

CLAUDIO LUÍS ROVERI VIEIRA

**Proposição de um método de análise de movimentos
de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos
televisivos**

*Proposition of a method for tennis players motion
analysis on broadcast videos*

Campinas
2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA

CLAUDIO LUÍS ROVERI VIEIRA

**Proposição de um método de análise de movimentos
de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos
televisivos**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

***Proposition of a method for tennis players motion
analysis on broadcast videos***

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. Área de concentração Biodinâmica do movimento e do esporte.

Dissertation presented to the PostGraduation Programme of the School of Physical Education of State University of Campinas to obtain the Master's degree in Physical Education. Concentration area: Biodynamic movement and sport.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO
CLAUDIO LUÍS ROVERI VIEIRA, E ORIENTADO PELO
PROF. DR. RICARDO MACHADO LEITE DE BARROS.**



Campinas, 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
ANDRÉIA DA SILVA MANZATO – CRB8/7292
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA UNICAMP

V673p Vieira, Claudio Luís Roveri, 1985-
Proposição de um método de análise de movimentos de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos televisivos / Claudio Luís Roveri Vieira. - Campinas, SP: [s.n.], 2012.

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

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

Informações para a Biblioteca Digital:

Título em inglês: Proposition of a method for tennis players motion analysis on broadcast videos.

Palavras-chaves em inglês:

Biomechanics

Calibration

Automatic tracking

Sports

Área de Concentração: Biodinâmica do Movimento e Esporte

Titulação: Mestrado em Educação Física

Banca Examinadora:

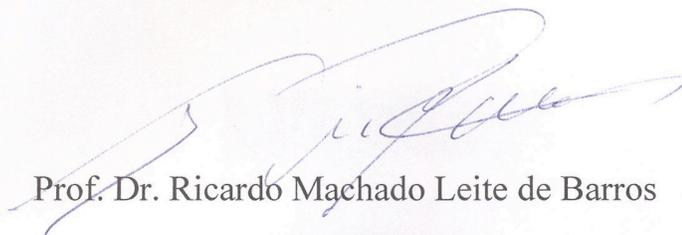
Ricardo Machado Leite de Barros [orientador]

Neucimar Jerônimo Leite

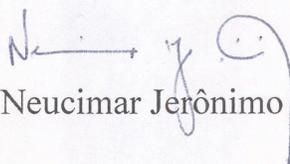
Hans Joachim Karl Menzel

Data da defesa: 21-02-2013

Programa de Pós-Graduação: Educação Física

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros

Orientador

Prof. Dr. Neucimar Jerônimo Leite



Prof. Dr. Hans Joachim Karl Menzel

Dedicatória

*Dedico a Deus e à
minha querida família, fontes
de inspiração para que eu
possa fazer o melhor.*

Agradecimentos

Primeiramente a Deus pelo dom da vida que a mim foi concedido. Glórias ao Pai, ao Filho e ao Espírito Santo, como era no princípio, agora é sempre. Amém!

Aos meu pais, Lázara e Gilson, que sempre acreditaram, mais do que eu mesmo, no meu potencial em ser uma pessoa bem sucedida no âmbito profissional e pessoal. À minha avó Beatriz, pelas inúmeras orações feitas em momentos em que precisava de uma força a mais. Sem eles com certeza não teria motivação para procurar batalhar e extrair sempre o melhor de mim !

À minha futura esposa Daniela, amor da minha vida, grande companheira nas melhores e, por que não, nos piores momentos nesta minha caminhada. Sem sua serenidade, empatia, doçura e, principalmente, cumplicidade, não teria forças para lidar com as inconstâncias que vida, por ora, acaba trazendo.

Ao Prof. Dr. Ricardo Machado Leite de Barros pela confiança a mim depositada e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro. Posso dizer, sem receio algum, que vocês foram os únicos que, profissionalmente dizendo, acreditaram em mim que, mesmo com pouca experiência acadêmica, consegui concluir os principais objetivos traçados no projeto inicial de mestrado, culminando neste trabalho. Sem vocês, muito provavelmente teria desistido do meu sonho, que é o de ser um acadêmico!

Ao pessoal do Laboratório de Instrumentação para Biomecânica: Angélica (obrigado por me trazer ao LIB), Aline e a Fellow (desculpa pelos sustos no laboratório), Juliana Paris (e o bandex, nunca mais?), Amanda (pela ajuda nos artigos, relatórios, etc.), Carol (companheira fiel do bandex!), Janáina (obrigado pela oportunidade de oficialmente lecionar) e Jerusa (companheira de artigos). Quero agradecer também a Ana Lorena, Juliana Carmona, Juliana Landolfi, Roberta, Tiago e Natália. Quero agradecer também ao “casal 20” (Juliana Exel e Felipe Moura) companheiro de shows do Rosa de Saron. Vocês todos realmente são 10 !

Aos professores Prof. Dr. Milton, Prof. Dr. Barreto e Prof. Dr. Sergio, Prof. Dr. Pascual, Prof. Dr. Neucimar, Prof. Dr. Hans e Prof. Dr. Gavião que colaboraram com o aprimoramento fino do meu conhecimento acadêmico.

À Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (FATEC), responsável por minha primeira formação superior, que me concedeu conhecimentos técnicos de base para que eu pudesse de fato concretizar este trabalho com qualidade !

Ao alunos no qual fui PED de biomecânica pela ajuda que deram para me tornar o melhor professor possível.

Ao pessoal da Rep. (Edson, Cassaro, Fabrício, Dirso, Duzinho, Miguel, Wendell, Juliano e Maomé) pelos momentos de descontração e convivência harmoniosa durante quase 2 anos!

Ao pessoal do condicionamento (Alemão, Thiago, Andreza e Lilian) pelos momentos de companheirismo e, por que não, engraçados nas tardes no bosque da FEF.

Vieira, Claudio Luís Roveri. **Proposição de um método de análise de movimentos de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos televisivos**. 2012- Dissertação de Mestrado – Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

RESUMO

O objetivo do presente estudo é propor um conjunto de métodos para análise de movimentação de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos pré calibrados com uso de câmeras fixas, bem como em vídeos televisivos. Primeiramente, foi proposto e validado um método para rastrear automaticamente jogadores de tênis de campo a partir de vídeos coletado *in loco* e de câmeras fixas e previamente calibradas. O percentual de rastreamento automático foi de 99,98%. As distâncias percorridas pelos dois jogadores durante um set de uma partida de tênis também puderam ser calculadas. A reconstrução das coordenadas bidimensionais da quadra foi validada calculando a repetibilidade intra-operador (0,009 m), a repetibilidade inter-operador (0,007 m), o erro relativo (comprimento e largura 0,03% 0,06%). O erro de medição alcançada para a posição do jogador foi de 0,36 m. Para ambas as coordenadas houve uma regressão linear significativa ($R^2 > 0,99$, $p < 0,05$) das posições obtidas pelos métodos de rastreamento automático e manual. Além disso, as distâncias percorridas por ambos os jogadores puderam ser extraídas como exemplo de aplicação do método. O segundo método proposto foi o de detecção automática de *rallies* em vídeos televisivos de tênis. O método desenvolvido foi baseado na extração de histograma, filtragem de percentuais estatísticos e semelhança com um quadro de referência. Três vídeos de partidas de tênis representando três diferentes pisos foram utilizados para avaliar o método proposto. O percentual médio de acerto dos cortes foi de 81%. A duração dos *rallies* obtidos com o método proposto são comparáveis ao método manual e adequado para determinar a duração dos mesmos para todos os vídeos de amostra. O terceiro método proposto foi o de calibração dinâmica em vídeos televisivos de tênis de campo. O percentual de automatização na identificação das linhas e geração das matrizes homográficas foi de 99,98%. Os testes estáticos, variando ± 2 pixels por pontos de calibração, mostraram erros de medição satisfatório (2,26 cm). Os testes dinâmicos, no qual foram reprocessados 522 quadros usando de 4 a 8 pontos de calibração, também revelaram um erro de medição satisfatório (23 cm). O quarto método proposto foi o de rastreamento automático de jogadores de tênis em vídeos televisivos. A determinação da posição do jogador foi baseada na identificação da sub-região de maior correlação com o modelo do uniforme dos jogador dada uma região de interesse (ROI) através do uso da matriz homográfica. O percentual de automatização foi de 99,62% e o tempo de processamento foi de 0,86 segundos por quadro processado. As incertezas (RMS) envolvidas na determinação da posição dos jogadores foram de aproximadamente 45 cm para o lado da quadra mais próximo à câmera e 64 cm para o lado da quadra mais afastado da câmera. As distâncias percorridas, velocidades e áreas de ocupação de ambos os jogadores foram calculadas como exemplo de aplicação do método. Em conclusão, a metodologia desenvolvida e aplicada ao tênis de campo em vídeos televisivos mostrou ser viável, com alto nível de automatização e erro de medição similar aos métodos baseados em câmera fixa.

Palavras-chaves: biomecânica, calibração, rastreamento automático, esportes.

Vieira, Claudio Luís Roveri. **Proposition of a method for tennis players motion analysis on broadcast videos**. 2012- Dissertação de Mestrado – Faculdade de Educação Física. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

ABSTRACT

The aim of this study is to propose a set of methods for tennis players motion analysis from pre calibrated video using fixed cameras as well as on broadcast tennis videos. First, it was proposed and validated a novel automatic method for tracking tennis players from pre-calibrated videos using two fixed cameras. The percentage of automatic tracking was 99.98%. The two-dimensional coordinates reconstruction of the tennis court was validated by calculating the intra-operator repeatability (0.009 m), inter-operator repeatability (0.007 m), relative error (0.03% length and 0.06% width). The accuracy reached for the player's position was 0.36 m. For both coordinates, the linear regression was significant ($R^2 > 0.99$, $p < 0.05$) from the positions obtained by automatic and manual tracking methods. The covered distance performed by the players during a set of a tennis match was calculated. The second proposed method was the automatic detection of rallies in broadcast tennis videos. The method developed was based on the histogram extraction, statistical filtering and keyframe similarity comparison. Three videos of tennis matches representing three different court surfaces were used to evaluate the proposed method. The average hit rate of the scene cuts was 81%. The rallies duration obtained by the proposed method was valid whether compared with the manual annotation and suitable to determine the rally duration for all sample videos. The third proposed method was proposed a dynamic calibration (frame by frame) in broadcast tennis video based on the automatic tennis court lines intersections detection. The percentage of automation of lines intersections identification and homographic matrix generation was 99.98%. The static test, based on varying by ± 2 pixels the calibration points, revealed a satisfactory accuracy (2.26 cm). The dynamic test, which have been reprocessed 522 frames using 4-8 calibration points, also showed satisfactory accuracy (23 cm). The fourth method presented was the automatic tracking of tennis players on broadcast tennis videos. The identification of the players' position was based on the sub-region of higher correlation with the players' clothes model in a region of interest (ROI) constructed by using the homographic matrix. The percentage of automation was 99.62% and the processing time was 0.86 seconds per frame processed. The errors (RMS) involved in determining the position of the tennis players were about 45 cm to the side of the court closest from the camera and 64 cm to the side of the court farthest from the camera. The covered distances, velocities and occupancy areas for both players were automatically extracted. In conclusion, the proposed methods developed and applied on broadcast tennis videos revealed to be feasible, with a high level of automation and accuracy similar to methods based on fixed cameras.

Keywords: biomechanics, calibration, automatic tracking, sports.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Diagrama de blocos mostrando as principais etapas do método proposto. O primeiro passo é a aquisição de dados do jogo de tênis. A segunda etapa é o processo de segmentação quadro a quadro, que consiste em dividir os objetos móveis (blobs) e o fundo (quadra). A terceira etapa refere-se ao processo de rastreamento que obtém a posição 2D dos jogadores de tênis usando a estrutura de grafos, calibração da quadra e os blobs do jogador ao longo dos quadros.....29
- Figura 2** - O quadro de um vídeo de tênis (a), a imagem de fundo obtida por segmentação (b), a imagem resultante com as *blobs* correspondentes (c), a rotulagem do blob correspondente ao jogador de tênis (d) representação da posição do jogador no blob (e).32
- Figura 3** - Grafo construído a partir dos *blobs* de um mesmo jogador numa sequência de quadros.....33
- Figura 4** - Enquadramento da câmera e o sistema de coordenadas utilizado (a). Representação das incertezas (média \pm desvio padrão) das medições e reconstrução das posições ($N = 25$) em 10 diferentes posições da quadra de tênis (b). Os valores estão expressos em metros.....37
- Figura 5** - Representação da média \pm desvio padrão das diferenças entre o rastreamento automático (observada) e os valores de referência das coordenadas da quadra (a) em todos os sete pontos (intersecções das linhas) para determinação da posição do jogador. Os valores estão expressos em metros.....39
- Figura 6** - Análise de regressão linear realizada com as posições dos jogadores na coordenada x (a) e na coordenada y (b) obtidos pelos métodos manuais e automáticos.40
- Figura 7** - Diagrama de blocos representando as principais etapas do método proposto.....47
- Figura 8** - Exemplo da extração de um histograma de um quadro48
- Figura 9** - Cortes abruptos identificados numa sequência de vídeo analisada. A linha pontilhada representa o valor de limiar estabelecido pelo filtro passa-altas (percentil). Os maiores valores de ADSH correspondem, neste caso, aos possíveis quadros de transição *rally/não-rally* e vice-versa.50
- Figura 10** - Exemplo de um quadro com visão completa da quadra de tênis utilizada como quadro modelo.51
- Figura 11** - Fluxo do algoritmo de identificação de *rallies*. F1 e F2 são os dois quadros adjacentes em um corte abrupto de cena. O limiar de similaridade dos espaçogramas dos histogramas utilizado foi 0,7.....52

Figura 12 - Distribuição da duração do <i>rallies</i> de tênis baseada nos cortes obtidos pelos métodos automático proposto e o manual em todos os vídeos analisados (quadra-rápida, grama, saibro). As caixas representam o intervalo interquartil (25%~75%), as linhas horizontais representam os valores de mediana, os chanfros o intervalo de dados e as cruces são os <i>outliers</i>	55
Figura 13 - Distribuição dos erros de detecção de <i>rallies</i> em todos os vídeos analisados (quadra-rápida, grama, saibro). A caixas representam o intervalo interquartil (25%~75%), as linhas horizontais representam o valores de mediana, os chanfros, o intervalo de dados e as cruces são os <i>outliers</i>	56
Figura 14 - Regiões de interesse (ROI) da quadra de tênis manualmente escolhidas.....	64
Figura 15 - Esquematisação das principais etapas envolvidas do método proposto de identificação das intersecções das linhas da quadra de tênis. A matriz homográfica é construída a partir dos 11 pontos (intersecções) automaticamente identificados pelo algoritmo proposto.....	65
Figura 16 - Etapa de construção das regiões de interesse (ROI). As 11 regiões de interesse neste trabalho estão representadas pelos retângulos vermelhos.....	66
Figura 17 - O processo de binarização de cada ROI. Neste momento, a imagem da ROI (a) é transformada numa imagem binária (b).....	67
Figura 18 - O processo de afinamento das linhas. A imagem binarizada (a) é transformada numa imagem afinada (b).....	68
Figura 19 - O processo de identificação das linhas. A partir da imagem afinada (a) foram identificadas as duas principais linhas usando a Transformada de Hough (b).....	69
Figura 20 - Exemplo de uma movimentação de câmeras durante um rally de tênis. Quando há movimentação da câmera, as coordenadas de tela (x,y) do ponto P1 são diferentes nos quadros anterior e atual.....	72
Figura 21 - Pontos de calibração (P_k) e pontos de controle (C_n) utilizados no teste estático de validação da homografia.....	75
Figura 22 - Modelos com quatro (a), cinco (b), seis (c), sete (d) e oito (e) pontos de homografia (PH_n) utilizados no teste dinâmico de erro de medição. Para todos os modelos utilizados, três pontos de controle (PC_n) foram pré-selecionados.....	76
Figura 23 – Erros médios (viés \pm precisão) dos cinco pontos de controle utilizados no teste estático. Os valores estão em centímetros.....	80
Figura 24 – Erros médios (viés \pm precisão) dos pontos de controle utilizados no teste dinâmico. Os valores estão em metros.....	82

- Figura 25** – Erro acumulado médio das coordenadas, em pixels, dos pontos de controle, quando aplicado o teste com quatro, cinco, seis, sete e oito pontos na construção da matriz homográfica, ao longo de uma sequência de quadros referente a um *rally*.....83
- Figura 26** – Esquema geral do algoritmo de rastreamento de jogadores de tênis.....89
- Figura 27** – Seleção dos modelos dos uniformes dos jogadores no quadro inicial de um *rally*.91
- Figura 28** – Extração do histograma RGB de modelo do uniforme de cada jogador.....91
- Figura 29** – Região de interesse (ROI) para busca de um jogador determinada a partir do arquivo de calibração. Nota-se que, para a mesmas reais, em metros, as dimensões da ROI, em pixels, são maiores quando o jogador está localizado próximo à câmera (Jogador 1) e menores quando mais distantes (Jogador 2).93
- Figura 30** – Processo de identificação da sub-região da ROI correspondente ao jogador. A região com maior coeficiente de correlação (em vermelho) corresponderá ao jogador. ..94
- Figura 31** – Representação do ponto de fuga do enquadramento da quadra de tênis.....95
- Figura 32** – Modelo para determinação da projeção do jogador na quadra de tênis. O razão entre a distância do ponto médio do uniforme do jogador até o ponto de fuga (PFA) e a distância da projeção do mesmo até o ponto de fuga (PFB) é constante.96
- Figura 33** – Regressão linear das coordenadas x (Figura a) e y (Figura b) dos métodos manual (padrão ouro) e automático (proposto) no lado 1 da quadra de tênis. Os valores estão em metros. 100
- Figura 34** - Regressão linear das coordenadas x (Figura a) e y (Figura b) dos métodos manual (padrão ouro) e automático (proposto) no lado 2 da quadra de tênis. Os valores estão em metros. 101
- Figura 35** – Incertezas envolvidas na determinação da posição dos jogadores em cada lado da quadra de tênis para cada coordenada (x,y). Os valores estão em centímetros. 102
- Figura 36** – Áreas da quadra de tênis ocupadas pelos jogadores durante a partida. As áreas mais avermelhadas são as mais ocupadas e as mais próximas a cor azul as menos ocupadas. 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sumário dos procedimentos de validação	35
Tabela 2 - Validação da reconstrução 2D	38
Tabela 3 - Distância percorrida por cada jogador por <i>game</i>	41
Tabela 4 - Desempenho do método de detecção automática de <i>rallies</i> proposto	54
Tabela 5 - Classificação dos erros de detecção do método automático proposto. As causas dos erros são classificados em Movimentações da Câmera (MC), Iluminação da Quadra (IQ), Efeitos de Fade in/out (FIO) e Combinação Acidental de Cores (CC)	58
Tabela 6 - Sumário dos tipos de execução do algoritmo de detecção de intersecção de linhas	78
Tabela 7 - Média dos erros (média \pm desvio padrão) das coordenadas reais dos pontos de controle C_n ($n=[1, \dots, 5]$), simulando-se a variação das coordenadas de cada ponto de calibração P_k ($k=[1, \dots, 4]$)	79
Tabela 8 - Erro de medição (média \pm desvio padrão) dos pontos de controle PC_n para cada modelo de homografia utilizado (de 4 até 8 pontos)	81
Tabela 9 - Média dos erros acumulados e dos erros gerados por quadro das coordenadas dos pontos de controle.....	83
Tabela 10 - Distribuição por <i>game</i> disputado das distâncias percorridas e velocidades realizadas pelos jogadores durante a partida	103

LISTA DE ABREVIATURAS

AVI	<i>Audio Video Interleave</i>
FEF	Faculdade de Educação Física
SP2	<i>Service Pack 2</i>
ICC	<i>Intra-Class Correlation</i>
RMS	Root Mean Square
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
CAPÍTULO 1 – PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS PREVIAMENTE CALIBRADOS	27
1.1 Introdução.....	27
1.2 Método.....	29
1.2.1 Descrição do método.....	30
1.2.2 Validação do método	34
1.2.3 Aplicação do método proposto	36
1.3 Resultados.....	36
1.3.1 Validação da calibração	36
1.3.2 Erro de medição da posição do jogador.....	38
1.3.3 Comparação do método proposto com o método manual.....	39
1.3.4 Percentual de automatização	41
1.3.5 Exemplo de aplicação do método	41
1.4 Discussão	42
1.5 Conclusão	44
CAPÍTULO 2 – DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE RALLIES DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS TELEVISIVOS	45
2.1 Introdução.....	45
2.2 A detecção automática de rallies.....	47
2.2.1 Análise dos histogramas	48
2.2.2 A identificação dos frames de transição	49
2.2.3 Identificação dos rallies de tênis	50
2.3 Resultados experimentais.....	52
2.3.1 Teste de desempenho de taxa de acerto de detecção de rallies.....	53
2.3.2 Análise de duração dos rallies.....	54
2.3.3 Distribuição e classificação dos erros de detecção	56
2.4 Discussão	58
2.5 Conclusão	59
CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LINHAS EM VÍDEOS TELEVISIVOS DE TÊNIS DE CAMPO: DESCRIÇÃO DO ALGORITMO, AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E ERRO DE MEDIÇÃO	61
3.1 Introdução.....	61
3.2 Recursos computacionais e obtenção do vídeo	63
3.3 Determinação das regiões de busca na imagem (setup)	63
3.4 O algoritmo de identificação das linhas da quadra de tênis	64
3.4.1 A seleção da região de interesse (ROI).....	65
3.4.2 Binarização do ROI.....	66
3.4.3 Afinamento das linhas.....	67
3.4.4 Identificação das linhas	68
3.4.5 O cálculo da intersecção das linhas.....	69
3.4.6 Construção da matriz homográfica (H).....	69
3.5 Critérios de descarte de pontos para geração da matriz homográfica	70

3.6 Identificação de movimento da câmera	71
3.7 Avaliação de desempenho e de erro de medição	72
3.7.1 Tempo de execução do método proposto	72
3.7.2 Percentual de automatização	73
3.7.4 Teste estático de erro de medição	73
3.7.5 Teste de erro de medição dinâmico	75
3.7.6 Análise de erros acumulados por pontos de controle	77
3.8 Resultados experimentais	77
3.8.1 Tempo de execução do algoritmo	77
3.8.2 Número de movimentações de câmera identificadas	77
3.8.3 Percentual de automatização na detecção de intersecções de linhas	78
3.8.4 Teste de erro de medição estático	78
3.8.5 Teste de erro de medição dinâmico	80
3.8.6 Análise dos erros acumulados dos pontos de controle	82
3.9 Discussão	84
3.10 Conclusão	85
CAPÍTULO 4 – RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS TELEVISIVOS	87
4.1 Introdução	87
4.2 Recursos computacionais e obtenção do vídeo	88
4.3 O algoritmo de rastreamento automático de jogadores de tênis	89
4.3.1 Calibração dinâmica	90
4.3.2 Obtenção do histograma RGB do uniforme dos jogadores	90
4.3.4 Identificação dos jogadores na ROI	93
4.3.5 Cálculo da projeção dos jogadores	94
4.4 Avaliação de desempenho e de erro de medição	97
4.4.1 Avaliação de desempenho computacional	97
4.4.2 Avaliação de erro de medição	98
4.5 Aplicação do método proposto	99
4.6 Resultados experimentais	99
4.6.1 Desempenho computacional	99
4.6.2 Avaliação do erro de medição	100
4.6.4 Aplicação do método proposto	102
4.7 Discussão	104
4.8 Conclusão	107
CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
REFERÊNCIAS	111
ANEXO I	119
ANEXO II	121
ANEXO III	123

INTRODUÇÃO

O armazenamento de vídeos esportivos, transmitidos via TV ou registrados *in loco*, no formato de arquivo tem se tornado mais frequente e pode ser considerada uma das principais tendências de fontes para a extração de informações para biomecânica, tais como a análise cinemática dos jogadores e de outros objetos móveis na quadra de jogo.

Desta forma, o desenvolvimento de novas metodologias que permitam extrair automaticamente dados técnicos e táticos podem ser ferramentas importantes para um melhor entendimento da dinâmica das modalidades esportivas a serem estudadas. Com tais metodologias, informações relativas aos movimentos dos jogadores, tais como trajetórias, distâncias percorridas, velocidades e acelerações podem ser extraídas através de técnicas específicas de visão computacional e processamento de imagens.

Para o desenvolvimento de metodologias de análise automática em esportes nos deparamos com várias dificuldades, desde a identificação do tipo de imagem a ser analisado até a reconstrução de modelos espaciais a partir das imagens (Han et al., 2005). Figueroa et al. (2006b) ainda afirma que, apesar do progresso nas técnicas computacionais para o desenvolvimento e criação de metodologias de análise cinemática, várias etapas ainda são tidas como desafios, estando entre elas: a identificação e separação de objetos ou pessoas em movimento em imagens, o rastreamento de múltiplos alvos, as oclusões entre jogadores nas imagens ou até mesmo fatores ambientais intrínsecos ao jogo, além de algoritmos eficazes para calibração de câmeras usadas na coleta dos dados para análises cinemáticas. Muitos sistemas surgiram para esse propósito, como o DVideo, desenvolvido por Barros (1997), no qual pode-se fazer a análise cinemáticas de vários jogadores de forma simultânea e integrada através de vídeos com câmeras previamente posicionadas, fixas e calibradas.

No caso de transmissões televisivas, nos deparamos com outros problemas específicos relativos às movimentações das câmeras, em que os parâmetros intrínsecos e extrínsecos das mesmas mudem arbitrariamente a cada quadro, além de trechos de vídeos que não dizem respeito ao jogo, tais como propagandas e *clases* em torcidas e jogadores.

Mais especificamente em transmissões de partidas de tênis, para que seja possível a realização de análises cinemáticas, tais como rastreamento automático dos jogadores, há a necessidade da localização da quadra, dos jogadores, bem como as posições relativas dentre os mesmos em cada quadro para que assim possam ser estabelecidos modelos de reconstrução

usados na calibração de câmeras, definindo o posicionamento de objetos móveis na imagem. Alguns sistemas comerciais, como o *Hawk-Eye* (Owens, Harris e Stennett, 2003), utilizado no tênis, usufruem da disponibilidade dessas imagens para inferir e mensurar vários aspectos da partida, como a velocidade e a posição da bola de tênis num dado momento.

Alguns autores, a fim de resolver os problemas acima citados, desenvolveram métodos para realizar análises das movimentações por identificação de características da quadra de jogo no tênis de campo. Sudhir et al. (1998) sugere um método baseado na reconstrução de um modelo da quadra de tênis por identificação de suas linhas utilizando-se de um algoritmo de identificação de retas para posterior calibração. Porém, o método só mostrava-se eficaz somente quando a quadra toda era visível na imagem, ou seja, não era possível a reconstrução do modelo da quadra se alguma linha estivesse ocluída na imagem. Outros métodos que foram criados se basearam em modelagens matemáticas para identificação de retas, como a transformada de Hough (Corrado, Alessandro e Enver, 2002; Farin et al., 2004). Tais métodos se apresentaram robustos e eficientes, embora não possuíssem algum tipo de correlação espacial da localização da quadra em quadros subsequentes, que são importantes para identificação de possíveis movimentos de câmera ao longo do vídeo. Han et. al. (2005) aperfeiçoam os métodos anteriores estabelecendo relações entre as coordenadas das linhas da quadra identificadas em cada quadro, identificando movimentações das câmeras. No entanto, o método não era capaz de identificar cortes abruptos, tais como pausa de jogo ou trechos relativos às propagandas, por exemplo.

