

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA  
LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA

ANÁLISE AUTOMÁTICA DE  
DESLOCAMENTOS DE JOGADORES DE  
FUTEBOL

Monografia apresentada como  
requisito parcial para conclusão  
do curso de Bacharelado em  
Educação Física na modalidade  
Treinamento em Esportes.

**Milton Shoiti Misuta**

Assinatura:



Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Campinas  
2001



**AGRADECIMENTOS**

Em cada momento da vida, desde as pequenas realizações até os grandes projetos, há a participação dos familiares, amigos, professores, colegas e tantas outras pessoas.

Agradeço, assim, aos meus pais que deram a condição essencial durante todos estes anos para que pudesse estar neste momento concluindo a faculdade.

Aos meus amigos que em todos os momentos estiveram presentes.

Aos professores que me ajudaram na minha formação. Em especial ao prof. Ricardo, que desde os primeiros dias na universidade até a finalização do curso esteve presente como professor, orientador e amigo.

Aos colegas do Laboratório de Instrumentação de Biomecânica (LIB) e da faculdade por todos estes anos de convívio.

5.1.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS NO SISTEMA DYTREX	13
5.1.2 - MÉTRICA AUTOMÁTICA	15
5.1.2.1 - Obtenção dos Jogadores (segmentação)	16
5.1.2.1.1 - Detecção dos Jogadores	17
5.1.2.1.2 - Posição do Costureiro (elipse)	18
5.1.2.2 - Rastreamento	19
5.1.2.2.1 - Identificação e Reconstrução	19
5.1.2.2.2 - Critérios de Definição de Trajetórias	20
5.1.3 - TRANSFORMAÇÃO IMAGEM OBJETIVO-IMAGEM	21
5.1.3.1 - Calibração e Reconstrução 3D	22
5.1.3.2 - Calibração e Reconstrução 2D	23

**6 RESULTADOS** 23

6.1 - PRIMEIRO EXPERIMENTO: RECONSTRUÇÃO DE TRAJETÓRIAS CONTÍNUAS	23
6.1.1 - FUNDAMENTOS: CASO DA FIF	23
6.1.2 - O TRATAMENTO AUTOMÁTICO DOS JOGADORES	25
6.1.3 - FUNDAMENTOS DE ANÁLISE DE IMAGEM ADQUIRIDA	27
6.1.3.1 - Geração das Frequências de Amostragem	27
6.1.3.2 - ACURÁCIA	28
6.2 - SEGUNDO EXPERIMENTO: ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS EM UM ESTADO DE FUTEBOL	30
6.2.1 - FUNDAMENTOS: CASO DO OLÍMPIA D. C.	33
6.2.2 - FUNDOS DE SINCROGRAFIA	34
6.2.3 - RASTREAMENTO DOS JOGADORES	34
6.2.4 - DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES	35
6.2.4.1 - Individual	35
6.2.4.2 - Coletiva	37

# ÍNDICE

7.1	ANÁLISE DO PRIMEIRO EXPERIMENTO: RECONSTRUÇÃO DE TRAJETÓRIAS CONHECIDAS	35
7.2	ANÁLISE DO SEGUNDO EXPERIMENTO: ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL	48
<b>1</b>	<b>RESUMO</b>	<b>1</b>
CONCLUSÃO		42
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA		43
<b>3</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
4.1	EVOLUÇÃO METODOLÓGICA	5
4.2	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	7
4.3	METODOLOGIAS RELATIVAS À SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS	8
4.4	METODOLOGIAS ATUAIS PARA A ANÁLISE AUTOMÁTICA DE JOGADORES DE FUTEBOL	9
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>13</b>
5.1	SISTEMA DVIDEOW	13
5.1.1	AQUISIÇÃO DE DADOS NO SISTEMA DVIDEOW	15
5.1.2	MEDIÇÃO AUTOMÁTICA	16
5.1.2.1	Obtenção dos Jogadores (segmentação)	17
5.1.2.1.1	Extração dos Jogadores	18
5.1.2.1.2	Formação do Contorno (cluster)	19
5.1.2.2	Rastreamento	19
5.1.2.2.1	Identificação e Rotulação	19
5.1.2.2.2	CrITÉrios de Definição de Trajetórias	20
5.1.3	TRANSFORMAÇÃO IMAGEM-OBJETO-IMAGEM	21
5.1.3.1	Calibração e Reconstrução 3D	22
5.1.3.2	Calibração e Reconstrução 2D	22
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>23</b>
6.1	PRIMEIRO EXPERIMENTO: RECONSTRUÇÃO DE TRAJETÓRIAS CONHECIDAS	23
6.1.1	FILMAGEM NO CAMPO DA FEF	23
6.1.2	RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DOS JOGADORES	25
6.1.3	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM ADEQUADA	27
6.1.3.1	Gráficos das Freqüências de Amostragem	27
6.1.4	ACURÁCIA	32
6.2	SEGUNDO EXPERIMENTO: ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL	32
6.2.1	FILMAGEM NO CAMPO DO GUARANI F. C.	33
6.2.2	FILTRO DE SUAVIZAÇÃO	34
6.2.3	RASTREAMENTO DOS JOGADORES	34
6.2.4	DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADE	35
6.2.4.1	Individual	35
6.2.4.2	Coletiva	37

7.1 ANÁLISE DO PRIMEIRO EXPERIMENTO: RECONSTRUÇÃO DE TRAJETÓRIAS CONHECIDAS 39

7.2 ANÁLISE DO SEGUNDO EXPERIMENTO: ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS EM UM ESTÁDIO DE FUTEBOL 40

CONCLUSÃO 42

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA 43

Jogadores num determinado intervalo de um jogo. A busca destes objetivos passa por uma sistematização do processo de medição dos deslocamentos dos jogadores. A metodologia utilizada foi a cinemática, que possibilita a obtenção do deslocamento, velocidade e aceleração dos jogadores em função do tempo. Para isso, a partida é gravada com duas câmeras digitais e as seqüências digitais analisadas no Sistema Dvideow (Digital Video for Biomechanics versão Windows), que foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LJB) da Faculdade de Educação Física (FEF) da Unesp. A filmagem foi realizada no campo do Clássico F.C. e contou com três sujeitos voluntários (estudantes universitários). A movimentação foi feita com condução de bola em diversas posições do campo e teve constantes cronometros de trajetórias durante um determinado tempo. Os algoritmos implementados possibilitaram o rastreamento de forma automática para todas as situações em que não houve fisão entre os sujeitos. O processo mostrou-se eficiente, também, para as situações em que o tempo de fisão entre os sujeitos não foi superior a cinco quadros. Os dados relativos ao deslocamento dos sujeitos ofereceram: a) a possibilidade de análise táctica, uma vez que se pode visualizar toda a movimentação dos sujeitos envolvidos na ação durante determinado intervalo de tempo; e b) foi possível extrair a distância percorrida e a distribuição da velocidade.

# 1 RESUMO

A fim de tornar possível a análise da dinâmica do jogo de futebol é importante desenvolver metodologias eficientes que permitam detectar e codificar o maior número de informações disponíveis durante a partida. Esta pesquisa visa, assim, o desenvolvimento de algoritmos para aumentar o grau de automatização do processo de rastreamento de jogadores de futebol através da definição de critérios de decisão que identifiquem as situações características deste esporte e a análise quantitativa dos dados obtidos, através da aplicação dos algoritmos implementados utilizando os critérios de decisão, sobre a trajetória dos jogadores num determinado intervalo de um jogo. A busca destes objetivos passa por uma automatização do processo de medição dos deslocamentos dos jogadores. A metodologia utilizada foi a cinematria, que possibilita a obtenção do deslocamento, velocidade e aceleração dos jogadores em função do tempo. Para isso, a partida é gravada com seis câmeras digitais e as seqüências digitais analisadas no Sistema Dvideow (Digital Video for Biomechanics versão Windows), que foi desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB) da Faculdade de Educação Física (FEF) da Unicamp. A filmagem foi realizada no campo do Guarani F.C. e contou com três sujeitos-voluntários (estudantes universitários). A movimentação foi feita com condução da bola em diversas posições do campo e teve constantes cruzamentos de trajetórias durante um determinado tempo. Os algoritmos implementados possibilitaram o rastreamento de forma automática para todas as situações em que não houve fusão entre os sujeitos. O processo mostrou-se eficiente, também, para as situações em que o tempo de fusão entre os sujeitos não foi superior a cinco quadros. Os dados relativos ao deslocamento dos sujeitos ofereceram: a) a possibilidade da análise tática, uma vez que se pôde visualizar toda a movimentação dos sujeitos envolvidos na ação durante determinado intervalo de tempo; e b) foi possível extrair a distância percorrida e a distribuição da velocidade.

## 2 INTRODUÇÃO

O interesse pelo esporte como objeto de investigação científica tem sido crescente nos centros de pesquisa nacionais e internacionais. Particularmente, a Biomecânica do esporte é uma área estruturada com inúmeros congressos internacionais realizados, organizados pela Sociedade Internacional de Biomecânica do Esporte, e publicações especializadas. A pesquisa específica sobre futebol tem registrado, também, avanços e conta atualmente com os congressos mundiais realizados: em Liverpool, Inglaterra em 1987, Eindhoven, Holanda em 1991, Cardiff, País de Gales em 1995 e Sidney, Austrália em 1999.

As metodologias utilizadas para realizar a estimativa de movimentos humanos foram diversas, contudo uma constante relatada nas pesquisas é a necessidade de um operador que estima, de diferentes maneiras, a posição do jogador no campo, com uma dada frequência. Certamente, estes fatos determinaram que a realização dessas análises fossem extremamente trabalhosas e, conseqüentemente, limitaram a difusão desse tipo de pesquisa.

A evolução das câmeras de vídeo, dos computadores pessoais, dos conversores analógico-digitais de vídeo e, em particular, o desenvolvimento do processamento de imagens possibilitou o desenvolvimento de sistemas para a obtenção automática de dados referentes aos deslocamentos de jogadores de futebol realizados em um jogo. Uma vez obtidos estes dados, a análise dos deslocamentos torna-se mais rápido e menos propenso aos erros manuais até então realizados.

O sistema Dvideow possui uma estrutura com várias ferramentas para a aplicação em pesquisas que estão relacionadas à estimativa de movimentos humanos em diferentes contextos de aplicação (BARROS et al., 1999). Este sistema baseia-se no registro em vídeo do jogo com câmeras posicionadas no local da partida, conversão do sinal de vídeo em um arquivo com a

seqüência digital de imagens, o processamento e análise das imagens de maneira a determinar automaticamente o deslocamento dos jogadores e, finalmente, a transformação imagem-objeto das coordenadas medidas. O Sistema possibilita a realização de uma análise automática com a possibilidade da intervenção de um operador externo nos casos em que o processo automático não consegue resolver uma determinada situação.

Segundo a literatura, a realização de uma análise totalmente automatizada de deslocamentos de jogadores de futebol ainda não foi possível devido à sua complexidade. Entre os problemas encontrados pode-se citar: a existência de múltiplos alvos a serem rastreados simultaneamente, b) a complexidade das imagens, c) a variabilidade dos elementos da imagem em função das mudanças na iluminação e perdas nos processos de registro e conversão analógico-digital, d) as possíveis oclusões mútuas dos jogadores, e) a impossibilidade do enquadramento com uma única câmera do campo todo com a resolução espacial adequada.

Devido à complexidade de se estudar uma modalidade esportiva, torna-se importante o desenvolvimento de um sistema que possibilite a obtenção dos dados relativos ao deslocamento dos jogadores, o tratamento dos dados obtidos e por fim a análise dos dados nos mais diversos aspectos. Pretende-se, assim, desenvolver metodologias que permitam a análise científica deste esporte.

### 3 OBJETIVO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de algoritmos visando aumentar o grau de automatização do processo de rastreamento de jogadores de futebol através da definição de critérios de decisão que identifiquem as situações características deste esporte e a análise quantitativa dos dados obtidos, através da aplicação dos algoritmos implementados utilizando os critérios de decisão, sobre a trajetória dos jogadores num determinado intervalo de um jogo.

O desenvolvimento do algoritmo resultará na implementação de algoritmos que serão integradas como ferramentas à estrutura do Sistema Dvideow.

As metodologias relativas aos algoritmos de segmentação de imagens, e as metodologias atuais para a análise automática de jogadores de futebol.

#### 4.1 Evolução Metodológica

Dentre as principais pesquisas realizadas no tema, podemos citar os trabalhos pioneiros realizados por REILLY & TOMAS (1976) e WITHERS et al. (1982) nas décadas de setenta e oitenta respectivamente, em que uma detalhada análise de padrões de movimentação dos jogadores foi realizada. Nestes estudos mostrou-se, por exemplo, que 96% da distância percorrida no campo pelos jogadores durante uma partida ocorre sem o posse da bola. Além disso, pôde-se inferir informações acerca da taxa de trabalho realizada pelos atletas e obteve-se valiosas informações táticas sobre o jogo.

