



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**  
Instituto Superior de Engenharia



**Rastreamento de jogadores de futebol tendo em vista  
a análise de modelos de jogo**

Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica  
Área de Especialização: Tecnologias da Informação e Telecomunicações

**Tiago Manuel Vilas de Sousa**

**Outubro 2012**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
Instituto Superior de Engenharia



**Rastreamento de jogadores de futebol tendo em vista  
a análise de modelos de jogo**

Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica  
Área de Especialização: Tecnologias da Informação e Telecomunicações

Dissertação orientada pelo Professor Doutor João Rodrigues

**Outubro 2012**

# Agradecimentos

Gostaria de agradecer, e dedicar este trabalho, à minha mãe, que sempre me apoiou e incentivou a seguir em frente e a alcançar os meus objetivos, tentando fazer mais e melhor, em todas as etapas da minha vida. Gostaria de agradecer também, a outra pessoa muito importante, a minha namorada, por todo o apoio e motivação que sempre me deu, de forma a alcançar os meus objetivos com sucesso, tanto ao nível académico, como pessoal.

Queria, também, fazer um agradecimento especial ao meu orientador, o Prof. Doutor João Rodrigues pelo empenho com que me orientou e pela prontidão e disponibilidade que demonstrou no decorrer deste trabalho e não só. Queria também agradecer a confiança depositada em mim, para o desenvolvimento do projeto em que esta dissertação se encontra inserida.

Tenho também a agradecer a todos os docentes do ISE, pelos conhecimentos transmitidos, que possibilitaram a realização deste trabalho e que serão indispensáveis, para o sucesso da minha futura vida profissional.

Por fim, mas não menos importante, também gostaria de agradecer a todos os meus amigos, que sempre me apoiaram no decorrer do meu percurso académico.

**NOME:** Tiago Manuel Vilas de Sousa

**INSTITUIÇÃO:** Instituto Superior de Engenharia

**ORIENTADOR:** Professor Doutor João Miguel Fernandes Rodrigues

**DATA:** Outubro 2012

**TÍTULO:** Rastreamento de jogadores de futebol tendo em vista a análise de modelos de jogo

## Resumo

As atuais exigências do elevado nível de rendimento, num jogo de futebol, tornam imperativo o recurso a novas tecnologias de observação e análise. Nesta dissertação é apresentada uma aplicação, com o objetivo de recolher todas as informações necessárias do vídeo, para efetuar a análise do modelo de jogo de ambas as equipas, em que a análise não faz parte deste trabalho. Disponibilizando ao treinador toda a informação específica sobre o desempenho da equipa e do modelo de jogo usado. A aplicação foi desenvolvida levando em consideração as rotações e inclinações que poderiam afetar as câmaras aquando da aquisição das imagens (vídeos), e também que na maioria das situações apenas parte do campo estaria visível, assim como poderiam existir ampliações. A aplicação é constituída por cinco grandes passos: (a) Deteção da zona do recinto de jogo, baseada na segmentação pela cor, usando para tal uma restrição ao espaço de cor HSV, remoção de regiões insignificantes exteriores ao recinto de jogo e a correção da zona limite deste pelos seus contornos. A segmentação dos jogadores (b), tendo por base o sub-efeito do passo anterior, a existência de buracos no campo na posição dos jogadores, e seu refinamento pela aplicação de filtros morfológicos. A atribuição do jogador a um número e equipa (c), baseada no espaço delimitado pelo jogador, média da cor em HSV deste e restrições da equipa. O rastreamento do jogador (d), baseado em simples fatores de posicionamento e por fim (e) análise do jogo, baseada no rastreamento do jogador, da relação posicional deste com os restantes jogadores, e sectores da equipa, bem como a sua projeção para um campo “modelo”. Toda a informação do posicionamento dos jogadores no campo “modelo,” está formatada para ser enviado para o Sistema de Informação do projeto Footdata. Complementarmente foi também implementada uma biblioteca de manipulação de vídeo com o intuito de, no futuro, ser integrada com o seguimento dos jogadores e modelos de jogo, de forma a permitir à equipa técnica criar apresentações interativas.

**Palavras-chave:** Segmentação; Rastreamento; Modelo de jogo; Futebol.

**NAME:** Tiago Manuel Vilas de Sousa

**INSTITUTION:** Instituto Superior de Engenharia

**SUPERVISOR:** Professor Doutor João Miguel Fernandes Rodrigues

**DATE:** Setember 2012

**TITLE:** Tracking football players in order to analyze game models

## Abstract

Current requirements in a soccer game of high performance make it imperative the use of new technologies for observation and analysis. This thesis presents an application to acquire information to analyze the game model, but this analysis isn't part of this work. The application was developed taking into account important constraints, such as the images acquired by the camera can be affected by pan and tilt, and in most cases only part of the field would be visible, and there can be varying degrees of zoom. The application is divided in five major steps: (a) Detection of soccer field, based on segmentation by color, using a constrained HSV color space, with removal of insignificant regions outside the field and the correction field limits by their contours. Player segmentation (b), based on the sub-end of the previous step, using the presence of holes in the field at the position of the players and its refinement by applying morphological filters. Player assignment to each team (c), based on the space delimited by the player, HSV color media and team constraints. The tracking of players (d), based on simple positioning factors and finally (e) game analysis, based on the player's position in relationship with other players, team sectors, and its projection into a the field "model." All information from the positioning of players in the field "model" is formatted to be sent to project "Footdata Information System." Additionally, it was also implemented a library of necessary video processing functions in order to be integrated with the tracking of players and game models, allowing the team coach to create interactive presentations.

**Keywords:** Segmentation, Tracking; Game model; Football

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>IV</b>
<b>1.1 OBJETIVOS, CONTRIBUIÇÕES E ENQUADRAMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 VISTA GERAL</b> .....	<b>5</b>
<b>2. CONCEITOS GERAIS E ESTADO DA ARTE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 PRODUTOS EXISTENTES NO MERCADO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 SEGMENTAÇÃO DO CAMPO E SEGMENTAÇÃO E RASTREAMENTO DE JOGADORES E BOLA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3 ALGUNS CONCEITOS USADOS NA DISSERTAÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>3. DETEÇÃO E RASTREAMENTO DE JOGADORES</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 DETEÇÃO DA ZONA DO RECINTO DE JOGO</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 SEGMENTAÇÃO DOS JOGADORES</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3 ATRIBUIÇÃO DA EQUIPA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4 RASTREAMENTO</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4. ANÁLISE DE MODELOS DE JOGO</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 TRANSFORMAÇÃO DE PERSPETIVA</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 PREPARAÇÃO DO MODELO DE JOGO</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3 LIGAÇÃO COM O SISTEMA DE INFORMAÇÃO DO FOOTDATA</b> .....	<b>43</b>
<b>4.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>5.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS</b> .....	<b>46</b>
<b>5.2 DETEÇÃO DA BOLA</b> .....	<b>51</b>
<b>6. BIBLIOTECA DE MANIPULAÇÃO DE VÍDEO</b> .....	<b>54</b>
<b>7. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>63</b>

# 1. Introdução

O futebol é um jogo fascinante. Para o entendermos melhor, precisamos observá-lo com o filtro certo. Assim, a importância da observação e análise do jogo, baseia-se no facto de só podermos compreender a mudança, compreendendo objetiva e corretamente aquilo que, na realidade está a mudar. As atuais exigências, do elevado nível de rendimento, no jogo de futebol, tornam imperativo o recurso a novas tecnologias digitais de observação e análise, sendo fundamental dominá-las de forma especializada, na formação ou no alto rendimento (Castelo, 2011).

Antes de se poder escolher a ferramenta adequada para a análise de um jogo de futebol é necessário, primeiro, entendê-lo. Podendo descrever um jogo de futebol, como o confronto entre duas equipas, orientadas por regras e comportamentos próprios. Essas regras e comportamentos designam-se por princípios defensivos e ofensivos, métodos para atacar e defender e processos que auxiliam o comportamento dos jogadores, formando a equipa. Todos estes conceitos fazem parte do grupo de organização tática, e formam, em conjunto, aquilo a que se chama o modelo de jogo.

É com base neste modelo, e nos seus princípios, que os treinadores definem um conjunto de exercícios eficazes, a adotar no modelo de preparação (treino), com o objetivo de clarificar à equipa e ao jogador o que é pretendido no mesmo. O treino é, pois, direcionado para uma especificidade de exercícios e a sua sistematização, com o objetivo de dotar os jogadores, e a equipa, de automatismos na prossecução do seu modelo de jogo. Na vertente competição (jogo), esses automatismos devem ser executados corretamente pelos jogadores. Face a esta realidade, torna-se necessário desenvolver uma ferramenta tecnológica, que efetue a recolha de informações relativas às posições dos jogadores (e da bola), no campo, tanto em competição como em treino, em tempo real e em diferido (pela análise de vídeos). Esta ferramenta irá permitir aos treinadores verificarem se o modelo de jogo está a ser cumprido conforme o que foi previamente estipulado e treinado.

Na vertente de treino, pretende-se que o rastreamento (*tracking*) dos jogadores e a análise deva incidir, principalmente, nos exercícios definidos numa unidade de treino,

que estejam relacionados com a implementação do modelo de jogo. Por unidade de treino entende-se a programação prévia de um conjunto de exercícios a serem executados num treino, com objetivos imediatos, tendo em vista a preparação para os jogos e provas que se seguem. É aqui que se avalia o processo de trabalho de correção gradual, os erros ou falhas, identificados nas competições. Com esta informação, é possível analisar os exercícios referentes à implementação do modelo de jogo e verificar a evolução destes, ao longo tempo. A implementação do modelo de jogo é um processo evolutivo e contínuo. Uma ferramenta com estas características será uma fonte de recolha de informação direcionada para a análise, obtenção de resultados e definição de possíveis alterações ou adaptações, sempre com o objetivo de alcançar o modelo de jogo idealizado. Para a implementação computacional do modelo de jogo, a aplicação tem que ser versátil, permitindo à equipa técnica adaptar os modelos existentes e criar novos.

Na vertente competição, o rastreamento (*tracking*) dos jogadores e a análise será efetuada no decorrer do jogo (*on-site*) e terá como objetivo, identificar, em tempo real, o modelo de jogo utilizado pela própria equipa e pela equipa adversária. As informações recolhidas pelo sistema serão redirecionadas, em tempo real, para um dispositivo móvel.

O conjunto dessas informações ultrapassa, em larga escala, a tradicional compilação de dados estatísticos (por exemplo: mapas de calor, distâncias percorridas) extraídos a partir da observação automática feita pelos sistemas existentes no mercado (ver Capítulo II - Estado da Arte). Engloba, também, a análise automatizada de situações táticas da equipa, dos seus diferentes sectores e dos atos individuais de cada jogador (dimensão da equipa, distância entre sectores, sentido posicional do jogador nos quatro momentos de jogo, registo das movimentações padrão dos jogadores, da equipa ou equipa adversária, entre outros.). O modelo de preparação - treino - tem de ser projetado, visando o modelo de jogo idealizado e, tendo em consideração, o modelo de jogador e as características dos mesmos. Depreende-se a existência de uma interligação entre estas três entidades (modelo de preparação, modelo de jogo, modelo de jogador) que funcionam como um todo. Um sistema de apoio informático (projeto Footdata) só fará sentido se trabalhar de forma integrada, o que não se verifica, atualmente. Existem várias aplicações no mercado que respondem à execução de determinadas tarefas, mas não existe uma articulação entre elas.

## 1.1 Objetivos, contribuições e enquadramento

Este trabalho tem como principal objetivo a conceção de um *software* capaz de fornecer os instrumentos para fazer uma análise do ponto de vista tático do posicionamento da equipa e dos diferentes sectores, i.e., fazer a análise de algumas variáveis do modelo de jogo (ex. posicionamento dos defesas, transições de defesa-ataque e ataque-defesa). O objetivo complementar é criar um conjunto de ferramentas (biblioteca) que permita fazer a manipulação dos vídeos (ex. desenhar linhas, seleccionar objetos, mover objetos, introduzir texto) de forma a que posteriormente (trabalho futuro), este sistema possa ser integrado numa futura interface (possivelmente Web), de modo a possibilitar aos treinadores, a receção da informação referente às variações do(s) modelo(s) de jogo estipulado(s).

Para a realização deste trabalho foram usados vídeos Full HD (1920 × 1080 - 1080p) filmados por Handycam na zona dos camarotes ou imprensa de diferentes estádios, bem como vídeos HD (1280 × 720 - 720p) retirados da internet. Embora não existam restrições à priori para o funcionamento do sistema, i.e., o sistema deva funcionar com qualquer rotação (*pan*) e inclinação (*tilt*), devemos ter em consideração que sendo câmaras estáticas com o objetivo de filmar um jogo de futebol, que será normal que a câmara não tenha movimentos bruscos e, que não tenha uma rotação relativamente ao eixo vertical maior que  $\pm 45^\circ$ , bem como não existam alterações de inclinação ou quando existam que estas sejam residuais,  $\pm 5^\circ$ . Os dois fatores mais problemáticos serão: (a) ampliação/redução, de forma a que o sistema funcione corretamente, será necessário ter pontos de referencia, isto é, que estejam visíveis as linhas laterais do campo e/ou as linhas lateral superior, a linha de meio campo e pelo menos uma das linhas da grande área. (b) A zona onde está a ser feita a filmagem, sendo definida como a zona de camarotes e imprensa, esta varia de estádio para estádio. Mas, deverá ser a zona no enfiamento da linha de meio campo ( $\pm 5\text{m}$ ). A filmagem não poderá ser feita ao nível do relvado (menos que 10m em altura), nem muito junto da linha lateral (menos que 10m). Mais uma vez será necessário obedecer ao critério atrás referido dos pontos de referência. Como objetivos detalhados pretende-se:

- a) A segmentação do campo de futebol (incluindo a remoção de todas as zonas referentes às bancadas);
- b) A segmentação dos jogadores de futebol e atribuição de um número e equipa;

- c) A implementação de uma primeira versão de rastreamento (*tracking*) dos jogadores;
- d) A projeção dos jogadores, presentes nas filmagens, para um campo “modelo” (normalizado);
- e) Detecção e relação entre dinâmicas de secções da equipa (aplicadas a um exemplo);
- f) Biblioteca para a manipulação de vídeo;

Em relação às contribuições, deve-se referir que todos os objetivos foram atingidos e que a principal contribuição consistiu na deteção e na relação entre os diferentes sectores do campo, incluindo o cálculo de distâncias entre jogadores e setores.

Os trabalhos decorreram no âmbito do projeto QREN I&DT, n.º 23119. “Footdata: Sistemas Integrado de Gestão de Informação para o Futebol”. Promotor INESTING – Marketing Tecnológico, SA, co-promotor UALG (2012-2014).

O projeto Footdata tem por objetivo criar novo produto multi-plataforma para a indústria do futebol e fãs, baseada nas tecnologias e sistemas de informação e comunicação, que interliga duas vertentes essenciais no mundo do futebol: i) A vertente rede social (Web 2.0), onde são integradas todas as características típicas das redes sociais com informação especializada para os fãs e entre os fãs de todos os estádios, clubes e jogadores, complementada com uma ligação especializada entre os treinadores num fórum exclusivo, bem como uma primeira plataforma dedicada aos empresários do futebol, onde estes podem expor de uma forma simples mas bastante apelativa informação, fotos e vídeos dos seus jogadores; a rede social basear-se-á num espírito “wiki” onde os utilizadores serão o motor de crescimento da base de dados em termos de número de jogadores e factos relevantes sobre os vários agentes desportivos (jogadores, treinadores, árbitros), infra-estruturas, competições, etc. ii) A vertente profissional, caracteriza-se num sistema de aquisição e gestão de informação transversais a um departamento de futebol, incluindo uma plataforma automatizada para a recolha de informação das equipas, tanto na vertente competição como no modelo de preparação (treinos). Esta plataforma será baseada num protótipo que terá por base a análise das imagens em tempo real adquiridas em direto (jogo ou treino), ou em diferido a partir da análise de vídeos.

## **1.2 Vista geral**

No presente Capítulo foi introduzido o tema e descritos os objetivos, contribuições e enquadramento da dissertação. No Capítulo 2 é apresentado o estado da arte, onde são dados a conhecer alguns dos produtos existentes no mercado, os quais estão relacionados de alguma forma com esta dissertação. São também apresentados os principais conceitos abordados. No Capítulo 3 são explicados os modelos utilizados para a segmentação do recinto de jogo, para a deteção e segmentação dos jogadores e a sua atribuição a um número e à respetiva equipa, assim como o seu rastreamento. No Capítulo 4 é abordada a análise do modelo de jogo. No Capítulo 5 são apresentados alguns resultados e a análise dos testes efetuados. No Capítulo 6 estão descritas, as ferramentas criadas para uma biblioteca de manipulação de vídeo. Por fim, são apresentadas, no Capítulo 7, as considerações finais e as metas para o trabalho futuro, com base nos objetivos da dissertação e do projeto Footdata.

## 2. Conceitos gerais e estado da arte

Como referido, anteriormente, as atuais exigências do elevado nível de rendimento no jogo de futebol tornam imperativo o recurso a novas tecnologias digitais, sendo fundamental dominá-las de forma especializada, na formação ou no alto rendimento (Castelo, 2011). Neste Capítulo vamos apresentar alguns conceitos gerais e abordar as várias técnicas usadas nesta dissertação, bem como dos *softwares* já existentes no mercado.

### 2.1 Produtos existentes no mercado

Existem alguns produtos no mercado relacionados num ou noutro ponto com a dissertação que é proposta. Serão apresentadas, genericamente, as aplicações que existem no mercado, passando das aplicações de gestão da equipa nas suas vertentes, pelas aplicações mistas e terminando nas que fazem a análise do jogo em vídeo ou em tempo real.

O *FantasyFootball* (ex. liga virtual zon sagres, <http://ligavirtual.ligaportugal.pt/>) que consiste num jogo on-line inteiramente gratuito e no qual os participantes (utilizadores web ou fãs) são os treinadores de uma equipa imaginária, com base nos jogadores reais de uma liga de futebol - portuguesa ou estrangeira - competindo contra outros utilizadores e as suas respetivas equipas. Ainda dentro do âmbito da gestão de equipas, mas numa vertente profissional, a aplicação Mourinho *tacticalboard* ([www.mourinhotacticalboard.com](http://www.mourinhotacticalboard.com)) foi concebida, maioritariamente, para equipas técnicas, embora também possa ser utilizada pelo público em geral. Esta permite guardar todas as informações sobre a equipa, os jogadores e a maneira como a equipa e o adversário jogam, incluindo criar múltiplas posições táticas, bem como a preparação de diversas jogadas ensaiadas para cada jogo. Basicamente substitui no banco, o que a equipa técnica, em geral, utiliza: papéis, tabuleiros, notebooks e outras soluções que os ajudem a tomaras decisões cruciais, durante o jogo. O objetivo fundamental desta aplicação é melhorar a forma como a informação é gerida e utilizada. O *software* está disponível em diferentes plataformas e línguas. Embora seja uma evolução interessante não passa de um “bloco de notas digital”.

O *Sys4soccer* ([www.sys4soccer.com/](http://www.sys4soccer.com/)) permite, entre outras funcionalidades, aos treinadores apresentarem as suas ideias à equipa, através de um modelo de apresentação das táticas onde podem mover as marcas dos jogadores no terreno, definir a estratégia inicial de cada equipa, desenhar linhas livremente sobre o esquema do campo e gravar e editar os seus esquemas táticos.

O *Tracab* ([www.tracab.com/](http://www.tracab.com/)) usa pequenas câmaras móveis colocadas em várias posições na bancada, para capturar os movimentos dos jogadores e da bola. Esta informação é distribuída por 6 pacotes diferentes: o *Broadcast*, para a indústria de transmissão, onde são fornecidos dados, em tempo real, do posicionamento dos jogadores. Estes podem alimentar um motor gráfico para representações 3D do jogo. Já o *Broadband* fornece uma plataforma para os fãs seguirem o jogo, em direto, de forma interativa. O *Mobile* envia dados (estatísticos e outros) para dispositivos móveis, em tempo real; o *Print*, oferece estatísticas, bem como gráficos e resumos; o *Coaching* usa a informação obtida através do sistema de rastreamento (*tracking*) para calcular dados como: distância percorrida, velocidade, passe, mapas de calor, entre outros, e para marcar no vídeo correspondente, as sequências específicas da partida. Por último temos o *RegulatoryAssistance* que permite ajudar, em tempo real, os árbitros, através da medição das posições dos jogadores. Este módulo permite ao quarto árbitro ajudar o árbitro principal nas decisões mais críticas, tais como os fora-de-jogo.

O sistema *Prozone* ([www.prozonesports.com/](http://www.prozonesports.com/)) é um dos produtos mais semelhante ao que se pretende desenvolver no projeto Footdata. É um produto em desenvolvimento há sensivelmente 10 anos, em colaboração com algumas figuras do mundo futebolístico. Consiste numa gama abrangente de ferramentas de desempenho, para obter uma visão sobre o desempenho da equipa e do adversário. O pacote *Prozone3* é o sistema de rastreamento (*tracking*) de jogadores. O sistema fornece uma ferramenta exclusiva para o treino, uma vez que permite adquirir e tratar estatisticamente informação do *tracking* para analisar o desempenho físico, técnico e tático através do uso de diversas câmaras – oito – situadas em quatro posições distintas do campo e instaladas dentro de um estádio. O Prozone ainda fornece outros pacotes, nomeadamente o *Matchviewer* para *scouting*, o qual funciona pós-jogo e oferece uma visão técnica e tática a partir de uma única câmara. O *Dashboard* permite a análise rápida on-line, dos elementos mais importantes do desempenho da equipa, bem como os *benchmarks* dos adversários. O pacote *Trend* é usado para identificar as principais tendências no desempenho dos jogadores e da

equipa, juntamente com o *Playback*, o pacote que permite a análise, em tempo real, de ambas as equipas e performances individuais, durante um jogo. O *Matchinsight* permite avaliar os desempenhos registados por uma única câmara, permitindo aos técnicos e analistas codificar aspetos específicos do jogo. O *Recruiter* é a solução on-line que permite às equipas técnicas e administrativas tomarem decisões informadas sobre o comércio de jogadores, através do uso de dados adquiridos pelos restantes pacotes. O *Kizanaro* ([www.kizanaro.com/](http://www.kizanaro.com/)) é constituído por um conjunto de pacotes integrados, nomeadamente o *K-PlayMaker*, uma ferramenta de edição que permite executar inúmeras ações, como apresentar os movimentos da equipa e comunicar o esquema tático; o *K-Training*, uma base de dados com informações sobre os jogadores e o seu desempenho no treino, o *K-Studio* que analisa os jogadores em categorias específicas, fazendo relatórios táticos – impressão e vídeo e o *K-RealTime*, que recebe informações relacionadas com dados, em tempo real.

