UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Sistema para Análise Biomecânica de Nadadores – SABIO

Karina Lorenti Persona

Março
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Sistema para Análise Biomecânica de Nadadores – SABIO

Karina Lorenti Persona

Texto da dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Aprovada em 30 de Março de 2006.

Banca Examinadora:

Prof. Adriano Alves Pereira, Dr. - Orientador (UFU)
Prof. Sílvio Soares dos Santos, PhD. - Co-Orientador (UFU)
Prof. Henrique Takachi Moriya , Dr. (UFU)
Prof. Carlos Dias Maciel, Dr. (USP – São Carlos)

Sistema para Análise Biomecânica de Nadadores – SABIO

Karina Lorenti Persona

Texto da dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Adriano Alves Pereira, Dr.

Orientador

Uma longa viagem começa com um único passo.

(Lao- Tsé)

Aos meus pais, Luiz e Cidinha.
Aos meus avós, Izidro e Nega,
pelo apoio irrestrito em todos os momentos.

Agradecimentos

Ao meu Orientador Adriano Alves Pereira pela ajuda, orientação e ensinamentos. Seu apoio foi fundamental para mais esta caminhada. Obrigada professor.

Ao meu Co-Orientador, Silvio Soares dos Santos, por toda a orientação na área da biomecânica, pela idéia original deste projeto e pelo apoio irrestrito em todas as etapas de testes.

Ao professor Luciano Lima por todo o seu apoio e amizade, pela sabedoria e ensinamentos a mim prestados. Sinto-me privilegiada por ter feito parte de um projeto que se concretiza.

Ao professor Henrique Moriya pela colaboração no trabalho, a engenharia e seus alunos com certeza se enriquecem bastante com seus argumentos e competência.

Aos meus pais e avós, tenho o privilégio de conviver com vocês e assim, crescer com toda a grandeza de seus corações.

Aos meus tios e padrinhos Luiz, Lúcia, Sérgio e Cristina, pela confiança me dada, por acreditarem em mim em diversos momentos. Serei eternamente grata a vocês.

Aos professores Alcimar e Edgard por me darem diversas idéias, pelo conhecimento transmitido e pela amizade.

A todos os bolsistas do projeto Cnpq. Especialmente ao Edgard e Thiago por toda a colaboração em todas as etapas e pela amizade.

Aos amigos do BioLab, Aílton Jr., Ângela (AngeLee), Fábio (CatMan), Gláucia, Guilherme (Vagareza), Joaquim, Kety, Thiago, Jaqueline, Serginho, Ana Paula, Wilton, Geraldo e Suzy. Em especial, a Lílian pelo apoio, ao Eduardo, pela colaboração e esclarecimentos em diversos trabalhos e a Marcelle (Celle), por sempre ser prestativa, auxiliar-me em vários momentos e acima de tudo, pela amizade. Obrigada.

À Aline Altarugio, não tenho palavras para agradecer por toda sua colaboração, incentivo e amizade. Você me ajudou em todos os momentos, desde as manipulações com as imagens até mesmo quando foi preciso carregar tijolos. Enfim, parece engraçado, mas acredito que apenas um obrigada seria pouco.

Aos alunos da graduação da Engenharia Elétrica e de Iniciação Científica (IC), Éder, Jeovane, Thiago Finotti e Saulo.

A secretária da pós, Marli pelo seu bom trabalho prestado e amizade.

Aos amigos da Educação Física. Obrigada por ainda fazerem parte da minha vida e espero continuar crescendo, aprendendo e obviamente me divertindo com vocês.

À COPEV (Comissão Permanente do Vestibular – UFU) por ter me dado suporte financeiro durante a minha graduação e pelas amizades conquistadas neste período.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram com a conquista deste trabalho.

À Deus, pela oportunidade de agradecer a todos acima e por mais esta na minha vida. Minha fé em ti sempre me dá forças para continuar, sabendo que podemos fazer algo de bom, sempre.

Resumo

PERSONA, K. L. *Sistema para análise biomecânica de nadadores - SABIO*, FEELT-UFU, Uberlândia, 2006, (103) p.

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema baseado na aquisição de imagens que auxilie no treinamento e na análise biomecânica de atletas, especificamente, de nadadores. A análise visou a identificação e a quantificação dos fatores biomecânicos que podem melhorar o desempenho de nadadores, pois a otimização de pequenos valores podem significar a vitória na natação. Para a avaliação biomecânica é necessário conhecer alguns parâmetros de um nadador, tais como velocidade parcial e velocidade média do nado, freqüência e comprimento de braçada, ritmo de nado, mensuração de ângulos articulares, entre outras. Para que estes dados representem fielmente os valores do atleta, sem limitar seus movimentos com equipamentos acoplados a ele, o sistema denominado SABIO é dividido em *hardware* e *software*. O *hardware* é composto por vários elementos como câmeras de vídeo, marcadores aquáticos e sistema de estímulo visual e têm a função de capturar imagens do nado no plano sagital do atleta, delimitar pontos de interesse no ambiente e na piscina e ditar o ritmo do teste. No *software* são realizados os cálculos de parâmetros do nado e a análise biomecânica do nadador. Foram realizados diversos testes, com atletas de distintas especialidades de nado em todas as etapas de desenvolvimento do sistema, para ajuste dos materiais envolvidos no *hardware*. Para validação do SABIO, foram estudados os aspectos cinemáticos dos movimentos de um nadador. Os resultados obtidos pelo sistema foram os esperados e permitiram analisar os fatores de interesse.

Palavras chaves: natação, biomecânica, velocidade, ritmo, sistema.

Abstract

PERSONA, K. L. *System for biomechanics analysis of the swimmers - SABIO*, FEELT-UFU, Uberlândia, 2006, (103) p.

The aim of this work was the development of a system based on images acquisition that assists in the training and in the biomechanics analysis of the athletes, specifically, of swimmers. The analysis focused at identification and the quantification of the biomechanical factors that can improve the performance of swimmers, because the optimization of small values can mean the victory in swimming. For the biomechanics evaluation is necessary to know some parameters of a swimmer, such as partial speed and average speed of the swim, stroke frequency and length, rhythm of swim, mensurement of articular angles, among others. So that these data represent faithfully athlete's values, without limiting their actions with equipment coupled to then, the system denominated SABIO is divided into hardware and software. The hardware is composite for several elements like as video cameras, pool signs and system of visual stimulus and it has the function of capture images of the swim in the plan sagital of the athlete, defining interest points in environment and in the swimming pool and to dictate the test rhythm. The software fulfills the calculations of the swim parameters and the biomechanics analysis of the swimmers. They were accomplished several tests, with athletes of distinct modalities in all development stages of the system, for adjustment of the materials involved in the hardware. For validation of the SABIO, it was studied the kinematics aspect of the movements of an athlete. The results obtained by the system ware expected and allowed to analyze the wished factors.

Key words: swimming, biomechanics, speed, rhythm, system.

Lista de Figuras

2.1 Áreas para análise biomecânica do movimento humano [18] 25

2.2 Medidas antropométricas usadas para definir ângulos articulares e ângulo de rotação. Figura modificada de [20] 26

2.3 Mapeamento da distribuição de pressão plantar, sistema F-Scan [22] 26

2.4 Etapas do tratamento do sinal eletromiográfico para a elaboração dos envoltórios lineares. (A) Sinal EMG original ou bruto. (B) Sinal EMG retificado e retirado o off-set. (C) Envoltórios lineares do sinal EMG filtrado com freqüência de corte de 5Hz [25] 27

2.5 Modelo (*stick figure*) representando o salto da atleta Maurren Maggi, gerado a partir do programa APAS [31] 28

2.6 Fotos seqüenciais de cavalos galopando [32] 29

2.7 Interface do *software DVIDEOW* em um exemplo de *tracking* de jogadores de futebol [36] 31

2.8 Interface do *software APAS*. Exemplo de análise de arremesso de peso em diversos segmentos das imagens com uso de duas câmeras calibradas a 45 graus [45]..... 32

2.9 Dados do nadador obtidos pelo *software* Peak Motus [50]..... 33

2.10 Demonstração da análise do movimento sem marcadores [55]..... 34

2.11 Exemplo de análise do movimento humano usando modelo [33] 35

2.12 Vista lateral de um sistema de periscópio [52]..... 38

2.13 Um campo gravado pelo sistema de periscópio. As metades superiores e inferiores mostram as imagens obtidas acima e abaixo d'água, respectivamente [52]..... 38

3.1 Representação das partes que compõem o *hardware* do SABIO 41

3.2 Foto do suporte ilustrando o local da câmera de vídeo externa e da interna..... 42

3.3 Captura de imagens no plano sagital do nadador..... 42

3.4 Ilustração das distâncias das câmeras de vídeo com relação à superfície da água 43

3.5 Lâmpada acendendo enquanto a atleta a acompanha 45

3.6 Setas verdes indicam alguns marcadores externos, setas amarelas, alguns internos 45

3.7 O detalhe em amarelo ilustra uma imagem da câmera externa dos marcadores quando estes não estão alinhados ainda 46

3.8 O detalhe em amarelo ilustra uma imagem da câmera externa dos marcadores quando alinhados 46

3.9 Imagem da câmera interna, possibilidade de cálculo da velocidade a cada 2m de distância..... 47

4.1 *Power Cam*™ [100]..... 49

4.2 Projeto do suporte em PVC 49

4.3 Construção do suporte de *metalon* sem pintura 50

4.4 Foto do suporte demonstrando as bases e a estrutura de *EVA* na superior 51

4.5 As setas vermelhas indicam os ajustes do braço, o horizontal (distância da caixa estanque até o suporte) e o vertical (profundidade da caixa), os círculos amarelos indicam os parafusos que mantêm o braço imóvel após o ajuste..... 51

4.6 Foto do eixo soldado na estrutura e sem articulação 52

4.7 Rodinhas de patins 53

4.8 Filmadora Panasonic PV GS-150 com dimensões de 71mm de largura, 73mm de altura e 123mm de extensão..... 53

4.9 Caixa de Mergulho *Sport Pack* da *Sony*..... 54

4.10 Caixa Estanque *Croma* 55

4.11 Sacola a prova d'água 55

4.12 Tubo de pvc usado para construção da caixa estanque..... 56

4.13 Tampa de acrílico 56

4.14 Borracha para vedação da tampa 57

4.15 Tampa vedada com parafusos distanciados 120° entre si 57

4.16 Suporte em EVA desenvolvido especialmente para encaixe da câmera..... 58

4.17 No detalhe em amarelo, caixa estanque projetada para mergulho em mar [105]..... 58

4.18 Estrutura ao redor da caixa, pontiaguda nas laterais para facilitar a passagem do fluxo da água. 59

4.19 Sistema de estímulo visual em funcionamento 60

4.20 Lâmpada conectada aos fios por dentro da mangueira 60

4.21 Vista lateral do Bloco de Peso 61

4.22 Lâmpada automotiva dentro da capa protetora vermelha 62

4.23 Fios e bateria automotiva usada para alimentação das lâmpadas e do circuito 62

4.24 Fios saindo da mangueira até o circuito com a bateria 63

4.25 Circuito com todos os componentes 64

4.26 *Display*, teclado e botão *reset* 65

4.27 *Display* para visualização dos dados de treinamento 65

4.28 Velocidade especificada em 2,5 m/s 66

4.29 Sistema aguardando a digitação dos dados sobre o tempo de treinamento 66

4.30 Sistema aguardando a digitação dos dados sobre o número de voltas na piscina 66

4.31 Treinamento iniciado, *display* apresentando o tempo, a velocidade e a quantidade de voltas colocadas pelo treinador. 67

4.32 O detalhe em amarelo ilustra os marcadores distanciados 2 metros entre si 67

4.33 Marcador interno, estrutura de madeira revestida por um plástico resistente 68

4.34 Vista de três dos nove marcadores 68

4.35 *Interface* do programa Analisador 70

4.36 Exemplo de um cálculo do ângulo de flexão máxima do joelho no nado borboleta.... 71

4.37 Exemplo da aplicação da ferramenta *zoom* 72

4.38 *Interface* do SABIO 73

4.39 Da esquerda para a direita, botões *Play*, *Pause* e *Stop* 73

4.40 Botões do *Slow Motion*. Executa o vídeo lentamente para trás com o botão da esquerda, com o botão da direita, executa o vídeo lentamente para frente 74

4.41 Momento em que o quadril está alinhado com o marcador interno 74

4.42 Campo onde o usuário digita a distância, neste caso, a velocidade foi calculada em 2 metros de nado 75

4.43 *Interface* do fragmentador de vídeo 76

5.1 A batida de pernas no ciclo principal começa antes das mãos entrarem na água e termina antes de iniciada a fase de agarre 78

5.2 Batida de pernas no ciclo secundário 78

5.3 Esquema demonstrando o espaço de 14 metros no qual foi calculada a velocidade do nado 79

5.4 Momento em que o quadril está alinhado com o marcador interno 80

5.5 Exemplo do uso da ferramenta *ruler* do *Photoshop* 81

5.6 Gráfico da velocidade parcial do nado de 50m estilo borboleta 82

5.7 Gráfico do CB por um ciclo de braço de acordo com o espaço deslocado na piscina . 84

5.8 Gráfico do número de pernadas executadas e do ângulo de flexão do joelho em cada uma 86

Lista de Tabelas

5.1 Dados completos para cálculo da velocidade parcial do nado..... 82

5.2 Valores do CB em cada ciclo..... 83

5.3 Valores angulares do joelho nas pernadas..... 85

Lista de Abreviaturas e Siglas

APAS - *Ariel Performance Analysis System*

BioLab – Laboratório de Engenharia Biomédica

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CCD – *Charge Couppled Device*

CG – Centro de Gravidade

CM – Centro de Massa

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

DLT – *Direct Linear Transformation*

DVIDEOW - *Digital Video for Biomechanics for Windows 32 bits*

FAEFI – Faculdade de Educação Física

FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica

SABIO – Sistema para Análise Biomecânica

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Sumário

1. Introdução **21**

1.1 Motivação 21
1.2 Objetivos 22
1.3 Estrutura da dissertação 23

2. Revisão da Literatura **24**

2.1 Introdução 24
2.2 Biomecânica 24
2.2.1 Antropometria 25
2.2.2 Dinamometria 26
2.2.3 Eletromiografia 27
2.2.4 Cinemetria 27
2.3 Análise do movimento humano com vídeo 28
2.3.1 *Direct Linear Transformation* (DLT) 30
2.3.1.1 *DVIDEOW - Digital Video for Biomechanics for Windows 32 bits* 31
2.3.1.2 *APAS - Ariel Performance Analysis System* 32
2.3.1.3 *PEAK MOTUS* 32
2.3.1.4 *WINanalyse* 33
2.3.2 Técnicas de *tracking* de movimento 34
2.3.2.1 Técnica de *tracking* em 2D baseada em Modelo 34
2.3.2.2 Técnica de *tracking* em 2D baseada em Aparência 35
2.4 Análise do movimento humano em meio aquático 36
2.5 Conclusão 39

3. Proposta de um sistema para análise biomecânica de nadadores 40

3.1 Introdução ... 40

3.2 Descrição geral ... 40

3.3 *Hardware* ... 41

3.3.1 Suporte móvel ... 41

3.3.2 Câmeras de vídeo ... 43

3.3.3 Caixa estanque a prova d'água ... 44

3.3.4 Sistema de estímulo visual microcontrolado ... 44

3.3.5 Marcadores internos e externos ... 45

3.4 *Software* ... 47

3.5 Conclusão ... 47

4. Desenvolvimento do Sistema 48

4.1 Introdução ... 48

4.2 Unidades de *Hardware* ... 48

4.2.1 Suporte móvel ... 48

4.2.2 Câmeras de vídeo ... 53

4.2.3 Caixa estanque a prova d'água ... 54

4.2.4 Sistema de estímulo visual microcontrolado ... 59

4.2.4.1 Mangueira ... 59

4.2.4.2 Blocos de peso ... 60

4.2.4.3 Lâmpadas automotivas ... 61

4.2.4.4 Fios ... 62

4.2.4.5 Circuito com microcontrolador ... 63

4.2.5 Marcadores internos e externos ... 67

4.3 *Softwares* ... 69

4.3.1 Analisador Postural ... 69

4.3.1.1 *Polyline* ... 70

4.3.1.2 Botões Zoom in e Zoom out ... 71

4.3.2 SABIO ... 72

4.3.2.1 *File* ... 73

4.3.2.2 *Play, Stop* e *Pause* ... 73

4.3.2.3 *Slow Motion* 74
4.3.2.4 *Set Time* 74
4.3.2.5 Calcular 75
4.3.2.6 Distância a calcular 75
4.3.2.7 Salvar dados 75
4.3.3 Fragmentador 75
4.4 Conclusão 76

5. Estudo de Caso 77

5.1 Introdução 77
5.2 Material e método 77
5.2.1 Caracterização do estudo de caso 78
5.2.2 População e amostra 78
5.2.3 Procedimentos de aquisição das imagens 78
5.2.4 Procedimento de análise 79
5.3 Resultados 81
5.3.1 Velocidade de nado (VN) 82
5.3.2 Comprimento de braçada (CB) 83
5.3.3 Freqüência de braçada (FB) 84
5.3.4 Ângulo máximo de flexão do joelho (AJ) 85
5.4 Discussão dos resultados e conclusões deste estudo 86
5.4.1 Outras aplicações do SABIO 87
5.5 Conclusão do capítulo 88

6. Conclusões e trabalhos futuros **89**

6.1 Conclusões gerais 89
6.2 Trabalhos futuros 91

Referências Bibliográficas **92**

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

A *performance* de um nadador é medida pelo tempo gasto para percorrer uma determinada distância [1]. Diferenças de valores muito pequenos na velocidade são determinantes para a vitória. No entanto, em [2] o efeito da velocidade pode parecer acadêmico e demonstra a sabedoria que há em ritmar o nado. Este autor ainda cita um exemplo, explicando que se há dois nadadores com características praticamente iguais, o que ritmou a primeira parte da prova deverá ser capaz de vencer por estar menos cansado na segunda parte que o competidor.

Apesar de muitos pesquisadores relatarem os efeitos fisiológicos da imersão e sobre exercícios realizados em ambiente aquático, há poucos estudos relacionando variáveis biomecânicas neste ambiente [3-7]. A escassez de literatura específica, provavelmente, seja dada pelas dificuldades na adaptação do instrumental necessário à coleta de dados em ambiente aquático, ou mesmo pela falta de instrumentos que possam proporcionar ritmo e determinar a velocidade de nado do atleta por meio de dados quantitativos e de maneira não subjetiva, em treinamentos.

A velocidade do nado é uma informação valiosa para análise do nadador, porém, em muitos estudos verificados observa-se que este dado é subjetivamente estimado e possivelmente não haja equipamento algum, que não seja atado ao corpo e que não atrapalhe a mecânica do nado capaz de quantizá-la objetivamente. Entre as possíveis explicações para este fato estão as maiores dificuldades associadas ao controle preciso da

intensidade de esforço e coleta de dados a beira da piscina em relação a avaliações realizadas com ergômetros em condições laboratoriais [8]. Em estudos realizados na piscina para mensurar o consumo de oxigênio do atleta, o pesquisador caminha ao lado do nadador e conduz o equipamento portátil para a coleta de gases [9]. Em um outro método, a pessoa permanece estacionária, atada a um sistema de cabos e roldanas por meio de uma correia colocada ao redor da cintura [10,11].

Desde muito na natação procura-se entender e utilizar em beneficio do atleta, a causa e o efeito de aspectos fisiológicos e biomecânicos em atletas [12]. Esta busca tenta desvendar a determinação do ritmo de nado ideal para cada zona energética predominante e a melhor técnica de execução dos movimentos usando informações por meio do registro de imagens, que apresentam maior confiabilidade por possibilitarem a comparação, a avaliação e a reavaliação quantas vezes se fizer necessário. A reprodução e a análise quantitativa produzem dados precisos e difíceis de serem percebidos ou registrados de outra forma. Assumir o controle destas variáveis não só é um desafio para treinadores, como também, para nadadores que pretendem obter os melhores resultados.

1.2. Objetivos

Visando desenvolver um sistema compatível com piscinas de 25 metros de comprimento para avaliação biomecânica por imagens capaz de ditar o ritmo para treinamentos e mensurar as velocidades parcial e média de nadadores sem que nenhum equipamento esteja acoplado ao corpo do atleta, os objetivos deste trabalho são:

- Propor, implementar e avaliar um sistema de *hardware* e *software* para análise biomecânica de nadadores;
- Analisar o desempenho de atletas que envolvam a mensuração da velocidade parcial do nado relacionando-a com variáveis biomecânicas como medidas angulares, freqüência de braçadas, entre outras que demonstrem a aplicabilidade do sistema.

1.3. Estrutura da Dissertação

Cada capítulo deste trabalho descreve as etapas necessárias para cumprir os objetivos colocados no item 1.2. Assim, esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1: Motivação, objetivos e estrutura da dissertação;
- Capítulo 2: Estudo da literatura a respeito sobre as técnicas de acompanhamento de um corpo humano e as técnicas empregadas para avaliação biomecânica por imagens de atletas de natação;
- Capítulo 3: Proposta de um sistema de análise biomecânica (*hardware* e *software*) e especificações das propriedades principais do protótipo;
- Capítulo 4: Detalhamento das etapas de desenvolvimento do *hardware* e *software*;
- Capítulo 5: Avaliação do sistema em treinamentos de atletas de natação e análise de desempenho dos mesmos;
- Capítulo 6: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

2.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é revisar a literatura sobre os sistemas e métodos existentes para análise do movimento humano em diversos campos, especificamente, em ambiente aquático, onde se concentra o interesse maior deste trabalho.

2.2. Biomecânica

A Biomecânica é uma ciência multidisciplinar que envolve a aplicação de princípios mecânicos ao estudo da estrutura e função dos organismos vivos [13]. Apesar da biomecânica ser encarada como uma ciência multidisciplinar [14], será abordado neste capítulo, apenas o estudo do movimento humano no esporte. Segundo [6, 15 e 16] é objetivo da biomecânica, para análise do movimento humano, a descrição da técnica de movimento, ocupando-se dos principais fatores que a determinam: leis da mecânica do movimento e propriedades do sistema locomotor humano.

Para a compreensão e quantificação dos movimentos de um corpo, é importante definir um método para a orientação da análise experimental. Segundo [6,17,18] (Figura 2.1), os métodos utilizados pela biomecânica para abordar as diversas formas de movimento são: antropometria, dinamometria, eletromiografia e cinemetria.

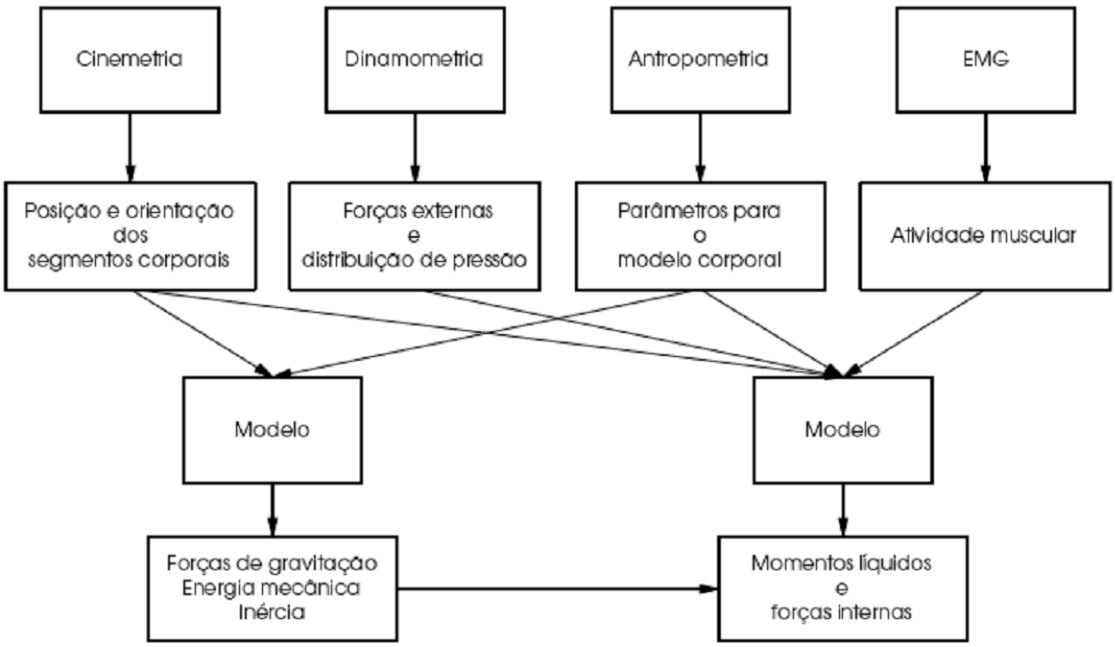

Figura 2.1. Áreas para análise biomecânica do movimento humano [18].