Objetivando-se obter informações relacionadas a aspectos fisiológicos ou biomecânicos da atuação dos atletas, ou mesmo a aspectos táticos de jogo, pesquisas foram realizadas as quais a posição e ação de jogadores era registrada e posteriormente analisada, como no trabalho de MAYHEW & WENGER (1985). O ponto de partida para muitas dessas pesquisas

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A descrição e análise dos movimentos de atletas durante um jogo e outras variáveis cinemáticas derivadas têm sido objeto de inúmeras pesquisas na área de Biomecânica do futebol e outras afins no cenário brasileiro e mundial. Assim, a revisão bibliográfica foi baseada nos anais dos congressos nacionais e internacionais, nos artigos publicados em revistas especializadas, nos livros e sites na internet com relação à biomecânica e ao processamento de imagens. A apresentação a seguir focaliza, a evolução metodológica na direção de atingir uma análise simultânea e automatizada das trajetórias dos atletas durante a partida; o processamento digital de imagens; as metodologias relativas aos algoritmos de segmentação de imagens; e as metodologias atuais para a análise automática de jogadores de futebol.

### 4.1 Evolução Metodológica

Dentre as principais pesquisas realizadas no tema, podemos citar os trabalhos pioneiros realizados por REILLY & TOMAS (1976) e WITHERS et al. (1982) nas décadas de setenta e oitenta respectivamente, em que uma detalhada análise de padrões de movimentação dos jogadores foi realizada. Nestes estudos mostrou-se, por exemplo, que 98% da distância percorrida no campo pelos jogadores durante uma partida ocorre sem a posse da bola. Além disso, pôde-se inferir informações acerca da taxa de trabalho realizada pelos atletas e obteve-se valiosas informações táticas sobre o jogo.

Objetivando-se obter informações relacionadas a aspectos fisiológicos ou biomecânicos da atuação dos atletas, ou mesmo a aspectos táticos do jogo, pesquisas foram realizadas às quais a posição e ação de jogadores era registrada e posteriormente analisada, como no trabalho de MAYHEW & WENGER (1985). O ponto de partida para muitas dessas pesquisas

foi a quantificação dos deslocamentos realizados por cada jogador, em função do tempo, durante a partida. Segundo ERDMANN (1991), o jogo de futebol pode ser analisado de maneira qualitativa e quantitativa, sendo que a primeira forma é mais imprecisa e subjetiva.

Conforme descrito em HUGHES (1991), diversas metodologias foram utilizadas para anotar informações importantes em futebol. O autor destaca trabalhos que utilizavam a anotação feita por um operador. Além disso, descreve alguns sistemas de anotação computadorizada, que permitiam a entrada de dados pelo teclado, em alguns casos especialmente desenhados para esta finalidade. No início da década de noventa, o autor já assinalava as potencialidades de desenvolvimento de sistemas que, utilizando o computador, pudessem controlar unidades de vídeo objetivando o rastreamento dos jogadores.

Para tentar solucionar os problemas de entrada de dados, PARTRIDGE et al. (1991) idealizou um sistema de "scouting" montado com uma TV, um painel digitalizador conectado a um micro computador e uma impressora que foi colocado em prática na Copa do Mundo de 1990.

Para realizar um estudo cinemático no futebol, ERDMANN (1991) propôs um método na qual adaptava-se uma folha quadriculada à tela da TV e uma folha quadriculada maior na qual eram transcritos os pontos de correspondência relacionados a um determinado jogador ou jogadores. O jogo era gravado em vídeo e reproduzido quadro a quadro.

Embora a análise cinemática de movimentos tenha sofrido uma importante evolução, a análise de deslocamentos continuou sendo visual, ou seja, feita pelo operador manualmente, na maioria das metodologias propostas.

## 4.2 Processamento Digital de Imagens

O processamento digital de imagens teve início em meados de 1960 impulsionados pelos programas espaciais da NASA nos EUA. São conhecidas duas formas principais de processamento de imagens: o óptico ou fotográfico e o sinal elétrico analógico (NIBLACK, 1986). No primeiro caso, tem-se o uso de lentes, as ampliações e as técnicas de tratamento da fotografia para clarear, escurecer, variar as cores, etc; no segundo caso, refere-se à imagem da TV na qual as imagens são convertidas em sinais elétricos para transmissão, recepção e reconstrução.

A imagem digital, por sua vez, é representada por números e apresenta duas características principais. A primeira é a precisão, pois não ocorre perda da qualidade da imagem como nas fotografias à medida que se repete o processo de cópia; ou no caso das imagens de TV, pela degradação dos sinais elétricos pelas características do material utilizado para transmissão entre outros. A segunda é a flexibilidade, pois é possível realizar diversos tipos de tratamento para cada região da imagem como aumentar, diminuir, fazer a rotação, etc; o controle de contraste e brilho também é muito maior que numa imagem de TV, entre outras características em que a flexibilidade está presente.

Embora haja a facilidade de manuseio há duas desvantagens principais. A primeira refere-se à velocidade de processamento, uma vez que o volume de informações é muito grande, o tempo de execução de uma tarefa torna-se lento. E o segundo é o alto custo dos equipamentos eletro-eletrônicos (computador, placas de conversão analógico-digital, câmeras de vídeo). Mas com a evolução tecnológica, os aparelhos eletro-eletrônicos têm-se tornado acessíveis, bem como, apresentado melhores desempenhos. Isto tem possibilitado o grande avanço do processamento digital de imagens. Atualmente estas técnicas são utilizadas nas mais diversas áreas como na medicina, na microscopia, na transmissão digital de sinais de TV.

### 4.3 Metodologias Relativas à Segmentação de Imagens

A segmentação de imagens pode ser entendido como um processo em que se divide a imagem em regiões significativas. Genericamente, seria obter uma região que se refere ao objeto em estudo e a outra à região que compõe a imagem de fundo. O objeto obtido deve possuir toda característica com conteúdo semântico relevante para a aplicação desejada. A segmentação (MASCARENHAS & VELASCO, 1989) geralmente faz parte de um processo maior relativo à obtenção da descrição da imagem e que se constitui de uma lista de objetos, os rótulos e as relações entre os objetos.

A segmentação permite, assim, tornar o processamento mais rápido e eficiente. Como a característica principal a ser buscada para efetuar a segmentação, no caso dos jogadores de futebol, é o movimento, as metodologias embasam-se na busca de movimentos realizados do quadro atual para o quadro seguinte, ou do quadro atual comparado com vários quadros à frente.

O método proposto por SHIO e SKLANSKY (apud SHANON JU) é baseado na intensidade, no movimento e num modelo de movimento da pessoa a ser segmentado, ou seja, haver um modelo de movimento para que seja possível uma comparação com a seqüência de imagens. Para isso necessita-se de dois passos: (a) estimativa do movimento fazendo uma correlação para estimar a velocidade do movimento dos objetos; (b) segmentação do objeto que consiste em se separar a região desejada (segmentada) de acordo com o movimento realizado, e posteriormente agrupamento da seqüência das imagens já segmentadas.

SUZUKI e SKLANSKY (apud SHANON JU) propuseram-se a fazer uma primeira estimativa através do fluxo óptico, ou seja, analisar o traçado do movimento, detectando, assim, os pontos que são descontínuos. Os pontos obtidos na estimativa que possuem o mesmo

movimento serão agrupados. Como os algoritmos de detecção de clusters (regiões afins) necessitam de parâmetros pré-definidos, pode acontecer que dois sujeitos com movimentos próximos sejam entendidos como sendo um único objeto.

LEUNG e YANG (apud SHANON JU) segmentaram corpos humanos a partir de uma imagem de fundo estática. Para cada quadro comparava-se com a imagem de fundo estática, obtendo, assim, somente a imagem da pessoa. Este método somente se aplica a seqüências de imagens em que se possa obter a imagem de fundo estacionária.

O trabalho proposto por MAYLOR et al. (1986) sobre a estimativa de movimento humano em cenas complexas está baseado em três fases: a) *extração da informação do movimento*, que consiste em se comparar pixel a pixel um quadro com o outro - diferença entre quadros - assim verifica se houve movimento ou não, b) *segmentação das regiões de movimento* através das informações obtidas no passo anterior, que consiste em se manter o contorno dos pontos coincidentes e apagar os pontos não coincidentes, e c) *registro do modelo de movimento dos quadros anteriores formando um histórico*. Em uma situação em que a pessoa permanece parada, o histórico é utilizado como referência para que a posição ocupada pela pessoa no quadro corrente seja considerada como sendo a mesma posição ocupada no quadro anterior, possibilitando, assim, uma segmentação adequada.

#### **4.4 Metodologias Atuais para a Análise Automática de Jogadores de**

##### **Futebol**

Os trabalhos atuais, que visam a análise automática de deslocamentos nas diversas modalidades, realizados utilizam basicamente dois métodos para obtenção dos dados: a

primeira através de câmeras de vídeo analógicas ou digitais; e a segunda através da utilização do Sistema Global de Posicionamento (GPS).

D'OTTAVIO, S. e TRANQUILLI, C. (1993) realizaram a análise do deslocamento e a distribuição da velocidade e da aceleração de um jogador durante 90 minutos. A obtenção das coordenadas relativas ao jogador foi feita através do registro do deslocamento angular instantâneo do sujeito dado pela criação de um campo trigonométrico a partir de duas câmeras de vídeo. A filmagem foi feita com duas câmeras, que são dotadas de um dispositivo de foco automático e sincronização, na qual o operador coloca o sujeito de interesse no centro da imagem. A frequência de aquisição foi de 10 Hz.

CHOI, S. et al. (1997) realizaram a análise automática de um jogo de futebol em uma seqüência de imagens de TV a cabo durante aproximadamente 5 segundos, que teve três etapas básicas: extração do fundo da imagem, ou seja, a separação da imagem formada pelos jogadores em relação ao campo; a realização do rastreamento automático ("tracking") dos jogadores e da bola e a identificação dos jogadores; identificação da posição dos jogadores. O processo de rastreamento automático consistiu na utilização do processo de casamento de padrões e do filtro de Kalman para prever a localização do objeto no próximo quadro. Os casos de oclusão foram tratados apenas para jogadores de times diferentes na qual se utilizou o histograma de cores da região correspondente.

A análise de deslocamentos, aplicando o rastreamento automático, é também tema de pesquisa no Massachusetts Institute of Technology – MIT – denominado "Computers Watching Football" (site: [www-white.media.mit.edu](http://www-white.media.mit.edu)) - analisando o futebol americano. O projeto do MIT tem algumas características comuns ao nosso projeto. Eles objetivam também a detecção de movimentos dos jogadores automaticamente. O primeiro passo desse projeto é o

processamento que objetiva eliminar os efeitos da movimentação da câmera. O segundo passo é a identificação e a segmentação dos jogadores para efetuar o rastreamento.

A metodologia utilizada pelo MIT é feita com uma aproximação maior (“Zoom”) do jogador ou da jogada e com a movimentação da câmera que persegue o jogador ou a jogada. Um outro fator que facilita o rastreamento dos jogadores no futebol americano deve-se à demarcação existente em todo o campo. Além disso, as jogadas no futebol americano tem curta duração, diferente do que ocorre no futebol na qual os eventos ocorrem continuamente durante longos intervalos de tempo.

O método de filmagem difere entre o Sistema Dvideow e o Sistema desenvolvido pelo MIT na qual os jogadores aparecem bem maiores, mas problemas como a oclusão entre os jogadores, a dificuldade de identificação dos jogadores de um quadro para outro, a dificuldade na identificação de jogadores quando estão juntos, entre outros, também, são encontrados.

Uma outra tecnologia que permite a localização de um sujeito no espaço é através da utilização de satélites que captam sinais emitidos por um transmissor localizado na superfície da Terra. O Sistema Global de Posicionamento (GPS) é um sistema altamente controlado e destinado principalmente para fins militares e é regulado pelo Departamento de Defesa dos EUA. Por razões técnicas e de segurança, o posicionamento de uma unidade só era possível com erro da ordem de dezenas de metros. Recentemente tem surgido no mercado equipamentos com maior precisão, que apontam para a viabilização do seu uso no contexto esportivo. Com isto será possível realizar o rastreamento automático para várias modalidades esportivas como o ciclismo, a maratona, o futebol entre outros e obter a posição, velocidade e o tempo de um determinado atleta.

HENNING & STERZING (1998) realizaram o rastreamento automático utilizando o Sistema Global de Posicionamento (GPS) com 6 sujeitos-voluntários fazendo caminhadas, corridas e tiros em uma pista de atletismo de um estádio. Os sujeitos-voluntários realizaram os testes carregando um transmissor preso ao corpo. Os dados correspondentes ao tempo e a posição foram enviados ao computador pelo receptor de sinais do GPS.

