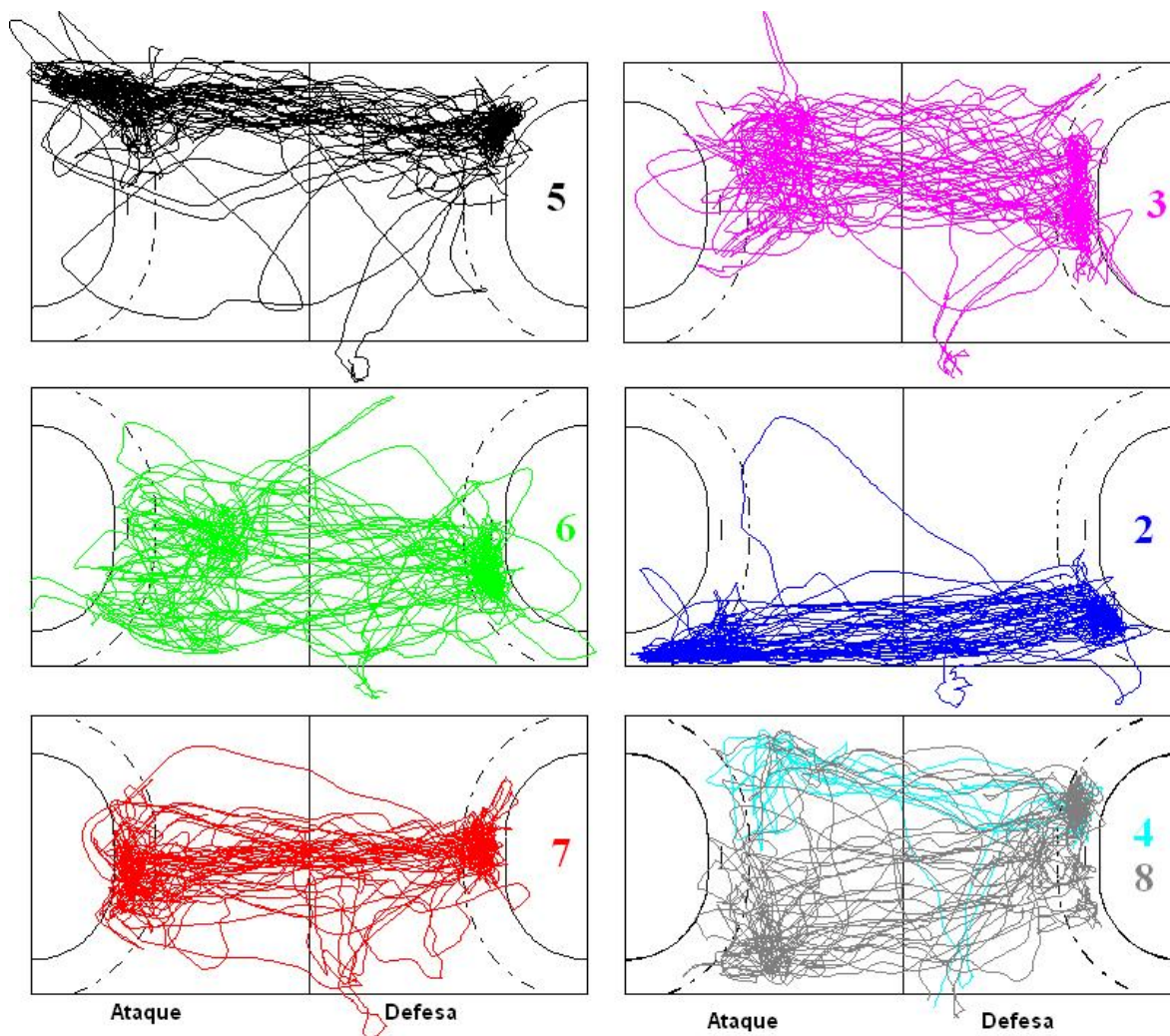


Figura 38 - Trajetórias de todos os jogadores da equipe A após o final do primeiro tempo de partida

A partir das trajetórias apresentadas na figura 38 é possível identificar as posições nas quais os jogadores atuaram durante a partida, tanto no sistema ofensivo quanto no sistema defensivo. A única substituição ocorrida durante o primeiro tempo de partida (figura 38) ocorreu com a saída do jogador 8 e entrada do jogador 4. As posições nas quais os jogadores da equipe A atuaram, nos sistemas ofensivo e defensivo, estão descritas na tabela 7.

Tabela 7 - Posições ofensivas e defensivas de todos os jogadores da equipe A durante o primeiro tempo de partida

Jogador	Posição no sistema ofensivo	Posição predominante no sistema defensivo
2	Ponta esquerda	1º defensor esquerdo
3	Armador central / armador direito	3º defensor esquerdo
4 (titular) / 8 (suplente)	Armador direito Armador esquerdo	2º defensor direito
5	Ponta direita	1º defensor direito
6	Armador esquerdo / Armador central	2º defensor esquerdo
7	Pivô	3º defensor direito

Para caracterizar o posicionamento dos jogadores nos sistemas defensivo e ofensivo, ou mesmo caracterizar os sistemas defensivo e ofensivo adotados pelas equipes, torna-se necessária uma análise da dinâmica do jogo.

Uma caracterização simples do sistema defensivo da equipe é possível a partir da identificação da posição de cada jogador na meia quadra defensiva, conforme apresentado na tabela 7. As características das trajetórias dos jogadores na meia quadra defensiva fornecem indícios de que o sistema defensivo adotado durante o primeiro tempo da partida foi o 6:0, no qual os 6 jogadores posicionam-se próximos à linha da área (primeira linha defensiva). Porém vale ressaltar que o sistema defensivo pode ter sido alterado em qualquer instante do primeiro tempo (como para o 5:1, por exemplo), o que dificultaria a identificação apenas pelas trajetórias dos jogadores.

3.4.2 Análise a partir da representação por curvas de nível

Para a análise a partir da representação por curvas de nível a quadra foi dividida em uma malha de pequenos retângulos em igual número no comprimento e na largura da quadra. Foi quantificado o número de quadros em que o jogador permaneceu em cada uma das regiões dessa malha, o que forneceu uma informação das zonas da quadra mais “visitadas” pelo jogador.

Foi criada uma matriz contendo 3 colunas: a primeira e segunda colunas armazenavam, respectivamente, as coordenadas x e y do centro da região (retângulo); a terceira coluna armazenava o tempo de permanência (em quadros) do jogador referente àquela região (chamado de z).

Para construção das curvas foram utilizadas duas rotinas do Matlab[®]: *meshgrid* (que gera eixos x e y para gráficos em 3D) e *griddata* (que faz um “gradeamento” dos dados de permanência dos jogadores em cada região do campo e ajusta uma superfície).

Exemplos das regiões de maior tempo de permanência do pivô da equipe A estão representados na figura 39 e figura 40 (C).

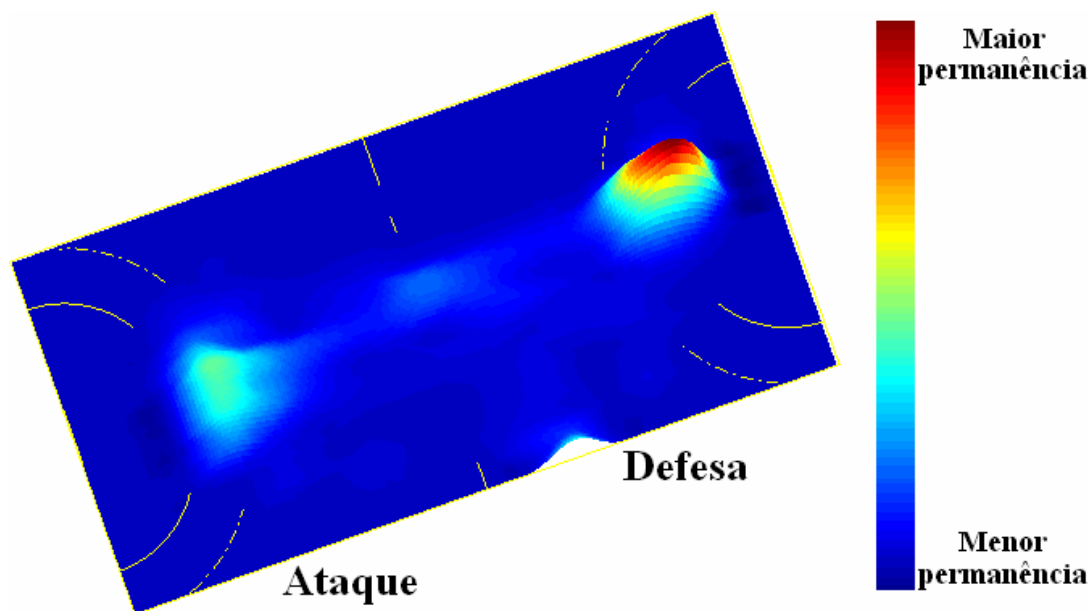


Figura 39 - Representação da superfície formada pela quantificação dos tempos de permanência em cada região da quadra

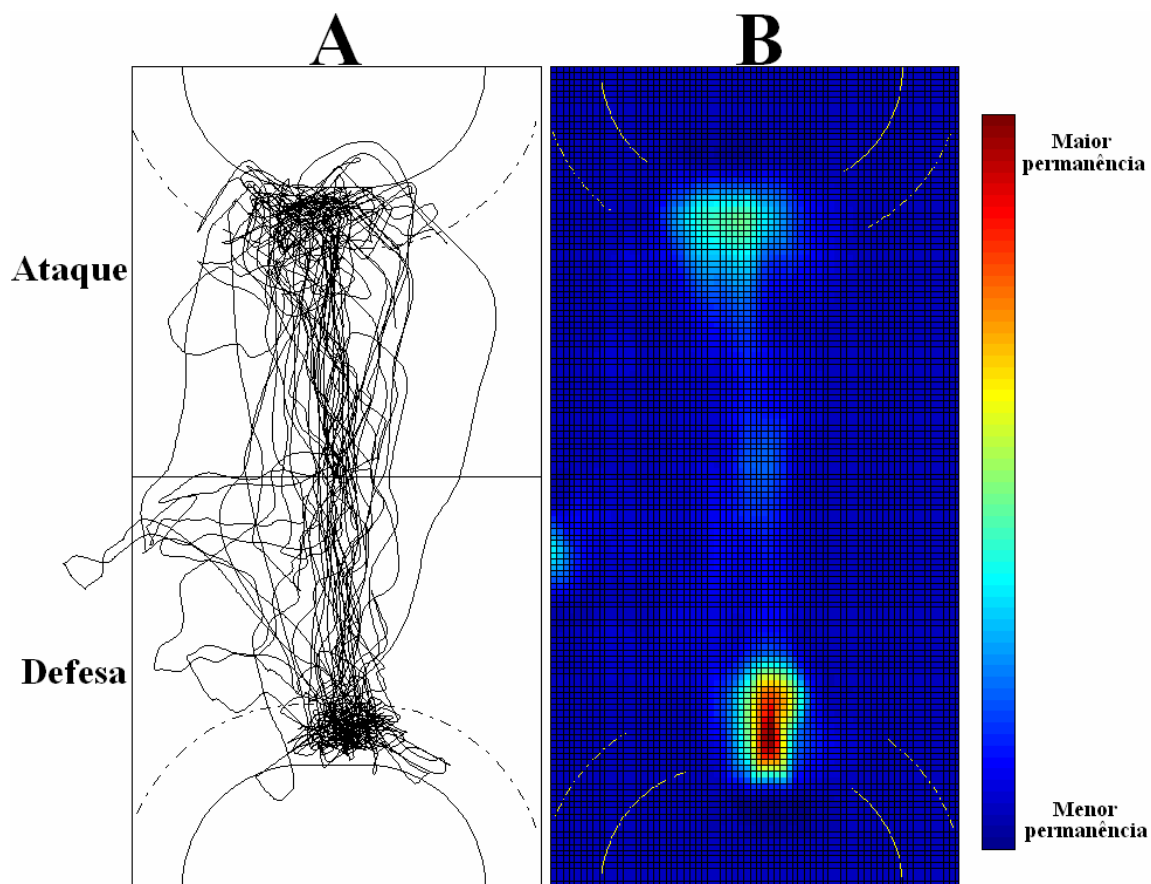


Figura 40 - Trajetórias (A) e zonas de maior tempo de permanência (B) do pivô da equipe A durante o primeiro tempo de jogo

A partir da figura 39 podemos apontar que no setor defensivo os deslocamentos dos jogadores são mais concentrados em uma determinada região, representados pelos tons mais avermelhados das curvas. No setor ofensivo os deslocamentos apresentaram-se mais dispersos, representados pelos tons mais azulados das curvas, devido à maior mobilidade permitida aos setores ofensivos em relação aos setores defensivos.

