

# 3º Congresso Nacional de Biomecânica

Sociedade Portuguesa de Biomecânica



Instituto Politécnico de Bragança  
11-12 Fevereiro de 2009

**Editores**  
Mário A. P. Vaz  
Paulo A. G. Piloto  
José C. Reis Campos

Uma produção

do **impensável**

PROJECTO DE ATITUDES CULTURAIS, LDA

✉ geral@doimpensavel.pt  
🌐 www.doimpensavel.pt

Av. Carlos Bacelar, 968  
salas 3A e 4A  
apartado 562  
4764-901 V. N. de Famalicão

☎ 252371724  
☎ 252375164

Título: *Actas do 3º Congresso Nacional de Biomecânica 2009*

Organização: *Mário A. P. Vaz, Paulo A. G. Piloto, J.C. Reis Campos*

Design: *Feup GAUTI*

Paginação: *Nuno Viriato Ramos, Jaime M. Monteiro*

Copyright © FEUP Press, 2009

Do Impensável - Projecto de Atitudes Culturais, Lda, 2009

Produção Gráfica: *Papelmunde, SMG, Lda - V. N. de Famalicão*

Depósito Legal: 288523/09

ISBN: 978-989-96100-0-2

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou por qualquer meio, seja electrónico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou outros, sem prévia autorização por escrito da editora.