Para que uma análise de movimentações de jogadores em vídeos televisivos seja, de fato, automática e efetiva, há a necessidade de métodos que contemplem as etapas de calibração e identificação de objetos móveis de detecção dos movimentos das câmeras, além da detecção de somente sequências de imagens relevantes para uma análise biomecânica (ritmo visual). A identificação de ritmo visual, que nada mais é do que a detecção de cortes em vídeos e agrupamento de quadros com mesma sequência lógica (Dias, 2009), é parte fundamental para selecionar quais quadros realmente nos remetem a trechos de disputa em um jogo de tênis (*rallies*).

Portanto, o objetivo do presente estudo é a proposição de um conjunto de métodos para análise de movimentação de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos previamente calibrados com uso de câmeras fixas, bem como em vídeos televisivos em que há descontinuidade das imagens relativas ao jogo e movimentos arbitrários das câmeras.

Desta forma, o texto será apresentado em forma de quatro capítulos. Cada capítulo contém sua própria introdução, metodologia, resultados, discussão e conclusão. Além desta introdução, um capítulo contendo as conclusões gerais deste estudo foi incluído com o intuito de relacionar conceitos e resultados contidos nos quatro capítulos. O primeiro capítulo visa propor um método de rastreamento de jogadores de tênis de campo a partir de câmeras fixas e coletas de dados *in loco*. O segundo capítulo tem por objetivo propor um método automático de detecção de *rallies* em vídeos televisivos de tênis de campo. Já o terceiro capítulo propõe um método de extração de parâmetros homográficos (calibração dinâmica) de vídeos televisivos de tênis de campo a partir da identificação automática das intersecções das linhas da quadra de tênis e das movimentações das câmeras que ocorreram durante a transmissão da partida de tênis. Por fim, o quarto capítulo visa propor um método para rastreamento de jogadores de tênis de campo a partir de vídeos televisivos.

CAPÍTULO 1 – PROPOSIÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM MÉTODO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS PREVIAMENTE CALIBRADOS

1.1 Introdução

Sistemas de análise de movimento por rastreamento automático tornaram-se importantes ferramentas para análise notacional em esportes. Informações relativas aos movimentos dos jogadores, tais como as trajetórias, distâncias percorridas, velocidades e acelerações podem ser extraídas a partir de técnicas específicas de visão computacional e processamento de imagens. Além disso, alguns métodos têm sido propostos para rastrear automaticamente os jogadores de diversas modalidades esportivas, tais como futebol (Figuerola, Leite e Barros, 2006b; Barros et al., 2007), handebol (Pers e Kovacic, 2001; Barros et al., 2011) e rúgbi em cadeiras de rodas (Sarro et al., 2010).

Segundo Sarro et al. (2010), para obtenção de vantagem competitiva em esportes de alto nível, uma completa compreensão das dinâmicas de jogo bem como das exigências técnicas, físicas e táticas dos jogadores são essenciais. No futebol, por exemplo, informações sobre distância percorridas pelos jogadores vêm sendo amplamente utilizadas na avaliação de desempenho dos jogadores ao longo das competições, auxiliando no planejamento e na periodização dos treinamentos (Barros et al., 2007; Di Salvo et al., 2007).

Assim sendo, a medição exata da posição do jogador em um campo ou quadra em função do tempo pode permitir uma análise completa dos movimentos dos jogadores, incluindo a análise de variáveis cinemáticas derivadas da posição, tais como as velocidades e acelerações, também descritas em função do tempo. No tênis, este tipo de abordagem permite com que análises técnicas ou até mesmo táticas da modalidade esportiva sejam realizadas (Bloom e Bradley, 2003).

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre rastreamento automático no tênis tem como principal foco o movimento da bola (Pingali, Opalach e Jean, 2000; Yu et al., 2004; Yan, Christmas W. e J., 2005). Um dos sistemas comerciais de rastreamento de bola mais confiáveis utilizados é o *Hawk-Eye*® (Owens, Harris e Stennett, 2003), que é usado como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão importante para os árbitros profissionais de tênis. O

sistema consiste basicamente de um conjunto de câmeras de alta velocidade devidamente calibradas e instaladas ao redor da quadra de tênis, controlada por um software especializado que é capaz de reconstruir a trajetória da bola de forma tridimensional. Apesar do grande avanço fornecido por esse sistema, algumas ressalvas sobre a tecnologia foram relatadas na literatura. De acordo com Owens et al. (2003), o sistema comercial anteriormente citado obtém a informação da trajetória da bola com cerca de 5 segundos de *delay*. Além disso, de acordo com o fabricante, o sistema possui um erro médio de 3,6 mm (<http://www.hawkeyeinnovations.co.uk>) na determinação da posição da bola de tênis. Em termos de validação, não foram encontrados testes de confiabilidade e reprodutibilidade do sistema comercial.

Bloom e Bradley (2003) desenvolveram um método para identificar e reconhecer rebatidas realizadas por jogadores de tênis. O método foi capaz de identificar o quadro correspondente às rebatidas e os saques realizados pelo jogador. Contudo, nenhuma informação sobre as trajetórias, distâncias percorridas ou velocidades realizadas tanto pela bola quanto pelo jogador foi encontrada. Um método de análise muito semelhante foi desenvolvido por Zhu et al. (2006), porém com uso de vídeos televisivos.

Levando em consideração os métodos desenvolvidos e explanados anteriormente, os sistemas de rastreamento automático de movimentos de jogadores de tênis podem ser úteis para mensurar as principais demandas físicas específicas da modalidade esportiva, a partir da obtenção das distâncias percorridas, velocidade médias, número de *sprints*, entre outras variáveis. Além disso, características técnicas e táticas da modalidade esportiva também podem ser extraídas e analisadas a partir de dados relativos às posições dos jogadores ao longo do tempo (Dang et al., 2010).

Apesar de alguns trabalhos anteriores terem proposto métodos automáticos de rastreamento de jogadores de tênis, nenhum deles relatou resultados de validação sistemática do método desenvolvido. Portanto, o objetivo deste trabalho é propor e validar um novo método automático de rastreamento de jogadores de tênis de campo. Este trabalho aborda três tópicos principais. A descrição do método proposto e sua validação, bem como um exemplo de rastreamento de jogador durante um jogo simulado.

1.2 Método

O método proposto e validado neste trabalho foi baseado no sistema DVideo, que foi desenvolvido inicialmente para rastrear jogadores de futebol descrito em Figueroa et al. (2006b; a). O sistema consiste de um software com interface flexível, desenvolvido em linguagem C++, no qual alguns algoritmos de visão computacional e processamento de imagens, tais como calibração, pré-processamento, segmentação, filtragem, monitoramento, já estão implementados. De acordo com as especificidades da modalidade analisada, os algoritmos podem ser adaptados e aplicados. Além disso, todos os algoritmos de segmentação e rastreamento foram inteiramente desenvolvidos no software DVideo. Um computador PC (Intel® Core2Duo 3Ghz, 3Gb RAM, Windows® XP SP2) foi utilizado para rastrear os jogadores de tênis. Neste mesmo ambiente computacional, o algoritmo de rastreamento automático de jogadores de tênis foi implementado e testado. O diagrama de blocos das principais etapas do método proposto pode ser visto na Figura 1.

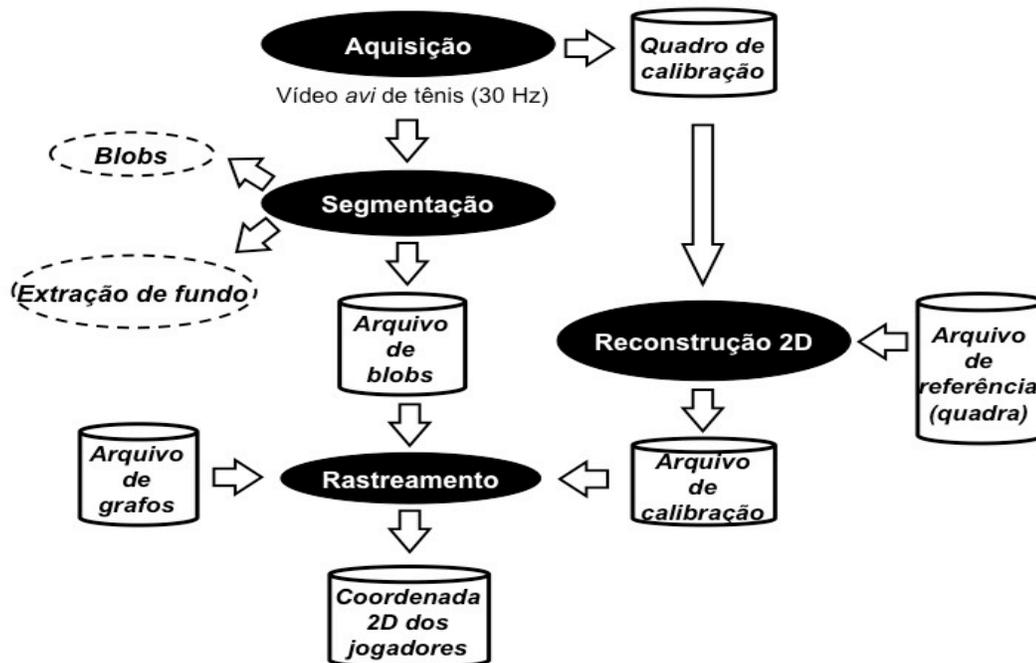


Figura 1 - Diagrama de blocos mostrando as principais etapas do método proposto. O primeiro passo é a aquisição de dados do jogo de tênis. A segunda etapa é o processo de segmentação quadro a quadro, que consiste em dividir os objetos móveis (blobs) e o fundo (quadra). A terceira etapa refere-se ao processo de rastreamento que obtém a posição 2D dos jogadores de tênis usando a estrutura de grafos, calibração da quadra e os blobs do jogador ao longo dos quadros.

1.2.1 Descrição do método

1.2.1.1 Aquisição dos dados e transformação 2D imagem-objeto

Duas câmeras digitais fixas (JVC GR-DVL 9500, 720x480 pixels, 30 Hz) foram posicionadas e orientadas de forma a cobrir ambos os lados da quadra de tênis. No caso, cada câmera enquadrava metade da quadra de tênis. O sistema de coordenadas bidimensional (x,y) foi definido como largura (x) e o comprimento (y) da quadra. Após a aquisição, os vídeos foram convertidos para o formato AVI (compressão MPEG4, 720x480 pixels, 25 minutos, 30 Hz) com o intuito de serem processados posteriormente.

Treze discos redondos brancos ($\Phi = 15$ cm) foram distribuídos ao redor da quadra e suas localizações 2D (coordenadas do mundo real) foram avaliadas diretamente usando uma fita métrica. As projeções correspondentes da quadra na imagem (coordenadas de tela) foram determinadas na interface do software DVideo. Desta forma, os parâmetros homográficos puderam ser calculados, permitindo assim uma análise cinemática 2D. A obtenção das coordenadas transformadas 2D do mundo real para coordenadas em pixels foi baseada no método DLT (*Direct Linear Transformation*) proposta por Abdel-Aziz e Karara (1971). A medida do erro de medição entre os valores esperados e os valores medidos foi a diferença absoluta entre os mesmos (viés).

1.2.1.2 Segmentação e rastreamento dos jogadores

O método proposto de rastreamento automático possui duas etapas principais: a) a etapa de segmentação, nos quais os objetos de interesse (jogadores) são separados do fundo e; b) a detecção correta da trajetória de cada jogador.

Segmentação dos jogadores

Para a segmentação das imagens, as seguintes operações são aplicadas:

- Corte da região de interesse na imagem original (Figura 2a).

- Extração de fundo usando filtro por mediana (Figura 2b).
- Diferença entre o quadro corrente (Figura 2a) e imagem correspondente a extração de fundo (Figura 2b).
- Binarização da imagem através do filtro passa-alta (Figura 2c).
- Filtros morfológicos para eliminar possíveis ruídos.
- Rotulação dos *pixels* conectados e definição de regiões correspondentes aos *blobs*. (Figura 2d).

Cada *blob* contém informação pertinente ao tamanho, formato e cor da região da imagem correspondente ao objeto de interesse, bem como sua posição na imagem. De acordo com Figueroa (2006b), a posição do jogador na imagem é determinada considerando a posição de seus pés no *blob*. Os pés do jogador é assumido como a máxima coordenada em y (pixel) e coordenada média em x (pixel) no *blob*, levando em conta o sistema de coordenadas padrão da imagem (y crescente para baixo e x crescente para a direita). Para o rastreamento manual, o mesmo critério de determinação da posição do jogador foi utilizado.

A posição do jogador é uma estimativa da intersecção do corpo do jogador na quadra de tênis, conforme mostrado na Figura 2e. Considerando a abordagem 2D desenvolvida neste trabalho, esta intersecção representa teoricamente o ponto menos afetado por erros de perspectiva. As incertezas de tais pressupostos foram avaliados pelos procedimentos de validação.

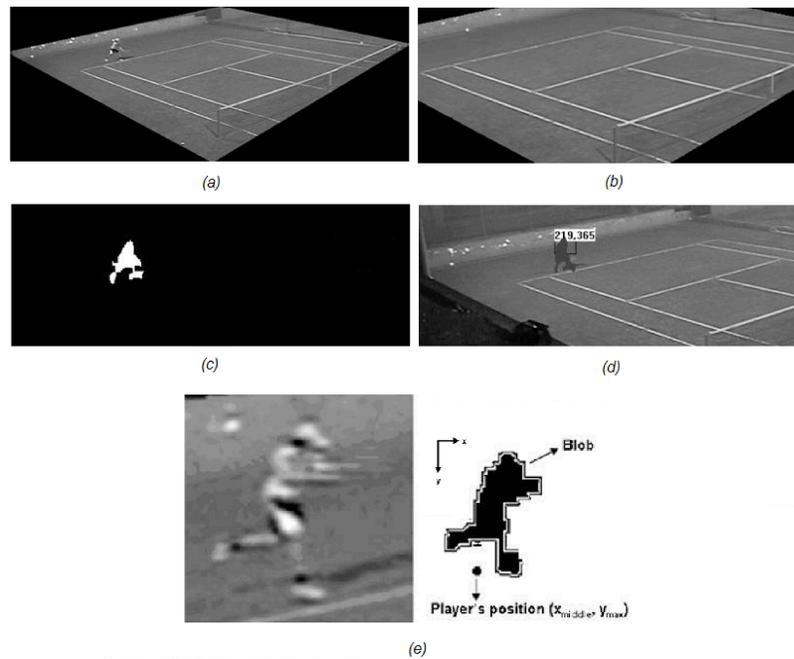


Figura 2 - O quadro de um vídeo de tênis (a), a imagem de fundo obtida por segmentação (b), a imagem resultante com as *blobs* correspondentes (c), a rotulagem do blob correspondente ao jogador de tênis (d) representação da posição do jogador no blob (e).

Detecção das trajetórias dos jogadores

Os objetivos desta etapa são os de rastrear os jogadores representados pelos *blobs* e definir a localização dos mesmos na quadra. Entretanto, na fase de segmentação, alguns falsos positivos podem ser erroneamente gerados, uma vez que o jogador não é necessariamente o único objeto móvel no vídeo. As sombras dos jogadores, movimentações da rede da quadra de tênis e a separação do *blob* referente ao jogador, por exemplo, podem gerar situações complexas que não podem ser completamente resolvidas analisando uma imagem isoladamente. Para resolver estes tipos de problemas, a estrutura de grafos (Figuerola, Leite e Barros, 2006b) foi utilizada para estabelecer uma dependência temporal entre os *blobs* ao longo dos quadros.

Os grafos são construídos a partir do conjunto de *blobs* gerados na etapa de segmentação das imagens. Cada nó e vértice armazenam a informação espacial dos *blobs* e as arestas representam distância entre os *blobs* e transmitem a dependência temporal entre os mesmos. No caso do tênis, o número esperado de componentes dentro de cada *blob* é sempre um, embora possam surgir vários *blobs* que não representam os jogadores, devido ao ruído nas

imagens. A Figura 3 mostra a estrutura de grafos de acordo com a dependência temporal de um mesmo *blob*.

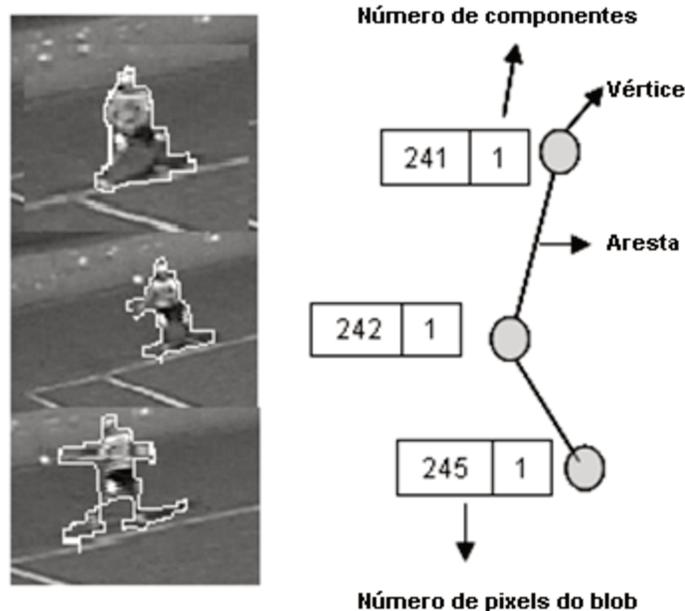


Figura 3 - Grafo construído a partir dos *blobs* de um mesmo jogador numa sequência de quadros.

As etapas para construção de um grafo encontram-se abaixo:

- Criação de um nó $n_i(t)$ para cada *blob* i no primeiro quadro, $t = 1$, e inserção deste nó no grafo G .
- Criação de um nó $n_i(t + 1)$ para cada *blob* j no frame $t + 1$ e inserção do mesmo no grafo G .
- Cálculo da distância $d_{i,j}$ entre os nós $n_i(t)$ e $n_i(t + 1)$.
- Criação de uma aresta $e_{i,j}$ que satisfaça a condição $d_{i,j} < d_{\max}$, onde d_{\max} representa a máxima distância.
- Repetição do segundo, terceiro e quarto passos ao longo do vídeo inteiro.

Após a construção do grafo, a detecção da trajetória do jogador é realizada pela seleção manual de um dos nós do grafo. Assim, a detecção da trajetória do jogador consiste em pesquisar o menor caminho que pode ser percorrido dentro de um grafo. As trajetórias $n(1)$, $n(2)$

e n(3) na Figura 3 resultam de uma detecção de trajetória de um dado jogador. Correções manuais foram feitas por um operador a fim de resolver situações não resolvidos pelo método automático (por exemplo, oclusões de blobs, desaparecimento do jogador no enquadramento, etc.), bem como para documentar quantos quadros foram necessários para correção manual a fim de medir a eficácia do método proposto.

1.2.2 Validação do método

A validação do método de rastreamento automático proposto foi dividida em duas etapas: a) validação da reconstrução 2D dos pontos de calibração e; b) validação da medição automática da posição do jogador ao longo do tempo. Todas as etapas de validação estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Sumário dos procedimentos de validação

Validação	Propósito	Descrição	Cálculo/ Métodos estatísticos
Reconstrução 2D de diferentes pontos (calibração)	Análise de confiabilidade (repetibilidade intra e inter-operador)	Dez pontos (Figura 4) de posições conhecidas foram reconstruídas em 2D usando cinco medidas de calibração de cinco diferentes operadores (n = 25). A distância entre as posições esperadas e observadas de cada ponto foram utilizadas para o cálculo de confiabilidade.	Coeficiente de correlação intra-classe (ICC) (McGraw e Wong 1996). Erro padrão médio (SEM)
	Erro relativo (R_e)	Razão entre o maior erro (repetibilidade intra ou inter-operador) e as dimensões da quadra de tênis (CD).	$R_e = \frac{SEM}{CD} * 100$
Medição do jogador ao longo do tempo (rastreamento)	Medição do erro de medição (a) da posição do jogador no rastreamento automático	Seleção de quadros nos quais o jogador está posicionado em cima das intersecções das linhas da quadra de tênis (sete diferentes posições). O viés (b) entre a posição do jogador (x,y) e as coordenadas de referência da quadra foram calculadas. A precisão (p) foi obtida calculando o desvio padrão das medidas (Chiari et al., 2005).	$a = \sqrt{b^2 + p^2}$
	Comparação do rastreamento manual e automático	Um vídeo no formato AVI (compressão, 5 minutos, 4500 quadros) no qual um dos jogadores corre por cima das linhas foi usado. A posição do jogador (x,y) ao longo do tempo foi determinada pelo procedimento manual e automático.	Análise de regressão linear ($p < 0,05$) das coordenadas (x,y) entre os método manual e automático.
	Nível de automatização do rastreamento (P_{auto})	Razão entre o número de quadros rastreados automaticamente (n) pelo número total de quadros (N).	$P_{auto} = \frac{n}{N} * 100$

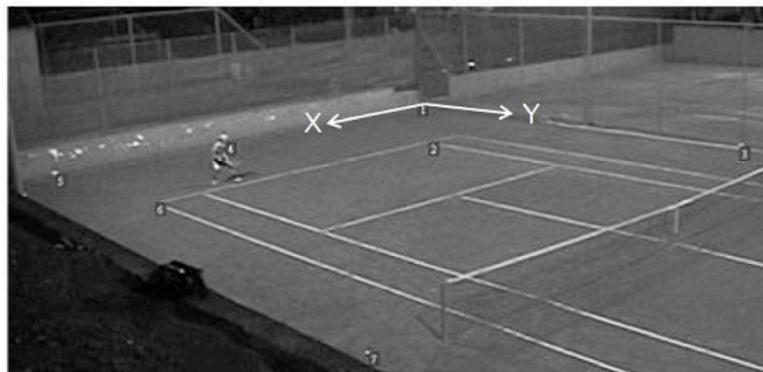
1.2.3 Aplicação do método proposto

A aplicabilidade do método proposto foi avaliada em um jogo treino, descrito anteriormente. As distâncias percorridas pelos jogadores em cada *game* bem como as distâncias acumuladas ao longo dos *games* também foram calculadas.

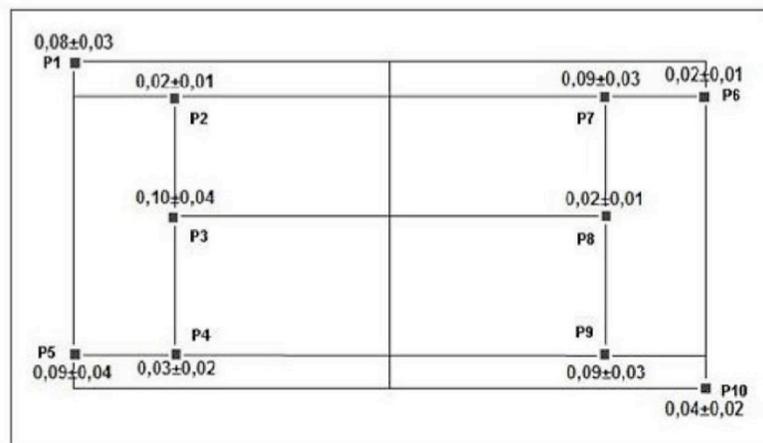
1.3 Resultados

1.3.1 Validação da calibração

A Figura 4 mostra os resultados expressos em média \pm desvio padrão das distâncias entre as posições esperadas e as medidas da quadra de tênis. A média da incerteza envolvida na determinação da posição da quadra foi de 5,7 cm. A máxima diferença encontrada na determinação da posição foi de 10 cm.



(a)



(b)

Figura 4 - Enquadramento da câmera e o sistema de coordenadas utilizado (a). Representação das incertezas (média \pm desvio padrão) das medições e reconstrução das posições ($N = 25$) em 10 diferentes posições da quadra de tênis (b). Os valores estão expressos em metros.

Os valores de repetibilidade intra e inter-operador, o erro relativo e o coeficiente de correlação intra-classe (consistência (ICCc) e concordância (ICCa)) estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Validação da reconstrução 2D

Análise estatística	Valores obtidos
repetibilidade intra-operador (m)	0,0091
repetibilidade inter-operador (m)	0,0066
Erro relativo (%)	0,03 (comprimento) / 0,06 (largura)
ICC _C	0,88; $p=0,00$
ICC _A	0,89; $p=0,00$

1.3.2 Erro de medição da posição do jogador

A Figura 5 mostra os resultados expressos em média \pm desvio padrão das diferenças entre posição do jogador obtida pelo método automático (obtido) e posição de referência da quadra de tênis (esperado). A máxima diferença encontrada na determinação da posição do jogador foi de 0,52 m. O erro médio e a precisão na determinação da posição do jogador foram respectivamente 0,33 m e 0,15 m . A média da erro de medição na determinação da posição do jogador foi de 0,36 m.

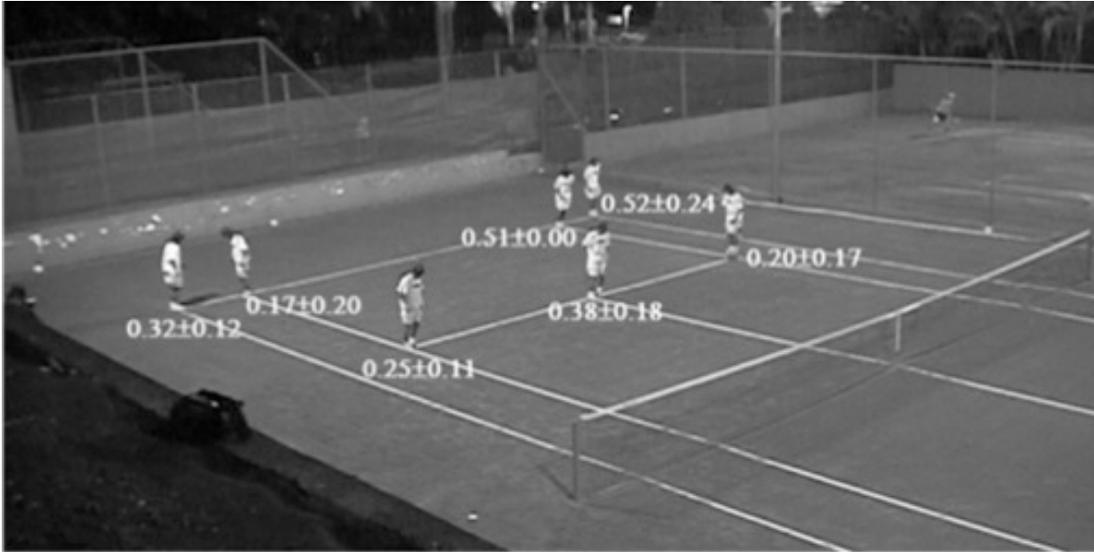
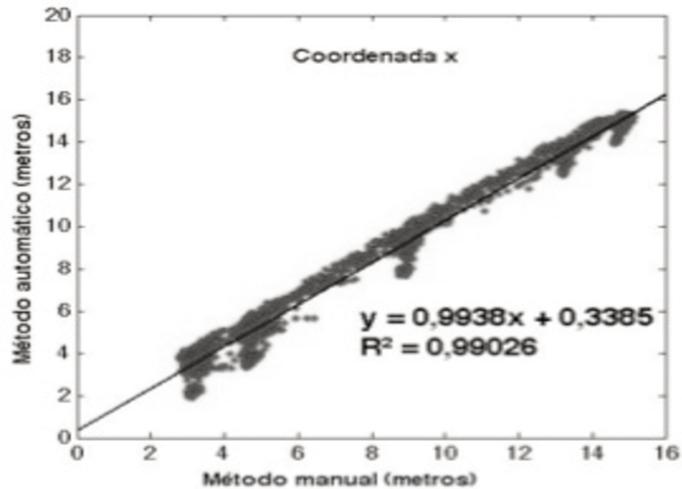


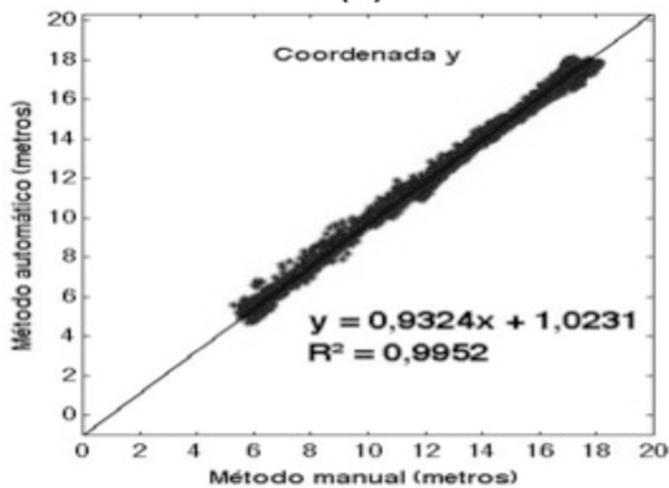
Figura 5 - Representação da média \pm desvio padrão das diferenças entre o rastreamento automático (observada) e os valores de referência das coordenadas da quadra (a) em todos os sete pontos (intersecções das linhas) para determinação da posição do jogador. Os valores estão expressos em metros.