2.2.1. Antropometria

A Antropometria se preocupa em determinar características e propriedades do aparelho locomotor, tais como as dimensões das formas geométricas de segmentos corporais, distribuição de massa, braços de alavanca, posições articulares etc. [19]. Como o corpo humano possui características complexas e diversos graus de liberdade, busca-se minimizar os problemas encontrados na aplicação das leis físicas em estudos do movimento por meio de modelos antropométricos que possam representar o corpo humano. Diversos são os modelos utilizados e estes diferem quanto às formas geométricas, ao número de segmentos e aos cálculos matemáticos (Figura 2.2). Porém, independentemente do modelo adotado, este deve permitir o cálculo de pelo menos um dos parâmetros fundamentais para análise do movimento, tais como: Densidade, Massa, Centro de Gravidade (CG), Centro de Massa (CM) e Momento de Inércia.

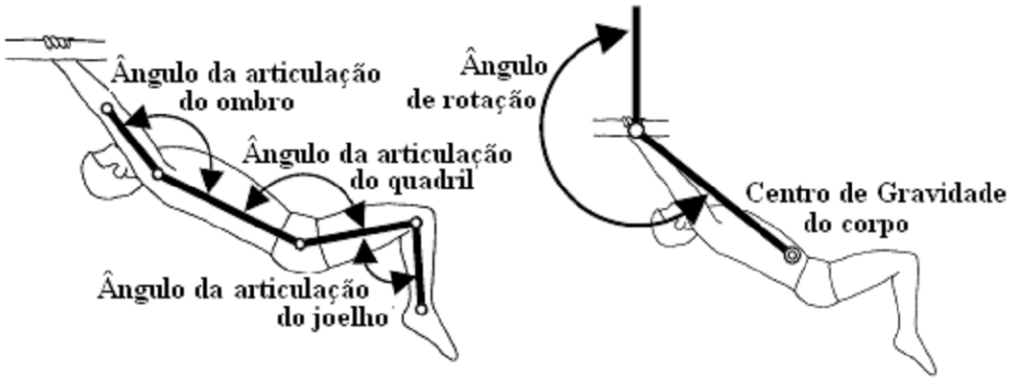

Figura 2.2. Medidas antropométricas usadas para definir ângulos articulares e ângulo de rotação. Figura modificada de [20].

2.2.2. Dinamometria

A Dinamometria refere-se a todo tipo de processo que tem em vista a medição de forças, bem como a medição de distribuição de pressões [21]. A interpretação das medidas de forças externas (forças de reação) e da distribuição de pressão na dinâmica do movimento é determinante, principalmente para a identificação de gestos incorretos na marcha humana, no salto de atletas, no equilíbrio, entre outras análises (Figura 2.3).

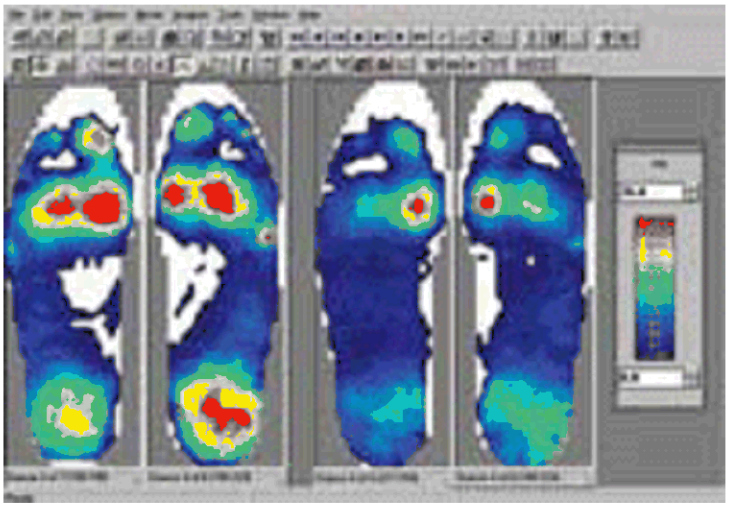

Figura 2.3. Mapeamento da distribuição de pressão plantar, sistema F-Scan [22].

2.2.3. Eletromiografia

A atividade elétrica dos músculos provocada por estímulos nervosos durante o movimento humano, pode ser monitorada com uma técnica chamada Eletromiografia [23]. Quanto maior a intensidade de contração ou tensão, maior é a atividade elétrica do músculo. O registro da atividade muscular, o sinal eletromiográfico (Figura 2.4), que é uma manifestação de uma ativação neuromuscular associada a uma contração muscular [24], pode ser usada para descrever e quantificar a atividade de diferentes músculos utilizados no exercício ou determinar desempenho, duração da atividade e fadiga.

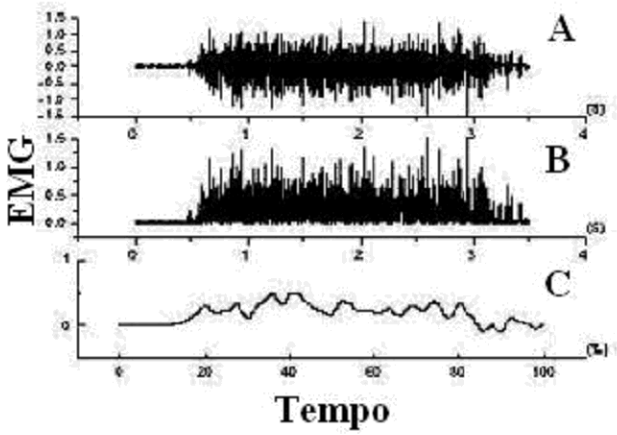

Figura 2.4. Etapas do tratamento do sinal eletromiográfico para a elaboração dos envoltórios lineares. (A) Sinal EMG original ou bruto. (B) Sinal EMG retificado e retirado o off-set. (C) Envoltórios lineares do sinal EMG filtrado com freqüência de corte de 5Hz [25].

2.2.4. Cinemetria

A Cinemetria é um conjunto de métodos que busca medir os parâmetros cinemáticos do movimento [19], isto é, posição, orientação, velocidade e aceleração. Na cinemetria no esporte, os sistemas são orientados para as medições dos movimentos e posturas dos gestos desportivos realizados pelos atletas, através de imagens, registro de trajetórias, decurso de tempo, determinação de curvas de velocidade e de aceleração, entre outras variáveis derivadas [26].

A cinemática envolve a descrição do movimento independente das forças que causam estes movimentos. O movimento pode ser descrito em termos espaciais e temporais, sendo

que esta descrição pode ser feita com a utilização de goniômetros, acelerômetros, filmagens ou equipamentos optoeletrônicos [27].

Existem vários métodos para medir parâmetros cinemáticos, variando do simples ao complexo, como a fotogrametria instrumental iniciado em 1895 [28], a estroboscopia [29], a fotografia de exposição múltipla com [30] como precursor deste método, entre outros. Porém, estas técnicas convencionais possuem custos elevados para revelação antes da digitalização manual ou automática. Segundo [13], o método mais utilizado é a videografia, por causa da enorme disponibilidade, da durabilidade e da facilidade de utilização das modernas câmeras de vídeo e das unidades de reprodução. Esta técnica é baseada em uma ou mais câmeras de vídeo ou câmeras de cinema de 8 e 16mm, em conjunto com um *software* específico para cálculo das variáveis cinemáticas de interesse (Figura 2.5).

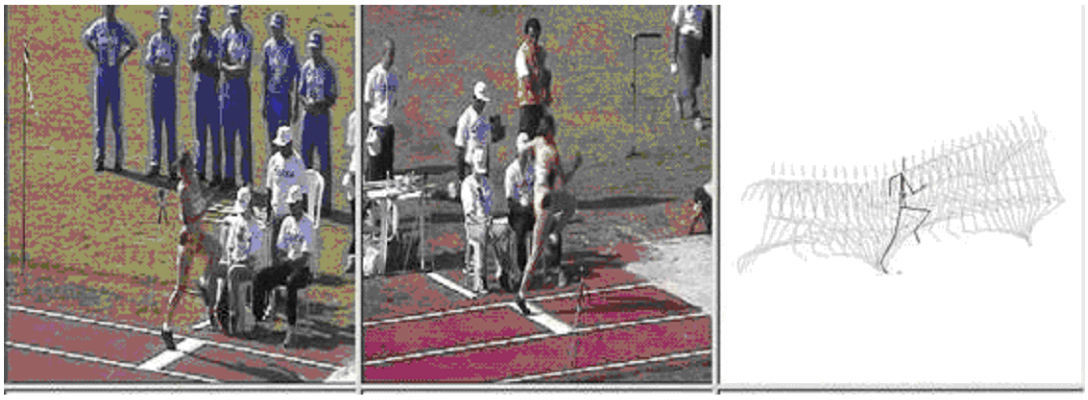

Figura 2.5. Modelo (*stick figure*) representando o salto da atleta Maurren Maggi, gerado a partir do programa APAS [31].

2.3. Análise do movimento humano com vídeo

Durante o final do século XIX, alguns fotógrafos como Muybridge, começaram a utilizar câmeras fotográficas no estudo do movimento humano e animal. Ele utilizou câmeras estáticas e alinhadas em seqüência com um dispositivo eletromagnético leve destinado a captar lances seriados de cavalos galopando (Figura 2.6). Mais tarde, Muybridge acumulou três volumes de trabalho fotográfico sobre movimentos humanos e

animais que proporcionaram documentação científica das diferenças entre a marcha normal e patológica [32].

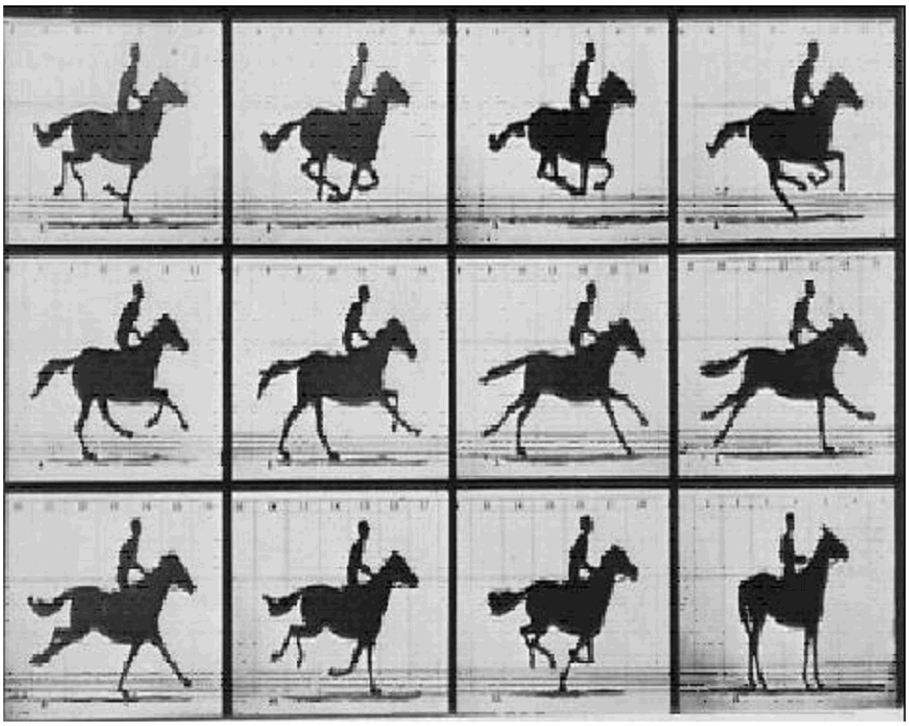

Figura 2.6. Fotos seqüenciais de cavalos galopando [32].

Atualmente, o acompanhamento dos movimentos de um corpo por vídeo, em uma seqüência de quadros (*frames*), é a forma mais básica de processamento de imagens para analisar matematicamente os resultados deste movimento e compreender o comportamento dinâmico humano.

Um dos maiores problemas para um sistema dinâmico é localizar objetos não-rígidos, como o corpo humano, em um ambiente ruidoso [33]. As técnicas de acompanhamento (*tracking*) podem ser do tipo bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) em que usam métodos como o *Direct Linear Transformation* (DLT) em *softwares* específicos a fim de se obter informações mais precisas e completas do gesto técnico, ou ainda técnicas mais apuradas que localizam a deformação de um objeto ou de um corpo. A seleção da técnica baseia-se na quantidade, na qualidade e na disposição das câmeras no plano em relação ao

corpo a ser analisado. A identificação do movimento é freqüentemente facilitada pelo uso de marcadores especiais fixados ao corpo, combinação de cores e formatos diferentes.

2.3.1. *Direct Linear Transformation* (DLT)

O método mais conhecido para calibração de câmeras e reconstrução tridimensional é o chamado algoritmo DLT (*Direct Linear Transformation*), proposto em [34]. Este método necessita do uso de pelo menos duas câmeras de vídeo estáticas, no entanto, existem trabalhos de reconstrução 3D utilizando uma única câmera [35].

Alguns parâmetros são exigidos para a metodologia DLT. Parâmetros de orientação interna (distância principal, posição principal e curva de distorção da lente) e parâmetros externos são definidos por três coordenadas (X, Y, Z) que determinam a posição da projeção da câmera, dois ângulos determinando a direção das câmeras e um terceiro ângulo, a direção de um feixe de raios provenientes de um objeto no espaço.

Para calibração da câmera são necessários, pelo menos, seis pontos de referência que devem ter coordenadas espaciais conhecidas, não podem ser coplanares e precisam envolver todo o espaço de estudo percorrido pelo objeto ou corpo que será analisado. Os pontos necessitam estarem fixos e visíveis pelas duas câmeras que também devem estar imóveis. A partir destes seis pontos de referência, obtêm-se onze coeficientes que possuem todas as informações relativas às orientações interna e externa da câmera. De posse das coordenadas dos pontos fixos, calcula-se os onze coeficientes a partir de duas equações para cada ponto.

Pela facilidade de implementação em *softwares*, o DLT é muito utilizado em diversos sistemas dentro do esporte para análise do movimento humano. Entre eles, destacam-se: *DVIDEOW* (*Digital Video for Biomechanics for Windows 32 bits*), *APAS* (*Ariel Performance Analysis System*), *PEAK MOTUS* (*Peak Performance Technologies*) e *WINanalyse*. Todos, exceto o *DVIDEOW*, são comerciais e semelhantes nos princípios de análise. Os sistemas incluem câmeras de vídeo e *software*, permitem medir ângulos articulares, velocidade de movimento de um atleta, avaliar movimentos em um plano com duas dimensões e dois ou três plano com três dimensões. Os dados são coletados com marcadores que podem ser passivos ou ativos, fixados na pele. O movimento é digitalizado e reconstruído (modelo espacial) após a filmagem.

2.3.1.1. *DVIDEOW* (Digital Vídeo for Biomechanics for Windows 32 bits)

O *DVIDEOW* em [36], foi desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física e pelo Instituto de Computação da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) e é usado em análises de padrões de movimentação da caixa torácica de nadadores durante a respiração [37], em rastreamento de jogadores de futebol (Figura 2.7) para avaliar a variabilidade da representação das posições dos atletas [38], em análise de marcha [39,40] e em reconstrução e análise de superfície do corpo humano [41]. Apesar desta flexibilidade apresentada pelo *software*, este está restrito a instituição onde foi desenvolvido.

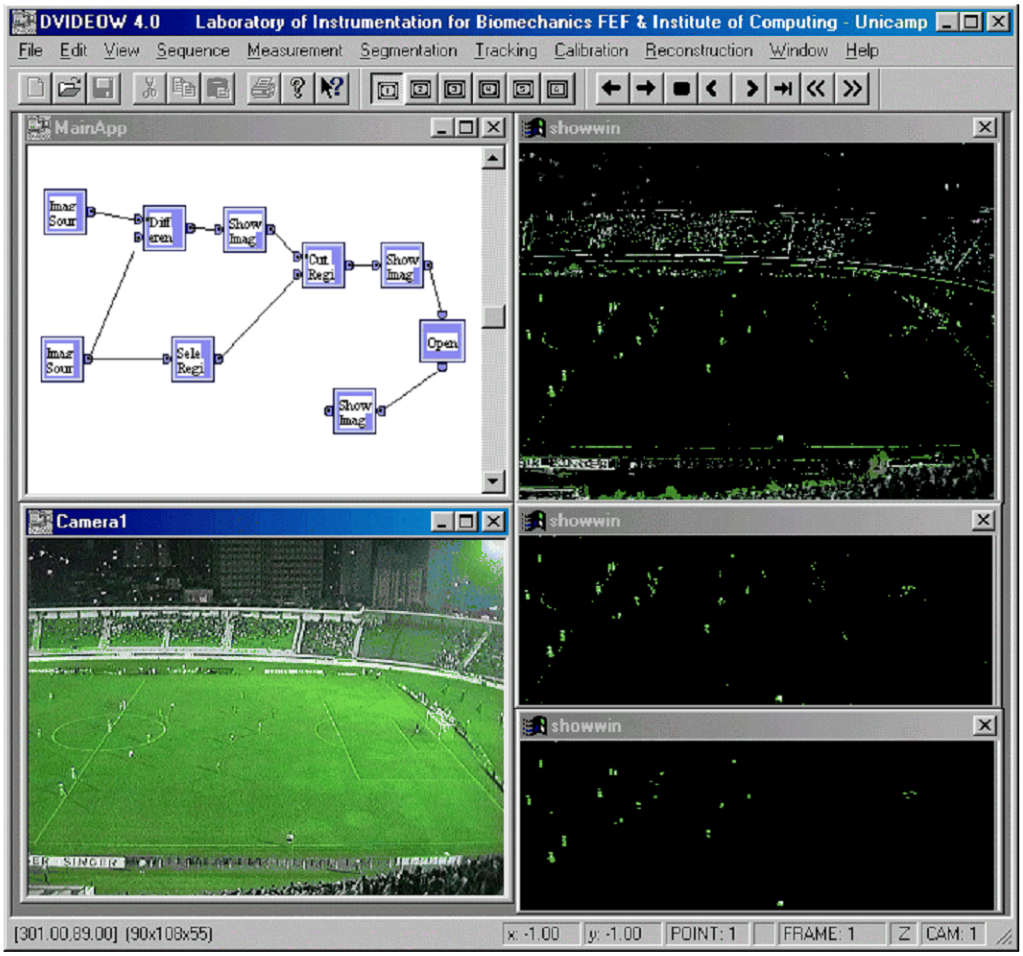

Figura 2.7. Interface do *software DVIDEOW* em um exemplo de *tracking* de jogadores de futebol [36].

2.3.1.2. *APAS - Ariel Performance Analysis System (Ariel Dynamics, Inc.)*

Este sistema foi desenvolvido nos Estados Unidos no início da década de 70 por Gideon Ariel. O APAS é utilizado no baseball, no golfe, na musculação, no boxe, na ginástica artística, no voleibol [42], na análise de marcha em ambiente terrestre e aquático [43], principalmente no atletismo, em análises de arremessos de peso em atletas olímpicos de Atenas em 2004 [44] (Figura 2.8), entre outras modalidades.

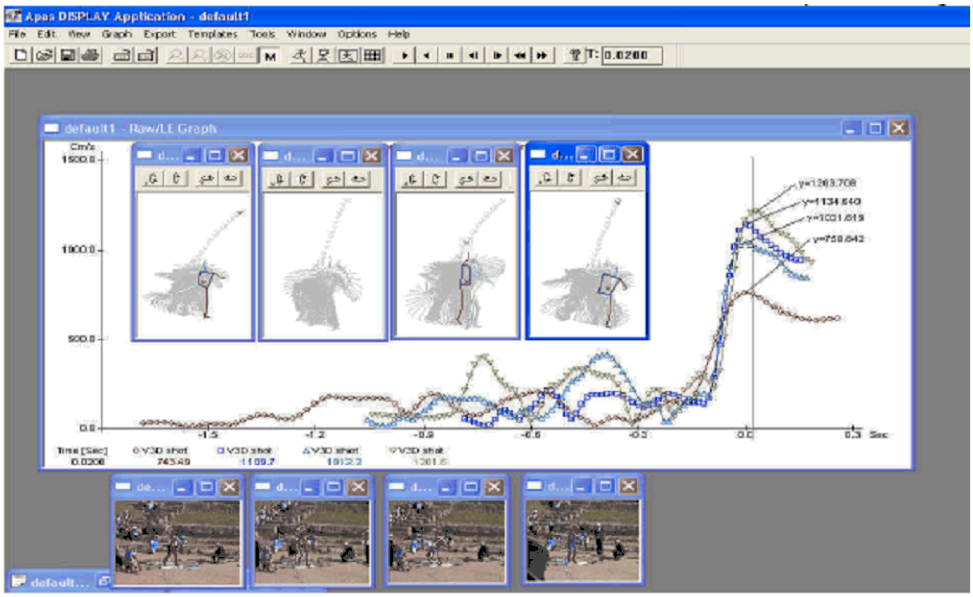

Figura 2.8. Interface do *software* APAS. Exemplo de análise do arremesso de peso em diversos segmentos das imagens com uso de duas câmeras calibradas a 45 graus [45].

2.3.1.3. *PEAK MOTUS*

Fabricado pela empresa *Peak Performance Technologies* nos Estados Unidos, este é um outro exemplo de sistema bastante utilizado no âmbito esportivo, pois permite determinar dados espaciais e temporais, tais como distâncias, ângulos, velocidades, acelerações lineares e angulares e duração de movimentos a partir do desdobramento do vídeo em quadros estáticos, sendo que, em cada quadro é feita a seleção de pontos e segmentos corporais. Na natação, pesquisadores como [46-53], fizeram uso deste sistema para análise do movimento em ambiente aquático (Figura 2.9).

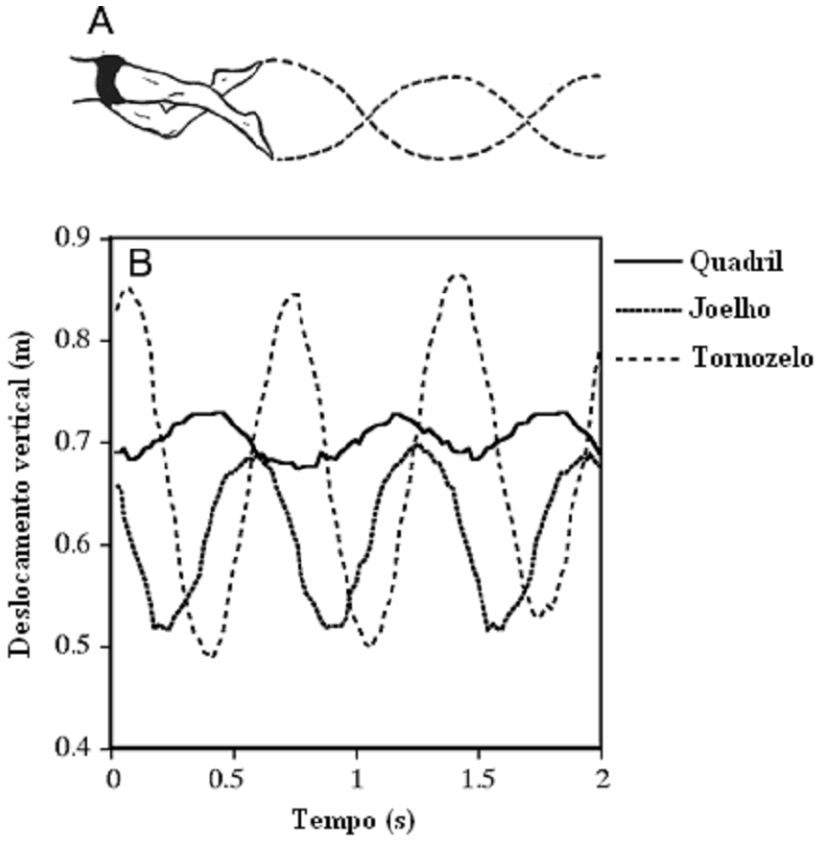

Figura 2.9. Dados do nadador obtidos pelo *software Peak Motus* [50].