## **COMISSÃO CIENTÍFICA**

António Silva, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

António Torres Marques, DEMEGI, Universidade do Porto

Eduardo Borges Pires, DECivil, Instituto Superior Técnico

Fernando Fonseca, FM, Universidade de Coimbra

Fernando Simões, DECivil, Instituto Superior Técnico

Filomena Carmide, FMH, Universidade Técnica de Lisboa

Hélder Rodrigues, DEM, Instituto Superior Técnico

Jacinto Monteiro, FML, Universidade de Lisboa

Jan Cabri, FMH, Universidade Técnica de Lisboa

João Abrantes, Universidade Técnica de Lisboa

João Folgado, DEM, Instituto Superior Técnico

João Levy Melancia, FML, Universidade de Lisboa

João Martins, DECivil, Instituto Superior Técnico

João Paulo Vilas-Boas, FCDEF, Universidade do Porto

Jorge Ambrósio, DEM, Instituto Superior Técnico

José Caeiro Potes, DSAV, Universidade de Évora

José Carlos Pereira, DEM, Instituto Superior Técnico

José Reis Campos, FMD, Universidade do Porto

José Dias Rodrigues, DEMEGI, Universidade do Porto

Luís Trabucho de Campos, FC, Universidade de Lisboa

Mário Secca, FCT, Universidade Nova de Lisboa

Miguel Tavares Silva, DEM, Instituto Superior Técnico

Nuno Rilo, DEM, Universidade de Coimbra

Renato Natal Jorge, DEMEGI, Universidade do Porto

Rui Miranda Guedes, DEMEGI, Universidade do Porto

## **COMISSÃO DE HONRA**

Presidente do IPB

Presidente da ESE

Presidente da ESTIG

Presidente da Câmara Municipal de Bragança

Governador Civil de Bragança

COMPARAÇÃO CINEMÁTICA E NEUROMUSCULAR DE UM EXERCÍCIO DE ABDOMINAIS NO SOLO E NA FITBALL .....	473
COMPARAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE RECONSTRUÇÃO CINEMÁTICA 2D NA TÉCNICA DE BRUÇOS – DUPLO MEIO / PLANOS SEPRADOS .....	479
CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 B <sup>2</sup> ) NA CINEMÁTICA DE BRUÇOS .....	485
<b>8 BIOMECÂNICA DESPORTIVA E DA LESÃO E IMPACTO.....</b>	<b>491</b>
CONSTRANGIMENTO MECÂNICO PROVOCADO PELA VÁLVULA AQUATRAINER® ASSOCIADA AO SISTEMA DE OXIMETRIA DIRECTA (K4 B <sup>2</sup> ) NA CINEMÁTICA DE CROL ..	493
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMECÂNICOS PARA AVALIAÇÃO DE LESÕES EM ACIDENTES COM AUTOCARROS .....	499
DEVELOPMENT OF A FREEFORM SURFACE CONTACT METHODOLOGY FOR DYNAMIC ANALYSIS OF THE HUMAN KNEE.....	505
ESTUDO PRELIMINAR DAS VARIÁVEIS DINÂMICAS E CINEMÁTICAS DE DIFERENTES SALTOS DE IMPULSAO VERTICAL .....	511
OBSERVAÇÃO DO COMPORTAMENTO MOTOR NA TÉCNICA DE MARIPOSA: VALIDAÇÃO DO INSTRUMENTO DE OBSERVAÇÃO .....	521
SIMULAÇÃO DE ATROPELAMENTOS COM BASE NA TEORIA DOS ELEMENTOS FINITOS E DA DINÂMICA DE CORPOS MÚLTIPLOS .....	529
VARIAÇÃO INTRACÍCLICA DA VELOCIDADE HORIZONTAL DA ANCA EM NADADORES PORTADORES DE SÍNDROME DE DOWN .....	535
VELOCIDADE SUB-MÁXIMAL, TREINO E O COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS BIOMECÂNICOS ASSOCIADOS À ECONOMIA DE CORRIDA.....	541
<b>9 PROCESSAMENTO DE IMAGEM.....</b>	<b>547</b>
ALGORITMOS PARA ALINHAMENTO DE IMAGENS MÉDICAS: PRINCÍPIOS E APLICAÇÃO EM IMAGENS DE ESCLEROSE MÚLTIPLA.....	549
RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DE ESTRUTURAS ANATÓMICAS EXTERNAS UTILIZANDO MÉTODOS VOLUMÉTRICOS .....	557
MÉTODOS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGEM PARA ANÁLISE DA MARCHA.....	563
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LOCOMOÇÃO CANINA.....	565
A PROTOTIPAGEM RÁPIDA NA MODELAÇÃO DE PATOLOGIAS.....	571
ANALYSIS OF THE BLOOD FLOW IN A MICROCHANNEL WITH A BIFURCATION .....	577
A CAD TOOL FOR MAMMOGRAPHY IMAGE ANALYSIS: EVALUATION ON GRID ENVIRONMENT.....	583
TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA MULTI-CORTE NA CONSTRUÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS.....	591
ANALISE BIOMECÂNICA DO REMATE EM VOLEIBOL: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ATLETAS DO ESCALÃO MASCULINO E FEMININO DA CIDADE DE MAPUTO.....	593

## FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LOCOMOÇÃO CANINA

Mourão A. \*, Filipe V. #, Cruz C. #, Silvino J. +, Ginja M. #, Gabriel R. #, Barroso J. ■

\*- Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal; [amourao@ipb.pt](mailto:amourao@ipb.pt)

#- CITAB - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal;  
[vfilipe@utad.pt](mailto:vfilipe@utad.pt), [cmocruz@gmail.com](mailto:cmocruz@gmail.com), [mginja@utad.pt](mailto:mginja@utad.pt), [rgabriel@utad.pt](mailto:rgabriel@utad.pt)

+ Quinta do Álamo, Apartado 29, Alpedrinha, Portugal; [joao.silvino@iol.pt](mailto:joao.silvino@iol.pt)

■- GECAD - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal; [jbarroso@utad.pt](mailto:jbarroso@utad.pt)

**PALAVRAS CHAVE:** locomoção canina, análise de movimento, *block matching*, Biomecânica

**RESUMO:** A observação visual do movimento canino tem sido usada desde sempre (por médicos, veterinários e criadores) para a análise e detecção de anomalias ortopédicas em canídeos, tais como a lassidão articular e a displasia da anca. No entanto a percepção visual de alguns pormenores do ciclo de uma passada pode ser bastante difícil, e em alguns casos até mesmo impossível de detectar, mesmo para um observador muito experiente. Neste trabalho é apresentada a metodologia de desenvolvimento de uma ferramenta computacional que faz uso de métodos expeditos para captura, caracterização, visualização e posterior análise cinemática bidimensional da locomoção em canídeos, usando técnicas de visão por computador baseadas em "block matching" e aplicadas a sequências de alta resolução temporal. Com esta ferramenta é possível efectuar uma análise cinemática 2D, obtendo-se uma série de parâmetros caracterizadores da locomoção em canídeos (ex: posições angulares, velocidades angulares, ângulos entre segmentos, velocidade de passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, etc.).