1.3.3 Comparação do método proposto com o método manual

As Figuras 6a e 6b mostram a análise de regressão para as coordenadas x e y entre o método proposto e o método manual utilizando o vídeo de validação (4500 quadros).



(a)



(b)

Figura 6 - Análise de regressão linear realizada com as posições dos jogadores na coordenada x (a) e na coordenada y (b) obtidos pelos métodos manuais e automáticos.

Para a coordenada x, o R^2 foi de 0,9903 enquanto que para a coordenada y o R^2 foi de 0,9952. Os valores de RMS obtidos foram 0,53m para a coordenada x, 0,49m para a coordenada y, resultando num RMS total de 0,72m. O valor máximo de erro obtido foi de 1,62m para a coordenada x e 1,51m para a coordenada y. Estes números mostram que os dados experimentais se ajustam ao modelo linear e confirmam a hipótese de correlação entre os valores medidos pelos métodos manual e automático.

1.3.4 Percentual de automatização

Neste trabalho, dos 22.000 quadros processados (25 minutos) 21.995 quadros foram rastreados automaticamente (99,98%). Somente uma intervenção de um operador foi necessária para correção de 5 frames consecutivos. O vídeo de validação obteve 100% de automatização de rastreamento do jogador. Além disso, o tempo de processamento total do vídeo de 25 minutos (segmentação + rastreamento) foi aproximadamente 50 minutos.

1.3.5 Exemplo de aplicação do método

A Tabela 3 mostra a distância percorrida acumulada realizada pelos jogadores A e B. A distância média percorrida por *game* foi de 136,6m/*game* para o jogador A e 120,3m/*game* para o jogador B. A distância percorrida foi de 1229,7m para o jogador A e 1083,3m para o jogador B.

Tabela 3. Distância percorrida por cada jogador por *game*.

<i>Game</i>	Jogador A (m)	Jogador B (m)	Duração (s)
1	96,2	70,5	100,0
2	132,6	130,4	180,0
3	119,3	119,7	137,0
4	161,4	130,9	209,0
5	97,0	94,2	120,0
6	170,0	204,4	245,0
7	222,8	161,5	221,0
8	119,4	102,9	153,0
9	111,0	68,6	102,0
Distância percorrida acumulada	1229,7	1083,3	1467,0

1.4 Discussão

Neste trabalho, um novo método para rastreamento automático de jogadores de tênis foi proposto e validado. O método requer a utilização de apenas duas câmeras de vídeo digitais fixas e de algoritmos específicos descritos anteriormente. As distâncias percorridas pelos jogadores foram obtidas de forma simultânea, automática e confiável.

Os resultados mostraram que o método proposto neste estudo foi replicável para valores maiores que 0,0066 m, e reprodutível para valores superiores a 0,0091m. O erro relativo foi inferior a 0,06% da largura e 0,03% do comprimento da quadra de tênis utilizada no presente estudo. Os resultados do ICC apresentaram consistência, coerência absoluta e concordância excelentes.

Além disso, os erros encontrados foram inferiores aos encontrados por Alcock, Hunter e Brown (2009) que obtiveram erros com cerca de 1,5% da largura e 2,5% do comprimento do campo de futebol. Os resultados encontrados neste trabalho podem ser comparáveis aos erros encontrados por Angulo e Dapena (1992) que reconstruíram as coordenadas dentro de um volume de 8m^3 usando apenas um quadro de calibração especialmente concebido e pontos de controle com localização pré-determinada com um erro máximo de $\pm 1,5\text{mm}$ em qualquer direção. Em Barros et al. (2011) as incertezas encontradas na determinação das posições na quadra de handebol foi de aproximadamente 0,2m, o que representa 0,1% de erro relativo. Comparando com os erros obtidos em sistemas comerciais de rastreamento de bolas e jogadores de tênis (Owens, Harris e Stennett, 2003), o método proposto demonstrou-se menos acurado.

As diferenças encontradas entre o rastreamento automático (observada) e as coordenadas de referência da quadra de tênis (esperado) para a posição do jogador estiveram entre $0,17 \pm 0,20 \text{ m}$ e $\pm 0,24$ e $0,52 \text{ m}$, resultando em um erro de medição médio de 0,36 m. Estes valores são semelhantes à faixa de erro de 0,2~0,5 m encontrada por Pers e Kovacic (2001) no handebol, em que a quadra possui dimensões semelhantes às de uma quadra de tênis. Além disso, o erro de medição obtida (0,36 m) pode ser considerada baixa quando comparado às dimensões de quadra (3,3% da largura e 3,0% do comprimento).

O método para rastreamento automático proposto mostrou-se válido quando comparado ao procedimento de rastreamento manual revelando altos coeficientes de determinação ($R^2 = 0,9903$ para coordenada x e $R^2 = 0,9952$ para a coordenada y). Além disso, o valor RMS encontrado entre os dois métodos de rastreamento (0,72 m) foi menor do que 1,16 m encontrado por Needham e Boyle (2001) no futebol. Isso confirma que há uma alta similaridade entre as medidas obtidas por rastreamento automático e manual.

Com respeito ao nível de automatização do método proposto, o valor alcançado (99,98%) é maior do que 95% alcançado em jogos de futebol (Figuerola, Leite e Barros, 2006b; Barros et al., 2007), 75% alcançados em partidas de handebol (Barros et al., 2011) e aos 20% alcançados em partida de rúgbi em cadeira de rodas (Sarro et al., 2010). Além disso, o percentual de automatização atingido neste trabalho foi maior que outros métodos aplicados ao tênis (Dang et al., 2010) nos quais obteve um índice de 87% de automatização. O alto nível de automatização apresentado pode ser explicado pelo número reduzido de jogadores no jogo de tênis em comparação com o futebol ou handebol, evitando casos de oclusão dos *blobs*.

Entretanto, é importante frisar algumas limitações do presente trabalho, tais como: a) o método proposto foi testado apenas em situação de treinamento com jogadores amadores, portanto não é possível inferir a eficiência do método quando aplicado a uma competição oficial; b) o rastreamento dos jogadores não foi realizado em tempo real, embora esta limitação possa ser superada em futuros desenvolvimentos, como uma implementação em hardware das principais operações realizadas pelo método; c) muitos outros aspectos devem ser testados em trabalhos futuros principalmente os relacionados com as diferentes condições de iluminação da quadra, diferentes cores de uniformes utilizados pelos jogadores e posicionamento de câmeras; d) precisão e erro de medição desconhecidos do método manual para rastrear as movimentações 2D dos jogadores na quadra de tênis, dentre outros.

As distâncias percorridas fornecidas neste trabalho mostraram ser de grande interesse para compreender melhor as exigências físicas e táticas dos jogadores durante uma partida de tênis. Além disso, o método proposto pode ser considerado muito promissor e seu uso deve ser testado em trabalhos futuros, como em partidas de tênis de

alto nível, sob condições de iluminação diferentes e outras situações que possam afetar o desempenho do método ou sua aplicabilidade.

1.5 Conclusão

O método proposto neste trabalho mostrou-se eficaz para rastrear os movimentos dos jogadores de tênis na quadra durante todo o jogo, utilizando-se somente de um vídeo. Os testes experimentais também mostraram que o método é válido, consistente e com uma elevado nível de automatização.

CAPÍTULO 2 – DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE *RALLIES* DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS TELEVISIVOS

2.1 Introdução

Métodos de análise de movimentos de jogadores a partir de vídeos televisivos tem se tornado cada vez mais frequentes (Wang e Parameswaran, 2004; Zhu et al., 2007). Vários métodos de análise automática esportivas são capazes de descrever as principais ações dos jogadores, após um curto intervalo de tempo ou até mesmo em tempo real. Além disso, a maioria das análises pode ser realizada utilizando-se vídeos armazenados em meios de acesso do público, como por exemplo a Internet.

Ao analisar vídeos televisivos, podem-se inferir algumas características que já estão incorporadas aos mesmos, tais como a alta qualidade da aquisição de imagens (p. ex. vídeos em alta definição, boa qualidade das lentes das câmeras, etc.), um grande número de câmeras profissionais posicionadas em locais privilegiados do evento esportivo, fácil acesso a atletas de alta performance, entre outros. Todavia, algumas situações não controladas, como possibilidade de perdas de sequências de quadros referentes ao jogo durante a transmissão é tido como um dos desafios para o desenvolvimento de métodos de análise de jogadores em vídeos televisivos, principalmente no que diz respeito à identificação e seleção de ações esportivas específicas, que são de extrema importância para análise cinematográfica, por exemplo.

No caso do tênis de campo, o processo de sumarização ou ritmo visual (Dias, 2009; Valio, 2011) está pautado na seleção de sequências de quadros relevantes à análise cinematográfica, que são os *rallies*. Um *rally* pode ser entendido como uma situação de jogo em que os jogadores disputam um ponto através de troca de bolas (rebatidas), tendo como momento inicial a execução de um saque por parte de um dos jogadores e o momento final como o registro de um ponto feito a partir de uma rebatida realizada também por parte de um dos jogadores. Assim sendo, a identificação automática destes momentos pode ser considerada como o primeiro passo no desenvolvimento de sistemas robustos de análise de vídeos esportivos televisivos.

A determinação da duração média de um *rally* em partidas de tênis de campo, por exemplo, é uma aplicação prática do sistema de identificação automática de *rallies*. Muitos estudos realizam a medição da duração de *rallies* de forma manual a fim de auxiliar na análise da razão esforço/pausa em partidas de tênis. Tais aspectos já foram abordados em vários tipos de superfícies de quadra, como a quadra-rápida (Docherty, 1982; Christmass et al., 1998; O'donoghue e Ingram, 2001), grama (Docherty, 1982; O'donoghue e Ingram, 2001) e saibro (Smekal et al., 2001; Fernandez, Mendez-Villaneuva e Plum, 2006). Portanto, um método capaz de identificar automaticamente sequências de imagens relativas aos *rallies* de tênis pode permitir um melhor entendimento das principais demandas físicas envolvidas na modalidade tênis de campo.

Além disso, a estrutura sintática dos vídeos televisivos de tênis de campo possuem uma caracterização específica dita como “*action-and-stop*” devido ao grande número de pausas que ocorrem durante a partida comparado aos vídeos televisivos de outros esportes (Li, Pan e Sezan, 2003). Para resolver e se adaptar aos problemas e características peculiares destes tipos de vídeos, alguns métodos foram desenvolvidos para identificar a estrutura sintática, bem como as classificações específicas de sequências de imagens em vídeos de tênis de campo (Pei e Chen, 2003). Entretanto, a maioria dos métodos desenvolvidos para tal propósito ainda é suscetível a falsos positivos e negativos, além de não comparar transmissões televisivas de tênis de campo em diferentes campeonatos que possuam outras características específicas à aquisição das imagens, tais como posicionamento das câmeras, tipo de superfície em que está sendo realizada a partida, a estrutura sintática do vídeo utilizada na transmissão, entre outros.

Portanto, o objetivo deste trabalho é propor e validar um método de detecção automática de *rallies* de tênis de campo baseado na estrutura sintática dos vídeos televisivos da modalidade e estimar a duração dos *rallies* em diferentes superfícies de quadra. Este capítulo possui dois principais tópicos: 1) a descrição do método proposto e; 2) resultados experimentais que avaliam a aplicabilidade do método em diferentes tipos de superfície de quadra de tênis.

2.2 A detecção automática de *rallies*

O método proposto de identificação automática de *rallies* de tênis de campo possui três principais etapas: 1) a análise do histograma RGB e o cálculo da soma absoluta das diferenças dos histogramas (ASDH) entre todos os frames adjacentes nos vídeos analisados; 2) Aplicação de um filtro passa-altas utilizando percentil ($\geq 97\%$ da distribuição) e; 3) Identificação de início e fim de cada *rally* utilizando um quadro que representa um enquadramento aberto da quadra de tênis como modelo de comparação. Na Figura 7, o diagrama de blocos apresenta o esquema geral do método proposto.

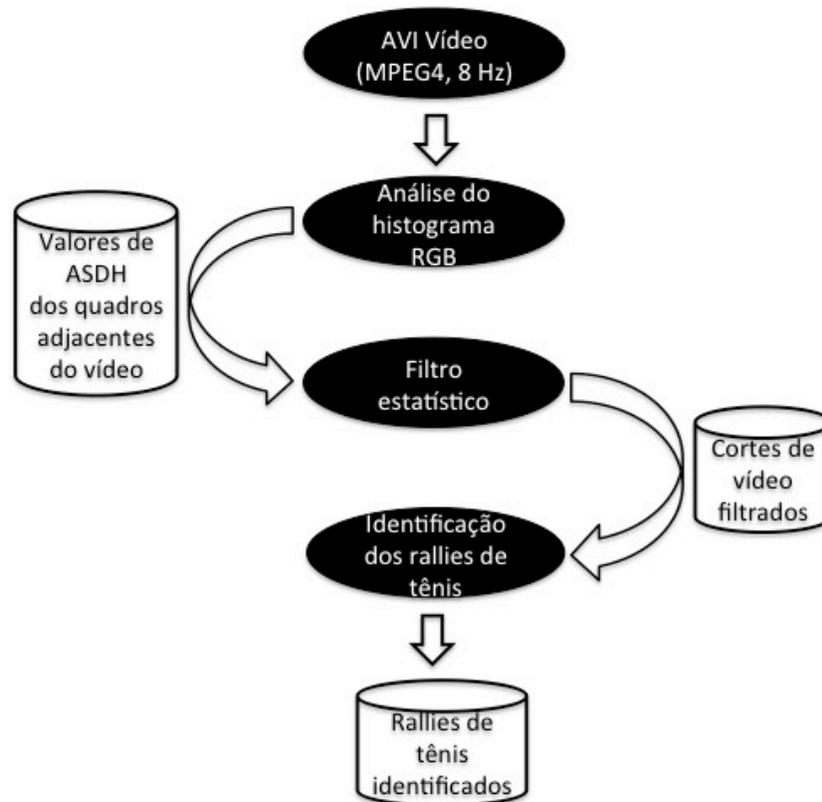


Figura 7 - Diagrama de blocos representando as principais etapas do método proposto

2.2.1 Análise dos histogramas

Nesta etapa, para cada frame processado, três histogramas coloridos são calculados conforme mostrado na figura 8. O número de intervalos utilizados para a construção dos histogramas foi 20.

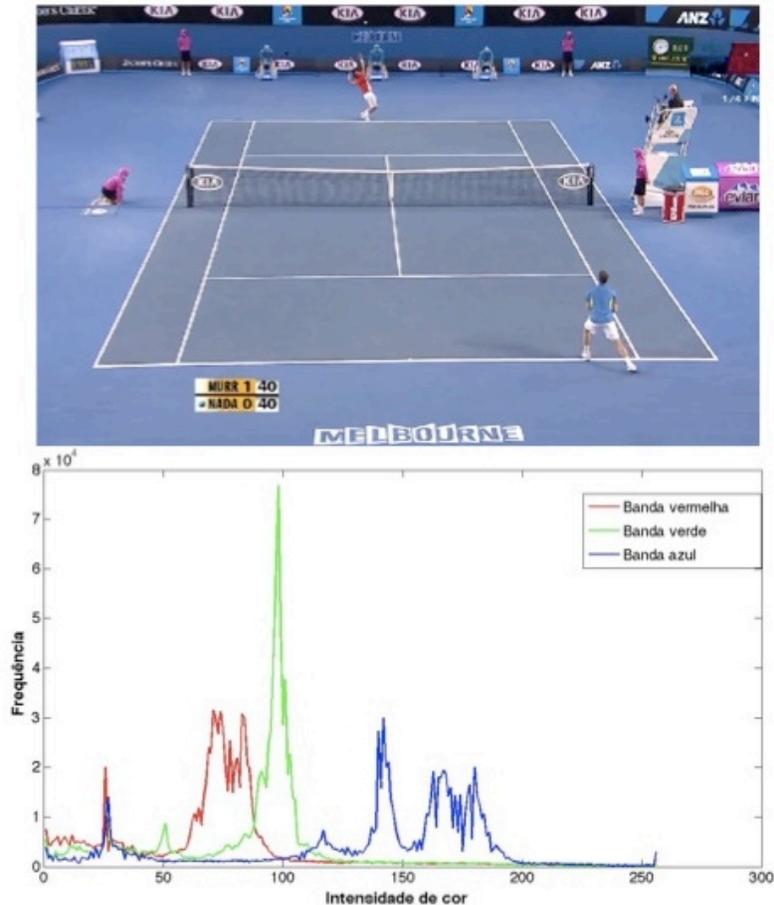


Figura 8 - Exemplo da extração de um histograma de um quadro

Após a extração dos histogramas de todos os quadros do vídeo, a soma absoluta das diferenças dos histogramas (ADSH) entre os quadros adjacentes foi calculada de modo a obter todos os cortes abruptos de cena ao longo do vídeo. O cálculo do ADSH proposto por Zhang et al. (1993) é dado pela fórmula abaixo:

$$ADSH = \sum_{j=0}^{B-1} |h(j)_n - h(j)_{n-1}| \quad (1)$$

As variáveis $h(j)_n$ e $h(j)_{n-1}$ representam os valores do histograma obtidos em dois quadros adjacentes, n e $n-1$, e B representa o número de intervalos utilizados para a extração dos histogramas. Assim sendo, a distribuição do ADSH pode ser obtida quando aplicada ao vídeo inteiro.

2.2.2 A identificação dos frames de transição

Os quadros de transição podem ser definidos como cortes abruptos que ocorrem entre dois quadros adjacentes (Sze, Lam e Qiu, 2003). A identificação dos quadros de transição *rally/não-rally* e vice-versa podem ser identificados baseando-se na dissimilaridade da distribuição dos histogramas de cada quadro. A distribuição acumulada dos valores de ADSH (percentil) foi base para aplicação do filtro passa-altas para obter todos os cortes abruptos contidos no vídeo. Somente cortes abruptos de cena cujos valores de ADSH acima do filtro passa-alta foram selecionados. O parâmetro correto de filtragem foi obtido através de testes recursivos. Para todos os vídeos analisados, o percentil utilizado foi 3% (quadra-rápida = 3%, grama=2,5% e saibro=3%). A Figura 9 ilustra os principais cortes abruptos de cena contidos numa sequência de vídeo. Nota-se que nesta sequência, os maiores valores de ADSH correspondem aos possíveis quadros de transição *rally/não-rally* e vice versa. Cortes abruptos com intervalos abaixo de 8 quadros (1 segundo) não foram considerados na identificação de frames de transição.

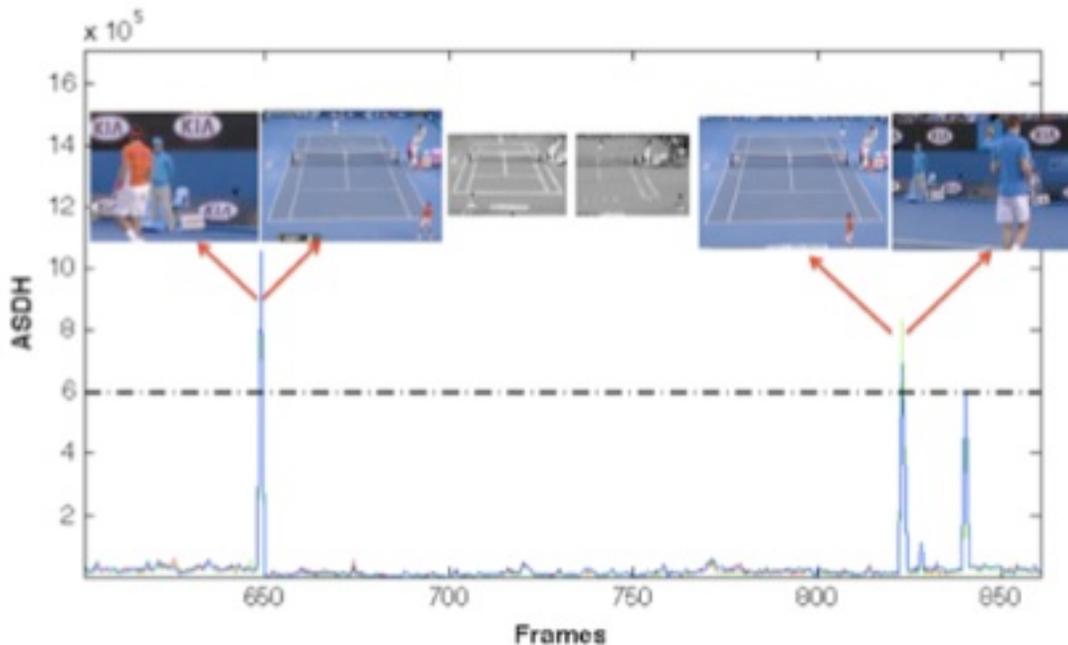


Figura 9 - Cortes abruptos identificados numa sequência de vídeo analisada. A linha pontilhada representa o valor de limiar estabelecido pelo filtro passa-altas (percentil). Os maiores valores de ASDH correspondem, neste caso, aos possíveis quadros de transição *rally/não-rally* e vice-versa.

2.2.3 Identificação dos *rallies* de tênis

Os quadros de transição obtidos da etapa anterior podem conter quadros de transição indesejáveis, tais como *closes* em jogadores ou propagandas. Desta forma, para identificar somente quadros de transição correspondentes ao início e fim de *rallies*, uma comparação com um quadro de referência previamente escolhido (Figura 10) foi realizada com todos os possíveis quadros de transição detectados. O quadro de referência deve conter necessariamente um enquadramento completo da quadra de tênis para que possa ser comparado com todos os quadros de transição encontrados pelo método proposto. O método de comparação utilizado foi baseado no cálculo dos espaçogramas dos histogramas. No caso, o espaçograma do histograma do quadro de referência é comparado com cada quadro de transição. O coeficiente de similaridade dos espaçogramas utilizado deriva do coeficiente de Bhattacharyya que já foi utilizado e aplicado em vários estudos (Aherne, Thacker e Rockett, 1998; Conaire, O'connor e Smeaton, 2007).

O critério de decisão utilizado para o algoritmo de busca dos quadros de transição referentes aos *rallies* foi comparando-se cada quadro referente às duas transições (*não-rally/rally* e *rally/não-rally*) com o quadro de referência. O quadro de transição cujo índice de similaridade for superior ou igual ao limiar pré-estabelecido ($C \geq 0,7$) foi assumido como transição correspondente a um início ou fim de *rally*. Após a detecção de todos os quadros de transição referentes aos *rallies*, os mesmos foram ordenados em função do tempo. O quadro inicial de um *rally* de tênis foi assumido como sendo o segundo quadro do primeiro par de quadros de transição. Já o quadro final de um *rally* de tênis foi definido como sendo o primeiro quadro do segundo par de quadros de transição. A descrição completa do algoritmo de identificação de *rallies* de tênis é mostrado na Figura 11.



Figura 10 - Exemplo de um quadro com visão completa da quadra de tênis utilizada como quadro modelo.

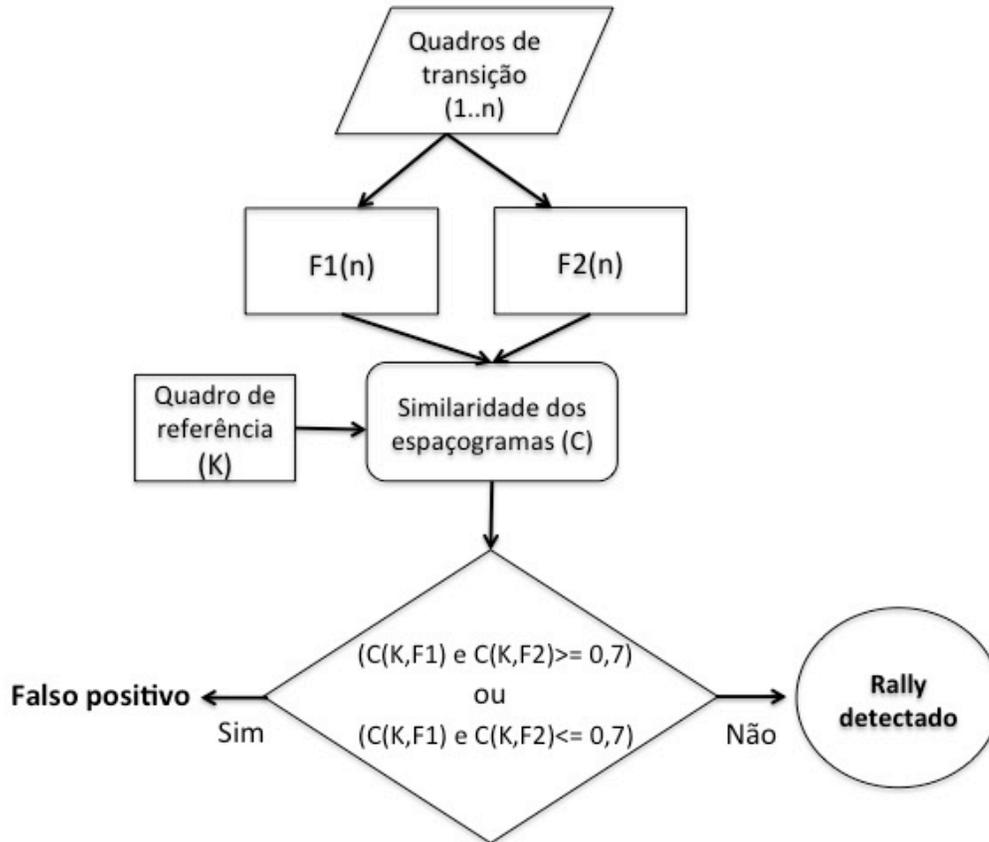


Figura 11 - Fluxo do algoritmo de identificação de *rallies*. F1 e F2 são os dois quadros adjacentes em um corte abrupto de cena. O limiar de similaridade dos espaçogramas dos histogramas utilizado foi 0,7.

2.3 Resultados experimentais

Um computador Intel® Core2Duo 3Ghz, 3Gb RAM e Windows® XP foi utilizado para o processamento dos vídeos. Além disso, método proposto foi inteiramente desenvolvido no software Matlab®. Neste trabalho, três vídeos no formato AVI com compressão MPEG4 obtidos na internet (www.youtube.com) com frequência de aquisição de 8Hz, foram utilizados. Cada vídeo contém um set de uma partida profissional de tênis de campo em diferentes tipos de piso (quadra-rápida, grama e saibro).