2.3.1.4. *WINanalyse*

É um *software* que realiza a análise e interpretação automática dos movimentos. Possui métodos de reconhecimento de padrões, que identificam as posições de certos detalhes da imagem (*frame*) automaticamente (Figura 2.10). Como desvantagem, pode-se citar a necessidade de outro *software* específico para conversão dos vídeos que serão utilizados na análise, pois o *software* só trabalha com as extensões *.bld e *.dsc [54].

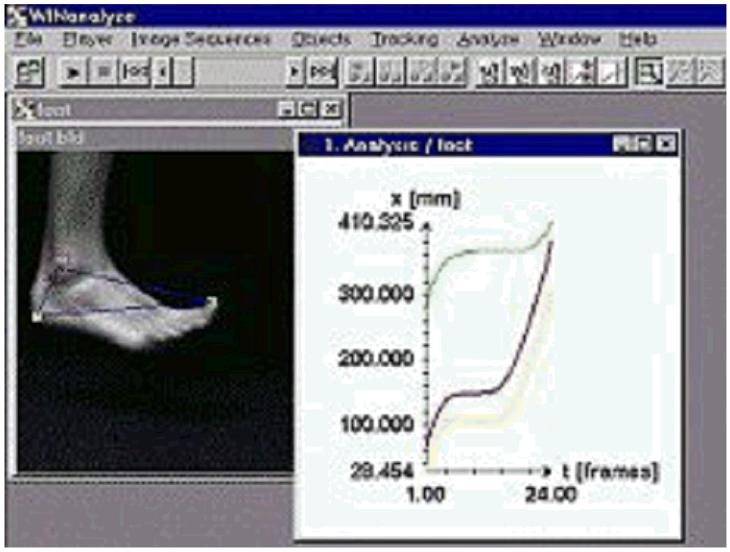

Figura 2.10. Demonstração da análise do movimento sem marcadores [55].

2.3.2. Técnicas de *tracking* de movimento

Apesar das análises cinemáticas do tipo tridimensional revelarem informações mais completas do gesto técnico, mais próximas da realidade [56], a seleção da técnica de acompanhamento (*tracking*) de interesse deste estudo é do tipo bidimensional (2D) baseada em aparência, ou seja, a análise do nadador por vídeo será feita em 2D sem o uso de modelo, pois mesmo a melhor descrição de um modelo, esta será incompleta e imperfeita, ela não permite compreender a realidade em questão na sua totalidade e não traduzirá de forma absolutamente fiel a realidade [57].

O acompanhamento de um movimento bidimensional é classificado em duas categorias: (2.3.2.1) Baseado em Modelo; (2.3.2.2) Baseado em Aparência.

2.3.2.1. Técnica de *Tracking* em 2D baseada em Modelo

Esta técnica utiliza a construção de modelos (bonecos) computacionais em forma de cilindros, esferas, elipsóides ou retângulos (Figura 2.11), usados para compreensão e comparação do movimento entre tal modelo e uma pessoa [58-66]. Estes modelos podem ser tridimensionais (3D) [64] ou bidimensionais (2D) [62].

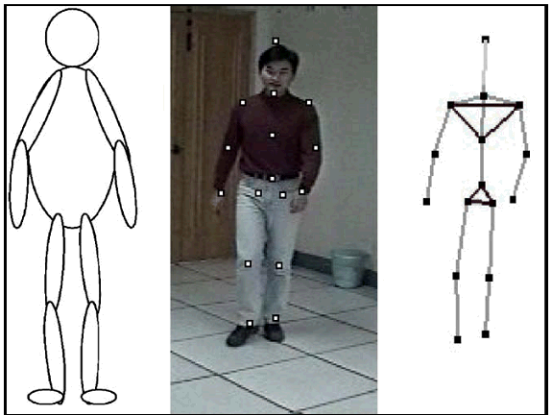

Figura 2.11: Exemplo de análise do movimento humano usando modelo [33].

Os modelos são criados usando ferramentas matemáticas, análise de vídeo e treinamento das características do movimento no qual se pretende reproduzir. Em geral, os modelos 3D representam o corpo humano com seus graus de liberdade e são aplicados em sobreposição na pessoa utilizando o vídeo para detectar desvios, contornos e forças criadas no movimento. Uma única câmera de vídeo não provê informações suficientes para construção de um modelo 3D, sendo necessário utilizar várias câmeras.

A vantagem de utilizar um modelo 3D é a facilidade de lidar com movimentos rápidos e imagens ruidosas. Porém, pode ser difícil reduzir a complexidade do modelo para explorar um conjunto pequeno de movimentos, já que existem inúmeras dificuldades em medir a dinâmica das figuras complexas envolvendo um grande número de massas e torques aplicados, junto com forças de reação no corpo.

2.3.2.2. Técnica de *Tracking* em 2D baseada em Aparência

A categoria Baseada em Aparência não requer modelos, sendo que a imagem utilizada para os estudos é da pessoa propriamente dita. Esta técnica utiliza informações de cor ou de textura de um objeto do corpo ou de partes deste para localizá-lo. Para localização e acompanhamento de um movimento, esta abordagem baseada em aparência dispõe das seguintes técnicas de análise: Modelo Gaussiano 3D articulado [67,68], Filtro de Kalman [69,70] Diferenciação Temporal [71,72], *Clustering* [73], Contornos Ativos [74], e Análise de Dados por Múltiplas Câmeras em [75].

O Modelo Gaussiano não é capaz de lidar com casos onde há um fundo com texturas perto dos objetos de estudo, mas é muito rápido e pode ser usado para calcular velocidades como, por exemplo, da marcha de um indivíduo. O Filtro de Kalman é usado para

acompanhamento do corpo humano e para resolver problemas de desaparecimento total ou parcial de um objeto devido a oclusão por outros objetos no vídeo. A Diferenciação Temporal é utilizado para prover um acompanhamento bem detalhado do movimento, permite acompanhamento contínuo apesar de oclusões e cessação do movimento. A técnica de *Clustering* usa algoritmo para segmentação de imagem e informações de cor para etiquetar as prováveis regiões da pele, estas informações associadas com o contorno de um corpo humano ajudam a localizar uma pessoa [74]. O método de Contorno Ativo não exige iluminação homogênea, mas assume contraste significante entre pessoa e o fundo da cena. O acompanhamento por Contorno é bastante popular e foi utilizado em vários estudos demonstrando ser um bom método para análise de dados em tempo real [33]. Freqüentemente uma única câmera de vídeo não é suficiente para localizar o corpo humano, especialmente quando o objeto de estudo sair da área de visão, sendo que, o uso de múltiplas câmeras para acompanhamento é uma solução óbvia para resolver este problema. Um sistema de múltiplas câmeras de vídeo funciona de maneira sincronizada. O *tracking* começa por uma câmera, quando o sistema predisser que esta câmera de vídeo ativa não está tendo uma boa visão do assunto de interesse, o *tracking* é trocado para outra câmera que provê uma visão melhor para continuar o acompanhamento.

Estas técnicas de detecção do movimento humano são exemplos utilizados atualmente para reconhecimento de face [76,77], análise de postura [78], análise da marcha [79-86], entre outras aplicações. Porém muitos destes recursos computacionais também são empregados no *tracking* de um objeto em meio líquido, como no acompanhamento e mensuração de velocidade de microorganismos [87], de animais marinhos [88], entre outros. Com estes recursos para análise de velocidade de um corpo em meio líquido, é possível medir a velocidade de nado de um atleta de natação, já que o maior objetivo deste estudo, como dito anteriormente, é analisar fatores que influenciam no desempenho de nadadores.

2.4. Análise do movimento humano em meio aquático

De acordo com [13], vários são os fatores que influenciam as forças geradas por um corpo para se deslocar em meio líquido: velocidade do nadador em relação ao meio, densidade e peso do corpo e viscosidade do líquido, onde a capacidade de controlar a ação das forças fluídicas diferencia os nadadores de elite daqueles que representam a média.

Em [89] atletas foram filmados nadando com lâmpadas acopladas às mãos em uma piscina escura a fim de revelar as trajetórias dos braços e mãos nos quatros estilos pelo efeito estroboscópico dos raios luminosos. Perceberam que as mãos e os braços dos nadadores faziam o movimento nas direções lateral e vertical, contrariando a teoria até então aceita do movimento sinuoso para trás. A nova teoria, adotada por eles, foi chamada de teoria da força de sustentação da propulsão. Este estudo foi considerado um marco divisório na natação, salientando a importância do uso de filmes nesta modalidade [2].

Desde então, pesquisadores têm dado especial atenção com relação à orientação dos corpos na água, à freqüência das braçadas, à distância percorrida por cada ciclo de braço, aos ângulos articulares formados em cada fase do nado e à velocidade, ou seja, o estudo da dinâmica do nado, bem como das componentes de força e resistência envolvidas no mesmo, vem se tornando importantes ferramentas na melhoria do desempenho dos atletas, uma vez que os objetos de estudo constituem os elementos principais nas avaliações biomecânicas na natação [89].

As filmagens na natação são realizadas normalmente utilizando pelo menos duas câmeras de vídeo, uma para capturar imagens do nado em baixo d'água e outra em cima. Com pelo menos duas câmeras é possível fazer a reconstrução tridimensional (3D) a partir de uma imagem bidimensional (2D) do atleta, e, assim, analisar de forma mais detalhada os movimentos. Independente da modalidade, as imagens para treinadores e atletas são importantes, pois podem ser vistas repetidas vezes para analisarem qualitativamente o movimento bem como obter dados quantitativos.

Dentre os estudos cinemáticos encontrados em ambiente aquático, a maioria analisa a técnica do nado em três dimensões, usando o método DLT [52,90-95].

Para analisar qualitativamente a técnica do nado, foi proposto em [52] o desenvolvimento de um método por periscópio e arranjo de espelhos para filmar os ciclos de braçadas do nadador, obteve-se imagens das braçadas dentro e fora da piscina com apenas uma câmera (Figura 2.12). Para reconstrução das imagens em três dimensões, foram utilizados dois sistemas de periscópios, ou seja, duas câmeras (Figura 2.13). Ambas foram sincronizadas e as imagens foram reconstruídas usando o método DLT [52, 96]. Estes modelos utilizaram o DLT para reconstrução de imagens obtidas por espelhos.

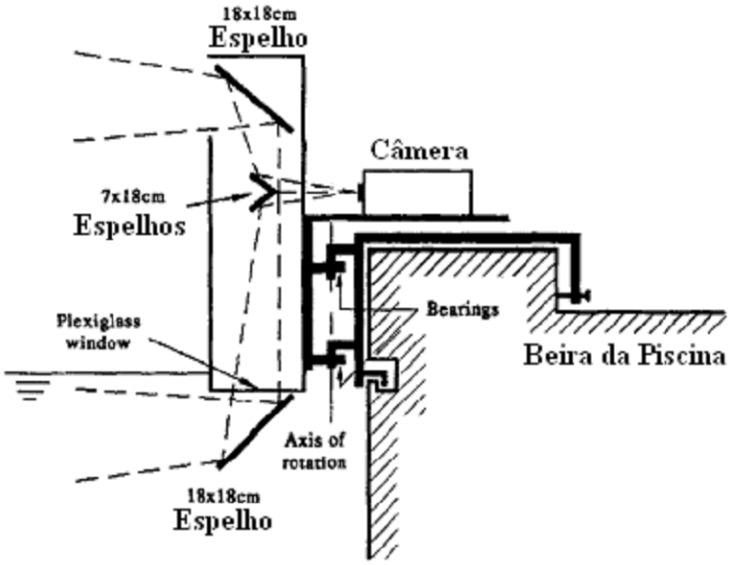

Figura 2.12. Vista lateral de um sistema de periscópio [52].

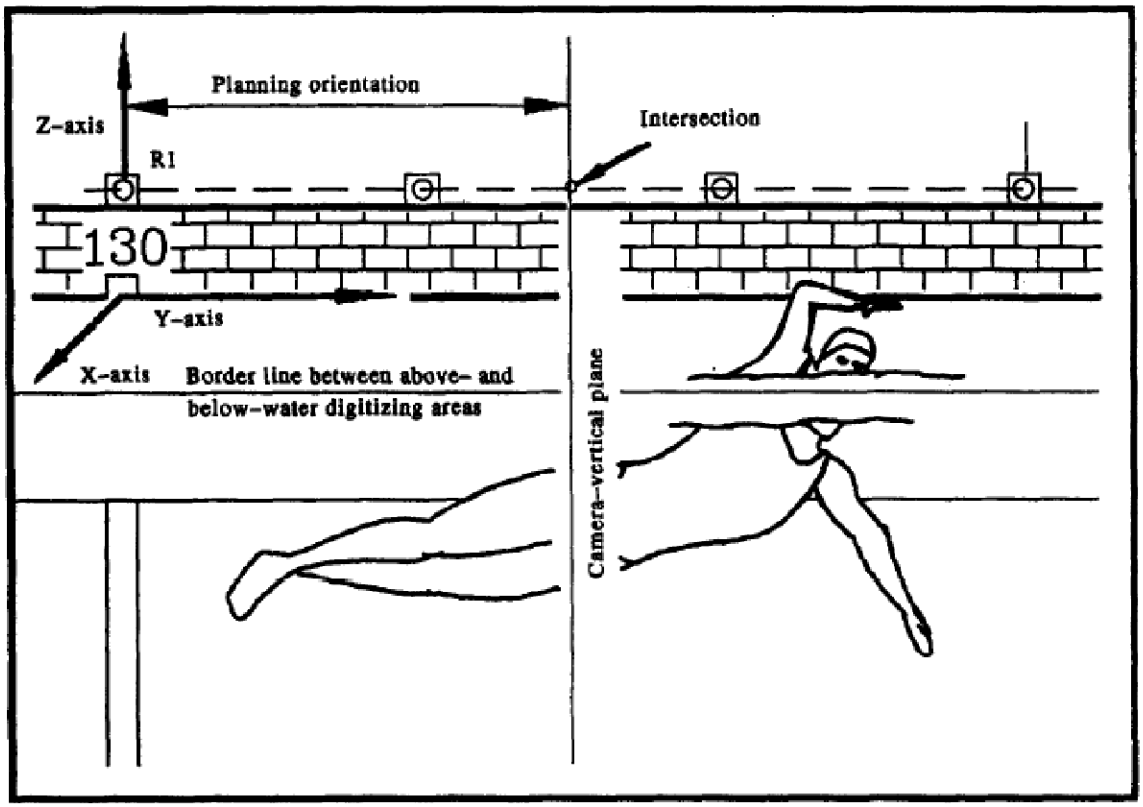

Figura 2.13. Um campo gravado pelo sistema de periscópio. As metades superiores e inferiores mostram as imagens obtidas acima e abaixo d'água, respectivamente [52].

Em um outro estudo, utilizou-se as mesmas ferramentas de periscópios para reexaminar a mecânica do alinhamento horizontal de nadadores durante o nado crawl. Para mensurar os parâmetros de interesse nas imagens, o autor usou o *software* "*Peak 2D System*" (Peak Performance Technologies, Denver, CO, EUA) [97].

Com o objetivo de analisar o nado borboleta tridimensionalmente e verificar alguns dados fisiológicos do atleta, foi utilizado o método DLT proposto em [98] juntamente com o *software* "*Ariel Performance Analysis System*" da *Ariel Dynamics* Inc [99].

No entanto, ressalta-se que não é o interesse desta pesquisa utilizar o método DLT nas análises de nadadores, já que as análises biomecânicas realizadas no *software* proposto nesta pesquisa são feitas por imagens 2D.

2.5. Conclusão

Este capítulo apresentou os atuais métodos utilizados para avaliação do rendimento de atletas analisando sua técnica por câmeras de vídeo e *softwares* específicos. Apesar da variedade de técnicas de *tracking* em meio líquido, o estudo realizado demonstra que ainda há muito que ser feito para adequar os sistemas complexos atuais à realidade de cada pesquisa de interesse. No próximo capítulo será apresentado o sistema proposto para análise biomecânica de nadadores desenvolvido no BioLab.

Capítulo 3

Proposta de um Sistema para análise biomecânica de nadadores

3.1. Introdução

Definidos quais são os métodos e materiais mais apropriados para desenvolvimento de um sistema (*hardware* e *software*) para avaliações biomecânicas de um nadador, neste capítulo propõe-se descrever as características principais deste sistema. Os componentes de *hardware* permitem determinar o ritmo do nadador e estimar a velocidade do nado em tempo real, acompanhar e capturar imagens do nado submerso e aéreo de um atleta de natação e descarregá-las em um computador. O *software* através destas imagens em 2D, calcula ângulos articulares e quantifica objetivamente os valores da velocidade parcial ou média do nado para desenvolvimento de protocolos e testes em treinamento.

3.2. Descrição geral

Este sistema para análise biomecânica, denominado SABIO (Sistema de Análise Biomecânica), é usado integralmente em treinamentos de nadadores nos estilos crawl, borboleta (golfinho) e peito e parcialmente no estilo costas, já que não é possível determinar ritmo para este estilo, pois o atleta não visualiza o sistema para este fim. A razão disto será explicada em detalhes posteriormente. O SABIO não deve interferir de

forma alguma na execução dos movimentos e na técnica, ser de fácil manuseio e instalação, além de poder ser empregado em qualquer piscina de 25 metros. Para tanto, a proposta é de um sistema que pode ser dividido em duas unidades: (1) *hardware* e (2) *software* para processamento dos dados.

3.3. *Hardware*

O *hardware* é composto por um suporte móvel para as filmadoras, duas câmeras de vídeo, uma caixa estanque a prova d'água, um sistema microcontrolado de estímulo visual por meio de luzes, nove marcadores internos e oito externos na piscina (Figura 3.1).

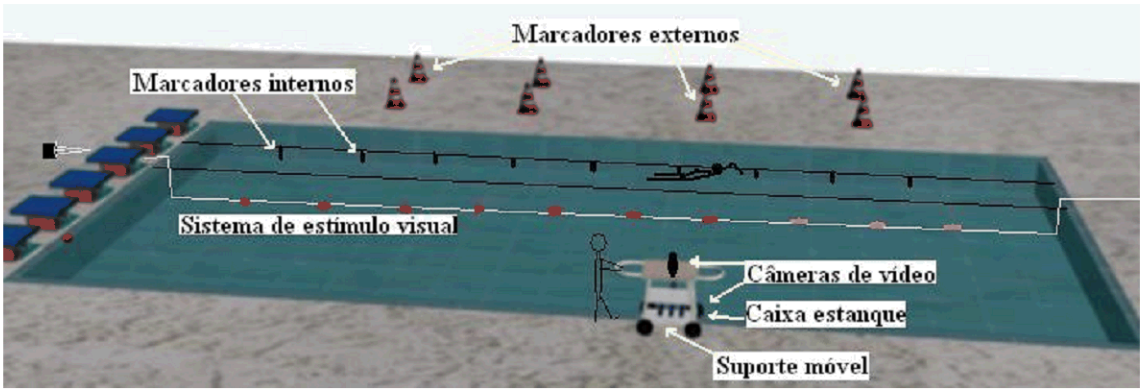

Figura 3.1. Representação das partes que compõem o *hardware* do SABIO.

3.3.1. Suporte Móvel

O suporte serve para conduzir as filmadoras na borda da piscina (Figura 3.2). Este deve ter massa suficiente para criar estabilidade na condução, ser móvel e ergonômico para o(s) indivíduo(s) que irá (ão) empurrá-lo. Seu descolamento é realizado por uma ou duas pessoas que procurará (ão) andar, na lateral da piscina, em uma velocidade o mais próximo possível da velocidade de nado do atleta, de maneira que as câmeras possam ficar sempre posicionadas a um ângulo próximo de 90° em relação ao corpo do nadador durante seu deslocamento, capturando imagens no plano sagital do nado (Figura 3.3).

Figura 3.2. Foto do suporte ilustrando o local da câmera de vídeo externa e da interna.

Figura 3.3. Captura de imagens no plano sagital do nadador.

3.3.2. Câmeras de vídeo

Como descrito no capítulo anterior, um importante recurso para avaliar desempenho de atletas é a utilização de imagens. As duas filmadoras digitais são usadas para a captura das imagens no plano sagital do nado acima e abaixo da superfície da água. As câmeras são dispostas paralelamente em um mesmo eixo de referência no suporte, uma fica na base superior do suporte móvel a aproximadamente um metro acima da superfície da água e a outra fica por baixo da água dentro da caixa estanque à prova d'água, abaixo aproximadamente quinze centímetros da superfície da água (Figura 3.4).

Figura 3.4. Ilustração das distâncias das câmeras de vídeo com relação à superfície da água.

As câmeras são dispostas desta forma para que, concomitantemente, possam capturar imagens do nado tanto por cima quanto por baixo da água e assim, possibilitar, ao pesquisador ou técnico, analisá-las (2D) posteriormente pelo *software*, depois de sincronizadas. Como as filmadoras são digitais, os dados podem ser transmitidos ao computador via USB, sem perda da qualidade das mesmas. Alguns cuidados como o posicionamento das câmeras, iluminação adequada, entre outros, devem ser tomados, para que a qualidade das imagens seja satisfatória. Esta é uma etapa simples, porém muito importante, já que é dela que irão depender, em grande parte, os erros experimentais obtidos.

3.3.3. Caixa estanque a prova d'água

Este elemento fica submerso na piscina, atado ao braço do suporte, comporta a filmadora interna para captura dos movimentos submersos no nado. A caixa não pode ser grande para não produzir muito empuxo no suporte, deve comportar qualquer câmera de vídeo *mini-dv* e obviamente, não permitir a entrada de qualquer quantidade de água.

3.3.4. Sistema de estímulo visual microcontolado

Como descrito no capítulo anterior, determinar ritmo ao atleta de natação é muito importante. O sistema de estímulo visual fica no fundo da piscina entre as raias onde será executado o nado, por isso não funciona para o estilo costas. Este sistema de lâmpadas que acendem e apagam ao longo da piscina, serve para determinar o ritmo e a velocidade do nado para um determinado deslocamento. Estes dados são especificados no microcontrolador pelo treinador por um teclado e visualizados no painel (*display*).

Pelo teclado o treinador especifica a velocidade e o tempo de acendimento das lâmpadas colocando o treinamento para o nadador executar. Ao passo que as lâmpadas vão acendendo embaixo da água, o atleta visualiza e deve acompanhar este acendimento (Figura 3.5), desta forma, ao técnico é possível desenvolver diversos tipos de treinamentos e protocolos, como protocolos de testes de velocidade progressiva em natação, treinamento de ritmo para meio fundistas e fundistas, treinamento de tática de prova, de *sprints* com velocidade constante, entre outros.

Figura 3.5. Lâmpada acendendo enquanto a atleta a acompanha.

3.3.5. Marcadores internos e externos

Os marcadores propriamente ditos são necessários para marcar determinados locais no ambiente de filmagem para que sejam realizadas as devidas análises por *software* (Figura 3.6).