Apesar da diversidade de propostas neste campo, os dois produtos mais utilizados no mercado são o *SportVU* e o *Amisco*. O *Amisco* ([www.sport-universal.com/](http://www.sport-universal.com/)), pioneiro (ou um dos pioneiros), fornece (pré-) e (pós-) análise dos jogos, bem como análise dos jogos em tempo real. O *Amisco* tem desenvolvido ferramentas de análise e edição, de forma a poder fornecer serviços de *scouting*. Também fornece, em tempo real, dados e estatísticas através de uma página com um interface bastante amigável. O *SportVU* ([www.sportvu.com/](http://www.sportvu.com/)) consiste numa tecnologia de rastreamento (*tracking*) que utiliza 3 câmaras e que proporciona diferentes níveis de informações e estatísticas obtidas diretamente do recinto de um jogo de futebol. Utilizando algoritmos de visão obtém, em tempo real, o posicionamento  $x$ ,  $y$  da bola e dos participantes (jogadores e árbitros) dentro do campo de jogo. Através do uso de dados acumulados, compila informações significativas sobre as estatísticas do jogo. O fluxo de dados calculados é personalizado e enviado através de uma abordagem multiplataforma.

## **2.2 Segmentação do campo e segmentação e rastreamento de jogadores e bola**

De forma a poder fazer-se a deteção dos jogadores é necessário separar (segmentar) a área da imagem onde os jogadores se encontram, isto é, o campo propriamente dito. Dearden et al., 2006, mostraram o processo para extrair a região do campo de futebol dos jogadores. A ideia básica para este processo é a subtração da zona de cor verde, do

resto da imagem, de forma a ficar apenas com o campo (zona de interesse). A cor desta zona é representada por um histograma de duas ou três dimensões do espaço de cor *Hue, Saturation e Value* (HSV).

Para a localização e caracterização de objetos, existem diversos algoritmos consagrados pela literatura, como segmentação, agrupamento e correspondência com modelo (Ilha, 2009). Um dos métodos mais comuns e simples para a detecção de objetos em movimento, é a subtração do fundo, isto é, subtração de um *frame* pelo fundo (Figuerola et al., 2004). Com as mudanças de ambiente que podem surgir devido à iluminação, sombras ou novos objetos, pode ser necessário que o fundo tenha que ser atualizado regularmente. Para este fim, podem ser usados métodos estatísticos adaptativos, por ex. a aplicação de uma distribuição Gaussiana. Este método funciona melhor em cenas simples. Figuerola et al., 2004, apresenta um algoritmo que se reage pelos princípios atrás referidos, extração do fundo usando métodos estatísticos, diferença entre o *frame* atual e a imagem que corresponde ao fundo, binarização da imagem, filtragem morfológica para eliminar o ruído e marcação e identificação das manchas resultantes.

Para a identificação das equipas, Huang et al., 2007, utiliza a cor. Para os casos dúbios da detecção de jogadores, Figuerola et al., 2006, utiliza ainda um *template* dos jogadores de cada equipa.

No caso das oclusões Seo et al., 1997 utiliza a retro-projecção dos histogramas. A localização absoluta do jogador no campo será obtida após a transformação entre a imagem de entrada (campo, jogadores e bola) e a do campo modelo, usando pontos característicos, como linhas das laterais e das áreas, o círculo de meio campo e marcas como as de penalidade ou canto. Guangyu et al., 2007 utiliza um modelo de mosaico sobreposto no campo com diferentes resoluções para resolver este problema.

Os jogadores podem ser rastreados (*tracking*) pelo uso de filtros Kalman tal como proposto por Seo et al., 1997; Liang et al., 2005; Ilha, 2009; Nieto, 2012. No entanto, existem vários sistemas genéricos para rastreamento a partir de uma ou múltiplas câmaras: Huang et al., 2007; Poppe et al., 2010; Kataoka & Aoki, 2011; Nieto, 2012. Qualquer destes sistemas baseia-se na análise de sequências de imagens para fazer o rastreamento da bola e a identificação das equipas, bem como a posição absoluta da equipa no campo. A principal dificuldade no processo de rastreamento de objetos é a oclusão destes, ao longo do tempo. A correta separação das manchas (jogadores) com o

objetivo de isolar e separar os jogadores é um passo importante nesta direção (Figuerola et al., 2004).

Um dos algoritmos propostos para o seguimento da bola consiste, em primeiro lugar encontrar a bola utilizando a segmentação e, em seguida a eliminação e ponderação de candidatos, de forma a escolher qual dos candidatos é realmente a bola é utilizado o algoritmo de Viterbi. O algoritmo de Viterbi é representado com auxílio do diagrama de Trellis, que consiste num diagrama de estados indexados no tempo. A detecção de máxima semelhança pode ser descrita como o caminho mais provável, dentro de um diagrama de Trellis. No diagrama de Trellis cada nó é um estado, num determinado instante de tempo e, cada ramo é a transição para o próximo instante de tempo. Um passo no algoritmo representa um *frame* e os candidatos são os nós. É utilizado um grafo ponderado que é construído iterativamente. Para cada momento são inseridos os candidatos e as respetivas ligações do *frame* atual. Todos os pesos, dos nós e transições, são calculados através de fórmulas matemáticas, de forma a obter-se o caminho ótimo (Lianget al., 2005; Ilha, 2009).

Depois de encontrada a bola, é utilizado o Filtro de Partículas, auxiliado pelo método de semelhanças de histogramas, para fazer o *tracking* da bola. Os mesmos autores, inicialmente, utilizaram o filtro de Kalman, porém depois de analisado o desempenho de ambos, o filtro de partículas demonstrou ser melhor em diversos aspetos (e.g. Ilha, 2009). O filtro de Kalman é baseado, principalmente, na detecção por semelhança de padrão. Este resolve o problema de estimar o estado de um processo discreto, que é governado por uma função estocástica linear e a mediação. O filtro utiliza um método de controlo retroalimentado: ele estima o processo, em algum momento, e obtém a retroalimentação medindo o ruído do sistema. Este filtro funciona em duas etapas, uma de previsão e outra de correção: a previsão é calculada através de fórmulas matemáticas e o estado seguinte é obtido a partir do estado atual. A esta previsão é chamado estado à priori. A correção, denominada por estado à posteriori, é onde o valor medido é adicionado ao sistema, de forma a melhorar o estado à priori. Para uma diminuição do erro de predição, é utilizada a diferença entre o previsto e o medido, de modo a aperfeiçoar as variáveis do filtro e, por sua vez, a diminuição do erro. Isto é feito através do ganho de Kalman também conhecido como equação de Riccati, obtido através da co-variância do erro e da co-variância do ruído da medição. Posteriormente é multiplicado pela diferença entre o estado estimado e o medido. Por cada ciclo do filtro, os dados à

priori são calculados através dos valores calculados à posteriori. Esta propriedade recursiva torna o filtro de fácil implementação (Seo et al., 1997; Liang et al., 2005; Ilha, 2009; Nieto, 2012).

O Filtro de Partículas é mais simples. Inicialmente, o filtro foi criado para o rastreamento de objetos em ambientes com ruído. Este filtro apresenta um funcionamento robusto, ao mesmo tempo que modela o sistema “incertamente,” permitindo múltiplos estados do objeto. Simultaneamente consegue, assim, lidar com pequenas oclusões, pois existe a hipótese de estados menos parecidos com o objeto permanecerem no processo de rastreamento. O Filtro de Partículas lida com a variabilidade e com o uso de amostragem, repetindo a computação de uma fórmula de propagação relativamente simples. Em suma, o filtro de partículas consiste em aproximar a distribuição de probabilidades por um grupo de amostras ponderadas, em que cada amostra é um estado hipotético do objeto, com uma probabilidade da amostra correspondente. Neste caso, cada amostra representa uma tentativa de acertar no jogador ou na bola (Choi et al., 2004; Zhang et al., 2008; Ilha, 2009; Choi et al., 2011).

Um dos grandes problemas, no processo de rastreamento, é a oclusão/colisão de objetos, neste caso os jogadores, que pode resultar numa identificação errada de algum jogador. Um dos métodos mais utilizados, para solucionar este problema, passa pela utilização de várias câmaras, de ambos os lados do campo. Deste modo, uma colisão apenas existirá em algumas câmaras, existindo outras em que esta situação não ocorre (Iwase & Saito, 2003; Nieto, 2012).

### **2.3 Alguns conceitos usados na dissertação**

Um dos conceitos usados na dissertação é a filtragem morfológica, um método não-linear baseado numa forma (*shape*). Os filtros morfológicos são utilizados para quantificar as estruturas geométricas. A realização deste tipo de filtragem, através das operações “abrir” e “fechar” permite eliminar ruídos, em imagens binárias e preencher o contorno dos objetos, que eventualmente não ficaram bem segmentados. Este preenchimento visa juntar partes próximas de um objeto, que foram separadas durante a sua segmentação (Neves, 2003; Nieto, 2012).

A operação “abrir” realiza uma erosão, seguida de uma dilatação e é utilizada na eliminação de ruídos. Este filtro causa uma suavização nos contornos da imagem, eliminando pequenos agrupamentos de pixéis. A operação “fechar” faz uma dilatação

seguida de uma erosão e é utilizada para preenchimento. Este filtro causa uma suavização nos contornos da imagem (Neves, 2003).

O filtro de dilatação isolado é usado para “fechar buracos,” que são menores que a máscara definida numa imagem binária, o que irá causar um aumento da área resultante. O filtro de erosão é usado para “afastar grupos de pixéis,” que são menores que a máscara definida numa imagem binária, o que irá causar uma diminuição da área resultante (Neves, 2003).

Os filtros passa-baixo são fortemente utilizados na remoção de ruído, pois estes preservam as baixas frequências na imagem, provocando um efeito de suavização (*smoothing*). Outra característica desses filtros é o aumento proporcional do efeito de suavização relativamente à dimensão da máscara usada. Existem inúmeros filtros que permitem fazer a suavização, desde os mais simples, como o cálculo da média ou da mediana, até aos mais evoluídos, que permitem fazer a preservação das arestas na imagem, e ao mesmo tempo a suavização da imagem com bons resultados na eliminação de ruído. Um estudo detalhado de alguns destes filtros pode ser encontrado em Du Buf & Campbell, 1990.

## 3. Deteção e rastreamento de jogadores

Como referido na Introdução, o desenvolvimento da aplicação tem por base filmes em Full HD (1080p), assim todas as imagens, resultados e testes tem por base esta resolução, exceto quando referido em contrário. Os filmes podem ser adquiridos em diferentes campos de futebol, nas mais variadas situações. Habitualmente, as filmagens são feitas com uma câmara colocada em cima de um tripé, i.e., a câmara está estática, no entanto, são aplicados movimentos de rodar (*pan*) e inclinar (*tilt*) bem como de ampliação/redução (*zoom*). Isto significa que o campo e os jogadores podem ser apresentados com diferentes níveis de perspetiva, bem como nas filmagens podem aparecer (ou não) bancadas ou zonas exteriores ao recinto de jogo; Fig. 3.1.1 em cima.

Assim, a deteção e o rastreamento dos jogadores de futebol foi subdividida nos seguintes passos: (a) deteção da zona do recinto de jogo; (b) deteção e segmentação dos jogadores, (d) atribuição da equipa e (e) rastreamento.

### 3.1 Deteção da zona do recinto de jogo

Antes de se poder fazer a deteção dos jogadores, é necessário definir e limitar a área de jogo (onde se encontram os jogadores), isto é, o campo propriamente dito. Como proposto por Dearden et al., 2006. Nesta dissertação partimos também para a segmentação do campo baseado na cor (verde).

Assim, de forma a poder-se detetar a zona do campo, foi utilizado o espaço de cor HSV. Este espaço é o mais adequado e robusto em mudanças de cor, saturação e iluminação (Sebe & Lew, 2003). Situações que acontecem frequentemente durante a gravação de um jogo de futebol, em diferentes jogos ou até no mesmo jogo mediante a alteração das condições meteorológicas, sombras dos jogadores, transição entre câmaras, diferentes ângulos, entre outras situações. Comparativamente, para o espaço de cores RGB (*Red*, *Green* e *Blue*), usado tradicionalmente para a aquisição da imagem, não existe nenhuma forma simples e fiável de se poder afirmar que determinados valores de vermelho, verde e azul correspondem a uma determinada “cor - verde”.



Figura 3.1.1 – Em cima, um exemplo de um *frame* de início de um jogo, imagem  $I_{RGB}$ , em baixo o mesmo *frame* depois da segmentação pela cor verde ( $H = [60, 125]$ ), imagem  $I_C$ .

Considere-se o *frame*  $I_{RGB}(x, y, t)$ , com dimensões  $M \times N$ , sendo  $M$  a largura e  $N$  a altura da imagem, definido no espaço de cor RGB para um dado instante  $t$ , e o correspondente *frame*  $I_H(x, y, t)$ , com as mesmas dimensões de  $I_{RGB}$ , mas para o espaço de cor HSV considerando apenas o valor de *Hue*.

O **primeiro passo** consiste na deteção da zona de jogo. Para cada *frame* efetua-se a segmentação pela cor verde, definida no espaço de cor HSV pelo intervalo  $H = [60, 125]$ . Este intervalo foi escolhido com base na análise de várias amostras ( $300 \times 300$ ), de diferentes relvados em diferentes situações (v.d. Fig. 3.1.2 as 3 primeiras linhas), tais

como a existência de sombras, Fig. 3.1.2 K) e L) e em diferentes condições meteorológicas, como nevoeiro, Fig. 3.1.2 M) e chuva, Fig. 3.1.2 O).

Os valores obtidos pela soma (histograma) de todos os *Hue*, para cada pixel e para todas as amostras apresentadas na Fig. 3.1.2 em cima, estão apresentados na mesma figura em baixo. Dessa figura, conseguimos observar duas regiões distintas, uma proveniente dos relvados sem condições meteorológicas extremas e outra com condições extremas, como por exemplo nevoeiro, Fig. 3.1.2 M). Optou-se por selecionar o intervalo *Hue* correspondente ao relvado apenas para o primeiro caso (sem condições meteorológicas extremas), dando uma relaxação de 10 valores para cada lado do *Hue* máximo e mínimo obtido, ficando assim com um intervalo (*Hue*)  $H = [60, 125]$  (marcado a vermelho na figura).

No entanto, para cada campo podemos determinar a partir deste intervalo inicial, um intervalo do *Hue* mais próximo da realidade do campo. Assim, para cada campo são retiradas amostras periodicamente ( $\Delta t = 5$  minutos) e calculado o intervalo *Hue* como referido anteriormente. Essas amostras são retiradas de zonas onde não existem jogadores, e que sabemos serem campo (ver Secções seguintes). Esta operação permite um ajuste mais fino à segmentação do campo de jogo, em função das alterações das condições meteorológicas e/ou alterações das condições de iluminação.

Partindo do intervalo inicial do *Hue*, podemos determinar a zona da imagem que corresponde ao campo ( $I_c$ ), i.e., os pixels em que os valores de *Hue* se encontrem no intervalo referido anteriormente, estes são etiquetados a 0,

$$I_c(x, y, t) = \begin{cases} 0, & \text{se } 60 < I_H(x, y, t) < 125 \\ 1, & \text{caso contrario,} \end{cases} \quad (3.1.1)$$

como se pode observar na observar na Fig. 3.1.1 em baixo, para a imagem original em cima.

Desta forma, serão eliminadas a maioria das sombras presentes na imagem assim como serão agrupados todos os tons de verde. Este tipo de segmentação não é afetado pelos equipamentos das equipas que tenham tons de verde ou outros, pois o que acontece é que no interior do campo de jogo vão aparecer lacunas que podem ser maiores ou menores, em função da cor dos equipamentos, como iremos ver mais à frente (a única exceção a esta situação seria uma equipa que se apresenta num equipamento

completamente verde: blusa e calções; normalmente não é autorizada a utilização deste tipo de equipamento).

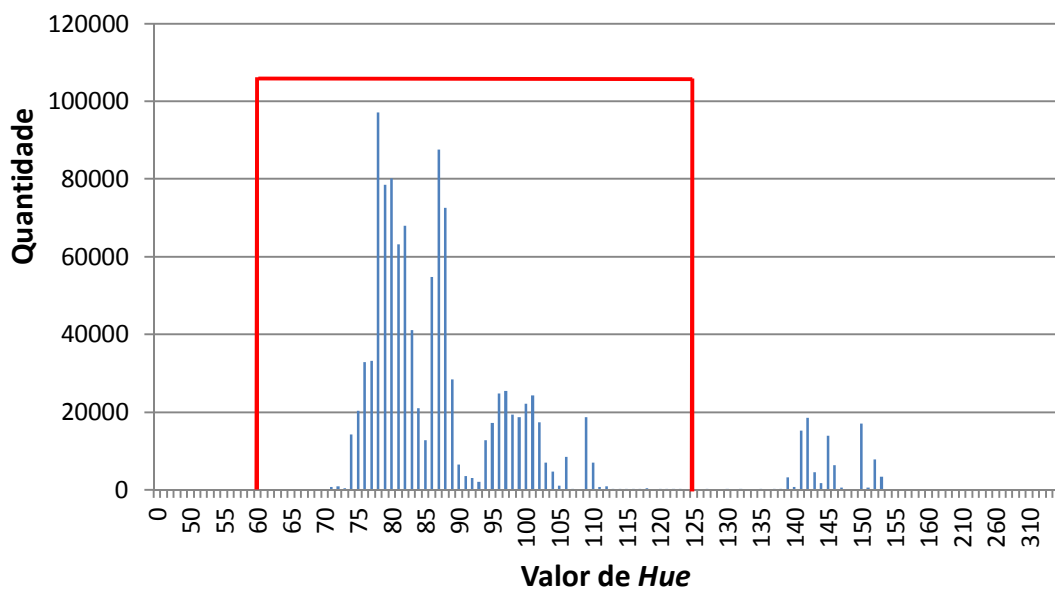
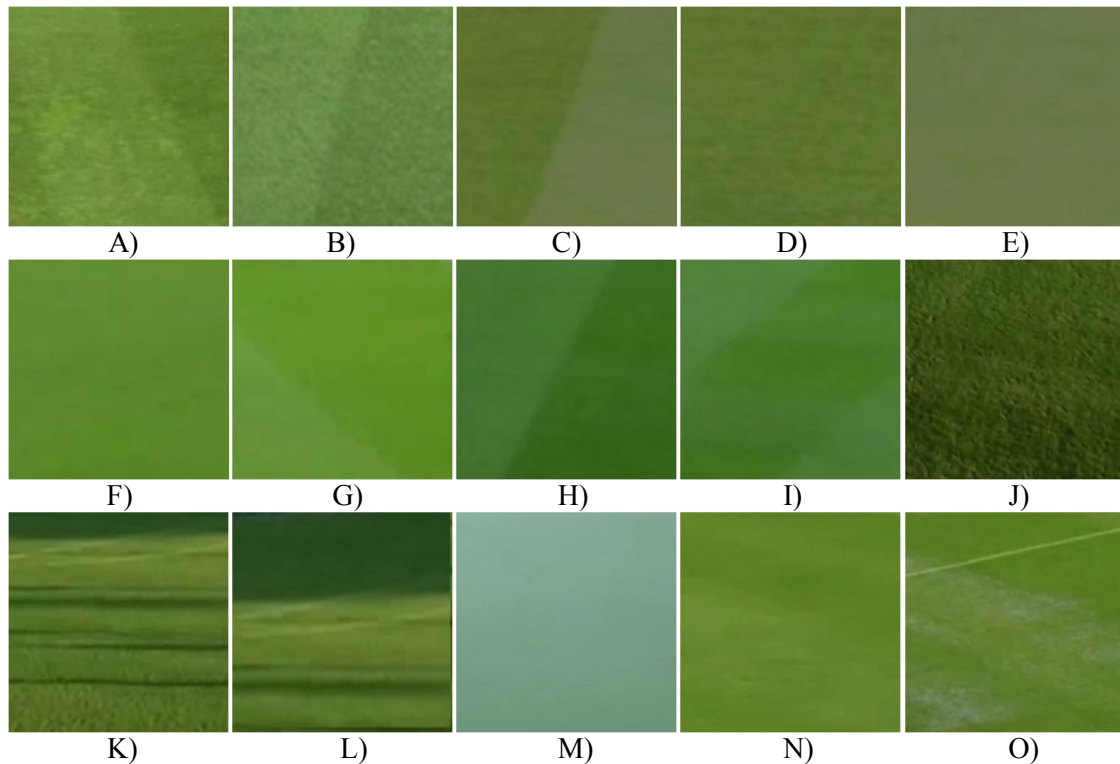


Figura 3.1.2 – Nas primeiras 3 linhas, exemplos de amostras de relvados, para o estudo do intervalo de valores *Hue* para definir o intervalo de segmentação do campo de futebol. Em baixo, o resultado do histograma dos valores de *Hue* de todas as amostras de relvado, limitado a vermelho o espaço *Hue* usado para a segmentação.

Contudo, a cor verde não se limita ao recinto de jogo, pois nas zonas exteriores a este também pode existir tons de verde, como por exemplo nas bancadas e em especial na zona reservada aos restantes membros das equipas (usualmente zona relvada); zona inferior do campo, como é visível na Fig. 3.1.1 em cima. Desta forma existe a necessidade de remover essas zonas, para se poder limitar o recinto de jogo de forma fiável e eficaz.

O **segundo passo** consiste em eliminar as zonas exteriores ao recinto de jogo. Este processo é fundamental para filmagens onde a câmara pode ter pequenos movimentos de rotação e inclinação (o caso desta dissertação). A remoção destas zonas é efetuada em duas fases, a primeira para eliminar as zonas superiores e a segunda para eliminar as zonas inferiores. As zonas encontram-se representadas na Fig. 3.1.3. Ambas as fases são realizadas em várias etapas: (a) primeiro são eliminadas as regiões insignificantes, i.e., as zona que tenham sido segmentadas pela Eq. 3.1.1, que se encontram fora do recinto de jogo. Consideram-se zonas insignificantes, todas as zonas que tenham menos  $(M \times N/250)$  pixéis conectados. Estes valores foram obtidos empiricamente após a análise de vários filmes com a resolução Full HD. Na realidade este limite máximo nunca será atingido (testado), uma vez que vamos além da conectividade, iremos testar também a forma (ver em baixo).

De seguida (b) é validada a zona que corresponde ao possível campo de jogo, e é feita a deteção das (c) linhas laterais que estejam sobrepostas com o campo de jogo e, por fim, (d) retirados todos os eventos que estejam fora das linhas que delimitam o campo de jogo. As duas fases referidas (zona superior/inferior) diferem, uma da outra, pois para a primeira fase, da remoção da zona superior, não é efetuada a etapa (c), e a etapa (a) é realizada com parâmetros diferentes nas duas fases, como será apresentado, de seguida.

Para retirar regiões insignificantes na imagem (a), para cada pixel  $(x, y)$  de  $I_c(x, y, t)$ , foi testado se o somatório de todos os pixéis numa região  $m \times n$  tem a mesma cor, i.e.  $I_c(x, y, t) = 0$ , caso isto não aconteça o pixel é atribuído à região de fundo, resultando  $I_{r1}(x, y, t)$  para a remoção da zona superior e  $I_{r2}(x, y, t)$  para a remoção da zona inferior;

$$I_{r1/2}(x, y, t) = \begin{cases} 0, & \text{se } \sum_{m \times n} I_c(x, y, t) = 0 \wedge I_c(x, y, t) = 0 \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.1.2)$$



Figura 3.1.3 – Identificação das zonas a eliminar (exteriores ao recinto de jogo), zona superior encontra-se delimitada a vermelho e a zona inferior, a azul.