Em outro estudo, HENNIG, E.M. e BRIEHLE, R. (2000) realizaram o rastreamento automático de 70 jogadores de futebol de diversas categorias alemãs em 14 jogos. Uma vez que no jogo de futebol não é permitido utilizar qualquer tipo de aparelho, os estudos foram feitos nos treinos destas equipes. O aparelho utilizado foi o GARMIN 12XL GPS com 250 g. Os resultados do rastreamento automático mostraram-se eficientes para os deslocamentos em alta velocidade (menor que 2%), no entanto para os deslocamentos em baixa velocidade houve uma superestimativa em torno de 10%.

### 5.1 Sistema Dvideow

A estrutura montada para a realização da análise automática de movimentos humanos é composta por equipamentos óptico-eletrônicos e por um sistema (conjunto de programas integrados). A parte composta pelo sistema refere-se ao Sistema Dvideow, que foi desenvolvido em Visual C++ e a parte composta pelos equipamentos envolvem os micro-computadores, as placas de conversão analógico-digital, placa de captura digital, filmadoras analógicas e digitais.

A realização da análise automática de jogadores de futebol é composta pelas etapas a seguir: a aquisição de dados no sistema Dvideow que inclui o registro e a conversão analógico-digital ou a transferência direta através das placas de captura digital; a medição

## 5 METODOLOGIA

As metodologias empregadas pela biomecânica para a análise dos movimentos humanos são basicamente a Cinemetria, Dinamometria, Eletromiografia e a Antropometria. No Laboratório de Instrumentação para Biomecânica (LIB) da Faculdade de Educação Física (FEF) da Unicamp está sendo desenvolvido o Sistema para Cinemetria, projeto FAPESP processo no. 00/01293-1.

O sistema para cinemetria visa, através da obtenção de variáveis cinemáticas descrever posições ou movimentos no espaço, conhecer o movimento humano para que seja estudado em detalhes, de maneira sistemática e como objeto de investigação científica. A análise cinemática de deslocamentos de jogadores de futebol faz parte do desenvolvimento específico do sistema para cinemetria à qual o trabalho atual está inserido.

### 5.1 Sistema Dvideow

A estrutura montada para a realização da análise automática de movimentos humanos é composta por equipamentos óptico-eletrônicos e por um sistema (conjunto de programas integrados). A parte composta pelo sistema refere-se ao Sistema Dvideow, que foi desenvolvido em Visual C++ e a parte composta pelos equipamentos envolvem os micro-computadores, as placas de conversão analógico-digitais, placa de captura digital, filmadoras analógicas e digitais.

A realização da análise automática de jogadores de futebol é composta pelas etapas a seguir: a **aquisição de dados no sistema Dvideow** que inclui o registro e a conversão analógico-digital ou a transferência direta através das placas de captura digitais; a **medição**

automática; e a transformação imagem-objeto-imagem que consiste na calibração e na reconstrução.

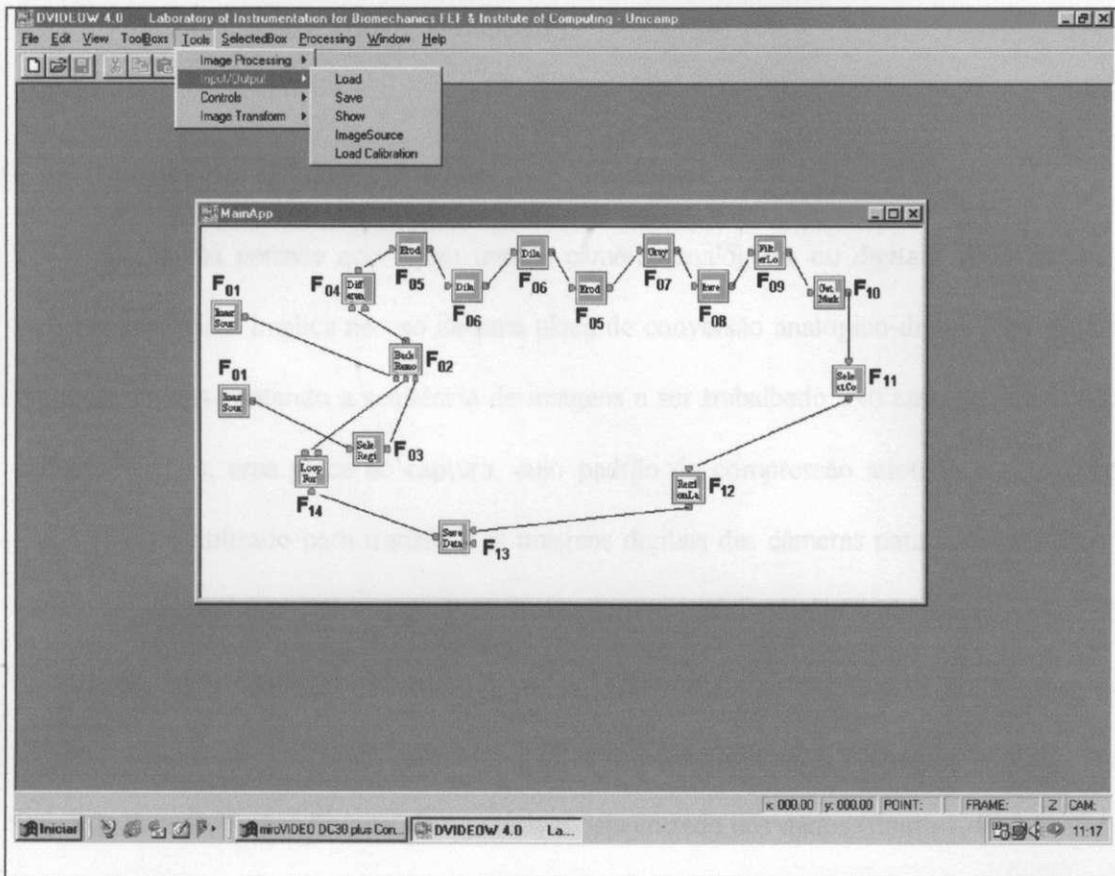


Figura 1 – janela do sistema com as funções mostradas –  $F_n$  ( $n=1, \dots, 14$ ) são as 14 Caixas de Função

A figura 1 mostra uma janela de interface do sistema Dvideow e uma das ferramentas selecionadas no algoritmo aplicado neste estudo. A representação gráfica de cada ferramenta na janela do Sistema Dvideow será através de uma ‘caixa’ com um rótulo, cuja, denominação genérica será ‘Caixa de Função’. O conjunto das Caixas de Função que está mostrada na figura 1 representa o processo de análise automática de jogadores de futebol realizado. A descrição de cada Caixa de Função será feita dentro de cada etapa, a seguir, em que está relacionado. As Caixas de Função, que não estão diretamente relacionadas às etapas, serão descritas a seguir: A Caixa de Função ‘Loop For’ (figura 1,  $F_{14}$ ) é um comando de repetição, que possibilita a

execução do processo mostrado na figura 1 para todos os quadros da seqüência de imagens. A Caixa de Função 'Save Data' (figura 1, F<sub>13</sub>) possibilita salvar os dados extraídos na etapa 8.1.2.2.1 - Identificação e Rotulação (labeling).

### 5.1.1 Aquisição de Dados no Sistema Dvideow

O sistema permite que sejam usadas câmeras analógicas ou digitais. A utilização de câmeras analógicas implica no uso de uma placa de conversão analógico-digital para produzir arquivos digitais contendo a seqüência de imagens a ser trabalhado. No caso da utilização de câmeras digitais, uma placa de captura, cujo padrão de compressão adotado é o protocolo IEEE 1394, é utilizado para transferir as imagens digitais das câmeras para o computador. O padrão de entrada dos dados digitalizados é o formato AVI (Audio Video Interleaved) com número de linhas e colunas variáveis. A cor em cada pixel da imagem é determinada por 24 bits no padrão RGB (RED, GREEN e BLUE), com 8 bits destinados para cada canal de cor. A Caixa de Função 'Image Source' é responsável pela entrada dos dados (figura 1, F<sub>01</sub>).



Figura 2: Imagem do jogo de futebol digitalizado

### 5.1.2 Medição Automática

A qualidade de um sistema para aquisição de dados em Cinemetria é influenciada pela capacidade do algoritmo de localizar o objeto de interesse, **obtenção do jogador**, pelo processo de segmentação, e realizar o **rastreamento** do mesmo em cada quadro da seqüência de imagens.

A obtenção automática das coordenadas de tela dos jogadores nas seqüências de imagens fundamenta-se nas técnicas de processamento de imagens, conceitualizado na área de ciências da computação, associado a conhecimentos das características de movimentos humanos, que são estudados pela biomecânica.

### 5.1.2.1 Obtenção dos Jogadores (segmentação)

O jogador consiste em uma região formada por pixels em uma imagem digitalizada em que estão presentes, também, outros elementos como o campo, as placas e tudo que estiver ao seu redor. A localização do jogador é feita através de conceitos e operações de morfologia matemática aplicados ao processamento de imagens. O processo denominado de segmentação implementado no Sistema Dvideow realiza a) **extração dos jogadores**, que é a separação dos jogadores em relação ao resto da imagem e b) obtenção do contorno de cada jogador, **formação do contorno (cluster)**.

O resultado obtido na segmentação, que pode ser visto na figura 4, será utilizado no processo de rastreamento, que está descrito no tópico 7.1.2.2.



Figura 3 – Imagem do campo antes da segmentação

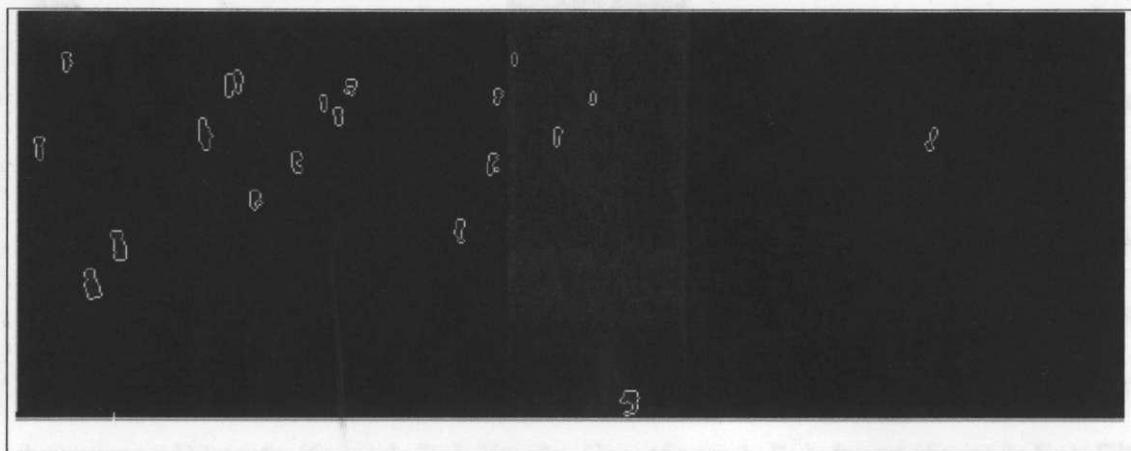


Figura 4 – Cada região resultante ‘cluster’ corresponde a um jogador – resultado da segmentação

#### 5.1.2.1.1 Extração dos Jogadores

O primeiro passo consiste em realizar um corte (separação) da região do campo em relação ao resto da imagem (arquibancada, placas de propaganda, as pessoas que estão ao redor do campo, entre outros) utilizando a Caixa de Função ‘Select Region ‘ (figura 1, F<sub>03</sub>). O segundo passo consiste na obtenção do campo de futebol sem os jogadores, campo vazio, realizada pela Caixa de Função ‘Back Remove ‘ (figura 1, F<sub>02</sub>). No terceiro passo é feita a extração dos jogadores utilizando o campo vazio com a Caixa de Função ‘Difference‘(figura 1, F<sub>04</sub>). A Caixa de Função ‘Back Remove’ é executada num intervalo de 20 quadros devido ao processamento ser demorado. Enquanto a Caixa de Função ‘Difference’ é executado para todo quadro da sequência de imagens. O intervalo de quadros em que é executada a Caixa de Função ‘Back Remove’ pode variar de acordo com as mudanças da iluminação no campo com o decorrer do tempo.

#### 5.1.2.2.1 Identificação e Rotulação

A identificação e a rotulação (labeling) consistem em definir cada jogador presente no quadro atual, a posição da tela onde está localizado e outras características como tamanho e cor. Este processo de identificação, realizada pela Caixa de Função ‘Region Labeling’ (figura

#### 5.1.2.1.2 Formação do Contorno (cluster)

A obtenção do contorno é feita com a utilização da morfologia matemática em que leva em consideração o relevo topográfico definido por cada jogador na imagem. Os operadores utilizados neste processo de segmentação foram definidos por FIGUEROA et al. (1999) e seguem a seguinte seqüência : 1- Aumento dos picos da imagem usando operações de pré-processamento representados pelas Caixas de Função na seqüência: Erosão (figura 1, F<sub>05</sub>), duas vezes a Dilatação (figura 1, F<sub>06</sub>), Erosão, Gray (figura 1, F<sub>07</sub>), Invert (figura 1, F<sub>08</sub>), Filter Low (figura 1, F<sub>09</sub>), 2- Cálculo dos valores da dinâmica dos mínimos regionais e seleção nestas regiões dos valores maiores. 3- Considerando as regiões obtidas, determinação de suas linhas divisoras de águas. Os itens 2 e 3 são realizados pela Caixa de Função 'Get Marker' (figura 1, F<sub>10</sub>). 4- Eliminação de algumas regiões de acordo com parâmetros associados à estrutura morfológica dos marcadores, que são perímetro, área e alongamento, que é realizado pela Caixa de Função 'Select Contour' (figura 1, F<sub>11</sub>).