Outra possibilidade de representação utilizando a mesma escala de intensidades é a partir das curvas de nível. Os dados são plotados, então, em uma escala de cores, na qual as cores mais próximas ao azul representam as regiões com menor permanência, e as cores mais próximas ao vermelho representam as regiões com maior permanência. Na figura 41 estão representadas as curvas de nível referentes aos deslocamentos do mesmo pivô da equipe A.

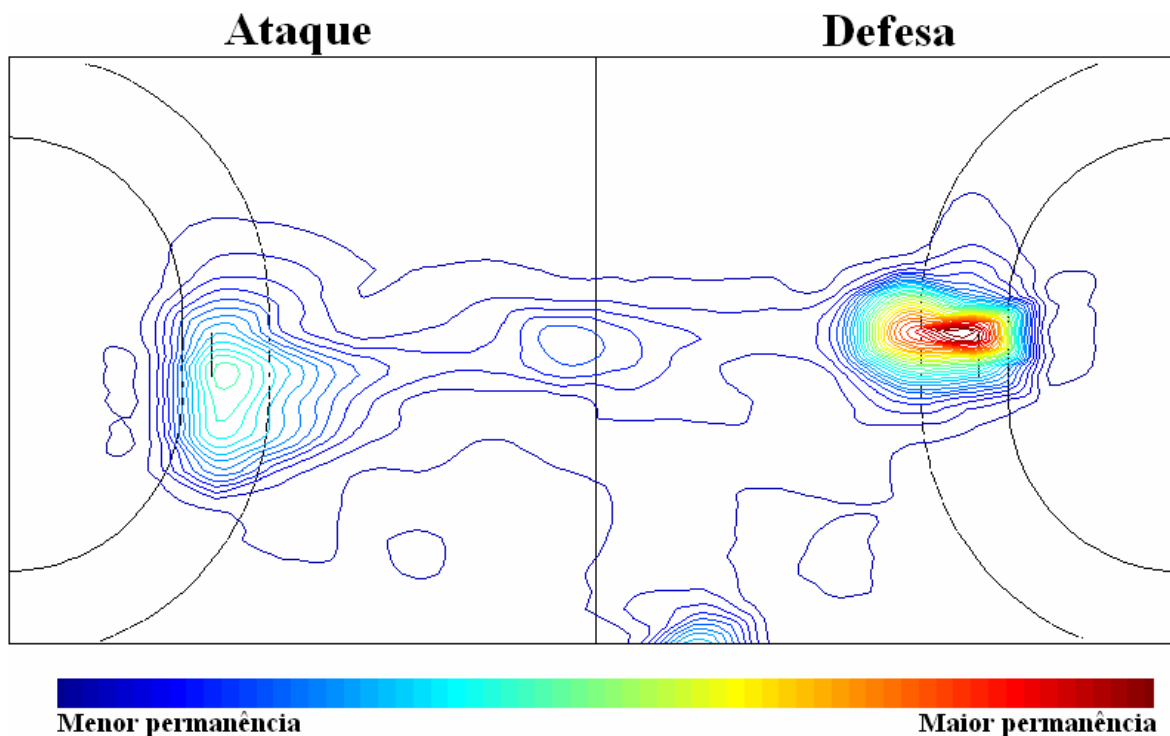


Figura 41 - Representação das curvas de nível formadas pela quantificação do tempo de permanência do jogador em cada região da quadra

As informações contidas no diagrama de cores ou nas curvas de nível apresentadas anteriormente fornecem indicativos táticos referentes ao posicionamento dos jogadores, nos setores ofensivo e defensivo. Essa informação é de valia para os treinadores por permitir identificar quais são as zonas da quadra que o jogador permanece durante períodos mais longos de tempo ou mesmo regiões não “visitadas”.

3.4.3 Discussões da análise das trajetórias

As funções táticas defensivas e ofensivas de todos os jogadores puderam ser identificadas a partir das trajetórias descritas por esses durante o tempo de análise. A

análise das trajetórias de todos os jogadores nos setores ofensivo e defensivo fornece indicativos sobre os sistemas táticos das equipes, a partir da identificação da função tática de cada jogador.

Como exemplo de análise, o pivô (representado pelo número 7) desempenhou a função tática defensiva de 3º defensor, atuando na zona central da quadra, enquanto que o ponta esquerda (representado pelo número 2) desempenhou a função tática defensiva de 1º defensor esquerdo, atuando na zona lateral esquerda da quadra.

As formas de visualização das trajetórias por curvas de nível são importantes por apresentarem as regiões de maior permanência dos jogadores durante o período de análise, sendo que nas figuras 39, 40 e 41 foram apresentados os dados referentes a um jogador durante um tempo inteiro de partida.

Todas essas formas de análise de trajetórias fornecem indicativos para que os treinadores possam intervir diretamente no perfil tático de sua equipe, tanto individualmente quanto coletivamente.

3.5 Análise das Distâncias Percorridas por Jogadores de Handebol

A partir das informações da posição dos jogadores em função do tempo torna-se possível a quantificação das distâncias percorridas. As distâncias percorridas pelos jogadores de handebol foram analisadas de duas formas: 1) distâncias totais percorridas ao final de cada período de partida; 2) distâncias percorridas em função do tempo.

3.5.1 Distâncias totais percorridas pelos jogadores

As distâncias percorridas pelos jogadores durante toda a partida são representadas pelo somatório dos deslocamentos dos atletas entre quadros consecutivos, do início ao final da seqüência de imagens. A equação para o cálculo da distância percorrida está indicada em **(13)**.

$$d = \sum_{i=1}^{Q-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (13)$$

Na qual x_i e y_i são as coordenadas do vetor posição $\mathbf{r}(x_i, y_i)$ do jogador; i é o quadro atual; Q é o número total de quadros da seqüência de imagens subtraído de 1 ($1 \leq i \leq Q - 1$), devido ao fato de termos 1 unidade somada à i nos termos x_{i+1} e y_{i+1} .

A quantificação dessa variável permite:

- analisar a distância percorrida por cada jogador durante toda a partida;
- comparar se os jogadores apresentaram aumento ou diminuição da distância percorrida entre o primeiro e segundo tempos;
- comparar as distâncias percorridas por jogadores das diferentes posições (goleiros, armadores, pontas e pivôs),
- comparar jogadores que atuaram pela mesma equipe ou por equipes adversárias.

Na tabela 8 estão expressos os valores calculados de distância percorrida para cada um dos atletas das equipes A e B, para o primeiro e segundo tempos de partida e a distância percorrida durante toda a partida.

Tabela 8 - Representação das distâncias percorridas pelos jogadores da equipe A e B durante toda a partida. Funções táticas: PE – ponta esquerda; PD – ponta direita; AD – armador direito; AC – armador central; AE – armador esquerdo; PV – pivô

Função Tática	Equipe	1º tempo [m]	2º tempo [m]	Total [m]
PE	A	2211.4	2693.6	4905.0
AC / AD	A	2407.9	1699.3 ^{†††}	4107.2
AD	A	334.6 [†]	858.8 [†]	1193.4
PD	A	2506.5	2583.2	5089.7
AC / AE	A	2319.7	2359.9	4679.6
PV	A	1983.8	2018.0	4001.8
AE	A	1806.3 [†]	1457.9 [†]	3264.2
AE / PV	A	-	844.6 ^{†††}	844.6
PD	B	2447.0	2603.3	5050.3
AC	B	1921.9 ^{††}	2147.3	4069.2
AE	B	2259.4	2428.7	4688.1
AD	B	1845.0	2545.7	4390.7
PE	B	2288.3	2602.6	4890.9
PV	B	1931.2	2250.1	4181.3
AC	B	223.1 ^{††}	-	223.1
Média ± sd		2207.2 ± 207.8	2424.4 ± 208.6	4631.6 ± 361.6

[†] Jogadores substituídos na equipe A no primeiro e segundo tempos

^{††} Jogadores substituídos na equipe B no primeiro tempo de partida

^{†††} Jogadores substituídos na equipe A no segundo tempo de partida

Na figura 42 estão representadas os gráficos de barras das distâncias percorridas (em metros) pelos jogadores durante o primeiro e segundo tempos de partida, conforme os valores indicados na tabela 8.

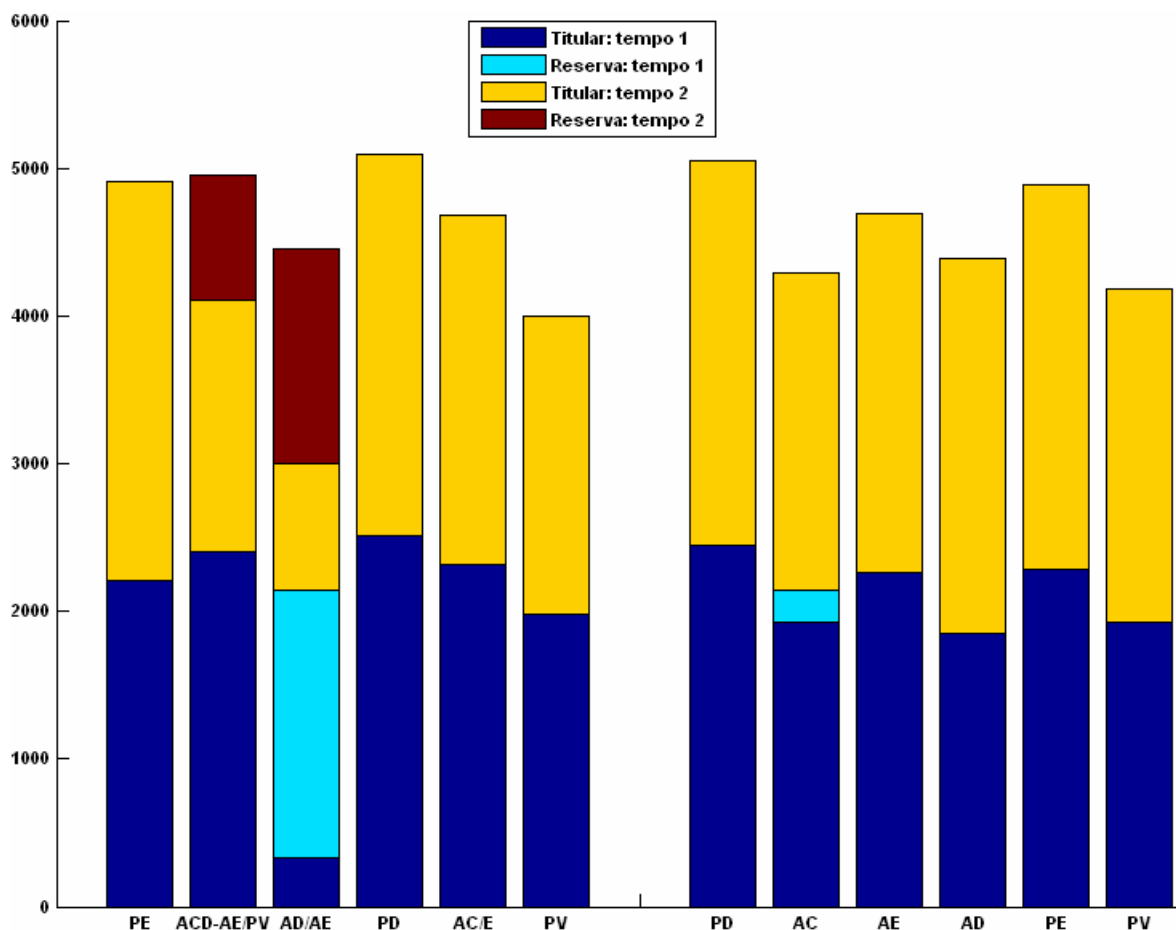


Figura 42 - Distâncias percorridas pelos jogadores da equipe A e equipe B. Primeiro tempo: titulares em azul escuro e reservas em azul claro. Segundo tempo: titulares em amarelo e reservas em vermelho

Conforme o gráfico apresentado anteriormente podemos notar, em ambas as equipes, que os jogadores que atuaram como pontas direita e esquerda percorreram maiores distâncias ao final da partida (4905m e 5089.7m para a equipe A, e 5050.3m e 4890.9 para a equipe B) em relação aos demais jogadores.

Os pivôs de ambas as equipes percorreram distâncias inferiores (4001.8m da equipe A e 4181.3m da equipe B) aos demais jogadores, que pode ter sido provocada pela sua função tática, que geralmente exige, no setor ofensivo, deslocamentos curtos para aproveitamento de espaços entre os defensores adversários e a linha da área para a recepção

da bola. No setor defensivo esses jogadores geralmente desempenham funções táticas no centro da quadra, onde não adotam muitos deslocamentos frontais (flutuação) para a marcação.