Neste trabalho, três testes foram realizados para validar o método proposto: 1) Cálculo da taxa de acerto do método proposto; 2) A análise da duração dos *rallies* em partidas de tênis e; 3) Distribuição e classificação dos erros de detecção de *rallies*.

2.3.1 Teste de desempenho de taxa de acerto de detecção de *rallies*

Para avaliar o desempenho de detecção do método proposto, o critério de Taxa de Acerto (TA) foi utilizado (Pei e Chen, 2003). A Taxa de Acerto (TA) é baseado somente no número de falsos negativos (FN) e no número total de *rallies* (NTR) encontrados nos vídeos em que o método proposto foi aplicado, conforme mostrado na fórmula 2. O número total de *rallies* (NTR) é o conjunto dos pares de quadros de transição que representam um *rally* de tênis encontrados em todo o vídeo analisado. Já uma situação de falso negativo (FN) são quadros de transição correspondentes a *rallies* não detectados pelo método proposto.

$$TA(\%) = \frac{NTR - FN}{NTR} * 100 \quad (2)$$

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos com os três vídeos submetidos ao método automático de detecção de *rallies* proposto. As situações de falso positivo (FP) são situações equivocadamente identificadas pelo algoritmo como *rallies* de tênis (por exemplo, imagem da torcida erroneamente considerada como parte de um *rally*). O tempo de processamento (TP) foi o tempo demandado para aplicar o método em todo o vídeo. A média da Taxa de Acerto (TA) foi de 81%.

Tabela 4. Desempenho do método de detecção automática de *rallies* proposto

Vídeo (Piso)	Resolução (pixels)/ Frequência	Duração (min)	TP (min)	NTR	FP	FN	TA (%)
Quadra rápida	1280x720 / 8 Hz	52:20	100	85	3	8	91
Gramma	1280X720 / 8 Hz	50:52	98	72	6	13	82
Saibro	1280X720 / 8 Hz	52:26	101	72	14	21	71
Média			100	76	8	14	81

2.3.2 Análise de duração dos *rallies*

A análise da duração dos *rallies* é um exemplo de aplicabilidade do método proposto em partidas de tênis de campo em diferentes tipos de piso. Neste trabalho, a duração dos *rallies* medido automaticamente foi comparado com o método manual. É importante salientar que a duração real de um *rally* pode não coincidir exatamente com a duração obtida pelo método automático, pois o quadro inicial de um *rally* detectado automaticamente pode corresponder ao momento que antecede uma ação de saque do jogador assim como o quadro final detectado pode representar uma ação dos jogadores posterior a um fim de *rally*. Levando isso em conta, tanto o quadro inicial quanto o final detectados de forma automática podem não ocorrer no mesmo instante de tempo se comparado ao método de detecção manual. Desta forma, a duração de um *rally* foi determinado pela diferença dos instantes de tempo de quadro inicial e um quadro final detectados pelo método proposto.

Após a determinação da duração dos *rallies* para todos os vídeos analisados em ambos os métodos (método proposto e método manual), o teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1999), com $p < 0,05$, foi realizado a fim verificar a normalidade da

distribuição da duração dos rallies. As distribuições para todos os vídeos em ambos os métodos revelaram ser não-paramétricas.

Após o teste de normalidade, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 1999), com $p < 0,05$, que está representado graficamente em forma de boxplot (Figura 12), a fim de comparar todos os grupos analisados. Os testes revelaram diferença significativa entre os grupos ($p = 0,00$).

Como houve diferença significativa, foi feito teste de post-hoc de Tuckey (Zar, 1999). O teste post-hoc revelou diferença significativa somente na distribuição da duração dos rallies em quadra-rápida (método proposto e automático) perante a todos os outros grupos analisados (grama e saibro) para ambos os métodos utilizados (método proposto e automático). Entretanto, nenhuma diferença significativa foi encontrada entre o método proposto aplicado e o método manual quando aplicado a um vídeo que representa uma mesma superfície de quadra. A média de duração dos rallies em quadra-rápida, grama e saibro foi respectivamente $5,4 \pm 2,4$ segundos, $11,06 \pm 7,06$ segundos e $15,01 \pm 14,52$ segundos.

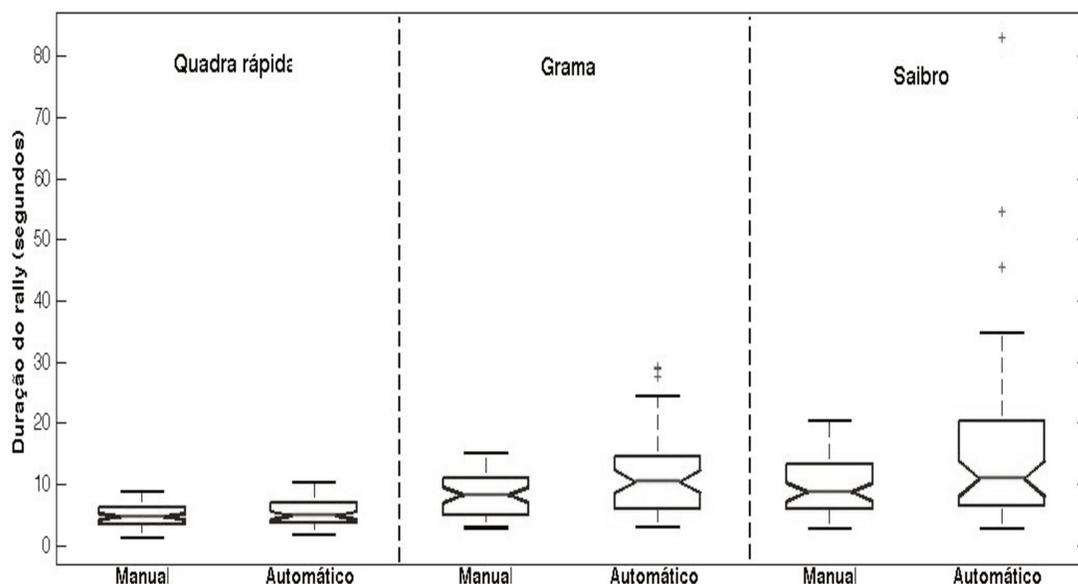


Figura 12 - Distribuição da duração do rallies de tênis baseada nos cortes obtidos pelos métodos automático proposto e o manual em todos os vídeos analisados (quadra-rápida, grama, saibro). As caixas representam o intervalo interquartil (25%~75%), as linhas horizontais representam os valores de mediana, os chanfros o intervalo de dados e as cruces são os outliers.

2.3.3 Distribuição e classificação dos erros de detecção

A análise do erros de detecção pode prover informações úteis no que diz respeito à identificação de possíveis pontos críticos do método automático de detecção de *rallies* proposto. Em todos os vídeos analisados foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1999), com $p < 0,05$, a fim de verificar a normalidade das distribuições. Todas as distribuições relevaram ser não-paramétricas.

Após o teste de normalidade, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (Zar, 1999), com $p < 0,05$, representado graficamente em formato de boxplot (Figura 13), foi realizado para verificar todas as possíveis diferenças entre as distribuições de erros de detecção de *rallies* nos três vídeos analisados (quadra-rápida, grama e saibro). O teste não-paramétrico revelou não haver nenhuma diferença significativa entre as três distribuições ($p=0,14$).

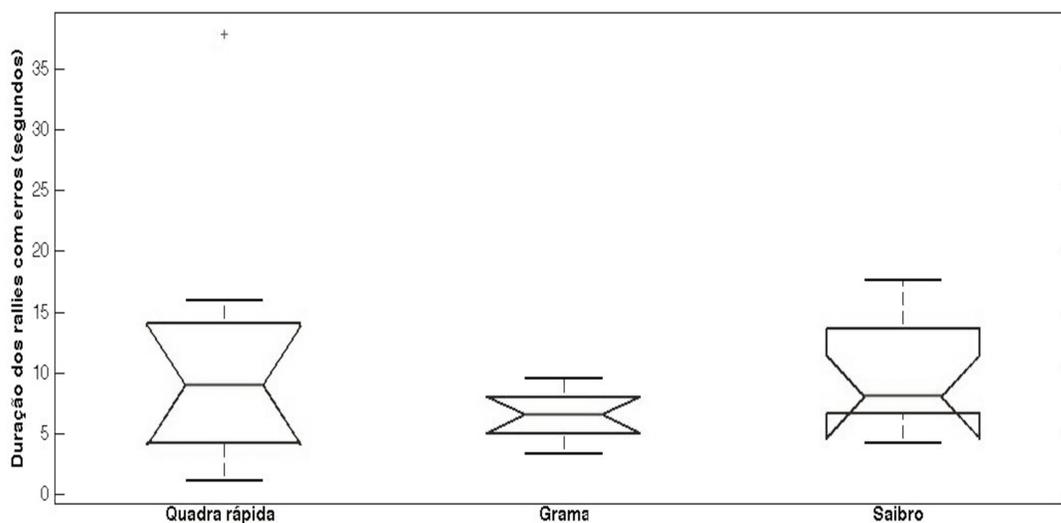


Figura 13 - Distribuição dos erros de detecção de rallies em todos os vídeos analisados (quadra-rápida, grama, saibro). As caixas representam o intervalo interquartil (25%~75%), as linhas horizontais representam o valores de mediana, os chanfros, o intervalo de dados e as cruces são os outliers.

Além disso, as principais razões para a geração de falsos positivos e falsos negativos pelo método automático proposto podem ser classificadas em quatro situações básicas: movimentações da câmera (MC), iluminação da quadra (IQ), efeitos de *fade-in/out* (FIO) e combinação acidental de cores (CC).

Uma situação do tipo MC pode ser caracterizada no momento em que ocorre mudanças nos parâmetros extrínsecos (rotação) e intrínsecos (zoom) da câmera, afetando a comparação dos quadros de transição com o quadro de referência.

Situações do tipo IQ ocorrem quando há mudanças na iluminação da quadra durante a transmissão devido a presença de mais ou menos sombra, por exemplo. Este tipo de ocorrência também afeta a comparação dos histogramas dos possíveis quadros de transição referente aos *rallies* com o quadro de referência previamente escolhido.

Já as situações do tipo FIO são aquelas nas quais ocorrem transições suaves entre um quadro de não-*rally* para um quadro referente a um *rally*, por exemplo. Este tipo de situação faz com que o método proposto não identifique como uma mudança abrupta de cena, não classificando-os como um possível corte não-*rally/rally* ou vice-versa.

Por fim, uma situação do tipo CC é quando a combinação de cores de um quadro que não corresponde a um início ou fim de *rally* gera um histograma que possui, acidentalmente, uma similaridade muito grande com o quadro de referência, gerando um falso positivo.

A tabela 5 mostra a análise descritiva e quantitativa dos tipos de erro de detecção que ocorreram quando o método proposto foi aplicado nos três vídeos (quadra-rápida, grama e saibro).

Tabela 5. Classificação dos erros de detecção do método automático proposto. As causas dos erros são classificados em Movimentações da Câmera (MC), Iluminação da Quadra (IQ), Efeitos de Fade in/out (FIO) e Combinação Acidental de Cores (CC).

Vídeo	Erros	MC(%)	IQ(%)	FIO(%)	CC(%)
Quadra rápida	11	5 (45,5%)	0 (0%)	3 (27,3%)	3 (27,3%)
Grama	19	3 (15,8%)	4 (21,1%)	6 (31,6%)	6 (31,6%)
Saibro	35	7 (20,0%)	5 (14,3%)	9 (25,8%)	14 (40,0%)
Total	65	15 (23.1%)	9 (13,9%)	18 (27,7%)	23 (35.4%)

2.4 Discussão

Neste capítulo, um novo método de detecção automática de *rallies* de tênis foi proposto. Ao contrário de estudos anteriores, o método proposto foi testado em vídeos que representavam diferentes tipo de piso (quadra-rápida, grama e saibro). Além disso, a análise de duração dos *rallies* foi realizada através da comparação com o método manual de análise.

O número de falsos positivos em todos os vídeos analisados foi menor que número de falsos negativos. Além disso, a maioria dos falsos negativos encontrados neste trabalho ocorreram basicamente em duas situações: (1) quando não houve similaridade suficiente entre os histograma do quadro de referência e os possíveis quadros de transição referentes aos *rallies* (situações movimentações de câmera (MC) e iluminação de quadra (IQ)); (2) quando houve uma transição suave de quadros de não-*rally/rally* e vice versa (situação de efeitos *fade in/out* (FIO)) gerando um baixo valor absoluto da diferença dos histograma de quadros adjacentes (ADSH). As limitações encontradas pelo método proposto podem ser devidas a situações já previstas em vários estudos (Liu e Zick, 1995; Pei e Chen, 2003), tais como movimentações rápidas das câmeras, variações de iluminação no local da realização das partidas de tênis ao longo do tempo, efeitos de transição suave (*fade in/out*) utilizados com frequência pelas TVs, entre outros. Já a principal razão para a ocorrência de falsos positivos é a ocorrência acidental de altas

similaridades dos histograma dos quadros de transição com os quadro escolhido como referência de comparação, fazendo com que o método detecte, equivocadamente, uma situação de não-*rally* como *rally* (situação de combinação de cores CC)).

A taxa de acerto atingida pelo método proposto especificamente em quadras-rápidas (91%) foi um pouco maior com os encontrados em estudos similares (Pei e Chen, 2003; Christmas, 2005; Yan, Christmas W. e J., 2005). Contudo, as taxas de acerto encontradas em vídeos cujos pisos são grama e saibro foram significativamente menores se comparadas ao atingido em quadra-rápida (grama=82% e saibro=71%), mas vale ressaltar que, até o momento, nenhum estudo procurou comparar índices de detecção automática de *rallies* em diferentes pisos de quadra de tênis.

As durações dos *rallies* puderam ser medidas e quantificadas com sucesso a partir da detecção automática da maioria dos *rallies* em todos os vídeos (quadra-rápida, grama e saibro) analisados. Além disso, a análise estatística realizada revelou a alta similaridade dos resultados encontrados usando o método proposto com o método manual (padrão ouro). A média de duração do *rallies* obtida pelo método proposto em quadra-rápida ($5,4 \pm 2,4$ segundos) foi similar aos encontrados na literatura (O'donoghue e Ingram, 2001; Kovacs, 2004) ao passo que os obtidos em grama e saibro ($11,06 \pm 7,06$ segundos e $15,01 \pm 14,52$ segundos, respectivamente) não corroboram com os estudos específicos da modalidade (O'donoghue e Ingram, 2001; Smekal et al., 2001; Fernandez, Mendez-Villaneuva e Pluim, 2006).

Portanto, o método proposto pode ser considerado muito promissor para detecção de *rallies* de tênis de campo, pois pode ser usado com aplicabilidade satisfatória na maioria dos tipos de piso de quadra. Entretanto, o algoritmo ainda deve ser otimizado no sentido de aumentar a taxa de acerto e reduzir o tempo de processamento dos vídeos.

2.5 Conclusão

O método proposto revelou ser válido e com bom desempenho de detecção de *rallies* de tênis na maioria dos tipos de vídeos televisivos da modalidade esportiva, tais

como em quadra rápida, grama e saibro. Além disso, o método foi adequado na quantificação da duração dos *rallies* em todos os vídeos analisados.

CAPÍTULO 3 – DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE LINHAS EM VÍDEOS TELEVISIVOS DE TÊNIS DE CAMPO: DESCRIÇÃO DO ALGORITMO, AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E ERRO DE MEDIÇÃO

3.1 Introdução

A análise de vídeos esportivos televisivos tem se tornado cada vez mais frequente sendo, assim, uma das principais fontes de dados para análises de movimento dos atletas (Wang e Parameswaran, 2004; Zhu et al., 2007) e de outros objetos ou implementos móveis dentro de um campo ou quadra de jogo. Estes tipos de vídeos possuem alta disponibilidade, podendo ser acessados e adquiridos através de meios públicos de acesso, como a Internet ou outro tipo de armazenamento de dados, evitando que aquisições e análises dos dados sejam realizados *in loco*, por exemplo.

Além disso, os vídeos televisivos possuem alguns fatores implícitos que podem facilitar e melhorar a qualidade da análise de movimentos, tais como a qualidade do vídeo (imagens de alta definição e das lentes utilizadas nas câmeras), bem como fácil acesso a partidas de alto nível esportivo. Entretanto, os vídeos televisivos possuem algumas características não controláveis, uma vez que a aquisição já foi realizada pelas TVs, tais como movimentos rápidos e arbitrários das câmeras, os quais podem exigir estratégias específicas de calibração, por exemplo. Uma das estratégias de calibração das câmeras baseadas em padrões da quadra de jogo é a homografia, que é um tipo de transformação no qual pode-se correlacionar dimensões reais de um objeto ou volume qualquer (por exemplo, quadra de tênis) com sua projeção estabelecida numa imagem (em pixels). Assim, com a construção da matriz homográfica (H) é possível converter coordenadas de tela (em pixel) em coordenadas reais (por exemplo, em metros) e vice-versa.

Assim sendo, em vídeos esportivos, o uso da homografia é considerada uma importante etapa nas metodologias de análise de movimentos em vídeos esportivos no

qual pode-se obter a posição, em coordenadas do mundo real, de objetos de interesse tais como bolas, implementos e atletas (Farin et al., 2004; Hau e De With, 2007). Desta forma, o desenvolvimento e a implementação de estratégias corretas e adequadas de calibração baseados nas características e padrões da quadra de jogo contidos nos vídeos a serem analisados podem resultar numa medição acurada da posição dos atletas ou jogadores ao longo do tempo, bem como em variáveis cinemáticas derivadas, tais como velocidades e acelerações a cada instante de tempo.

Muitos sistemas robustos de análise de movimentos baseados em vídeos televisivos foram desenvolvidos especificamente para cada modalidade esportiva, tais como basquete (Hu et al., 2011; Tsung-Sheng et al., 2011), futebol (Kim e Hong, 2000; Niu, Gao e Tian, 2012) e tênis de campo (Farin et al., 2004; Han, Farin e De With, 2008; Dang et al., 2010) nos quais a calibração (homografia) é realizada de forma dinâmica de acordo com o movimento das câmeras ao longo do tempo. Além disso, a maioria destes métodos permite com que parâmetros homográficos possam ser obtidos através da extração automática de algumas características padrão dos campos ou das quadras de jogo como a intersecções das linhas, por exemplo.

Em vídeos televisivos de tênis de campo, as câmeras se mantêm estáticas (paradas) na maioria do tempo havendo somente alguns tipos de movimentações padrão em momentos específicos ao longo do jogo (Ling-Yu et al., 2006). Estas movimentações geralmente ocorrem no plano horizontal ou através de efeitos de zoom, alterando os parâmetros extrínsecos e intrínsecos das câmeras. Levando isso em conta, a identificação automática das movimentações da câmera é um importante aspecto que pode ser incorporado às metodologias de calibração dinâmica em vídeos televisivos de tênis de campo. Assim sendo, a calibração (homografia) poderia ser realizada somente em momentos em que há movimentação de câmera evitando, assim, um processamento desnecessário quadro-a-quadro do vídeo a ser analisado.

Portanto, o objetivo deste trabalho é: 1) Propor um método de extração de parâmetros homográficos (calibração) baseado na identificação das linhas da quadra em vídeo televisivos de tênis de campo; 2) detectar automaticamente possíveis movimentações da câmera ao longo dos quadros e; 3) avaliar o método proposto, em

termos de performance computacional e de erro de medição. Este trabalho está organizado de forma a descrever os algoritmos contidos no método proposto, bem como os testes utilizado para avaliar a performance e erro de medição do mesmo.

3.2 Recursos computacionais e obtenção do vídeo

O método de detecção automática de linhas foi totalmente desenvolvido no software Matlab®. Neste trabalho, um vídeo no formato AVI de uma partida profissional completa de tênis de campo foi utilizado (1280x720 pixels, 30 Hz, 135 minutos). Além disso, um computador (Intel® Core2Duo 2.1Ghz, 4Gb RAM, Mac OSX 10.5) foi utilizado no desenvolvimento e aplicação do método proposto.

3.3 Determinação das regiões de busca na imagem (setup)

A primeira etapa do método proposto consiste em definir quais regiões da imagem serão escolhidas na identificação das intersecções das linha. Assim sendo, regiões de interesse (ROI) foram escolhidas de forma manual na primeira imagem com enquadramento de uma quadra de tênis completa (Figura 14). Além disso, a escolha das áreas seguiu uma ordem determinada por um arquivo de referência, previamente construído, contendo as coordenadas do mundo real de uma quadra de tênis.

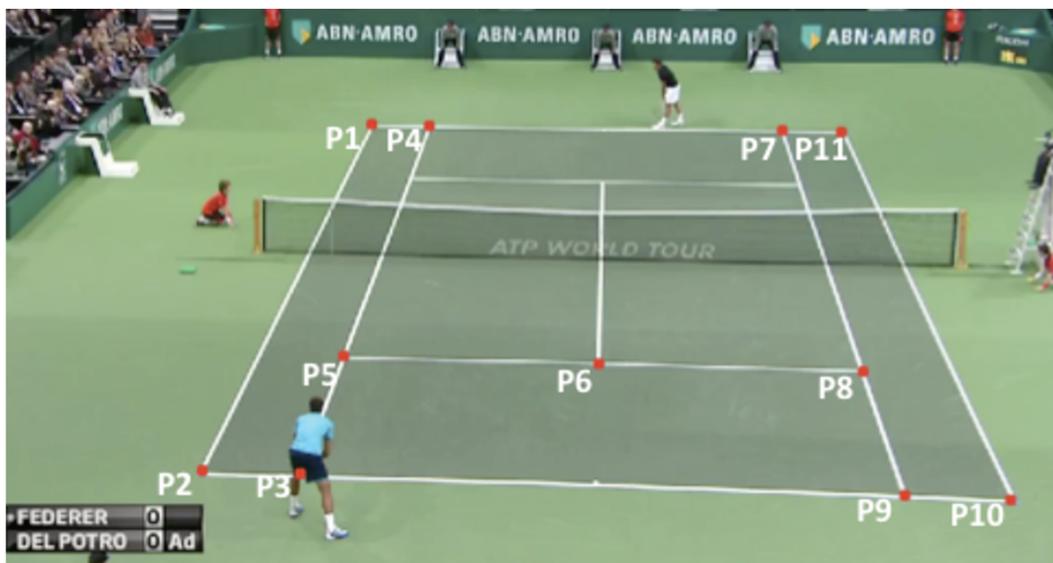


Figura 14 - Regiões de interesse (ROI) da quadra de tênis manualmente escolhidas.

3.4 O algoritmo de identificação das linhas da quadra de tênis

Conforme exposto anteriormente, as linhas da quadra de tênis serviram de referência para a extração de parâmetros homográficos do vídeo a ser analisado. Desta forma, a matriz homográfica (H) pode ser obtida combinando as coordenadas bidimensionais de tela (em pixels) das intersecções das linhas da quadra de tênis com as coordenadas do mundo real (em metros) contidas no arquivo de referências previamente criado e definido.

Assim sendo, o algoritmo proposto (Figura 15) foi capaz de identificar as intersecções das linhas da quadra de tênis em coordenadas de tela (pixels) em cada quadro do vídeos analisado realizando as seguintes seis etapas:

- 1) Seleção manual de 11 regiões de interesse (ROI).
- 2) Binarização das ROI de forma separar as linhas do fundo da quadra.
- 3) Afinamento das linhas a partir das imagens binarizadas.
- 4) Identificação das linhas utilizando a Transformada de Hough (Duda e Hart, 1972).
- 5) Cálculo da intersecção das linhas identificadas na etapa 4.

- 6) Geração da matriz homográfica ($H_{(3 \times 3)}$) a partir das intersecções encontradas em todas as ROI processadas até a etapa 5.

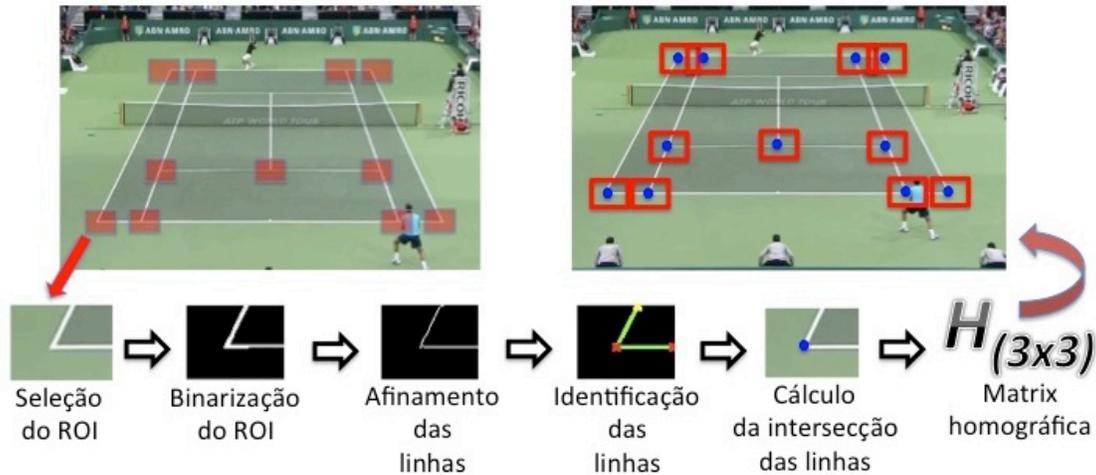


Figura 15 - Esquemática das principais etapas envolvidas do método proposto de identificação das intersecções das linhas da quadra de tênis. A matriz homográfica é construída a partir dos 11 pontos (intersecções) automaticamente identificados pelo algoritmo proposto.

3.4.1 A seleção da região de interesse (ROI)

As 11 regiões de interesse (ROI) foram definidas (60x40 pixels) para cada área passível de ter alguma intersecção de linhas (Figura 16). Dentro desta área, todos os procedimentos e técnicas de processamento de imagens são realizados. O uso de regiões de interesse foi escolhido para evitar que o algoritmo tente identificar intersecções de linhas na imagem inteira, diminuindo o custo computacional. Entretanto, a região de interesse é atualizada cada vez que o algoritmo identifica que houve algum tipo de movimentação da câmera (que será explicada posteriormente). A atualização é feita de acordo com a coordenada (x,y) da intersecção das linhas encontrada no quadro anterior. Desta forma, a coordenada da intersecção das linhas encontrada no quadro anterior foi definida como sendo o ponto médio da ROI a ser construída no quadro corrente. Caso

não haja movimentação da câmera, a ROI possuirá as mesmas coordenadas de origem do quadro anterior.

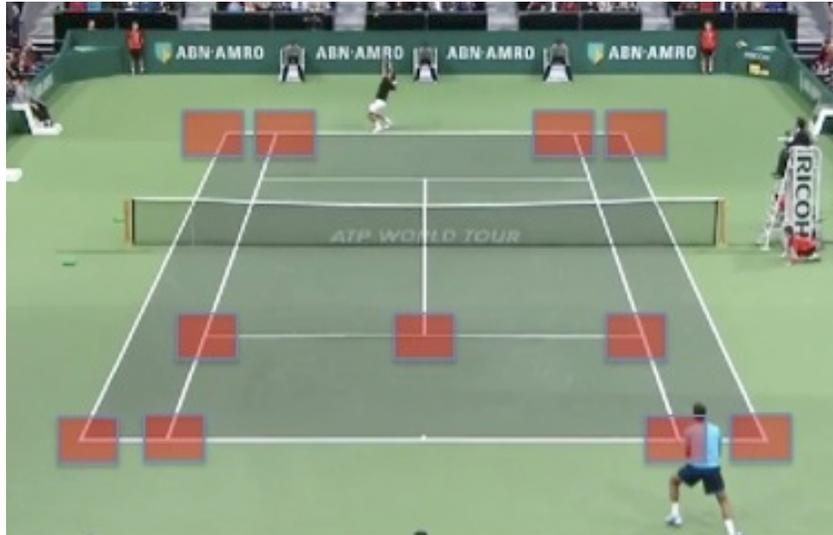


Figura 16 - Etapa de construção das regiões de interesse (ROI). As 11 regiões de interesse neste trabalho estão representadas pelos retângulos vermelhos.