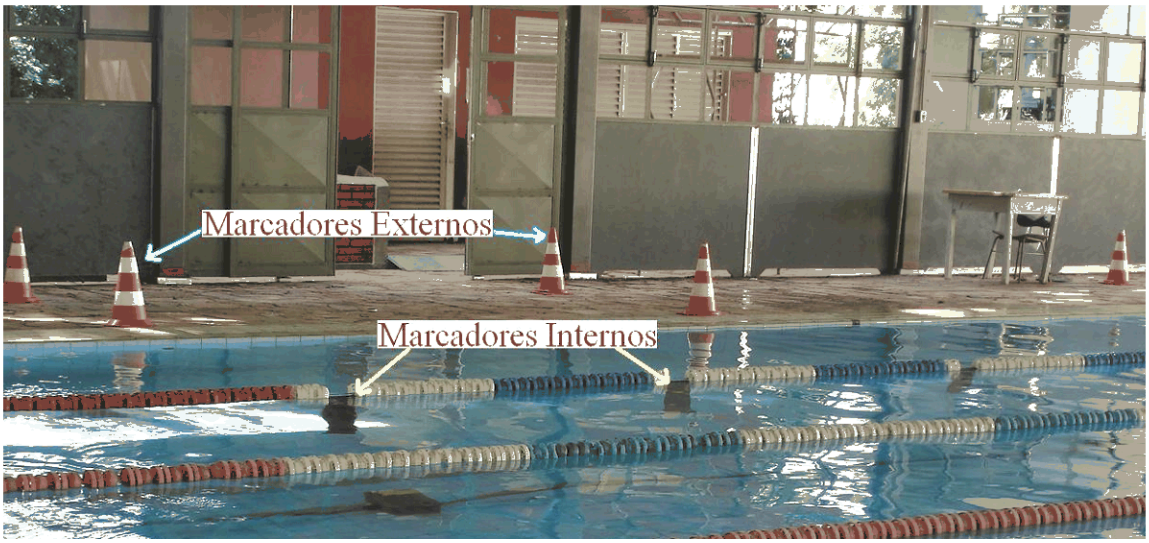

Figura 3.6. Setas verdes indicam marcadores externos, setas amarelas, indicam marcadores internos.

Os marcadores externos servem para sincronização das câmeras quando estas estiverem em ângulo perpendicular com o nadador. Eles ficam dois a dois na outra lateral da piscina onde o suporte móvel não percorre (Figura 3.7). Quando o suporte móvel passa com a filmadora externa e na imagem os marcadores ficarem exatamente paralelos, sabe-se que, neste momento, o eixo da câmera está perpendicular em relação ao deslocamento do atleta e assim, pode-se medir os ângulos articulares (Figura 3.8). Nesta pesquisa, serão colocados oito marcadores, ou seja, existem quatro marcas possíveis de mensuração de ângulos articulares. Porém, este número pode ser incrementado, dependendo do tamanho da piscina, das necessidades do treinador e da disponibilidade de material.

Figura 3.7. O detalhe em amarelo ilustra uma imagem da câmera externa dos marcadores quando estes não estão alinhados ainda.

Figura 3.8. O detalhe em amarelo ilustra uma imagem da câmera externa dos marcadores quando alinhados.

Os marcadores internos servem para que o usuário no *software* reconheça-os juntamente com a roupa do nadador (Figura 3.9) ou outra parte de interesse e possa medir a velocidade do nado em intervalos predeterminados de deslocamento do atleta

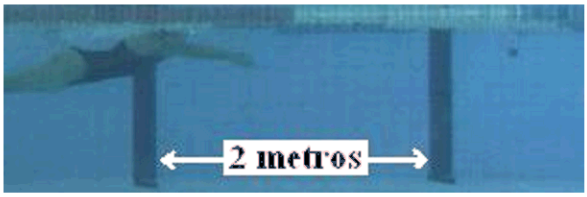

Figura 3.9. Imagem da câmera interna, possibilidade de cálculo da velocidade a cada 2m de distância.

3.4. *Software*

O *software* para mensurar ângulos de posicionamento do corpo foi desenvolvido em [54]. O *software* a ser desenvolvido para cálculo da velocidade do nado deve ter como propriedades:

- Uma *interface* intuitiva que facilite o manuseio do usuário;
- Cálculo da velocidade do nado em intervalos de deslocamento predeterminados pelo treinador;
- Documentação eletrônica das análises realizadas para consulta posterior.

3.5. Conclusão

Neste capítulo foram descritas as especificações básicas de *software* e *hardware* que devem compor o sistema de análise biomecânica de nadadores. No próximo capítulo serão detalhados o projeto e o funcionamento das estruturas que compõem o *hardware* e o desenvolvimento do *software*.

Capítulo 4

Desenvolvimento do Sistema

4.1. Introdução

Neste capítulo serão mostradas, detalhadamente, as etapas de desenvolvimento do SABIO. Conforme descrito no capítulo anterior, o sistema proposto foi dividido em duas partes principais*: hardware* e *software*.

4.2. Unidades de *hardware*

As unidades de *hardware* do sistema são compostas por:

- Suporte móvel;
- Câmeras de vídeo;
- Caixa estanque a prova d'água;
- Sistema de estímulo visual;
- Marcadores externos e internos.

4.2.1. Suporte Móvel

A princípio foi desenvolvido um suporte com tubos de PVC semelhante ao do sistema da *Total Performance Inc*, chamada *Power Cam*™ (Figura 4.1). Porém, o equipamento projetado (Figura 4.2) não apresentou resistência para suportar o empuxo de uma câmera

com dimensões maiores do que uma *webcam*. Ao empurrá-lo, o braço, onde deveria ficar a filmadora inferior, sofria deformações e isto prejudicaria a captura das imagens, sendo obtidas em ângulos diferentes daqueles esperados e propostos para análise. Provavelmente a estrutura de pvc da *Total Performance* não sofra deformações porque a *Power Cam*™ utiliza uma *webcam* para filmar.

Figura 4.1. *Power Cam*™ [100].

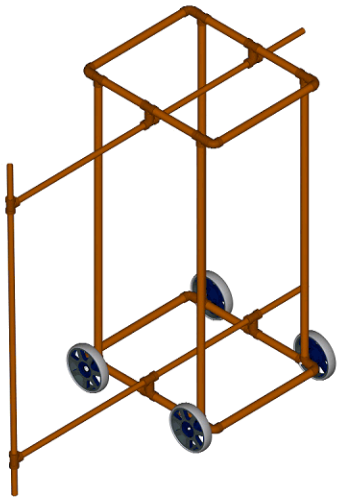

Figura 4.2. Projeto do suporte em PVC.

Então projetou-se e desenvolveu-se outro protótipo, com suporte rígido para suportar o peso da câmera superior e o empuxo causado pela caixa estanque presa ao seu "braço"

dentro da água, e ao mesmo tempo leve para que possa ser conduzido sem muito esforço pelo individuo que irá empurrá-lo.

Como o suporte corre na beira da piscina e não por dentro da água, não seria necessário escolher um material antioxidante para a construção do protótipo. Para tanto este foi desenvolvido com *metalon* (Figura 4.3) e pintado com tinta esmalte para proteção e maior durabilidade do material caso este tenha contatos ocasionais com a água durante seu funcionamento. O *metalon* foi escolhido por ser rígido, apresentar peso e estabilidade necessária para suportar as cargas sem sofrer deformações, além de ter um custo inferior do que algum outro material que poderia também ser aproveitado, como o aço, por exemplo.

Figura 4.3. Construção do suporte de *metalon* sem pintura.

As medidas das bases do suporte foram escolhidas de acordo com a estabilidade. Neste sentido, a base inferior possui 50cm x 50cm, a do meio, 46,5cm x 46,5cm e a superior, 40cm x 40cm. A inferior e a do meio possuem a função de ajustar as distâncias do braço do suporte. A superior serve para apoio de câmera, para tanto, foi feito um protetor em *EVA* para a câmera, em amarelo na Figura 4.4. Este material foi escolhido por ser relativamente poroso por reduzir os impactos que a filmadora pudesse sofrer durante os testes e ao mesmo tempo, resistente, mantendo-a estável e alinhada.

Figura 4.4. Foto do suporte demonstrando as bases e a estrutura de *EVA* na superior.

Como as piscinas diferem em tamanho, em distância da borda até a superfície da água, em piso, entre outros fatores, o comprimento dos braços do suporte pode ser ajustado para regular a profundidade da filmadora dentro da caixa estanque, bem como a distância desta ao suporte. (Figura 4.5)

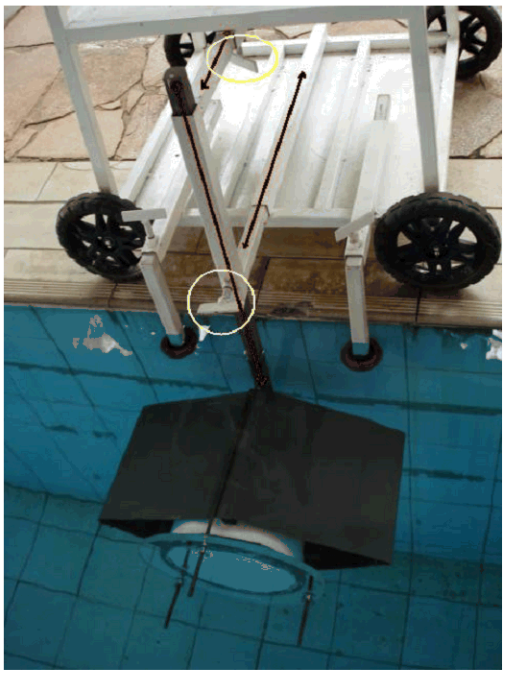

Figura 4.5. As setas vermelhas indicam os ajustes do braço, o horizontal (distância da caixa estanque até o suporte) e o vertical (profundidade da caixa), os círculos amarelos indicam os parafusos que mantêm o braço imóvel após o ajuste.

Para o deslocamento da estrutura descrita anteriormente, foram usadas rodas de carrinho de bebê. Outras de tamanhos especiais, possivelmente, teriam um custo mais elevado se comparado com as mesmas, porém, é necessário analisar o modelo da roda de carrinho, já que um raio maior proporciona maior facilidade no deslocamento. As primeiras rodas testadas não apresentaram um bom desempenho, o esforço que o condutor fez ao empurrar o suporte foi considerável. Em nados mais rápidos, o indivíduo não conseguia acompanhar a velocidade de nado do atleta.

Como o suporte percorre horizontalmente na lateral da piscina, as rodas foram colocadas num eixo fixo sem articulação, desta forma, o suporte somente se desloca em linha reta (Figura 4.6).

Figura 4.6. Foto do eixo soldado na estrutura e sem articulação.

Ao empurrar o suporte móvel, a pessoa poderia aplicar mais força de um lado da estrutura, isto causaria um desvio do caminho paralelo à borda da piscina, conseqüentemente, poderia variar também o ângulo das câmeras que capturariam imagens não perpendiculares, gerando assim, erros na aquisição dos dados. Pensou-se então em construir um trilho para que este tipo de problema não ocorresse, porém, uma solução bem mais simples foi encontrada. Duas pequenas rodas de patins *roller* foram adaptadas, paralelas entre si a uma distancia de 30cm uma da outra, na lateral da base inferior do suporte, posicionadas para baixo (Figura 4.7), a fim de girarem na lateral interna da piscina para manter o suporte se deslocando em linha reta, sem distorções angulares nas filmagens. Desta forma, mesmo que ocorresse algum desvio por parte do condutor, estas rodas de patins impediriam a ocorrência do erro.

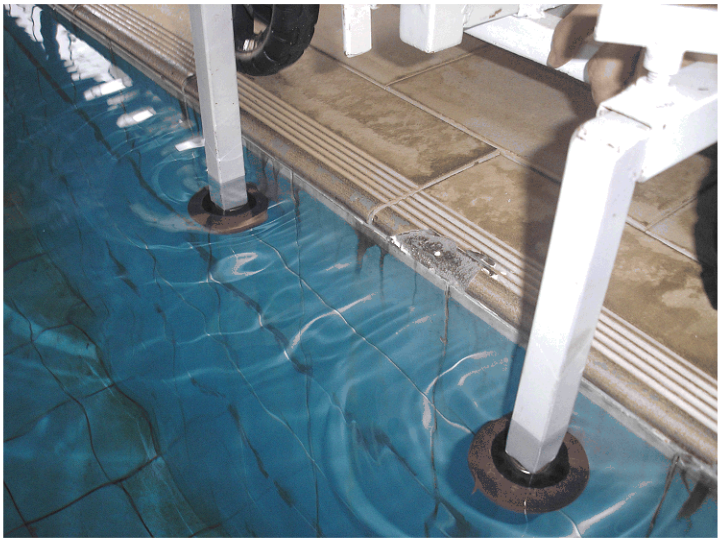

Figura 4.7. Rodinhas de patins.

4.2.2. Câmeras de Vídeo

A câmera que filma a fase aérea do nado é a JVC GX-DV 300U, disponível no laboratório de Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade Federal de Uberlândia. A filmadora que fica na caixa estanque é a Panasonic PV GS-150 (Figura 4.8).

Figura 4.8. Filmadora Panasonic PV GS-150 com dimensões de 71mm de largura, 73mm de altura e 123mm de extensão.

A caixa, como será discutido adiante, não poderia ter um tamanho grande para suportar a JVC, por causa da força de empuxo provocada no suporte móvel e aumento na dificuldade de arrasto do mesmo. No entanto, ambas as câmeras podem ser usadas para captura de imagens de diversas modalidades esportivas, pois permitem ao usuário alterar o tempo de abertura do obturador (*shutter*).

Para a captura de movimentos mais rápidos em determinados esportes, é preciso diminuir o tempo de abertura para o dispositivo CCD (*Charge Couppled Device*) capturar as imagens com maior nitidez. O CCD está presente nas câmeras digitais, consiste em um dispositivo ótico que detecta energia luminosa e codifica em impulsos eletrônicos correspondentes (da mesma forma que um *scanner*). As câmeras descritas neste trabalho possuem 3CCDs para melhor qualidade das imagens. Os CCDs produzem ruídos em altas temperaturas, como as do nosso ambiente, saturando as imagens com ruído quando o tempo de exposição aumenta.

Neste trabalho, as análises foram feitas por imagens capturadas a uma freqüência de 60Hz. De acordo com [101] a freqüência de 60Hz fornece uma resolução temporal suficiente para grande número de análises biomecânicas.

4.2.3. Caixa Estanque

Existem caixas para mergulho e sacolas a prova d'água disponíveis para compra no mercado. A *Sony* dispõe da maior variedade de tipos de caixas, porém, cada uma é específica para um modelo de câmera e possuem custos elevados, como a *Sport Pack* (Figura 4.9) [102].

Figura 4.9. Caixa de Mergulho *Sport Pack* da *Sony*.

A empresa *Croma*, no entanto, fabrica uma caixa estanque compatível com várias câmeras de vídeo (Figura 4.10), porém, o valor continua sendo elevado [103].

Figura 4.10. Caixa Estanque *Croma*.

As sacolas (Figura 4.11), apesar de terem um custo bem menor [104], são maleáveis e qualquer flexão do plástico frente à lente da câmera poderia gerar uma distorção da imagem. Elas são normalmente utilizadas para armazenar documentos e máquinas fotográficas.

Figura 4.11. Sacola a prova d'água.

Baseado nestas características criou-se uma caixa estanque a base de um tubo de pvc de 200mm de diâmetro. Uma das extremidades foi vedada com vidro de 8mm de

espessura, cortado do mesmo tamanho da circunferência do tubo e o silicone para fixação do vidro (Figura 4.12).

Figura 4.12. Tubo de pvc usado para construção da caixa estanque.

Na outra extremidade, como deveria ser móvel para abertura e introdução da câmera dentro da caixa, foi projetada uma tampa de acrílico transparente, com espessura de 10mm, para o perfeito encaixe (Figura 4.13).

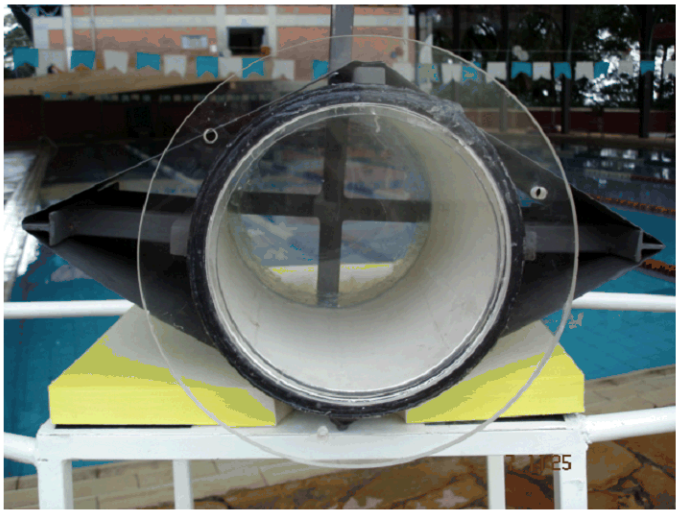

Figura 4.13. Tampa de acrílico.

Uma borracha foi posta na borda do tubo para dar pressão ao encaixar a tampa de acrílico e não permitir a entrada de água (Figura 4.14).

Figura 4.14. Borracha para vedação da tampa.

A tampa poderia desencaixar no movimento do suporte, neste sentido, colocou-se três parafusos, distanciados 120° entre si, para pressionar a tampa contra a borracha (Figura 4.15), assegurando a vedação por completo. Para apoiar a câmera dentro do tubo, de modo que a filmadora ficasse alinhada e imóvel, um suporte com material chamado *EVA* foi instalado (Figura 4.16).

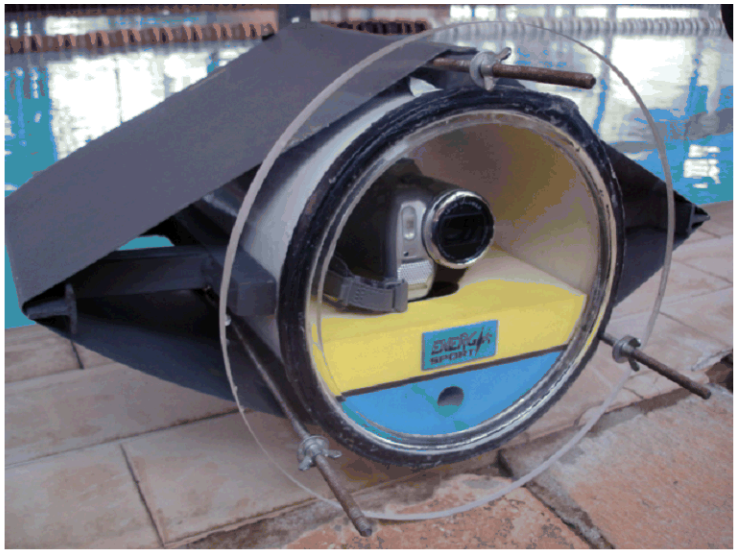

Figura 4.15. Tampa vedada com parafusos distanciados 120° entre si.

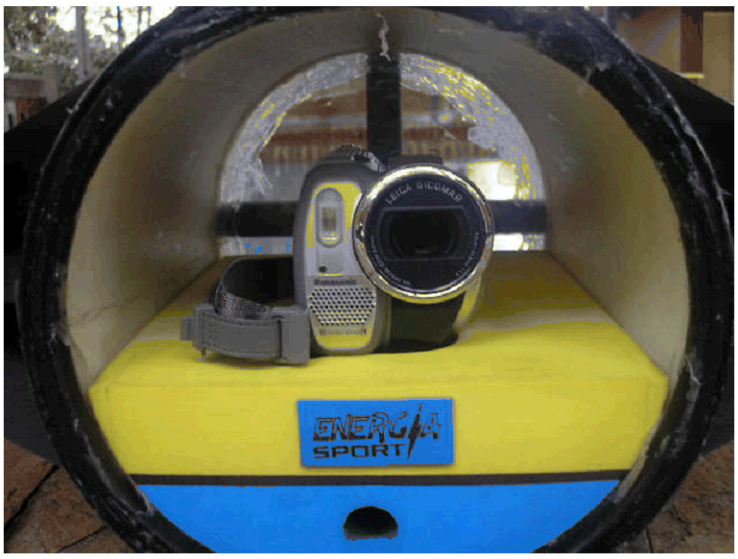

Figura 4.16. Suporte em *EVA* desenvolvido especialmente para encaixe da câmera

Como a caixa não atingirá profundidades elevadas não houve a preocupação com a pressão hidrostática, pois esta seria praticamente desprezível, considerando a profundidade máxima que poderia atingir e o volume de água na qual seria submersa, ou seja, a caixa ficaria apenas entre 15cm a 30cm abaixo da superfície da água e dentro de uma piscina que poderia ser de 25m x 12,5m com variação de 1,30m a 1,80m de profundidade ou de 50m x 25m com 2m de profundidade.

Um modelo semelhante foi desenvolvido para mergulho em mar (Figura 4.17), onde o autor deste protótipo atingiu uma profundidade de 15m e obteve um bom resultado [105].

Figura 4.17. No detalhe em amarelo, caixa estanque projetada para mergulho em mar [105].

Para reduzir a força de atrito com a água, ao redor do tubo colocou-se uma estrutura em forma de losango que facilita a passagem do fluxo da água durante os deslocamentos laterais da câmera subaquática (Figura 4.18).

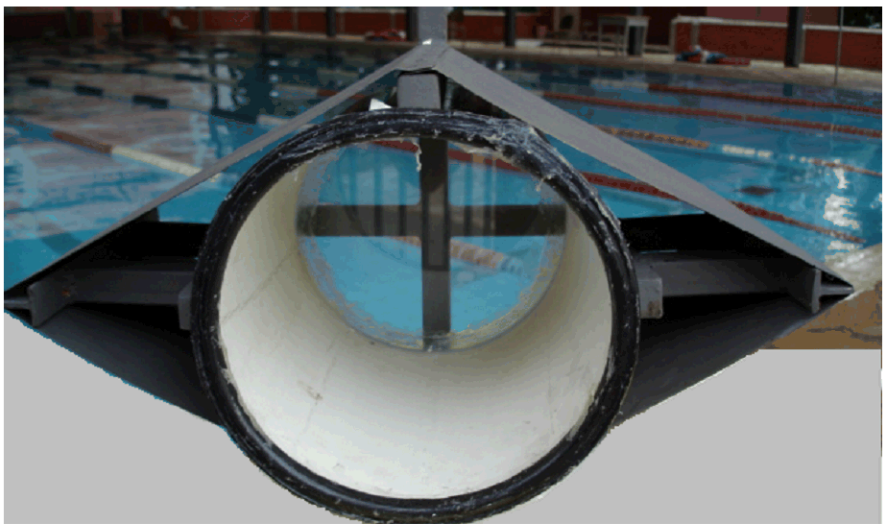

Figura 4.18. Estrutura ao redor da caixa, pontiaguda nas laterais para facilitar a passagem do fluxo da água.

4.2.4. Sistema de Estímulo Visual microcontrolado

Este sistema divide-se em:

- Mangueira;
- Blocos de peso;
- Lâmpadas automotivas;
- Fios;
- Circuito com microcontrolador.

4.2.4.1. Mangueira

Consiste em uma mangueira cristal de 5cm de diâmetro e 30m de comprimento. Fica disposta ao longo do fundo da piscina de 25m entre as raias (Figura 4.19). Por dentro dela passam as lâmpadas e os cabos para transmissão de energia e acionamento das mesmas (Figura 4.20).

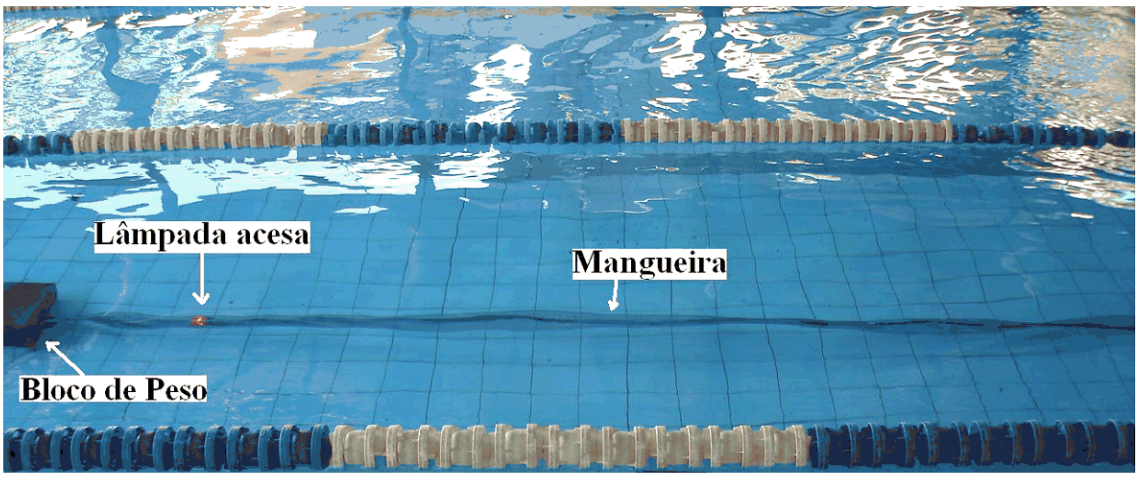

Figura 4.19. Sistema de estímulo visual em funcionamento.