#### 5.1.2.2 Rastreamento

A realização do rastreamento implica a) na necessidade de **identificação e rotulação** dos 'clusters', figura 4, encontrados no item 'obtenção do contorno' e b) em **critérios de definição de trajetórias** para localizar as trajetórias realizadas pelos jogadores na seqüência de imagens.

##### 5.1.2.2.1 Identificação e Rotulação

A identificação e a rotulação (labeling) consistem em definir cada jogador presente no quadro atual, a posição da tela onde está localizado e outras características como tamanho e cor. Este processo de identificação, realizada pela Caixa de Função 'Region Labeling' (figura

1,  $F_{12}$ ), é feita para cada quadro da seqüência de imagens e os dados extraídos serão utilizados para definir a trajetória de cada jogador.

Algumas situações em que os jogadores encontram-se muito juntos ou quando ocorre alguma oclusão total ou parcial entre os jogadores prejudicam o processo de identificação.

#### 5.1.2.2.2 Critérios de Definição de Trajetórias

O conjunto de dados obtidos do processo de segmentação consiste em uma matriz  $(i,j)$  de dados na qual  $i$  corresponde ao número de quadros da seqüência de imagens e  $j$  possui as coordenadas “x” e “y”, que correspondem à posição de cada objeto na imagem e projetado no campo de futebol. Estes objetos podem pertencer a um jogador ou a ruídos gerados no processo de segmentação. Também é possível que um jogador seja “perdido” durante a segmentação.

Definimos que o conjunto de pontos dado por  $T_n(x_n, y_n)$  ( $n=1, \dots, \text{número total de quadros}$ ), que formam uma poligonal, corresponde à trajetória percorrida por um jogador.

Os procedimentos para a construção da trajetória de cada jogador são:

- a) A coordenada inicial do jogador  $P(x_1, y_1)$  a ser rastreado é dado pelo operador;
- b) Comparam-se, então, as distâncias entre o ponto  $P(x_1, y_1)$  e o conjunto de pontos obtidos no quadro subsequente, assumindo o ponto que resulta na menor distância pertence à trajetória, desde que menor a um valor arbitrado pelo operador;
- c) O procedimento “b” é repetido até o quinto quadro subsequente, tomando-se a menor distância entre um ponto da trajetória no quadro  $i$  e no quadro  $i+1$  como critério para a inclusão do mesmo como pertencente à trajetória;
- d) A partir do sexto quadro é introduzido um processo recursivo de filtragem, função spline – matlab, antes da aplicação do procedimento descrito em “b” e “c”;

e) Caso nenhum ponto seja encontrado a uma distância menor que o valor arbitrado pelo operador, adota-se os seguintes critérios novos de inclusão de pontos na trajetória:

e.1) Extrapolação no máximo por duas vezes para obter o ponto  $P_e(x_e, y_e)$ , que será admitido como pertencente à poligonal. Caso não seja possível encontrar o ponto correspondente à trajetória após aplicar a extrapolção, será utilizado e.2) a distância do ponto à reta, comparam-se as distâncias entre a reta formada pelos dois últimos pontos da trajetória suavizada e os pontos obtidos no quadro subsequente, assumindo o ponto que resulte na menor distância como pertencente à trajetória, desde que menor a um valor arbitrado pelo operador.

### 5.1.3 Transformação Imagem-Objeto-Imagem

A descrição do movimento de uma partícula pode ser feita no espaço ou no plano. Em ambos os casos, é preciso que a posição da partícula esteja relacionado a um dado referencial e em função do tempo. Assim, a partir de um sistema de referência constituído por três eixos ortogonais entre si, denominado de Sistema Cartesiano, define-se a posição da partícula no espaço. Analogamente, a partir de um sistema de referência constituído por dois eixos ortogonais define-se a posição da partícula no plano.

Tanto a obtenção de coordenadas espaciais quanto de coordenadas no plano dos pontos a partir do registro estereoscópico de suas projeções em imagens é uma metodologia bastante difundida na Biomecânica. E são denominadas respectivamente de reconstrução tridimensional de coordenadas (3D) e reconstrução bidimensional de coordenadas (2D).

O processo de Calibração e Reconstrução 3D está disponível no sistema, mas no processo de rastreamento automático que está mostrado na figura 1 não foi utilizado.

### 5.1.3.1 Calibração e Reconstrução 3D

Os procedimentos de calibração de câmeras e reconstrução tridimensional que utilizamos foram inicialmente propostos por Abdel-Aziz e Karara (1971) e são conhecidos como DLT (Direct Linear Transformation). As equações básicas do método de reconstrução tridimensional de coordenadas (DLT) são mostradas a seguir.

$$(n_1^k - n_3^k x_i^k) X_i + (n_4^k - n_6^k x_i^k) Y_i + (n_7^k - n_9^k x_i^k) Z_i + n_{10}^k - x_i^k = 0$$

$$(n_2^k - n_3^k y_i^k) X_i + (n_5^k - n_6^k y_i^k) Y_i + (n_8^k - n_9^k y_i^k) Z_i + n_{11}^k - y_i^k = 0$$

Este sistema de equações é aplicado duas vezes, a primeira para quantificar os parâmetros da transformação (calibração) e a segunda para efetuar a reconstrução propriamente dita. Para a calibração das câmeras temos que:  $x_i$  e  $y_i$  são as coordenadas de tela do  $i$ -ésimo ponto de um sistema de referências conhecido, para cada câmera  $k$ ;  $X_i$ ,  $Y_i$  e  $Z_i$  são as coordenadas espaciais do  $i$ -ésimo ponto de referência e  $n_h^k$  ( $h=1, \dots, 11$ ) são os 11 parâmetros da transformação para a  $k$ -ésima câmera, a serem determinados.

### 5.1.3.2 Calibração e Reconstrução 2D

Os procedimentos de calibração e reconstrução 2D tiveram como base as equações do método de reconstrução tridimensional de coordenadas (DLT). Assim, a forma de quantificar os parâmetros da transformação e a reconstrução das coordenadas no plano segue a descrição feita para os procedimentos em 3D.

As alterações basearam-se na passagem do espaço (3D) para o plano (2D) em que existem apenas as coordenadas  $X$  e  $Y$ . Portanto, as equações básicas, que são mostradas a seguir, não possuem a coordenada  $Z$ .

$$(n_1^k - n_3^k x_i^k) X_i + (n_4^k - n_6^k x_i^k) Y_i + n_7^k - x_i^k = 0$$

$$(n_2^k - n_3^k y_i^k) X_i + (n_5^k - n_6^k y_i^k) Y_i + n_8^k - y_i^k = 0$$

A descrição das coordenadas e dos parâmetros com as alterações são:  $X_i$  e  $Y_i$  são as coordenadas no plano do  $i$ -ésimo ponto de referência e  $n_h^k$  ( $h=1, \dots, 8$ ) são os 8 parâmetros da transformação para a  $k$ -ésima câmera, a serem determinados.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Primeiro Experimento: Reconstrução de Trajetórias Conhecidas

A filmagem realizada no campo de futebol da Faculdade de Educação Física teve como objetivos:

- a) Avaliar o processo de rastreamento automático em trajetórias conhecidas;
- b) Analisar a frequência de amostragem adequada
- c) Analisar a acurácia da metodologia

#### 6.1.1 Filmagem no Campo da FEF

A filmagem foi realizada no campo de futebol da Faculdade de Educação Física com uma câmera de vídeo Panasonic S-VHS e uma câmera de vídeo Canon Hi-8, com frequência de aquisição de 25 Hz, utilizando os postes de iluminação localizados nas laterais do campo.

A esquematização do ambiente da filmagem adotada está mostrada na figura 5. A filmagem teve duas câmeras posicionadas nos postes de iluminação a uma altura aproximada de 15 metros, a distância do poste em relação à lateral do campo é de 15 metros e a distância do poste (ponto projetado na linha lateral do campo) em relação ao ponto M-1 (ponto projetado na linha da lateral do campo) foi de 30 metros. Uma região foi demarcada com marcadores  $M_i$  ( $i=1, \dots, 15$ ) e uma outra região maior foi marcada com marcadores  $P_k$  ( $k=1, \dots, 10$ ). Os marcadores são folhas de papel sulfite A-4 (210 x 297 mm) presos ao chão por grampos feitos de arame. A medida entre  $M_i$  e  $M_{i+1}$  corresponde a 8 metros (figura 5). A

trajetória formada pelos  $M_i$  pontos totaliza 112 metros. Os pontos  $P_k$  correspondem aos pontos de calibração e a região delimitada pelos pontos  $P_k$  ( $k=1,4,5$  e  $8$ ), cujas medidas são [  $P_1 / P_4$  (40 m.),  $P_4 / P_5$  (56 m.),  $P_5 / P_8$  (40 m.) e  $P_8 / P_1$  (56 m.) ] corresponde à área de calibração.

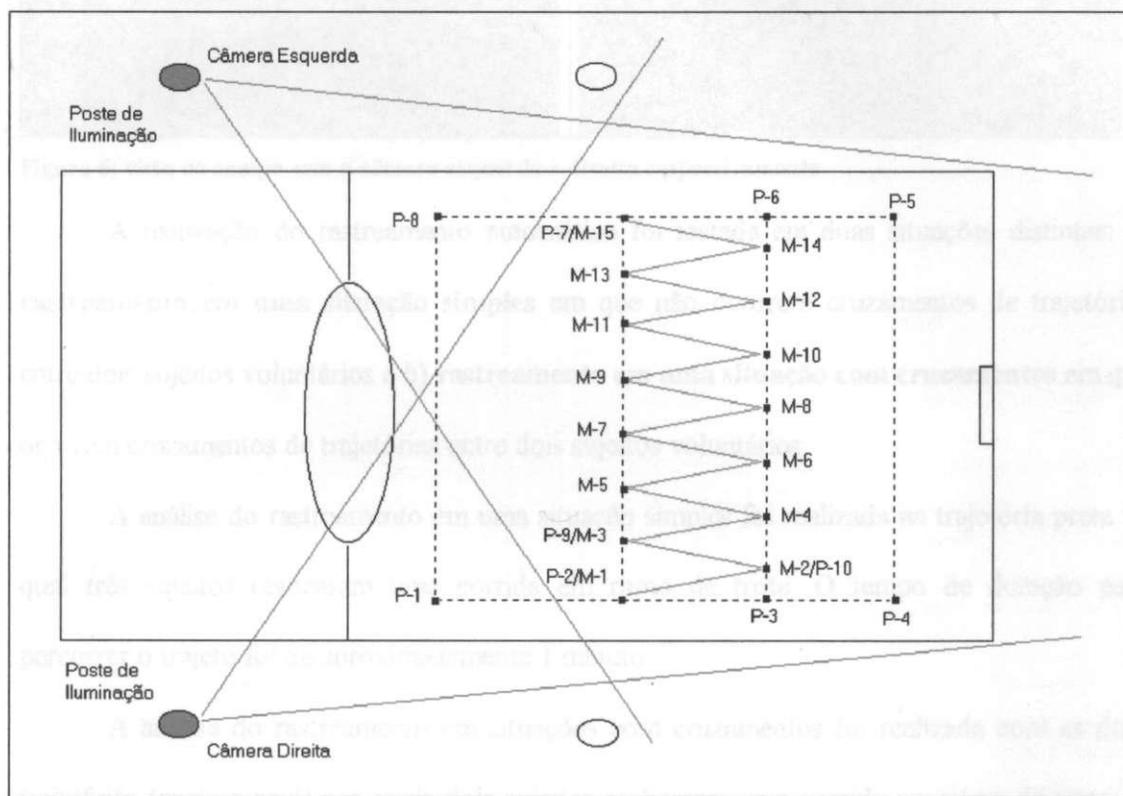


Figura 5: Campo com o posicionamento das câmeras e a região demarcada com as trajetórias

6.1.2 Duas trajetórias foram construídas com as características descritas anteriormente, uma representada pela trajetória na cor azul e a outra na cor preta, tendo pontos de intersecção, que correspondem ao ponto médio do segmento formado pelos pontos  $M_i$  e  $M_{i+1}$  da trajetória azul e pelo ponto médio do segmento formado pelos pontos  $M_i$  e  $M_{i+1}$  da trajetória preta (figura 6).