### 1 INTRODUÇÃO

A análise visual do movimento é das técnicas preliminares mais utilizadas para detectar anomalias ortopédicas em canídeos. Para a maioria das patologias ortopédicas, a radiografia, é a técnica mais usada para se obter o diagnóstico definitivo dessas anomalias ortopédicas, entre a as quais se podem encontrar a lassidão articular e displasia da anca. No entanto a radiografia é uma técnica que implica sedação dos animais, com a manipulação e riscos inerentes. Ambos os métodos (análise visual e radiografia) são considerados de julgamento subjectivo e sujeitos a erros, sendo desejável uma maior fiabilidade nessas avaliações [1,2].

A visão assistida por computador tem registado grandes avanços nos últimos anos, sendo que

na área da biomecânica as maiores evoluções têm-se registado na componente do movimento Humano e suas características particulares [3]. O objectivo deste trabalho foi o de desenvolver métodos expeditos para a captura, caracterização, visualização e posterior análise cinemática 2D do movimento de locomoção em canídeos através de um conjunto de parâmetros cinemáticos (ex: posições angulares, velocidades angulares, ângulos entre segmentos, velocidade de passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, etc.).

### 2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGEM

Para a captura do movimento foi usado um setup composto por uma câmara de alta velocidade: *RedLake PCI Motion Scope 1000S*, configurada para uma taxa de aquisição de 125

imagens por segundo. A câmara foi posicionada de modo a que o seu eixo óptico ficasse perpendicular à direcção de deslocamento do animal, permitindo uma análise no plano sagital (Fig. 1)

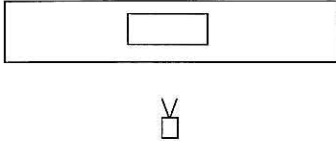


Fig. 1- Set-up experimental para aquisição do sinal vídeo.

Para a definição de um modelo biomecânico simples foram colocados sobre a pele dos animais (afastando o pêlo) 6 leds emissores infravermelhos acoplados a uma pequena bateria (marcadores). Cada imagem da sequência capturada teve uma resolução de 480x420 pixéis, codificada em 256 tons de cinzento, sendo que as zonas correspondentes aos marcadores destacam-se pelas intensidades mais claras, devido ao facto do sensor da câmara ser sensível à radiação infravermelha, facilitando desta forma a sua detecção e seguimento (Fig. 2).

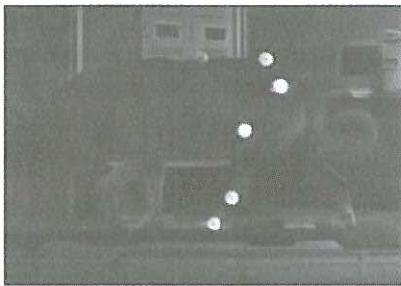


Fig. 2- Exemplar com marcas a seguir (leds emissores infravermelhos). Pontos assinalados para estudo: de baixo para cima: -5º meatarso; -maléolo lateral da tibia; -articulação joelho; -grande trocânter do fémur; -crista ilíaca; -junção toraco-lombar [7]

### 3 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE SEQUÊNCIAS DE IMAGENS

A análise de sequências de imagens é feita em duas fases, na primeira é realizada a localização das marcas colocadas no animal e a na segunda é feito o *tracking* (seguimento) das mesmas marcas.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E SEGUIMENTO DAS MARCAS

O processamento das sequências é realizado em modo *off-line*, necessitando que o operador identifique os marcadores na primeira imagem da sequência. Após este procedimento a ferramenta faz, de modo semiautomático (parando quando o erro de predição é superior a um valor anteriormente definido pelo operador) o seguimento dos marcadores ao longo de toda a sequência de imagens (Fig. 3).

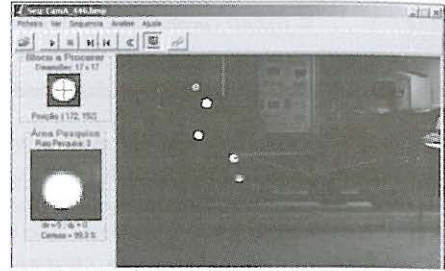


Fig. 3- Aplicação desenvolvida para fazer o seguimento e extracção de informação relativa aos marcadores.