Figura 4.20. Lâmpada conectada aos fios por dentro da mangueira

4.2.4.2. Blocos de peso

São oito blocos de concreto retangulares com medidas de 30cm de comprimento, 20cm de largura e 15cm de altura (Figura 4.21). Na base inferior de cada bloco, há um espaço semicircular de 8cm de diâmetro, este espaço é utilizado para encaixar a mangueira segurando-a no fundo da piscina, já que esta, além das lâmpadas e fios, possui um volume de ar por dentro que facilita sua flutuação.

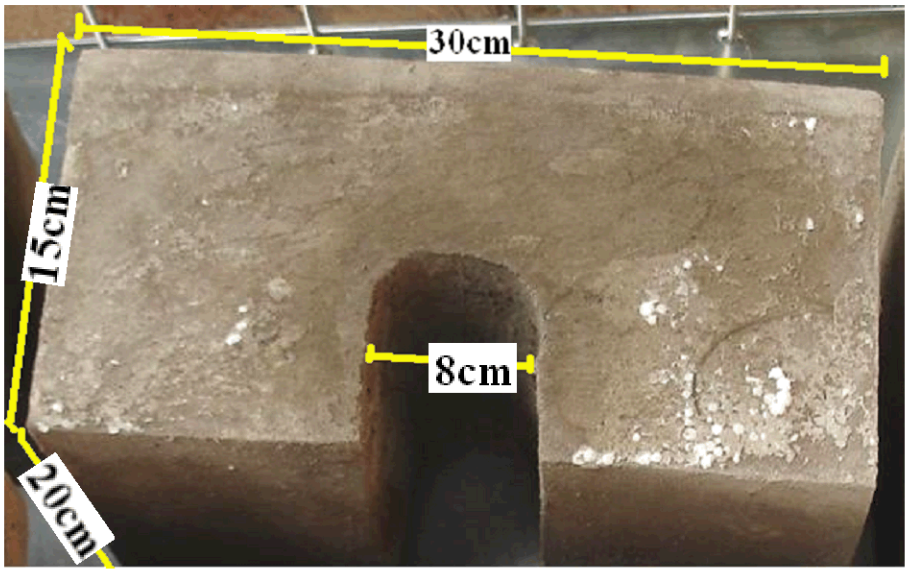

Figura 4.21. Vista lateral do Bloco de Peso

4.2.4.3. Lâmpadas automotivas

A escolha por lâmpadas automotivas se deve ao fato de que estas não promovem risco à saúde do atleta por requererem uma baixa potência, inofensiva ao ser humano. Portanto, não haverá risco caso aconteça, por exemplo, de alguma corrente passar pela água por algum furo na mangueira.

Ao todo, são dez lâmpadas colocadas dentro de capas protetoras que auxiliam na distribuição da luz e promovem a cor vermelha para facilitar a visualização dentro da água (Figura 4.22). Para acionamento das mesmas, foram usados fios e bateria automotiva (Figura 4.23). As lâmpadas ficam a 2m de distância uma da outra, sendo que a primeira e a última lâmpada estão a 3,5m de distância até a borda de saída e de virada, respectivamente.

Figura 4.22. Lâmpada automotiva dentro da capa protetora vermelha.

Figura 4.23. Fios e bateria automotiva usada para alimentação das lâmpadas e do circuito.

4.2.4.4. Fios

São cerca de duzentos metros utilizados, considerando que são necessários onze fios de energia, ou seja, um fio para cada lâmpada e mais um para o terra. Cada cabo possui um tamanho diferente, pois cada lâmpada está disposta em uma determinada posição na mangueira. O fio da primeira lâmpada possui cerca de 8m, o da segunda, 10m, o da terceira 12m e assim sucessivamente até a décima lâmpada e o terra, ambos com 26m, totalizando 196 metros. Nestes valores estão considerados alguns metros a mais de cabo para a distância do fundo da piscina até o circuito do lado de fora (Figura 4.24).

Figura 4.24. Fios saindo da mangueira até o circuito com a bateria.

4.2.4.5. Circuito com microcontrolador

Para construção e desenvolvimento do circuito (Figura 4.25) para controle de acendimentos das lâmpadas através da mangueira, foram usados os seguintes itens:

- Microcontrolador PIC16F877 ®;
- Fonte 5V,12V(2A);
- Microcomputador padrão IBM-PC para plataforma de desenvolvimento;
- MPLAB® ambiente integrado de desenvolvimento;
- Compilador C para o PIC;
- Osciloscópio;
- Teclado Matricial;
- *Display* LCD;
- Dez Relés;
- Bateria 12V;
- Estação de solda padrão

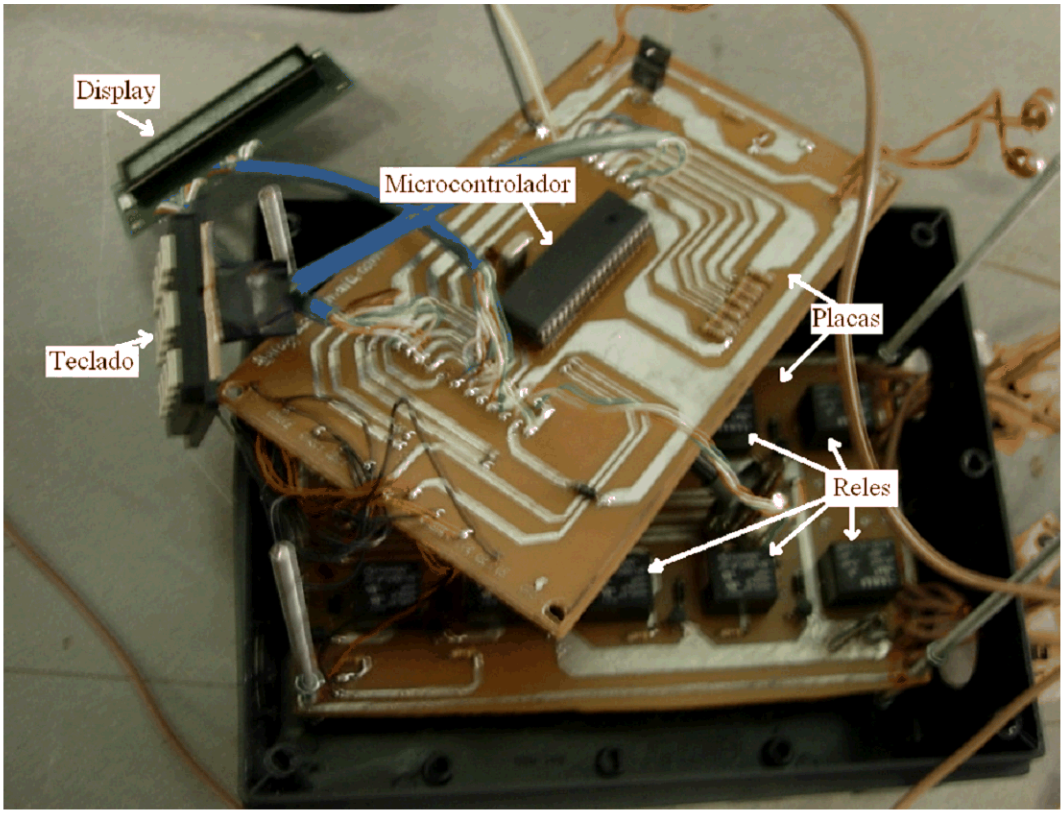

Figura 4.25. Circuito com todos os componentes

Inicialmente o protótipo foi montado no *protoboard* e posteriormente foi passado para uma placa de circuito impresso. A linguagem de programação utilizada para o PIC foi C, e para compilar o programa foi utilizado o Compilador C. O controle do PIC e o desenvolvimento das placas foram feitos por alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, bolsistas do projeto de CNPq aprovado pela nossa equipe.

O teclado e o *display* são utilizados para digitar e visualizar dados, respectivamente, o botão vermelho é para reiniciar o sistema (Figura 4.26). Ao iniciar, o *display* exibe uma tela com três dados (1 Velocidade, 2 Tempo, 3 N° Voltas) para escolha (Figura 4.27), apertando a tecla "1" é possível especificar a velocidade no qual o treinador deseja que o atleta nade (Figura 4.28). Feito isso, pode-se clicar na tecla "2" para colocar o tempo que o nadador deverá percorrer (Figura 4.29) e na tecla de número 3, o número de voltas a serem dadas pelo mesmo na piscina (Figura 4.30), ou seja, o atleta deverá acompanhar o acendimento das lâmpadas em uma determinada velocidade por um determinado tempo,

especificados pelo técnico (Figura 4.31). Após o treino do atleta, os dados armazenados no PIC podem ser transferidos ao computador por porta paralela ou serial para que possam ser comparados e analisados no *software*.

Figura 4.26. *Display*, **teclado e botão** *reset*.

Figura 4.27. *Display* **para visualização dos dados de treinamento.**

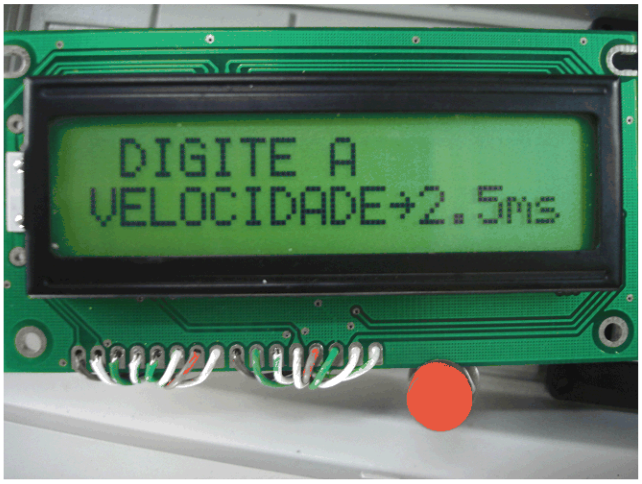

Figura 4.28. Velocidade especificada em 2,5 m/s.

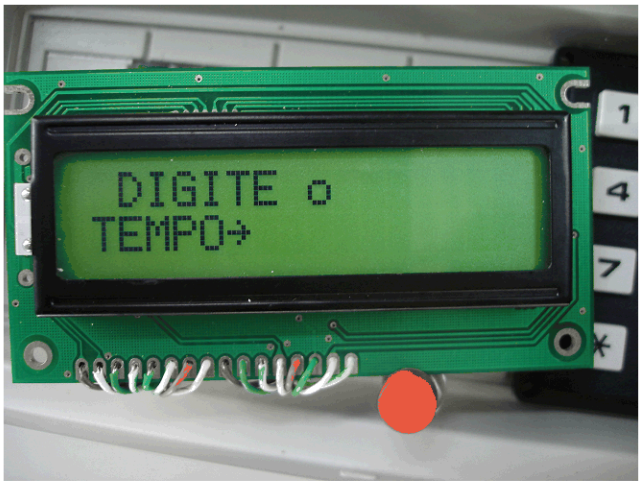

Figura 4.29. Sistema aguardando a digitação dos dados sobre o tempo de treinamento.

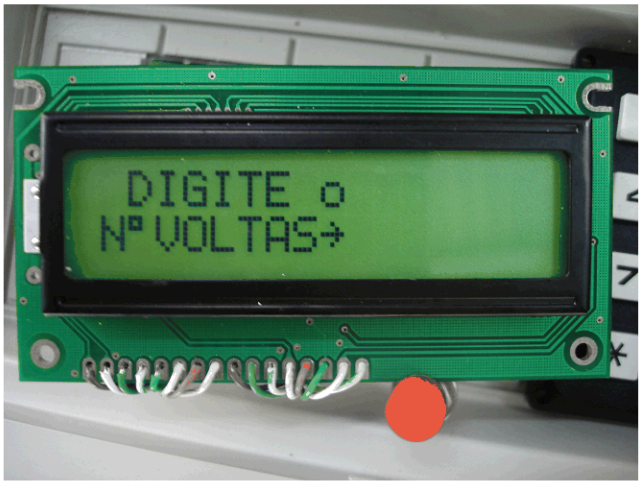

Figura 4.30. Sistema aguardando a digitação dos dados sobre o número de voltas na piscina.

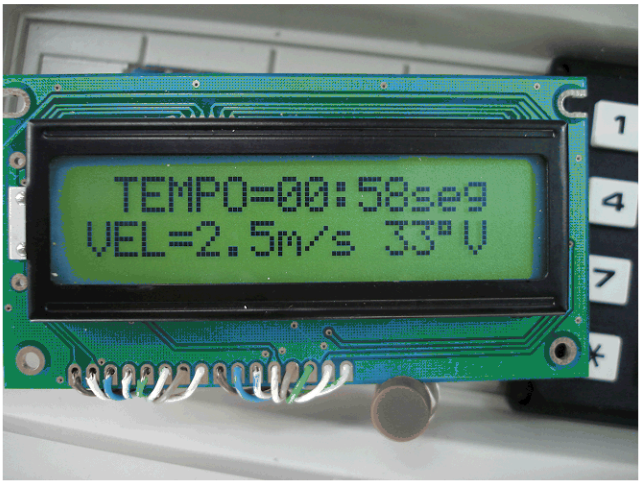

Figura 4.31. Treinamento iniciado, *display* apresentando o tempo, a velocidade e a quantidade de voltas colocadas pelo treinador.

4.2.5. Marcadores internos e externos

Os marcadores externos, constituídos de cones ficam dois a dois na outra lateral da piscina onde o suporte móvel não percorre. Um marcador externo é colocado na borda lateral da piscina e outro a 2 metros logo atrás daquele e paralelamente (Figura 4.32).

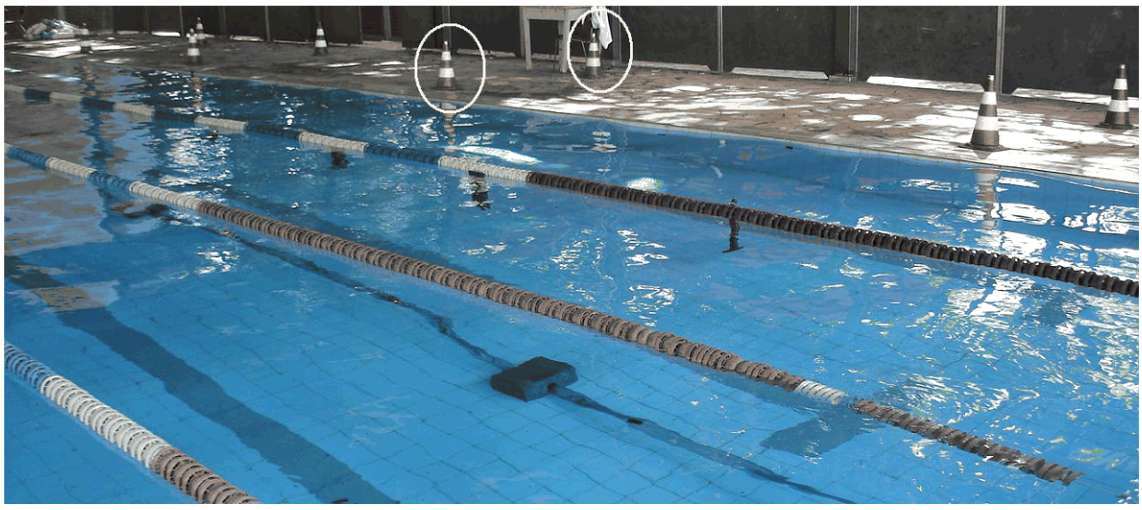

Figura 4.32. O detalhe em amarelo ilustra os marcadores distanciados 2 metros entre si.

Os marcadores internos são nove retângulos de 100 cm x 15 cm cobertos por um plástico preto (Figura 4.33). Ficam posicionados dentro da piscina, perpendicularmente à raia lateral do nadador (Figura 4.34). Foi colocado um peso embaixo de cada marcador para que permanecesse para baixo com o mínimo de oscilação.

Figura 4.33. Marcador interno, estrutura de madeira revestida por um plástico resistente.

Figura 4.34. Vista de três dos nove marcadores.

Estas marcas servem para que o usuário reconheça-os no *software* juntamente com a roupa ou outra parte do atleta e possa medir a velocidade do nado em intervalos predeterminados de acordo com os parâmetros colocados no programa.

Como são utilizados nove marcadores internos, neste trabalho, a primeira marca é colocada a 5m de distância da borda onde fica o bloco de saída da piscina, a partir desta, as outras oito marcas são colocadas distantes 2m uma da outra, sobrando desta forma, 4m do último marcador até a parede final da piscina, onde ocorre a virada, ou seja, com exceção da saída e da(s) virada(s), a cada dois metros é possível mensurar a velocidade do

atleta. Se o treinador preferir, esta disposição e forma podem ser alteradas e os marcadores podem ser incrementados ou reduzidos de acordo com seus interesses para cálculo da velocidade do nadador.

4.3. *Softwares*

O *software* desenvolvido para mensurar ângulos articulares por imagens estáticas é chamado de Analisador Postural [54], para calcular a velocidade de nado do atleta por imagens dinâmicas, SABIO e para fragmentar um vídeo em fotos, chamado nesta pesquisa por Fragmentador.

As imagens utilizadas para medir velocidade e ângulos são da câmera submersa por permitirem uma visualização melhor e maior do nadador, pois a maior parte do corpo do atleta fica submersa durante o nado, e conseqüentemente facilita o uso das ferramentas do programa, reduzindo possíveis erros na aquisição de dados pelo usuário.

A linguagem de programação escolhida para desenvolvimento do *software* Analisador foi a C++.NET, do SABIO, C#.NET, ambos da Visual Studio.NET da *Microsoft*. Este modelo .NET suporta um conjunto razoável de linguagens que podem ser utilizadas no desenvolvimento de aplicações [54], ou seja, caso um programador queira otimizar o *software* de origem com qualquer outro programa desenvolvido em uma outra linguagem que o Visual Studio.NET oferece suporte (C#, VB, Jscript ou Managed C++, entre outras), o programa pode executar todas as funções integrando as linguagens em uma única *interface*.

4.3.1. Analisador Postural

Ao executar o *software* Analisador Postural, a primeira tela a aparecer é sua *interface* (Figura 4.35). Nela estão contidos diversos botões, no entanto, serão detalhados adiante apenas os que são úteis nesta pesquisa, todas informações sobre as ferramentas deste programa são mostradas em [54], inclusive as não utilizadas neste estudo.

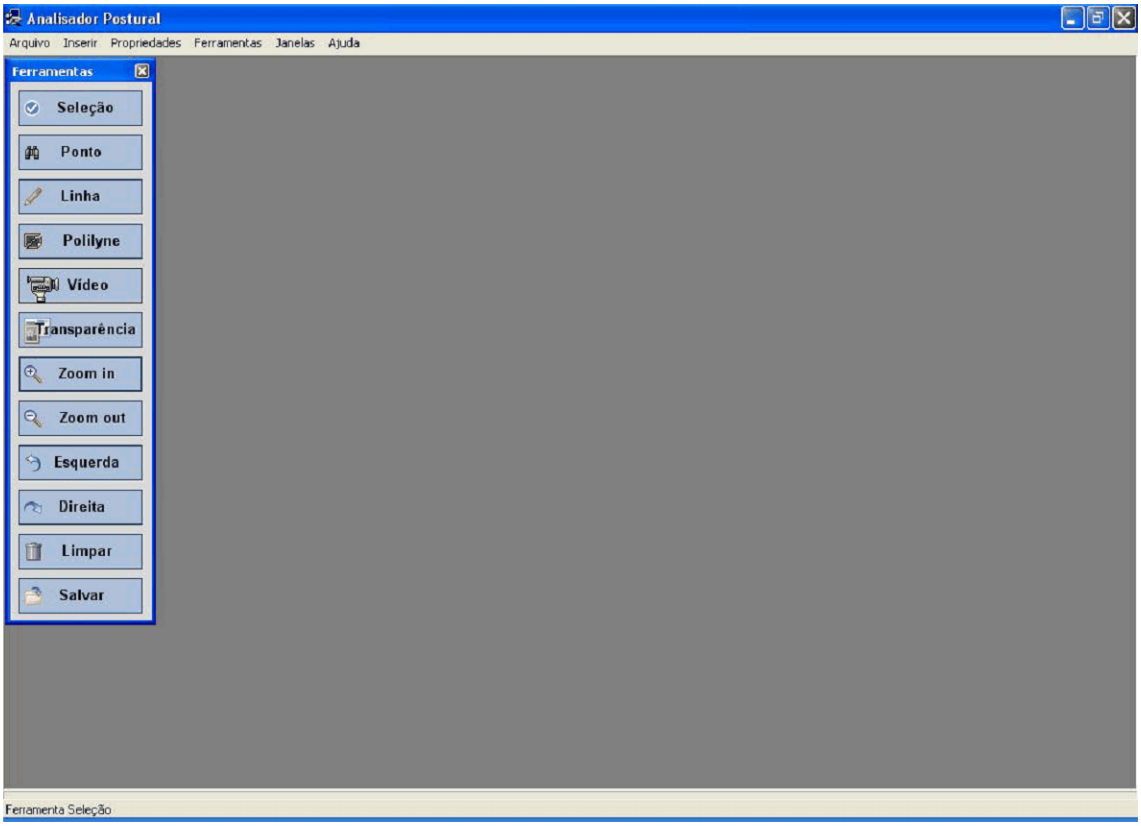

Figura 4.35. ***Interface*** **do programa Analisador.**

4.3.1.1. *Polilyne*

O termo *Polilyne* significa linha composta de várias linhas, esta ferramenta possui a função de mensurar ângulos por pelo menos 3 pontos pertencentes a ela em uma imagem estática, estando a foto, em qualquer um destes formatos: BMP, JPEG, GIF, TIF, WMF e ICO.

Antes de clicar neste botão, o usuário deve ir em "Arquivo" e em seguida "Abrir imagem" para abrir a foto de interesse de estudo. Feito isto, é possível calcular os ângulos articulares clicando com o mouse em pontos anatômicos do corpo na imagem. O valor do ângulo articular (dado em vermelho) aparece próximo ao ponto (Figura 4.36).