Experimentalmente verificou-se que uma máscara  $m \times n$  que toma os valores  $75 \times 5$  para a zona superior e,  $90 \times 20$  para a zona inferior. Uma pequena alteração destes valores não apresenta alterações nos resultados, se alterarmos a resolução para HD ou para outra resolução abaixo do HD, as máscaras terão de acompanhar, proporcionalmente, a resolução. Para os resultados apresentados na Fig. 3.1.4 topo, as máscaras foram aplicadas em toda a imagem  $I_c$ . No entanto, podemos acelerar a aplicação deste passo, aplicando cada uma das máscaras, apenas na metade superior e inferior (para cada máscara) da imagem. Neste caso, será obrigatório limitar o máximo de *pan* e o *tilt* que a câmara pode efetuar.

O porquê do uso de uma máscara com uma largura superior à altura deve-se ao campo estar na horizontal ou numa posição próxima da horizontal, e com um filtro com esta forma conseguir-se apagar as regiões, sem no entanto, estragar significativamente os contornos do campo. A razão pela qual é utilizada uma máscara maior, na remoção da

zona inferior, é porque nesta zona existe uma grande parte em relva, que é necessário separar do recinto de jogo.

Pode-se observar o resultado  $I_{r1}$  na Fig. 3.1.4 topo, lado esquerdo e o resultado  $I_{r2}$ , no lado direito.

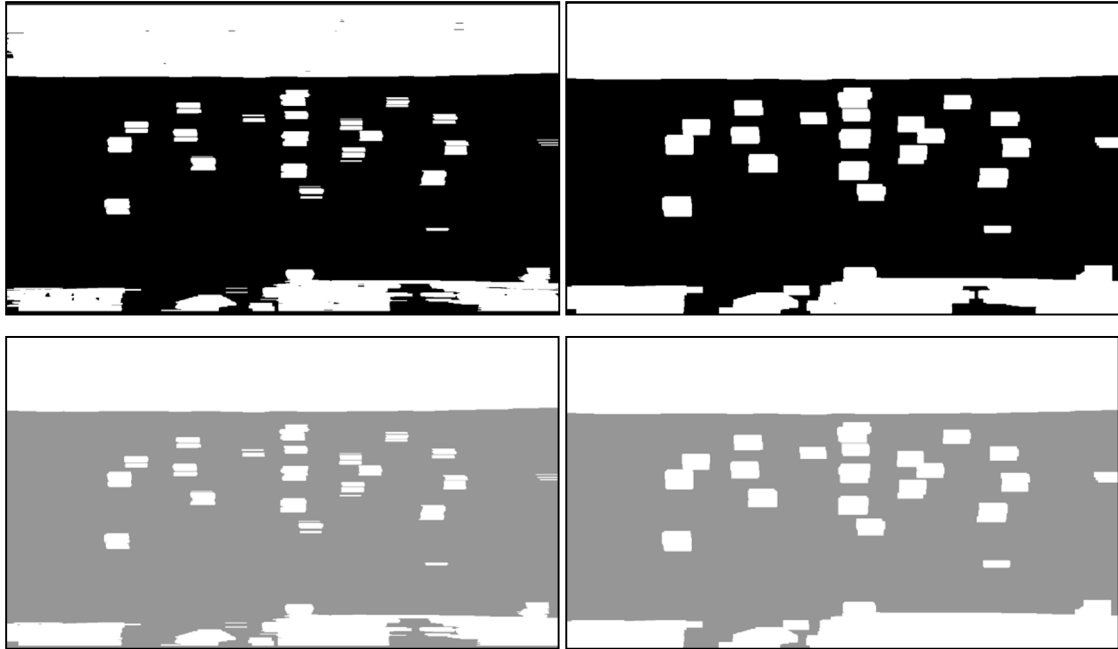


Figura 3.1.4 – Topo, aplicação do filtro para a remoção das zonas insignificantes, imagens  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$ , e em baixo, resultado da segmentação do campo, imagens  $I_{cs1}$  e  $I_{cs2}$ . O lado esquerdo, corresponde à remoção da zona superior e o lado direito, à remoção da zona inferior.

De seguida (b), na imagem  $I_{r1}(x, y, t)$  e  $I_{r2}(x, y, t)$  é verificada a zona que corresponde ao possível campo de jogo. Para tal escolhe-se um pixel central das imagens como semente (verificou-se que, em todos os jogos, na zona central da imagem, existe sempre campo), apenas caso em que este seja campo ( $I_{r1/2}(x, y, t) = 0$ ), ou em caso contrário (existência de um jogador nessa posição) procura-se o primeiro dos seus vizinhos, que tenha o valor 0. A partir desta semente, testou-se numa vizinhança  $3 \times 3$ , se todos os pixels têm o mesmo valor (0 - campo), caso tal aconteça, o pixel central da máscara é aceite como campo, caso contrário é atribuída a etiqueta de fundo (1). Este processo é recursivo, propagando-se este teste até existirem pixels conectados com o mesmo valor 0, i.e.,

$$I_{cs1/2}(x, y, t) = \begin{cases} 0, & \text{se } \sum_{3 \times 3} I_{r1/2}(x, y, t) = 0 \wedge I_{r1/2}(x, y, t) = 0 \\ 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.1.3)$$

A Fig. 3.1.4 em baixo, à esquerda apresenta o resultando  $I_{cs1}(x, y, t)$  para a remoção da zona superior, e  $I_{cs2}(x, y, t)$  para a remoção da zona inferior à direita. O resultado destas operações é a obtenção apenas da região do possível campo. Esta encontra-se marcada a cinzento na figura.

O resultado obtido da remoção das duas zonas, presentes em  $I_{cs1}(x, y, t)$  e  $I_{cs2}(x, y, t)$ , respetivamente, correspondem aos pixéis a branco na zona superior e inferior da imagem. Estes foram combinados para uma nova imagem  $I_{csb}(x, y, t)$ . Para tal, da imagem  $I_{cs1}$  foram copiados para  $I_{csb}$  (coluna a coluna) todos os pixéis brancos começando do topo da imagem até encontrar um pixel a preto, e de  $I_{cs2}$  foi efetuado o mesmo procedimento, mas desta vez começando na parte inferior da imagem, ficando a restante imagem  $I_{csb}$  a preto. Este resultado encontra-se na imagem 3.1.5 topo.

Para finalizar, é necessário refinar a deteção das zonas limite do recinto de jogo, como se pode observar na Fig. 3.1.5 topo, onde existem ainda zonas fora dos limites das linhas laterais (retângulo a vermelho).

Para tal aplicou-se (c), a deteção de arestas Canny, na imagem original  $I_{RGB}(x, y, t)$ , com  $t_H = 80\%$ ,  $t_L = 20\%$ , e  $\sigma = 3$ , apenas na zona onde  $I_{csb}(x, y, t) = 0$ . Obtendo-se a imagem das arestas  $I_{canny}(x, y, t)$ , v.d. Fig. 3.1.5 segunda linha (as linhas correspondentes à deteção de arestas Canny, estão representadas a cinzento). Sobre esta aplicou-se a transformada de Hough, com o objetivo de detetar as linhas que definem o recinto de jogo ( $I_{HL}$ ). Com este processamento, conseguiu-se limitar a procura das linhas limites do campo à zona de jogo, caso contrário muitas das linhas detetadas pela combinação de Canny e Hough iam coincidir com as bancadas (v.d. Secção 3.5). A Fig. 3.1.5 na terceira linha, ilustra as linhas de Hough detetadas (a azul).

Por fim (d), todas as zonas em  $I_{HL}$ , acima e abaixo das linhas (quasi-) horizontais e/ou das zonas à direita e à esquerda das linhas (quasi-) verticais (representadas a azul na Fig. 3.1.5 terceira linha) que estejam, respetivamente, até  $1/3 \times M$  e depois de  $2/3 \times M$ , são eliminadas, retornando  $I_{csf}(x, y, t)$ , que corresponde apenas à zona de jogo, como se pode observar na Fig. 3.1.5 última linha.

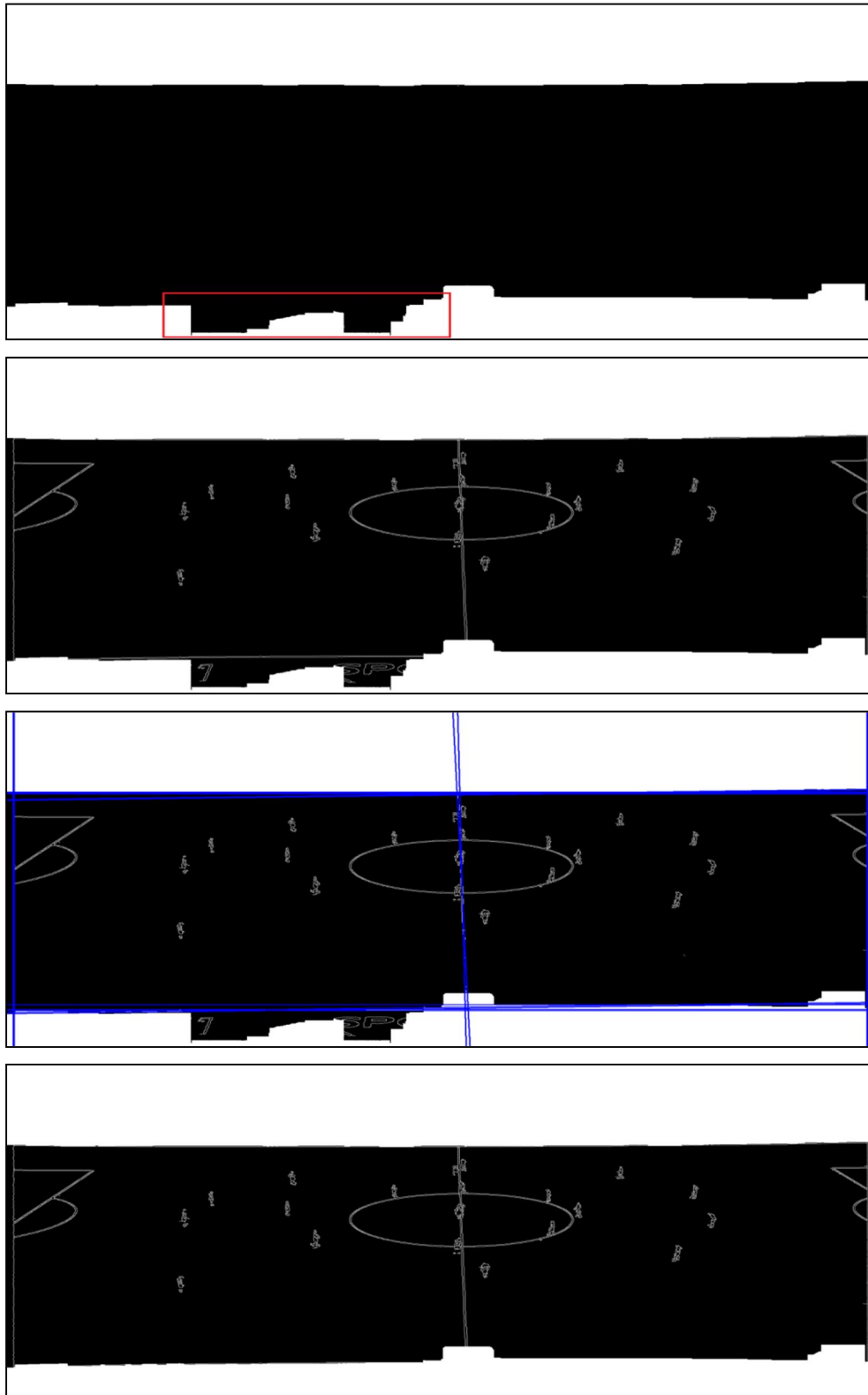


Figura 3.1.5 – De cima para baixo, o resultado da remoção da zona superior e inferior exterior ao recinto de jogo, imagem  $I_{csb}$ . A detecção de arestas Canny, imagem  $I_{canny}$ , resultado da detecção de retas utilizado a transformada de Hough (a azul), imagem  $I_{HL}$ , e a segregação final do campo, imagem  $I_{csf}$ .

A Fig. 3.1.5, apresenta, de cima para baixo, imagem  $I_{csb}$ , resultante da remoção da zona superior e inferior exterior ao recinto de jogo, a imagem resultante da detecção de arestas Canny  $I_{canny}$ , a imagem resultante da detecção de linhas através da transformada de Hough ( $I_{Hl}$  a azul) e por fim o resultado final da segregação do campo  $I_{csf}$  (as linhas da detecção de arestas Canny são meramente representativas).

Mais resultados da segregação do campo são apresentados na Secção 5 – Resultados experimentais.

### 3.2 Segmentação dos jogadores

Com a área do campo definida  $I_{csf}$ , a maior parte do trabalho, para a detecção dos jogadores, já se encontra realizada. Consideram-se jogadores, todas as manchas brancas existentes dentro do recinto de jogo, i.e., dentro da zona a preto na Fig. 3.1.5 última linha. Com esta consideração surgem três problemas: (a) manchas brancas provenientes ainda de ruídos, por ex. provenientes de zonas com falta de relva, (b) manchas brancas com pouca definição, provenientes de jogadores totalmente ou parcialmente equipados de “verde” e, (c) sobreposição de manchas de vários jogadores.

Para resolver estas situações e, para obtermos apenas os contornos dos jogadores, vamos aplicar filtros morfológicos (ver Secção 2.3), em conjunto com a aplicação de máscaras, para eliminar regiões insignificantes, como utilizada anteriormente na Secção 3.1, Eq. 3.1.2, mas com diferentes dimensões.

O **primeiro passo** consiste em detetar localizações de possíveis jogadores, isto é feito combinando os resultados obtidos na imagem  $I_c$ , (representada na Fig. 3.1.1 em baixo) com a determinação dos limites do campo  $I_{csf}$ . Esta última serve, especificamente, para definir os limites do campo. A imagem  $I_j$  representa a existência de jogadores, assim, um jogador é um conjunto de pixéis conectados que não estejam a preto:

$$I_j(x, y, t) = \begin{cases} 0, & \text{se } I_{csf}(x, y, t) = 1 \\ I_c(x, y, t), & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (3.2.1)$$

A Fig. 3.2.1 apresenta a imagem  $I_j$ , apenas do campo após segmentação de cor da imagem  $I_c$ , sobreposta com o resultado da segregação do campo  $I_{csf}$ ; imagem da zona correspondente ao recinto de jogo, onde se encontram os jogadores.

O **segundo passo**, consiste em remover regiões insignificantes que não correspondem aos jogadores. No entanto, muitas vezes, os jogadores aparecem (devido ao

equipamento utilizado) divididos em 2 ou mais regiões. Assim, fez-se uso da filtragem morfológica, que neste caso foi utilizar a operação “fechar,” isto é, primeiro aplica-se o filtro de dilatação ( $D$ ) e depois o filtro de erosão ( $E$ ). A dilatação (usou-se 2 iterações) irá juntar regiões conexas onde existem possíveis regiões pertencentes ao mesmo jogador (Fig. 3.2.2 topo) e a erosão (usou-se 1 iteração) irá diminuir a área das manchas e, conseqüentemente, também fazer desaparecer regiões pequenas (Fig. 3.2.2 segunda linha). Neste procedimento, jogadores que estejam muito próximos, serão anexados como um único jogador. Este processo não é problemático, pois mais tarde (v.d. Secção 3.4) serão novamente separados pelo processamento do rastreamento. Neste passo, ainda é aplicado um filtro mediana ( $M$ ) de  $9 \times 9$ , com o objetivo de eliminar pixels/regiões isoladas, tendo também como (sub-)resultado a “suavização” das manchas dos jogadores, e a aproximação destas a forma “mais real” do contorno do jogador, i.e., da região ocupada pelo jogador (Fig. 3.2.2 terceira linha). Obtemos assim a imagem:

$$\hat{I}_j(x, y, t) = M \left[ E \left[ D [I_j(x, y, t)] \right] \right]. \quad (3.2.2)$$

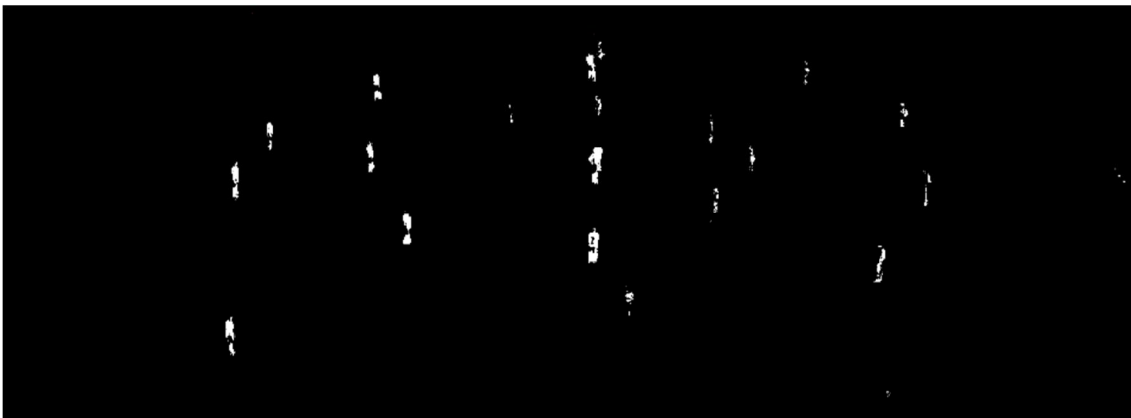


Figura 3.2.1 – Imagem  $I_j$ . Combinação dos resultados da imagem  $I_c$  com a imagem  $I_{csf}$ .

A última operação deste passo consiste na aplicação do filtro referido na Secção 3.1, Eq. 3.1.2. Neste caso, a máscara tem o valor em  $y$  ( $n$ ) maior do que em  $x$  ( $m$ ). Experimentalmente, verificou-se que uma máscara de  $2 \times 20$  apresentava bons resultados para os filmes e resoluções testadas, retornando  $I_{jf}(x, y, t)$ . Este último filtro tem como objetivo juntar “partes” do jogador que ainda estejam separadas, o que acontece com maior frequência na vertical.

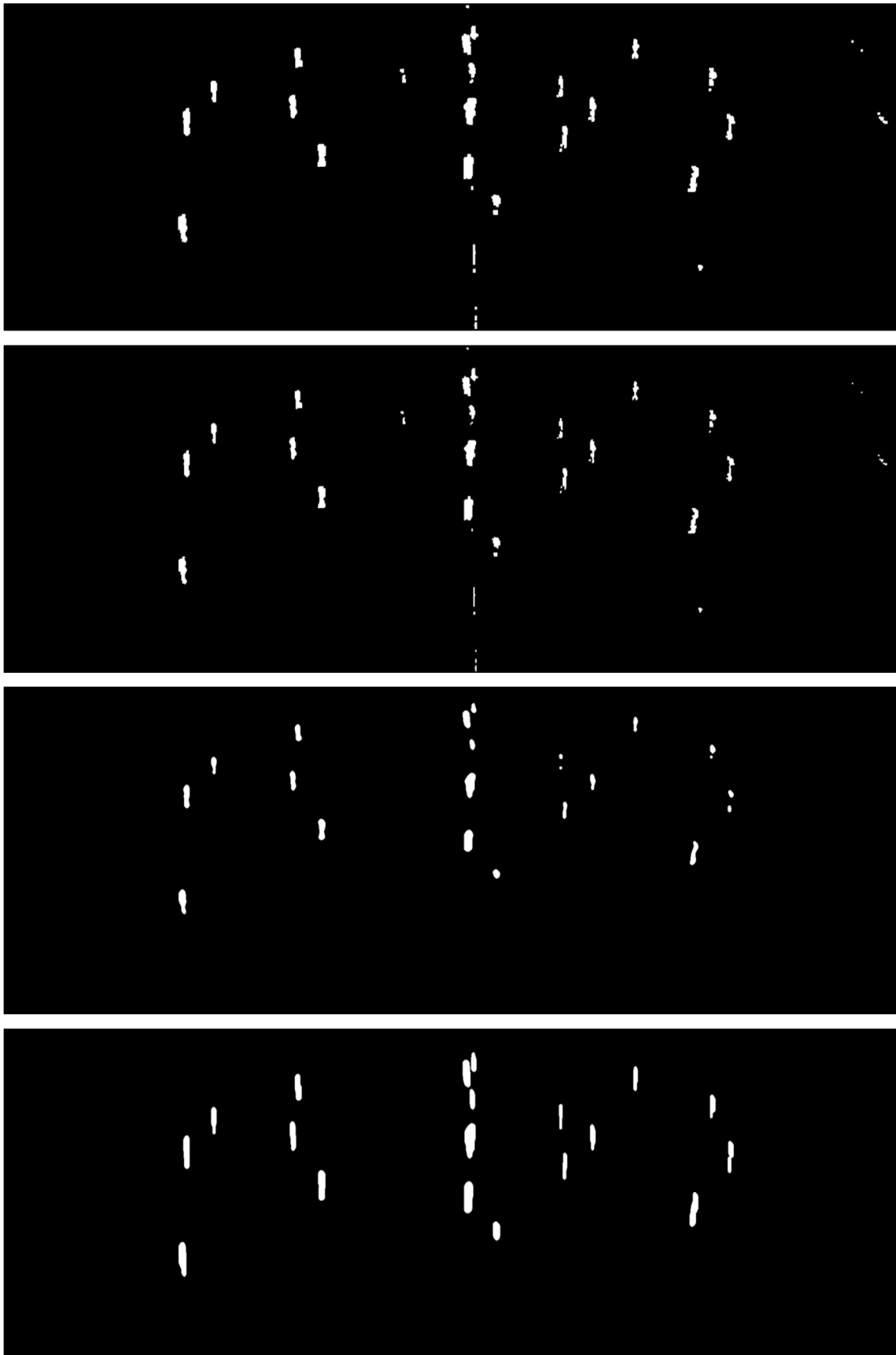


Figura 3.2.2 – De cima para baixo, resultados após a dilatação, erosão, mediana e a imagem final  $I_{ff}$ .

A situação acima referida ocorre em situações fora do normal, como por ex. quando o jogador coloca a camisola dentro ou fora dos calções. Além desta junção, ainda aumenta a área das manchas, o que é útil, pois aproxima-as do tamanho real dos jogadores (v.d. Fig. 3.2.2 última linha).

O **terceiro passo** consiste em delimitar os jogadores, por um retângulo em função dos contornos das manchas resultante em  $I_{jf}$ , isto é feito pela determinação dos pontos  $(x, y)$  máximos e mínimos de cada jogador (manchas em  $I_{jf}$ ), Fig. 3.2.3.