##### 3.1.1 Block matching

As técnicas baseadas em *Block matching* (ou *Template matching*), de uma forma geral, têm sido utilizadas para a extracção de informação útil de uma imagem digital, obtendo muito bons resultados quando aplicadas sobre sequências de alta resolução temporal [4]. Neste tipo de técnicas podem ser identificadas as seguintes etapas:

1- Numa primeira fase, deve ser definido, numa imagem da sequência, o padrão a pesquisar, formado por uma região (área de referência: *template window*) que engloba o objecto em movimento;

2- Numa segunda fase, e em imagens seguintes, deverá ser encontrada a melhor correspondência (*match*) numa área maior (*search window*) onde se supõe ocorrer o padrão inicial.

Na aplicação desenvolvida foram efectuadas algumas alterações às técnicas de *block matching* típicas com vista a melhorar a performance da aplicação (quer em termos de

tempo de execução, quer em termos de percentagem de fiabilidade no seguimento), nomeadamente:

- A janela de pesquisa é definida com base na posição prevista para o marcador, usando um modelo de predição que assume movimentação uniforme entre imagens consecutivas da sequência.

- Aplicação do procedimento de pesquisa na sua vertente em forma espiral, partindo do ponto que se supõe ser o de melhor *match* (ponto central) e caminhando para a periferia da área de pesquisa, segundo um movimento em espiral, tal como aplicado por [5].

- Dado o facto dos marcadores a seguir terem forma arredondada e o seu centro ser o de maior importância no *matching*, deve ser dada mais importância às coordenadas centrais da área de referência do que às coordenadas periféricas dessa mesma área [6].

No que se refere às medidas de avaliação, foram testadas várias medidas de semelhança (onde os valores mais elevados da função são obtidos quando as zonas comparadas são mais parecidas) e de dissemelhança (onde os valores mais baixos da função são obtidos quando as zonas comparadas são mais parecidas) sendo a medida de correlação normalizada (na sua vertente pesada) a que se mostrou mais fiável.

$$C(m, n) = \frac{\sum_x \sum_y p(x, y) r(x - m, y - n)}{\sqrt{\sum_x \sum_y p(x, y)^2 \sum_x \sum_y r(x - m, y - n)^2}} \quad (1)$$

Eq. 1- Fórmula de Correlação Normal, Normalizada.

#### 4 SUAVIZAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Os dados obtidos dos diferentes ensaios realizados por um animal são posteriormente suavizados e normalizados de forma a ser estimado o movimento médio do animal. Para tal foi desenvolvida uma ferramenta de apoio a esta tarefa recorrendo a várias técnicas matemáticas para esse efeito.

#### 4.1 SUAVIZAÇÃO DE TRAJECTÓRIAS

Em virtude do ruído existente nas marcas das imagens, consequência da elevada taxa de amostragem usada e outros factores, tais como iluminação do laboratório, emissão dos leds, etc., existe a necessidade de proceder a um amaciamento das coordenadas dos pontos detectados, por forma a reduzir esses ruídos (picos). Este amaciamento é feito para cada coordenada dos pontos através do uso de média móvel do ponto no instante T com período 3 (Eq. 2, Fig. 4).

$$Px(t) = \frac{Px(t-1) + Px(t) + Px(t+1)}{3}$$

Eq. 2- Amaciamento de trajectórias.

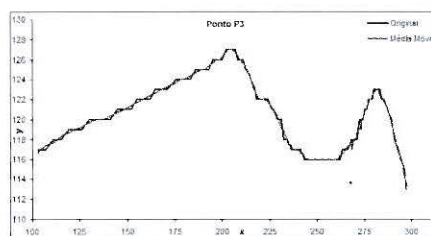


Fig. 4- Exemplo de suavização aplicado às posições de um marcador de uma sequência de testes.

#### 4.2 IDENTIFICAÇÃO DE APOIO E SUSPENSÃO

Antes de se extrair qualquer tipo de informação, existe a necessidade de normalizar as diferentes sequências captadas para que se possa fazer uma estimativa do movimento médio dos animais. Para tal é necessário, numa primeira fase, identificar para cada sequência de imagens uma passada completa efectuada pelo membro que se está a estudar. Este processo é feito de forma manual e para cada tipo de passada, visualizando as diferentes sequências de imagens e nelas localizando: momento de início da fase de apoio de uma passada; momento de início da fase de suspensão de uma passada; momento de início da próxima fase de apoio. Na figura 5 apresenta-se uma imagem retirada da aplicação desenvolvida para auxílio desta tarefa.

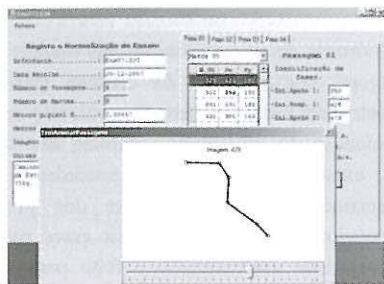


Fig. 5- Aplicação responsável pela tarefa de identificação de diferentes fases e respectiva normalização e estimação do movimento médio de uma passada.

#### 4.2.1 Normalização de Passada

De igual forma, uma sequência, por si só não pode servir de referência ao estudo, pelo que foi necessário normalizar as diferentes sequências captadas, em função do tempo da passada (diferenciando apoio de suspensão), para que se possa fazer uma estimativa do movimento médio dos animais e daí poder retirar informações mais relevantes. Em média são efectuadas, para cada animal, 4 ensaios para cada tipo de andamento estudado (marcha, ambladura e trote) (Tab. 1).

Tab. 1- Localização dos instantes (imagens/frames) de referência ao tipo de movimento em análise.

4	Média Arredond	Ensaio A1	Ensaio A2	Ensaio A3	Ensaio A4
	Início Apoio	350	361	367	291
	Início Suspensão	429	449	459	377
	Fim de Suspensão	473	492	503	423
	Duração Apoio	86	79	88	86
	Duração Suspensão	44	44	43	44
	Duração passada	130	123	131	132

A aplicação apresentada na Figura 5 é também capaz de estimar, depois de identificados em cada sequência os diferentes instantes de referência, através de métodos matemáticos (Eq. 3 e Eq. 4) de interpolação e extrapolação o movimento médio de um determinado tipo de passada para um determinado animal.

$$Frame(i) = \frac{i * DurApoioEnsaio}{DurApoioMédio} + InicioApoioEnsaio$$

Eq. 3- Localização dos frames do ensaio que vão corresponder aos frames do ensaio normalizado médio.

$$Px(i) = P_x(INT(f(i))) * (1 - FRAC(f(i))) + P_x(INT(f(i) + 1)) * FRAC(f(i))$$

Eq. 4- Estimativa da localização da coordenada x no instante i: INT – parte inteira de valor real, FRAC – parte decimal de valor real.

Para além desta normalização de coordenadas existe também a necessidade de fazer uma translação de pontos para um localização média do movimento, tarefa essa, também efectuada pela aplicação apresentada na Fig. 5. Esta aplicação permite a exportação dos dados médios de um determinado movimento canídeo no formato XML (*Extensible Markup Language*)

## 5 FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DE MOVIMENTO

Depois de estimado o movimento médio de um determinado animal, estamos em condições de poder efectuar uma análise cinemática 2D. Uma das informações mais relevantes do movimento são os ângulos que os diferentes segmentos estudados fazem entre si (Fig. 6).

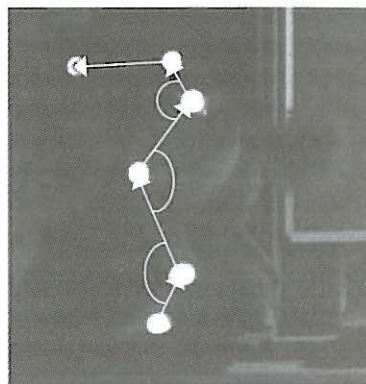


Fig. 6- Identificação dos diferentes ângulos estudados no movimento canídeo. de Baixo para cima: ângulo do tarso; ângulo do joelho; ângulo da anca.

Para o cálculo dos diferentes ângulos foi usada álgebra vectorial: O ângulo entre dois vectores pode ser obtido através do uso da fórmula que calcula o produto interno de dois vectores (Eq. 5).

$$\vec{v1} \cdot \vec{v2} = \|\vec{v1}\| \cdot \|\vec{v2}\| \cdot \cos(\phi)$$

Eq. 5- Produto interno de dois vectores para calcular os ângulos inter-segmentares.

Como produto final, foi desenvolvida uma ferramenta que permite, para além de visualizar de uma forma animada o movimento de uma passada, obter, de uma forma célere, uma série de parâmetros caracterizadores da locomoção do canídeo, tais como: posições angulares, velocidades angulares, ângulos entre segmentos, velocidade de passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, etc. Todas estas informações, para além de poderem ser visualizadas na aplicação podem também ser exportadas no formato XML para posterior análise em ferramentas mais apropriadas para esse efeito (Fig. 7)

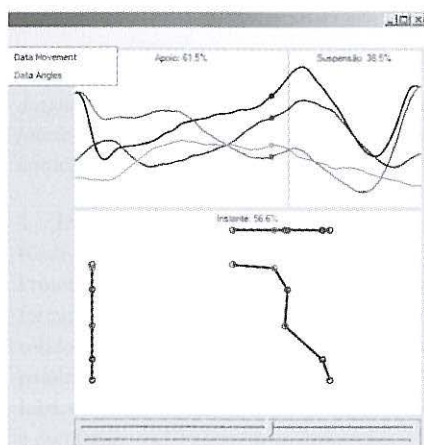


Fig. 7- Aplicação para visualização e análise do movimento médio de um canídeo.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidas uma série de metodologias que permitiram a criação de uma ferramenta computacional para a análise biomecânica da locomoção canina. Com esta ferramenta é possível efectuar uma análise cinemática 2D, obtendo-se diversos parâmetros caracterizadores da locomoção do cão (ex: posições angulares, velocidades angulares, ângulos entre segmentos, velocidade de

passada, tempo de apoio, tempo de suspensão, etc.). Estes parâmetros poderão auxiliar e facilitar a detecção atempada de anomalias funcionais no cão e desta forma realizar um diagnóstico mais precoce e fiável de certas patologias, como a displasia da anca.

Como trabalho futuro pretende-se fazer a evolução da ferramenta para uma versão 3D. Esta permitirá o confronto da movimentação de cada membro do animal em estudo, de forma a permitir comparações intra e entre cães, detectar alterações mecânicas noutros membros como consequência de patologias associadas ao movimento, etc.

## REFERÊNCIAS

- [1] Robert, I. Gillette; T. Craig Angle; "Recent developments in canine locomotor analysis: A review", *The Veterinary Journal*, n. 178, pág. 165-178, 2008.
- [2] Ginja M. M.; M. P. Llorens-Pena; A. J. Ferreira; "Diagnóstico, controlo e prevenção da displasia da anca no Cão da Serra da Estrela", *Rev. Port. Ciências Vet.*, 100, 147-161, 2005.
- [3] Ronaldo Gabriel; "Biomecânica da estabilidade articular. Análise do comportamento do tornozelo na mudança de direcção do caminhar", PhD Thesis, Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, 1999.
- [4] Mourão A.; Melo-Pinto, P.; Mendonça, A.M.; "Tracking in high temporal resolutions image sequences using block matching techniques", *Proceedings on 11th Portuguese Conference on Pattern Recognition* - pág. 179-184, 2000.
- [5] Mendonça, A.M.; "Métodos de tratamento digital de imagem - aplicação no arquivo, processamento e análise de imagens de oftalmologia", PhD Thesis, University of Porto, 1993.
- [6] Mourão, A.; "Análise de imagem na caracterização biomecânica do movimento dos membros inferiores, em seqüências de alta resolução temporal", Master Thesis, University of Porto, 2000.
- [7] Poy, NSJ; DeCamp, CE; Bennett, RL; Hauptman, JG; "Additional kinematic variables to describe differences in the trot between clinically normal dogs and dogs with hip dysplasia" *Am J Vet Res*, 61 (8); pág. 974-978, 2000.