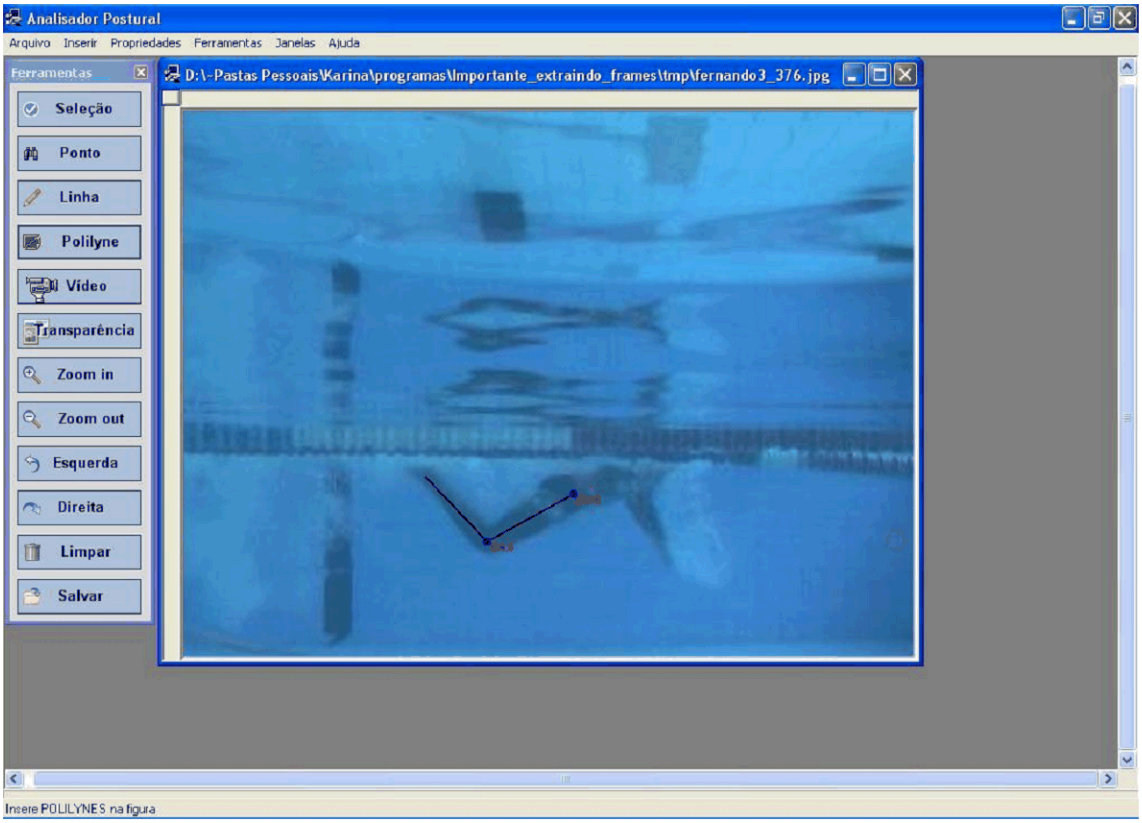

Figura 4.36. Exemplo de um cálculo do ângulo de flexão máxima do joelho no nado borboleta.

4.3.1.2. Botões Zoom in e Zoom out

O botão "zoom in" é utilizado para ampliar e o botão "zoom out" é utilizado para reduzir o tamanho da imagem. Ambos servem para facilitar a análise e o encontro do ponto anatômico correto. A Figura 4.37 demonstra estas ferramentas.

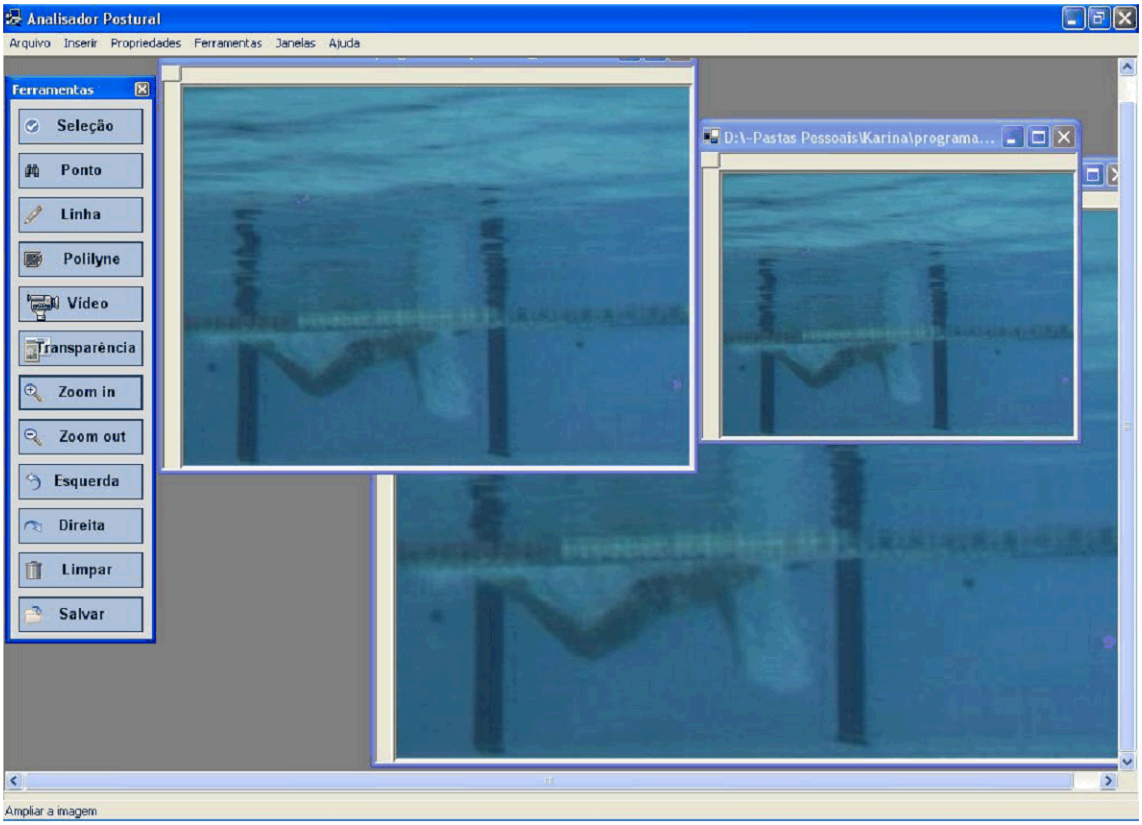

Figura 4.37. Exemplo da aplicação da ferramenta *zoom*.

4.3.2. SABIO

De acordo com as características do programa descritas no capítulo anterior, a *interface* possui um modelo intuitivo que facilita o manuseio do usuário (Figura 4.38). Porém, será descrito, em seguida, a funcionalidade de cada uma destas ferramentas:

- 4.3.2.1 – *File*;
- 4.3.2.2 – *Play, Stop* e *Pause*;
- 4.3.2.3 – *Slow Motion*;
- 4.3.2.4 – *Set Time*;
- 4.3.2.5 – Calcular;
- 4.3.2.6 – Distância a calcular;
- 4.3.2.7 – Salvar dados.

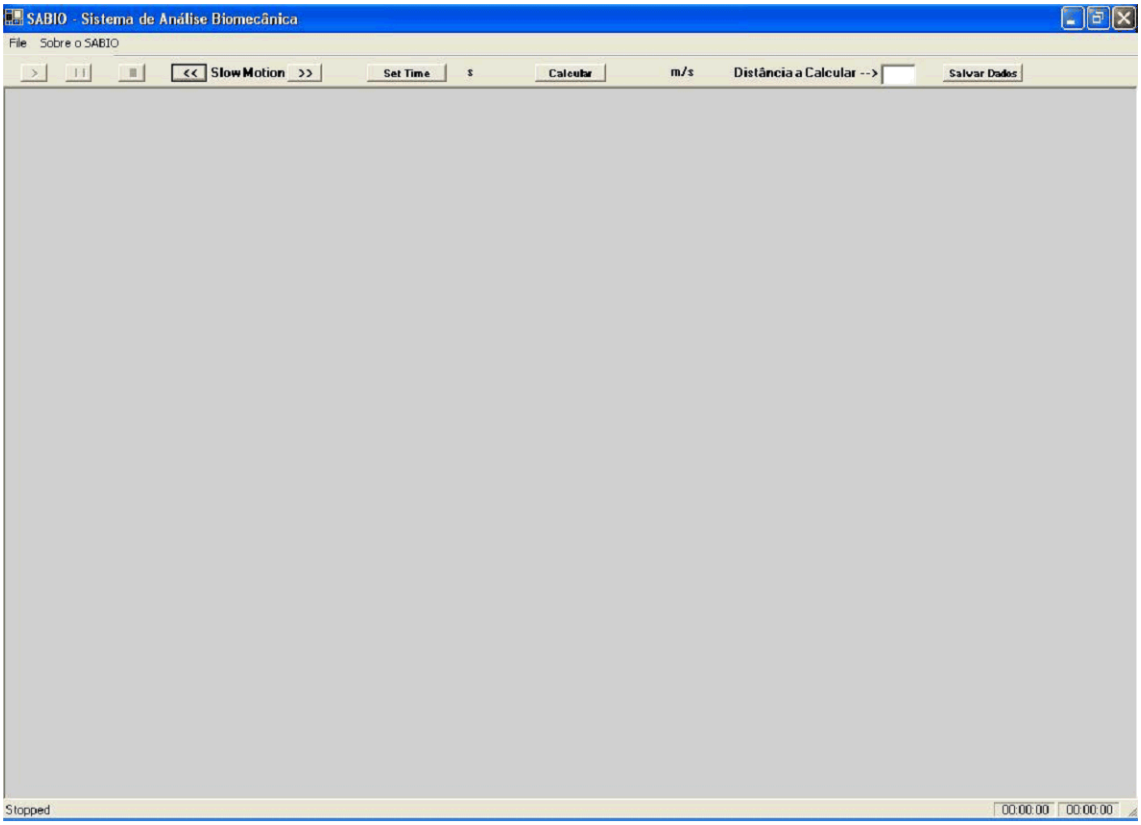

Figura 4.38. ***Interface*** **do SABIO.**

4.3.2.1. *File*

Esta ferramenta permite abrir arquivos de mídia que tenha uma destas extensões: mpeg, avi, wma, mov, wav, mp2 e mp3. Neste item, o vídeo de interesse é aberto.

4.3.2.2. *Play, Stop e Pause*

O *Play* é usado para que o vídeo seja executado, no entanto, ao abri-lo, o vídeo já é iniciado automaticamente. O *Pause* serve para pausar o vídeo e o *Stop* para parar a execução. A figura 4.39 ilustra o formato de cada um destes botões na barra de ferramentas.

Figura 4.39. Da esquerda para a direita, botões ***Play***, ***Pause*** **e** ***Stop*****.**

4.3.2.3. *Slow Motion*

Neste item o usuário pode passar o vídeo lentamente tanto para frente quanto para trás, o intervalo de cada clique em um destes botões é de 0,033333 segundo no vídeo (Figura 4.40). Se o vídeo for de 30 quadros por segundo, é possível passá-lo a uma velocidade aproximada de um *frame*. Este recurso é necessário no posicionamento correto do corpo do nadador no ponto de referência, para início e cálculo de sua velocidade, pois nem sempre será possível pausar o vídeo no local correto utilizando apenas o botão *Pause*.

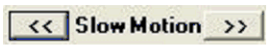

Figura 4.40. Botões do *Slow Motion*. Executa o vídeo lentamente para trás com o botão da esquerda, com o botão da direita, executa o vídeo lentamente para frente.

4.3.2.4. *Set Time*

Quando o atleta estiver posicionado no local correto em frente a um dos marcadores internos, ao clicar neste botão, uma contagem do tempo é iniciada, semelhante a um cronômetro, até que o usuário clique em "Calcular" ou novamente em "Set Time". A Figura 4.41 ilustra o momento em que a contagem do tempo foi iniciada quando o quadril do nadador, sendo o ponto de referência escolhido, ficou alinhado com um marcador interno.

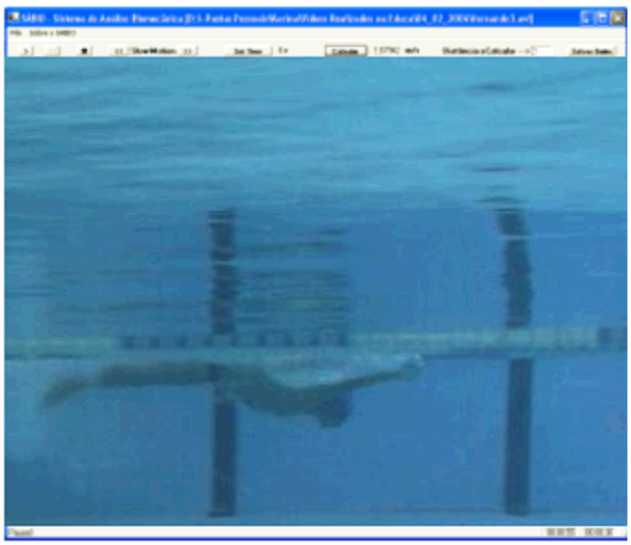

Figura 4.41. Momento em que o quadril está alinhado com o marcador interno.

4.3.2.5. Calcular

Iniciado o processo de contagem do tempo, este botão mostra o valor da velocidade em m/s calculando a Equação 4.1, em que o tempo corresponde aos segundos gastos pelo atleta para percorrer o espaço especificado pelo usuário no campo "Distância a Calcular" no programa. Pela figura 4.41, é possível observar que a velocidade do nado foi de 1,58062 m/s nos últimos 2m de deslocamento.

$$Velocidade = \frac{distância}{tempo} \tag{4.1}$$

4.3.2.6. Distância a Calcular

Neste campo o usuário digita a distância de deslocamento do atleta na qual irá avaliar (Figura 4.42).

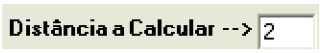

Figura 4.42. Campo onde o usuário digita a distância, neste caso, a velocidade foi calculada em 2 metros de nado.

4.3.2.7. Salvar dados

Este botão salva os dados de velocidade, tempo gasto e distância percorrida em documento de extensão txt. Este formato de texto pode ser importado para outros programas como o *Microsoft Excel* e assim, gerar gráficos e planilhas destes valores.

4.3.3. Fragmentador

Este programa possui duas funções principais em sua *interface* (Figura 4.43):

- A escolha de converter o filme em 10 quadros/segundo ou em 1 quadro/segundo no menu "Options".
- A fragmentação propriamente dita, usando o botão "Scan".

Após estes passos, o vídeo pode ser visualizado em fotos na pasta "temp" do próprio programa.

Figura 4.43. ***Interface*** **do fragmentador de vídeo.**

4.4. Conclusão

Neste capítulo foram descritos a escolha dos materiais, o desenvolvimento dos equipamentos e do *software* e as funções de cada item do SABIO. Desde o início da construção deste sistema para análise biomecânica de nadadores, diversos testes foram realizados com atletas de estilos e categorias diferentes, para aprimoramento de cada parte de *hardware* e *software*. Com este sistema desenvolvido, no capítulo seguinte, a técnica do nado de um atleta será analisado e alguns resultados serão demonstrados.

Capítulo 5

Estudo de Caso

5.1. Introdução

Concluídas todas as etapas de desenvolvimento de projeto, foram realizados alguns experimentos juntamente com treinadores de natação para avaliar as características do sistema. Todos os ensaios realizados nas etapas de construção do equipamento foram feitos em uma piscina de 25 metros com atletas voluntários de diversas categorias em velocidades de nado variadas. Os estilos adotados foram crawl, borboleta e peito. Para validação deste trabalho, foi feito também um outro experimento, que será descrito adiante, com o objetivo de analisar o aspecto cinemático do movimento de um atleta.

5.2. Material e método

Com o intuito de facilitar a descrição do experimento com o nadador, os métodos foram divididos em:

- Caracterização do estudo de caso;
- População e amostra;
- Procedimentos de aquisição das imagens;
- Procedimento de análise.

5.2.1. Caracterização do estudo de caso

Os objetivos deste experimento são a mensuração e comparação de parâmetros como velocidade do nado (VN), comprimento de braçada (CB), freqüência de braçada (FB) e o ângulo máximo de flexão do joelho no ciclo de pernas principal e secundário (AJ) no nado borboleta. O clico de pernas principal caracteriza-se como sendo mais forte e longo, promove uma elevação maior do tronco do nadador devido a força da batida das pernas para baixo e o posicionamento dos braços submersos (Figura 5.1). O ciclo de pernas secundário é mais curto e não ergue o corpo até o mesmo plano, neste momento o atleta realiza a fase de recuperação dos braços (Figura 5.2).

Figura 5.1. A batida de pernas no ciclo principal começa antes das mãos entrarem na água e termina antes de iniciada a fase de agarre.

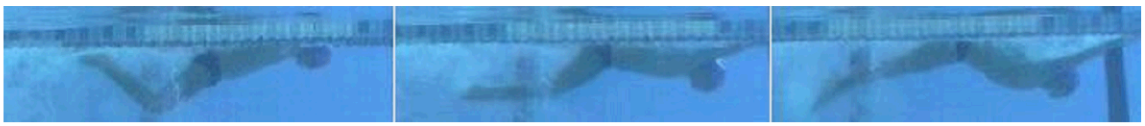

Figura 5.2. Batida de pernas no ciclo secundário.

5.2.2 População e amostra

Este estudo foi realizado com um nadador velocista do gênero masculino, com idade de 16 anos, 75Kg de massa corporal e 1,78m de estatura.

5.2.3 Procedimentos de aquisição das imagens

De acordo com os métodos de aquisição das imagens em 2D descritos no capítulo anterior, a visão subaquática e aérea do atleta foi feita por duas câmeras de vídeo, uma interna a piscina e outra externa. As filmadoras foram posicionadas no suporte móvel a aproximadamente 8 metros de distância dele, capturando as imagens no plano sagital de seus movimentos. Este procedimento foi realizado em uma piscina de 25m de comprimento, onde foram mensurados, em 28 metros de nado estilo borboleta, a

velocidade do nado (VN), o comprimento de braçada (CB), a freqüência de braçada (FB) e o ângulo máximo de flexão do joelho no ciclo de pernada principal e secundário (AJ). O aquecimento foi realizado livremente pelo atleta.

5.2.4 Procedimento de Análise

Após as filmagens e a transferência do vídeo para o computador, a análise da mecânica do nado foi realizada no *software* SABIO.

Todos os parâmetros foram calculados em 28 metros de nado, 14m nos primeiros 25m da piscina e 14 depois da virada até completar os 50m de borboleta. A VN foi calculada no programa a cada 2 metros em 14 metros na piscina. Cada marcador interno estava disposto a uma distância de 2m um do outro neste espaço de 14m, o usuário especificou este dado de 2m no programa SABIO. Caso o treinador quisesse medir a velocidade de nado em 4m, por exemplo, o usuário teria que especificar este valor (4m) no *software* e solicitar o valor da velocidade quando o atleta se posicionar no próximo marcador a 4m de distância onde foi definido o ponto de início do cálculo no programa.

Ao todo, foi mensurada a velocidade em 28 metros dos 50m percorridos, sendo desprezados os 7m iniciais da saída e 4m da fase de aproximação da virada (Figura 5.3). O quadril foi o ponto de referência escolhido no atleta para que quando este estivesse alinhado com um dos marcadores internos na imagem, fosse obtido o valor de sua velocidade no *software* (Figura 5.4).

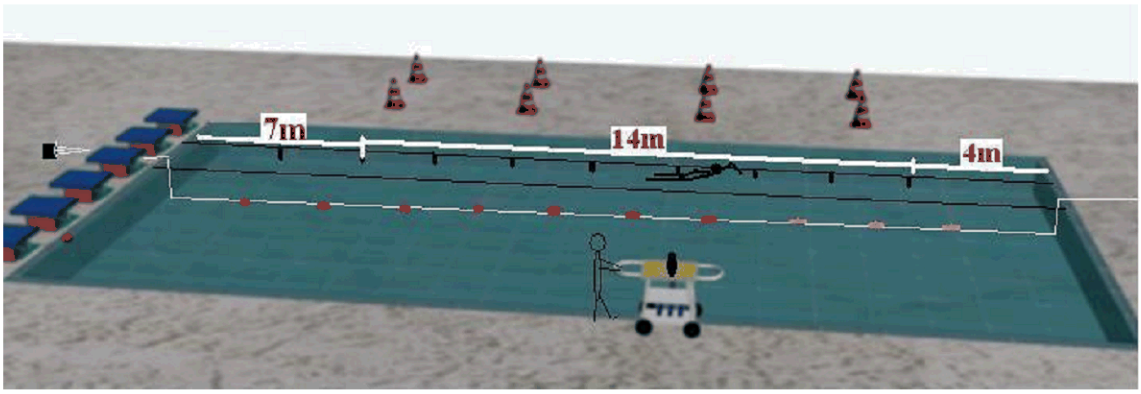

Figura 5.3. Esquema demonstrando o espaço de 14 metros no qual foi calculada a velocidade do nado.

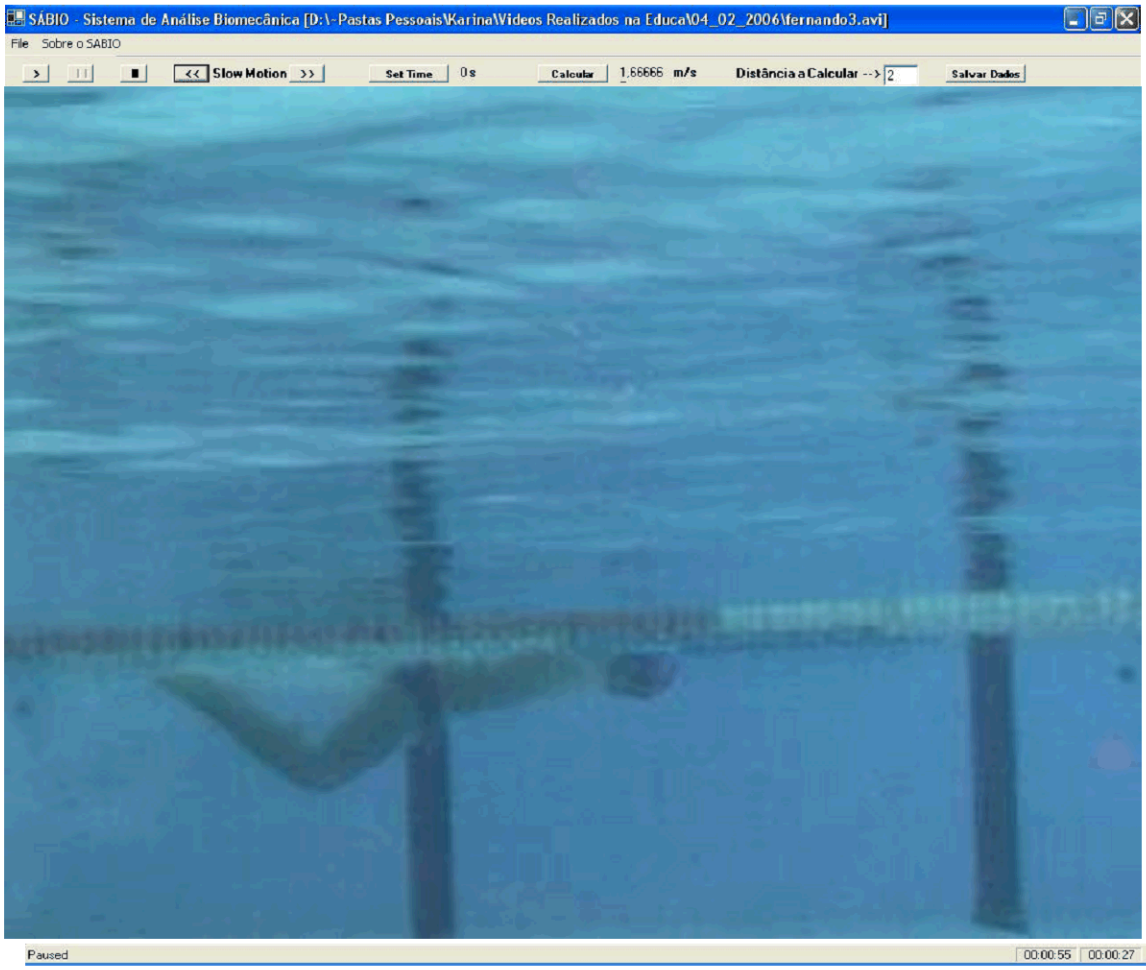

Figura 5.4. Momento em que o quadril está alinhado com o marcador interno.

O CB pode ser encontrado pela Equação 5.1, porém, foi calculado de maneira mais precisa após a contagem do espaço percorrido pelo atleta em cada ciclo de braço executado, utilizando, para tanto, a ferramenta *ruler* do programa *Adobe Photoshop*. Foram selecionadas as Figuras que marcavam o início e o término de cada ciclo de braço. Como havia referências dentro da piscina (marcadores internos) e a distância entre eles eram de 2m, nas imagens este espaço correspondia a 4cm no *Photoshop* (Figura 5.5). A partir disto, o CB foi mensurado.

$$CB = \frac{d}{n°ciclos} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Sendo: **CB** Comprimento de braçada;

d Distância percorrida;

n° ciclos Quantidade de ciclos de braço.