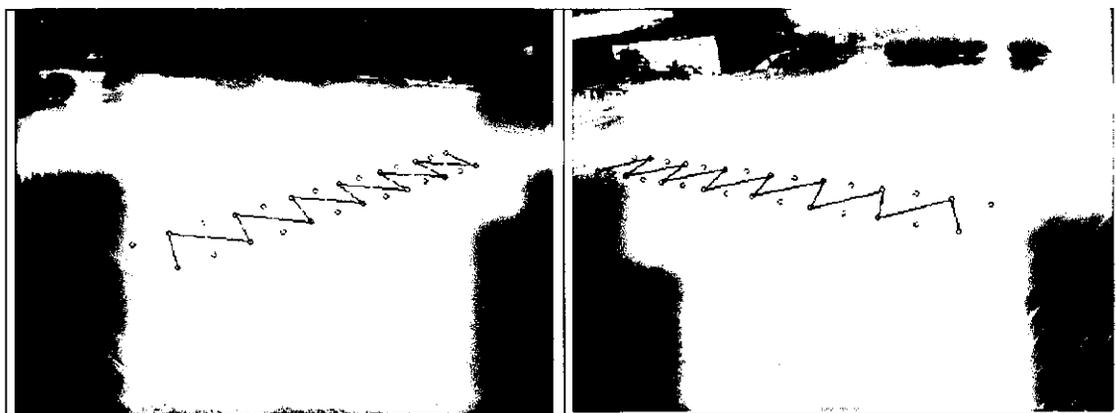


Figura 6: vista do campo com a câmera esquerda e direita respectivamente

A realização do rastreamento automático foi testada em duas situações distintas: a) **rastreamento em uma situação simples** em que não ocorrem cruzamentos de trajetórias entre dois sujeitos voluntários e b) **rastreamento em uma situação com cruzamentos** em que ocorrem cruzamentos de trajetórias entre dois sujeitos voluntários.

A análise do rastreamento em uma situação simples foi realizada na trajetória preta na qual três sujeitos realizaram uma corrida em ritmo de trote. O tempo de duração para percorrer o trajeto foi de aproximadamente 1 minuto.

A análise do rastreamento em situações com cruzamentos foi realizada com as duas trajetórias (preta e azul) nas quais dois sujeitos realizaram uma corrida em ritmo de trote. O tempo de duração para percorrer o trajeto foi de aproximadamente 1 minuto.

### **6.1.2 Rastreamento Automático dos Jogadores**

A realização do rastreamento em uma situação simples em que não ocorrem cruzamentos de trajetórias entre dois sujeitos voluntários está na figura 7. Nesta, os três sujeitos estão evidenciados por círculos percorrendo a trajetória preta.

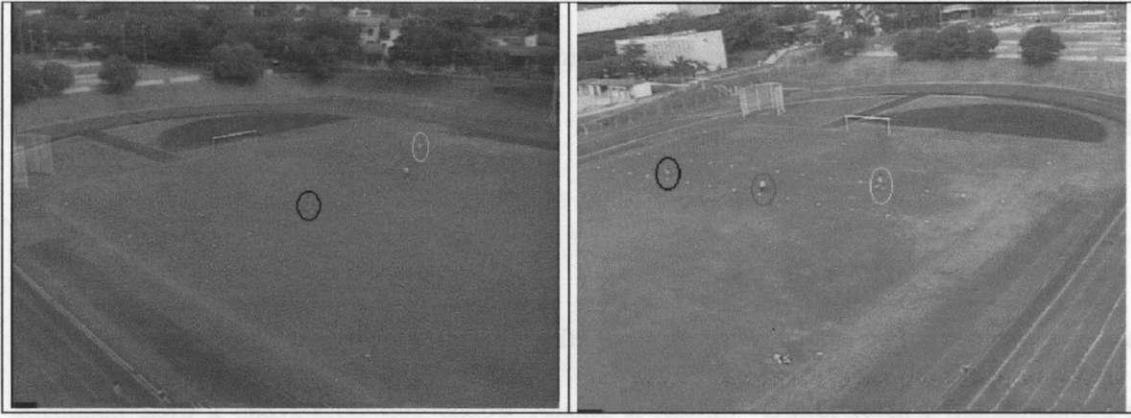


Figura 7: Os círculos enfatizam os três sujeitos que percorrem a trajetória preta. A imagem da esquerda corresponde à câmera esquerda e a imagem da direita à câmera direita.

O rastreamento automático dos três sujeitos para a situação sem cruzamento de trajetória está na figura 8a. Os dados referentes ao deslocamento dos sujeitos foram obtidos com sucesso na situação em que ocorreram as constantes mudanças de direção durante os deslocamentos dos sujeitos e na situação em que ocorreram variações no número de sujeitos realizando o deslocamento. Esta variação ocorreu da seguinte forma: a) inicialmente houve um sujeito realizando o deslocamento; b) em seguida ocorreu o aumento no número de sujeitos até três; e c) houve diminuição para um sujeito finalizando o deslocamento.

O rastreamento automático para a situação em que ocorre cruzamento de trajetória está no gráfico 8b.

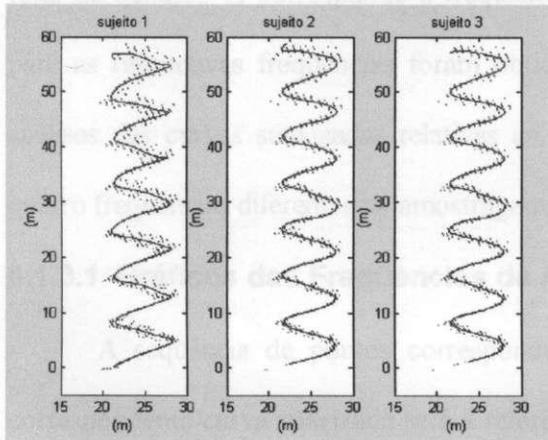


Figura 8a: trajetórias realizadas por três sujeitos;

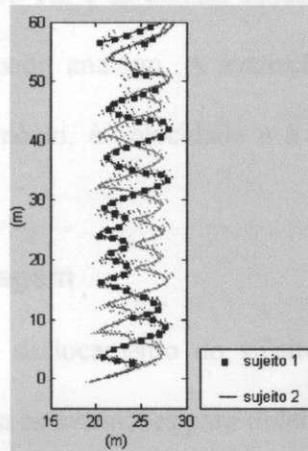


Figura 8b: trajetórias realizadas por dois sujeitos em situação de cruzamento das trajetórias

Nos gráficos, os pontos correspondem às posições relativas de cada sujeito durante o deslocamento e a linha contínua corresponde à trajetória suavizada. A curva suavizada mostra a característica dos deslocamentos realizados pelos sujeitos, bem como, pode-se verificar as particularidades individuais apresentadas.

Devido à existência de ruídos de alta frequência, o filtro digital mostrou-se mais adequado para a suavização dos dados. Assim, a função "Butterworth", implementada no software Matlab, foi aplicada. Os parâmetros utilizados foram: filtro "passa-baixa" de ordem 3 e a frequência de corte definida em 1 Hz.

### 6.1.3 Frequência de Amostragem Adequada

A avaliação da frequência de amostragem foi feita sobre a seqüência de imagens, cuja frequência de aquisição foi de 25 Hz, na situação de **rastreamento em uma situação simples** descrito no item 7.2.1. As frequências de amostragem utilizadas para a avaliação são de 25 Hz, 12.5 Hz, 6.25 Hz e 3.125 Hz. Dado uma seqüência de pontos ( $n=1, \dots, \text{número total de quadros}$ ) correspondente ao deslocamento do sujeito a 25 Hz, a seqüência de pontos ( $n=1, 3, 5, \dots, \text{número total de quadros}-1$ ) corresponde à frequência de 12.5 Hz e as demais seqüências de pontos para as respectivas frequências foram obtidas de modo análogo. A avaliação consistiu nas análises das curvas suavizadas relativas ao deslocamento, à velocidade e à aceleração com quatro frequências diferentes de amostragem.

#### 6.1.3.1 Gráficos das Frequências de Amostragem

A seqüência de pontos correspondentes ao deslocamento do sujeito a 25 Hz e a correspondente curva suavizada será a referência para as avaliações para obter a frequência de amostragem adequada. Os dados conhecidos foram a trajetória e o comprimento da trajetória

em preto, de 112 m (valor medido). Após obter as curvas suavizadas do deslocamento dos jogadores, obteve-se a velocidade média de 2.45 m/s e o comprimento da trajetória suavizada de 116.16 m. O resíduo entre a curva suavizada e a curva dos pontos obtidos em relação à coordenada X foi de 53.37 cm e a mediana foi de 2.7 cm; o resíduo em relação à coordenada Y foi de 56.7 cm e a mediana foi de -0.6 cm. As avaliações a seguir mostram o comportamento da curva suavizada em função da variação da frequência.

#### a) Gráfico Comparativo da Trajetória 25 Hz X Trajetória 12.5 Hz

A curva de deslocamento do sujeito suavizada em vermelho (12.5 Hz) apresenta uma alta correlação em relação à curva de deslocamento do sujeito suavizada em azul (25 Hz) como mostra a figura 9. Observou-se, também, uma alta correlação na curva de velocidade e de aceleração. Os dados a seguir mostram que a frequência de 12.5 Hz não provocou a perda significativa dos pontos correspondentes do deslocamento do sujeito.

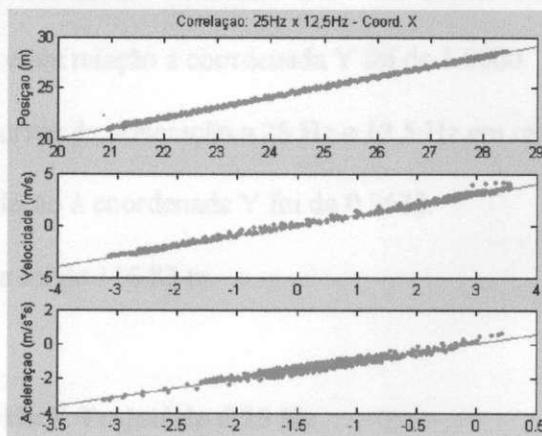
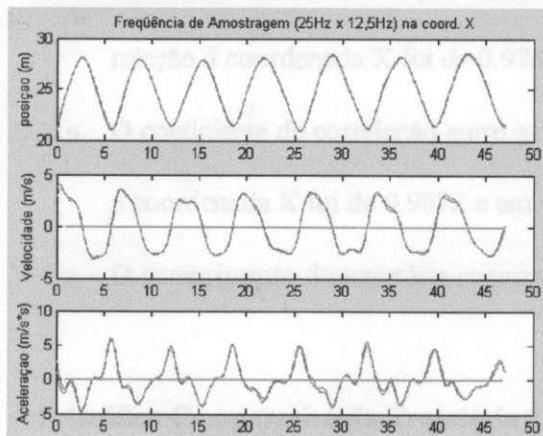
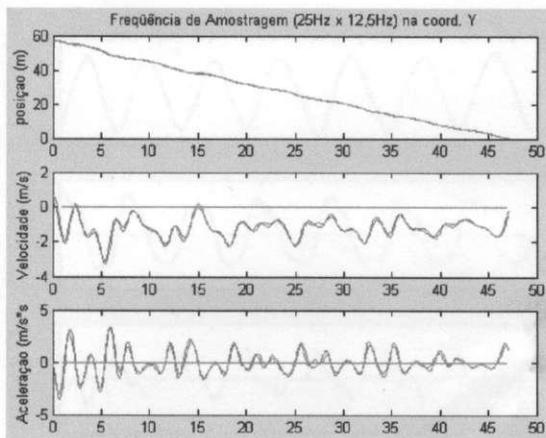
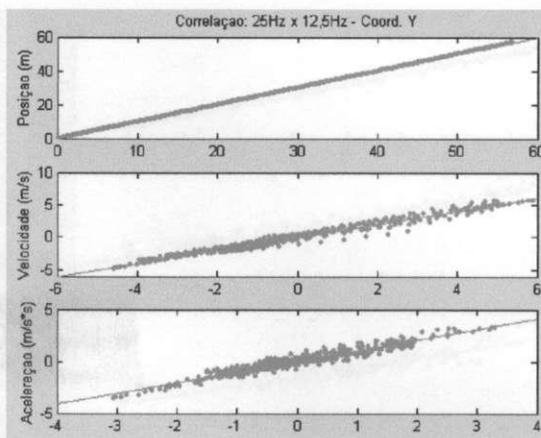


Figura 9a: Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada X

Figura 9b: Correlação dos valores em relação à coordenada X



**Figura 9c: Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada Y**

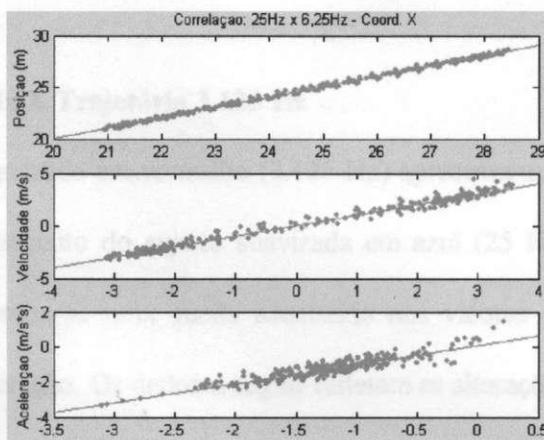
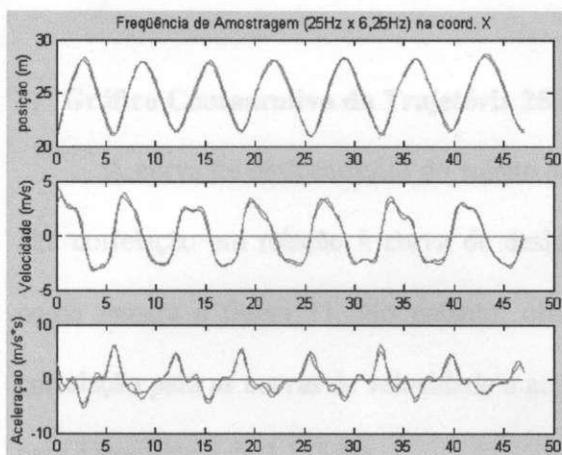


**Figura 9d: Correlação dos valores em relação à coordenada Y**

- O coeficiente de correlação entre as curvas de deslocamento do sujeito a 25 Hz e 12,5 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9994 e em relação à coordenada Y foi de 0.9975.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de velocidade a 25 Hz e 12,5 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9742 e em relação à coordenada Y foi de 1.0000.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de aceleração a 25 Hz e 12,5 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9872 e em relação à coordenada Y foi de 0.9633.
- O comprimento da trajetória suavizada foi de 116.83 m.