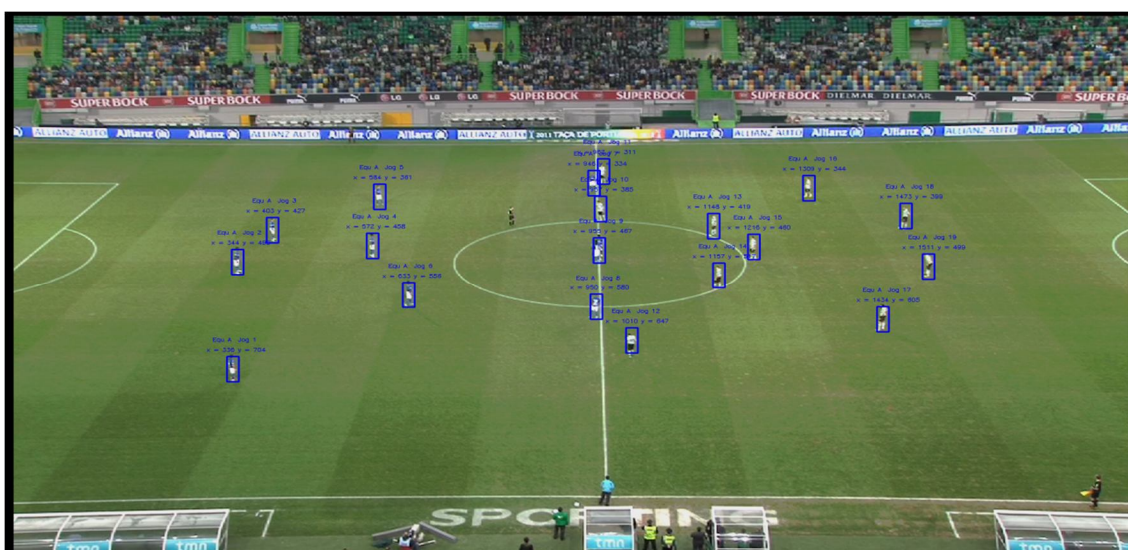


Figura 3.2.3 - Resultado final da deteção dos jogadores, marcados com um contorno a azul e a sua posição, coordenada  $(x, y)$  considerando o referencial imagem.

O cálculo da posição de cada jogador corresponde ao centro do retângulo. A Fig. 3.2.3, apresenta cada jogador segmentado e a respetiva posição dentro da imagem. Foi considerada a origem das coordenadas (referencial imagem), o ponto superior esquerdo. Caso o campo sofra rotações ou outras movimentações da câmara todos os jogadores continuam a ser referenciados pelo sistema de coordenadas acima referido. No Capítulo 4 será explicado como proceder de forma a que o referencial passe a ser um campo normalizado em função das dimensões do campo original (vídeo), e possamos ver os jogadores de cima (*bird's eye*).

### 3.3 Atribuição da equipa

A deteção das equipas baseia-se em cinco passos efetuados em paralelo, e que obrigatoriamente se têm de verificar para ser feita a atribuição da equipa e número ao jogador: **o primeiro passo** baseia-se na análise da cor do equipamento de cada jogador. Este passo parte do princípio que o vídeo começa no início do jogo ou, caso isso não aconteça, que manualmente são selecionados um grupo de jogadores (7 - ver mais adiante a explicação deste número) da equipa A e B. Caso o vídeo comece no início do jogo, cada equipa encontra-se em lados separados do campo. Desta forma, pode-se fazer a correspondência de cada lado do campo a uma equipa. Após a deteção dos jogadores e as suas posições relativas no referencial imagem, podemos criar uma lista ordenada de posições em  $x$ . Assim, as primeiras posições nessa lista irão corresponder aos jogadores que se encontram mais à esquerda do campo, e as últimas posições irão corresponder aos jogadores que se encontram mais à direita do campo. Atribui-se um número ao jogador em função da sua posição no campo.

Definiu-se, como número de jogadores para a análise da cor, o número 7. Isto deve-se a considerar que uma equipa tem 11 jogadores: retira-se o primeiro/último da lista que poderá corresponder ao guarda-redes e mais 3, que são os que estão, tipicamente, junto da bola, a meio campo, quando começa o jogo, e que geralmente, se encontram junto a outro jogador da equipa adversária (v.d. Fig. 3.2.3). Deve-se referir, que se o número de jogadores detetados for inferior a 14 (por exemplo se o campo de visão da câmara for baixo) dividimos a quantidade de jogadores detetados em dois grupos.

Para este passo usou-se, novamente, a imagem  $I_H$ . A análise consiste em calcular a média do valor *Hue* de cada mancha da imagem  $I_{jf}$ . Todos os pixéis em que o valor de *Hue* seja considerado verde, ver Secção 3.1, não serão contabilizados para o cálculo da média referida. Em seguida, é calculada a média dos sete jogadores de cada equipa. O último passo é calcular o valor médio entre os *Hue* atrás referidos, sendo este o limiar (*threshold*) para separar as equipas; para se poder compreender melhor o procedimento anterior, apresenta-se na Fig. 3.3.1 um exemplo.

Resumindo, os jogadores que apresentem um *Hue* (médio de todos os pixéis da sua mancha) abaixo do limiar calculado, pertencem a uma das equipas e os que apresentarem um *Hue* acima daquele, pertencem a outra equipa. Na Fig. 3.3.1 os jogadores que apresentarem a média do valor de *Hue* inferior a 115 pertencem à equipa A e os que tiverem média superior, pertencem à equipa adversária, B.

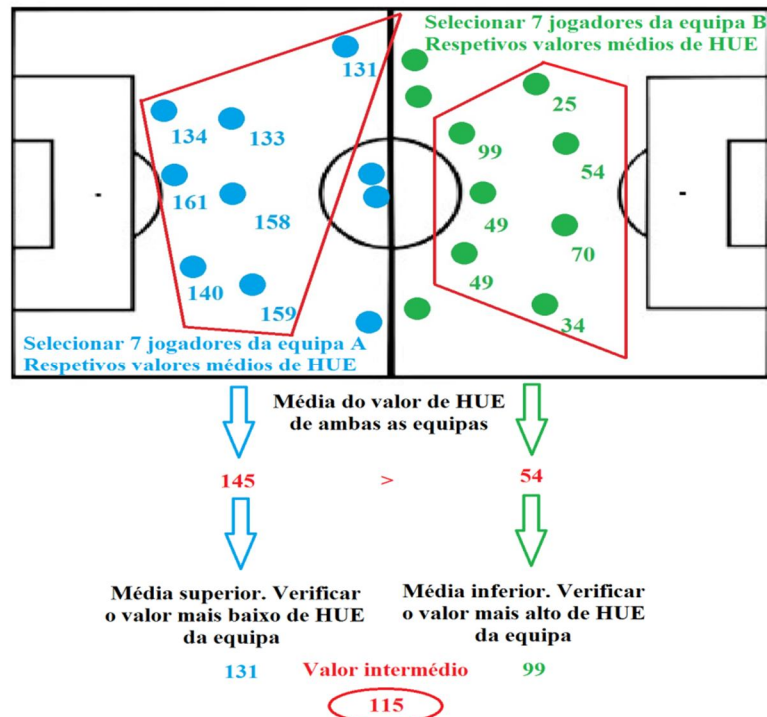


Figura 3.3.1 - Cálculo do parâmetro limiar (*threshold*) para a separação das equipas.

O **segundo passo** consiste em verificar se na região retangular de cada jogador (em  $I_{jf}$ ) existe alguma resposta de  $I_{canny}$  (v.d. Fig. 3.1.5 segunda linha). Só existirão respostas em zonas onde existe algum contraste entre o jogador e a relva, em zonas onde existe falta de relva (zonas acastanhadas) é usual o canny não retornar nenhuma resposta.

O **terceiro passo** consiste em considerar apenas zonas com mais de 90% de não verde dentro da região retangular (em  $I_{jf}$ ) que representa cada jogador. Com esta condição conseguimos descartar situações onde uma linha do campo foi atribuída como sendo um jogador.

O **quarto passo** consiste em retirar o árbitro e os guarda-redes (caso necessário). Para tal, a sua posição/região no campo é apontada no início, manualmente, e retirada do vetor atrás referido, sendo ainda o seu valor de *Hue* determinado e retirado da gama dos *Hue* detetados. Situações em que estes não sejam encontrados pelo processo de rastreamento, serão procuradas automaticamente pelo último valor de *Hue* conhecido (com um erro de +/- 10). Em último caso, compete ao utilizador a correção de uma má identificação destes elementos.

Após a validação de todos os processos anteriores, chega-se finalmente ao **último passo** que consiste em assegurar que a cada equipa são atribuídos, no máximo, apenas dez

jogadores. Com este procedimento assumimos que podemos perder algum jogador num determinado *frame*, mas este será recuperado num *frame* subsequente. A Fig. 3.3.2, ilustra o resultado da atribuição dos jogadores às equipas.

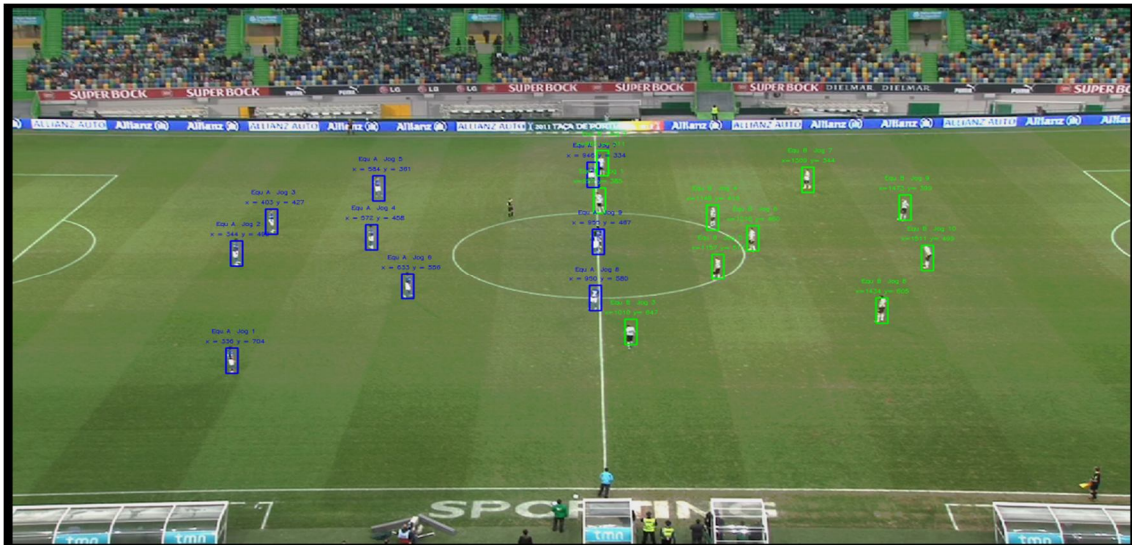


Figura 3.3.2 - Resultado da atribuição das equipas, uma equipa marcada a azul (lado esquerdo do campo) e a equipa adversária, a verde (lado direito do campo).

### 3.4 Rastreamento

O processo de rastreamento permite-nos seguir os jogadores a qualquer altura do jogo e, com isso também poder corrigir identificações erradas de jogadores. O processo de rastreamento implementado, embora simples, é eficaz para a aplicação que pretendemos.

Como foi referido, durante o processo de atribuição dos jogadores às equipas, as coordenadas dos jogadores são guardadas em duas listas conforme a equipa a que estes pertençam. As coordenadas do árbitro são guardadas à partes destas listas. Este procedimento é efetuado no primeiro *frame*, ou quando necessário para uma nova procura de todos os jogadores durante o jogo. As situações em que pode ser necessário efetuar uma nova procura de todos os jogadores presentes em campo, acontece apenas quando se “perdem” os jogadores, por exemplo a um grande plano de um jogador ou jogada. Fig. 3.5.5 em baixo ou 4.3.2, apresenta situações deste tipo.

No rastreamento, para cada *frame* ( $t$ ) é efetuado um processo mais robusto do que inicialmente é efetuada a quando da segmentação dos jogadores (ver Secção 3.2), este está dividido em 5 procedimentos efetuados por cada frame. Agora, (a) além das coordenadas de todos os jogadores (assim como as do árbitro) são guardadas para cada

um o valor médio de cor (*Hue*). De seguida, é calculada a distância euclidiana de cada jogador encontrado no *frame* anterior ( $t - 1$ ) com o(s) jogadore(s) mais próximo(s) encontrados no *frame* atual ( $t$ ). Verificando para cada jogador, do *frame* anterior, qual o jogador do *frame* atual, a que este se encontra mais perto. Se a distância calculada for inferior a  $dr1 = M \times N / 100000$ , as coordenadas do jogador do *frame* anterior, são substituídas pelas coordenadas do jogador do *frame* atual. Caso existam 2 ou mais jogadores à mesma distância (não sobrepostos), o jogador é atribuído ao correspondente do *frame* anterior com o *Hue* mais próximo.

(b) Se não existir nenhum jogador em até à  $dr1$ , verifica-se se existe algum jogador até à distância  $dr2 = M \times N / 50000$ . Para esta situação, é também sempre verificada se a cor do jogador do *frame* atual, coincide com a cor da equipa do jogador do *frame* anterior. Se esta condição for verificada, as coordenadas do jogador do *frame* anterior, são substituídas pelas coordenadas do jogador do *frame* atual. O mesmo procedimento se aplica ao árbitro.

(c) Situações, em que um determinado jogador não é detetado durante um conjunto de *frames* muito longo ( $Nfp_{max}$ ), considerou-se um período de três segundos, que corresponderá a um  $Nfp_{max} = fps \times 3$ , procede-se da seguinte forma: esse jogador será procurado num raio maior do que  $dr2$ . Esse novo raio de procura,  $dr3$ , variará com o número de *frames* que o jogador está “perdido” (não encontrado). Assim,  $dr3 = dr2 + dr1 \times (Nfp - Nfp_{max})$ , se  $Nfp > Nfp_{max}$ , em que  $Nfp$  é o número de *frames* que o jogador não é encontrado.

(d) É também necessário ter em atenção que podem ainda não ter sido detetados todos os jogadores existentes, principalmente no início do jogo. Para isso é necessário, após o processo de validação dos jogadores mais próximos (a e b), verificar se o número de jogadores encontrados, no *frame* atual, é superior ao número total de jogadores já detetados. Caso se verifique esta situação, é testada a cor (*Hue*) desse jogador para saber a que equipa pertence, de seguida verificasse se a equipa a que esse jogador pertence tem menos de dez jogadores. Se verificar-se esta condição, é adicionado o jogador à equipa, bem como as suas coordenadas e valor de *Hue* a lista das coordenadas da equipa a que esse jogador pertence.

(e) Por fim, é ainda necessário verificar à existência de colisões. Se após os procedimentos acima referidos, algum jogador não for encontrado é assumida que existe

uma colisão (junção de 2 ou mais jogadores). Para estas situações, todos os retângulos que representam os jogadores (ver e.g. Fig. 3.3.2) que estavam em posições muito próximas e foram perdidos, são associados num único retângulo do jogador detetado mais próximo, vide Fig. 3.4.2. Quando se verifica o fim da colisão (separação dos 2 ou mais jogadores), volta-se a verificar a cor de todos jogadores que se separaram, de modo a identificar a equipa de cada um. No futuro, será necessário efetuar o rastreamento para trás (*back tracking*) de forma a que um número seja atribuído a todos os jogadores em todos os *frames*.

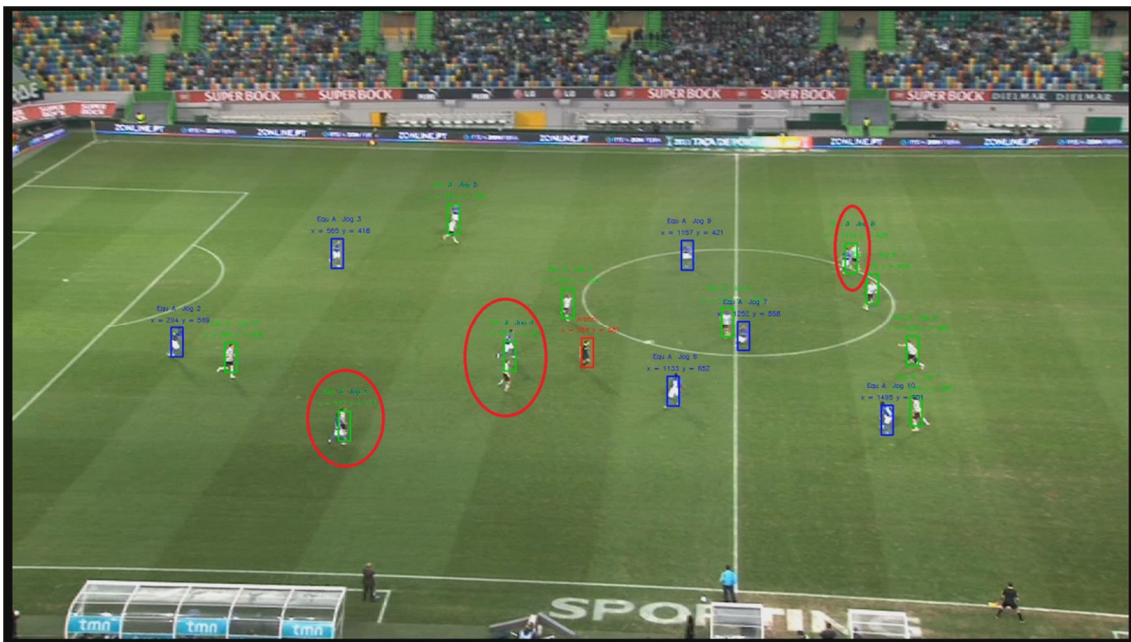


Figura 3.4.2 – Exemplos em que os retângulos que identificam os jogadores são sobrepostos numa colisão.

É necessário referir, que a qualquer altura, o utilizador pode modificar os resultados ou executar uma nova atribuição da equipa ou jogadores, por exemplo caso um jogador esteja identificado na equipa errada, ou numa situação em que está a ser feita a deteção de um jogador num local onde não existe nenhum jogador.

### 3.5 Discussão dos resultados

Para a deteção do recinto de jogo e remoção das bancadas foram implementados vários processos. A título de exemplo são apresentados dois: (a) Aplicação direta da deteção de linhas através da transformada de Hough. Nesta situação, como se pode constatar pela

Fig. 3.5.1, o resultado é uma grande quantidade de retas inesperadas, sendo impossível limitar o recinto de jogo, deste modo.

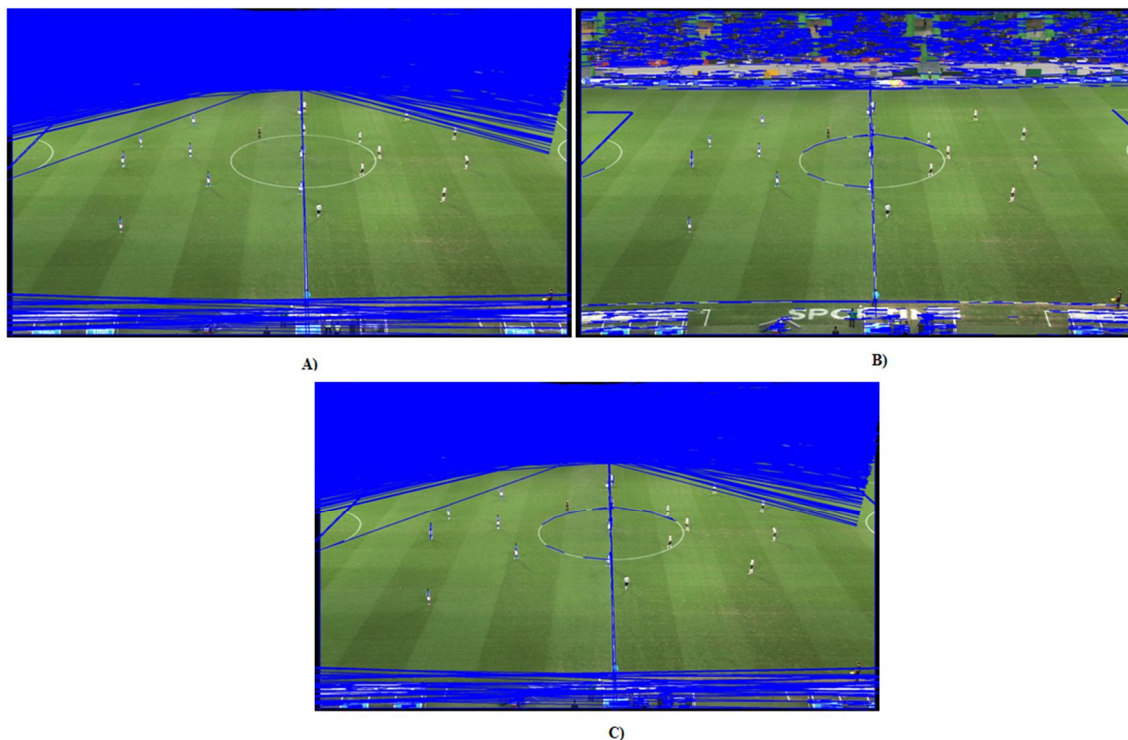


Figura 3.5.1 - Resultados da deteção de linhas através da transformada de Hough.

(b) Aplicação do algoritmo de *Back Projection*, proposto por Dearden et. al., 2006. Através da observação dos resultados da Fig. 3.5.2, são perceptíveis as zonas referentes às bancadas, as quais se encontram representadas em tons mais escuros e a zona referente ao recinto de jogo, em tons mais claros. Contudo, torna-se complicado identificar, a transição da bancada para o recinto de jogo, principalmente porque este processo deixa bastante ruído na zona referente ao recinto de jogo. Além disso, esse ruído também complicaria o processo de deteção de jogadores.

Relativamente à implementação da deteção da zona do recinto de jogo apresentada na Secção 3.1. Esta consiste num processo fiável e independente dos diferentes tons de verde de cada campo. No entanto, existem algumas situações em que este processo pode falhar. Como por exemplo, se o relvado estiver em más condições ou se a cor do recinto de jogo for exemplo acastanhado (recinto sintético). O algoritmo foi também testado em situações meteorológicas extremas, como neve, chuva e nevoeiro muito intenso, onde se verificou que este não funciona. Para tais casos é necessário adaptar o intervalo do

espaço de cor HSV, pela aquisição de amostras (ver Secção 3.1) correspondentes a essas condições.