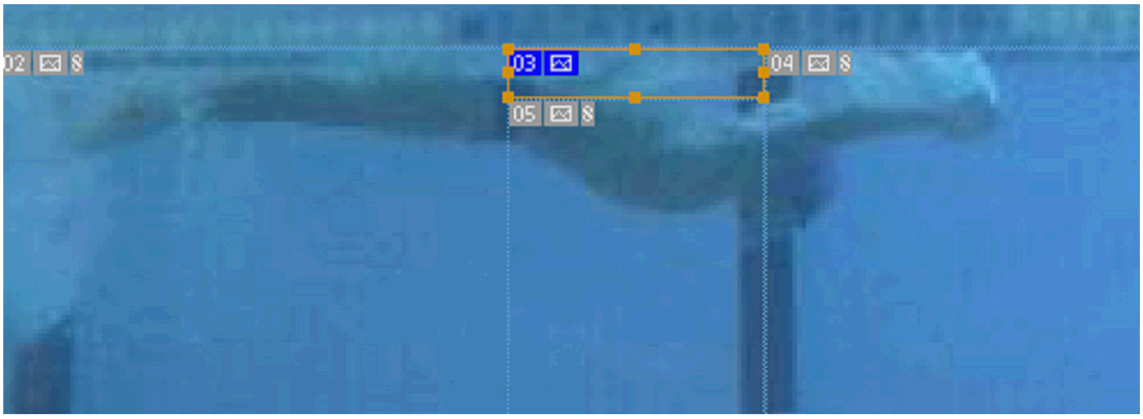

Figura 5.5. Exemplo do uso da ferramenta *ruler* do *Photoshop*.

Sabido o valor do CB e da VN, é possível obter a média de cada um deles e a FB pela equação 5.2.

$$FB = \frac{VNm}{CBm} \tag{5.2}$$

Sendo: **FB** Frequência de braçada;

VNm Velocidade média de nado;

CBm Comprimento médio de braçada.

Para mensurar o AJ, o vídeo foi fragmentado no programa Fragmentador em fotos a uma taxa de 10 quadros por segundo. Selecionadas as imagens que faziam parte dos 28m de deslocamento e análise do atleta, a flexão máxima do joelho dada em cada pernada neste espaço foi calculada utilizando a ferramenta *Polilyne* do *software* Analisador Postural.

5.3. Resultados

Os resultados deste estudo serão demonstrados na seguinte ordem:

- 5.3.1 – Velocidade de nado;

- 5.3.2 – Comprimento de braçada;
- 5.3.3 – Freqüência de braçada;
- 5.3.4 - Ângulo máximo de flexão do joelho na pernada principal e secundária (AJ).

5.3.1. Velocidade de Nado (VN)

A Figura 5.6 em forma de gráfico mostra a velocidade do nado a cada 2 metros de deslocamento do atleta. A Tabela 5.1 demonstra todos os valores expressos no gráfico, sendo em azul, os valores referentes a primeira etapa analisada, em vermelho, a segunda e em preto, a média dos dados da coluna.

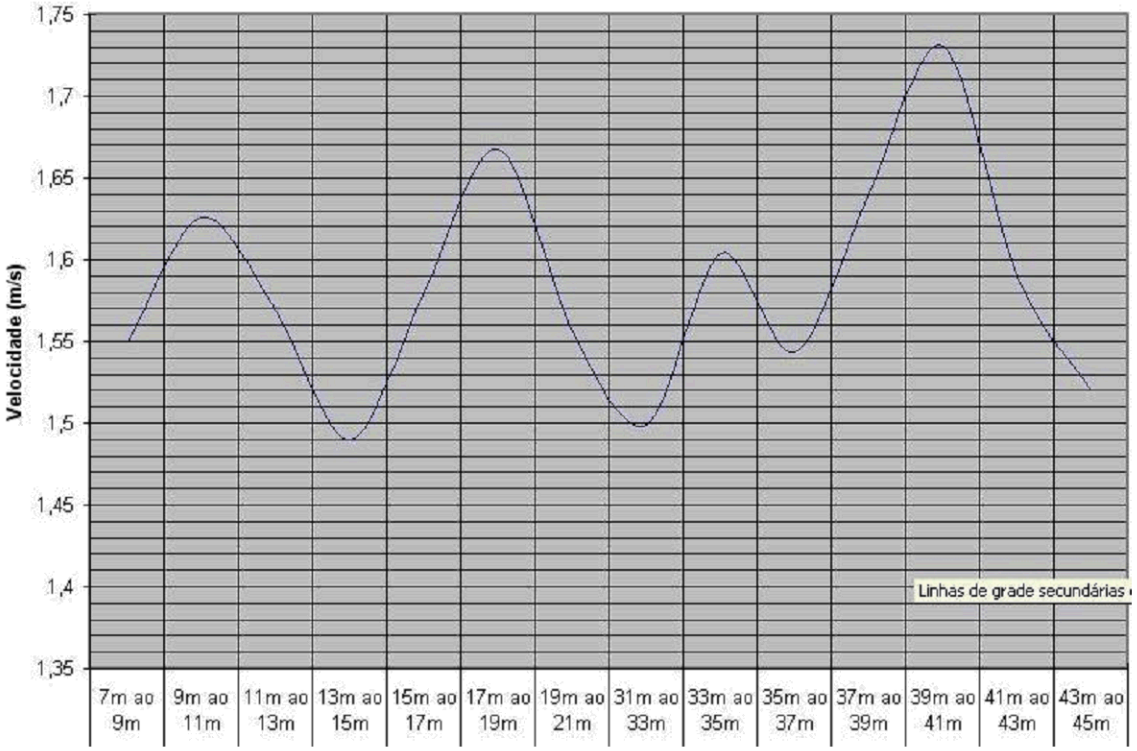

Figura 5.6. Gráfico da velocidade parcial do nado de 50m estilo borboleta.

Tabela 5.1. Dados completos para cálculo da velocidade parcial do nado.

Tempo gasto a cada 2m	Espaços na piscina onde a velocidade foi calculada	Velocidade de nado (m/s)
1,29s	7m ao 9m	1,55
1,23s	9m ao 11m	1,62
1,27s	11m ao 13m	1,57

1,34s	13m ao 15m	1,49
1,26s	15m ao 17m	1,58
1,2s	17m ao 19m	1,67
1,28s	19m ao 21m	1,56
1,33s	31m ao 33m	1,5
1,25s	33m ao 35m	1,60
1,3s	35m ao 37m	1,54
1,22s	37m ao 39m	1,64
1,15s	39m ao 41m	1,73
1,26s	41m ao 43m	1,59
1,32s	43m ao 45m	1,52
1,27s	Do 7m aos 45m	1,59

5.3.2. Comprimento de braçada (CB)

Na primeira etapa avaliada, o atleta em 14,35m de nado completou 8 ciclos de braço. Na segunda metade de análise, foram 8 ciclos completos em 14.55m de deslocamento. A média de CB alcançada, portanto, foi de 1,8 m/ciclo. A Tabela 5.2 demonstra os valores do CB em um ciclo e onde este foi executado na piscina. Isto pode ser visualizado em forma de gráfico na Figura 5.7.

Tabela 5.2. Valores do CB em cada ciclo.

Espaço na piscina onde 1 ciclo completo foi executado	CB (metros / ciclo de braço)
7,40m ao 9,10m	1,70
9,10m ao 11m	1,90
11m ao 12,75m	1,75
12,75m ao 14,45m	1,70
14,45m ao 16,30m	1,85
16,30m ao 18,10m	1,80
18,10m ao 20m	1,90
20m ao 21,75m	1,75
31,10m ao 32,75m	1,65

32,75m ao 34,70m	1,95
34,70m ao 36,35m	1,65
36,35m ao 38,35m	2,0
38,35m ao 40,2m	1,85
40,2m ao 42m	1,80
42m ao 43,85m	1,85
43,85m ao 45,65m	1,80
Média	1,80

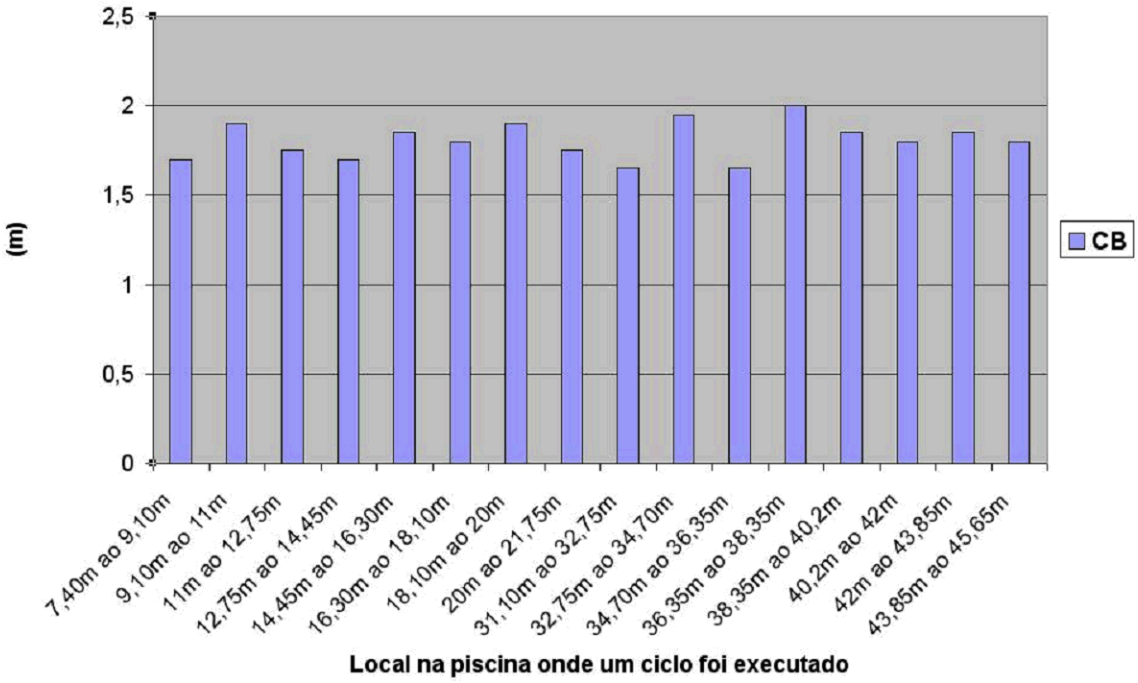

Figura 5.7. Gráfico do CB por um ciclo de braço de acordo com o espaço deslocado na piscina.

5.3.3. Freqüência de braçada (FB)

A FB na primeira etapa foi de 0,87 ciclo/segundo ou 52,75 ciclos/minuto, considerando que a velocidade média nesta etapa foi de 1,57 m/s e o CBm, 1,79 m/ciclo. Na segunda etapa avaliada, a FB foi de 0.874 ciclo/segundo ou 52,44 ciclos/minuto.

5.3.4. Ângulo máximo de flexão do joelho (AJ)

Em 28 metros de nado, conforme descrito anteriormente, o ângulo foi mensurado em 32 ciclos de pernas, sendo 16 principais e 16 secundários. A Tabela 5.3 demonstra os valores de cada ciclo de pernas e a média total de ambas. A Figura 5.8 mostra os dados em forma de gráfico.

Tabela 5.3. Valores angulares do joelho nas pernadas.

Pernada principal	Pernada secundária
103°8”	107°
110°2”	108°5”
104°4”	112°4”
109°4”	115°1”
109°7”	113°6”
108°5”	125°5”
110°5”	108°7”
112°	118°4”
113°	103°4”
112°4”	122°5”
104°7”	108°5”
103°4”	102°7”
99°97”	105°5”
103°	109°6”
100°2”	107°1”
108°1”	107°7”
Média 101°1”	Média 104°4”

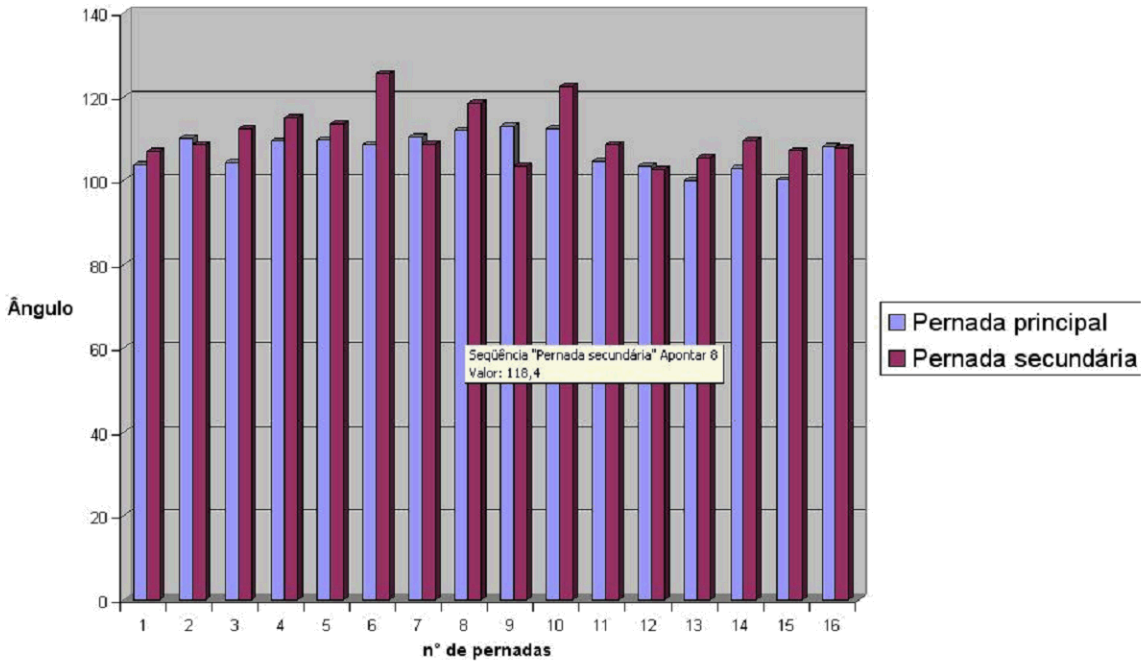

Figura 5.8. Gráfico do número de pernadas executadas e do ângulo de flexão do joelho em cada uma.

5.4. Discussão dos resultados e conclusões deste estudo

Como este estudo foi realizado com apenas um atleta, não foi obtido outros parâmetros para comparação. No entanto, comparando a primeira etapa de análise com a segunda, alguns fatos foram observados.

Com relação a VN, FB e CB, o atleta obteve na primeira etapa em média 1,57 m/s com 0,87 ciclo/segundo e 1,79 metro/ciclo de braço, respectivamente. Na segunda, 1,59 m/s de VN, 0.87 ciclo/segundo de FB e 1,81 metro/ciclo de CB.

O atleta nadou mais rápido na segunda etapa, porém, obteve uma FB menor e um CB maior em comparação com a primeira etapa, contrariando o estudo em [106] que mostra que para uma dada velocidade de nado, a distância horizontal percorrida por ciclo cresce com a eficiência mecânica propulsiva e com o trabalho total realizado num ciclo, sendo negativamente condicionada pelo arrasto hidrodinâmico e pela freqüência gestual. Isto sugere que este nadador executou a segunda etapa com eficiência mecânica mais adequada.

Melhorias na execução técnica das braçadas são refletidas na FB e no CB durante uma competição [107]. Estudos foram feitos com a intenção de mensurar a relação entre FB e CB, levando em consideração que a relação entre estas duas variáveis é fundamental para

o aumento ou a diminuição da velocidade do nado [108,109]. Complementam o estudo em [110], na qual estabelece a relação entre FB e CB e a VN.

Sobre os valores do AJ encontrados, a média da primeira etapa foi de 94°56" para a pernada principal e de 98°85" para a secundária. Na segunda etapa de análise, a média da pernada principal foi de 106° e da pernada secundária, 109°7". Os valores de AJ maiores encontrados da segunda etapa possivelmente demonstram fadiga de membros inferiores, porém, a VN foi maior porque o nadador possivelmente executou esta etapa com mecânica de membros superiores mais eficientes, ou seja, o CB foi maior e FB foi semelhante a primeira etapa. No entanto, não foi encontrado estudo semelhante sobre AJ para comparação com estes valores.

Em [2], verifica-se que durante anos, especialistas têm debatido se uma das pernadas de golfinho é mais enfatizada que a outra durante cada ciclo de braços, colocando que diferenças de posição do corpo e não de esforço, podem fazer com que a primeira pernada seja mais longa e mais propulsiva. A primeira pernada, neste trabalho, obteve AJ menores com relação a segunda, possivelmente seja porque a primeira realmente seja mais propulsiva do que a secundária.

5.4.1. Outras aplicações do SABIO

O limiar anaeróbio é um parâmetro fisiológico que pode determinar a mais alta taxa metabólica na qual pode-se manter um longo período de tempo em exercício [111]. Apesar de criticado pela sua subjetividade [112], o limiar de lactato é extensivamente utilizado nos meios esportivo e científico [113,114]. Como em outras modalidades, na natação o limiar tem sido empregado na predição de desempenho [115,116], prescrição [117,118] e acompanhamento longitudinal do treinamento [119,120]. Diversos protocolos são utilizados com o intuito de determinar o limiar anaeróbio de um nadador, tais como:

- Três tiros de 200m de nado, sendo o primeiro realizado com 70% a 80% de velocidade máxima de nado do atleta, o segundo com 80% a 90% e o terceiro, acima de 90% da velocidade máxima [121];
- Séries de esforços de 400m em intensidades constantes [122,123];
- Exercício incremental com estágios de 200m, velocidade inicial entre 1,05 e 1,25 m/s e incrementos de 0,05 m/s a cada repetição até a exaustão [124].

O treinador, nestes casos, pode definir o ritmo ideal de nado pelo SABIO, determinando o valor da intensidade correta no qual o atleta deve nadar, excluindo assim, a subjetividade dos testes.

Uma outra aplicação seria calcular a velocidade parcial da corrida no atletismo pelo *software*, adaptando o *hardware* a pista de atletismo.

5.5. Conclusão do capítulo

Neste capítulo foi descrito um estudo de caso envolvendo a análise biomecânica de um nadador e a eficácia do sistema. A avaliação do atleta foi realizada no item anterior. O SABIO mostrou-se satisfatório para os estudos realizados até então, não interferindo de forma alguma na mecânica dos movimentos.

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

6.1. Conclusões gerais

Este trabalho realizado em conjunto com a Faculdade de Educação Física - FAEFI da UFU resultou no primeiro equipamento nacional que, além de mensurar variáveis biomecânicas, calcula a velocidade parcial do nado em todos os estilos e determina ritmo ao atleta nos estilos *crawl*, borboleta e peito sem nenhum objeto atado a ele permitindo a este o treinamento dentro de sua especificidade,

O sistema desenvolvido permite ao usuário (treinador) controlar o ritmo e estimar a velocidade de nado em tempo real desde que o atleta acompanhe o acendimento das lâmpadas. Por ficarem no fundo da piscina, este controle de ritmo não se aplica ao estilo costas. Também é possível medir pelo *software*, velocidade de nado a cada 2 metros em 14 metros entre o espaço da saída e da virada na piscina de 25 metros, freqüência e comprimento de braçadas e ângulos articulares de braços e pernas.

O *hardware*, nos itens projetados e desenvolvidos (suporte móvel, caixa estanque, sistema de estímulo visual e marcadores internos), foi idealizado após estudos sobre as técnicas utilizadas para acompanhamento de um corpo em meio líquido, especificamente, na piscina. Alguns componentes que foram necessários no decorrer dos ensaios realizados durante a construção e desenvolvimento do sistema e não foi encontrado na literatura algo semelhante, teve-se que projetar e testar sistematicamente até obter resultados satisfatórios.

O suporte móvel obteve estabilidade necessária na piscina do Campus da FAEFI-UFU, exceto em testes realizados em piscinas com cerca de 30cm de altura da borda lateral até a superfície da água, devido a isto, aumentou-se bastante o braço do suporte para que a câmera ficasse submersa, aumentando por conseqüência a força de empuxo. Neste caso, pesos extras foram colocados na base inferior do suporte para manter a estabilidade, fundamental para uma boa aquisição de imagens.

Diversos ensaios de profundidade e tempo de submersão na água foram realizados com a caixa estanque e esta se apresentou impermeável em todos os testes, demonstrando a alta durabilidade de seus materiais e boa repetibilidade do sistema.

Os valores, de velocidade, de tempo e de número de voltas, especificados no sistema de estímulo visual mostraram coerência quando comparados aos valores obtidos manualmente com o uso de um cronômetro. Na parte estrutural houve algumas dificuldades na tentativa de manter a mangueira submersa na piscina, oito blocos de peso foram suficientes para mantê-la no fundo, no entanto, em algumas partes da mangueira formou-se uma parábola pela tendência de flutuação da mesma. O ideal talvez seriam onze blocos de peso, dois apoiando a mangueira nas extremidades da piscina e um bloco a cada duas das dez lâmpadas do sistema.

Os marcadores internos proporcionaram aparência necessária para análise das imagens pelo *software*. Mesmo ficando atado à raia ao lado do nadador, eles não se moviam com as ondas provocadas pelo nado, sendo assim, compatíveis e consistentes nas análises.

Os métodos utilizados para mensuração de ângulos articulares e de velocidade mostraram-se coerentes. O programa utilizado para cálculos dos ângulos apresenta fidedignidade nos valores de acordo com testes já validados em outro trabalho desenvolvido utilizando o mesmo *software* para este fim [54]. Um outro *software* foi desenvolvido e utilizado para cálculo da velocidade, como não foram encontrados na literatura estudos semelhantes para medir a velocidade do nado parcial, não foi possível comparar os resultados com outras pesquisas, porém, avaliados com cronômetros em processos manuais, houve semelhança dos valores, apresentando erro de 5%.

É importante ressaltar que em todos os experimentos houve a presença de um profissional de biomecânica, avaliador e treinador de nadadores, para definir os melhores parâmetros e métodos aplicados. Os atletas voluntários aprovaram a aplicabilidade e eficiência do sistema, comprovando que o sistema não interfere na mecânica do nado. De maneira geral, o protótipo mostrou-se eficaz cumprindo as expectativas.

6.2. Trabalhos Futuros

Pelos experimentos realizados até então, foi possível identificar alguns itens dentre os quais merecem serem apontados:

- Por se tratar de um trabalho que calcula a velocidade parcial do nado e não apenas a velocidade média, pela dificuldade de implementação de material no meio aquático e pela falta de estudos para comparação deste, é natural que o mesmo requeira mudanças visando à mensuração da velocidade em tempo real independente do estilo e tipo de roupa que o atleta use;
- Substituição da mangueira do sistema de estimulo visual por um jogo de lâmpadas impermeáveis acoplada ao piso piscina. Isto não causaria incômodo aos nadadores e às outras pessoas quando não estivesse sendo realizados testes na piscina e traria praticidade às avaliações, pois não se perderia tempo para montagem do equipamento;
- Automatizar o suporte móvel colocando-o um circuito de controle de velocidade semelhante ao do sistema de estímulo visual;
- Ampliar o espaço de armazenamento de treinamentos no programa do PIC para permitir ao treinador colocar diversos treinamentos sem intervalo;
- Empregar o sistema em outras áreas de estudo que envolvam reabilitação, como em estudos da marcha, de postura, entre outros;
- Associar eletromiografia por telemetria.

Referências Bibliográficas

[01] FERNANDES, R.; VILAS-BOAS, J. P. **Partidas e viragens em natação: descrição e seqüências metodológicas.** Apostila didática. Universidade do Porto, Portugal, p.1, S/D.

[02] MAGLISCHO, E . **Nadando ainda mais rápido**. 1. ed. São Paulo: Manole, 1999.

[03] DEGANI, A. M.; BARELA, J. A. Parâmetros espaço-temporais e angulares do andar de indivíduos idosos em ambiente aquático. In: **IX Congresso Brasileiro de Biomecânica** 2001, Gramado. Anais. Volume 11, 2001.