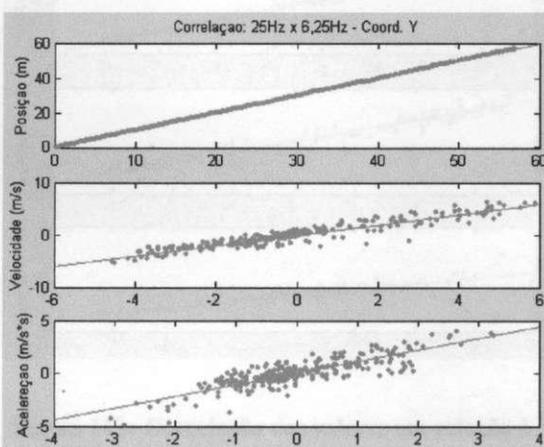
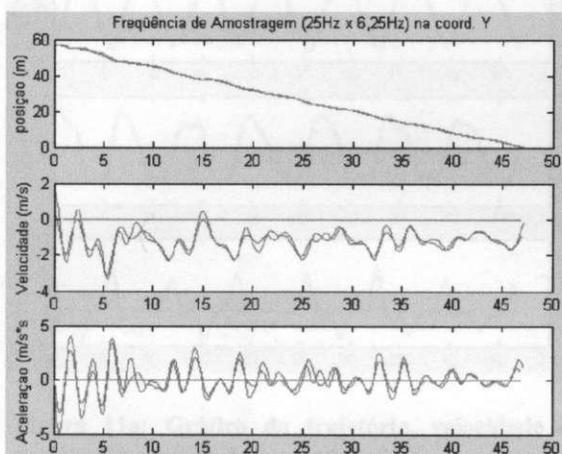
#### **b) Gráfico Comparativo da Trajetória 25 Hz X Trajetória 6.25 Hz**

A curva de deslocamento do sujeito suavizada em vermelho (6.25 Hz) apresenta uma alta correlação em relação à curva de deslocamento do sujeito suavizada em azul (25 Hz) como mostra a figura 10. Observou-se uma queda nos valores de correlação para as curvas de velocidade e aceleração. Os dados a seguir refletem as alterações para a frequência de 6.25 Hz.



**Figura 10a:** Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada X

**Figura 10b:** Correlação dos valores em relação à coordenada X



**Figura 10c:** Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada Y

**Figura 10d:** Correlação dos valores em relação à coordenada Y

- O coeficiente de correlação entre as curvas do sujeito a 25 Hz e 6,25 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9982 e em relação à coordenada Y foi de 0.9908.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de velocidade a 25 Hz e 6,25 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9125 e em relação à coordenada Y foi de 1.0000.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de aceleração a 25 Hz e 6,25 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9461 e em relação à coordenada Y foi de 0.8497.
- O comprimento da trajetória suavizada foi de 117.70 m.

### c) Gráfico Comparativo da Trajetória 25 Hz X Trajetória 3.125 Hz

A curva de deslocamento do sujeito suavizada em vermelho (3.125 Hz) apresenta uma alta correlação em relação à curva de deslocamento do sujeito suavizada em azul (25 Hz) como mostra a figura 11. No entanto, observou-se uma queda acentuada nos valores de correlação para as curvas de velocidade e aceleração. Os dados a seguir refletem as alterações para a frequência de 3.125 Hz.

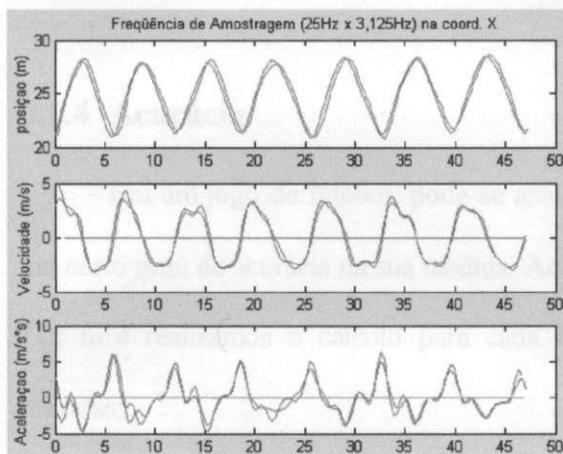


Figura 11a: Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada X

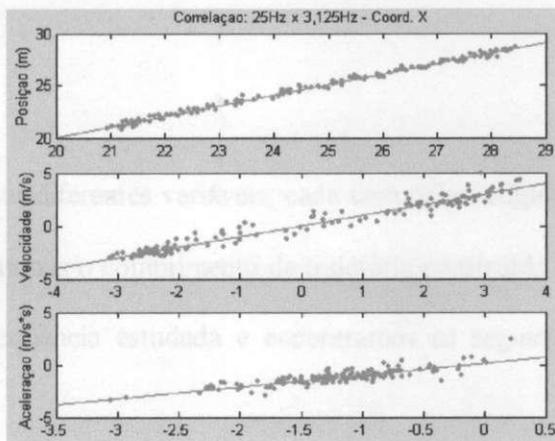


Figura 11b: Correlação dos valores em relação à coordenada X

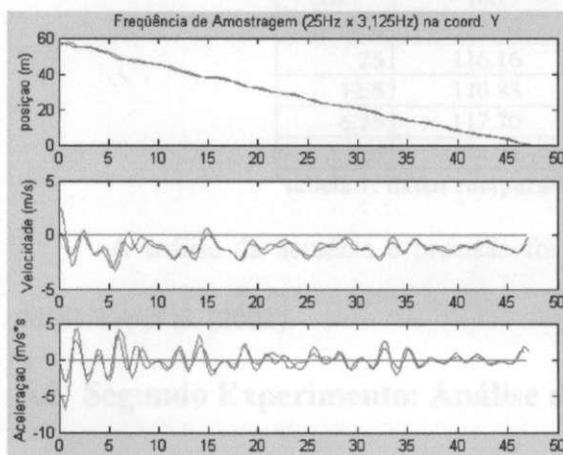


Figura 11c: Gráfico da trajetória, velocidade e aceleração em relação à coordenada Y

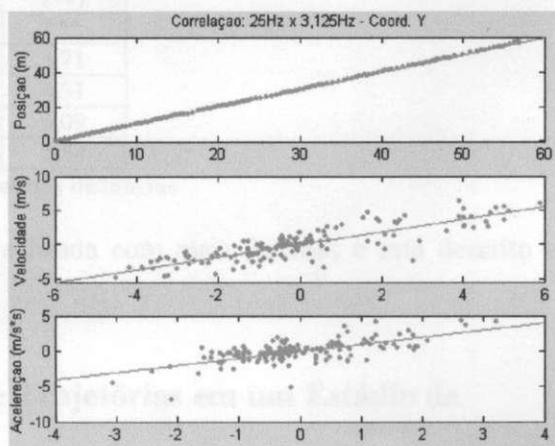


Figura 11d: Correlação dos valores em relação à coordenada Y

- O coeficiente de correlação entre as curvas de deslocamento a 25 Hz e 3,125 Hz em relação à coordenada X foi de 0.9964 e em relação à coordenada Y foi de 0.9753.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de velocidade a 25 Hz e 3,125 Hz em relação à coordenada X foi de 0.8351 e em relação à coordenada Y foi de 0.9999.
- O coeficiente de correlação entre as curvas de aceleração a 25 Hz e 3,125 Hz em relação à coordenada X foi de 0.8505 e em relação à coordenada Y foi de 0.6686.
- O comprimento da trajetória suavizada foi de 118.21 m.

#### 6.1.4 Acurácia

Em um jogo de futebol, pode-se analisar diferentes variáveis, cada uma delas exigindo um certo grau de acurácia na sua medida. Adotamos o comprimento da trajetória construída de 112 m e realizamos o cálculo para cada frequência estudada e encontramos as seguintes medidas:

Freq. (Hz)	Distância Total (m)	Variação (%)
medido	112.00	***
25	116.16	3,71
12.5	116.83	4,31
6.25	117.70	5,09
3.125	118.21	5,54

tabela 1: dados comparativos das distâncias

A análise da acurácia e precisão foi realizada com mais detalhes e está descrito em MISUTA et al. (2001).

## 6.2 Segundo Experimento: Análise de Trajetórias em um Estádio de Futebol

### Futebol

A filmagem realizada no campo de futebol do Guarani F. C. teve como objetivos:

6.2.2 a) Avaliar o processo de rastreamento automático numa situação próxima a um jogo de futebol;

c) Avaliação da distribuição de velocidade e aceleração

### 6.2.1 Filmagem no Campo do Guarani F. C.

6.2.3 A filmagem foi realizada no Estádio do Guarani F.C. com seis câmeras de vídeo digitais JVC GR-DVL9500, com frequência de aquisição de 30 Hz, posicionadas em diferentes pontos das arquibancadas. A calibração das câmeras foi feita utilizando os pontos  $R_k(k=1,\dots,6)$  mostrados na figura 12.

A movimentação feita com condução da bola em diversas posições do campo, como mostra a figura 12, na qual estiveram presentes dois ou três sujeitos uniformizados (estudantes universitários) teve constantes cruzamentos de trajetórias durante um determinado tempo. Uma situação refere-se à “trança” realizada por três sujeitos.

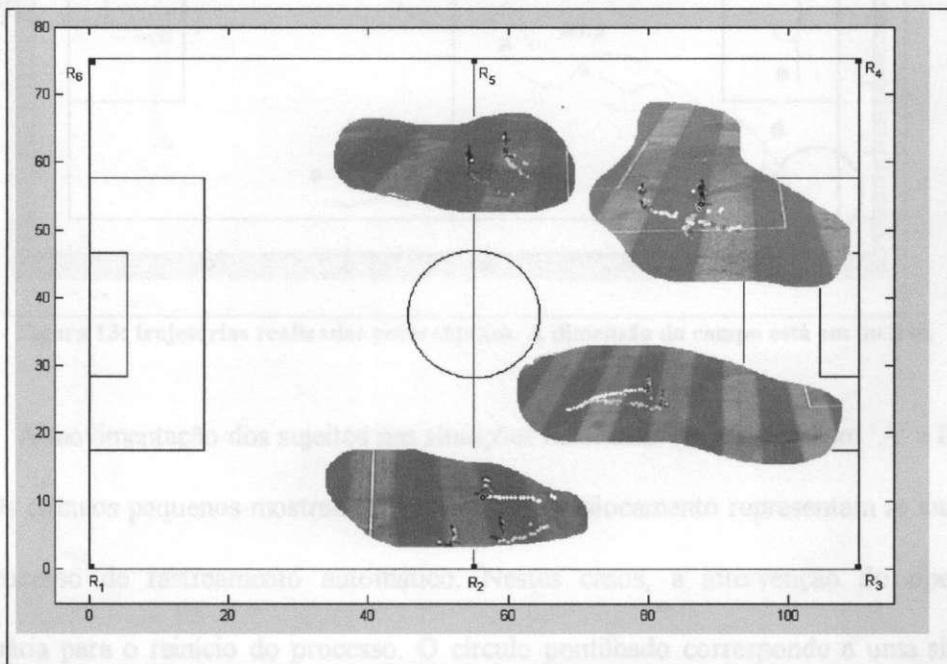


Figura 12: Ilustração da movimentação dos sujeitos junto com a representação do campo. A medida do campo está em metros.