3.4.2 Binarização do ROI

Após a seleção de cada região passível de ter alguma intersecção de linhas na imagem (ROI), o processo de binarização, que é a transformação da imagem nas cores preta e branca, é realizado em cada região de interesse. O processo de binarização permite que as linhas sejam, de certa forma, separadas da imagem de fundo, através do processo de limiarização (equação 3) proposto por Ostu (1979) . Para realizar a binarização, cada ROI foi previamente convertido em imagem em escala de cinza seguido de um filtro passa-altas, conforme mostrado na Figura 17.

$$g(x, y) = \begin{cases} \text{linha} \rightarrow f(x, y) > L \\ \text{fundo} \rightarrow f(x, y) \leq L \end{cases} \quad (3)$$

Em que,

$L \rightarrow$ limiar de binarização

$g \rightarrow$ imagem de saída

$f \rightarrow$ imagem de entrada



Figura 17 - O processo de binarização de cada ROI. Neste momento, a imagem da ROI (a) é transformada numa imagem binária (b).

3.4.3 Afinamento das linhas

O processo de afinamento das linhas visa otimizar o passo posterior de identificação das linhas, que é relativamente oneroso. O objetivo desta etapa é o de basicamente minimizar o número de linhas a serem utilizadas no cálculo da intersecção entre as mesmas. O algoritmo de afinamento das linhas utilizado foi o proposto por Lam et al. (1992) no qual a partir de uma imagem binarizada é gerada uma imagem afinada, conforme mostrado na figura 18.

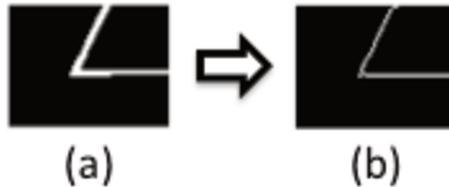


Figura 18 - O processo de afinamento das linhas. A imagem binarizada (a) é transformada numa imagem afinada (b).

3.4.4 Identificação das linhas

A etapa de identificação das linhas tem por objetivo procurar as principais linhas contidas numa imagem binária. O processo de identificação das linhas foi baseado na Transformada de Hough (Duda e Hart, 1972) no qual cada coordenada cartesiana contida na imagem binarizada é transformada em uma coordenada polar, através da equação 4. No caso, o número de pixels que formam cada linha contida numa imagem é armazenado numa espécie de matriz acumuladora bidimensional (ρ, θ) . Assim, as maiores linhas contidas numa imagem possuirão necessariamente os maiores valores na matriz acumuladora.

$$\rho = x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta \quad (4)$$

O valor de ρ representa o comprimento enquanto que θ representa a orientação da norma do vetor que liga a linha da imagem à origem do sistema de coordenadas da própria imagem binarizada. Neste trabalho, para cada ROI construído, as duas maiores linhas foram identificadas usando a Transformada de Hough, conforme mostra a figura 19.

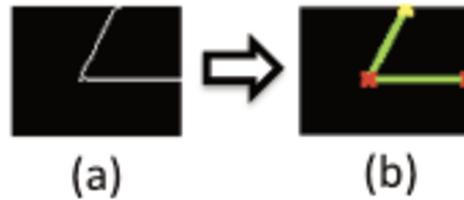


Figura 19 - O processo de identificação das linhas. A partir da imagem afinada (a) foram identificadas as duas principais linhas usando a Transformada de Hough (b).

3.4.5 O cálculo da intersecção das linhas

O cálculo das intersecções das linhas foi baseado nas coordenadas das linhas identificadas na etapa anterior. Assim, as coordenadas (x,y) , em pixels, dos pontos inicial e final de cada linha identificada puderam ser extraídas. A partir dos pontos inicial e final de cada linha identificadas dentro da ROI (x_i, x_f, y_i, y_f) , as equações das retas de cada linha identificada $(y = ax + b)$ puderam ser extraídas através do uso de ajuste polinomial. Desta forma, a coordenada (x',y') da intersecção das linhas $(L1,L2)$ pode ser calculada através do uso dos coeficientes angulares (a) e lineares (b) na forma matricial, conforme mostrado na equação 5.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -a(L1(x_i, x_f, y_i, y_f)) \\ 1 & -a(L2(x_i, x_f, y_i, y_f)) \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} b(L1(x_i, x_f, y_i, y_f)) \\ b(L2(x_i, x_f, y_i, y_f)) \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.4.6 Construção da matriz homográfica (H)

A última etapa do método proposto refere-se à construção da matriz homográfica a partir das 11 intersecções das linhas encontradas de forma automática. O uso da matriz homográfica permite que qualquer coordenada de tela em pixel (x,y) seja convertida em coordenadas do mundo real (X,Y) e vice-versa. Desta forma, o método proposto calcula a

matriz homográfica a partir das coordenadas das intersecções das linhas da quadra de tênis, encontradas de forma automática, com as coordenadas do mundo real da quadra de tênis (coordenadas de referência). A relação entre a matriz homográfica (H), as coordenadas de tela (x,y) e as coordenadas do mundo real (X,Y) pode ser expressa de forma matricial usando coordenadas homogêneas, conforme a equação 6. Portanto, para cada quadro analisado do vídeo televisivo de tênis, é gerada uma matriz homográfica H.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H_{(3x3)} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

3.5 Critérios de descarte de pontos para geração da matriz homográfica

Baseado no modelo da quadra de tênis utilizado neste trabalho, pode haver algumas situações que impeçam a identificação automática correta das intersecções das linhas, o que afeta a geração e extração de parâmetros homográficos (matriz homográfica), tais como: (1) a baixa qualidade das imagens ou; (2) momentos em que o jogador de tênis está sobre uma região de interesse (ROI) onde há intersecção de linhas da quadra. Para ambos os casos, o método proposto consegue descartar intersecções de linhas erroneamente identificadas. O critério para descarte de uma intersecção de linhas é quando a norma (D) entre as coordenadas (x,y) da intersecção de uma mesma ROI encontrada no quadro anterior (i – 1) e no quadro corrente (i) for maior que 25% da norma da diagonal (D_{roi}) da ROI (60x40 pixels), conforme mostrado na equação 7.

$$D = \text{norm}((x_i, y_i) - (x_{i-1}, y_{i-1}))$$

Em que,

(7)

$$\left\{ \begin{array}{l} D > 0.25 * D_{roi} \rightarrow \text{Ponto descartado (DP)} \\ D \leq 0.25 * D_{roi} \rightarrow \text{Ponto incluído (IP)} \end{array} \right.$$

Portanto, o número de intersecções de linhas (N) a serem usadas para a construção da matriz homográfica será a diferença entre o total de intersecções de linhas da quadra de tênis detectadas automaticamente pelo método proposto (T) e o número de intersecções descartados pelo método proposto (ID), conforme a equação 8. O número mínimo de pontos para construção de uma matriz homográfica é 5, a fim de evitar condições de alinhamento de pontos. Caso o número de intersecções de linhas identificadas corretamente seja menor que 5, um novo apontamento manual deve ser realizado na imagem.

$$N = T - ID \quad (8)$$

Em que, $N > 4$

3.6 Identificação de movimento da câmera

Nos vídeos televisivos esportivos, principalmente em tênis de campo, as movimentações das câmeras não são muito frequentes. No tênis, situações específicas durante o partida exigem que a câmera se movimente horizontalmente, alterando principalmente o ângulo *pan* da mesma. Para evitar que todas as intersecções de linhas sejam identificadas a todo momento (quadro a quadro), o método proposto foi desenvolvido para identificar movimentações de câmera. A identificação de movimentação da câmera é baseada na variação da coordenada P1(x,y) em dois quadros subsequentes, conforme mostrado na Figura 20. O ponto P1 foi escolhido devido ao fato o menos ocluído pelos jogadores durante a partida. Caso a coordenada de P1 não sofra nenhuma variação entre o quadro anterior e o quadro corrente, todas as intersecções de linhas identificadas automaticamente, bem como a matriz homográfica gerada no quadro anterior são clonadas para o quadro atual.

Por outro lado, se houve algum tipo de variação das coordenadas de tela de P1 (maior que 2 pixels) entre dois quadros subsequentes, significa que houve movimentação de câmera. Havendo movimentação de câmera, o método proposto tenta identificar todas as intersecções de linhas no quadro corrente.

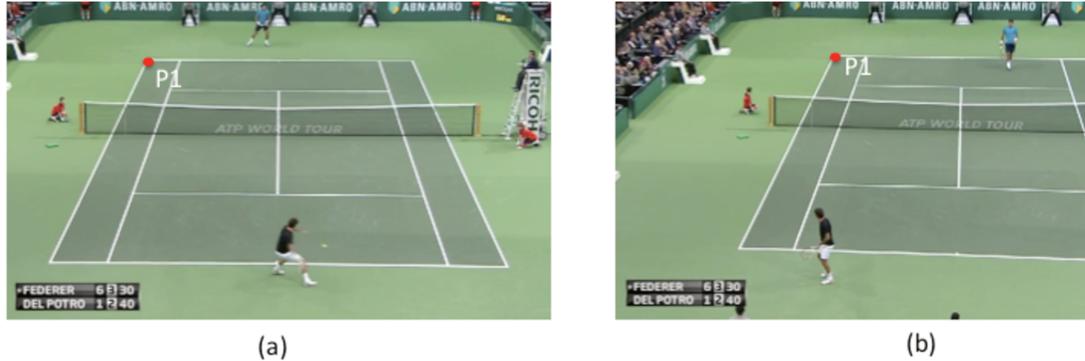


Figura 20 - Exemplo de uma movimentação de câmeras durante um rally de tênis. Quando há movimentação da câmera, as coordenadas de tela (x,y) do ponto P1 são diferentes nos quadros anterior e atual.

3.7 Avaliação de desempenho e de erro de medição

Para avaliar o método proposto, alguns testes de desempenho computacional e de erro de medição foram realizados. Os testes utilizados para avaliar o desempenho computacional foram: (1) tempo de execução do método proposto e; (2) percentual de automatização. Já para avaliar o erro de medição foram realizados os seguintes testes: (1) teste estático de erro de medição; (2) teste dinâmico de erro de medição e; (3) erro acumulado numa sequência de quadros.

3.7.1 Tempo de execução do método proposto

O tempo gasto, em segundos, para executar o método de detecção de detecção automática da intersecção das linhas da quadra de tênis foi calculado pelo tempo médio de processamento por quadro e por cada área de interesse (ROI) contida na imagem, conforme mostrado na equação 9. A variável t é o tempo necessário para processar um quadro, enquanto que N é o total de quadros processados.

$$T(s) = \frac{\sum_{i=1}^N t}{N} \quad (9)$$

3.7.2 Percentual de automatização

Para avaliar o grau de automatização do método proposto, foram calculados o percentual dos três modos execução do método proposto: (1) modo completo; (2) modo otimizado e; (3) modo manual.

O modo de execução completo é utilizado quando o método proposto identifica que houve uma movimentação de câmera entre quadros subsequentes (vide item 3.6). Neste caso, o método tentará identificar todas as intersecções de linhas possíveis no quadro corrente de forma automática.

O modo otimizado é também um modo de execução automático utilizado quando o método proposto identifica que não houve movimentação de câmeras. Neste caso, todas as intersecções de linhas identificadas no quadro anterior são clonadas para o quadro corrente (vide detalhes no item 3.6).

Já o modo manual trata-se do momento em que o método proposto não foi capaz de identificar o número mínimo de ponto para a construção da matriz homográfica.

O percentual de automatização para cada modo de execução foi calculado utilizando a equação 10. A variável NQ representa o número de quadros processados por um dos três modos de execução (completo, otimizado ou manual) e TQ é o total de quadros processados do vídeo analisado.

$$P(\%) = \frac{NQ}{TQ} \quad (10)$$

3.7.4 Teste estático de erro de medição

O teste estático de erro de medição tem por objetivo validar o critério estabelecido pelo algoritmo para determinar momentos em que não houve movimentação

de câmara. Para isso, um quadro aleatório foi escolhido para ser calibrado. Além disso, foram utilizados quatro pontos para o cálculo da homografia P_k ($k=[1,..4]$) e cinco pontos de controle C_n ($n=[1,..,5]$) para medição dos erros, conforme mostrado na Figura 21. O cálculo do erro de medição (a) usado foi $a = \sqrt{b^2 + p^2}$ (Chiari et al., 2005), onde b é viés médio e p a precisão média obtidas no teste.

O algoritmo de aplicação do teste estático seguiu as seguintes etapas:

- 1) Aplicação do algoritmo proposto para a detecção das coordenadas (x,y) das intersecções P_k ($k=[1,..,4]$) e geração da matriz homográfica H para um quadro aleatório F.
- 2) Reprojeção dos pontos de controle C_n ($n=[1,..,5]$), em coordenadas de tela, utilizando a matriz homográfica H.
- 3) Obtenção das coordenadas reais (em metros) dos pontos C_n ($n=[1..5]$) utilizando a matriz H obtida no passo 1.
- 4) Incremento de i pixels (i inicial = -2) nas coordenadas (x,y) de um ponto P_k e geração da matriz homográfica alterada H' .
- 5) Reprojeção dos pontos de controle C_n' ($n'=[1,..,5]$), em coordenadas de tela, utilizando a matriz homográfica H' .
- 6) Obtenção das coordenadas reais (em metros) dos pontos C_n' ($n'=[1,..,5]$) utilizando a matriz H obtida no passo 1.
- 7) Cálculo da diferença absoluta (viés) entre as coordenadas do mundo real (em metros) de C_n e C_n' .
- 8) Incremento de 1 no valor de i .
- 9) Repetição das etapas 4, 5, 6, 7 até que $i = 2$.

O algoritmo de teste anteriormente detalhado foi aplicado para cada ponto de calibração. Além disso, o algoritmo também foi aplicado alterando as coordenadas (x,y), simultaneamente, nos quatro pontos de calibração.

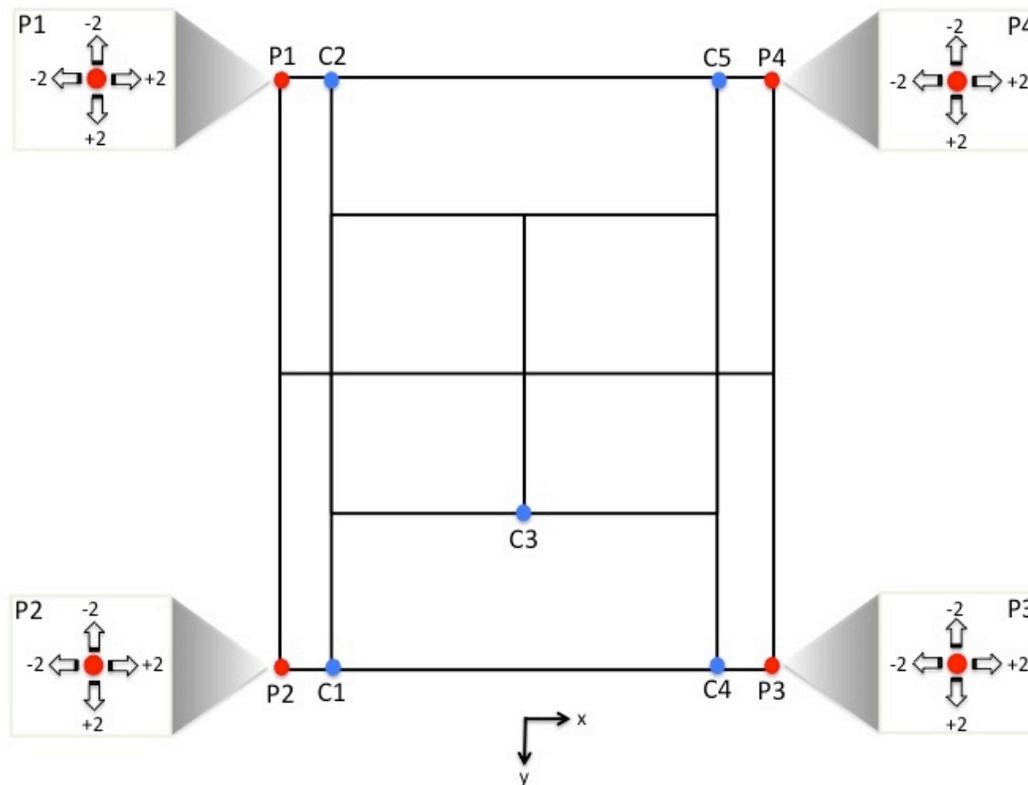


Figura 21 - Pontos de calibração (P_k) e pontos de controle (C_n) utilizados no teste estático de validação da homografia.

3.7.5 Teste de erro de medição dinâmico

O teste de erro de medição dinâmico visa quantificar os erros gerados pelo método proposto em um conjunto de quadros previamente selecionados, levando em consideração todas as movimentações que a câmera possa ter feito ao longo do tempo. Desta forma, um conjunto de 522 quadros correspondentes a um *rally* foi selecionado através de busca aleatória na relação de *rallies* identificados automaticamente (vide item 3.6.1).

Assim sendo, o protocolo adotado para o teste dinâmico foi a realização da identificação automática das intersecções das linhas da quadra de tênis utilizando-se de quatro a oito pontos para a geração da homografia (PH_n) e três pontos fixos de controle (PC_n), conforme os modelos mostrados na Figura 22. Para o modelo de quatro pontos de

homografia não foi utilizado o critério de descarte de pontos que foram descritos no item 3.5.

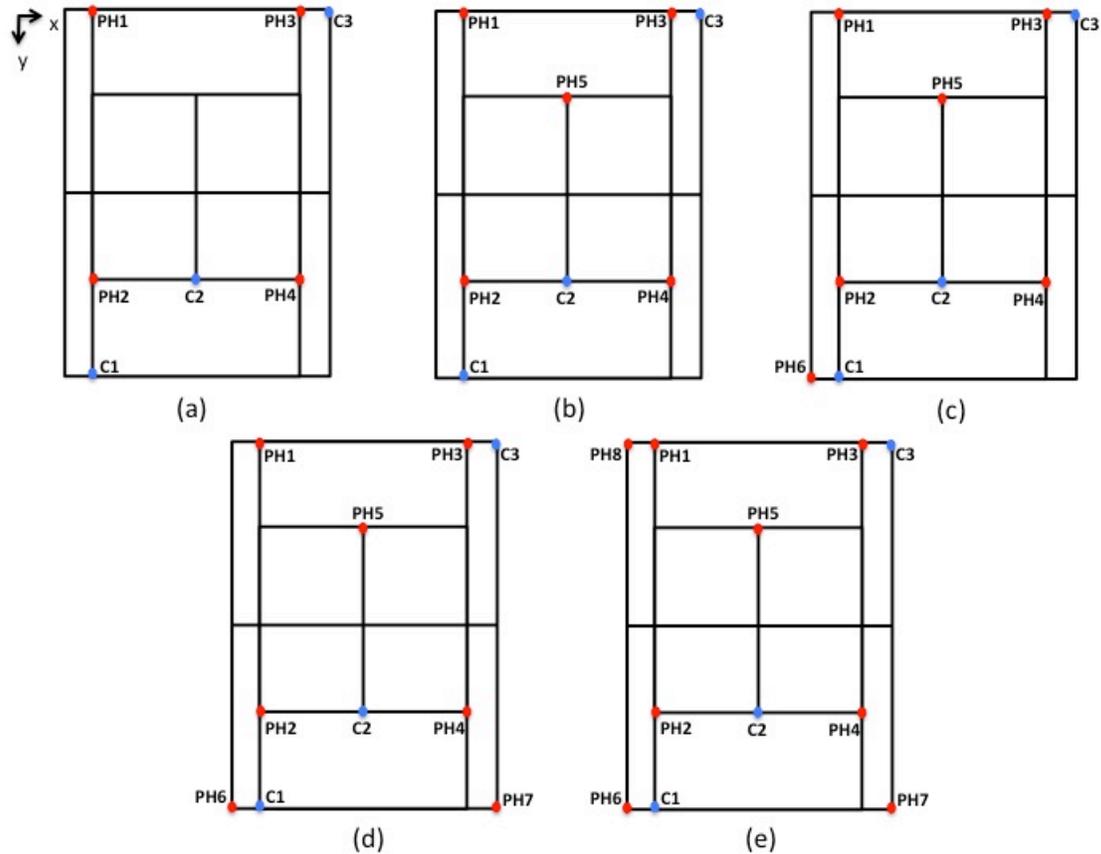


Figura 22 - Modelos com quatro (a), cinco (b), seis (c), sete (d) e oito (e) pontos de homografia (PH n) utilizados no teste dinâmico de erro de medição. Para todos os modelos utilizados, três pontos de controle (PC n) foram pré-selecionados.

O erro de medição (a) dos pontos de controle, que é a diferença entre o valor medido e o valor esperado (Inmetro, 2012), foi calculado usando a fórmula $a = \sqrt{b^2 + p^2}$ (Chiari et al., 2005), sendo o viés (b) a média das diferenças, em metros, entre as medidas das coordenadas do modelo utilizado pelo métodos proposto (11 pontos de homografia) e os modelos utilizados no teste dinâmico (de 4 a 8 pontos de homografia), e a precisão (p), o desvio padrão das medidas obtidas.

3.7.6 Análise de erros acumulados por pontos de controle

A análise de erros acumulados visa quantificar a propagação dos erros, em *pixels*, gerados pelo método proposto numa situação dinâmica, em que pode haver movimentação de câmera. Para a realização do teste, foi utilizada a mesma sequência de quadros (522 quadros) e a mesma configuração de pontos de homografia (de 4 a 8 pontos) e controle utilizados no teste de erro de medição dinâmico (vide item 3.6.5).

3.8 Resultados experimentais

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados da seguinte forma: (1) tempo de execução do algoritmo; (2) número de movimentações de câmera; (3) percentual de automatização na detecção de intersecções; (4) teste estático de erro de medição; (5) teste dinâmico de erro de medição e; (6) análise dos erros acumulados.

3.8.1 Tempo de execução do algoritmo

Para os 57.244 quadros relativos aos *rallies* detectados automaticamente, o tempo de execução do algoritmo de detecção das intersecções das linhas da quadra de tênis por quadro foi de $0,68 \pm 0,09$ segundos. O tempo gasto pelo algoritmo para a detecção de cada intersecção em cada quadro foi de $0,06 \pm 0,01$ segundos.

3.8.2 Número de movimentações de câmera identificadas

O fato de o algoritmo estar preparado para lidar com situações onde não há movimentação de câmera permite a extração do número de movimentações de câmera que ocorreram ao longo do tempo. Assim sendo, o tempo médio de movimentação

contínua da câmera foi de $0,53 \pm 0,83$ segundos. O tempo máximo de movimentação foi de 6,21 segundos.

3.8.3 Percentual de automatização na detecção de intersecções de linhas

A tabela 6 mostra um resumo do número de quadros cujo algoritmo foi executado no modo completo (encontrando todas as intersecções), otimizado (identificando movimentações e reaproveitando os pontos do quadro anterior) e manual (quando não foi possível obter o número mínimo de pontos para a construção da matriz homográfica). Uma breve análise da tabela permite inferir que a câmera esteve parada na maioria dos momentos do jogo. Além disso, foi possível inferir o percentual de automatização da identificação das intersecções das linhas da quadra de tênis do vídeo analisado (99,98%).

Tabela 6. Sumário dos tipos de execução do algoritmo de detecção de intersecção de linhas

Tipo de Detecção	Modo de Execução	Número Quadros Processados	Quadros Processados (%)
Automático	Completo	19641	34,31
Automático	Otimizado	37592	65,67
Manual	Manual	11	0,02
Total		57244	100

3.8.4 Teste de erro de medição estático

A tabela 7 mostra os erros das coordenadas reais de todos os pontos de controle utilizados, para cada alteração do ponto de homografia. Os valores estão em centímetros.

Tabela 7. Média dos erros (média \pm desvio padrão) das coordenadas reais dos pontos de controle C_n ($n=[1,\dots,5]$), simulando-se a variação das coordenadas de cada ponto de calibração P_k ($k=[1,\dots,4]$).

Ponto	$\overline{C1}$ (cm)	$\overline{C2}$ (cm)	$\overline{C3}$ (cm)	$\overline{C4}$ (cm)	$\overline{C5}$ (cm)
P1	0,74 \pm 0,44	1,36 \pm 0,67	2,33 \pm 1,16	2,02 \pm 1,01	0,74 \pm 0,44
P2	5,01 \pm 2,20	0,25 \pm 0,15	2,65 \pm 1,43	0,25 \pm 0,15	0,79 \pm 0,37
P3	0,79 \pm 0,37	0,25 \pm 0,15	2,63 \pm 1,42	0,25 \pm 0,15	5,00 \pm 2,19
P4	0,74 \pm 0,44	2,03 \pm 1,02	2,34 \pm 1,37	1,36 \pm 0,67	0,74 \pm 0,44
PT ¹	5,65 \pm 2,45	15,06 \pm 7,70	7,44 \pm 3,35	15,59 \pm 7,69	5,65 \pm 2,44

¹ PT refere-se à situação na qual houve a variação simultânea das coordenadas, em pixels, de todos os pontos de calibração utilizados (P1,...,P5).

A Figura 23 mostra os erros médios obtidos em cada ponto de controle utilizados no teste estático. O erro de medição obtido no teste estático foi de 2,26 cm.

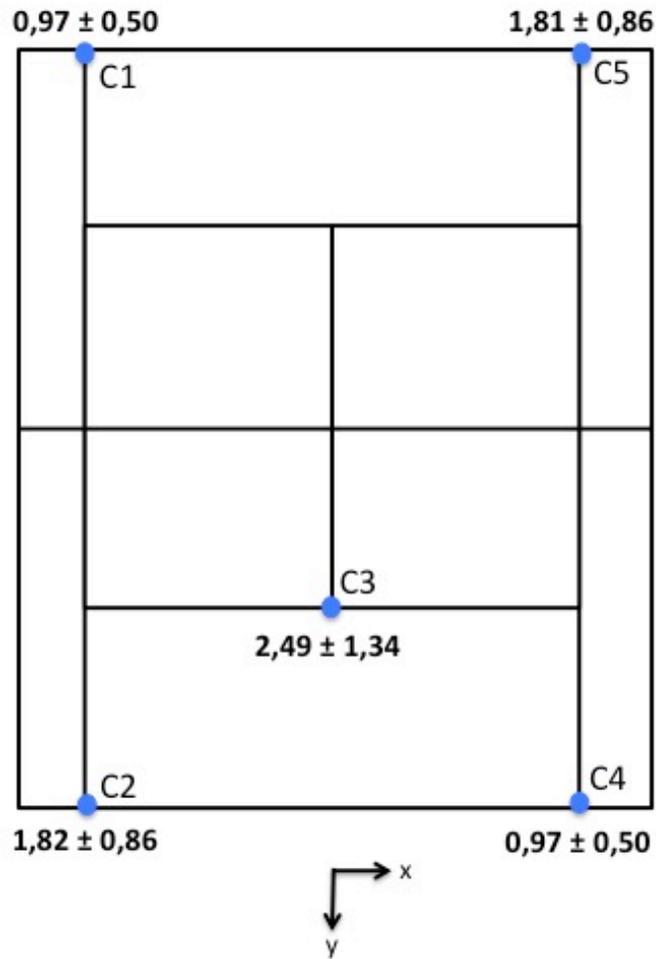


Figura 23 – Erros médios (viés \pm precisão) dos cinco pontos de controle utilizados no teste estático. Os valores estão em centímetros.

3.8.5 Teste de erro de medição dinâmico

A tabela 8 mostra o erro de medição (erro médio \pm desvio padrão) de cada ponto de controle e para cada modelo de homografia utilizado no teste de erro de medição dinâmico.

Tabela 8. Erro de medição (média \pm desvio padrão) dos pontos de controle PC n para cada modelo de homografia utilizado (de 4 até 8 pontos).

Pontos			
homografia	$\overline{C1}$ (cm)	$\overline{C2}$ (cm)	$\overline{C3}$ (cm)
4 pontos	47,0 \pm 105,0	61,0 \pm 129,0	102,0 \pm 205,0
5 pontos	35,0 \pm 63,0	21,0 \pm 41,0	17,0 \pm 28,0
6 pontos	7,0 \pm 9,0	7,0 \pm 10,0	14,0 \pm 27,0
7 pontos	3,0 \pm 4,0	4,0 \pm 3,0	7,0 \pm 6,0
8 pontos	4,0 \pm 4,0	4,0 \pm 3,0	7,0 \pm 6,0

A Figura 24 mostra o erro de medição médio (erro médio \pm desvio padrão) por ponto de controle utilizado. Para o cálculo do erro de medição, todos os modelos de pontos de homografia foram considerados. O erro de medição média do teste dinâmico foi de 23 cm.

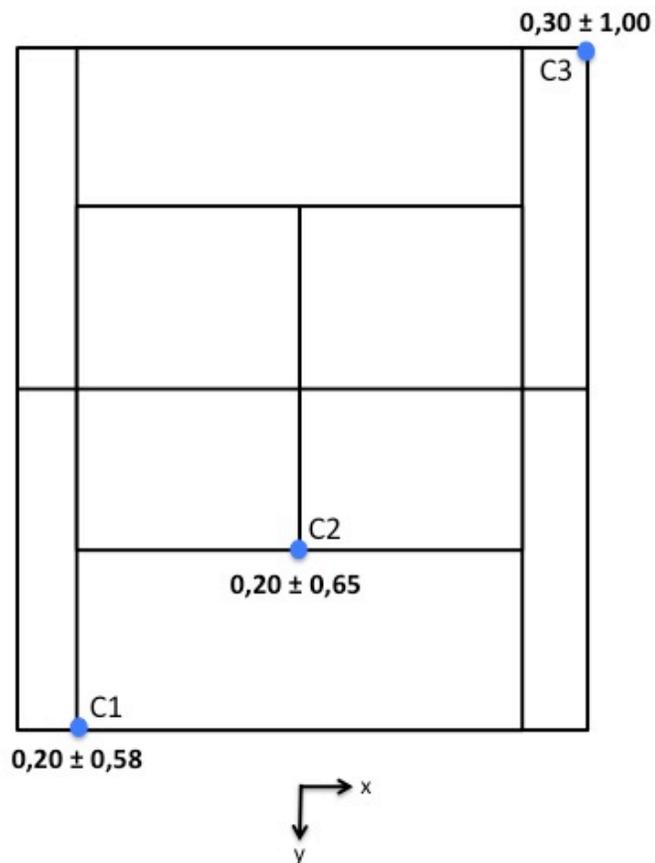


Figura 24 – Erros médios (viés ± precisão) dos pontos de controle utilizados no teste dinâmico. Os valores estão em metros.

3.8.6 Análise dos erros acumulados dos pontos de controle

A figura 25 mostra a média dos erros acumulados das coordenadas, em pixels, de todos os pontos de controle (PCn) para cada modelo de homografia utilizado. Vale ressaltar que para o modelo com quatro pontos de homografia não foi utilizado o descarte automático de pontos, o que justifica o aumento desproporcional do erro se comparado aos outros modelos de homografia. A tabela 9 mostra os erros acumulados e os erros gerados por quadro processado das homografias obtidas por cada modelo considerado no teste.

Tabela 9. Média dos erros acumulados e dos erros gerados por quadro das coordenadas dos pontos de controle

Pontos homografia	Erro acumulado (pixels)	Erro por quadro (pixels)
4 pontos	6042	11,6
5 pontos	1596	3,1
6 pontos	669	1,3
7 pontos	371	0,7
8 pontos	373	0,7

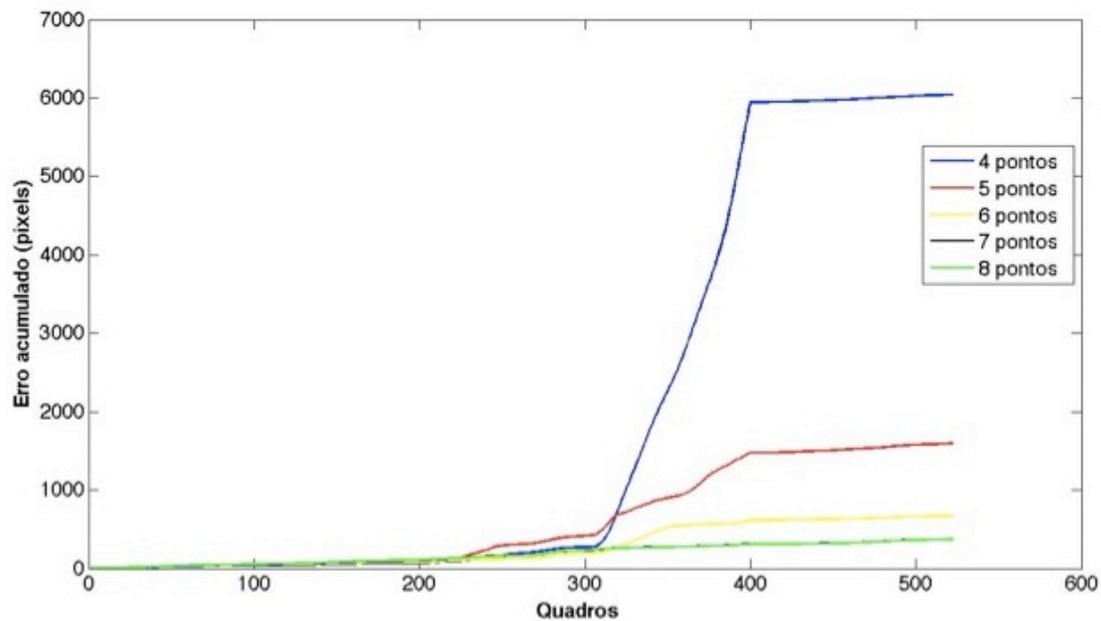


Figura 25 – Erro acumulado médio das coordenadas, em pixels, dos pontos de controle, quando aplicado o teste com quatro, cinco, seis, sete e oito pontos na construção da matriz homográfica, ao longo de uma sequência de quadros referente a um *rally*.

3.9 Discussão

Neste estudo, um novo método de calibração dinâmica (homografia) baseado na identificação automática das intersecções das linhas da quadra de jogo foi proposto e aplicado em um vídeo televisivo de tênis de campo. Além disso, o método foi otimizado de modo a identificar automaticamente possíveis movimentações da câmera ao longo dos quadros, diminuindo o tempo de execução dos algoritmos contidos no método.

Os resultados mostraram que o método possui alto percentual de automatização (99,98%) na identificação das intersecções das linhas da quadra de tênis e consequente geração de matrizes homográficas para cada quadro. Além disso, o percentual de automatização foi similar a vários estudos nos quais se utilizaram de técnicas parecidas de calibração em vídeos esportivos (Farin et al., 2004; Dang et al., 2010; Niu, Gao e Tian, 2012). Com relação à detecção dos movimentos da câmera, a porcentagem de quadros identificados como movimentação de câmera (34,38%) pelo método proposto indica que, no vídeo televisivo analisado, a situação estática (câmera parada) é a mais frequente durante a partida, o que corrobora com a caracterização de vídeos televisivos de tênis feita por Liang-Yu et al. (2006).

O teste estático de erro de medição revelou que pequenas variações de pixels em pontos utilizados para geração da matriz homográfica não afetaram significativamente o erro de medição do método de calibração dinâmica proposto. As variações de até ± 2 pixels em cada ponto usado na geração da matriz homográfica implicou em um erro médio de 2,26 cm na determinação de pontos da quadra de tênis, o que representa aproximadamente 45% da largura de uma linha da quadra de tênis (5 cm). O erro médio obtido neste estudo revelou ser mais acurado que a maioria dos métodos de calibração de vídeos esportivos baseados em câmera fixa, como os 20,00 cm encontrados por Barros et al. (2011) em quadra de handball e os 16,00 cm encontrados por Alcock et al. (2009) no futebol e por Vieira (2011) no tênis de campo. Além disso, as variações de até ± 2 pixels em todos os pontos de calibração de forma simultânea implicou num erro de medição menor na determinação das posições dos pontos da quadra de tênis (9,98 cm), porém, sendo ainda mais acurado que os estudos similares anteriormente citados.

Os resultados apresentados no teste dinâmico de erro de medição demonstraram que, numa sequência de quadros em que houve movimentações por parte da câmera, a melhora do erro de medição do método de calibração está diretamente relacionado com o aumento do número de pontos de calibração utilizados para a geração da matriz de homografia, principalmente a partir do uso de 6 pontos de calibração. Isso corrobora com os estudos realizados por Chen et al. (1994) e Brandão et al. (2010) no qual obteve-se, para um mesmo volume de calibração, menores erros de medição quando utilizado um maior número de pontos de calibração. Além disso, nota-se que o erro de medição dos pontos de controle utilizados é maior quanto mais distantes estes mesmos pontos estão da câmera (20 cm para o pontos mais próximo e 30 cm para o ponto mais distante). Isso se deve principalmente ao fato de haver maior sensibilidade a variações de pixels em pontos mais distantes ao enquadramento da câmera.

Por fim, a análise dos erros acumulados na determinação dos pontos de controle da quadra revelaram também ser menores para homografias geradas a partir de um maior número de pontos, principalmente a partir dos modelos de 6 pontos de calibração, onde houve controle de inclusão ou descarte de pontos para a geração da matriz homográfica. Ao longo de 522 quadros, os menores erros acumulados (aproximadamente 372 pixels) foram obtidos com modelos de 7 e 8 pontos de calibração, sendo que a margem de erro por quadro processado foi menor que 1 pixel. Tal fato sugere que o modelo de 11 pontos de calibração utilizado para análise do vídeo inteiro pode ser o mais acurado e confiável, uma vez que foi o número máximo de intersecções das linhas da quadra que pôde ser selecionado neste estudo para a calibração.

Entretanto, vale ressaltar que o método proposto precisa ainda ser testado em vídeos de diferentes tipos de transmissões televisivas com diferentes enquadramentos da quadra de jogo a fim de identificar possíveis gargalos e melhorias nos algoritmos computacionais, bem como nos níveis de erro de medição alcançados neste trabalho.

3.10 Conclusão

O método de calibração por identificação de intersecções de linhas mostrou ser viável, com alto nível de automatização e com erro de medição satisfatório

em vídeos televisivos de tênis de campo, sendo de grande valia para futuras análises de movimentações de jogadores de tênis de campo.

Além disso, a otimização do método para identificação de movimentações da câmera permitiu um maior desempenho e menor oneração computacional no processamento dos quadros do vídeo analisado.

CAPÍTULO 4 – RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO EM VÍDEOS TELEVISIVOS

4.1 Introdução

A busca crescente por informações relativas à dinâmica tanto dos esportes coletivos quanto aos individuais, tem levado a um aumento na demanda de desenvolvimento de metodologias que consigam detectar e interpretar automaticamente as principais ações dos jogadores durante uma partida. Além disso, os sistemas de análise de movimentos de jogadores podem obter, de forma automática, informações de grande relevância à análise biomecânica, tais como as variáveis cinemáticas, descritas pelas distâncias percorridas, velocidades e acelerações realizadas pelos jogadores.

Um dos métodos para análise automática de movimentos de jogadores mais utilizados é a videogrametria, no qual, através do uso de câmeras de vídeo e de computadores, consegue-se obter a posição dos jogadores ao longo do tempo, permitindo a extração de variáveis cinemáticas derivadas, como as velocidades e as acelerações (Misuta, 2009). Utilizando-se da videogrametria, muitos sistemas de rastreamento de jogadores surgiram com o intuito de extrair informações biomecânicas nas mais diversas modalidades, como o futebol (Needham e Boyle, 2001; Figueroa, Leite e Barros, 2006b; a; Di Salvo et al., 2007; Alcock, Hunter e Brown, 2009), handebol (Pers e Kovacic, 2001; Barros et al., 2011), basquete (Hu et al., 2011), tênis de campo (Bloom e Bradley, 2003; Teachabarikiti, Chalidabhongse e Thammano, 2010) , e em esporte adaptados, como o rúgbi em cadeira de rodas (Sarro et al., 2010).

Entretanto, os métodos citados anteriormente exigem com que a aquisição do vídeo seja realizado *in loco*, com câmeras fixadas em pontos estratégicos nos locais de realização dos jogos. Nestes tipos de métodos, a obtenção e rastreamento dos jogadores são feitas através de técnicas de processamento de imagens específicas, como a segmentação, que basicamente separa objetos móveis (jogadores, bolas, etc.) de objetos imóveis (quadra, campo, etc.).

Diante das limitações inerentes a aquisição de vídeos realizadas *in loco*, atualmente vídeos gerados por transmissões de TV tornaram-se uma das fontes

alternativas para extração de informações biomecânicas. Além disso, várias características favoráveis estão embarcadas nestes tipos de vídeos, tais como qualidade dos vídeos (vídeos em alta definição, uso de câmeras e lentes profissionais, etc.), fácil acesso a jogos de alto nível e alta disponibilidade destes vídeos em meios público de acesso, como a Internet. Porém, ao lidar com vídeos de TV, alguns problemas são tidos como desafios para o desenvolvimento de novas metodologias de rastreamento automáticos de jogadores, tais como a perda de informações pertinentes ao jogo e movimentações arbitrárias das câmeras durante a partida, exigindo estratégias específicas de calibração do vídeos, bem como a de obtenção e rastreamento automático dos jogadores ao longo do tempo.

Mais precisamente no tênis de campo, alguns métodos de rastreamento de jogadores, baseados em vídeos televisivos, foram desenvolvidos (Zhu et al., 2006; Bao et al., 2010; Dang et al., 2010). Para a obtenção de um mesmo jogador ao longo do tempo, tais métodos se utilizaram tanto de técnicas de processamento de imagens, como a comparação dos histogramas dos uniformes dos jogadores, quanto técnicas de visão computacional baseados em aprendizagem de máquina, como Adaboost (Freund e Schapire, 1997). Porém, tais técnicas exigem um tempo de processamento considerável para popular o banco de dados com modelos que serão utilizados para o treinamento dos computadores a fim de detectar automaticamente os jogadores nos vídeos.

Portanto, o objetivo deste trabalho é propor um método de rastreamento de jogadores de tênis de campo em vídeos televisivos, baseados na calibração dinâmica do vídeo e identificação do jogador baseado em modelos dos uniformes. O trabalho está dividido na descrição do método proposto, avaliação de performance computacional e exemplos aplicação do método.

4.2 Recursos computacionais e obtenção do vídeo

O método de rastreamento proposto foi totalmente desenvolvido no software Matlab®. Neste trabalho, um vídeo no formato AVI de uma partida profissional completa de tênis de campo foi utilizado (1280x720 pixels, 30 Hz, 135 minutos). Além disso, um

computador (Intel® Core2Duo 2.1Ghz, 4Gb RAM, Mac OSX 10.5) foi utilizado no desenvolvimento e aplicação do método proposto.

4.3 O algoritmo de rastreamento automático de jogadores de tênis

O método proposto para rastrear automaticamente jogadores de tênis a partir de vídeos televisivos é composto por cinco etapas: 1) calibração dinâmica do vídeo a ser analisado (capítulo 3); 2) Obtenção do histograma RGB do uniforme dos jogadores; 3) determinação da região de interesse (ROI) para busca dos jogadores; 4) identificação dos jogadores no ROI; 4) cálculo da projeção dos jogadores. A Figura 26 mostra o esquema do algoritmo de rastreamento dos jogadores.

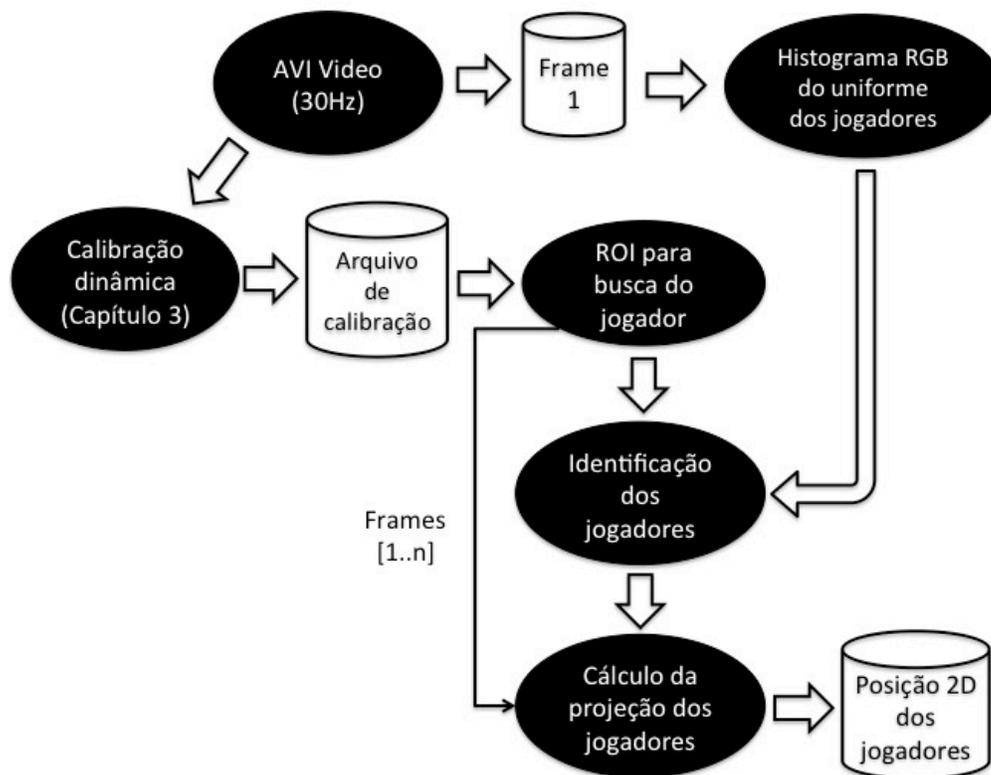


Figura 26 – Esquema geral do algoritmo de rastreamento de jogadores de tênis

4.3.1 Calibração dinâmica

Antes do rastreamento de cada jogador, cada quadro do vídeo analisado foi calibrado, através do método de detecção de intersecções das linhas da quadra, explorado em detalhes no capítulo 3. O arquivo de calibração é necessário para determinar, em medidas do mundo real, o tamanho da região de interesse (ROI) que será utilizada para a busca do jogador da imagem. A correspondência em pixels das coordenadas para a construção da ROI é feita através do uso da matriz homográfica.

4.3.2 Obtenção do histograma RGB do uniforme dos jogadores

O objetivo desta etapa é o de basicamente extrair a partir de um quadro qualquer do vídeo analisado, características dos jogadores que possam servir de base de comparação para a posterior busca e identificação dos jogadores em uma região de interesse (ROI). No caso, a característica mais específica de um jogador são as cores dos uniformes. Portanto, neste trabalho, os modelos dos uniformes dos jogadores foram previamente selecionados no primeiro quadro de um *rally* (Figura 27), sendo estes bases para identificação dos mesmos ao longo dos quadros.

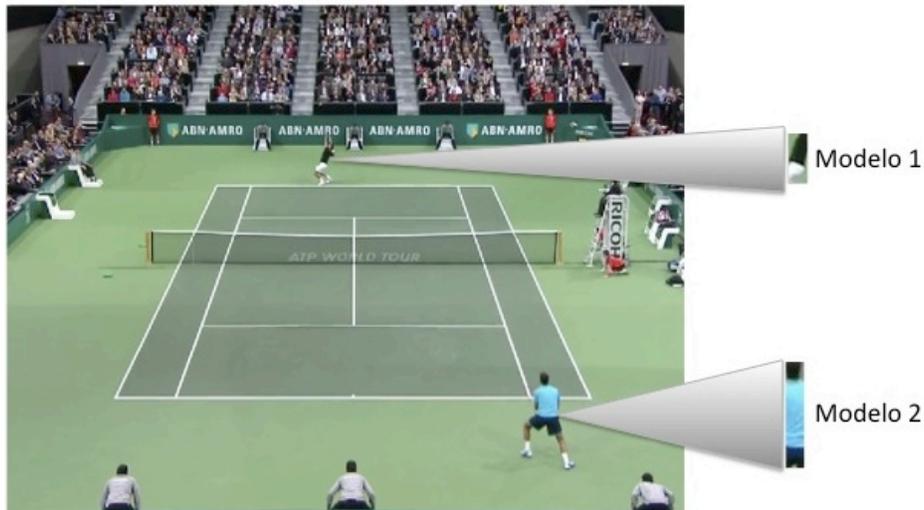


Figura 27 – Seleção dos modelos dos uniformes dos jogadores no quadro inicial de um rally.

Após a seleção dos modelos dos uniformes, os histogramas RGB foram devidamente extraídos, conforme mostrados na Figura 28. Desta forma, os histogramas extraídos servirão de base numérica de comparação na região de interesse (ROI).

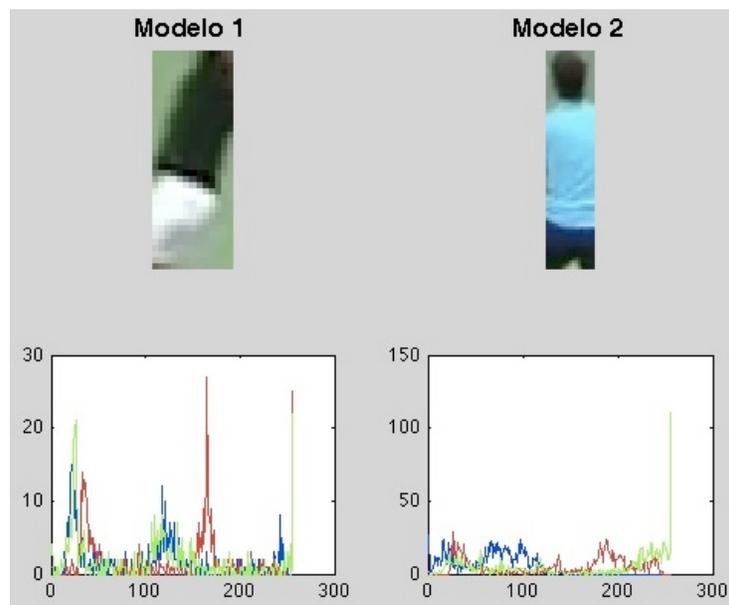


Figura 28 – Extração do histograma RGB de modelo do uniforme de cada jogador.

4.3.3 Determinação da região de interesse (ROI) para a busca dos jogadores

Nesta etapa do método proposto, uma região de interesse foi pré-determinada para a posterior busca dos jogadores na imagem. A partir da posição (x,y) do jogador encontrado no quadro anterior, do arquivo de calibração e de dimensões, em medidas reais, fixas e pré-determinadas (2 metros de comprimento e 2,5 metros de largura), foram estimadas a largura e o comprimento, em pixels, da ROI a ser utilizada no processo de rastreamento no quadro corrente. Apesar dos valores fixos das medidas reais, o tamanho da ROI, em pixels, pode variar de acordo com a posição do jogador da imagem. Assim sendo, quanto mais distante do jogador estiver da câmera, menor serão as dimensões, em pixels, da região de interesse (ROI), conforme mostra a Figura 29. Além disso, a ROI é atualizada a cada quadro processado de acordo com posição jogador encontrado no quadro anterior.

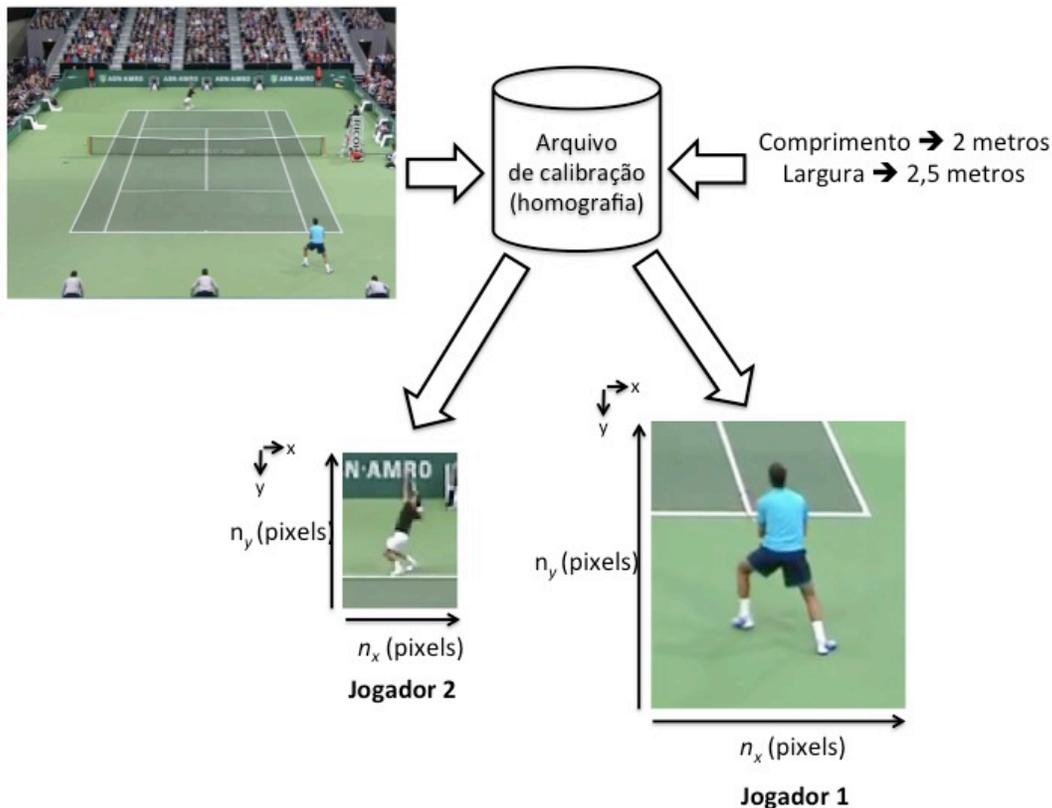


Figura 29 – Região de interesse (ROI) para busca de um jogador determinada a partir do arquivo de calibração. Nota-se que, para as mesmas medidas reais, em metros, as dimensões da ROI, em pixels, são maiores quando o jogador está localizado próximo à câmera (Jogador 1) e menores quando mais distantes (Jogador 2).

4.3.4 Identificação dos jogadores na ROI

Após a definição da região de interesse (ROI) a ser utilizada, a busca do jogador é realizada por comparações do histograma do modelo do uniforme do jogador com sub-regiões da ROI, formando uma matriz de correlações, conforme mostrado na Figura 30. O número de sub-regiões é proporcional às dimensões da ROI e do modelo a ser comparado. No caso, o número de linhas de sub-regiões será a razão entre os comprimentos (eixo y) das imagens da ROI e do modelo do uniforme do jogador (Figura 30).

O modo de comparação utilizado foi o cálculo da correlação de Pearson (Zar, 1999) para cada região. Desta forma, a sub-região que possuir maior correlação com o histograma do uniforme do jogador, necessariamente corresponderá ao jogador na ROI.

Nota-se que a posição encontrada é a estimativa do ponto médio da região delimitada pelo uniforme do jogador na imagem.

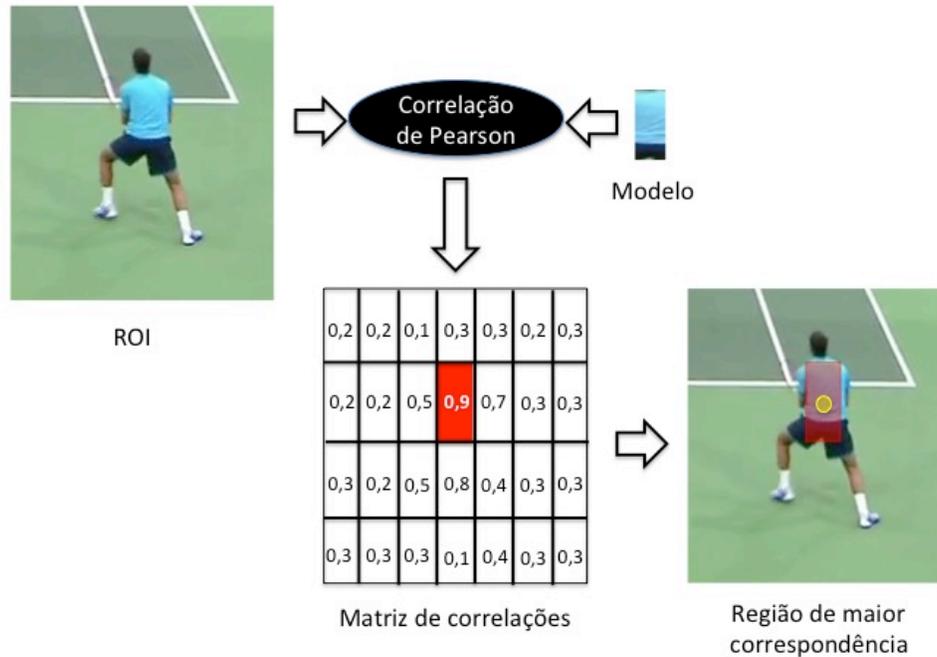


Figura 30 – Processo de identificação da sub-região da ROI correspondente ao jogador. A região com maior coeficiente de correlação (em vermelho) corresponderá ao jogador.

4.3.5 Cálculo da projeção dos jogadores

Na etapa anterior, a região de maior correspondência com o modelo do uniforme do jogador foi selecionado. Entretanto, assume-se que a posição encontrada representa, a partir do modelo pré-definido, como a posição média do uniforme do jogador. Desta forma, para a obtenção da posição bidimensional do jogador ao longo dos quadros, faz-se necessário determinar o ponto ideal para mensuração. No caso deste trabalho, a região localizada entre os pés do jogador é a que melhor representa o deslocamento efetuado pelo mesmo ao longo do tempo.

Para determinar a projeção do jogador na quadra de tênis, foi calculado primeiramente o ponto de fuga da quadra de tênis. Levando em conta o enquadramento padrão da quadra de tênis em transmissões televisivas, a ponto de fuga (PF) foi obtido através do cálculo da intersecção (equação 11) das linhas L1, formado pelos pontos P1(x,y) e P2(x,y), e L2, formado pelos pontos P10(x,y) e P11(x,y), conforme mostrado na Figura 31.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -a(L1(P1, P2)) \\ 1 & -a(L2(P10, P11)) \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} b(L1(P1, P2)) \\ b(L2(P10, P11)) \end{bmatrix} \quad (11)$$

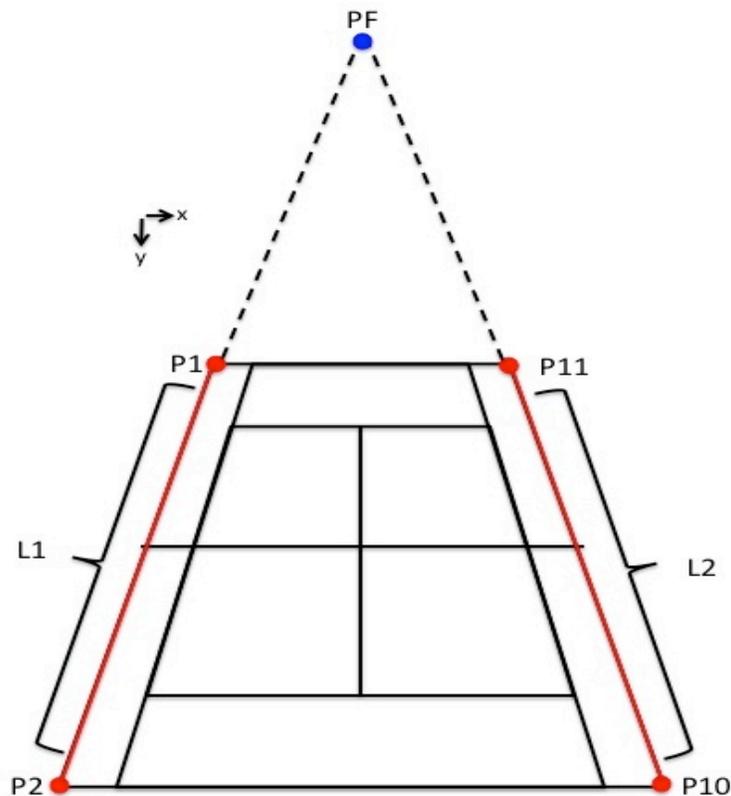


Figura 31 – Representação do ponto de fuga do enquadramento da quadra de tênis.

Com a determinação das coordenadas 2D do ponto de fuga (PF) das linhas L1 e L2 da quadra de tênis identificadas na imagem, é possível determinar segmentos de reta a partir de PF. Além disso, a razão (R) entre dois segmentos quaisquer a partir de PF são

invariantes (Plastok, Kalley e Teixeira, 1991), independentemente da perspectiva da quadra de tênis na imagem. Portanto, pode-se dizer que a razão entre os segmentos de reta formados pelos pontos PF e a projeção do jogador na quadra (entre os pés) do jogador (\overline{PFB}) com PF e o ponto correspondente ao ponto médio do uniforme do jogador (\overline{PFA}) são invariantes na imagem, conforme mostrado na Figura 32. Uma vez que R é constante, a mesma pode ser calculada somente uma vez em qualquer quadro em que haja uma visão completa da quadra de tênis.

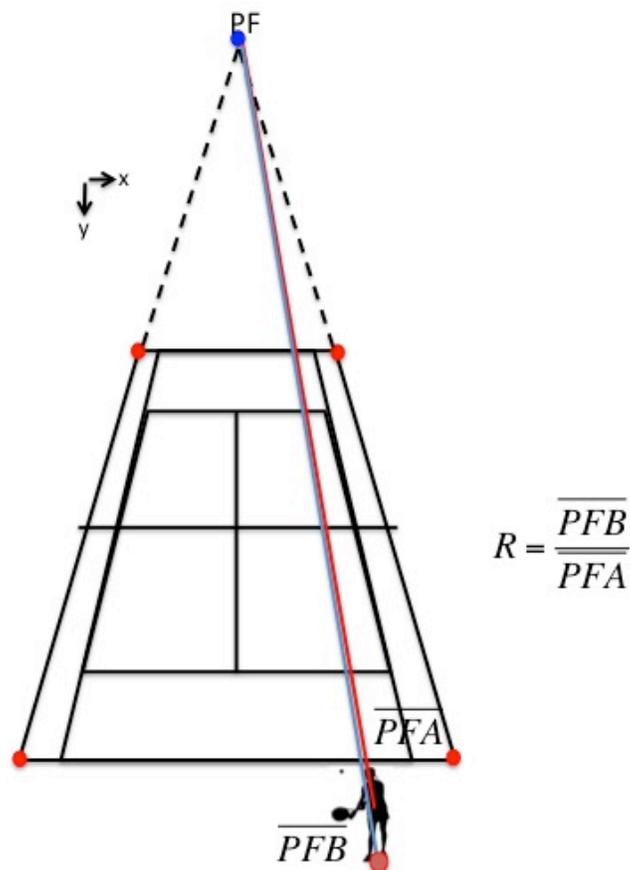


Figura 32 – Modelo para determinação da projeção do jogador na quadra de tênis. O razão entre a distância do ponto médio do uniforme do jogador até o ponto de fuga (PFA) e a distância da projeção do mesmo até o ponto de fuga (PFB) é constante.

Desta forma, as coordenadas 2D da projeção do jogador (PJ) foram estimadas através do uso equação 12 abaixo.

$$PJ(x, y) = (J(x), J(y) * R) \quad (12)$$

Em que,

PJ → posição 2D estimada da projeção do jogador

J → posição 2D do ponto médio da região correspondente ao uniforme do jogador

R → razão entre distância da projeção do jogador e o ponto de fuga com a distância do centro da região do uniforme do jogador e o ponto de fuga.

4.4 Avaliação de desempenho e de erro de medição

Para avaliar o método proposto, alguns testes de desempenho computacional e de erro de medição, que é a diferença entre o valor medido e o valor esperado (Inmetro, 2012), foram realizados neste trabalho.

4.4.1 Avaliação de desempenho computacional

Os testes utilizados para avaliar o desempenho computacional foram os cálculos do percentual de automatização e do tempo de execução do método proposto.

O percentual de automatização foi calculado utilizando a equação 13. A variável n representa o número de quadros processados automaticamente e N é o total de quadros processados do vídeo analisado.

$$P_{auto} = \frac{n}{N} * 100 \quad (13)$$

O tempo médio, em segundos, para executar o método de rastreamento automático de jogadores de tênis foi calculado pelo tempo médio de processamento por quadro, conforme mostrado na equação 14. A variável t é o tempo necessário para processar um quadro, enquanto que N é o total de quadros processados.

$$T(s) = \frac{\sum_{i=1}^N t}{N} \quad (14)$$

4.4.2 Avaliação de erro de medição

Para a avaliação do erro de medição do método de rastreamento proposto foram realizados o teste de análise regressão linear e o cálculo do RMS para as coordenadas (x,y) obtidas pelos métodos manual e automático.

A análise de regressão linear tem por objetivo avaliar o grau de concordância entre as posições dos jogadores (x,y) na quadra obtidas entre o método proposto e método manual (padrão ouro). Para isso, um trecho do vídeo contendo um *rally* completo que foi aleatoriamente escolhido (522 quadros). Além de ter sido feita para cada coordenada (x,y), a regressão linear foi aplicada em cada lado da quadra a fim de que se obtenha o grau de concordância das posições (x,y) dos jogadores tanto no lado mais próximo à câmera (lado 1) quanto no lado mais afastado da câmera (lado 2).

Para avaliar as incertezas envolvidas na determinação da posição dos jogadores pelo método proposto, foi calculado o RMS (Zar, 1999), conforme mostrado na equação 15, das coordenadas das posições de cada jogador (localizados no lado1 e lado 2 respectivamente) obtidas pelos métodos proposto (automático) e manual.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |m_i - m'_i|^2}{N}} \quad (15)$$

Em que,

$$1 \leq j \leq N$$

O variável N refere-se ao número de quadros analisado, m à medida obtida pelo método proposto, m' à medida obtida pelo método automático.

4.5 Aplicação do método proposto

Além da avaliação, alguns exemplos de aplicação do método proposto de rastreamento foram realizados. As coordenadas bidimensionais dos jogadores foram suavizadas através de um filtro digital passa-baixas Butterworth, com uma frequência de corte de 0,1 Hz. O primeiro exemplo foi a realização da análise cinemática dos jogadores por *game* disputado, ou seja, a obtenção das distâncias percorridas, bem como as variáveis derivadas, como a velocidade média.

Além das variáveis cinemáticas, as áreas de ocupação de cada jogador em cada lado da quadra foram construídas a fim de verificar a dinâmica de movimentação dos mesmos ao longo do tempo.

4.6 Resultados experimentais

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados da seguinte forma: (1) percentual de automatização e tempo de execução do método proposto; (2) comparação do rastreamento automático e manual e; (3) aplicação do método proposto.

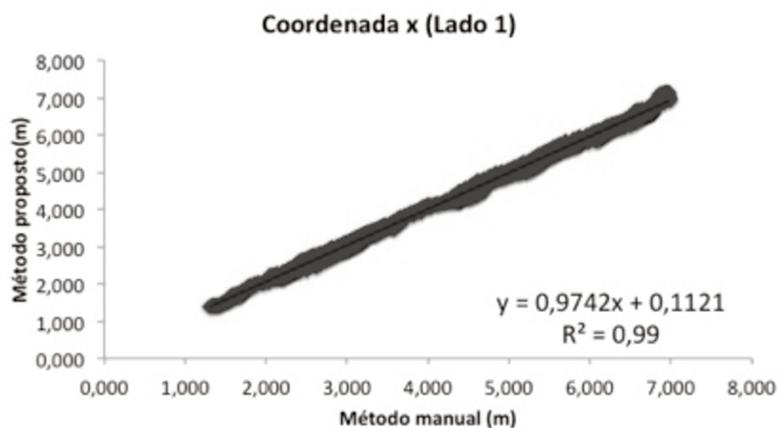
4.6.1 Desempenho computacional

Do total de 57.244 quadros do vídeo analisado pelo método proposto (1280x720 pixels, 30 Hz, 135 minutos, 2 *sets*, 17 *games*), 219 quadros foram processados de forma manual, sendo necessárias 12 intervenções por parte do operador. O número médio de quadros processados manualmente por intervenção foi 18 e o tempo médio das intervenções manuais foi de aproximadamente 15 segundos/intervenção. O percentual de automatização de 99,62% na identificação e rastreamento dos jogadores.

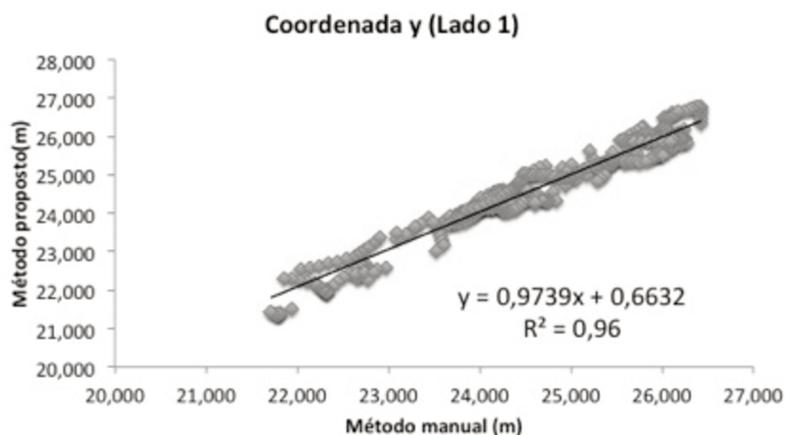
O tempo total de processamento do vídeo analisado foi de aproximadamente 33 horas, sendo que o tempo de processamento por quadro analisado foi de aproximadamente 0,83 segundos.

4.6.2 Avaliação do erro de medição

As Figuras 33a e 33b mostram a análise de regressão das coordenadas x e y entre o método proposto e o método manual utilizando um conjunto de quadros que representavam um *rally* completo (522 quadros) no lado 1 (mais próximo à câmera). Já as Figuras 34a e 34b mostram o mesmo tipo de análise para o lado 2 (mais afastado da câmera).



(a)



(b)

Figura 33– Regressão linear das coordenadas x (Figura a) e y (Figura b) dos métodos manual (padrão ouro) e automático (proposto) no lado 1 da quadra de tênis. Os valores estão em metros.

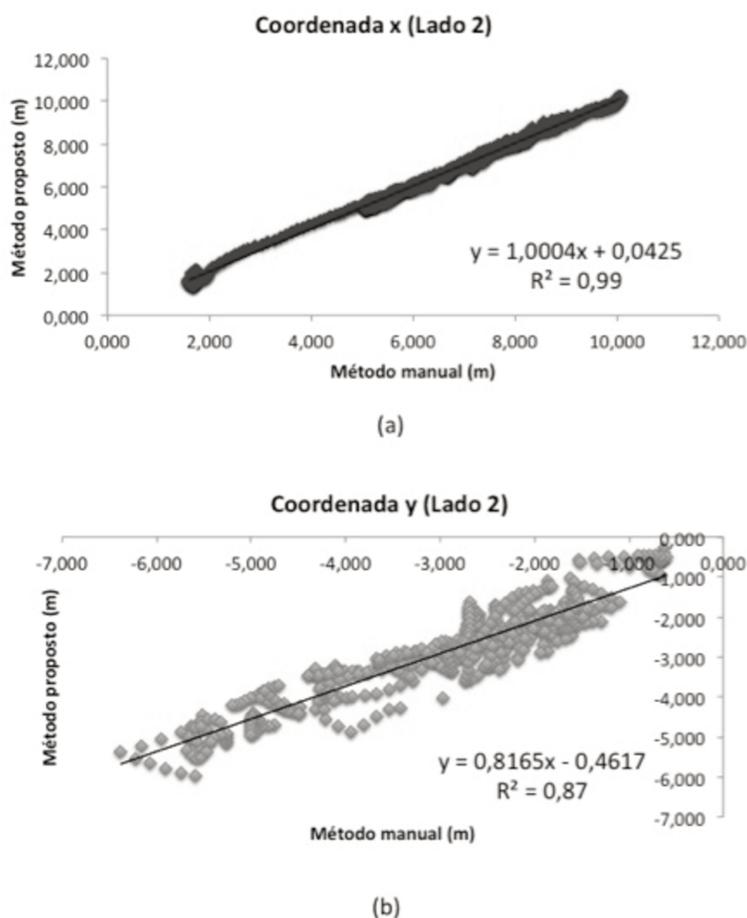


Figura 34 - Regressão linear das coordenadas x (Figura a) e y (Figura b) dos métodos manual (padrão ouro) e automático (proposto) no lado 2 da quadra de tênis. Os valores estão em metros.

Para o lado 1 (mais próximo à câmera), o R^2 foi de aproximadamente 0,99 para a coordenada x e de 0,96 para a coordenada y, conforme mostrado nas Figuras 33a e 33b. Já para o lado 2 (mais afastado da câmera), o R^2 foi de 0,99 para a coordenada x e 0,87 para a coordenada y, conforme mostrado nas Figuras 34a e 34b. Estes números comprovam que, para ambos os lados da quadra, os dados experimentais utilizados para a análise se ajustam ao modelo linear, confirmando a hipótese de correlação entre os valores medidos pelos métodos proposto (automático) e o manual.

A Figura 35 mostra o erro envolvido (RMS) em cada coordenada (x,y) da quadra (em perspectiva) do método proposto na medição da posição (x,y) dos jogadores em comparação ao método manual de rastreamento (padrão ouro) para ambos os lados da

quadra. O RMS total ($x + y$) obtido para o lado 2, o mais afastado da câmera, foi de aproximadamente 64 cm e para o lado 1, o mais próximo à câmera, foi de aproximadamente 45 cm.

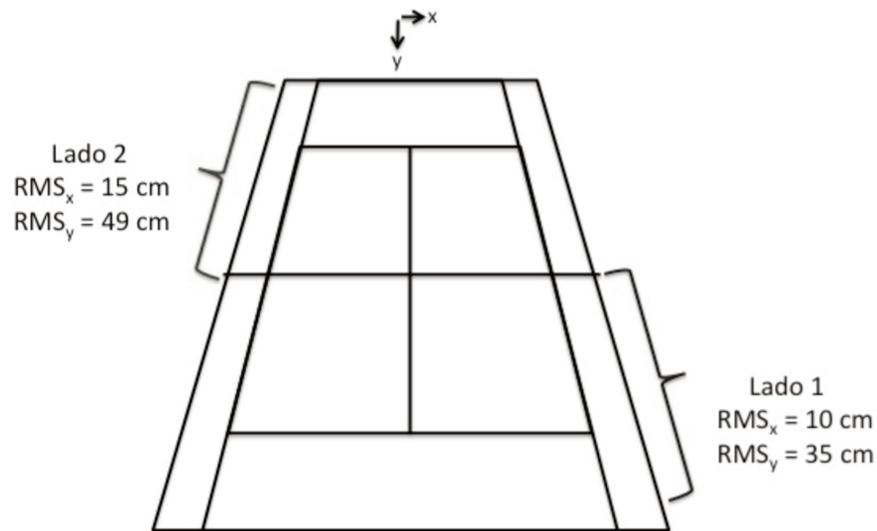


Figura 35 – Incertezas envolvidas na determinação da posição dos jogadores em cada lado da quadra de tênis para cada coordenada (x,y). Os valores estão em centímetros.

4.6.4 Aplicação do método proposto

A tabela 10 abaixo representa a análise cinemática da partida inteira (distribuída por *game* disputado) dos dois jogadores analisados neste trabalho. A distância total percorrida pelo jogador 1 foi de 2961,2 metros ($174,2 \pm 73,2$ m/*game*). Já o jogador 2 percorreu aproximadamente 2678,8 metros ($157,6 \pm 48,0$ m/*game*).

Tabela 10. Distribuição por *game* disputado das distâncias percorridas e velocidades realizadas pelos jogadores durante a partida.

<i>Set/ Game</i>	Jogador 1		Jogador 2	
	Distância	Vel.	Distância	Vel.
	Percorrida	Média	Percorrida	Média
	(m)	(km/h)	(m)	(km/h)
1/1	305,0	4,2	233,5	3,1
1/2	123,9	4,2	163,0	4,9
1/3	201,8	6,5	127,1	4,3
1/4	119,0	5,2	106,2	5,0
1/5	67,8	3,9	62,4	3,2
1/6	108,1	3,4	122,8	4,1
1/7	216,2	6,1	137,7	4,1
2/1	135,5	3,8	216,6	4,7
2/2	203,1	5,9	104,3	5,4
2/3	83,3	4,0	96,7	4,9
2/4	144,4	2,9	141,5	4,2
2/5	138,0	3,8	124,5	3,7
2/6	323,8	3,8	242,3	4,2
2/7	89,8	5,6	132,3	5,0
2/8	192,0	3,6	178,5	3,5
2/9	115,2	4,5	128,0	4,6
2/10	134,5	7,2	67,0	4,3
Média	157,2 ± 70,1	4,6 ± 1,2	142,6 ± 51,2	4,2 ± 0,7
Total	2838,4		2566,6	

A Figura 36 mostra a distribuição dos dois jogadores analisados durante a partida. A área de ocupação é representada nos dois lados da quadra para cada jogador devido à mudança periódica de lado da quadra realizada pelos jogadores ao longo da partida. As sub-regiões da quadra mais avermelhadas representam os espaços em que os jogadores permaneceram por mais tempo durante a partida ao passo que as sub-regiões de

cores mais próximas ao azul representam espaços onde a presença dos jogadores foi menor ao longo do tempo.

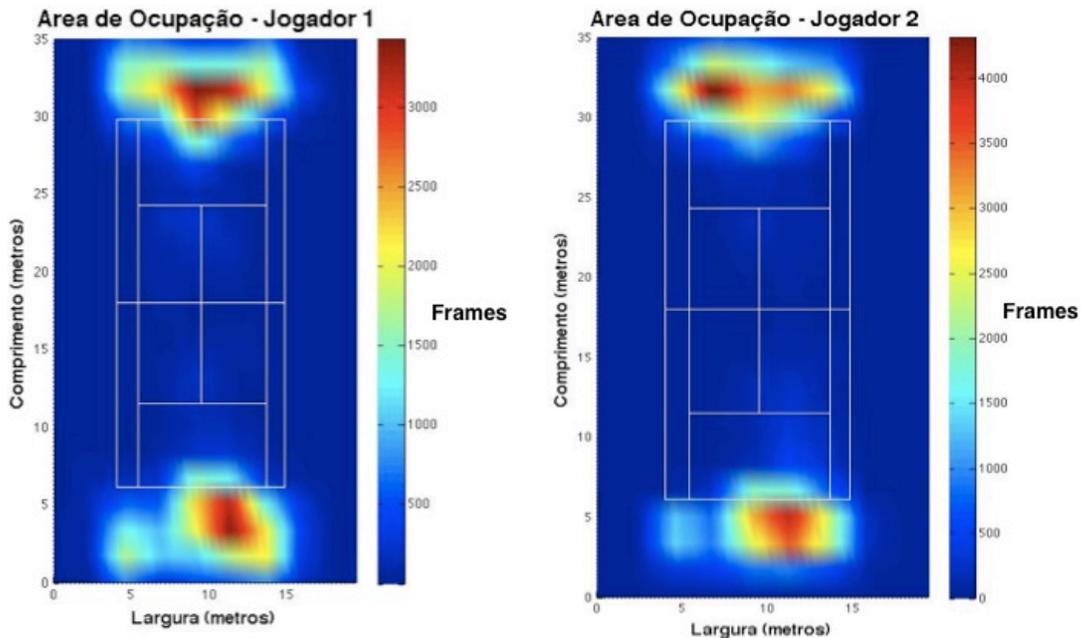


Figura 36 – Áreas da quadra de tênis ocupadas pelos jogadores durante a partida. As áreas mais avermelhadas são as mais ocupadas e as mais próximas a cor azul as menos ocupadas.

4.7 Discussão

Neste estudo, um método de rastreamento automático de jogadores de tênis de campo baseado na identificação automática dos uniformes dos jogadores foi proposto e aplicado em um vídeo televisivo de tênis de campo. Além disso, o método se baseou em parâmetros homográficos (perspectiva) gerados na calibração dinâmica para estimar a projeção dos jogadores na quadra de jogo.

Os resultados apresentados neste trabalho mostraram que o método proposto possui um alto nível de automatização (99,62%), sendo este maior que os 87,5% encontrados por Dang et al. (2010) e muito similar aos 99% encontrados por Han et al.

(2005). Apesar de ocorrerem com menor frequência, as fontes de erro na identificação automática e consequente falha no rastreamento dos jogadores podem ser descritas basicamente em dois momentos: (1) desaparecimento dos jogadores do enquadramento da câmera e; (2) situações de movimentações rápidas da câmera. A primeira situação de erro se deve basicamente ao fato de não haver sub-região da área de interesse com correlação suficiente para haver o reconhecimento automático do uniforme do jogador pelo método proposto. Entretanto, tal situação pode ser futuramente resolvida com técnicas de extrapolação da posição dos jogadores, desde que ocorra num período reduzido de tempo. Já a segunda fonte de erro de rastreamento citada é devido principalmente aos erros propagados pela calibração dinâmica, uma vez que movimentações rápidas de câmera impactam na identificação correta das intersecções das linhas da quadra, afetando a construção correta da matriz homográfica (vide capítulo 3). Apesar de não ter sido efetivamente avaliado neste trabalho, a construção incorreta da matriz homográfica pode, de certa forma, implicar diretamente na determinação incorreta da região de interesse onde está possivelmente localizado o jogador, uma vez que a construção da região de interesse é baseada em parâmetros homográficos da imagem da quadra.

As incertezas envolvidas (RMS) na determinação da posição dos jogadores do método proposto, quando comparado ao método manual (padrão ouro) demonstraram que ser maiores no lado 2, que está mais distante da câmera (RMS total = 64 cm) , ao passo no lado da quadra mais próximo à câmera (lado 1) os valores de RMS foram menores (RMS total = 45 cm). Isso se deve principalmente ao fato de haver maior sensibilidade a variações de pixels em pontos mais distantes ao enquadramento da câmera. Além disso, os valores de RMS obtidos neste trabalho, foram menores que os encontrados em métodos de rastreamento de jogadores desenvolvidos e aplicados em diversos esportes em vídeos coletados *in loco*, como o futebol (Needham e Boyle, 2001; Misuta, 2009), entretanto, os erros na determinação da posição dos jogadores no método proposto ainda são maiores quando comparados a ambientes com dimensões de quadra similares, como o handball (Pers e Kovacic, 2001; Barros et al., 2011). Entretanto, os erros na determinação da posição dos jogadores obtidos neste trabalho podem ser considerados baixos se comparados às dimensões da quadra de tênis (5,8% da largura e

2,7% do comprimento para o lado mais distante da câmera e 4,1% da largura e 1,9% do comprimento para o lado mais próximo à câmera). Além disso, para ambos os lados da quadra, a análise de regressão linear mostrou que o método proposto de rastreamento automático possui alta correlação com o método manual ($R^2_x = 0,99$ e $R^2_y = 0,96$ para o lado 1 e $R^2_x = 0,99$ e $R^2_y = 0,87$ para o lado 2).

Os resultados relativos à análise cinemática, tais como as distâncias percorridas e as velocidades médias fornecidas neste trabalho mostraram ser de grande interesse para compreender melhor as exigências físicas e táticas dos jogadores durante uma partida de tênis, a partir de vídeos televisivos obtidos através da internet. Além disso, as áreas de ocupação dos jogadores na quadra de tênis obtidas neste trabalho, ao contrário da representação por trajetórias amplamente abordados por vários estudos (Figuerola, Leite e Barros, 2006b; Sarro et al., 2010; Barros et al., 2011), pode ser considerada a forma de representação mais adequada, levando-se em conta a modalidade e ao tipo de vídeo analisado, pois a mesma não sofre interferências de descontinuidades e perdas de quadros, que são típicos de vídeos esportivos televisivos. Apesar da sugestão apontada neste trabalho, pesquisas aplicadas deverão futuramente estar pautadas na elaboração e avaliação de formas mais adequadas e úteis de representação gráfica das posições dos jogadores de tênis ao longo do tempo, levando-se em conta todas as características já embarcadas dos vídeos televisivos.

Entretanto, vale ressaltar que o método proposto foi avaliado sob algumas condições ou limitações previamente estabelecidas, tais como: a) o método proposto foi testado apenas em um tipo de quadra, iluminação e enquadramento de câmeras; b) o método proposto não possui ainda meios computacionais que garantam a continuidade do rastreamento automático (por exemplo, quando o jogador “desaparece” da câmera); d) a definição correta da região de busca (ROI) do jogador ainda é dependente da qualidade da calibração do vídeo e; c) o rastreamento não é realizado em tempo real.

Portanto, apesar do conveniente uso do método proposto em vídeos televisivos para extração automática de dados cinemáticos, seu uso deve ser testado futuramente em um número maior de partidas de tênis, sob condições de iluminação e

enquadramento diferentes a fim de que se possa identificar outras situações que possam afetar o desempenho do método ou sua aplicabilidade.

4.8 Conclusão

O método proposto neste trabalho foi eficaz para rastrear os movimentos dos jogadores de tênis na quadra durante o jogo, mostrando-se viável para a extração de informações biomecânicas a partir de vídeos televisivos. Os resultados apresentados neste trabalho também mostraram que o método proposto é válido e com uma elevado nível de automatização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo propor um método de análise de movimentação de jogadores de tênis de campo a partir de câmeras fixas pré-calibradas, bem como a partir de vídeos televisivos.

Os resultados obtidos no primeiro capítulo revelaram que o método de rastreamento de jogadores de tênis de campo desenvolvido a partir uso de câmeras fixas previamente calibradas foi válido, confiável e com alto nível de automatização. Além disso, os níveis de erro de medição obtidos tanto na calibração quanto na determinação da posição dos jogadores foram satisfatórios e adequados quando comparados aos estudos semelhantes encontrados na literatura.

Visando sanar as discontinuidades e situações não controladas que são típicas em vídeos televisivos, o segundo capítulo procurou propor um método de detecção automática somente de cenas consideradas relevantes para análises cinemáticas em tênis de campo: os *rallies*. Além disso, o estudo procurou aplicar o método em vídeos de partidas realizadas em diferentes tipos de pisos. Os resultados obtidos neste capítulo revelaram ser válidos e com bom desempenho na detecção de *rallies* de tênis em todos os tipos de vídeos televisivos utilizados no estudo. O método foi adequado, ainda, na determinação da duração dos *rallies* em todos os vídeos analisados.

Já o terceiro capítulo teve por objetivo propor um método de calibração que se adequasse às movimentações arbitrárias realizadas pelas câmeras dos vídeos televisivos de tênis de campo, baseando-se na identificação automática das intersecções das linhas da quadra de jogo em cada quadro. Os resultados mostraram que o método proposto possui alto nível de automatização, além de possuir níveis de erro de medição semelhantes aos métodos de câmera fixa, tanto nas situações estáticas (sem movimentação de câmeras) quanto nas dinâmicas (com movimentação de câmeras).

Por fim, no quarto capítulo um método de rastreamento de jogadores de tênis de campo foi proposto, baseado na identificação dos mesmos sob uma região de interesse construída a partir da matriz homográfica gerada através do método desenvolvido e abordado em detalhes no capítulo 3. Os resultados mostrados também mostraram um alto nível de automatização, com erros de medição da posição dos jogadores um pouco

maiores se comparado aos métodos de rastreamento desenvolvidos para câmeras fixas. Porém, o erro comparado às dimensões da quadra de tênis pode ser considerado baixo, ficando abaixo dos 8% para largura e comprimento da mesma.

Levando-se em conta os resultados obtidos neste trabalho, estudos futuros deverão estar pautados principalmente em:

- Desenvolvimento/otimização dos algoritmos de seleção de trechos de vídeos que sejam de interesse para análise cinemática (*rallies*) de forma a minimizar mais os casos de falsos positivos e falsos negativos.
- Melhorias nos algoritmos de identificação das intersecções das linhas, de forma com que o processo seja mais automático, efetivo e com menor oneração computacional.
- Aplicação do método de rastreamento de jogadores proposto neste trabalho em um acervo maior de vídeos televisivos de tênis de campo a fim de que se possa garantir a efetividade do método em variadas condições de aquisição de vídeo (diferentes iluminações, tipos de quadra, partidas em duplas, etc.). Além disso, a análise em um maior acervo de vídeos poderá permitir a partir da extração automática de dados cinemáticos, no futuro, análises técnicas e táticas mais fidedignas inerentes à modalidade tênis de campo.
- Otimização do tempo de processamento de todos os algoritmos a fim de que se possa, em um futuro próximo, análises de vídeos televisivos em tempo real.
- Elaboração e avaliação de formas mais adequadas e úteis de representação gráfica (por exemplo, áreas de ocupação) das posições dos jogadores de tênis ao longo do tempo, levando-se em conta todas as características já embarcadas dos vídeos televisivos (descontinuidades, perda de informações, enquadramento específicos, etc).

Essas considerações são de grande valia para futuras pesquisas específicas de análises técnicas e táticas na modalidade tênis de campo, bem como no desenvolvimento de futuros métodos computacionais aplicada ao esporte de maneira geral.

Referências

Abdel-Aziz, Y. I. e Karara, H. M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: Symposium on Close-Range Photogrammetry Illinois. Illinois, 1971.

Aherne, F. J., Thacker, N. A. e Rockett, P. I. The Bhattacharyya metric as an absolute similarity measure for frequency coded data. Kybernetika, v.34, n.4, p.363-368. 1998.

Alcock, A., Hunter, A. e Brown, N. Determination of football pitch locations from video footage and official pitch markings. Sports Biomechanics, v.8, n.2, p.129-140. 2009.

Angulo, R. M. e Dapena, J. Comparison of film and video techniques for estimating three-dimensional coordinates within a large field. International Journal of Sport Biomechanics, v.8, p.145-151. 1992.

Bao, D., et al. A Real Time Player Tracking System for Broadcast Tennis Video. Intelligent Information and Database Systems, Pt Ii, Proceedings, v.5991, p.105-113. 2010.

Barros, R. M. L. Concepção e implementação de um sistema para análise cinemática de movimentos humanos. Faculdade de Educação Física, , Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. 199f p.

Barros, R. M. L., et al. Measuring handball players trajectories using an automatically trained boosting algorithm. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, v.14, n.1, p.53-63. 2011.

Barros, R. M. L., et al. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. Journal of Sports Science and Medicine, v.6, n.2, Jun, p.233-242. 2007.

Bloom, T. e Bradley, A. P. Player Tracking and Stroke Recognition in Tennis Video. APRS Workshop on Digital Image Computing (WDIC'03). B. Lovell e A. Maeder. Brisbane, Australia: The University of Queensland. 1: 93-97 p. 2003.

Brandão, S., et al. Kinematic Analysis of the Reconstruction Error of A Calibration Volume for 3d Analysis in Swimming. The Open Sports Sciences Journal, v.3, p.28-30. 2010.

Chen, L., Armstrong, C. W. e Raftopoulos, D. D. An investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique. Journal of Biomechanics, v.27, n.4, p.493-500. 1994.

Chiari, L., et al. Human movement analysis using stereophotogrammetry - Part 2: Instrumental errors. Gait & Posture, v.21, n.2, Feb, p.197-211. 2005.

Christmas, W. J., Kostin, A., Kolonias, I., & Kittler, J. A system for the automatic annotation of tennis matches. Fourth International Workshop on Content based Multimedia Indexing. Riga 2005.

Christmass, M. A., et al. Exercise intensity and metabolic response in singles tennis. Journal of Sports Sciences, v.16, n.8, Nov, p.739-747. 1998.

Conaire, C. O., O'connor, N. E. e Smeaton, A. F. An improved spatiogram similarity measure for robust object localisation. 2007 Ieee International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol I, Pts 1-3, Proceedings, p.1069-1072. 2007.

Corrado, C., Alessandro, M. e Enver, S. Automatic Annotation of Tennis Video Sequences. Proceedings of the 24th DAGM Symposium on Pattern Recognition %@ 3-540-44209-X: Springer-Verlag: 540-547 p. 2002.

Dang, B., et al. A Real Time Player Tracking System for Broadcast Tennis Video

Intelligent Information and Database Systems. In: N. Nguyen, M. Le e J. Swiatek (Ed.): Springer Berlin / Heidelberg, v.5991, 2010, p.105-113. (Lecture Notes in Computer Science)

Di Salvo, V., et al. Performance characteristics according to playing position in elite soccer. International Journal of Sports Medicine, v.28, n.3, Mar, p.222-227. 2007.

Dias, F. a. S. Generalização do ritmo visual e problemas de rastreamento de imagens desportivas. (Dissertação (mestrado)). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. 101 p.

Docherty, D. A comparison of heart rate responses in racquet games. Br J Sports Med, v.16, n.2, Jun, p.96-100. 1982.

Duda, R. O. e Hart, P. E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. Commun. ACM, v.15, n.1, p.11-15. 1972.

Farin, D., et al. Robust camera calibration for sport videos using court models. Storage and Retrieval Methods and Applications for Multimedia 2004, v.5307, p.80-91. 2004.

Fernandez, J., Mendez-Villaneuva, A. e Pluim, B. M. Intensity of tennis match play. British Journal of Sports Medicine, v.40, n.5, May, p.387-391. 2006.

Figueroa, P. J., Leite, N. J. e Barros, R. M. L. Background recovering in outdoor image sequences: An example of soccer players segmentation. Image and Vision Computing, v.24, n.4, Apr 1, p.363-374. 2006a.

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

Freund, Y. e Schapire, R. E. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. Journal of Computer and System Sciences, v.55, n.1, Aug, p.119-139. 1997.

Han, J., et al. Automatic Tracking Method for Sports Video Analysis. In: Symposium on Information Theory. Benelux, 2005. 309-316.

Han, J. G., Farin, D. e De With, P. H. N. Broadcast Court-Net Sports Video Analysis Using Fast 3-D Camera Modeling. Ieee Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, v.18, n.11, Nov, p.1628-1638. 2008.

Hau, J. e De With, P. H. N. 3-D camera Modeling and its applications in sports broadcast video analysis. Multimedia Content Analysis and Mining, Proceedings, v.4577, p.434-443. 2007.

Hu, M. C., et al. Robust Camera Calibration and Player Tracking in Broadcast Basketball Video. Ieee Transactions on Multimedia, v.13, n.2, Apr, p.266-279. 2011.

Inmetro. Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. Rio de Janeiro: IPO: 94 p. 2012.

Kim, H. e Hong, K. S. Soccer video mosaicing using self-calibration and line tracking. 15th International Conference on Pattern Recognition, Vol 1, Proceedings, p.592-595. 2000.

Kovacs, M. S. A comparison of work/rest intervals in men's professional tennis. Medicine Science in Tennis, n.11, p.910-911. 2004.

Lam, L., Lee, S. W. e Suen, C. Y. Thinning Methodologies - a Comprehensive Survey. Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.14, n.9, Sep, p.869-885. 1992.

Li, B. X., Pan, H. e Sezan, I. General framework for sports video summarization with its application to soccer. 2003 Ieee International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol Iii, Proceedings, p.169-172. 2003.

Ling-Yu, D., et al. Nonparametric motion characterization for robust classification of camera motion patterns. Multimedia, IEEE Transactions on, v.8, n.2, p.323-340. 2006.

Liu, H. C. e Zick, G. Automatic Determination of Scene Changes in MPEG Compressed Video Circuits and Systems, 1995. ISCAS '95., 1995 IEEE International Symposium. Seattle, WA , USA. 1: 764-767 p. 1995.

Misuta, M. S. Análise do processo de rastreamento automatico de jogadores em esportes coletivos. (Tese de Doutorado). Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. 139 p.

Needham, C. J. e Boyle, R. D. Tracking multiple sports players through occlusion, congestion and scale. In: Proc.\\ British Machine Vision Conference, 2001. 93-102.

Niu, Z. X., Gao, X. B. e Tian, Q. Tactic analysis based on real-world ball trajectory in soccer video. Pattern Recognition, v.45, n.5, May, p.1937-1947. 2012.

O'donoghue, P. e Ingram, B. A notational analysis of elite tennis strategy. Journal of Sports Sciences, v.19, n.2, Feb, p.107-115. 2001.

Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v.9, n.1, p.62-66. 1979.

Owens, N., Harris, C. e Stennett, C. Hawk-eye tennis system. In: Visual Information Engineering, 2003. VIE 2003. International Conference on. 7-9 July 2003, 2003. 182-185.

Pei, S. C. e Chen, F. Semantic Scenes Detection and Classification in Sports Videos. Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing. Kinmen: 210-217 p. 2003.

Pers, J. e Kovacic, S. Tracking People in Sport: Making Use of Partially Controlled Environment. In: CAIP01, 2001. 374-384.

Pingali, G., Opalach, A. e Jean, Y. Ball tracking and virtual replays for innovative tennis broadcasts. 15th International Conference on Pattern Recognition, Vol 4, Proceedings, p.152-156. 2000.

Plastok, R. A., Kalley, G. e Teixeira, J. C. Computação Gráfica. Lisboa: McGraw-Hill, v.1. 1991. 414 p.

Sarro, K. J., et al. Tracking of wheelchair rugby players in the 2008 Demolition Derby final. Journal of Sports Sciences, v.28, n.2, p.193-200. 2010.

Smekal, G., et al. A physiological profile of tennis match play. Medicine and Science in Sports and Exercise, v.33, n.6, Jun, p.999-1005. 2001.

Sudhir, G., Lee, J. C. M. e Jain, A. K. Automatic classification of tennis video for high-level content-based retrieval. 1998 Ieee International Workshop on Content-Based Access of Image and Video Database, Proceedings, p.81-90. 1998.

Sze, K. W., Lam, K. M. e Qiu, G. P. Scene cut detection using the colored pattern appearance model. 2003 International Conference on Image Processing, Vol 2, Proceedings, p.1017-1020. 2003.

Teachabarikiti, K., Chalidabhongse, T. H. e Thammano, A. Players Tracking and Ball Detection for an Automatic Tennis Video Annotation. 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (Icarcv 2010), p.2491-2494. 2010.

Tsung-Sheng, F., et al. Screen-strategy analysis in broadcast basketball video using player tracking. In: Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2011 IEEE. 6-9 Nov. 2011, 2011. 1-4.

Valio, F. B. Detecção rápida de legendas em vídeos utilizando o ritmo visual (Dissertação de Mestrado). Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. 55 p.

Vieira, C. L. R. Proposição e validação de um método de análise de movimentação de jogadores de tênis de campo por rastreamento automático. (Trabalho de Conclusão de Curso). Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. 41 p.

Wang, J. R. e Parameswaran, N. Survey of sports video analysis: research issues and applications. Proceedings of the Pan-Sydney area workshop on Visual information processing: Australian Computer Society, Inc.: 87-90 p. 2004.

Yan, F., Christmas W. e J., K. A tennis ball tracking algorithm for automatic annotation of tennis match. In: BMVC. Oxford, UK. September 2005, 2005. 619-628.

Yu, X. G., et al. A trajectory-based ball detection and tracking algorithm in broadcast tennis video. Icip: 2004 International Conference on Image Processing, Vols 1- 5, p.1049-1052. 2004.

Zar, J. H. Bioestatistical Analysis. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, v.1. 1999

Zhang, H., Kankanhalli, A. e Smoliar, S. W. Automatic partitioning of full-motion video. Multimedia Syst., v.1, n.1, p.10-28. 1993.

Zhu, G., et al. Trajectory based event tactics analysis in broadcast sports video. Proceedings of the 15th international conference on Multimedia. Augsburg, Germany: ACM: 58-67 p. 2007.

Zhu, G., et al. Player action recognition in broadcast tennis video with applications to semantic analysis of sports game. Proceedings of the 14th annual ACM international conference on Multimedia. Santa Barbara, CA, USA: ACM: 431-440 p. 2006.

ANEXO I



Ofício CEP 136/2011
Em 04/03/2010

FACULDADE DE CIÊNCIAS MÉDICAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

www.fcm.unicamp.br/fcm/pesquisa

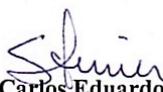
Ilmo.sr.
Claudio Luis Roveri Vieira
Laboratório de Instrumento para Biomecânica
Faculdade de Educação Física - UNICAMP

Ref. : Dispensa de apresentação de projeto de pesquisa.

Prezado Senhor,

Informamos que devido ao fato do projeto de pesquisa “PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE DETECÇÃO DE MOVIMENTOS DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO A PARTIR DE IMAGENS TELEVISIVAS”, de responsabilidade do pesquisador Claudio Luis Roveri Vieira, ter como material de pesquisa um método de calibração de câmeras por detecção de linhas em transmissões de TV aplicado ao tênis de campo, tal projeto pode ser dispensado de apreciação e/ou aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP.

Sendo o que se apresenta para o momento, subscrevemo-nos.
Cordialmente.


Prof. Dr. Carlos Eduardo Steiner
PRESIDENTE DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FCM/UNICAMP

ANEXO II

Apresentação pôster: XIV Congresso Brasileiro de Biomecânica

ANAIIS DO XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, Ribeirão Preto – SP – Brasil de 09 a 11 de junho de 2011

ANÁLISE CINEMÁTICA POR RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES TÊNIS DE CAMPO

CLAUDIO LUÍS ROVERI VIEIRA, RICARDO MACHADO LEITE DE BARROS, MILTON SHOITI MISUTA
FACULDADE DE EDUCAÇÃO FÍSICA - UNICAMP

RESUMO

INTRODUÇÃO: A ANÁLISE DAS VARIÁVEIS CINEMÁTICAS DOS JOGADORES PODE FORNECER RESULTADOS E AMPLIAR CONHECIMENTOS RELATIVOS À DEMANDA TÉCNICA, TÁTICA E, PRINCIPALMENTE, FÍSICA DA MODALIDADE TÊNIS DE CAMPO. OBJETIVO: O OBJETIVO GERAL DESTA TRABALHO FOI O DE REALIZAR A ANÁLISE CINEMÁTICA DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO POR RASTREAMENTO AUTOMÁTICO. MATERIAIS E MÉTODOS: AS IMAGENS FORAM OBTIDAS ATRAVÉS DA FILMAGEM DE UM SET, TOTALIZANDO 9 GAMES, DE UM JOGO-TREINO DE TÊNIS AMADOR REALIZADA NUMA QUADRA DE SAIBRO DA ASSOCIAÇÃO ATLÉTICA BANCO DO BRASIL (AABB), NA CIDADE DE CAMPINAS-SP. PARA ISSO FORAM UTILIZADAS DUAS CÂMERAS DA MARCA JVC, MODELO GR-DVL 9500, QUE FORAM POSICIONADAS DE FORMA A ENQUADRAR TODO O LIMITE DA QUADRA. A FREQUÊNCIA DE AQUISIÇÃO DAS IMAGENS FOI DE 30 HZ. PARA A ANÁLISE CINEMÁTICA DOS MOVIMENTOS DOS ATLETAS FOI UTILIZADO O SISTEMA DVIDEO, QUE FOI DESENVOLVIDO EM VISUAL C++ PELO LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA BIOMECÂNICA DA UNICAMP. AS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS E AS VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO REALIZADAS POR CADA JOGADOR, OBTIDAS PELA ANÁLISE CINEMÁTICA, FORAM QUANTIFICADAS, TRATADAS E ORGANIZADAS ATRAVÉS DE ROTINAS ESPECÍFICAS DESENVOLVIDAS EM AMBIENTE MATLAB®. RESULTADOS E DISCUSSÃO: PARA O RASTREAMENTO COM DUAS CÂMERAS FOI OBTIDO UM PERCENTUAL MÉDIO DE AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE 99,98%, SENDO NECESSÁRIAS DUAS INTERVENÇÕES POR PARTE DO PESQUISADOR. O ERRO MÉDIO DE MEDIÇÃO FOI DE 0,83% (0,06M). A MÉDIA DA DISTÂNCIA PERCORRIDA POR TODOS OS JOGADORES POR GAME FOI DE 128,48 ± 42M, CORRESPONDENDO A 10,5% DO TOTAL PERCORRIDO POR JOGADOR DURANTE TODA O SET (1156,33 ± 103,31M). A MAIOR MÉDIA DE DISTÂNCIA PERCORRIDA POR JOGADOR FOI ATINGIDA NO GAME 7 (192,13M), ENQUANTO QUE A MENOR MÉDIA FOI ENCONTRADA NO GAME 1 (83,36M). QUANTO ÀS VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO, FORAM ENCONTRADAS MAIORES MÉDIAS NOS GAMES 6 E 7 (1,63 M/S), AO PASSO QUE AS MENORES ESTIVERAM CONCENTRADAS NOS DOIS ÚLTIMOS GAMES (1,58 M/S). NO GAME 6 OBTIVEU-SE TAMBÉM A MAIOR VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DA PARTIDA (5,98 M/S). A FAIXA DE VELOCIDADE PREDOMINANTE DURANTE A PARTIDA PARA AMBOS OS JOGADORES ESTEVE COMPREENDIDA ENTRE 0,2 M/S E 2 M/S COM TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA DE 21 MINUTOS (84% DO TEMPO TOTAL DO SET JOGADO), MOSTRANDO QUE OS MOMENTOS DE PAUSA E PREPARAÇÃO NA PARTIDA DE TÊNIS SÃO MUITO FREQUENTES SE COMPARADOS AOS MOMENTOS DE RALLY. CONCLUSÃO: O MÉTODO SE DEMONSTROU EFETIVO PARA IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS CINEMÁTICAS, TAIS COMO DISTÂNCIAS PERCORRIDAS E VELOCIDADES DE DESLOCAMENTO DE CADA JOGADOR ANALISADO NESTE TRABALHO. A ANÁLISE CINEMÁTICA DE JOGADORES DE TÊNIS DE CAMPO POR RASTREAMENTO AUTOMÁTICO, SE APLICADO ADEQUADAMENTE, PODERÁ FORNECER SUBSÍDIOS QUE PERMITAM EXPLORAR E CARACTERIZAR AS DEMANDAS FÍSICAS, TÉCNICAS E TÁTICAS ESPECÍFICAS DA MODALIDADE.

ANEXO III

Apresentação oral: III Congresso Paralímpico Brasileiro



PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO DE RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DE JOGADORES DE TÊNIS EM CADEIRA DE RODAS A PARTIR DE VÍDEOS TELEVISIVOS.

Claudio Luis Roveri Vieira - Faculdade de Educação Física/ Unicamp
 Amanda Piaia Silvatti - Faculdade de Educação Física/ Unicamp
 Ricardo Machado Leite de Barros - Faculdade de Educação Física/ Unicamp
 Fundação de Amparo à Pesquisa/FAPESP
 São Paulo, Brasil

claudioroveri@gmail

RESUMO

Introdução: Métodos de análise de movimentos de jogadores a partir de vídeos esportivos televisivos tem se tornado cada vez mais frequentes. Além disso, a maioria das análises pode ser realizada utilizando vídeos disponíveis em meios públicos de acesso, como por exemplo, a Internet. Métodos para a análise automática de práticas esportivas são capazes de descrever as principais ações dos jogadores e mensurar as principais demandas físicas, técnicas e táticas específicas da modalidade esportiva, a partir da obtenção de variáveis cinemáticas, como as distâncias percorridas, velocidade médias, entre outras variáveis. Objetivo: O objetivo do presente estudo é propor um método automático para a análise de movimentação de jogadores de tênis em cadeira de rodas a partir de vídeos televisivos. Metodologia: Um vídeo televisivo da final dos jogos paralímpicos de Londres 2012 da modalidade masculina de tênis em cadeira de rodas obtido na Internet (37 minutos, 640x360 pixels, 25Hz) foi utilizado para avaliar a aplicabilidade do método de rastreamento proposto. O método baseia-se em dois algoritmos: 1) detecção automática das intersecções das linhas da quadra de tênis, que foram baseadas nas técnicas específicas de processamento de imagens (determinação de área de busca, binarização, afinamento das linhas e a construção da matriz de homografia), que foram utilizado para a calibração dinâmica das câmeras e 2) identificação automática dos jogadores por correlação dos histogramas do modelo padrão do uniforme de cada jogador, que foi utilizado para o rastreamento automático da posição da base da cadeira de rodas dos jogadores na quadra durante um set. Todos os algoritmos foram desenvolvidos no software Matlab®. Para a avaliação da aplicabilidade do método proposto foi calculado o percentual de automatização de ambos os algoritmos, bem como o tempo de execução por quadro processado do vídeo analisado. Para descrever as principais demandas físicas e táticas dos jogadores foram calculadas as distâncias percorridas, bem como a área de ocupação de cada jogador durante a partida (1 set). Resultados: O percentual de automatização do algoritmo para calibração foi de 99,75%, enquanto que para a execução do algoritmo de rastreamento automático foi de 99,18%. O tempo de execução do algoritmo de calibração foi de aproximadamente 0,5 segundos e para o algoritmo de rastreamento automático foi de 0,65 segundos, totalizando em 1,15 segundos por quadro processado. As distâncias percorridas pelos dois jogadores durante um set de uma partida foram de aproximadamente 1,42 Km para o jogador 1 e 1,54 Km para o jogador 2. Os gráficos de áreas de ocupação de cada jogador foram também obtidos, possibilitando uma análise tática de cada jogador durante um set de uma partida. Conclusão: O método proposto mostrou-se com um alto nível de automatização no rastreamento dos jogadores de tênis em cadeira de rodas. Além disso, as variáveis cinemáticas obtidas neste trabalho podem ser utilizadas pelos técnicos, uma vez que podem prover maiores subsídios quantitativos para os treinamentos físicos e táticos dos atletas.

PALAVRAS-CHAVE: Rastreamento automático; análise cinemática; biomecânica