Os armadores das equipes ocupam posições intermediárias nessa escala de distância percorrida devido a: 1) ocuparem, no setor defensivo, regiões onde existem flutuações e no setor ofensivo terem a necessidade e função de realizar deslocamentos para infiltração na defesa adversária; e 2) em contrapartida, os deslocamentos entre o setor defensivo e ofensivo são mais curtos que os demais jogadores, que se deve ao fato de os armadores atuar a uma distância maior em relação ao gol adversário.

3.5.2 Distâncias percorridas em função do tempo

A forma de representação a partir das curvas de distância percorrida em função do tempo (Misuta et al. 2005, Misuta et al. 2006) fornece indicativos de períodos de maior ou menor intensidade durante a partida, de acordo com a sua inclinação (quanto maior a inclinação, maior é a distância percorrida). Permite analisar o desempenho do jogador a partir, por exemplo, de uma comparação entre as inclinações de determinados trechos da curva no início e final do jogo.

Na figura 43 estão representadas as curvas de distância percorrida em função do tempo por todos os jogadores de uma equipe que atuaram durante todo o primeiro tempo de uma partida.

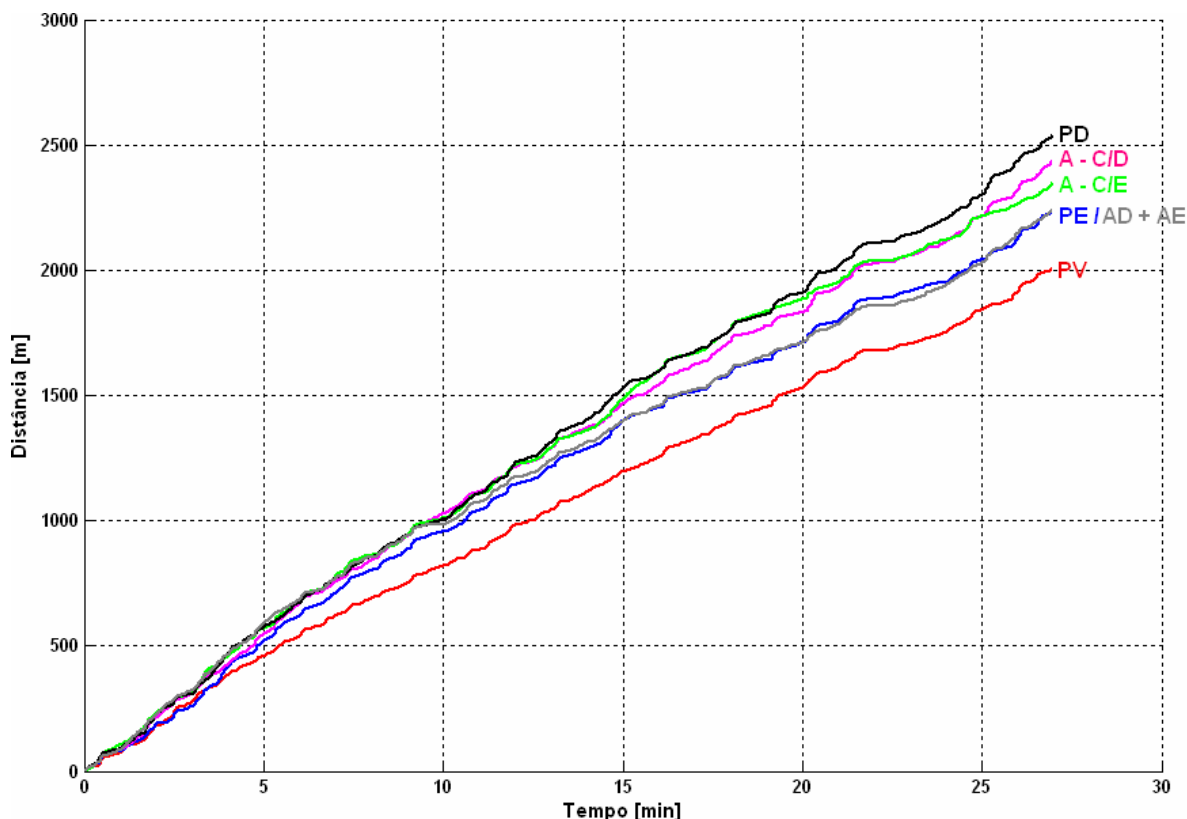


Figura 43 - Curvas de distância percorrida de todos os jogadores da equipe A durante o primeiro tempo de uma partida. Siglas: PD - ponta direita; A -C/D - armador central/direito; A -C/E - armador central/esquerdo; PE - ponta esquerda; AD + AE - armador esquerdo e armador direito (titular + suplente); PV - pivô

As curvas de distância percorrida em função do tempo dos jogadores da equipe A apresentam alguns indicativos sobre a performance desses, tais como:

Os armadores central/direito (A C/D) e central/esquerdo (A C/E) apresentaram valores próximos de distâncias percorridas finais, sendo de 2407,9m e 2319,7m, porém até aproximadamente 20 minutos o A C/E apresentou melhor desempenho (considerando a variável distância percorrida). Após esse período o A C/D apresentou melhor desempenho, superando a distância percorrida pelo A C/E;

O pivô (PV), pelas suas características técnico-táticas e pelas zonas de atuação ofensiva e defensiva, apresentou o menor valor de distância percorrida (1983.8m), que pôde ser notado desde o início da análise;

O ponta direita (PD) apresentou distância percorrida superior ao ponta esquerda (PE), diferença essa que se evidencia a partir de aproximadamente 12 minutos. Essa discrepância de performance pode ter sido ocasionada por opções táticas do treinador.

Na figura 44 estão representadas as curvas de distâncias percorridas em função do tempo pelos jogadores da equipe B, durante o primeiro tempo de partida.

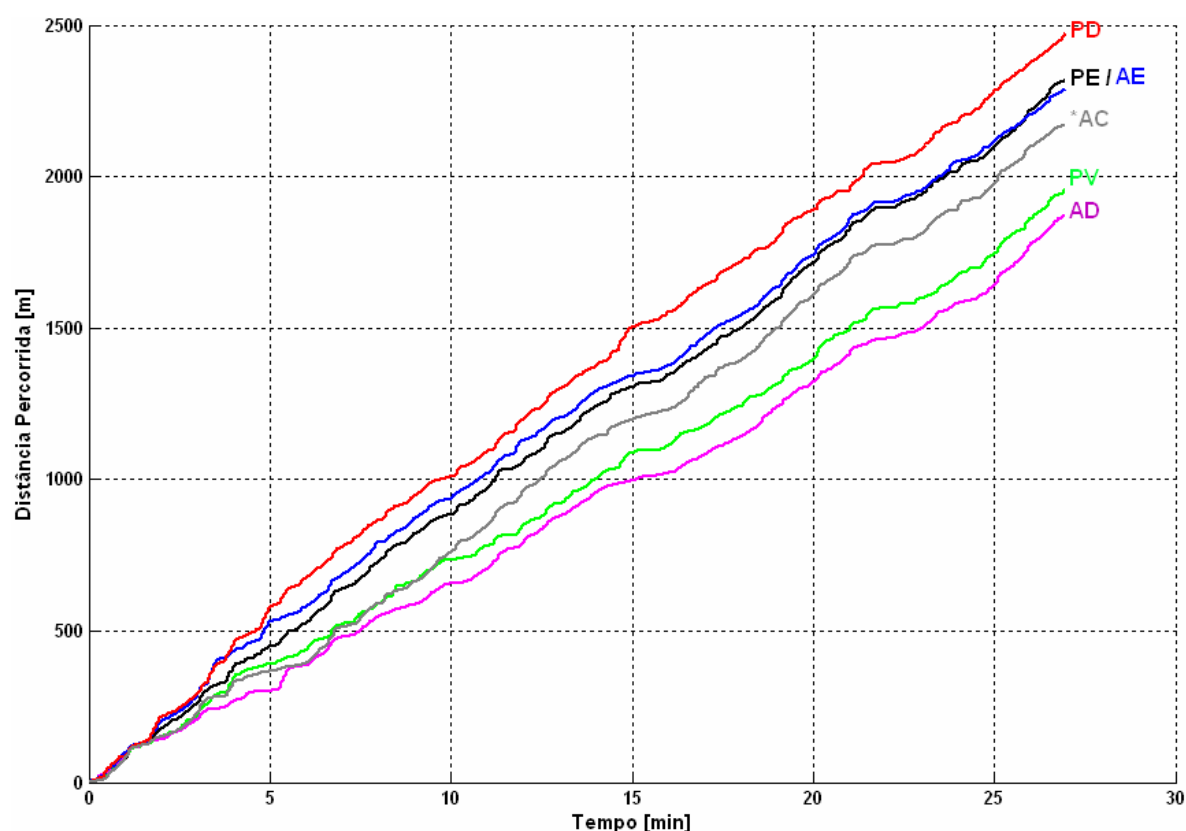


Figura 44 - Curvas de distância percorrida em função do tempo de todos jogadores da equipe B durante o primeiro tempo de partida. Siglas: PD - ponta direita; PE - ponta esquerda; AE - armador esquerdo; AC - armador central (titular + suplente); PV - pivô; AD - armador direito

Quanto aos jogadores da equipe B podemos verificar alguns indicativos sobre a performance desses, em relação à variável distância percorrida, tais como:

Os pontas direita e esquerda (PD e PE) apresentaram melhores performances (em relação à variável distância percorrida) do que os demais jogadores da equipe, com as distâncias percorridas de 2447m e 2288,3m. As diferenças mais evidentes entre as curvas desses jogadores e dos demais ocorreram com aproximadamente 5 minutos;

Os armadores centrais (AC, que para efeito de análise foram somadas as distâncias percorridas pelo titular e pelo suplente – 1921,9m e 223,1m) e esquerdo (AE) apresentaram performance melhor do que o armador direito (AD), que percorreu a menor distância entre todos os jogadores da equipe B (1845m);

O pivô (PV) apresentou a distância percorrida de 1931,2m, e a curva correspondente a esse jogador diferenciou-se dos demais a partir do 4º minuto (aproximadamente), juntamente com o AC e o AD.

3.5.3 Discussões da análise de distâncias percorridas

Pers et al. (2002) desenvolveram um método para rastreamento de jogadores de handebol e encontraram, para a distância percorrida, um valor médio de 4800 metros para uma partida inteira, variando de -7% a +6% desse valor.

Nesta pesquisa os valores médios encontrados foram 4631,6 metros para a partida inteira, com um desvio padrão de 361,6 metros. Comparando com os dados

obtidos pela pesquisa citada entendemos que os valores encontrados nesta pesquisa concordam com a literatura.

Apesar de o handebol apresentar uma dinâmica específica de jogo, em que os jogadores podem ser substituídos ilimitadamente e a qualquer momento do jogo com a bola em movimento ou não, esta partida apresentou características muito evidentes de um jogo com poucas substituições. A equipe A realizou um total de três substituições, sendo uma no primeiro tempo e duas no segundo tempo, e a equipe B realizou apenas uma substituição, no primeiro tempo da partida.

As análises de distâncias percorridas por jogadores de handebol fornecem dados da performance desses jogadores em situações competitivas. Esses dados podem ser utilizados pelos preparadores físicos para que o planejamento dos treinamentos físicos das equipes possa ser feito de acordo com a especificidade do jogo de handebol e também de acordo com as funções táticas desempenhadas pelos jogadores.

3.6 Análise das Velocidades de Jogadores de Handebol

A norma da velocidade ($\vec{v}(i)$) foi calculada a partir da derivação das distâncias percorridas em função do tempo, conforme demonstrado em (14).

$$|\vec{v}(i)| = \frac{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}}{1 / freq} \quad (14)$$

Onde x e y são as coordenadas do vetor $\mathbf{r}(x_i, y_i)$ da trajetória do jogador; i representa o número do quadro e varia de 1 a número de quadros - 1; $1/\text{freq}$ é o tempo, em segundos, entre dois quadros consecutivos.

Neste trabalho são apresentadas 2 formas de análise dessa variável: as curvas de velocidade em função do tempo e a distribuição das velocidades em faixas de intensidade.

3.6.1 Curvas de velocidade em função do tempo

Na figura 45 está representada a curva de velocidade de um jogador durante todo o primeiro tempo de uma partida, contendo informações de aproximadamente 24300 quadros de uma sequência de imagens (27 minutos). Corresponde a um jogador que atuou como ponta esquerda da equipe A.