## 6.2.2 Filtro de Suavização

Realizamos a suavização dos dados utilizando a função Csaps (suavização por spline cúbico). A curva de velocidade e aceleração foi obtida através da função Fnder (derivada da função passada como parâmetro). Todas as funções utilizadas são do matlab.

## 6.2.3 Rastreamento dos Jogadores

A figura 13 mostra a curva suavizada do deslocamento dos sujeitos realizados em quatro regiões do campo.

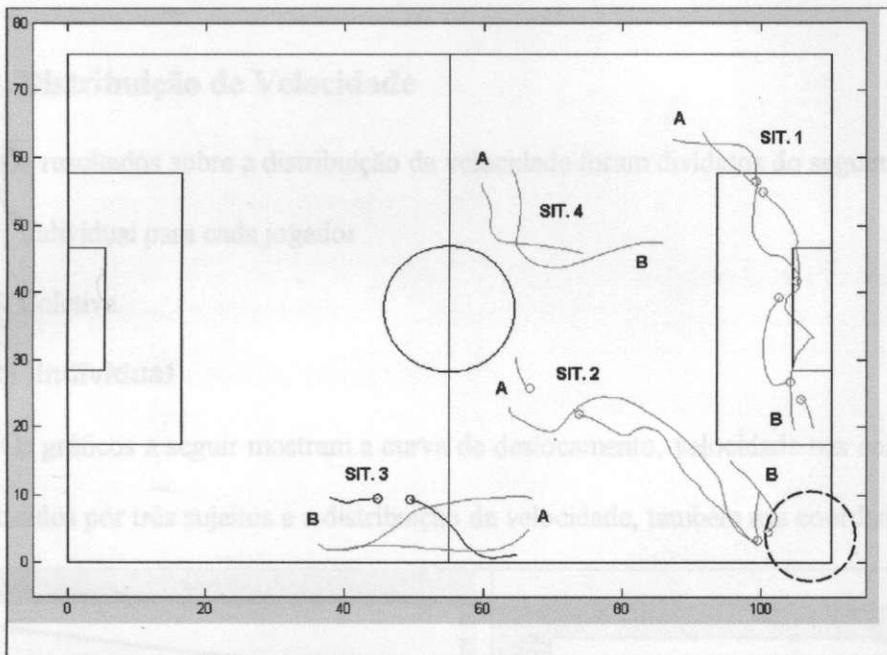


Figura 13: trajetórias realizadas pelos sujeitos. A dimensão do campo está em metros.

A movimentação dos sujeitos nas situações mostradas (SIT.) inicia em 'A' e finaliza em 'B'. Os círculos pequenos mostrados nas curvas de deslocamento representam as interrupções no processo de rastreamento automático. Nestes casos, a intervenção do operador foi necessária para o reinício do processo. O círculo pontilhado corresponde a uma situação de fusão dos sujeitos (figura 14).



Figura14. Situação em que os sujeitos estão próximos (fusão).

A distância percorrida pelos sujeitos em cada situação é dada na tabela 2.

Trajectoria	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4
Azul	58,74 m	61,52 m	30,31 m	33,77 m
vermelho	54,37 m	56,03 m	31,55 m	21,75 m
Preto	-----	-----	28,88 m	-----

Tabela 2: Distância percorrida pelos sujeitos

## 6.2.4 Distribuição de Velocidade

Os resultados sobre a distribuição da velocidade foram divididos do seguinte modo:

- a) Individual para cada jogador
- b) Coletiva

### 6.2.4.1 Individual

Os gráficos a seguir mostram a curva de deslocamento, velocidade nas coordenadas X e Y realizados por três sujeitos e a distribuição da velocidade, também nas coordenadas X e Y.

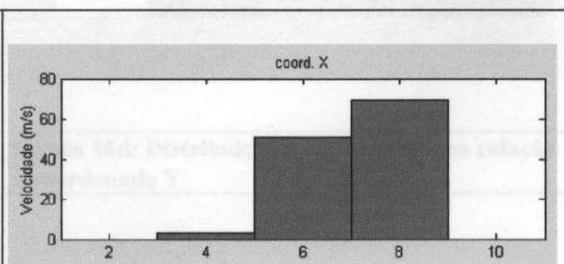
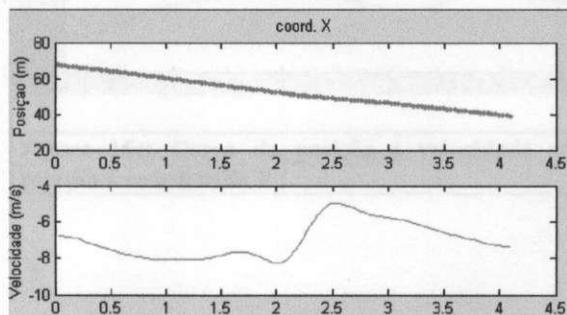


Figura 15a: sujeito 1 - Curva da posição e velocidade em relação à coordenada X

Figura 15b: Distribuição da velocidade em relação à coordenada X

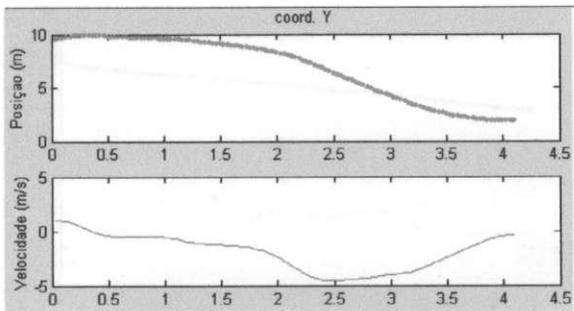


Figura 15c: Curva da posição e velocidade em relação à coordenada Y

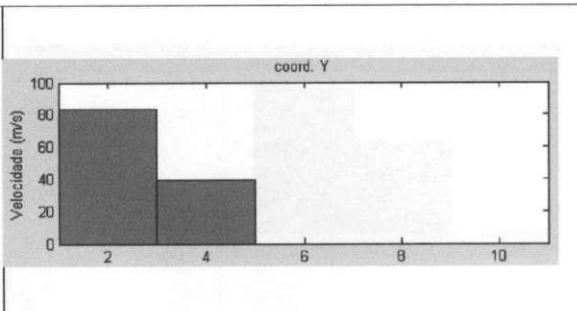


Figura 15d: Distribuição da velocidade em relação à coordenada Y

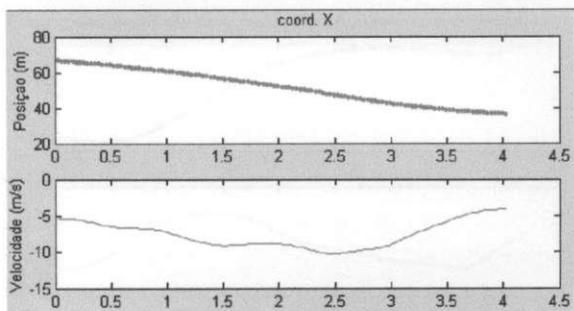


Figura 16a: sujeito 2 - Curva da posição e velocidade em relação à coordenada X

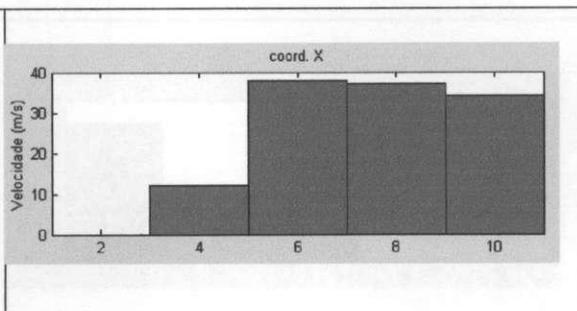


Figura 16b: Distribuição da velocidade em relação à coordenada X

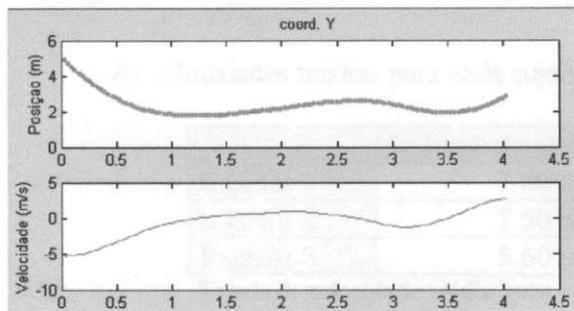


Figura 16c: Curva da posição e velocidade em relação à coordenada Y

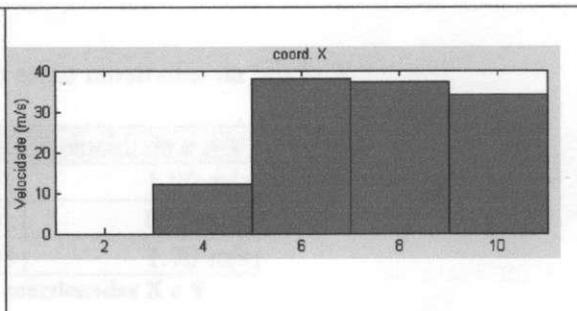


Figura 16d: Distribuição da velocidade em relação à coordenada Y

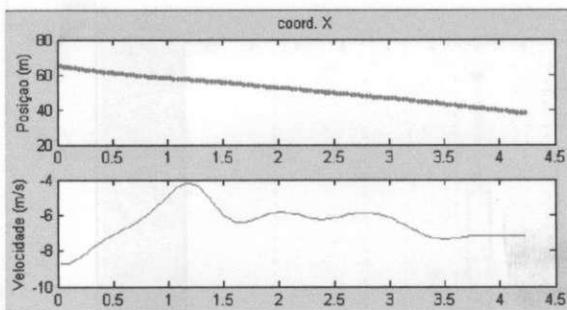


Figura 17a: sujeito 3 - Curva da posição e velocidade em relação à coordenada X

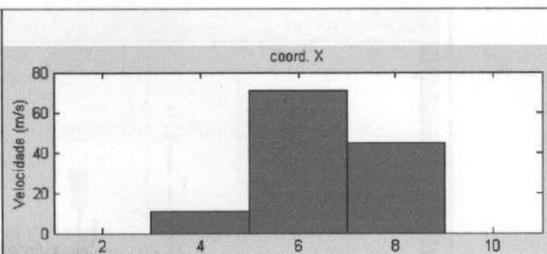


Figura 17b: Distribuição da velocidade em relação à coordenada X

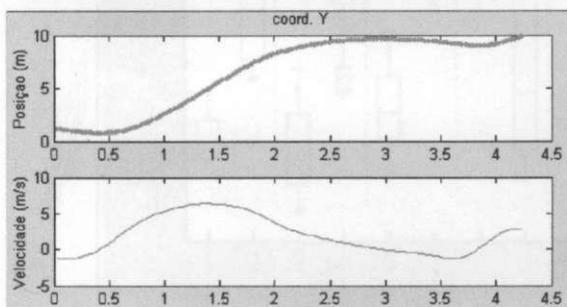


Figura 17c: Curva da posição e velocidade em relação à coordenada Y

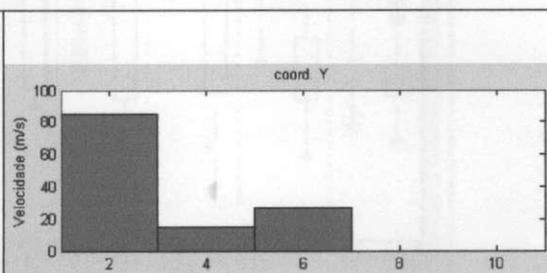


Figura 17d: Distribuição da velocidade em relação à coordenada Y

As velocidades médias para cada sujeito estão mostradas na tabela 3.

	Velocidade em X	Velocidade em Y
Jogador 1	7.00 m/s	1.90 m/s
Jogador 2	7.50 m/s	0.45 m/s
Jogador 3	5.60 m/s	1.70 m/s

Tabela 3: velocidade média para as coordenadas X e Y

### 6.2.4.2 Coletiva

Os gráficos a seguir mostram o comportamento dos sujeitos com relação aos valores de velocidade nas coordenadas X e Y realizados para todas as situações mostradas na figura 13.