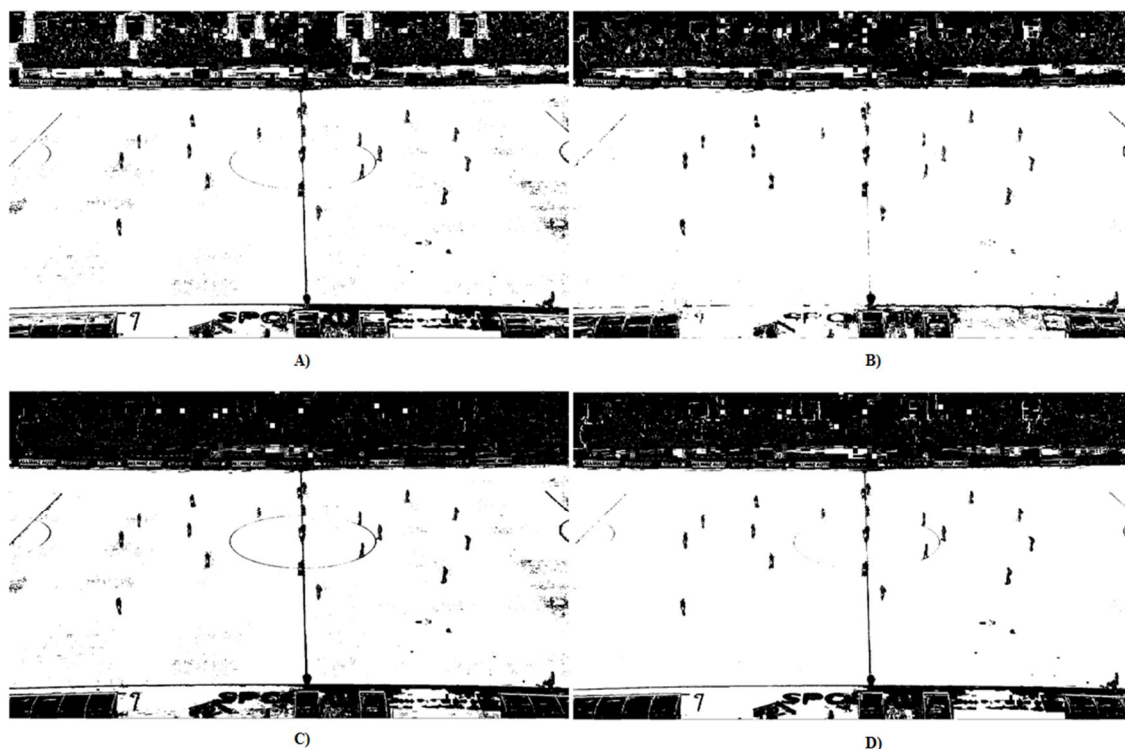


Figura 3.5.2 - Resultados da aplicação do algoritmo *Back Projection*. A) Tamanho do histograma [10,30]; B) Tamanho do histograma [30,10]; C) Tamanho do histograma [30,30]; D) Tamanho do histograma [20,20].

Na implementação da remoção das bancadas, os resultados são bons, limitando o recinto de jogo de forma eficaz. Todavia, existem situações em que este processo pode ser prejudicial para a deteção dos jogadores. Por exemplo, quando os jogadores se encontram muito perto das linhas de campo. Nestas situações esses jogadores também serão eliminados, juntamente com as bancadas, Fig. 3.5.3.

Estas situações podem tornar-se mais preocupantes, se as imagens forem captadas por uma câmara que esteja situada numa posição muito baixa, Fig. 3.5.4. Para este tipo de situações, é eliminada uma parte considerável da zona do recinto de jogo e, por sua vez, alguns jogadores que se encontrem nestas zonas, Fig. 3.5.4 C). Ainda, para este tipo de situações, torna-se difícil detetar as linhas do campo, utilizando o detetor de arestas Canny, como se pode constatar pela Fig. 3.5.9 D). Por sua vez, os resultados da transformada de Hough, também não serão os desejados, Fig. 3.5.9 D). Para este tipo de

campos outros métodos terão de ser estudados ou o método apresentado terá de ser otimizado.

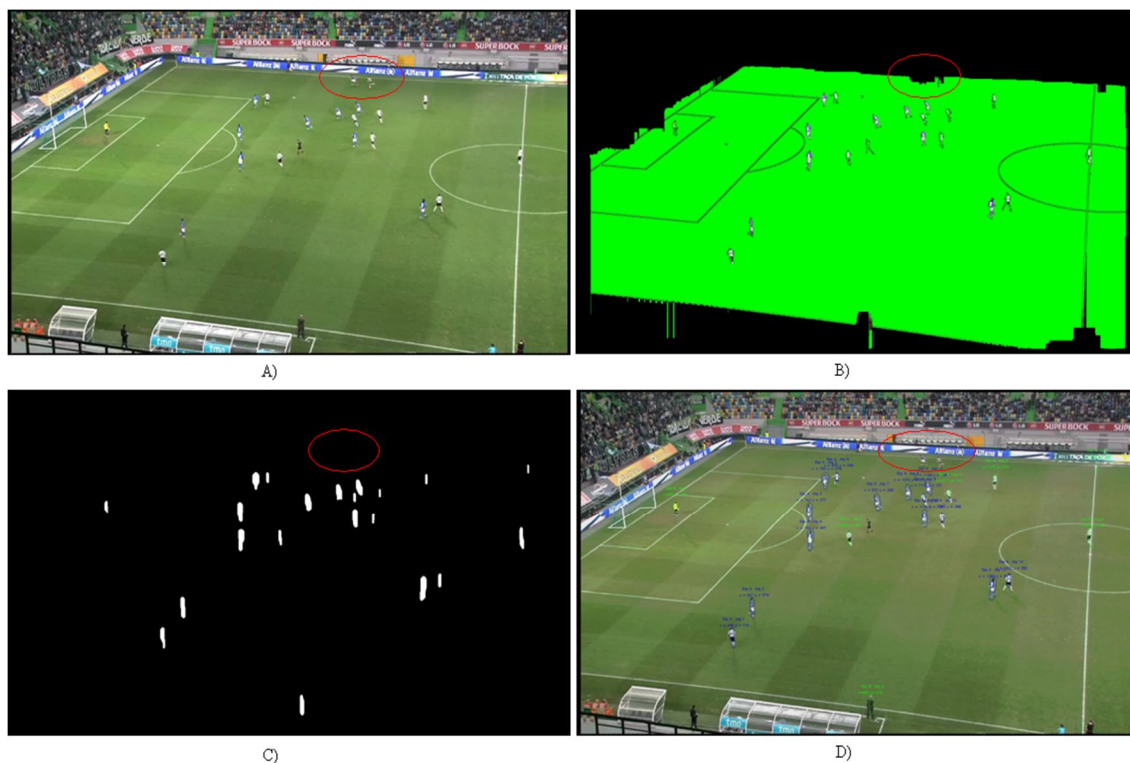


Figura 3.5.3 - Ilustração da eliminação errada de jogadores pelo processo de remoção das bancadas, quando estes se encontram perto das linhas de campo. A) *frame* original, B) resultado da deteção do recinto de jogo e da remoção das bancadas, C) resultado da deteção das manchas dos jogadores e D) resultado final da deteção dos jogadores.

Os resultados obtidos com a implementação da segmentação dos jogadores, Secção 3.2, demonstraram que apenas em poucas situações são detetados objetos que não sejam jogadores, e que não foram eliminados por nenhum dos métodos utilizados para os excluir. Estas situações acontecem, principalmente, quando é aplicada muita ampliação (nas gravações dos vídeos). Contudo, é possível a deteção de manchas que não sejam jogadores; Fig. 3.5.5 em cima.

Também podem acontecer, situações em que os jogadores são divididos em duas ou mais partes (principalmente em casos de ampliação elevada), resultando na deteção errada de novos jogadores, em que o processo de “filtragem” (Secção 3.2, segundo passo) não foi capaz de juntar todas as partes de cada jogador; Fig. 3.5.5 em baixo.

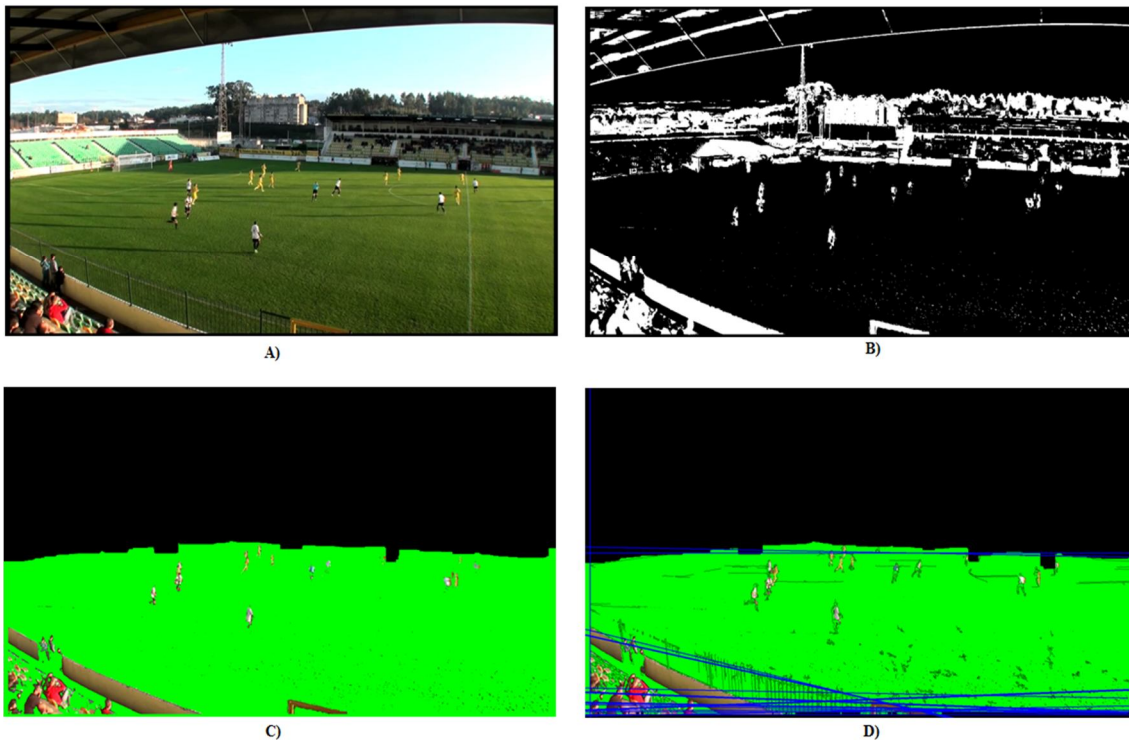


Figura 3.5.4 – Exemplo de uma gravação, utilizando uma câmara, que se encontra numa posição muito baixa. A) *Frame* original, B) *threshold* da imagem original, C) remoção das bancadas superiores e D) remoção das bancadas inferiores e retas obtidas após aplicar transformada de Hough (a azul).

Em relação à atribuição da equipa, Secção 3.3, embora este processo seja eficaz, existem situações que podem resultar em alguns erros, como quando as cores dos equipamentos são muito semelhantes, o que acontece raramente devido às regras instituídas no futebol, ou quando um dos equipamentos é muito parecido aos dos árbitros e/ou guarda-redes.

Por fim, no rastreamento dos jogadores, Secção 3.4, embora se obtenham resultados bons, existem sempre situações erróneas. Os principais erros que podem resultar deste processo são as colisões entre jogadores, principalmente quando existem várias em simultâneo. Outro dos erros, é quando jogadores não detetados o voltam a sê-lo num local muito distantes do local onde foram detetados pela última vez, nesta situação podem ser atribuídos a uma equipa diferente. Por fim, devido a não existir algoritmo por enquanto rastreamento para trás, existem jogadores que temporariamente podem não ter números atribuídos ou mal atribuídos. Contudo, devido à sua simplicidade, o algoritmo

de rastreamento pode ser considerada uma boa opção, tendo principalmente em consideração que o foco é a detecção de modelos de jogo.

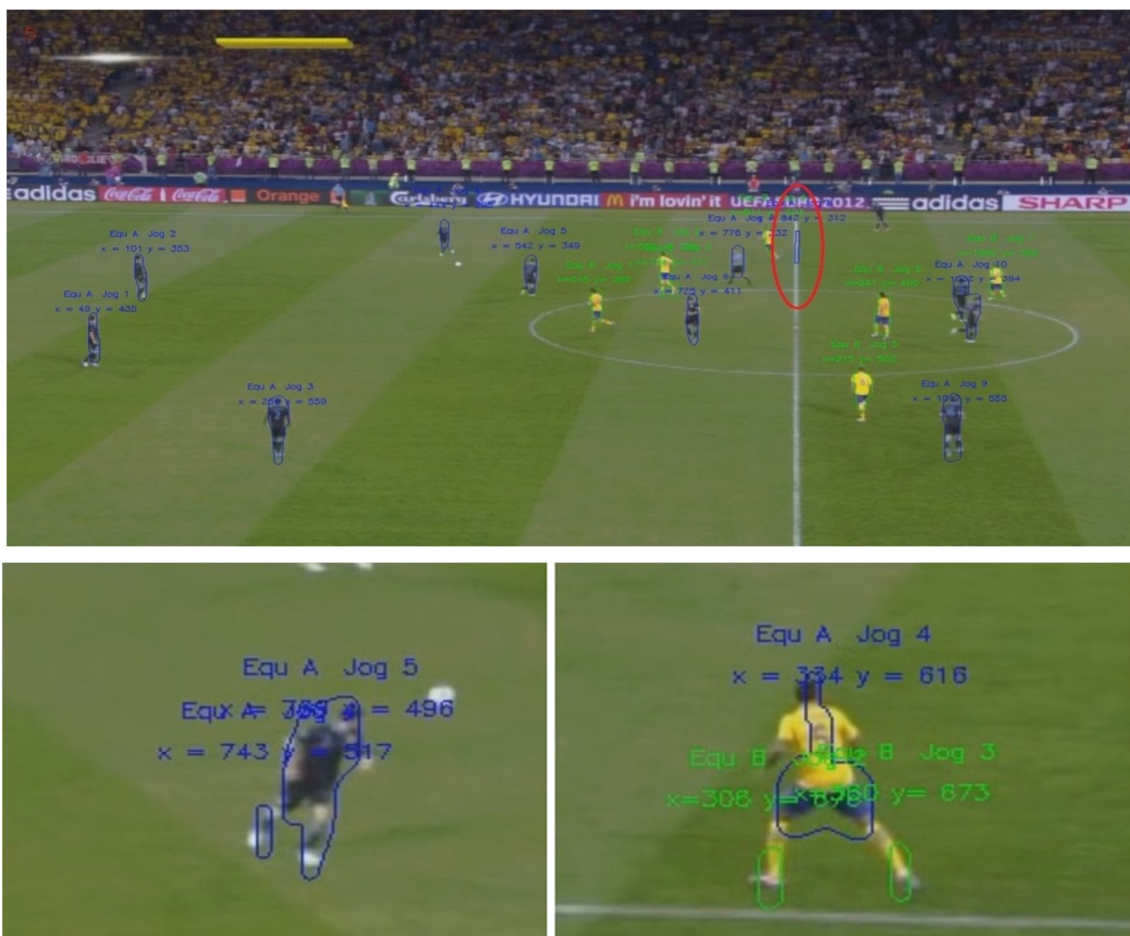


Figura 3.5.5 – Em cima, detecção errada de um jogador, em baixo, situações em que os jogadores são divididos em várias partes.

## 4. Análise de modelos de jogo

Neste Capítulo apresenta-se a ferramenta para adquirir as informações necessárias para se poder fazer a análise do modelo de jogo de ambas as equipas no decorrer de um jogo de futebol, embora não tendo ainda em consideração a posição da bola, componente fundamental dessa análise. Para tal, é necessário poder projetar os jogadores num campo modelo, com precisão, de modo a se obter as corretas coordenadas dos jogadores em campo. Para isto, será efetuada uma transformação de perspectiva, das coordenadas dos jogadores no campo de futebol para as coordenadas campo modelo. Todos os dados resultantes do posicionamento dos jogadores e numeração serão convertidos mediante protocolo previamente estabelecido com o Sistema de Informação do projeto FootData. Mais específico, do ponto de vista tático, será o cálculo e marcação dos jogadores de cada sector, assim como as distâncias entre cada sector e as distâncias entre jogadores para ambas as equipas. Será também feita a descrição simplificada da análise de alguns modelos de jogo (apenas para efeito de demonstração do conceito).

### 4.1 Transformação de perspectiva

Para se poder fazer uma análise correta de um jogo de futebol, é necessário ter conhecimento das coordenadas corretas dos jogadores, em relação ao campo. Pois no Capítulo anterior todas as coordenadas dos jogadores, são em relação à origem da imagem (canto superior esquerdo). Com esse objetivo, é efetuada uma transformação de perspectiva, de modo a obter as proporções corretas de todas as linhas do recinto de jogo.

Mas, antes de efetuar a transformação, é necessário encontrar as referências necessárias, para a poder efetuar. Essas referências, correspondem a quatro pontos que representem a perspectiva do campo, e ao mesmo tempo cubram a maior área possível, i.e., os dois pontos mais à esquerda e mais à direita do campo possível, em que os dois pontos de cada lado, tem de pertencer à mesma reta. Para a localização dessas referências, é necessário encontrar: a intersecção entre a linha lateral superior e inferior, e a linha do meio campo e/ou uma das duas laterais, esquerda e direita ou em sua substituição as correspondentes linhas de pequena ou grande área (esquerda e direita). Na Fig. 4.1.1,

estão representadas no campo modelo as linhas de interceção por diferentes cores com os pontos possíveis de interceção marcados a vermelho.

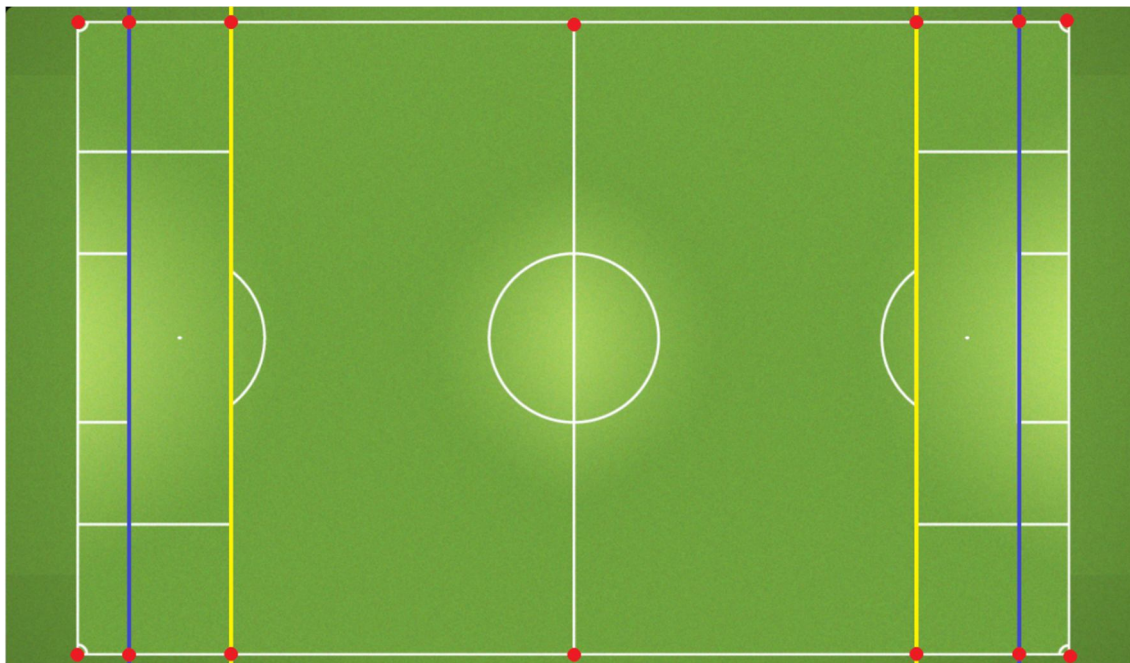


Figura 4.1.1 – Campo modelo utilizado neste trabalho, com todas as referências possíveis salientadas (círculos vermelhos).

Para detetar as retas referidas é necessário, recorrer à transformada de Hough para a deteção de linhas, como utilizado na Secção 3.1. De seguida, são calculados os pontos de interceção das retas encontradas (necessárias para calcular os pontos pretendidos).

Como campos diferentes podem ter dimensões, comprimento (em  $x$ ) e largura (em  $y$ ) diferentes, é importante obter no primeiro *frame* as medidas do campo de forma que o campo modelo seja criado com a mesma razão. Para tal, podemos usar ou o raio do círculo da grande área ou uma das linhas de grande ou pequena área, e com estas calcular quanto vale em metros cada pixel (ver Secção seguinte). Sabendo esta relação, e tendo as linhas de meio campo e pelo menos metade de uma das laterais, podemos estimar a dimensão do campo.

Com os pontos da imagem do vídeo é necessário associa-los aos respetivos pontos no campo modelo. Com os quatro pontos da imagem original (imagem do vídeo),  $xo(i)$  e  $yo(i)$  encontrados e os quatro pontos ( $i = \{0, 1, 2, 3\}$ ) da imagem destino (imagem campo modelo),  $xd(i)$  e  $yd(i)$ , pode-se calcular a matriz de transformação  $M$ , em que

esta é uma matriz  $3 \times 3$ , necessária para efetuar a transformada de perspectiva, da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} xd \\ yd \\ 1 \end{bmatrix} = M \times \begin{bmatrix} xo \\ yo \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4.1.1)$$

Depois de obtida a matriz de transformação  $M$ , esta é usada para transformar as coordenadas dos jogadores para o campo modelo, usando novamente a Eq. 4.1.1, em que,  $(xd, yd) = (xj, yj)$ , são as coordenadas da imagem original (vídeo) do jogador e que,  $(xo, yo) = (xjc, yjc)$ , são as coordenadas da imagem resultante da transformação (campo modelo). A Fig. 4.1.2 imagem de baixo mostra usando círculos de duas cores, uma para cada equipa e respetiva numeração a posição dos jogadores detetados na imagem de topo. As coordenadas apresentadas nesta figura tem como origem a interceção da linha lateral superior com a linha de meio campo. Na imagem do meio estão representados todos os pixéis transformados delimitados pelos 4 pontos de referência (vista de cima – *bird's eye*). Para mais detalhes relativamente a como obter a matriz  $M$  (transformação de perspectiva) consultar, Hartley, 2003; Bradski & Kaehler, 2008.

A partir do momento em que se efetua a transformada de perspectiva, já é possível calcular as distâncias em metros, pois as medidas do campo presente no vídeo coincidem com as do campo modelo. Sabendo as dimensões reais do campo é simples calcular as distâncias em metros.

## 4.2 Preparação do modelo de jogo

Os modelos apresentadas nas Secções anteriores permitem a segmentação e o rastreamento dos jogadores, bem como a atribuição aproximada das posições dos jogadores do vídeo para o campo modelo. Existem no entanto ainda situações onde a atribuição da posição do jogador no vídeo não esta ainda a funcionar corretamente, isto acontece sempre que não é possível detetar corretamente os 4 pontos referidos anteriormente que delimitam à área para fazer a transformação, i.e., quando não é possível detetar totalmente ou parcialmente as linhas laterais superior e inferior, e a do meio campo e uma das duas laterais esquerda e direita ou em sua substituição as correspondentes linhas de pequena ou grande área (esquerda e direita). Neste caso, no futuro, para obter uma maior precisão nos resultados, será necessário criar um modelo

matemático para a transformação da perspetiva baseado apenas no círculo central ou semicírculo da grande área (e restantes linhas disponíveis, caso existam).