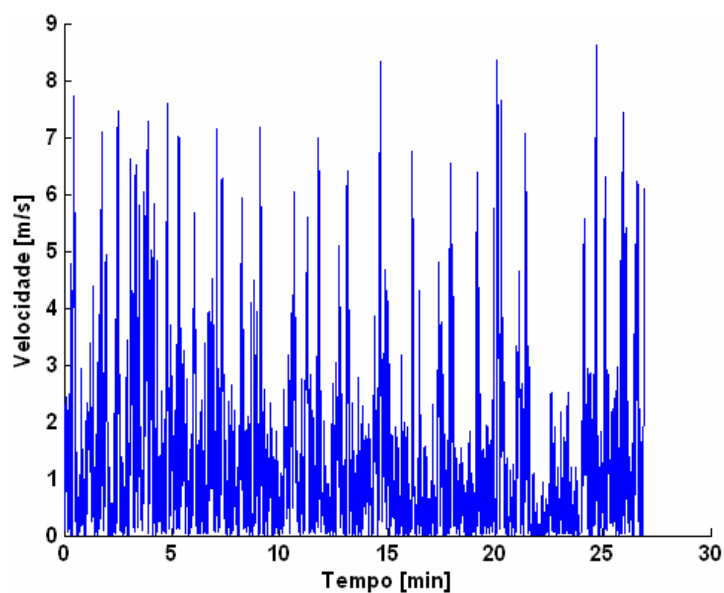


Figura 45 - Curva de velocidade do ponta esquerda da equipe A durante um tempo inteiro de partida

A partir desses dados é possível obter informações sobre os tempos de permanência em diferentes faixas de velocidades, de acordo com a intensidade dos esforços. Para isso, foi adotada a divisão em faixas de velocidades de acordo com a metodologia proposta por Misuta (2004), sendo:

- a) parado: deslocamentos que ocorreram com velocidades entre 0 e 0.2 m/s;
- b) caminhada: deslocamentos que ocorreram com velocidades entre 0.2 e 2 m/s;
- c) trote: deslocamentos que ocorreram com velocidades entre 2 e 4 m/s;
- d) corrida rápida: deslocamentos que ocorreram com velocidades entre 4 e 6 m/s;
- e) *sprint*: deslocamentos que ocorreram com velocidades superiores a 6 m/s.

Como justificativa para considerarmos como faixa de velocidade “parado” os deslocamentos entre 0 e 0.2 m/s, de onde verificou-se que em algumas situações durante a sequência de imagens em que podemos considerar os jogadores parados esses apresentavam, graficamente, velocidades ligeiramente diferentes de zero.

Na figura 46 está representada a mesma curva de velocidade apresentada na figura 45, porém as linhas tracejadas horizontais e as cores dos pontos na curva representam as divisões em faixas de velocidades.

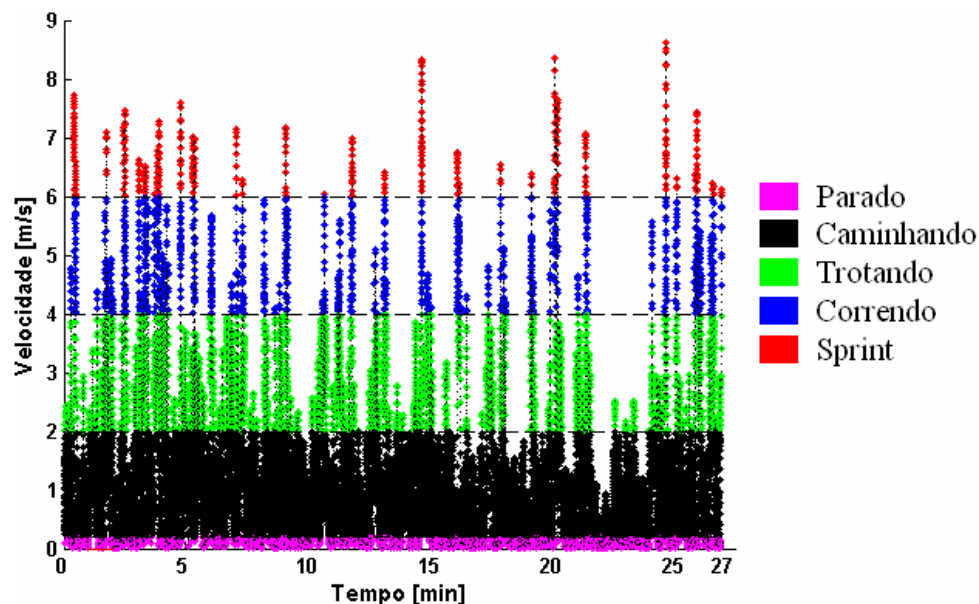


Figura 46 - Representação da curva de velocidade do ponta esquerda da equipe A durante todo o primeiro tempo de partida na qual as cores representam as diferentes faixas de velocidades

Com os dados de tempo de permanência de acordo com as faixas de velocidade torna-se possível a análise da distribuição de velocidades de cada atleta.

3.6.2 Distribuição de velocidades em faixas de intensidade

A partir das informações de velocidade de cada atleta foi realizada a análise da distribuição de velocidades por jogador. Esse tipo de análise permite identificar as características dos deslocamentos dos jogadores de acordo com a função tática desempenhada por esses.

Na figura 47 está representado o tempo de permanência em cada faixa de velocidade do ponta esquerda da equipe A durante todo o primeiro tempo da partida.

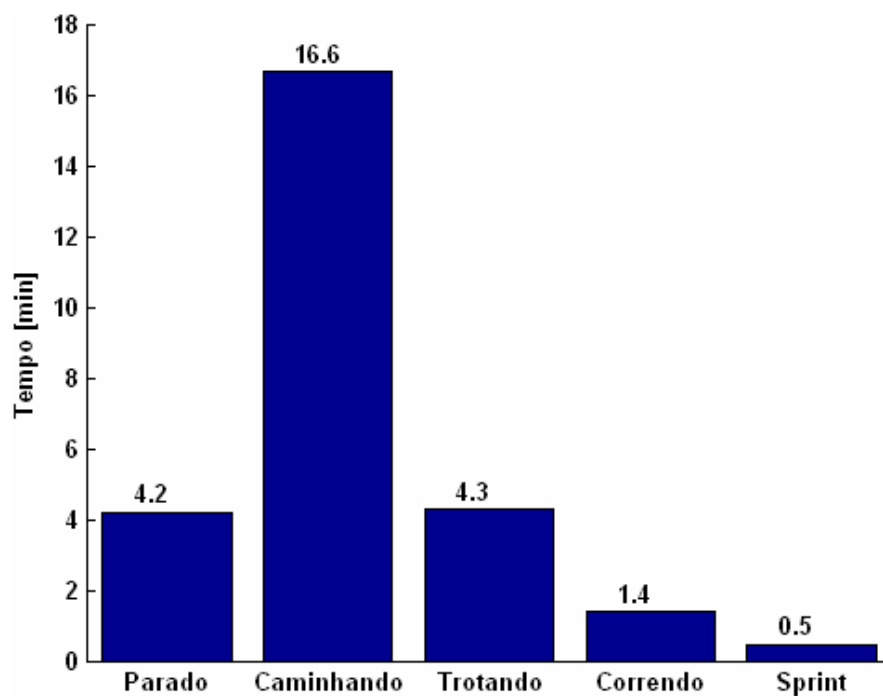


Figura 47 - Distribuição das velocidades do ponta esquerda da equipe A no primeiro tempo da partida

Podemos notar que a faixa com o maior tempo de permanência, 16.6 minutos, é a que compreende velocidades entre 0.2 e 2 m/s (andando), que corresponde a 61.4% do tempo total (27 minutos). Uma distribuição bem semelhante a essa é observada na figura 48, que apresenta o percentual da distribuição de velocidades de todos os jogadores das equipes A e B.

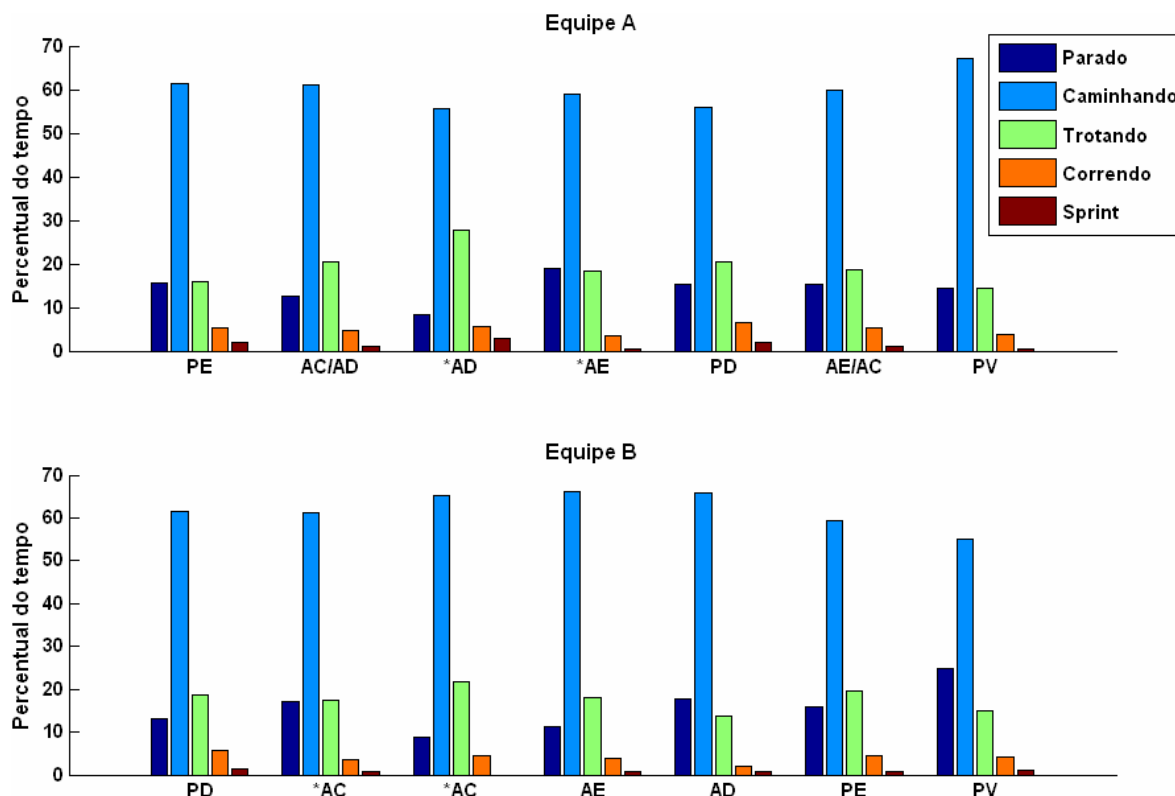


Figura 48 - Distribuição do percentual de velocidades de todos os jogadores das equipes A e B ao final do primeiro tempo de partida. PE: ponta esquerda; PD: ponta direita; PV: pivô; AC: armador central; AE: armador esquerdo; AD: armador direito

Os jogadores marcados com * consistem nos atletas substituídos durante o primeiro tempo de partida e foram calculados os tempos de permanência em cada faixa de velocidade do titular e do suplente.

Essa distribuição de velocidades, na qual os deslocamentos com velocidades inferiores a 2 m/s são predominantes, tem uma razão baseada na dinâmica do jogo. O handebol é caracterizado fortemente por dois períodos: um ofensivo e outro defensivo. O jogador que está em posse de bola deve deslocar-se para buscar espaços vazios para a realização dos ataques. Seu defensor direto se desloca na direção desse

atacante para realizar a marcação e os demais jogadores deslocam-se com velocidades baixas, principalmente no setor defensivo.

Na tabela 9 estão representados os tempos de permanência em cada faixa de velocidade de cada um dos jogadores durante o primeiro tempo da partida.