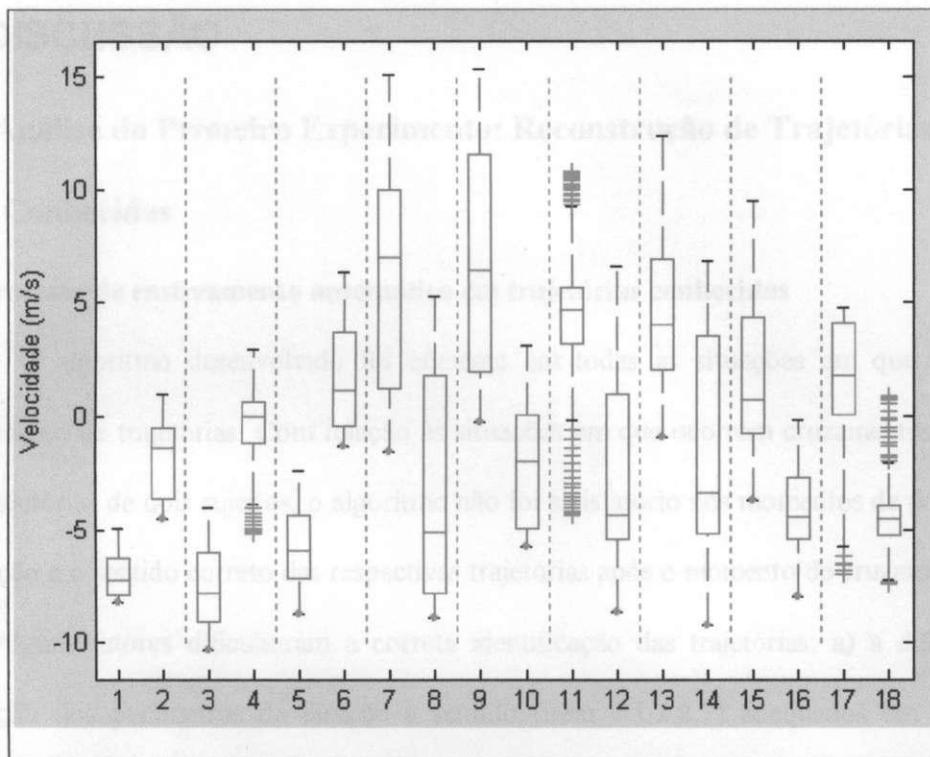


Figura 18: Gráfico da variação da velocidade para todos os sujeitos analisados. As colunas ímpares correspondem à coordenada X e as colunas pares correspondem à coordenada Y.

O boxplot mostrado na figura 18 tem como referência:

- As colunas 1/2, 3/4 e 5/6, que correspondem aos sujeitos na situação 3 da figura 13.
- As colunas 7/8 e 9/10, que correspondem aos sujeitos na situação 4 da figura 13.
- As colunas 11/12 e 13/14, que correspondem aos sujeitos na situação 2 da figura 13.
- As colunas 15/16 e 17/18, que correspondem aos sujeitos na situação 1 da figura 13.

Os valores de velocidade encontrados na coordenada X, que se apresentaram sistematicamente maiores ou menores em relação aos valores da coordenada Y como mostra a figura 18, retrata a direção e o sentido do movimento realizado pelos sujeitos.

## 7 DISCUSSÃO

### 7.1 Análise do Primeiro Experimento: Reconstrução de Trajetórias

#### Conhecidas

#### a) Processo de rastreamento automático em trajetórias conhecidas

O algoritmo desenvolvido foi eficiente em todas as situações em que não ocorre cruzamento de trajetórias. Com relação às situações em que ocorrem cruzamentos constantes das trajetórias de dois sujeitos, o algoritmo não foi satisfatório nos momentos de decisão sobre a direção e o sentido correto das respectivas trajetórias após o momento de cruzamento (figura 8b). Alguns fatores dificultaram a correta identificação das trajetórias: a) a dificuldade na definição dos parâmetros de direção e sentido (item 7.1.2.2.2) adequados em função dos ruídos de alta frequência oriundos do processo de segmentação; b) nos casos de oclusão dos sujeitos, o processo de segmentação identifica apenas um único ponto durante o instante em que estiverem juntos (item 7.1.2.1). Nos casos em que este intervalo de tempo é muito longo, dificulta-se a decisão após ocorrer a separação dos sujeitos.

#### b) Frequência de amostragem adequada e Parâmetros de filtragem

Na situação experimental apresentada, a frequência de amostragem de 25 Hz possibilitou a obtenção dos pontos correspondentes ao deslocamento do sujeito que resultou na representação da trajetória adequadamente. A alta correlação encontrada nas diferentes frequências, mostra que é possível representar o deslocamento com uma frequência de amostragem de 12.5 Hz, 6.25 Hz e 3.125 Hz. No entanto, é preciso verificar a queda nos valores de correlação para as curvas de velocidade e aceleração (tabela 4) e a diminuição da acurácia das medidas sugerem que, para a manutenção de erros relativos menores que 5%, não se deve adotar frequências menores que 12.5 Hz.

Freq. (Hz)	Posição		Velocidade		Aceleração	
	Corrcoef (X)	Corrcoef (Y)	Corrcoef (X)	Corrcoef (Y)	Corrcoef (X)	Corrcoef (Y)
12.5	0.9994	0.9975	0.9742	1.0000	0.9872	0.9633
6.25	0.9982	0.9908	0.9125	1.0000	0.9461	0.8497
3.125	0.9964	0.9753	0.8351	0.9999	0.8505	0.6686

Tabela 4: dados referentes à correlação entre as curvas de posição, velocidade e aceleração.

Os resultados do presente trabalho forneceram também parâmetros para que possamos estimar os efeitos da redução da frequência de amostragem nas curvas de velocidade e com relação à definição adequada dos parâmetros de filtragem.

## 7.2 Análise do Segundo Experimento: Análise de Trajetórias em um Estádio de Futebol

### a) Processo de rastreamento automático (situação próxima de um jogo de futebol)

O processo de segmentação possibilitou a separação dos sujeitos em relação ao campo, no entanto o número de objetos encontrados na imagem em relação ao número de sujeitos apresentou-se da seguinte forma: a) menor, casos de fusão dos sujeitos; b) igual; e c) maior, nos casos em que tiveram ruídos.

A partir dos dados segmentados, o processo de rastreamento automático: a) foi eficiente em todas situações analisadas, quando não houve fusão dos sujeitos; b) foi eficiente nas situações em que ocorreram cruzamentos de trajetórias ou nas situações em que os jogadores estão muito próximos (fusão), contanto que o número de quadros em que ocorrem as oclusões não tenha sido maior que cinco.

O estudo sugere que a possibilidade de re-segmentação das imagens, considerando novos parâmetros, deve ser usada em situações complexas como aquelas da oclusão de dois ou mais jogadores por longo tempo.

## **b) Distribuição de velocidade**

Uma vez obtida a trajetória dos jogadores, é possível realizar estudos considerando a posição e a velocidade. Com relação à equipe, os estudos podem centrar-se em: a) análise individual de cada jogador; b) análise combinada, que poderá ser realizada em relação a outros jogadores do mesmo time ou em relação a jogadores de outro time com a mesma função tática; c) análise coletiva, que poderá ser feita com um mapeamento global com relação às variáveis obtidas da cinemetria citadas anteriormente.

As curvas de velocidade acompanhadas pelos gráficos de distribuição dos mesmos durante um determinado intervalo caracterizaram o comportamento para os sujeitos analisados. As variações encontradas nas curvas de velocidade e aceleração, que não correspondem à realidade, foram em consequência do processo de segmentação. Ou seja, em função da variação no formato, cor e tamanho do jogador no decorrer da seqüência de imagens, a região obtida pelo processo de segmentação referiu-se à região do calção, camisa ou meia. Assim, a determinação da coordenada correspondente ao deslocamento de um jogador pode sofrer variações durante um determinado tempo, que a filtragem dos dados não foi capaz de suprimir.

Com relação ao aspecto tático/físico, o acompanhamento das informações da variação da velocidade (boxplot, figura 18) e da figura 13 possibilita verificar a distribuição das velocidades para cada sujeito e em cada posição do campo onde ocorreu.

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

### CONCLUSÃO

Um sistema que proporcione o rastreamento automático de jogadores de futebol envolve uma série de procedimentos que o torna extremamente complexo. Assim, ao admitir como aceitáveis erros relativos menores que 5% na acurácia e considerando os valores de correlação e as curvas derivadas encontradas, as frequências de 25,0 Hz e 12,5 Hz mostraram-se mais adequadas para o estudo.

O processo de rastreamento automático mostrou-se eficiente para todas as situações em que não houve fusão entre os sujeitos. O processo mostrou-se eficiente, também, para as situações em que o tempo de fusão entre os sujeitos não foi superior a cinco quadros. Os estudos futuros tratarão as situações que apresentam fusão de sujeitos para minimizar os seus efeitos.

FIGUEIRÁ, P.J., LEITE, N.J., BRENZIKOFFER, R., BARROS, R.M.L. Algoritmo para Rastreamento Automático de Jogadores em Sequências de Imagens de Movimento Humano. VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, p. 263-267, 1999.

HENNING, E.M. e STERZING, J.F. The Use of Global Positioning Systems (GPS and DGPS) for Tracking of Human Motion. proceedings of International Society of Biomechanics XVII, p.193-194, Canada, 1999.

HENNING, E.M. e BRIEFLE, R. Gato Analysis by GPS Satellite Tracking of Soccer Players. proceedings of XI<sup>th</sup> Congress of the Canadian Society for Biomechanics, p.40, Montreal, 2000.

HUGHES, M. Newton Analysis in Football. In Science and Football II, p. 151-159, published by E & FN Spon, Greg Bostan, 1991.

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABDEL-AZIZ, Y. I. & KARARA, H. M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates. Proc. ASP/UI Symp. on Close-Range Photogrammetry. Urbana, Illinois, 1971.
- BARROS, R. M. L. Concepção e Implementação de um Sistema para Análise Cinemática de Movimentos Humanos. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas / SP, 1997.
- BARROS, R. M. L., BREZIKOFER, R., LEITE, N.J., FIGUEROA, P.J. Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema para Análise Cinemática Tridimensional de Movimentos Humanos. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v.15, n.1-2, RJ, p. 79-86, 1999.
- ERDMANN, W.S. Quantification of Games - Preliminary Kinematic Investigations in Soccer. In Science and Football II, p. 174 - 179, published by E & FN SPON, Great Britain, 1991.
- FIGUEROA, P.J., LEITE, N.J., BREZIKOFER, R., BARROS, R.M.L. Algoritmo para Rastreamento Automático de Marcadores em Sequências de Imagens de Movimentos Humanos, VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica, p. 263-267, 1999.
- HENNING, E.M. e STERZING, T.F. The Use of Global Positioning Systems (GPS and DGPS) for Tracking of Human Motion proceedings of International Society of Biomechanics XVII<sup>th</sup>, p.193- 194, Canada, 1999.
- HENNING, E.M. e BRIEHLE, R. Game Analysis by GPS Satellite Tracking of Soccer Players proceedings of XI<sup>th</sup> Congress of the Canadian Society for Biomechanics, p.44, Montreal, 2000.
- HUGHES, M. Notation Analysis in Football. In Science and Football II, p. 151-159, published by E & FN SPON, Great Britain, 1991.
- WITHERS, R.T., MURPHY, Z., WASHBURN, S., KELLY, L. Match Analyses of Australian Professional Soccer Players in Journal of Human Studies, pag. 159-176, 1982.

- CHOI, S., SEO Y., KIM, H., HONG, K.S. Where are the Ball and Players? Soccer Game Analysis with Color-based Tracking and Image Mosaick. In International Conference of Image Analysis and Processing, p. 196-203, September 1997.
- MASCARENHAS, N.D.A. & VELASCO, F.R.D. Processamento Digital de Imagens. Buenos Aires, Argentina: Editorial Kapelusz S.A., 1989.
- MAYHEW, S. R. & WENGER, H. A. Time Motion Analysis of Professional Soccer in Journal of Human Studies, pag. 49-52, 1985.
- MAYLOR, K. L., YANG, Y. H. Human Body Motion Segmentation in a Complex Scene in Pergamon Journals Ltda, Great Britain, 1986.
- MISUTA, M.S., BARROS, R.M.L, FIGUEROA, P.F., LIMA FILHO, E.C., BRENZIKOFER, R. Análise Automática de Deslocamentos de Jogadores de Futebol, IX Congresso Brasileiro de Biomecânica, p. 161-165, 2001.
- NIBLACK, W. An Introduction to Digital Image Processing. New Jersey, USA: Prentice / Hall International, Englewood Cliffs, 1986.
- PARTRIDGE, D., MOSHER, R. 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, p. 221-231, published by E & FN SPON, Great Britain, 1990.
- REILLY, T., CLARYS, J., STIBBE, A. Science and Football II. E & FN Spon, London, 1991.
- SHANON, J. Human Motion Estimation and Recognition.
- D'OTTAVIO, S. E TRANQUILII, C. El Rendimiento Del Jugador de Fútbol. In Rev. Stadium, extraída de SDS – Rivista di Cultura Sportiva, trad. de Hétor V. Morel, no. 24, Itália, 1993.
- WITHERS, R.T., MARICIC, Z., WASILEWSKI, S., KELLY, L. Match Analyses of Australian Professional Soccer Players in Journal of Human Studies, pag. 159-176, 1982.