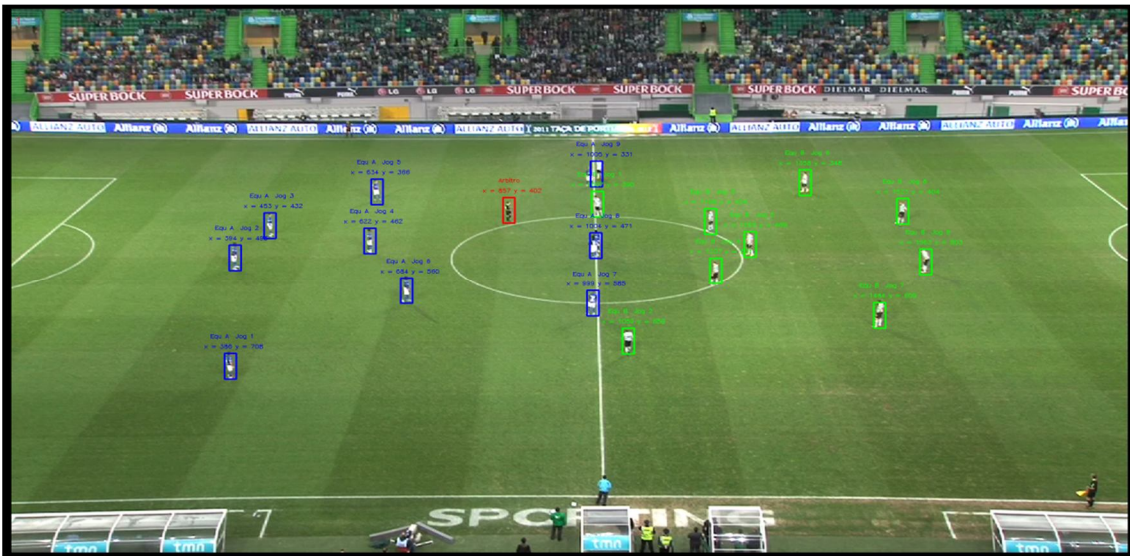


Figura 4.1.2 – Em baixo, a representação dos jogadores num campo modelo, para um *frame*, com a deteção dos jogadores, imagem em cima. E no meio o resultado da transformação da perspetiva.

Do ponto de vista do modelo de jogo, como referido na Introdução, torna-se importante para o treinador poder verificar se o seu modelo de jogo está a ser cumprido conforme o estipulado (treinado) e/ou analisar modelos de jogo (táticas), que estejam a ser usadas pelo adversário, i.e., analisar a movimentação de cada jogador, individualmente ou em conjunto (diversos sectores ou toda a equipa) em função da bola e/ou dos adversários.

Para este efeito, está em desenvolvimento uma ferramenta web para os treinadores inserirem modelos de jogo, essa ferramenta está ligada ao Sistema de Informação (SI) do FootData (não faz parte dos objetivos desta dissertação). Cada treinador preconiza diferentes modelos de jogo (padrões e movimentações), todos os modelos inseridos no SI do FootData serão comparados com os resultados obtidos pelo sistema, i.e., após o rastreamento e projeção no campo modelo. Deve-se salientar neste momento que esses modelos de jogo variam além de treinador para treinador, também variam em função da equipa estar em posição defensiva ou em posição ofensiva.

Para fazer a prova do conceito, tendo em vista a análise de modelos de jogo, será de seguida apresentada uma situação de jogo “virtual” (uma vez que a quando da escrita desta dissertação ainda não existem modelos de jogo inseridos no SI do FootData).

A situação proposta para estudo foi: (a) Detetar o sistema de jogo 3-3-4 (3 jogadores do setor defesa, 3 do meio campo e 4 atacantes), segui-los durante o processo defensivo, ou um sistema 4-3-3 e segui-los também no sistema defensivo. Considera-se cada um dos setores quando existem o número de jogadores em linha (distancia máxima entre eles em  $x$  de 2m). (b) Determinar se a equipa está em processo defensivo ou ofensivo. Como critério a ser usado, a quantidade de jogadores que estão atrás da linha de meio campo. (c) Determinar se as distâncias entre sectores, alertando caso ultrapassem os 10m.

O primeiro passo consiste em determinar quanto vale cada pixel da imagem modelo em metros. Existem normas para os comprimentos máximos e mínimos da linha de meio campo e das linhas laterais esquerda e direita (45-90m) e as linhas laterais superior e inferior (90-120m). Estas dimensões variam de campo para campo (e muitas vezes de jogo para jogo, em função do adversário), no entanto a maioria dos clubes ronda os

105 × 68m. Deste modo, não sendo um valor constante, estas medidas não nos servem como referência, assim as únicas medidas que são obrigatórias para todos os campos são o círculo a meio campo (raio 9.15m), e as linhas de grande área (16.5 × 40.3m) e as linhas da pequena área (5.5 × 18.3m).

Partimos assim, sempre de um campo modelo com as dimensões iniciais de 105 × 68m, mas validando as dimensões das linhas laterais e meio campo a partir da dimensão das linhas das grandes área e/ou círculo de meio campo, para tal, será determinada a maior dessas linhas visível na imagem. Determinando assim, a razão entre dimensão em metros e a dimensão em pixéis. Para o campo mostrado na Fig. 4.1.2 em baixo, cada pixel corresponde a 0.10m.

Para se poder representar as informações associadas ao modelo de jogo, são introduzidas linhas, que unem os jogadores do mesmo sector (o mesmo acontece na prática em alguns treinos, onde os jogadores são obrigados a treinar de mão dada ou com a ajuda de cordas). Para se efetuar a identificação de cada setor, são utilizados vetores de  $n$  elementos por  $m$  sectores onde estão guardadas as coordenadas dos jogadores das diferentes equipas. Estes são ordenados por ordem crescente segundo as coordenadas  $x$  para a equipa do lado esquerdo do campo e por ordem decrescente para a equipa do lado direito (neste caso temos 3 setores, cada um com o número de elementos acima referido). Desta forma, as primeiras posições correspondem aos jogadores do primeiro setor, as posições intermédias correspondem ao segundo setor e as últimas posições correspondem ao terceiro e último setor (este procedimento é inicializado no início do jogo, ou reinicializado sempre que se pretende pelo toque numa tecla da interface). Cada setor só fica ativo (reconhecido) se todos os elementos desse setor estejam em linha com um erro de  $\Delta x = 1.5m$ .

Os jogadores são assim unidos por um segmento de reta pelas suas coordenadas, e por sua vez os setores são unidos também por uma reta que parte ou chega do ponto intermédio entre os dois jogadores mais extremos de cada sector. Para além das linhas referidas, também são calculadas e apresentadas as distâncias euclidianas em pixéis, entre os jogadores de cada sector e entre os sectores de cada equipa. Pode observar-se um exemplo destas representações na Fig. 4.2.1. Estas medidas são facilmente convertíveis em metros usando para tal as medidas normalizadas no campo modelo

(cada pixel corresponderá a 0.10 m, como já referido). Na Fig. 4.2.1, optou-se por representar em pixéis para facilitar a visualização.

Quando pretendido (todas as ferramentas estão implementadas, ver Capítulo 6), mediante a informação e gostos de cada um dos treinadores, as medidas podem ser apresentadas em metros ou em pixéis, com diferentes tipos de letras ou cores por exemplo para representar medidas (distâncias entre jogadores ou sectores) que tenham sido ultrapassadas, bem como caixas (ou círculos/elipses) de diferentes cores para ilustrar jogadores que não estão a cumprir o modelo de jogo estipulado.

Proveniente da informação inserida pelos treinadores no SI do FootData, todos estes critérios poderão ser alterados, i.e., tanto os critérios de representação da informação em vídeo (caixas, círculos, retas, cores, etc.) como os critérios do que se pretende detetar e analisar (modelo de jogo). Esta última tarefa não faz parte desta dissertação, uma vez que será feita no lado do SI. Esta dissertação termina com a transmissão fiável das posições dos jogadores (e no futuro da bola) para o SI (v.d. Secção 4.3).

Na Fig. 4.2.1, encontram-se representadas duas equipas: a equipa que se encontra marcada a azul, que está representada por um sistema 3-3-4 e a equipa que se encontra marcada a verde, representada por um sistema 4-3-3. As alterações defesa-ataque e ataque-defesa são executadas automaticamente. Em que a condição utilizada para verificar a se as equipas se encontram em posição ofensiva ou defensiva, consiste em verificar se existem, pelo menos, sete jogadores dessa equipa que estejam posicionados atrás da linha de meio campo, caso isso se verifique considera-se que a equipa se encontra em posição defensiva, caso contrário, define-se que esta se encontra em posição ofensiva.

É importante voltar a reforçar, que toda a movimentação dos jogadores tem de ser testada em função dos modelos de jogo que os treinadores pré-definiram no SI do FootData, bem como a movimentação entre grupos de jogadores, com e sem bola. Inclui-se neste campo, tanto o posicionamento do jogador no campo, como as distâncias entre este e outros jogadores, e as transições de defesa-ataque e ataque-defesa. Todas estas variáveis têm de ser comparadas com as regras pré-definidas ou a definir, automaticamente, a partir do SI. O trabalho apresentado nesta dissertação fornece a posição dos jogadores no campo e a distância entre eles em pixéis ou metros, não faz

parte dos objetivos o reconhecimento dos modelos de jogo, mas sim fornecer a base para essa análise.

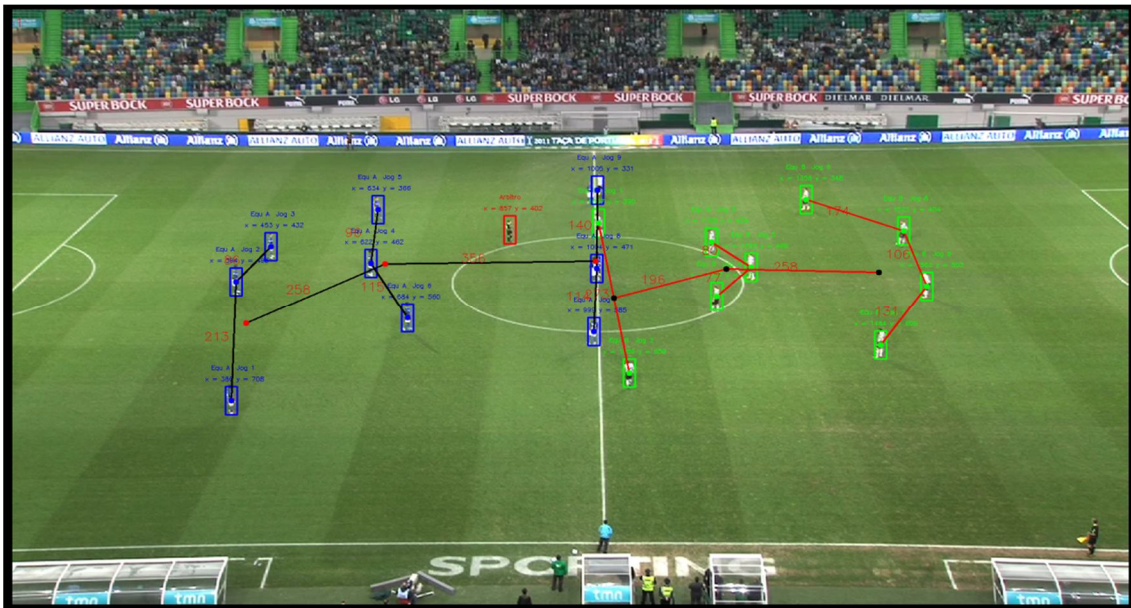


Figura 4.2.1 - Representação dos sectores e as distâncias entre jogadores e sectores de ambas as equipas.

### 4.3 Ligação com o Sistema de Informação do FootData

Todas as informações resultantes do processamento dos vídeos têm de ser guardadas pelo SI do FootData. Além de ser guardado o vídeo, também é necessário exportar o posicionamento, o número e a equipa de cada interveniente no jogo, de forma a poder-se comparar/testar os modelos de jogo existentes no SI. Para isso foi criado um protocolo de comunicação entre este *software* e o SI. Para cada *frame* são enviadas as seguintes informações: o número do *frame*, a identificação de ambas as equipas (que são identificadas pela letra A e pela letra B) e, para cada equipa são guardadas as coordenadas de todos os jogadores (usando, para tal, as coordenadas do campo “modelo”), em que estes são identificados por um número. A Fig. 4.3.1, ilustra a estrutura para um *frame*, os restantes são enviados seguidos de um *carriage return*.

Além do teste, do modelo de jogo, no exato momento, pode pretender-se fazer a análise do vídeo (ou excerto do vídeo) em diferentes momentos e variantes. Com a implementação do protocolo e o arquivo da informação neste formato será possível, em qualquer momento, fazer as diferentes análises do jogo, sem se repetir todo o processamento do vídeo, novamente.

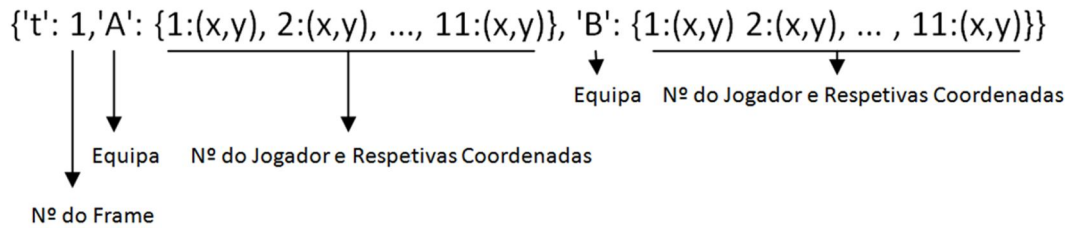


Figura 4.3.1 – Exemplo do protocolo de comunicação dos dados retirados de um frame com o SI do FootData.

#### 4.4 Discussão dos resultados

Todos os algoritmos implementados neste capítulo cumprem os objetivos desta dissertação. Contudo, existem situações que merecem discussão.

Os pontos de referência, necessários para efetuar a transformação de perspectiva têm de ser obrigatoriamente quatro pontos. Por este motivo existem situações que não é possível efetuar a transformação, pois não é possível obter todos os pontos necessários. Isto acontece, porque existem situações em que não é possível obter as retas existentes, através da transformada de Hough. Alguns exemplos serão apresentados na Fig. 4.4.1. Existem também, situações onde, simplesmente, não é possível obter esses pontos, pois eles não existem na imagem, v.d. Fig. 3.4.1 ou Fig. 4.4.2.

Ainda em relação à representação do modelo de jogo, no campo modelo, embora apresente resultados bons, estes poderão ser melhorados usando todas as referências (linhas brancas) existentes no campo principalmente utilizando a circunferência de meio campo. O processo de transmissão das informações referentes à análise de jogo para o SI, é bastante simples e robusto, só falha quando os processos anteriores falham.

Relativamente à deteção dos modelos de jogo e movimentos táticos, as suas limitações já foram referidas na Secção 4.1, no entanto, e salientando, a principal limitação neste aspeto, prende-se com o facto de ser essencial a deteção da bola para obter a análise automática do modelo e tática de jogo, que correspondam fielmente à realidade.

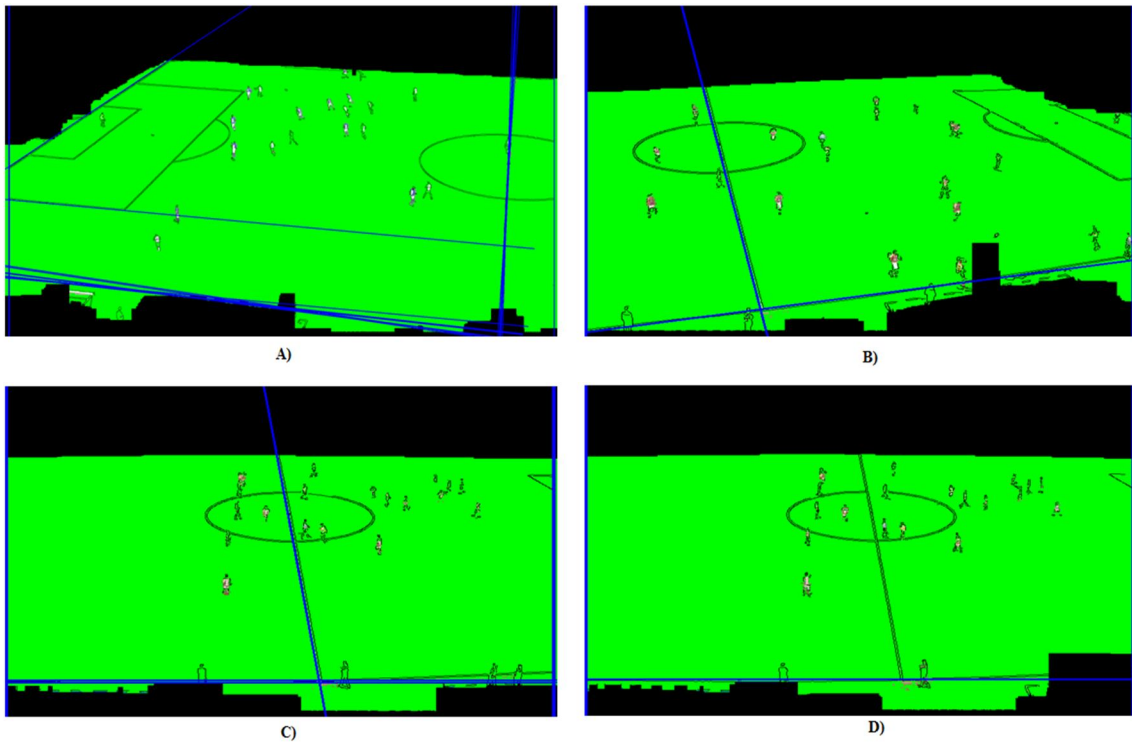


Figura 4.4.1 – Exemplos de falhas na detecção de uma das linhas necessárias para definir o referencial campo.

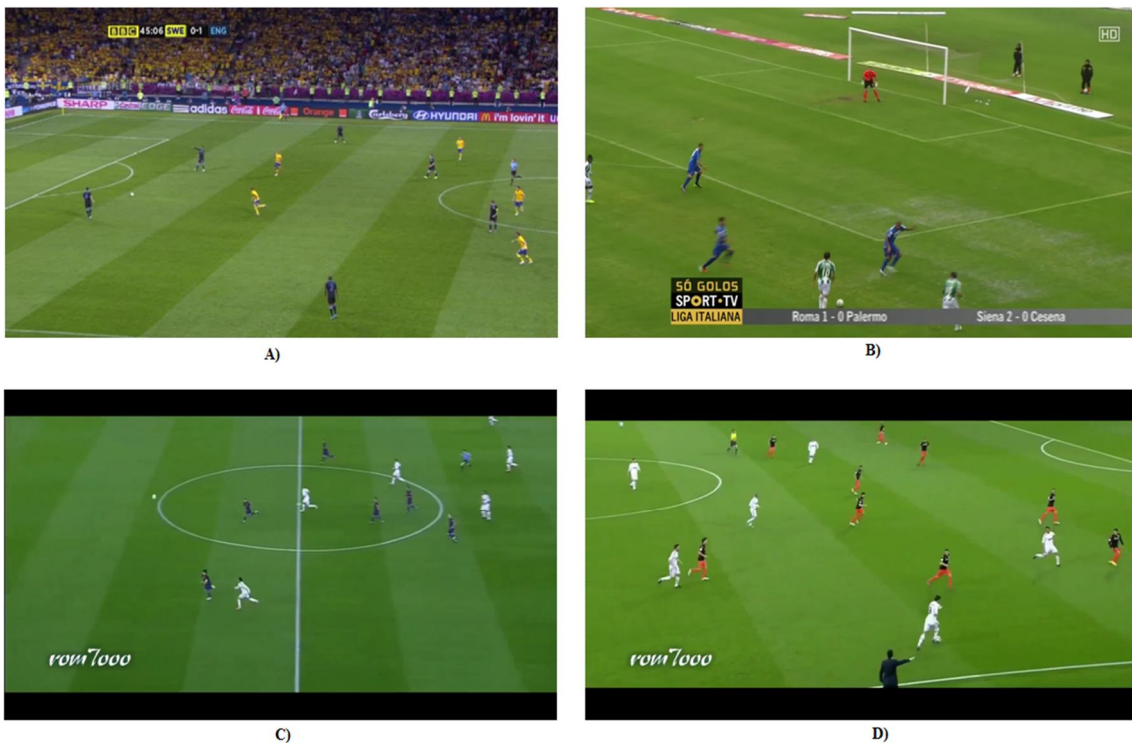


Figura 4.4.2 - Representação na impossibilidade da detecção dos sectores e as distâncias entre jogadores por falta de referências adequadas no campo.

## 5. Resultados experimentais e discussão

De modo a comprovar a funcionalidade do modelo implementado foram realizados várias análises e testes. Aqui apresentam-se alguns pontos que refletem diferentes situações de jogo. Estes testes pretendem ilustrar as características do modelo implementado, desde a deteção dos jogadores e do árbitro, ao seu rastreamento e atribuição à respetiva equipa, terminando na deteção dos sectores de cada equipa e suas distâncias. Em anexo à versão em papel será fornecido um CD com um vídeo que ilustra os resultados em segmentos de vídeo.

### 5.1 Discussão dos resultados obtidos

De forma a melhorar a compreensão das figuras e resultados foram desenhadas elipses vermelhas, que correspondem a situações em que não são detetados jogadores ou foram identificados de forma errada e elipses amarelas que correspondem a colisões (resultando de seguida em oclusões) entre jogadores.

Na Figura 5.1.1 está apresentado um dos modelos de jogo utilizados por ambas as equipas (exemplo referido na Secção 4.2), em cima à esquerda a representação no vídeo, à direita a representação vista de cima (*bird's eye*), em baixo a representação num campo normalizado. Cada equipa está representada por uma cor e, cada jogador por um número. Os sectores de ambas as equipas estão ligados por segmentos de retas, bem como as respetivas distâncias entre sectores. As distâncias estão marcadas a vermelho em decímetros (ou pixéis, cada pixel corresponde 0.10m). O modelo de jogo não é apresentado em todos os resultados, pois este poderia dificultar a análise dos resultados, tornando-os confusos.

Nesta figura podemos ainda verificar que quase todos os jogadores foram detetados corretamente, as exceções são as duas colisões de dois jogadores cada, ambas junto à linha de meio campo. Esta é uma situação típica de início de jogo. Em relação à projeção no campo modelo, podemos verificar que os resultados estão corretos, à exceção das oclusões, onde só é colocado um dos jogadores (o detetado). As linhas azuis na imagem de baixo representam a zona do jogo do vídeo que estamos a projetar para o campo modelo.

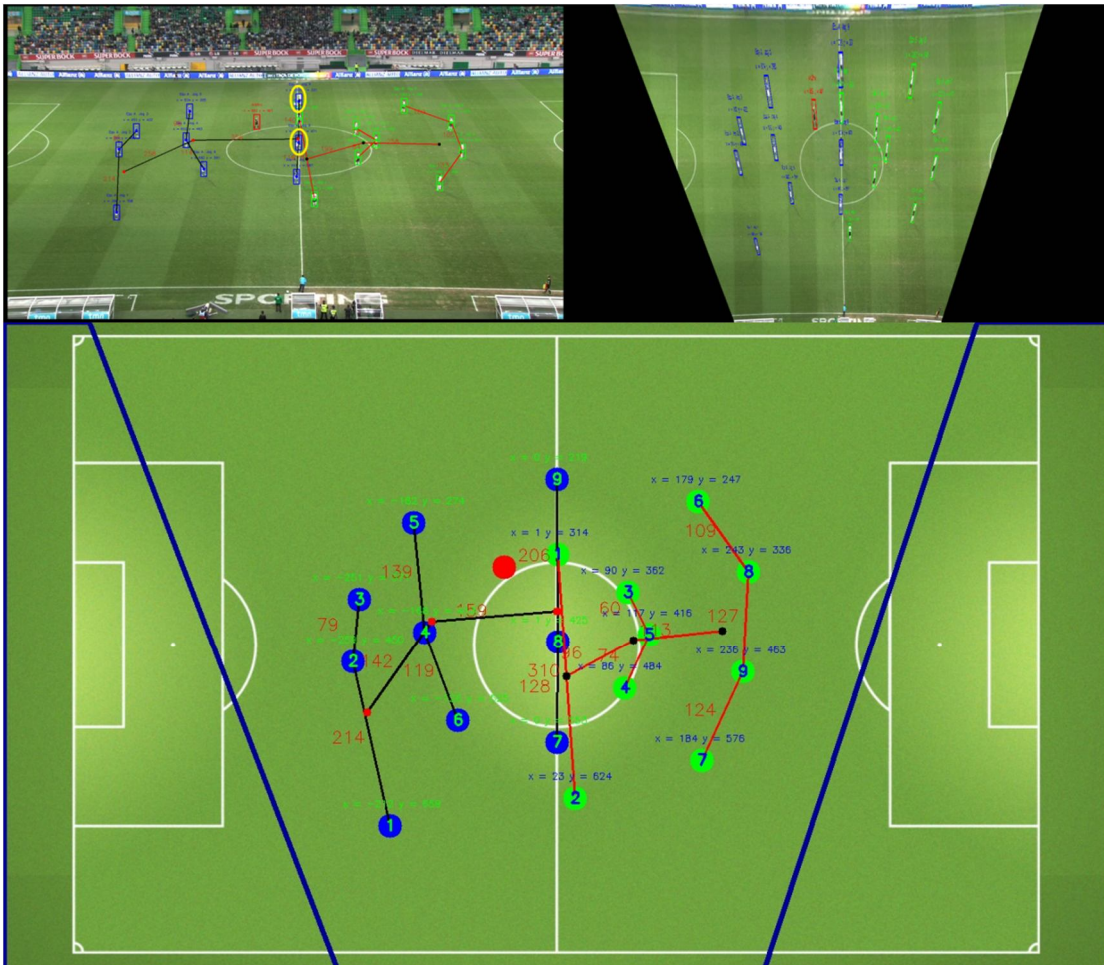


Fig. 5.1.1 – Representação do modelo de jogo referido na Secção 4.2, em cima à esquerda a representação no vídeo, à direita a representação vista de cima (*bird's eye*), em baixo a representação num campo normalizado.

A Figura 5.1.2, ilustra um dos *frames* subsequentes, onde a resolução das oclusões iniciais já foram resolvidas. De notar também que os 3 jogadores da equipa marcada a verde já passaram do meio campo, mas que a relação entre setores e jogadores se mantém. A Fig. 5.1.3 ilustra um dos problemas ainda existentes na aplicação. Devido a apenas detetarmos jogadores dentro da zona do campo, qualquer jogador ou grupo de jogadores que estejam colocados à linha são eliminados. Isto deve-se ao facto que a maior parte do corpo do jogador(es) ficar na parte exterior do campo (v.d. Secção 3.1). Para facilitar a compreensão foi agora realçada a imagem do vídeo e minimizadas as outras duas.

A mesma figura apresentada um dos casos mais próximos do ângulo máximo de rotação que a câmara faz. Existe ainda mais 1 jogador que não é detetado, pois o resultado da

sua segmentação é uma pequena mancha, sendo esta eliminada pelo processo de filtragem na detecção dos jogadores, Secção 3.2. Sendo este jogador detetado logo no *frame* seguinte. Estes tipos de resultado é aceitável, pois todos os erros detetados serão resolvidos nos *frames* subsequentes. Relativamente à projeção no campo modelo, os resultados continuam a ser bastante precisos como no exemplo apresentado anteriormente.

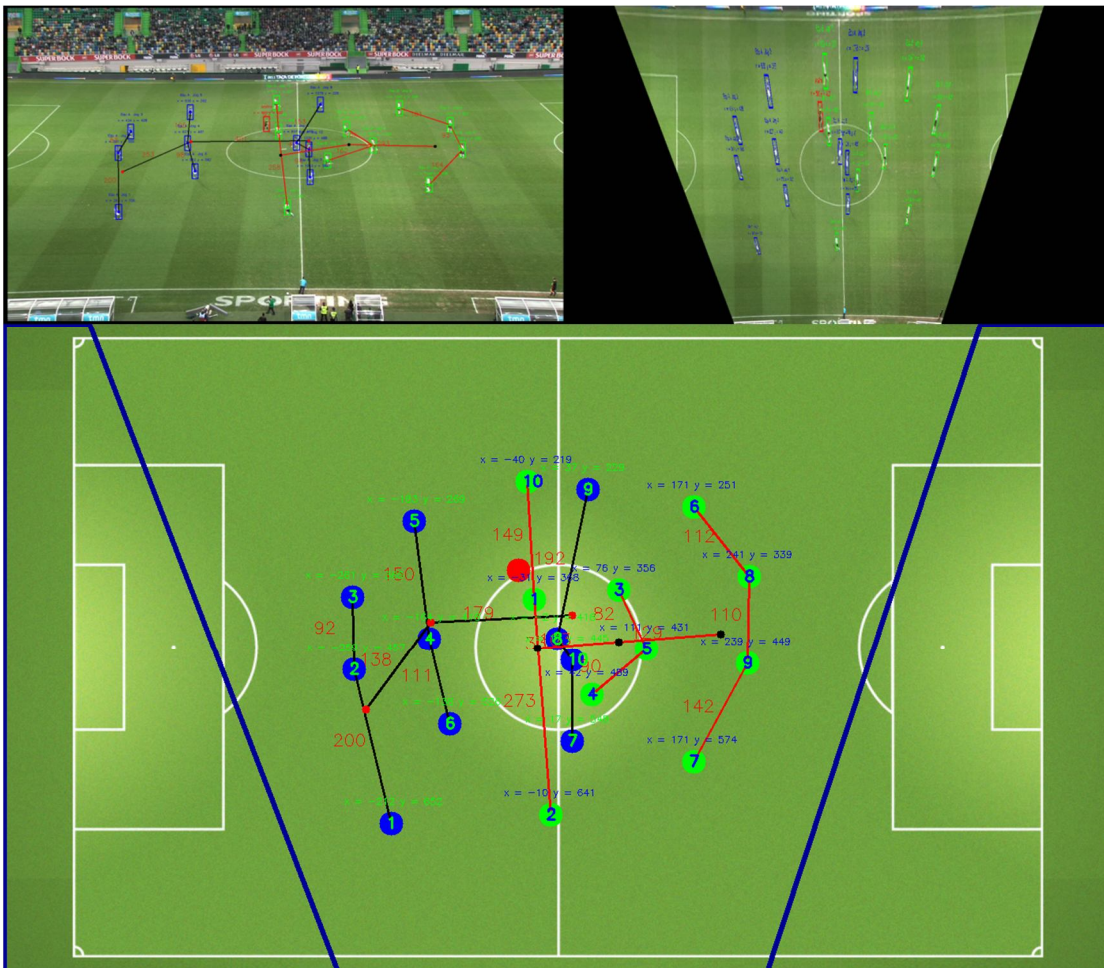


Figura 5.1.2 – Representação do modelo de jogo; um dos *frame* subsequente ao do apresentado na Fig. 5.1.1.

A Fig. 5.1.4 apresenta nas primeiras duas linhas, *frames* onde se ilustra algumas falhas na deteção de jogadores e/ou colisões, mais uma vez detetados no(s) *frame(s)* seguinte(s). Relativamente à projeção dos jogadores no campo modelo, *frame* de vídeo representado na 2ª linha e respetiva projeção representada na 3ª linha, demonstrou-se impossível efetuar esta projeção, pois não existem as referências necessárias na imagem (4 pontos), para efetuar a transformada de perspectiva. Embora no *frame* apresentado,

seja possível ver um bocado da reta referente a linha da grande área, esta não é detetada pela transformada de Hough mas devido às suas dimensões reduzidas. Para esta ilustração os pontos de referência foram calculados manualmente por extrapolação, apenas para efeito de ilustração, recorrendo ao método dos mínimos quadrados, sendo esta uma solução que pode ser usada futuramente para este tipo de situações. Também, pelo motivo atrás exposto, esta projeção dos jogadores no campo modelo apresenta uma menor precisão.

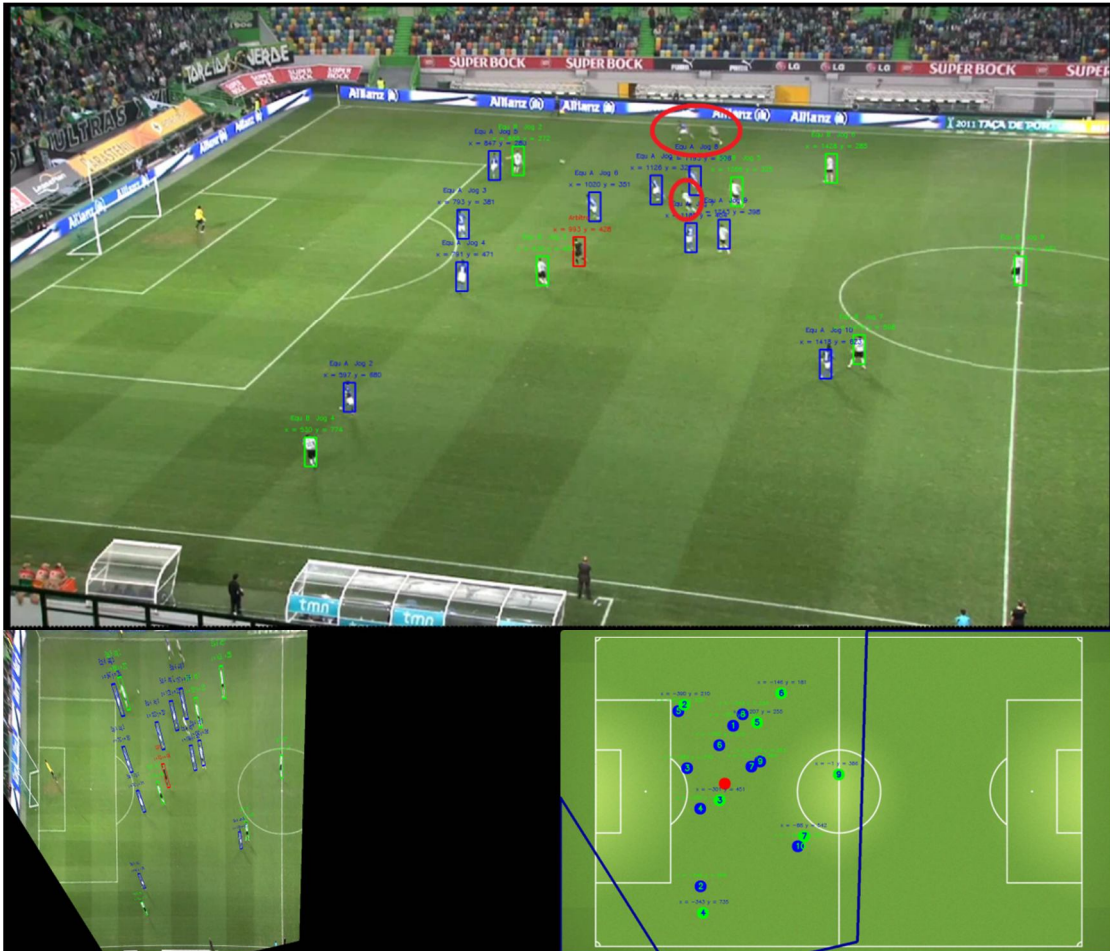


Figura 5.1.3 – Representação de um *frame* onde existem 3 jogadores não detetados, ver texto.

No futuro, o modelo usado para fazer a projeção tem de ser melhorado, podendo extrair a informação necessária apenas da informação do círculo central (ou parte deste círculo). As duas *frames* no topo desta figura refletem também a situação da não possibilidade de projetar os jogadores para o campo modelo.

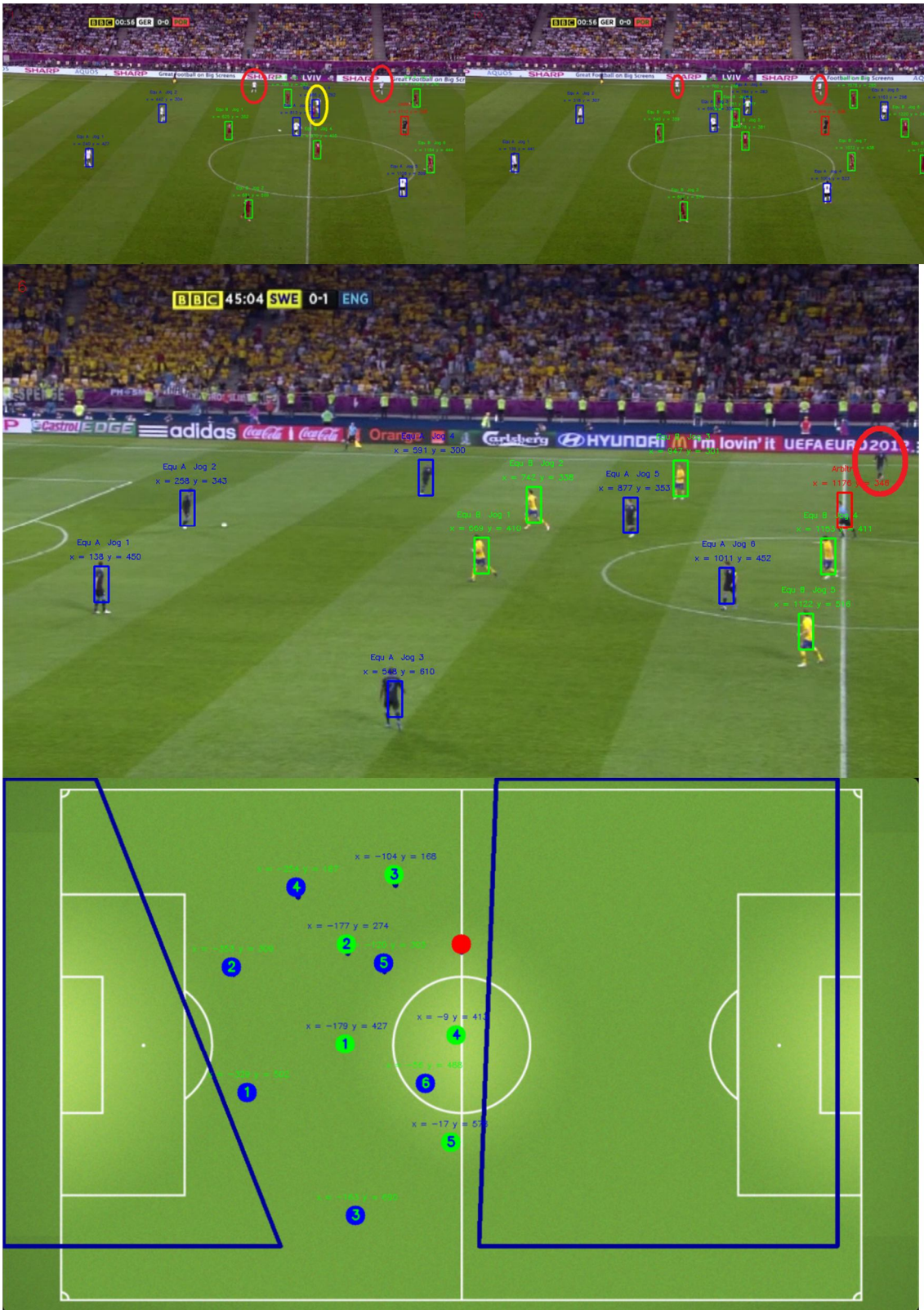


Figura 5.1.4 – Exemplo da detecção de erros nos jogadores, em cima e insuficiente informação para determinar a zona de jogo; ver texto.

Resumindo, pode-se afirmar que os resultados obtidos são bastante bons, tendo sido cumpridas as exigências propostas para a elaboração da dissertação. Os erros apresentados são, na sua grande maioria, pouco preocupantes, tratando-se de erros isolados, com tendência a serem corrigidos nos *frames* seguintes. Pode-se verificar que a situação mais frequente é a existência de jogadores não detetados, que se encontram muito próximos da linha lateral superior. Por este motivo, o processo de eliminação das zonas exteriores ao recinto de jogo terá de ser aperfeiçoado futuramente. Relativamente à projeção dos jogadores no campo modelo, os resultados também cumprem com os objetivos, em que a transformada de perspectiva demonstrou ser um processo bastante preciso, desde que estejam disponíveis quatro pontos de referência na imagem. De modo a se precisar melhor os resultados também foi efetuado um estudo estatístico dos primeiros 2 minutos de quatro filmes diferentes. De salientar que nestes minutos não existem situações de marcação de cantos ou de aglomeração de jogadores fora do normal (situações de lesões ou discussões com o árbitro).

Os resultados obtidos foram: (a) a taxa de deteção do jogador de 92.3%, (b) a atribuição de um jogador detetado à equipa errada é de 2,0% e (c) o número de falsos positivos (deteção de jogadores, em localizações onde não existem) é de 0.4%.

De salientar que para os treinadores não é prioritária a situação de análise de modelo de jogo em situações de cantos. Estas situações, bem como as de livres não foram abordadas no trabalho efetuado. Serão no entanto as situações mais difíceis de análise usando apenas 1 câmara, devido ao elevado número de jogadores e respetivas oclusões. É de esperar que o sistema aqui proposto falhe bastante nestas situações.

## **5.2 Deteção da bola**

Como já foi referido anteriormente, existe a necessidade de se encontrar a bola para fornecer mais informação para o reconhecimento do modelo de jogo. Este será um dos trabalhos importantes que será implementado futuramente. De seguida vamos deixar alguns indícios de como pode ser feita essa deteção.

Durante os testes efetuados foi possível verificar que a bola é detetada usando o detetor de arestas Canny, como é apresentado na Fig. 5.2.1. Várias estratégias podem ser utilizadas para a deteção da bola. É necessário, primeiro encontrar possíveis candidatos na imagem (apenas na zona correspondente ao recinto de jogo). Para isso pode-se utilizar, por exemplo a deteção de arestas (como atrás referido), ou o espaço de cor

HSV, para detetar os pixéis cuja cor se aproxima do branco - assumindo que a bola é de cor branca. Em alternativa podem ser utilizados os dois métodos em conjunto.

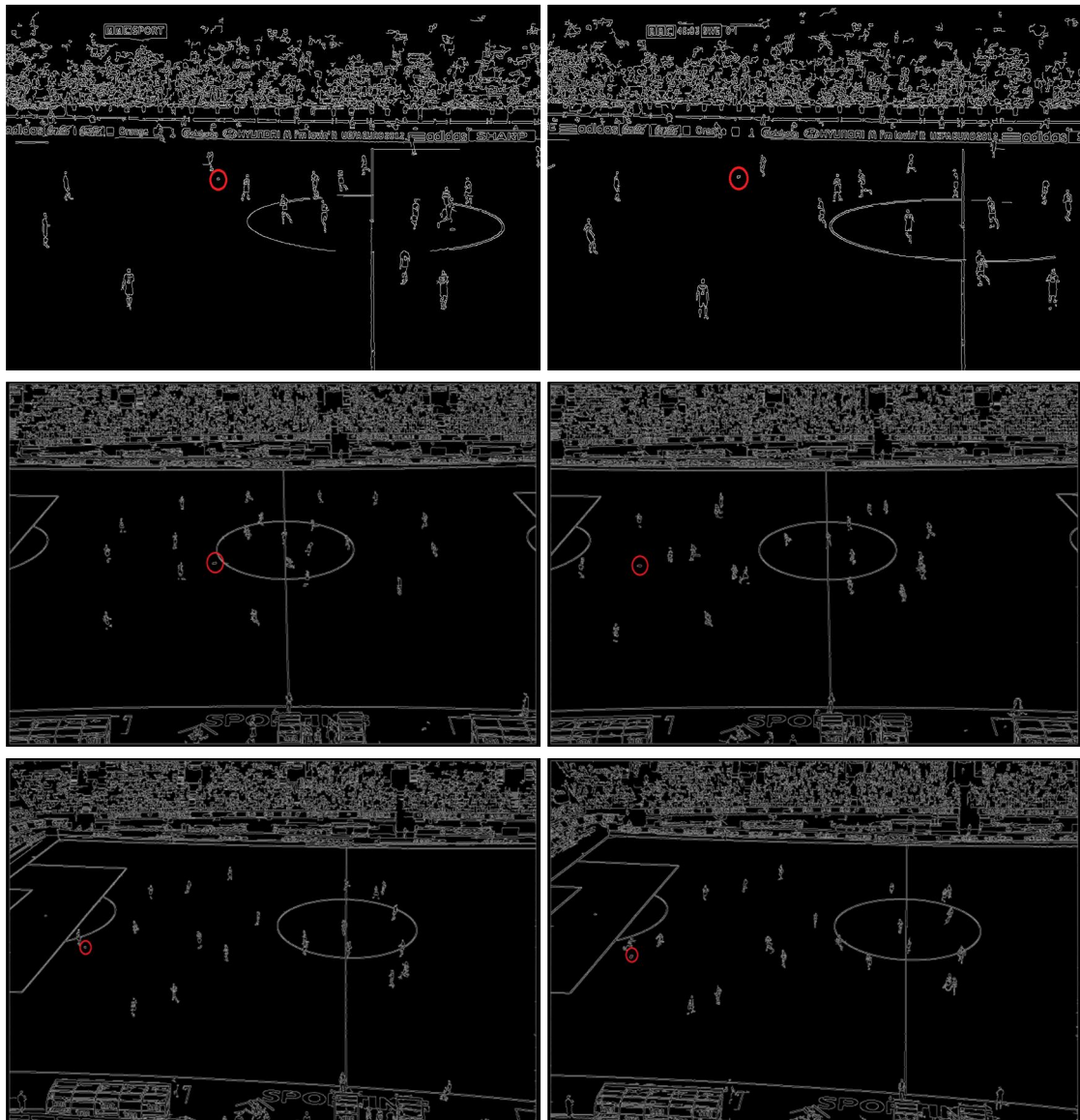


Figura 5.2.1 - Exemplos da deteção da bola usando o detetor de arestas Canny. A posição da bola está marcada por um círculo a vermelho.

Em seguida, é necessário avaliar os candidatos encontrados, considerando três aspetos importantes: cor, forma e tamanho (Liang et al., 2005; Zhang et al., 2008; Nieto, 2012). Tendo em conta o tamanho, pode-se verificar a área dos candidatos encontrados, eliminando os que tiverem áreas maiores à da bola (sabemos a dimensão da bola em cm e quanto vale cada pixel também em cm). Podendo também recorrer a processos de filtragem para eliminar candidatos mais pequenos assim como algum ruído. Para avaliar a forma da bola, pode ser usada a transformada de Hough para a deteção de círculos e

elipses pois é de se esperar que a bola tenha uma forma aproximada à de um círculo ou elipse, podem também ser usados *padrões* de forma a compara-los com os candidatos, e verificar qual se aproxima mais. Para avaliar a cor como já foi referido pode-se utilizar o espaço de cor HSV de modo a classificar a cor dos candidatos, como foi efetuado neste trabalho para os jogadores. Ainda pode ser utilizado o algoritmo de Viterbi de modo a avaliar qual dos candidatos tem maior probabilidade de ser a bola (Liang et al., 2005; Ilha, 2009).

Por fim, depois da bola detetada é necessário efetuar o seu rastreamento, utilizando o modelo proposto neste trabalho para o rastreamento dos jogadores, ou pode-se complementar usando filtros de Kalman (Liang et al., 2005; Nieto, 2012), ou ainda o filtro de Partículas (Choi et al., 2004; Zhang et al., 2008; Choi et al., 2011).

## 6. Biblioteca de manipulação de vídeo

Neste Capítulo, faz-se resumidamente a ilustração da biblioteca criada para a manipulação de vídeos. Esta biblioteca tem como objetivo permitir aos treinadores interagir com os modelos de jogo apresentados nos capítulos anteriores, ou preparar alguns *frames* ou vídeos para uma apresentação.

Durante esta apresentação, o treinador pretende ilustrar, aos jogadores, os problemas do modelo de jogo, detetados automaticamente durante o jogo e, ao mesmo tempo, interagir com o vídeo, colocando notações simbólicas e/ou escritas, ou deslocar um jogador da posição A para a posição B, ilustrando o movimento que este deve realizar.

Todas estas ferramentas, assim como a reprodução, interrupção, gravação de vídeo e a gravação de *frames* como imagens estão disponíveis numa biblioteca fornecida num CD em anexo a esta dissertação. As funções aqui apresentadas são: (a) desenhar linhas; (b) seleccionar objetos/jogador; (c) mover objetos/jogadores e (d) a introdução de texto.

A ilustração de linhas e setas será apresentada na Fig. 6.1.1. A biblioteca permite escolher a cor das linhas e setas a desenhar, assim como a espessura das mesmas.

Também é possível, seleccionar alguns objetos que, para o caso em questão, serão os jogadores. Para tal, é possível desenhar retângulos e círculos, com várias cores, e espessuras, de modo a salientar os jogadores pretendidos; ver Fig. 6.1.2. Mover os objetos/jogadores seleccionados está ilustrado na Fig. 6.1.3, onde é copiada a área seleccionada, para o local pretendido, sendo a área seleccionada substituída pela cor dos pixéis mais próximos.

A Fig. 6.1.4, ilustra a introdução de texto nas imagens, como por ex. a identificação de jogadores e adicionar comentários a determinadas situações, entre outros. Também existe a possibilidade de efetuar alterações na introdução de texto, podendo ser alterado o tipo, o tamanho bem como a cor.



Figura 6.1.1 - Exemplo da introdução de linhas e setas.



Figura 6.1.2 - Exemplos da seleção e marcação de objetos, na imagem.

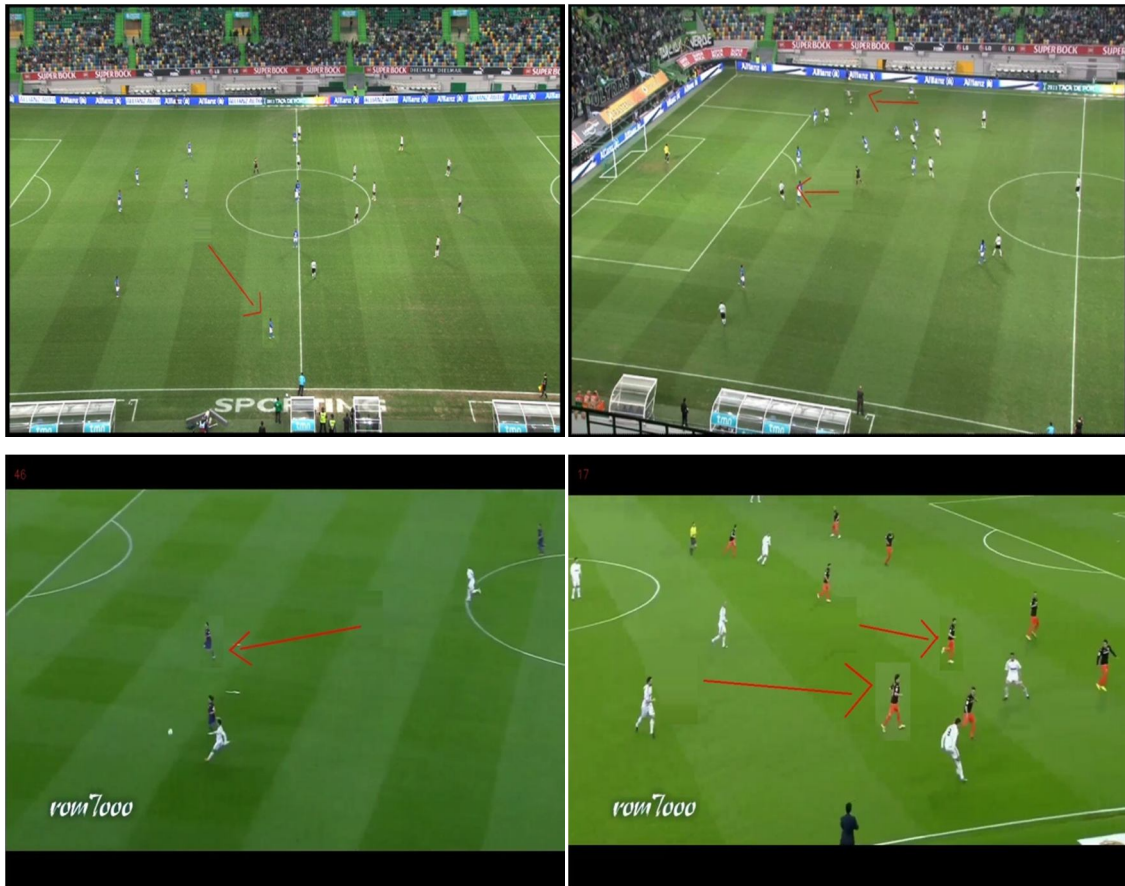


Figura 6.1.3 - Alguns exemplos, de jogadores movidos de uma posição para outra.

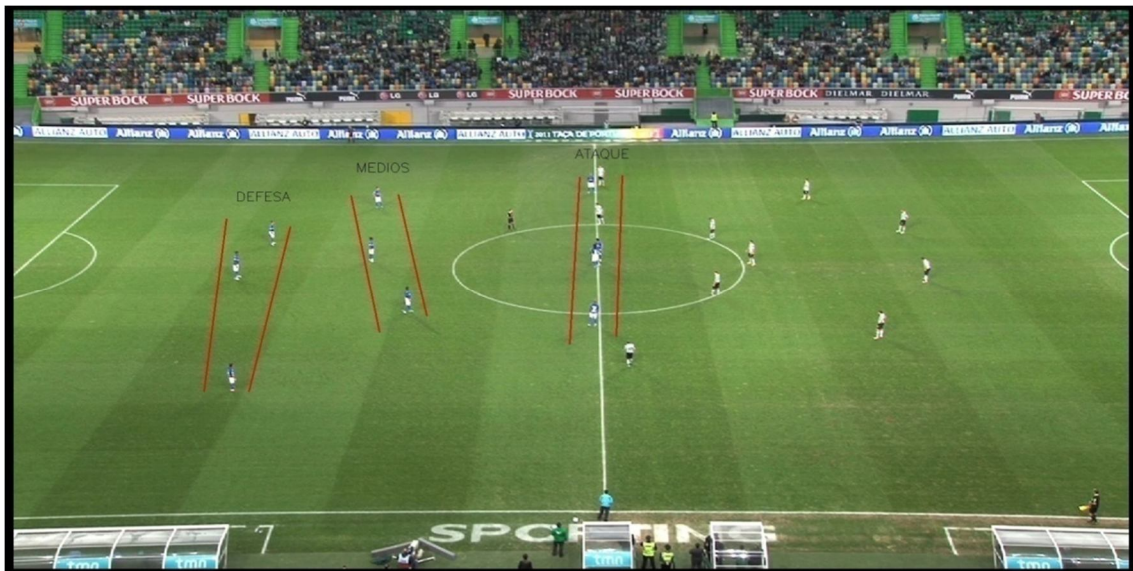


Figura 6.1.4 - Exemplo da introdução de texto nas imagens.

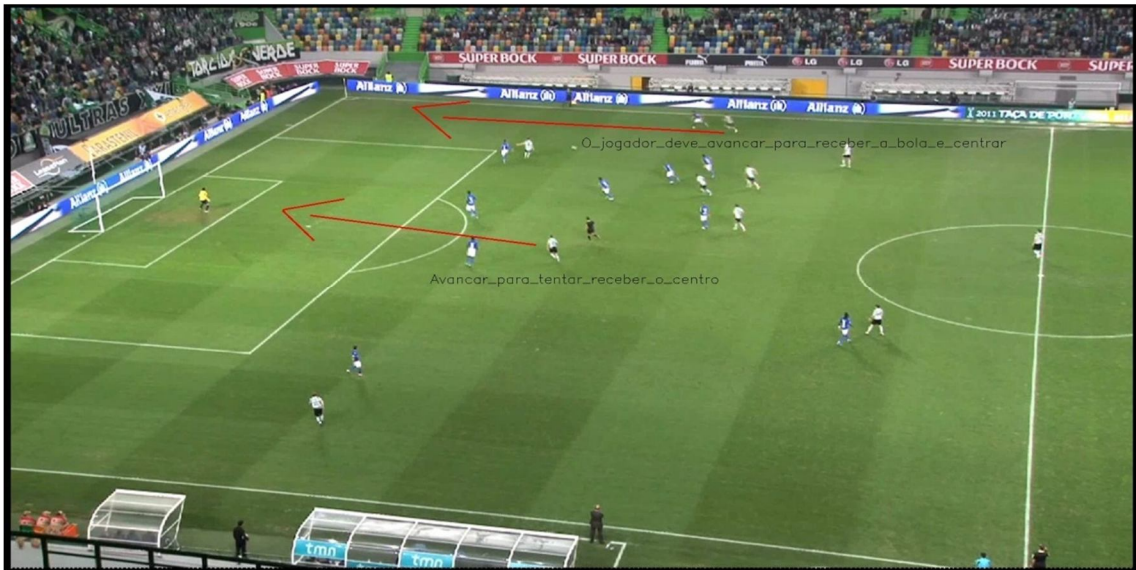


Figura 6.1.4 - Exemplo da introdução de texto nas imagens (cont.)

## 7. Conclusões e Trabalho Futuro

Esta dissertação apresenta uma proposta para a deteção e rastreamento de jogadores de futebol e ainda uma estrutura para a análise dos modelos de jogo. Como contribuição podem-se salientar, uma ferramenta que permite:

- (a) a deteção automática dos sectores;
- (b) a deteção automática do modelo de jogo, adaptando-se as várias fases do jogo;
- (c) o cálculo das distâncias (em metros) entre jogadores e sectores;
- (d) o treinador verificar com maior pormenor se o modelo de jogo está a ser cumprido conforme o estipulado, para cada jogador individualmente ou em conjunto (sectores e equipa);
- (e) verificar o sentido posicional dos jogadores nos quatro momentos de jogo;
- (f) o registo das movimentações padrão dos jogadores, da própria equipa ou equipa adversária;
- (g) a possibilidade de manipulação dos vídeos a qualquer instante.

Ainda como resultados podemos referir um modelo para:

- (h) a segmentação do campo de futebol;
- (i) a segmentação dos jogadores;
- (j) a segregação do jogador;
- (k) e o respetivo rastreamento.

Resumindo, os objetivos desta dissertação foram alcançados, pois conseguiu-se criar um sistema capaz de detetar e rastrear jogadores de futebol, nas mais diversas situações. Tendo em conta alterações meteorológicas moderadas, condições do relvado e modos de aquisição dos vídeos (posição das câmaras/câmaras em movimento – rotação e inclinação). Além disso, o sistema criado também é capaz de fornecer as ferramentas adequadas para, com sucesso, analisar os modelos de jogo, utilizados por ambas as equipas.

A implementação utilizada para deteção do recinto de jogo é robusta e eficiente, baseia-se no espaço de cor HSV, como proposto por Dearden et al., 2006. Este limita de forma

eficiente e eficaz o recinto de jogo, nas mais variadas situações, com exceção de algumas situações mais extremas.

Relativamente, à segmentação dos jogadores e atribuição da equipa, os processos implementados cumprem os requisitos, e nas situações em que estes podem resultar em alguns erros, os testes efetuados demonstraram que aqueles são corrigidos, posteriormente, pelo processo de rastreamento, tornando estes processos simples e fiáveis. A implementação da análise dos modelos de jogo cumpre os objetivos propostos para a dissertação, permitindo a representação dos jogadores num campo “modelo”.

As ferramentas disponíveis, na biblioteca de manipulação de vídeo são uma mais-valia para todo o sistema, permitindo no futuro, em conjunto com a deteção dos modelos de jogo, mostrar os resultados de várias formas e caso pretendido criar apresentações interativas por parte das equipas técnicas.

Ainda não feito, por ainda não ter chegado a câmara requerida pelo projeto Footdata, mas de aplicação imediata seria a aplicação do trabalho *on-site* na vertente competição e treino. Neste tipo de aplicação o algoritmo seria bastante simplificado relativamente ao apresentado nesta dissertação, uma vez que a câmara seria completamente estática (não sofreria de rotações ou inclinações), os limites do campo seriam marcados no início pois é pretendido que a câmara abranja todo o campo. Com isso, todos os jogadores estariam presentes sempre, logo será mais fácil o seu rastreamento. Nesta instalação, teria ainda de ser resolvido os problemas do rastreamento quando muitos jogadores se juntam como por exemplo na situação de canto.

Como conclusão final, pode dizer-se que os objetivos do trabalho apresentado nesta dissertação foram atingidos, e que a taxa de falsos positivos de 0.4% e falsos negativos 7.8% estão dentro dos parâmetros esperados. Não existe no entanto nenhum método de aferição (conjunto de dados para comparar resultados), para podermos afirmar que este trabalho é melhor ou pior em termos de rastreamento e segmentação de jogadores dos já implementados. No entanto, há ainda “caminho a trilhar,” de modo a melhorar e aperfeiçoar os resultados e cumprir todas as propostas do projeto Footdata, onde esta dissertação se encontra inserida.

Qualquer uma das etapas apresentadas pode ainda ser alvo de inúmeras melhorias, podendo ser acrescentadas muitas outras técnicas, de modo a aperfeiçoar as já implementadas. Como trabalho futuro, além das melhorias que terão de ser efetuadas

nos modelos já implementados, também terão de ser desenvolvidos novos modelos, de modo a concretizar o projeto. Dos novos modelos, que terão de ser implementados, podem-se salientar:

- (a) a deteção da bola, para uma melhor, mais eficaz e precisa análise do modelo de jogo, principalmente para determinar qual a equipa que se encontra com a posse de bola. Deste modo, será possível definir a posição no jogo que cada equipa ocupa, isto é, em posição ofensiva ou defensiva;
- (b) acelerar todos os processos implementados, com recurso a programação dos vários cores do CPU e/ou com recurso a programação de GPU's, uma vez que as elevadas resoluções dos vídeos utilizados tornam o processamento muito pesado e, por sua vez, demorado;
- (c) implementação dos processos para análise do modelo de jogo para situações específicas, que ocorrem durante os treinos ou para analisar determinados exercícios no decorrer destes;
- (d) apresentação de resultados, em tempo real. Este é um dos principais objetivos do projeto. O treinador terá, assim, disponível, toda a informação que pretende, durante o decorrer do jogo e pode verificar se os jogadores e a equipa estão a movimentar-se corretamente nas diferentes situações de jogo.

É de reforçar o que já foi referido, que futuramente será utilizada(s) câmara(s) fixa(s) no decorrer do projeto Footdata, o que irá solucionar muitas das falhas dos processos já implantados, causados pelos movimentos das câmaras. Com a utilização de câmaras fixas, não será necessário efetuar a deteção do recinto de jogo. Apenas serão marcados os cantos que definem o recinto, no início do jogo. Desta forma, todo o processo de deteção de jogadores e rastreamento será acelerado, além da eliminação de alguns erros existentes no processo de deteção do recinto de jogo (situações em que são eliminadas pequenas partes do recinto de jogo, assim como os jogadores que são eliminados quando estes se encontram muito próximos das linhas de campo), já implementado.

Também o processo de deteção de jogadores terá de ser otimizado, de modo a excluir todos os objetos detetados, que não sejam jogadores, assim como o processo de atribuição da equipa, para garantir uma maior precisão. O processo de rastreamento implementado terá de ser também aperfeiçoado, de modo a solucionar o problema das oclusões ou, como referido na Secção 2, poderá ser substituído por outro método de

rastreamento, como o filtro de Kalman ou o Filtro de Partículas, proposto por e.g. Ilha, 2009.

Além das vantagens já referidas na utilização de câmaras fixas, pode-se ainda salientar a eliminação dos erros existentes nas posições dos jogadores no campo “modelo”. Pois com a utilização, de câmaras fixas Full HD (ou superior), torna-se mais fácil e precisa a análise distâncias entre jogadores e do recinto de jogo.

Por fim, é de referir que se encontra em preparação um artigo científico neste âmbito.

# Referências

Bradski G, Kaehler, A. (2008) Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly, Cambridge, MA.

Castelo, J. (2011). Jorge Castelo, Passion with Knowledge [on-line], Disponível em URL: <http://www.jorgecastelo.com/pt/academy/> [data do último acesso: 01/09/2011].

Chai, Y., Park, J., Yoon, K., Kim, T. (2011). Multi target tracking using multiple independent particle filters for video surveillance, In Proc. IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics, Las Vegas, USA, pp. 735-736. DOI: 10.1109/ICCE.2011.5722836.

Choi, K., Seo, Y. (2004). Probabilistic Tracking of the Soccer Ball, In Proc. Workshop SMVP 2004, Prague, Czech Republic, pp. 50-60. DOI: 10.1007/978-3-540-30212-4\_5.

Dearden, A., Demiris, Y., Grau, O. (2006). Tracking Football Player Movement From a Single Moving Camera Using Particle Filters, In Proc. of 3rd Euro. Conf. on Visual Media Production CVMP-2006, London, UK, pp. 29-37, DOI: 10.1049/cp:20061968.

Du Buf, J., Campbell, T. (1990). A quantitative comparison of edge-preserving smoothing techniques, Signal Processing Vol. 21, pp. 289-301, DOI: 10.1016/0165-1684(90)90099-K

Figueroa, P., Leite, N., Barros, R. (2006). Tracking soccer players aiming their kinematical motion analysis, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 101, No. 2, pp. 122-135. DOI: 10.1016/j.cviu.2005.07.006.

Figueroa, P., Leite, N., Barros, R., Cohen, I., Medioni, G. (2004). Tracking soccer players using the graph representation, In Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'04), Campinas, Brazil, Vol. 4, pp.787-790, DOI: 10.1109/ICPR.2004.1333890.

Guangyu et al., (2007). Trajectory based event tactics analysis in broadcast sports video, In Proc. 15th Int. Conf. on Multimedia (MULTIMEDIA '07). ACM, NY, USA, pp. 58-67. DOI: 10.1145/1291233.1291250.

Hartley, R., Zisserman, A. (2003). Multiple view geometry in computer vision. New York, United States of America: Cambridge University Press 2000.

Huang, Y., Llach, J., Bhagavathy, S. (2007). Players and ball detection in soccer videos based on color segmentation and shape analysis, Multimedia Content Analysis and Mining, LNCS, Vol. 4577, pp. 416-425, DOI: 10.1007/978-3-540-73417-8\_50.

Ilha, G. (2009). Rastreamento Automático da Bola de Futebol em Vídeo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Disponível em URL: <http://hdl.handle.net/10183/23921>, [data do último acesso: 29/09/2011].

Iwase, S., Saito, H. (2003). Tracking Soccer Players Based on Homography among Multiple Views, In Proc. of the SPIE, Vol. 5150, Lugano, Switzerland, pp. 283-292. DOI: 10.1117/12.502967.

Kataoka, H. Aoki, Y. (2011). Football players and ball trajectories projection from single camera's image, In Proc. 17th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV), Ulsan, South Korea, pp. 1-4. DOI: 10.1109/FCV.2011.5739712.

Liang, D., Liu, Y., Huang, Q., Gao, W. (2005). A Scheme for Ball Detection and Tracking in Broadcast Soccer Video, In Proc. 6th Pacific Rim Conf. on Multimedia, Jeju Island, Korea, pp. 864-875. DOI: 10.1007/11581772\_76.

Neves, S. (2003). Algoritmos para Segmentação de Imagens Infravermelhas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Brasil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Disponível em URL: [http://www02.lps.ufrj.br/~eduardo/eduardo\\_oficial/teses/sergio-neves.pdf](http://www02.lps.ufrj.br/~eduardo/eduardo_oficial/teses/sergio-neves.pdf), [data do último acesso: 20/01/2012].

Nieto, R. (2012). Detección y seguimiento en vídeos deportivos multicámara, Proyecto fin de carrera, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid. Disponible em URL:<http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20120910RafaelMartinNieto.pdf>, [data do último acesso: 28/08/2012].

Poppe, C., Bruyne, S., Verstockt, S., Walle, R. (2010). Multi-camera analysis of soccer sequences, In Proc. 7th IEEE Int. Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS '10). IEEE Computer Society, Washington DC, USA, pp. 26-31. DOI: 10.1109/AVSS.2010.64

Sebe, N., Lew, M. (2003). Robust Computer Vision: Theory and Applications. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Seo, Y., Choi, S., Kim H., Hong, K. (1997). Where are the ball and players? Soccer game analysis with color-based tracking and image mosaic, Image Analysis and Processing, LNCS Vol. 1311, pp. 196-203. DOI: 10.1007/3-540-63508-4\_123.

Zhang, Y., Lu, H., Xu, C. (2008). Collaborate ball and player trajectory extraction in broadcast soccer video, In Proc. 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008), Tampa, FL, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICPR.2008.4761402.