Tabela 9 - Tempo de permanência em cada faixa de velocidade por todos os atletas das equipes A e B. Os casos assinalados com * correspondem aos jogadores substituídos durante o primeiro tempo

Função Tática	Equipe	Parado [min]	Andar [min]	Trotar [min]	Correr [min]	<i>Sprint</i> [min]
PE	A	4,2	16,6	4,3	1,4	0,5
AC / AD	A	3,4	16,5	5,5	1,3	0,3
[†] AD	A	0,3	2,0	1,0	0,2	0,1
AE		4,4	13,8	4,3	0,8	0,1
PD	A	4,1	15,1	5,5	1,8	0,5
AC / AE	A	4,1	16,2	5	1,4	0,3
PV	A	3,9	18,1	3,9	1	0,1
PD	B	3,5	16,6	5	1,5	0,4
^{††} AC	B	4,2	15,1	4,3	0,9	0,2
AC		0,2	1,5	0,5	0,1	0,0
AE	B	3	17,9	4,9	1	0,2
AD	B	4,8	17,8	3,7	0,5	0,2
PE	B	4,3	16	5,3	1,2	0,2
PV	B	6,7	14,9	4	1,1	0,3
Média ± sd		4,2 ± 0,9	16,5 ± 1	4,8 ± 0,6	1,2 ± 0,3	0,3 ± 0,1

[†] AD substituído por um AE aos 3,6 minutos do primeiro tempo

^{††} AC substituído por outro AC aos 24,8 minutos do primeiro tempo

Quanto à análise das velocidades, Pers et al. (2002) apresentam 4 faixas de intensidade para a análise das velocidades dos jogadores: andar (velocidades menores que 1,4 m/s); corrida leve (velocidades entre 1,4 e 3 m/s); corrida rápida (velocidades entre 3 e 5,2 m/s); e sprint (velocidades superiores a 5,2 m/s). Os autores quantificam que, em média, os jogadores permanecem durante 37% do tempo andando ou parados, 31% do tempo em corrida lenta, 25% em corrida rápida e 7% em *sprint*.

Classificando as velocidades dos jogadores desta pesquisa de acordo com as faixas propostas por Pers et al. (2002), foram encontrados os valores descritos na tabela 10.

Tabela 10 - Divisão por faixas de velocidades de acordo com a proposta de Pers et al. (2002). Os casos assinalados com * correspondem aos jogadores substituídos durante o primeiro tempo

Função Tática	Equipe	Parado/ Andar [min]	Corrida Lenta [min]	Corrida Rápida [min]	<i>Sprint</i> [min]
PE	A	17,7	5,9	2,5	0,9
AC / AD	A	15,8	7,7	2,9	0,6
[†] AD	A	1,7	1,1	0,6	0,2
AE		14,8	6,2	2,1	0,3
PD	A	15,7	7,2	3,2	0,9
AC / AE	A	16,4	7,3	2,6	0,7
PV	A	18,5	6,2	1,9	0,4
PD	B	16,1	7,2	2,9	0,8
^{††} AC	B	15,7	6,5	2,1	0,4
AC		1,2	0,8	0,2	0,1
AE	B	16,5	7,7	2,4	0,4
AD	B	18,7	6,5	1,5	0,3
PE	B	15,9	7,9	2,8	0,4
PV	B	18,2	6,2	2,1	0,5
Média ± sd		16,9 ± 1,1 (62.6%)	7 ± 0,7 (25.9%)	2,5 ± 0,5 (9.3%)	0,6 ± 0,2 (2.2%)

[†] AD substituído por um AE aos 3,6 minutos do primeiro tempo

^{††} AC substituído por outro AC aos 24,8 minutos do primeiro tempo

3.6.3 Discussões das análises das velocidades

A partir da quantificação das faixas de velocidades dos jogadores, podemos afirmar que o handebol é jogado predominantemente em esforços de baixas intensidades (parado e andando), indicado pela soma dos tempos médios nessas faixas

(tabela 9) que é de 20,7 minutos, que corresponde a 76,7% do tempo total de análise (27 minutos).

Esse longo período em baixas intensidades pode ser justificado pelas velocidades apresentadas pelos jogadores durante a permanência em fase defensiva, na qual os jogadores em oposição à bola permanecem, geralmente, parados.

Com os dados apresentados na tabela 10, os percentuais de permanência em cada faixa de velocidade, para o tempo de 27 minutos jogados, foram: 62,6% para a faixa ‘parado/andar’; 25,9% para a faixa que compreende a corrida lenta; 9,3% para a faixa que compreende a corrida rápida; e 2,2% para a faixa que compreende os *sprints*.

Quanto à análise das velocidades para a mesma divisão de faixas, Pers et al. (2002) apresentam os seguintes resultados: 37% do tempo andando ou parados; 31% do tempo em corrida lenta; 25% em corrida rápida; e 7% em *sprint*.

Um dos fatores que podem ter sido a causa dessa diferença é o nível técnico das equipes analisadas. Pers et al. (2002) analisaram seis jogadores, com idades entre 20 e 28 anos, de uma equipe eslovena masculina profissional; e nesta pesquisa analisamos jogadores com faixa etária entre 18 e 21 anos, de uma equipe regional que não disputa competições nos níveis nacionais e estaduais. Outro fator que pode ter causado essa diferença é o método de divisão das faixas de velocidades, uma vez que os autores podem ter considerado o tempo necessário para atingir o pico de um *sprint* como fazendo parte dessa categoria, por exemplo.

A quantificação das velocidades de cada um dos jogadores e a sua posterior divisão em faixas permitem uma análise da intensidade dos esforços de cada um dos jogadores. Há a necessidade de desenvolvimento de formas mais individualizadas de

análise, como a determinação precisa das faixas de velocidade para cada um dos jogadores, e não apenas velocidades pré-determinadas.

3.7 Análise por Componentes Principais (ACP)

A Análise por Componentes Principais (ACP) é uma técnica de análise estatística multivariada (Krzanowski, 1988). O método de ACP é utilizado em diversas áreas do conhecimento, sendo desenvolvido neste trabalho este tipo de análise para os deslocamentos dos jogadores de handebol.

Segundo Jolliffe (1986), a ACP tem como principal idéia a redução de dimensionalidade do conjunto de dados que contém um grande número de variáveis inter-relacionadas, porém mantendo o máximo possível de variações apresentadas no conjunto de dados.

A redução da dimensionalidade dos dados é realizada transformando um conjunto original de p variáveis em um conjunto de q variáveis ($q \leq p$) chamadas de Componentes Principais. Essas q novas variáveis são obtidas a partir de combinações lineares das variáveis originais.

Do ponto de vista estatístico as Componentes Principais podem ser encontradas através de argumentos matemáticos; essas são dadas por transformação linear ortogonal do conjunto de dados que otimizam alguns critérios algébricos (Jolliffe, 1986).

A ACP pode fornecer, em muitos casos, relações que não eram suspeitadas, o que proporciona uma interpretação diferente do esperado. As q Componentes

Principais contêm quase a totalidade das informações das p variáveis, havendo alguma perda normal durante o procedimento, que ocorre devido à transformação de variáveis altamente correlacionadas em combinações lineares não correlacionadas.

Geometricamente essas combinações lineares representam a seleção de um novo sistema de coordenadas, obtido por rotação do sistema original tendo as p variáveis como eixos da coordenada.

Esses novos eixos representam as direções com máxima variabilidade do conjunto original de dados. A principal idéia é a de se encontrar uma combinação linear com uma variância tão grande possível. Ou seja, uma projeção sobre o maior eixo do conjunto de pontos ao longo do qual a variância é relativamente grande.

Dentre os objetivos da aplicação da ACP nesta pesquisa, podemos citar a fácil visualização de dados das trajetórias, que serão representadas por dois eixos ortogonais entre si, referenciados na própria quadra de jogo, que geram duas novas variáveis do conjunto original de dados, pois não há o objetivo de redução de dimensionalidade.

3.7.1 Definição dos segmentos das componentes principais

Para calcular as Componentes Principais foi desenvolvida uma rotina em ambiente Matlab[®] que, ao inserir a matriz que contém os vetores de posição dos jogadores em função do tempo, retorna os autovetores $\mathbf{u}$ e $\mathbf{v}$, que representam, respectivamente, a

direção de maior variabilidade dos dados e a direção perpendicular à de maior variabilidade dos dados; os autovalores λ_1 e λ_2 , associados a $\mathbf{u}$ e $\mathbf{v}$, respectivamente.

Também foi calculada a mediana das posições de cada jogador, que representa a origem do novo sistema de coordenadas ($\mathbf{o}$), que ao ser somada aos autovetores, transladou os eixos das Componentes Principais para a mediana das posições na quadra de jogo.

Cada segmento referente às Componentes Principais foi definido com a direção dada pelo autovetor e magnitude dada pela raiz quadrada do respectivo autovalor. O autovalor representa a variância dos dados nas novas direções, portanto utilizamos o desvio-padrão como variabilidade. A equação que define cada um dos segmentos (PC_1 e PC_2) está expressa em (15).

$$\begin{aligned} PC_1 &= \bar{\mathbf{o}} \pm (\sqrt{\lambda_1} * \bar{\mathbf{u}}) \\ PC_2 &= \bar{\mathbf{o}} \pm (\sqrt{\lambda_2} * \bar{\mathbf{v}}) \end{aligned} \quad (15)$$

3.7.2 Determinação das regiões para cálculo da ACP

No handebol, os sistemas ofensivos e defensivos são divididos em linhas, conforme a proximidade dos jogadores em relação à sua meta (Falkowski et al. 1988). Um esquema das linhas dos sistemas ofensivos e defensivos está apresentado na figura 49.

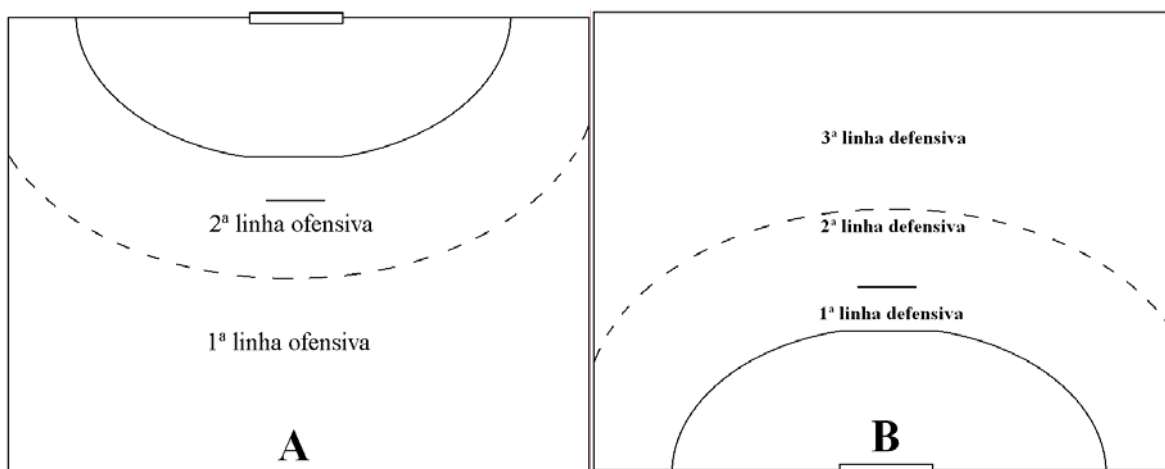


Figura 49 - Representação da divisão dos setores do handebol em linhas ofensivas (A) e defensivas (B)

Essa diferenciação das linhas ofensivas e defensivas em relação à meta adversária acarreta em particularidades de deslocamentos e posicionamentos dos jogadores em ambos os setores.

Com relação às linhas defensivas não foram observados, nas duas equipes analisadas, sistemas que distribuíam seus jogadores além da primeira linha. Desta forma, a zona defensiva foi considerada a mesma para todos os jogadores. Na figura 50 estão representadas as dimensões utilizadas para a ACP por setores.

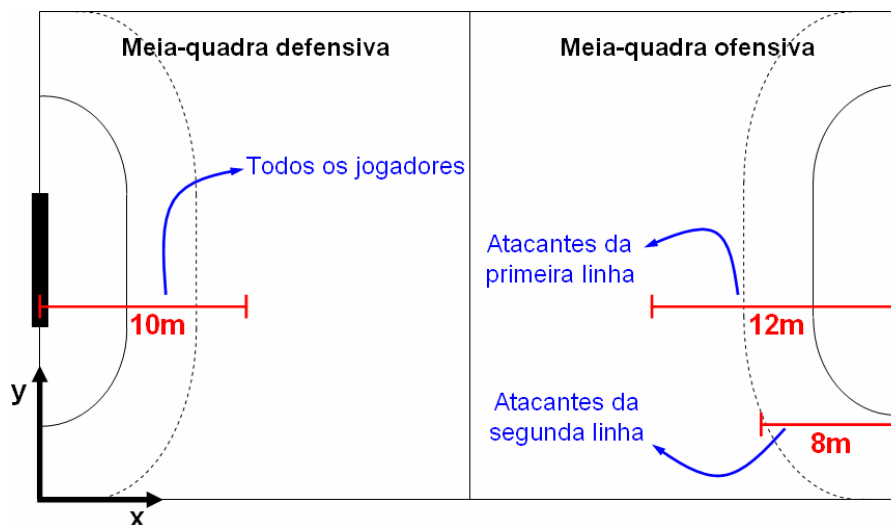


Figura 50 - Representação das distâncias consideradas nas divisões de zonas ofensivas e defensivas dos jogadores de handebol

Essa divisão foi adotada com o objetivo de deixar essa análise mais específica para os setores da quadra e servir de referência para a identificação das zonas ofensivas e defensivas (a zona de transição foi desconsiderada) de cada jogador de acordo com a função tática desempenhada. Por exemplo, os jogadores de 2ª linha ofensiva (ponta direita, ponta esquerda e pivô) possuem uma zona ofensiva mais próxima à linha de fundo da quadra, enquanto que os jogadores de 1ª linha ofensiva (armadores direito, esquerdo e central) apresentam uma zona de transição menor e iniciam o ataque da equipe em regiões mais distantes do gol adversário.

Foram calculadas as Componentes Principais para cada um dos jogadores nos setores ofensivo e defensivo da quadra. Na figura 51 estão representadas as Componentes Principais de um ponta esquerda (em vermelho) e de um pivô (em azul).

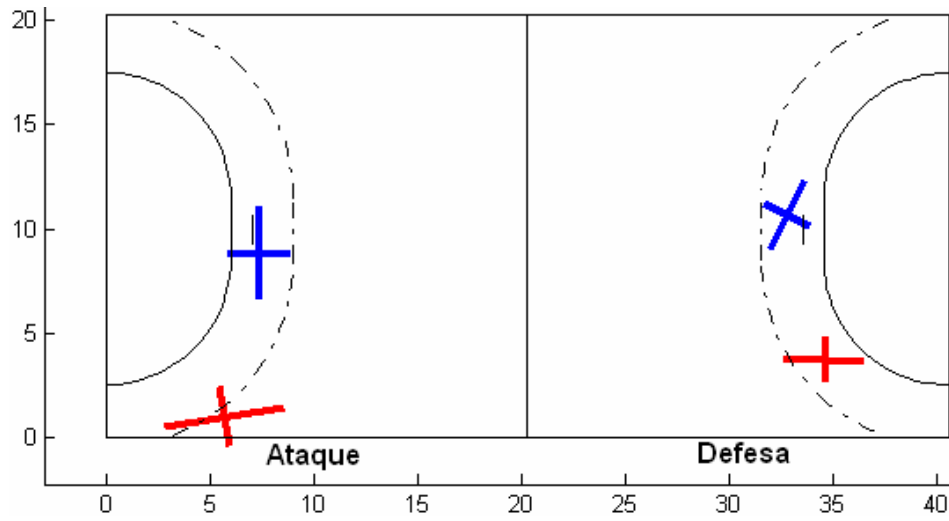


Figura 51 - Representação por componentes principais de um ponta esquerda (em vermelho) e de um pivô (em azul)

3.7.3 Descrição das variáveis quantificadas a partir da ACP

A partir da ACP é possível analisar algumas variáveis que podem fornecer parâmetros dos deslocamentos dos jogadores, tais como:

a) α : representa o ângulo entre o autovetor $\mathbf{u}$ (associado à primeira componente principal) e o eixo longitudinal do campo (determinado pelo vetor $\mathbf{w}$), expresso em (16). Representa a rotação do novo sistema de coordenadas em relação ao sistema original de coordenadas:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\vec{u} \cdot \vec{w}}{|\vec{u}| * |\vec{w}|}\right) * \frac{180}{\pi} \quad (16)$$

Como esta variável apresenta valores que variam de 0 a 2π , foi convencionado que apenas os quadrantes I e IV seriam adotados, correspondendo ao intervalo de $\frac{\pi}{2}$ a $-\frac{\pi}{2}$, respectivamente. Para os ângulos pertencentes ao III e II quadrantes foram calculados os respectivos arcos explementares (arcos de extremidades simétricas em relação ao centro do ciclo trigonométrico), referenciando-os no I e IV quadrantes, respectivamente.

b) e : é a excentricidade da elipse, que representa seu grau de achatamento. Quanto mais próximo de 1 o seu valor, mais a elipse se aproxima de uma circunferência. Quanto maior o valor da excentricidade ou mais próximo de 0 mais achatada será a elipse. A excentricidade é representada pela relação entre λ_1 e λ_2 , como indicado em (17).

$$e = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (17)$$

c) A_r : área da elipse em relação à área da quadra de jogo, representada em percentual. A área da elipse é calculada a partir da equação $A_e = \pi * \lambda_1 * \lambda_2$, e a área da quadra, retangular, é calculada pela multiplicação de sua largura pelo seu comprimento ($A_q = l * c \approx 800m^2$). Essa variável fornece um parâmetro sobre a área ocupada pelo jogador em relação à quadra de jogo, como expresso em (18).

$$A_r = \frac{A_e}{A_q} * 100 \quad (18)$$

Na figura 52 está representado um esquema do cálculo das variáveis.

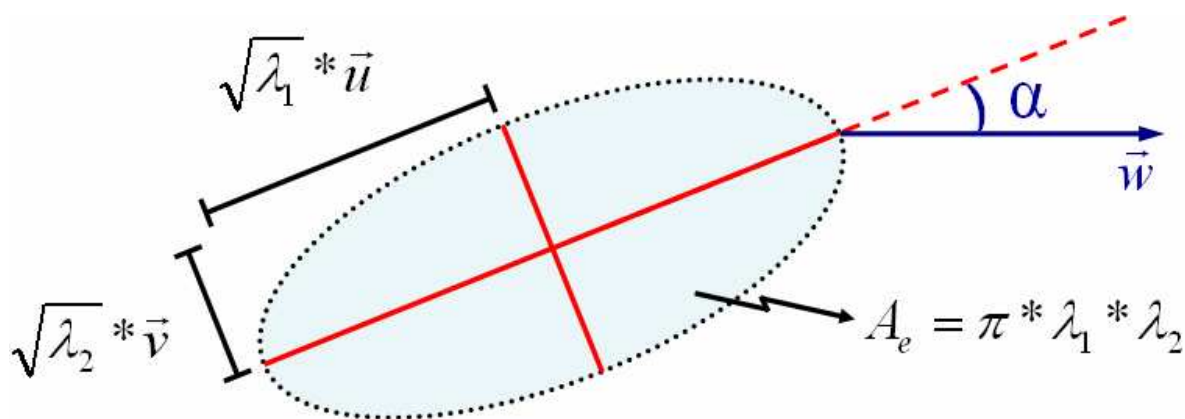


Figura 52 - Esquema da representação por componentes principais e as variáveis calculadas

3.7.4 Resultados da ACP

Na tabela 11 estão apresentados os resultados referentes à quantificação das 3 variáveis acima citadas referentes às zonas ofensiva e defensiva de todos os jogadores que jogaram cada um dos tempos de partida sem serem substituídos.

Tabela 11 - Resultados da quantificação das variáveis α (em graus), excentricidade (e – adimensional) e área relativa (A_r – em percentual), referentes aos eixos das Componentes Principais de todos os jogadores durante o primeiro e segundo tempos de partida. ZO e ZD representam Zona Ofensiva e Zona Defensiva. Nas duas últimas linhas estão representados a média e o desvio-padrão das variáveis

Jog.	1º tempo						2º tempo					
	A		e		A _r		α		e		A _r	
	ZD	ZO	ZD	ZO	ZD	ZO	ZD	ZO	ZD	ZO	ZD	ZO
PE	-2	9,1	0,58	0,49	2,8	5,4	-21,5	43,3	0,67	0,75	3,3	12,9
AC/AD	83,3	77,5	0,44	0,52	5,3	7,5	70,6	-85,8	0,53	0,63	5,3	8,9
PD	49,4	27	0,66	0,63	4,6	7,1	4,3	49,7	0,96	0,71	3,7	10,5
AC/AE	68,4	88	0,78	0,68	4,3	11,7	73,8	-65,4	0,49	0,56	3,4	14,1
PV	62,3	89,6	0,64	0,69	2,9	4,4	78,6	-88,6	0,29	0,79	6,7	9,2
PD	17,7	20,8	0,56	0,57	2,7	9,9	74,7	8,2	0,24	0,61	17,1	8,8
AC	-	-	-	-	-	-	23,1	-65,4	0,74	0,59	9,8	8,2
AE	65,2	-70,9	0,91	0,65	4,2	7,8	60,7	-77,8	0,65	0,79	4,8	10,5
AD	-55,3	-59,9	0,78	0,59	2,4	6,5	75,3	-72,7	0,52	0,58	5,4	6,8
PE	57,4	57,4	0,75	0,74	2,6	9,6	-54,2	18,4	0,56	0,59	3,1	7,7
PV	-34,6	34,6	0,74	0,52	2,9	4,2	36,2	76,7	0,57	0,64	3,4	4
Média	38,1	29,9	0,68	0,61	3,5	7,4	38,3	-23,6	0,57	0,66	6	9,2
Sd	41,5	58,4	0,13	0,08	1	2,4	45,4	62,9	0,2	0,8	4,2	2,8

Com base nos dados das médias apresentadas na tabela 11 podemos apontar:

As variações angulares para o primeiro e segundo tempos apresentam uma grande oscilação, devido à conversão adotada para os ângulos. Para a comparação dessa variável nos sistemas defensivos notamos que entre o primeiro e segundo tempos os valores foram próximos (38,1 e 38,3 graus). Para os sistemas ofensivos o valor comportou-se diferentemente, apresentando valores de 29,9 e -23,6 graus;

Para a variável excentricidade, que representa o grau de achatamento das elipses obtivemos, para as zonas defensivas os valores de 0,68 e 0,57 (primeiro e segundo tempos), e para as zonas ofensivas os valores de 0,61 e 0,66 (primeiro e segundo tempos). Os valores indicam que o espalhamento das trajetórias dos jogadores apresenta comportamento elíptico, ou seja, observando as trajetórias dos jogadores, notamos que nos

sistemas defensivos os deslocamentos ocorrem no sentido lateral da quadra, enquanto que os deslocamentos ofensivos dos armadores apresentam o mesmo comportamento, diferentemente dos pontas, nos quais os deslocamentos ocorrem no sentido longitudinal da quadra de jogo;

Com relação aos dados de área relativa notamos que tanto durante o primeiro tempo quanto durante o segundo tempo durante a atuação dos jogadores nos seus setores ofensivos a área relativa apresenta valores superiores (7,4 e 9,2 para o primeiro e segundo tempo, respectivamente) aos referentes aos setores defensivos (3,5 e 6 para o primeiro e segundo tempo, respectivamente). Esse comportamento está relacionado diretamente com o objetivo de criação de espaços enquanto atacante para melhores condições de finalização, o que acarreta em deslocamentos mais longos. Também está relacionado com o objetivo defensivo de minimizar a criação de espaços entre os jogadores, com deslocamentos em menor distância, geralmente de flutuação para a marcação e cobertura de um jogador que executa uma flutuação.

3.7.5 Discussões da ACP

Com a ACP podem ser fornecidos aos treinadores das equipes dados não apenas a respeito do comportamento tático de cada jogador, mas também da equipe como um todo, obtidos pela sobreposição, em um mesmo gráfico, da representação por Componentes Principais de todos os jogadores ou da atuação dos jogadores nos setores ofensivo e defensivo, por exemplo.

A ACP apresenta-se como uma forma de análise dos dados e representação gráfica de um “resumo” dos deslocamentos dos jogadores. Este tipo de informação pode fornecer subsídios a treinadores sobre o perfil tático de seus atletas e padrões de deslocamentos, ferramenta esta de fundamental importância na determinação da tática individual e coletiva da equipe em questão.

3.8 Visualização dos Dados

3.8.1 Velocidades de Acordo com as Trajetórias

A última forma de visualização das velocidades dos jogadores é baseada na divisão por faixas de velocidade e nas trajetórias apresentadas por esses durante o tempo de análise.

Permite visualizar a trajetória do jogador em diferentes cores, referentes às velocidades de deslocamento naquele local da quadra. Na figura 53 está representada a trajetória do jogador de acordo com as faixas de velocidade em que esse se deslocou durante o jogo.

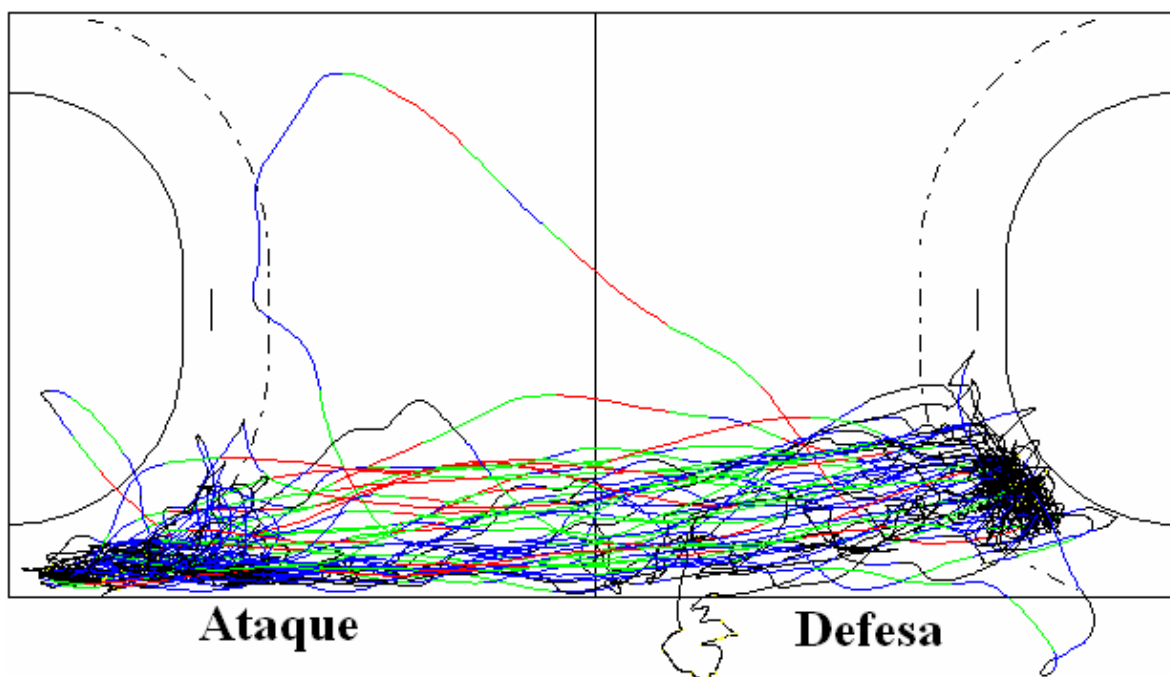


Figura 53 - Trajetória de um ponta esquerda de acordo com as faixas de velocidade, sendo: em preto – andando; em azul – trotando; em verde – correndo; em vermelho – *sprint*

Com base nos dados da figura 53 torna-se possível localizar as regiões da quadra onde ocorrem os deslocamentos de maior ou menor velocidades. Para o jogador apresentado o setor defensivo apresenta uma grande região de deslocamentos em velocidades baixas. A região de transição entre o ataque e a defesa apresenta maiores velocidades do que os demais setores, a serem visualizadas pelas cores azul, rosa e vermelho.

Esse tipo de representação fornece indicativos do comportamento tático do jogador, tal como um perfil para a preparação física.

3.8.2 Desenvolvimento de Interfaces

Com o objetivo de facilitar a visualização e análise dos dados foram desenvolvidas duas interfaces em ambiente Matlab[®], sendo a primeira para a análise integrada de variáveis e a segunda para a ACP de dois jogadores.

3.8.2.1 Interface de Análise Integrada das Variáveis

Essa interface permite que as variáveis cinemáticas de um jogador possam ser visualizadas simultaneamente. O parâmetro de inicialização da interface é o arquivo que contém os dados referentes às coordenadas bidimensionais dos jogadores em função do tempo. Na figura 54 está representada a interface com a visualização das variáveis de um jogador.

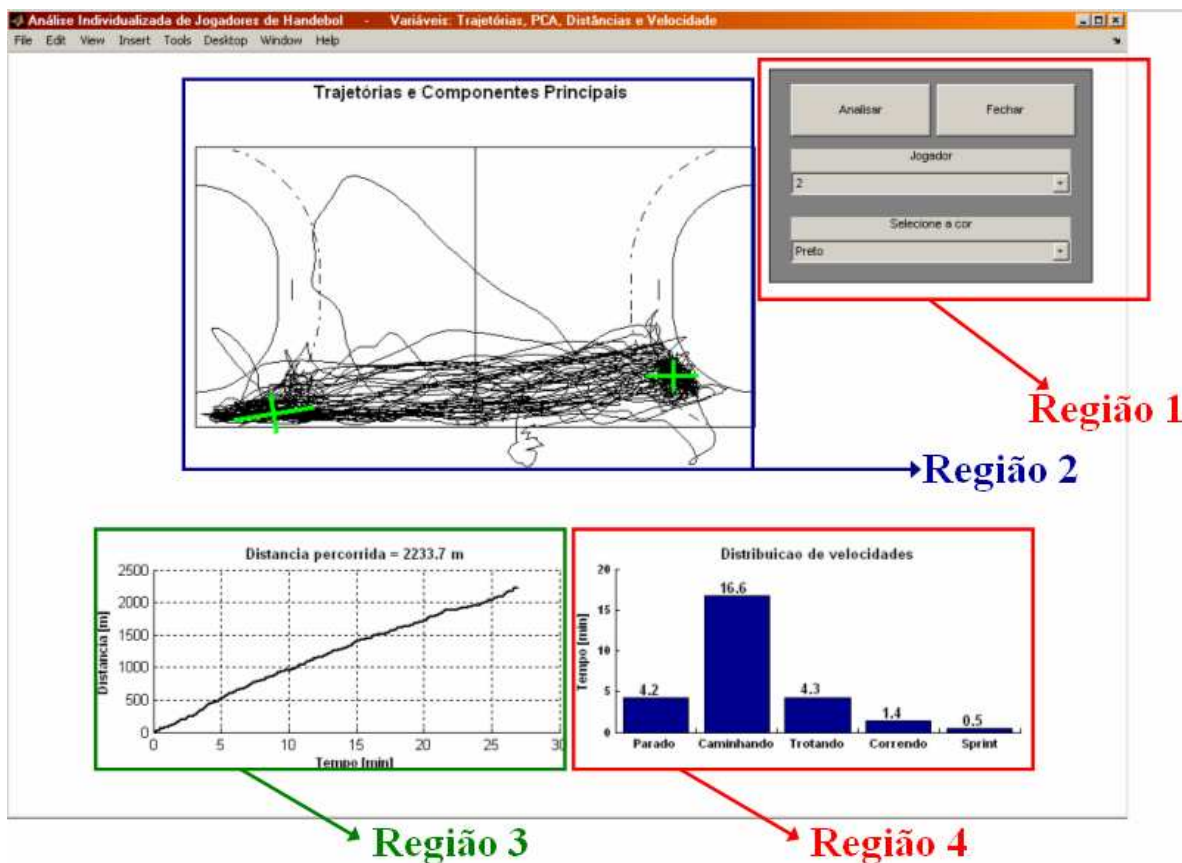


Figura 54 - Interface desenvolvida para a visualização das variáveis cinemáticas

Na interface apresentada os parâmetros de entrada são o número do jogador e a cor para a visualização dos dados, representados pela região 1.

Na região 2 as variáveis retornadas são: a trajetória do jogador durante todo o período de análise e a representação por componentes principais, que indicam as regiões mais visitadas pelo jogador nas quadras ofensiva e defensiva.

Na região 3 estão representadas a curva de distância percorrida em função do tempo e o valor da distância total percorrida. Na região 4 está representado o tempo de permanência do jogador em cada faixa de velocidade.

Essa interface permite uma análise das variáveis cinemáticas que fornecem um panorama das variáveis técnico-táticas e da preparação física.

3.8.2.2 Interface Desenvolvida para a ACP

O parâmetro de inicialização desta interface é o arquivo que contém as coordenadas bidimensionais dos jogadores. Na janela da interface é necessária a seleção dos números referentes ao primeiro e segundo jogadores a serem comparados, bem como uma cor de plotagem para cada um deles. A interface está representada na figura 55.

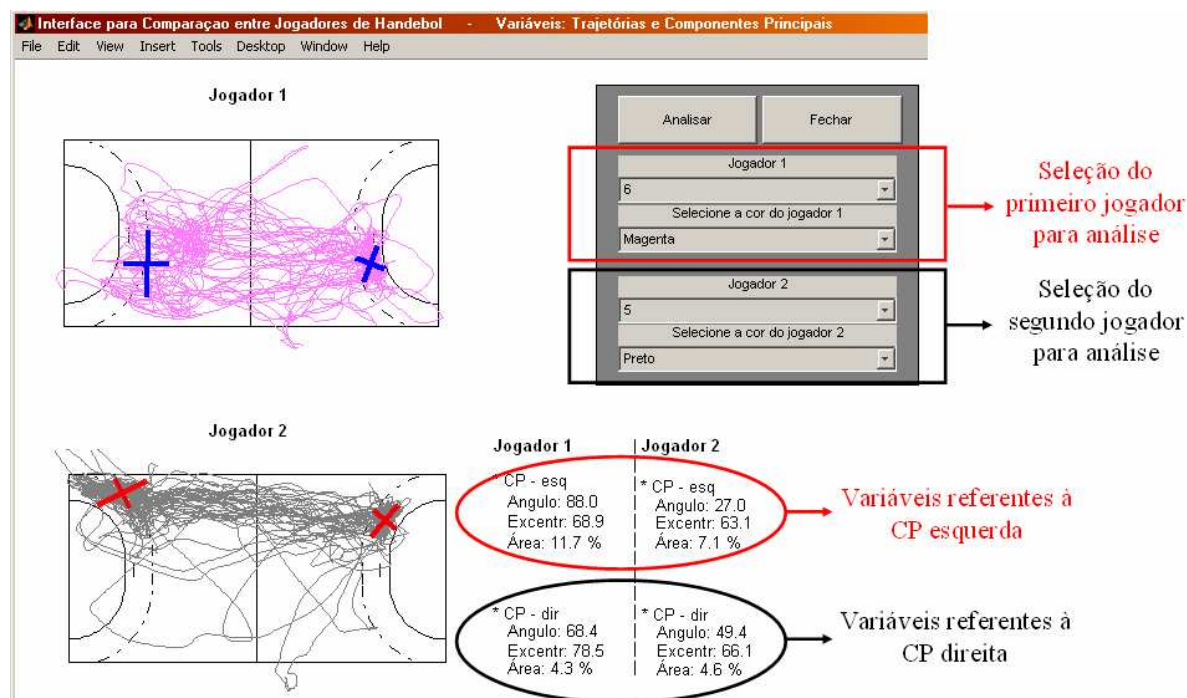


Figura 55 - Interface desenvolvida para comparação da PCA entre 2 jogadores

Como parâmetros de retorno são apresentados dois tipos de saída: uma gráfica e outra em forma de relatório.

Os gráficos de saída são referentes aos deslocamentos dos dois jogadores selecionados e as componentes principais desses deslocamentos nas meias quadras ofensiva e defensiva. A zona de transição entre as duas quadras não é considerada.

O relatório apresenta as características das componentes principais de cada jogador em cada meia-quadra, permitindo uma comparação dos seus deslocamentos tanto em situações ofensivas como defensivas. Como exemplificado na figura 54, as componentes principais dos jogadores 1 e 2 referentes à meia-quadra esquerda (ofensiva) apresentam valores particulares em relação às posições nas quais esses jogadores atuaram.

O jogador 1, que atuou como armador central e esquerdo, apresentou como resultado para a variável α o valor de 88° . O jogador 2, que atuou como ponta direita apresentou, para a mesma variável, o valor de 27° . Essa diferença consiste da diferença entre os deslocamentos executados pelos armadores, que buscam uma lateralidade maior da quadra, enquanto que os pontas executam deslocamentos que visam maior profundidade da quadra (em direção ao gol). Essas diferenças apresentadas nesta partida contradizem as formas corretas de ataque, pois os armadores devem buscar profundidade na quadra de jogo para aproximação da meta adversária, o que totalizaria para os jogadores que atuam nessas posições ângulos com valores próximos de zero.

As diferenças também aparecem na área referente à elipse de cada jogador em relação à área da quadra. O jogador 1 apresentou valor de 11.7%, enquanto que para o jogador 2 o valor foi de 7.1%. Essa diferença reflete outra característica dessas funções táticas, que são as possibilidades de deslocamento na quadra de jogo. Os armadores

têm como características deslocamentos para as duas laterais da quadra, enquanto que os pontas atuam principalmente em direção ao centro da quadra (por atuarem em uma posição muito próxima à lateral da quadra).

Para a meia-quadra direita (defensiva) as diferenças são sutis, principalmente na área da elipse (4.3% e 4.6%, para os jogadores 1 e 2, respectivamente). Para a variável α os valores para os dois atletas, 68.4° e 49.4° respectivamente, pode ter ocorrido em decorrência do sistema defensivo adotado, que objetiva dificultar os arremessos da zona central da quadra.

3.9 Conclusões

As análises cinemáticas apresentadas nesta pesquisa poderão gerar outras formas de análise, tal como um tratamento estatístico adequado conforme a análise de um número maior de jogos e, conseqüentemente, um número maior de jogadores.

Poderão ser incrementadas formas de análise das trajetórias (tal como um estudo detalhado das curvas de nível apresentadas), das distâncias percorridas (como a fragmentação da partida em determinados intervalos de tempo) e das velocidades dos jogadores (como uma individualização da análise por faixas de velocidades).

Os incrementos nessas informações poderão fornecer parâmetros para o melhor entendimento da modalidade e também servir de ferramentas para pesquisadores, treinadores e preparadores físicos.

As interfaces desenvolvidas para a visualização das variáveis cinemáticas apresentadas neste capítulo apresentam-se como uma ferramenta de auxílio a treinadores e preparadores físicos para análise dos comportamentos tático e físico de seus jogadores, permitindo intervenções individuais e coletivas nesses dois âmbitos.

O conhecimento e correlação das variáveis Cinemáticas e Bioquímicas podem ser úteis para a comissão técnica, que pode desenvolver estratégias durante as partidas para preservar as atletas de acordo com os diferentes momentos da competição.

Em se tratando de formas de análise das variáveis cinemáticas de jogadores de handebol, um dado importante a ser incorporado nas análises em pesquisas futuras é o fato de a equipe possuir ou não a bola. Essa possibilidade pode fornecer parâmetros sobre a distância percorrida e as velocidades dos jogadores, por exemplo, durante as fases defensivas e ofensivas da equipe.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método proposto para a análise cinemática de jogadores de handebol utilizando o Sistema Dvideow permitiu a obtenção das coordenadas bidimensionais relativas às posições de todos os jogadores durante todo o tempo de partida.

Com as coordenadas obtidas a partir do rastreamento automático, apesar de este não ter apresentado 100% de automatização, tornou-se possível a obtenção de informações das posições de todos os jogadores na partida em função do tempo.

A exatidão do sistema (0,18 [m]), calculada em uma situação controlada, mostrou-se satisfatória para a continuidade desta pesquisa e também para a determinação das posições dos jogadores na quadra de jogo com um erro na ordem de 0,4%.

A partir das coordenadas de posição dos jogadores durante toda a partida tornou-se possível a quantificação e análise de variáveis como as trajetórias, distâncias percorridas e velocidades. O desenvolvimento das interfaces otimizou o procedimento de análise dos dados, fornecendo os resultados dessas três variáveis simultaneamente.

A metodologia desenvolvida apresentou-se satisfatória para a identificação e quantificação das variáveis propostas em situações competitivas oficiais, sem utilização de objetos afixados nos atletas (como GPS, por exemplo), o que é proibido pelas regras do handebol.

O desenvolvimento dos métodos de análise cinemática de jogadores em situações competitivas fornece parâmetros que podem auxiliar, diretamente, treinadores e

preparadores físicos a planejar individualmente e coletivamente os períodos de preparação das equipes.

Para os treinadores de handebol as informações referentes às trajetórias dos jogadores durante as partidas torna-se uma ferramenta para avaliar as táticas individuais e coletivas das equipes. Há a possibilidade de interferência direta na estruturação dos sistemas ofensivos e defensivos de sua equipe, bem como selecionar os atletas que, durante as partidas, desempenharam melhor as funções táticas que lhes foram atribuídas.

Para os preparadores físicos, as informações referentes às distâncias percorridas (totais ou em função do tempo) e às velocidades dos atletas, obtidas em situações competitivas, podem fornecer indicativos da performance dos jogadores. Os valores referentes à essas variáveis podem servir como referência para o planejamento (periodização) dos treinamentos físicos com valores extraídos de situações competitivas. Permite também interferir e planejar individualmente as sessões de treinamento, como a ênfase em determinadas capacidades físicas durante alguns períodos da temporada.

Com a análise de possíveis adversários, é possível adotar sistemas ofensivos e defensivos de acordo com as trajetórias apresentadas pelos jogadores adversários, bem como desenvolver uma estratégia para a partida baseada nas informações sobre distâncias percorridas e velocidades desses jogadores. Um exemplo nos quais esses dados possam auxiliar no rendimento da equipe é a partir da identificação de possíveis instantes da partida nos quais há a queda de performance dos jogadores, que permite adotar uma estratégia de aumentar as velocidades de jogo ofensivo e defensivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R. M. L., BRENIKOFR, R., LEITE, N. J. FIGUEROA, P. J. *Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema para Análise Tridimensional de Movimentos Humanos*. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. **15**, p. 79-86, n. 1-2, 1999.

BARROS, R. M. L., FIGUEROA, P. J., ANIDO, R., CUNHA, S., MISUTA, M., LEITE, N. J., LIMA FILHO, E., BRENIKOFR, R. *Automatic Tracking of Soccer Players*. XVIII Congress of the International society of Biomechanics, Zürich, pp. 236-237, 2001.

BOLDRINI, J. L., COSTA, S. I. R., FIGUEIREDO, V. L., WETZLER, H. G. *Álgebra Linear*. São Paulo, Editora Harbra Ltda, 3ª edição, 1986.

BUSSAB, W.O., MORETTIN, P.A. *Estatística Básica*. Atual Editora Ltda, São Paulo, 4ª edição, 1987.

DECHECHI, C.J., MENEZES, R.P., BARROS, R.M.L., MACEDO, D.V. *Análise da Correlação entre Variáveis Cinemáticas e Lactato Sangüíneo de Jogadoras de Handebol da Categoria Juvenil*. Revista Brasileira de Ciência e Movimento, v.13, n.4, p.68, 2005.

FALKOWSKI, M., ENRIQUEZ, E. *Los Sistemas de Juego Defensivo*. Ed. Esteban Sanz, Colección Handball, nº 9, 1988.

FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J., BARROS, R. M. L. *A Flexible Software for Tracking of Markers Used in Human Motion Analysis*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, v.72, p.155-165, 2003.

FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J., BARROS, R. M. L., COHEN I., MEDIONI, G. *Tracking soccer players using the graph representation*. Proc. of the 17th Int.Conference on Pattern Recognition (ICPR'04), **4**, pp.787-791, 2004.

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, p. 363-374, 2006a.

FIGUEROA, P. J., LEITE, N. J., BARROS, R. M. L. *Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis*. Computer Vision and Image Understanding, v. 101, p. 122-135, 2006b.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia). *Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM*. Portaria Inmetro 029 de 1995.

INTILLE, S. S., BOBICK, A. F. *Closed-World Tracking*. Proceedings of the Fifth International Conference on Computer Vision, p.672-678, 1995.

ISO (DGUIDE 99999). *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM)*. International Organization of Standardization, 2004.

JOLLIFFE, I. T. *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag, New York, 1986.

JUG, M., PERS, J., DEZMAN, B., KOVACIC, S. *Trajectory Based Assessment of Coordinated Human Activity*. In: Computer Vision Systems, Proceedings of 3rd International Conference (ICVS 2003), Graz, Austria, pp.534-543, 2003.

KESSEL, W. *Measurement uncertainty according to ISO/BIPM-GUM*. *Thermochimica Acta*, 382, pp. 1-16, 2002.

KRISTAN, M., PERS, J., PERSE, M., BON M., KOVACIC, S. *Multiple interacting targets tracking with application to team sports*. In: 4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, pp. 322-327, 2005.

KRZANOWSKI, W. J. *Principles of Multivariate Analysis: A User's Perspective*. Oxford University Press, 1988.

MISUTA, M. S. *Rastreamento Automático de Trajetórias de Jogadores de Futebol por Videogrametria: Validação do Método e Análise dos Resultados*. Dissertação de Mestrado, 74 páginas, UNICAMP, 2004.

MISUTA, M.S., MENEZES, R. P., FIGUEROA, P. J., CUNHA, S. A., BARROS, R. M. L. *Representation and Analysis of Soccer Players' Trajectories*. In: XXth Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, USA, 2005.

MISUTA, M. S.; MENEZES, R. P.; MOURA, F. A.; FIGUEROA, P. J.; CUNHA, S. A. BARROS, R. M. L. *Covered Distances Analysis of Brazilian Professional Soccer Players Obtained by an Automatic Tracking Method*. In: Congress of International Society of Biomechanics of Sports (ISBS), Salzburg, Austria, 2006.

NEEDHAM, C. J., BOYLE, R. D. *Tracking multiple sports players through occlusion*. British Machine Vision Conference, London, T. and Taylor, C., pp.93-102, 2001.

OHNO, Y., MIURA, J., SHIRAY, Y. *Tracking Players and Estimation of the 3D Position of a Ball in Soccer Games*. *Pattern Recognition*, v. 1, p. 145-148, 2000.

OKUMA, K., TALEGHANI, A., FREITAS, N., LITTLE, J.J., LOWE, D.G. *A Boosted Filter: Multitarget Detection and Tracking*. European Conference on Computer Vision (ECCV 2004), Springer Berlin, pp. 28-39, 2004.

PARTRIDGE, D. MOSHER, E., FRANKS, I. M. *A Computer Assisted Analysis of Technical Performance – A Comparison of the 1990 World Cup and Intercollegiate Soccer*. In Science and Football II, published by E & FN SPON, Great Britain, p.221-231,1993.

PERS, J., KOVACIC, S. *Computer Vision System for Tracking Players in Sports Games*. In: Proceedings of the First Int'l Workshop on Image and Signal Processing and Analysis (IWISPA), Pula, Croatia, pp.81-86. June 2000

PERS, J., BON, M., KOVACIC, S., SIBILA, M., DEZMAN, B. *Observation and analysis of large-scale human motion*. Human Movement Science, **21**(2), pp. 295-311, 2002.

PLÄNKERS, R., FUA, P. *Tracking and Modeling People in Video Sequences*. Computer Vision and Image Understanding, **81**, pp. 285-302, 2001.

SFORZA, C., MICHIELON, G., GRASSI, G., ALBERTI, G., FERRARIO, V.F. *Bivariate Analysis of the Repeatability of Football Offensive Schemes*. In Science and Football III, published by E & FN SPON, Great Britain, pp. 233-239, 1997.

STEWART, J. *Cálculo – Volume 1*. Editora Thomson Learning, São Paulo, 4ª edição, 2002.

TAKI, T., HASEGAWA, J., FUKUMURA, T. *Development of Motion Analysis System for Quantitative Evaluation of Teamwork in Soccer Games*. In Proceedings of the International Conference on Image Processing, 3, p.815-818, 1996.

TOKI, S., SAKURAI, S. *Quantitative Match Analysis of Soccer Games with Two Dimensional DLT Procedures*. XXth Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, p. 911, 2005.

VIOLA, P., JONES, M. J. *Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features*. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001.

VUOLO, J. H. *Fundamentos da Teoria de Erros*. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1996.

YAMANAKA, K., LIANG, D.Y., HUGHES, M. *An Analysis of the Playing Patterns of the Japan National Team in the 1994 World Cup Qualifying Match for Asia*. In Science and Football IV, published by Routledge, Great Britain, pp.221-228, 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Referências na quadra utilizadas na calibração do sistema

Para a calibração do sistema aplicado nesta pesquisa foram utilizados 8 pontos de referência na quadra de jogo (figura 1). As coordenadas estão apresentadas na tabela 1.

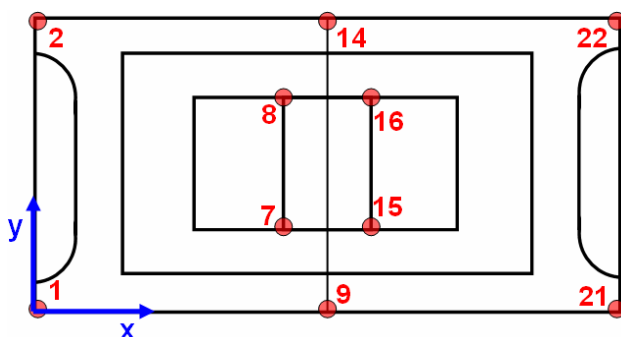


Figura 1 - Identificação dos pontos de referência na quadra de jogo

Tabela 1 – Pontos referentes à calibração do sistema e coordenadas x e y medidas diretamente

Ponto	x esperado	y esperado
P ₁	0	0
P ₂	0	20,08
P ₇	17	5,55
P ₈	17	14,54
P ₉	20,03	0
P ₁₄	20,03	20,08
P ₁₅	23,08	5,55
P ₁₆	23,08	14,54
P ₂₁	40,07	0
P ₂₂	40,07	20,08