[04] ERVILHA U. F.; AMADIO A. C. "Padrão do sinal eletromiográfico de músculos do membro inferior e cinemática do joelho durante o andar em ambiente aquático e terrestre", **Revista Brasileira de Biomecânica,** maio, 2002.

[05] RUOTI R.; COLE A. **Reabilitação aquática**. São Paulo: Manole, 2000.

[06] WINTER, D. A.**Biomechanics of Human Movement**. Ontario, Canada: John Wiley e Sons Inc, 1979.

[07] YAMAMOTO, S.; NAKAZAWA, K.; YANO, H. Lower limb kinematics during walking in water. **Book of Abstracts XVth Congress ISB**, p.1012-1013, 1995.

[08] PYNE, D. B.; LEE, H.; SWANWICK, K. M. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.33, p.291-7, 2001.

[09] McARDLE, W. D.; GLASER, R. M.; MAGEL, J. R. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. **J. Appl. Physiol.**, v. 30, p. 733-738, 1971.

[10] MAGEL, J. R., FOGLIA, G. F.; McARDLE, W. D.; GUTIN, B.; PECHAR, G. S.; KATCH, F. I. The specificity of swim training on maximum oxygen uptake. **J. Appl. Physiol.**, v. 38, n. 1, p. 151-155, 1975.

[11] MANÇO, E. A. A.; **Proposta de um sistema de tração dinâmico para treinamento de nadadores.** 2002. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2002.

[12] GATTI, R. G. O.; ERICHSEN, O. A.; MELO, S. I. L. "Respostas fisiológicas e biomecânicas de nadadores em diferentes intensidades de nado", **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano,** v.6, n. 1, p. 26 – 35, 2004.

[13] HALL, S. J. **Biomecânica Básica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. 509 p.

[14] AMADIO, A. C. **Tendências e Perspectivas do Desenvolvimento da Biomecânica do Esporte.** Disponível em: <http://fepar.edu.br/aulas/MarioAndrade/BIO2.PRN.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2005.

[15] DONSKOY, D. D. **Grundlagen der Biomechanik**. 1975.

[16] ZATSIORSKY, W. M.; ARUIN, A. S.; SELUJANOV, W. N. Massengeometrie des Menschliechen Körpers (I), (II). **Theorie und Praxis der Körperkultur 6/7**, p. 416-423 / 533-541, 1982.

[17] AMADIO, A. C. **Biomechanische Analyse des Dreisprungs**. Köln, 275f. Dissertation (Doktor der Sportwissenschaften) - Deutsche Sporthochschule Köln, 1985.

[18] BAUMANN, W. Métodos de Medição e Campos de Aplicação da Biomecânica: Estado da Arte e Perspectivas. **VI Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Brasília: Conferência, 1995.

[19] AMADIO, A. C. **Fundamentos Biomecânicos Para a Análise do Movimento Humano**. 1996. 162 p.

[20] TSUCHIYA, J.; MURATA, K.; FUKUNAGA, T. Kinetic analysis of backward giant swing on parallel bars. **International Journal of Sport and Health Science**, v. 2, p. 211-221, 2004.

[21] ADRIAN, M.; COOPER, J. **Biomechanics of Human Movement**. McGraw-Hill. Boston, 1995.

[22] SACCO, I. C. N.; AMADIO, A. C. Proposta metodológica para o estudo de respostas biomecânicas aplicadas na avaliação do andar em indivíduos portadores de diabetes. (in) **Anais do VI Congresso Brasileiro de Biomecânica**, pp.78-84, Brasília, 1995.

[23] KREIGHBAUM, E. B., K. **Biomechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement**. 4. ed. Boston: Allyn and Bacon,1996. 619 p.

[24] DE LUCA, C. J. Physiology and mathematics of myoletric signals. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering,** p.BME-29, n. 6, p. 313-325, Junho 1979.

[25] AMADIO, A. C.; ÁVILA, A. O. V.; GUIMARÃES, A. C. S.; DAVID, A. C.; MOTA, C. B.; BORGES, D. M.; GUIMARÃES, F.; MENZEL, H. J.; CARMO, J.; LOSS, J.; SERRÃO, J. C.; SÁ, M. R.; BARROS, R. M. L. **Métodos de medição em biomecânica do esporte: descrição de protocolos para aplicação nos centros de excelência esportiva (rede CENESP - MET).** Disponível em: <http://www.usp.br/eef/biomecan/download/protocolo_rbb.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2005.

[26] ALLARD, P.; BLANCHI, J. P.; AÏSSAOUI, R. Bases of three-dimensional reconstruction. In: P. Allard; I.A.F. Stokes; J. P. Blanchi (ed). **Three-Dimensional analysis of human movement**. Champaing: Human Kinetics, 19-40, 1995.

[27] WINTER, D. A. **Biomechanics and motor control of human movement**. New York: Wiley. xvi, 277p. 1990.

[28] BRAUNE, W.; FISCHER, O. **The Human Gait**. Alemanha: Spriger-Verlag Berlin Heidelberg, 1987. (original: 1895 – 1904).

[29] YAMASAKI, R. **Caracterização da laringe do idoso**. 2001. 54f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2001.

[30] MAREY, E. J. De la locomotion terrestre chez les bipedes et les quadripedes, **J. Anat. Physiol,** v. 9, p. 42-80, 1873.

[31] FUKUCHI, R. K.; LOPES, A. D.; HIRATA, R. P.; STOLF, S. F.; MOURA, N. A.; MOURA, T. F. P.; DUARTE, M. **Relatório técnico da análise cinemática do salto**

em distância durante o XXII Troféu Brasil de Atletismo. Disponível em: < http://www.usp.br/eef/lob/jump/tb2003.html>. Acesso em: 28 nov. 2005.

[32] MUYBRIDGE, E. ***Muybridge's* complete human and animal locomotion**. New York: Dover Publications, 1979.

[33] WANG, J. J.; SINGH, S. Video Analysis of Human Dynamics – a survey. **Real-Time Imaging**, v. 9, p. 321-346, 2003.

[34] ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. Direct Linear Transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. **ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry.** American Society of Photogrammetry, Falls Church, VA. 1971.

[35] EIAN, J.; POPPELE, R. E. A single-camera method for three-dimensional video imaging. **Journal of Neuroscience Methods**. v. 120, p. 65-83, 2002.

[36] **DVIDEOW**. Disponível em: <http://www.ic.unicamp.br/~pascual/dvideow.html>. Acesso em: 28 nov. 2005.

[37] SARRO, K. J.; SILVATTI, A. P.; BARROS, R. M. L. Análise cinemática dos padrões de movimentação da caixa torácica de nadadores durante a respiração. **XI Congresso Brasileiro de Biomecânica**, 2005.

[38] MENEZES, R. P.; MISUTA, M. S.; FIGUEROA, P. J.; CUNHA, S. A.; BARROS, R. M. L. Variabilidade da representação por componentes principais das posições de jogadores de futebol. **XI Congresso Brasileiro de Biomecânica**, 2005.

[39] ANDRADE, L. M. **Análise de marcha: protocolo experimental a partir de variáveis cinemáticas e antropométricas**. 2002. 104f. Dissertação (Mestrado em Biomecânica) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

[40] ARAÚJO, A. G. N. **Proposição e avaliação de um modelo de representação dos membros superiores e escápula durante a marcha humana.** 2002. 68f. Dissertação (Mestrado em Biomecânica) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

[41] PATERNIANI, P. E. S. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Reconstrução Tridimensional e Análise de Superfícies do Corpo Humano**. 2001. 74f. Dissertação (Mestrado em Educação Motora) – Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

[42] **Biblioteca de vídeos da Ariel Dynamics.** Disponível em: <http://www.sportsci.com/media/ >. Acesso em: 07 nov. 2005.

[43] BARELA, A. M. F. **Análise biomecânica do andar de adultos e idosos nos ambientes aquático e terrestre.** 2005. 131f. Tese (Doutorado em Educação Física) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

[44] ARIEL, G. **Biomechanical Analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games.** Disponível em: <http://www.sportsci.com/start/apas/studies/shotfinal.pdf >. Acesso em: 07 nov. 2005.

[45] **Ariel Performance Analysis System** (APAS). Disponível em: <ttp://www.sportsci.com/adi 2001/adi/products/apas/default.asp>. Acesso em: 20 jan. 2005.

[46] ARELLANO, R.; BROWN, P.; CAPPAERT, J.; NELSON, R. C. . "Analysis of 50-, 100- and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games". In **Journal of Applied Biomechanics,** v.10, n.2, p.189-199,1994.

[47] CAPPAERT, J.M.; MONTEIL, K. M.; CRICKARD, G.; TROUP, J. P "Biomechanical and Electromyographical Comparisons of Competitive Swimmers during a Fatiguing Exercise Bout." In **Proceedings of the American College of Sports Medicine**, Dallas, TX, May 29 - June 1, 1991.

[48] SANDERS, R. H.; CAPPAERT, J. M.; DEVLIN, R. K.; TROUP, J. P. "Evidence of Energy Reuse Through Body Wave Motion in Butterfly Swimming." In **Abstracts for the 9th International Symposium on Biomechanics in Sports**, June: p. 49, 1992.

[49] LEE, Ching-Wen; HUANG, C.; LIN, D. C.; LEE, Ching-Wei. "The Strategy of Muscular Pre-Tension during Initial Block Phase in Swimming Grab Start." In **Abstracts of the 20th International Symposium on Biomechanics in Sports**, July 1-5, Caceres, Spain; p. 52-55, 2002.

[50] ZAMPARO, P.; PENDERGAST, D. R.; TERMIN, B.; MINETTI, A. E. How fins affect the economy and efficiency of human swimming. **Journal of Experimental Biology**, v. 205, n. 17, p. 2665-2676, 2002.

[51] YANAI, T.; HAY, J.G "Three-Dimensional Videography of Swimming Techniques." In: **Proceedings the 17th Annual Meeting for the American Society of Biomechanics**, October 21-23: pp. 151-152, 1993.

[52] YANAI, T.; HAY, J. G, GEROT, J. T. Three-Dimensional Videography of Swimming With Panning Periscope. **Journal of Biomechanics,** v. 29. n. 5, p. 673-678, 1996.

[53] YANAI, T. "Mechanics of Body Roll in Front-Crawl Swimming." In **Proceedings of XVI International Symposium on Biomechanics in Sports**, 1998.

[54] PAIVA, L. R. M. **Um aplicativo de software desenvolvido para avaliação de imagens por fotogrametria.** 2005. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

[55] **WINanalyse**. Disponível em: <http://www.itronx.com/pdf/winanalyze.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2005.

[56] BARTLETT, R. **Introduction to Sports Biomechanics**. E & FN Spon, New York. 1997.

[57] CHOLLET, D. **Approche scientifique de la Natation Sportive.** Editions Vigot. Paris, 1997.

[58] YAMAMOTO, M.; KOSHIKAWA, K. Human motion analysis based on a robot arm model. **Proceedings of the IEEE CVPR**, 1991. p. 664–665.

[59] PENTLAND, A.; HOROWITZ, B. Recovery of nonrigid motion and structure. **IEEE Transactions on PAMI**, v. 13, n. 7, p. 730–742, 1991.

[60] GUO, Y.; XU, G.; TSUJI, S. Tracking human body motion based on a stick figure model. **Journal of Visual Communication and Image Representation,** v.5, n.1, p.1–9, 1994.

[61] BASCLE, B.; DERICHE, R. Region tracking through image sequences.**Proceedings of the ICCV,** Puerto Rico, 1995. p. 302–307

[62] XU, L. Q.; HOGG, D. C. Neural networks in human motion tracking—an experimental study. **Image and Vision Computing**, v. 15, p.607–615, 1997.

[63] PAVLOVIC, V.; SHARMA, R.; CHAM, T. J.; MURPHY, K. P. A dynamic Bayesian network approach to figure tracking using learned dynamic models. **ICCV**, Corfu, Greece, 1999. p. 94–101.

[64] RICQUEBOURG, Y.; BOUTHEMY, P. Real-time tracking of moving persons by exploring spatio-temporal image slices. **IEEE Transactions on PAMI,** v. 22, n. 8, p. 797–808, 2000.

[65] RIGOLL, G.; EICKELER, S.; MÜLLER, S. Person tracking in real-world scenarios using statistical methods. **Proceedings of the 4th ICAFGR**, Grenoble, France, 2000. p. 342–347.

[66] BOWDEN, R.; MITCHELL, T. A.; SARHADI, M. Non-linear statistical models for the 3D reconstruction of human pose and motion from monocular image sequences. **Image and Vision Computing**, v.18, p.729–737, 2000.

[67] JOJIC, N.; TURK, M..; HUANG, T. S. Tracking self-occluding articulated objects in dense disparity maps. **Proceedings of the IEEE ICCV 1**, Corfu, Greece, 1999. p. 123–130.

[68] PARAGIOS, N.; DERICHE, R. A PDE-based level-set approach for detection and tracking of moving objects. **Proceedings of the 6th ICCV**, Bombay, India, Janvier, 1998.

[69] CHAM T. J.; REHG, J. M. A multiple hypothesis approach to figure tracking. **Proceedings of Perceptual User Interfaces**, 1998. p. 19–24.

[70] JANG, D. S.; JANG, S. W.; CHOI, H. I. 2D human body tracking with structural Kalman filter. **Pattern Recognition,** v.35, n.10, p. 2041–2050, 2002.

[71] LEE, W.; RYU, S.W.; LEE, S. J. Motion based object tracking with mobile camera. **Electronics Letters**, v. 34, n. 3, p. 256–258, 1998.

[72] LIPTON, A. J.; FUJIYOSHI, H.; PATIL, R. S. Moving target classification and tracking from real-time video. **Proceedings of the DARPA IUW**, 1998. p. 8–14.

[73] HEISELE, B.; KRESSEL, U.; RITTER, W. Tracking non-rigid, moving objects based on color clusters flow. **Proceedings of the IEEE CVPR**, San Juan, 1997. p. 257–260.

[74] SCHLEGEL, A.; ILLMANN, J.; JABERG, H.; SCHUSTER, M.; WÖRZ, R. Vision based person tracking with a mobile robot. **Proceedings of the 9th BMVC**, Southampton, 1998. p. 418–27.

[75] CAI, Q.; AGGARWAL, J. K. Tracking human motion in structural environments using a distributed-camera system. **IEEE Transactions on PAMI**, v.21, n.11, p.1241–1247, 1999.

[76] CHELLAPPA, R.; WILSON, C.L.; SIROHEY, S. Human, machine recognition of faces: a survey. **Proceeding of the IEEE**, v. 83, n. 5, p. 705–740, 1995.

[77] FROMHERZ, T.; STUCKI, P.; BICHSEL, M. A Survey of Face Recognition, MML Technical Report, No 97.01, Dept. of Computer Science, University of Zurich, Zurich, 1997.

[78] LI, Y.; MA, S.; LU, H. A multiscale morphological method for human posture recognition. **Proceedings of the ICAFGR**, Nara, Japan, p.14–16, April, 1998.

[79] NIXON, M. S.; CARTER, J. N.; CUNADO, D.; HUANG, P. S.; STEVENAGE, S. V. Automatic gait recognition. In: Jain A. K.; Bolle, R.; Pankanti, S. (editors). **Biometrics: personal identification in networked society.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1999. p. 231–50.

[80] NIYOGI, S.; ADELSON, E. Analyzing and recognizing walking figures in XYT. **Proceedings of the CVPR**, 1994. p. 469–74.

[81] MEYER, D.; PSL, J.; NIEMANN, H. Gait classification with HMMs for trajectories of body parts extracted by mixture densities. **Proceedings of the BMVC**, 1998. p. 459–68.

[82] WHITTLE M. W. Clinical gait analysis: a review. **Human Movement Science**, v. 15, n. 3, p.369–387, 1996.

[83] INMAN, V. T.; RALSTON, H. J.; TODD, F. **Human walking**. Maltimore, MD: Williams and Wilkins; 1981.

[84] YEASIN, M.; CHAUDHURI, S. Development of an automated image processing system for kinematic analysis of human gait. **Real Time Imaging**, v. 6, n. 1, p. 55–67, 2000.

[85] TABB, K.; DAVEY, N.; ADAMS, R.; GEORGE, S. Analysis of human motion using snakes and neural networks. **Proceedings of the IWAMDO**, Palma de Mallorca, Balaeric Islands, 2000. p. 48–57.

[86] KALE, A.; RAJAGOPALAN, A. N.; CUNTOOR, N.; KRUEGER, V. Gait-based recognition of humans using continuous HMMS. **Proceedings of the AFGR**, 2002. p. 321–326.

[87] THAR, R.; BLACKBURN, N.; KÜHL, M. A New System for Three-Dimensional Tracking of Motile Microorganisms. **Applied And Environmental Microbiology**, v.66, N°5, p. 2238–2242, 2000.

[88] WILGA, C. D.; LAUDER, G. V. Function of the heterocercal tail in sharks: quantitative wake dynamics during steady horizontal swimming and vertical maneuvering. **Journal of Experimental Biology**. v. 205, p. 2365–2374, 2002.

[89] BROWN, R. M.; COUNSILMAN, J. E. The role of lift in propelling swimmers. In **J. M. Cooper (Ed.), Biomechanics (pp.179 -188)**. Chicago: Athletic Institute, 1971.

[89] TAKAGI, H.; SHIMIZU, Y.; KODAN, N. A hydrodynamic study of active drag in swimming. **JSME International Journal**, v.42, n.2, n., p.171-177. feb.1999.

[90] TAÏAR, R.; SAGNES, P.; HENRY, C.; DUFOUR, A. B.; ROUARD, A. H. Hydrodynamics optimization in butterfly swimming: position, drag coefficient and performance. **Journal of Biomechanics,** v. 32, p. 803-810, 1999.

[91] LAUDER, M. A.; DABNICHKI, R. M.; BARTLETT. Improved accuracy and reliability of sweepback angle, pitch angle and hand velocity calculations in swimming. **Journal of Biomechanics**, v. 34, pp. 31-39, 2001.

[92] SANDERS, R. H.; CAPPAERT, J. M.; DEVLIN, R. K. Wave characteristics of butterfly swimming. **Journal of Biomechanics**, vol. 28, n°1, pp. 9-16, 1995.

[93] BERGER, M. A. M.; HOLLANDER, A. P.; DE GROOT, G. Determining propulsive force in front crawl swimming: A comparison of two methods, **Journal of Sports Sciences**, vol. 17, pp. 97-105, 1999.

[94] GAUTIER, J.; BALY, L.; ZANONE, P. G.; WATIER, B. A kinematic study of finswimming at surface. Journal of Sports Science and Medicine, vol. 3, pp. 91-95, 2004.

[95] TOUSSAINT, H. M.; BERG, C. V. D.; BEEK, W. J. "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, n.2, p.314-319, 2002.

[96] YU, B.; KOH, T. J; HAY, J. G. A panning DLT procedure for three-dimensional videography. **J. Biomechanics**, v. 26, p. 741-751, 1993.

[97] YANAI, T. Rotational efect of buoyancy in frontcrawl: does it really cause the legs to sink. **Journal of Biomechanics**, v. 34, p. 235-243, 2001.

[98] BARBOSA, T. M.; KESKINEN, K. L.; FERNANDES, R.; COLAÇO, P.; LIMA, A. B.; VILAS-BOAS, J. P. Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. **Eur J Appl Physiol**, v.93, n.5-6, p.519-523, Mar. 2005.

[99] **Ariel Performance Analysis System** (APAS). Disponível em: <ttp://www.sportsci.com/adi 2001/adi/products/apas/default.asp>. Acesso em: 20 jan. 2005.

[100] **Total Performance Inc.** Disponível em: < http://www.swimtpi.com/cam.htm>. Acesso em: 06 dez. 2005.

[101] BARROS, R. M. L. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica,** v.15. n 1-2, p.79-86. 1999.

[102] **Caixa De Mergulho Sport Pack Para Filmadora Mini-Dv E Dvd – Sony.** Disponível em: <http://cinefoto.americanas.com.br/cgi-bin/WebObjects/eacom.woa/wa/prod?pitId=266199&source=NAVIGATION_LINE >. Acesso em: 05 dez. 2005.

[103] **Narwhal – Atividades Subaquáticas.** Disponível em: < http://narwhal.com.br.megaloja.com/result.cfm?tipo=FOTO%20E%20VIDEO>. Acesso em: 06 dez. 2005.

[104] **Sacola a Prova D'água.** Disponível em: <http://plpesca2.locaweb.com.br/produtos_descricao.asp?codigo_produto=3695>. Acesso em: 05 dez. 2005.

[105] SANTOS, J. P. **Construção de uma caixa estanque**. Disponível em: < http://www.geocities.com/mundo_silencio/docs/material/caixa.html>. Acesso em: 06 dez. 2005.

[106]TOUSSAINT, H.M. Performance determining fators in front crawl swimming. In: MCLAREN, D.; REILLY, T.; LEES, A., eds. **Biomechanics and medicine in swimming**: swimming science VI. London, E. & F.N. Spon, 1992. p.13-32.

[107]CRAIG JR, A. B.; SKEHAN, P. L.; PAWELCZYK, J. A. & BOOMER, W. L. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. **Med Sci Sports Exerc**. 17 (6): 625-634, 1985.

[108]CRAIG JR, A. B. & PENDERGAST, D. R. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. **Med Sci Sports Exerc**. 11 (3): 278-283, 1979.

[109]KESKINEN, K. L.; KOMI, P. V. Stroking Characteristics of Front *Crawl* Swimming During Exercise. **J Appl Biomech**. 9: p.219-226, 1993.

[110]CARR, G. A. **Mechanics of Sport: a practioner´s guide**. Champaign: Humankinetics. 1997.

[111]WELTMAN, A. **The blood lactate response to exercise**. Champaign, Human Kinetics, 1995.

[112]YEH, M.P.; GARDNER, R.M.; ADAMS, T.D.; YANOWITZ, F.G.; CRAPO, R.O.Anaerobic threshold.: problems of determination and validation. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.55, n.4, p.1168-86, 1983.

[113]CARTER, H.; JONES, A.M.; DOUST, J.H. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. **Journal of Sports Sciences**, London, v.17, p.957-67, 1999.

[114]SCHNEIDER, D.A.; McLELLAN, T.M.; GASS, G.C. Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.32, n.3, p.608-13, 2000.

[115]BONIFAZI, M.; MARTELLI, G.; MARUGO, L.; SARDELLA, F.; CARLI, G. Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Turin, v.33, p.13-8, 1993.

[116]RIBEIRO J.P.; CADAVID, E.; BAENA, J.; MONSALVETE, E.; BARNA, A.; DE ROSE, E.H. Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. **British Journal of Sports Medicine**, London, v.24, n.3, p.196-200, 1990.

[117]MAGLISCHO, E. The application of energy metabolism to swimming training. In: UNGERECHTS B.E.; WILKE, K.; REISCHLE, K. (Eds.). **Swimming science V**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p.209-18.

[118]MAGLISCHO, E. **Swimming even faster**. Mayfield: Mountain View, 1993.

[119]PYNE, D.B.; LEE, H.; SWANWICK, K.M. Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.33, p.291-7, 2001.

[120]WAKAYOSHI, K.; YOSHIDA, T.; IKUTA, Y.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Adaptations to six months of aerobic swim training: changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgard, v.14, n.7, p.368-72, 1993.

[121]MAGLISCHO, E.; MAGLISCHO, C. M.; SMITH, R. E.; BISHOP, R. A.; HOVLAND, P. N. Determining the proper aining speeds for swimmers. **Journal of Swimming Research**, v.1, p.32-38, 1984.

[122]WAKAYOSHI , K.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; HARADA, T.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady-state?.**European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.66, p.90-5, 1993.

[123] KOKUBUN, E. Velocidade crítica como estimador do limiar anaeróbio em natação. **Revista Paulista de Educação Física**, São Paulo, v.10, n.1, p.5-20, 1996.

[124] RIBEIRO, L. F. P.; BALDISSERA, V.; BALAKIAN, P.; SOARES, A. R. Limiar anaeróbio em natação: comparação entre diferentes protocolos. **Rev. bras. Educ. Fís. Esp.**, São Paulo, v.18, n.2, p.201-12, abr./jun. 2004.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo