



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

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, frequência 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 frequência de corte de 5Hz [25]	27
2.5	Modelo (<i>stick figure</i>) 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 <i>software DVIDEOW</i> em um exemplo de <i>tracking</i> de jogadores de futebol [36]	31

2.8	Interface do <i>software</i> 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 <i>software</i> 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 <i>hardware</i> 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	<i>Power Cam</i> TM [100].....	49

4.2	Projeto do suporte em PVC	49
4.3	Construção do suporte de <i>metalon</i> sem pintura.....	50
4.4	Foto do suporte demonstrando as bases e a estrutura de <i>EVA</i> 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 <i>Sport Pack</i> da <i>Sony</i>	54
4.10	Caixa Estanque <i>Croma</i>	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	<i>Display</i> , teclado e botão <i>reset</i>	65
4.27	<i>Display</i> 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, <i>display</i> 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	<i>Interface</i> 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 <i>zoom</i>	72
4.38	<i>Interface</i> do SABIO.....	73
4.39	Da esquerda para a direita, botões <i>Play</i> , <i>Pause</i> e <i>Stop</i>	73
4.40	Botões do <i>Slow Motion</i> . 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	<i>Interface</i> 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 <i>ruler</i> do <i>Photoshop</i>	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 Coupled 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 Vídeo 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 <i>Direct Linear Transformation (DLT)</i>	30
2.3.1.1 <i>DVIDEOW - Digital Vídeo for Biomechanics for Windows 32 bits</i>	31
2.3.1.2 <i>APAS - Ariel Performance Analysis System</i>	32
2.3.1.3 <i>PEAK MOTUS</i>	32
2.3.1.4 <i>WINanalyse</i>	33
2.3.2 Técnicas de <i>tracking</i> de movimento	34
2.3.2.1 Técnica de <i>tracking</i> em 2D baseada em Modelo.....	34
2.3.2.2 Técnica de <i>tracking</i> 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 <i>Hardware</i>	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 <i>Software</i>	47
3.5 Conclusão	47

4. Desenvolvimento do Sistema 48

4.1 Introdução	48
4.2 Unidades de <i>Hardware</i>	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 <i>Softwares</i>	69
4.3.1 Analisador Postural	69
4.3.1.1 <i>Polyline</i>	70
4.3.1.2 Botões Zoom in e Zoom out	71
4.3.2 SABIO	72
4.3.2.1 <i>File</i>	73
4.3.2.2 <i>Play, Stop e Pause</i>	73
4.3.2.3 <i>Slow Motion</i>	74

4.3.2.4 <i>Set Time</i>	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 Frequência 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 benefício 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, frequência 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.

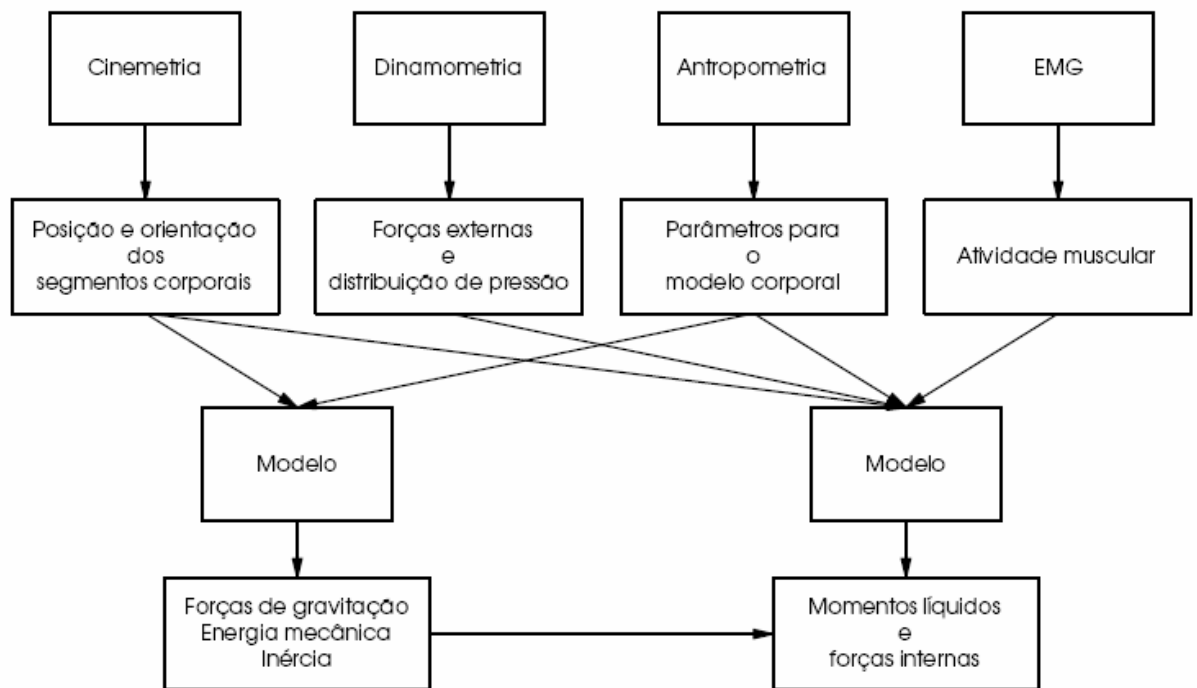


Figura 2.1. Áreas para análise biomecânica do movimento humano [18].

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.

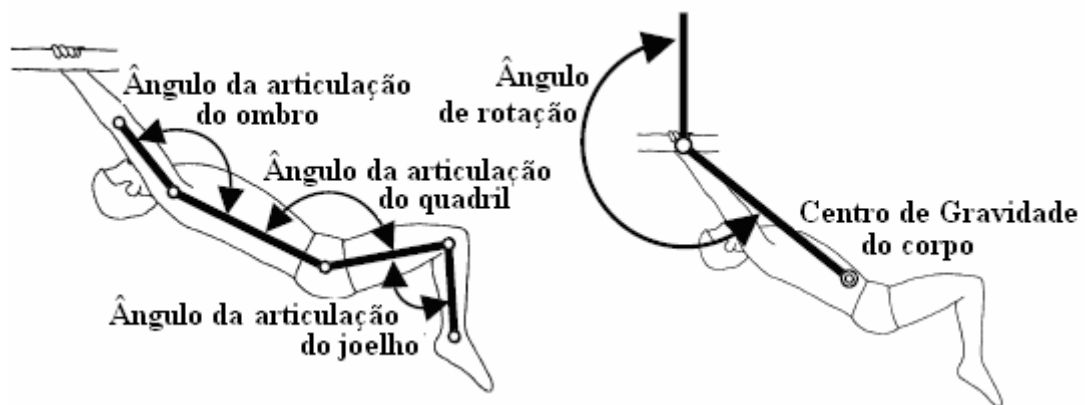


Figura 2.2. Medidas antropométricas usadas para definir ângulos articulares e ângulo de rotação. Figura modificada de [20].

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).

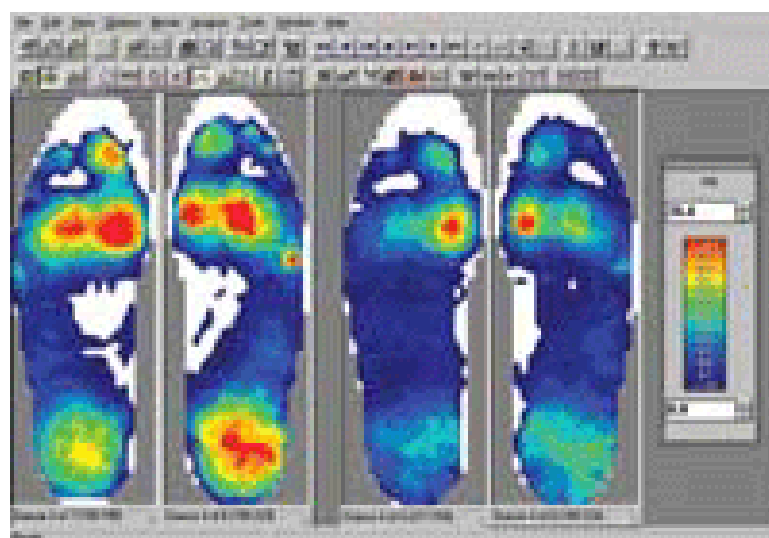


Figura 2.3. Mapeamento da distribuição de pressão plantar, sistema F-Scan [22].

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.

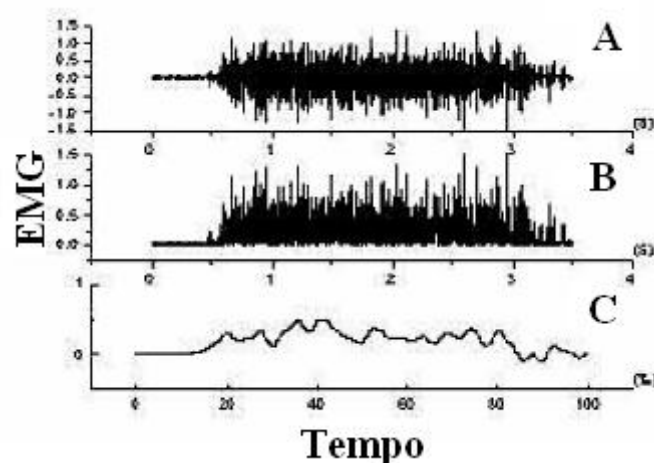


Figura 2.4. Etapas do tratamento do sinal eletromiográfico para a elaboração dos envoltórios lineares. (A) Sinal EMG original ou bruto. (B) Sinal EMG retificado e retirado o off-set. (C) Envoltórios lineares do sinal EMG filtrado com frequência de corte de 5Hz [25].

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).

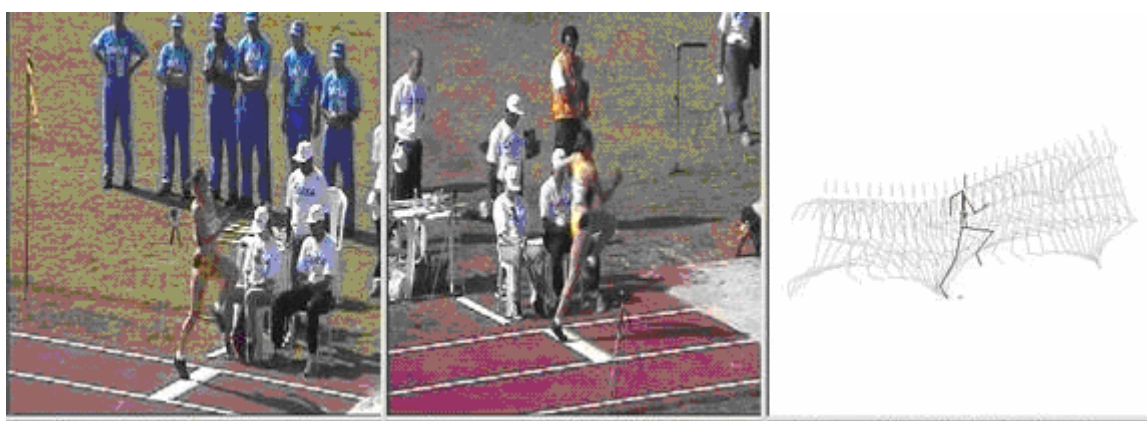


Figura 2.5. Modelo (*stick figure*) representando o salto da atleta Maurren Maggi, gerado a partir do programa APAS [31].

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 sequência 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].

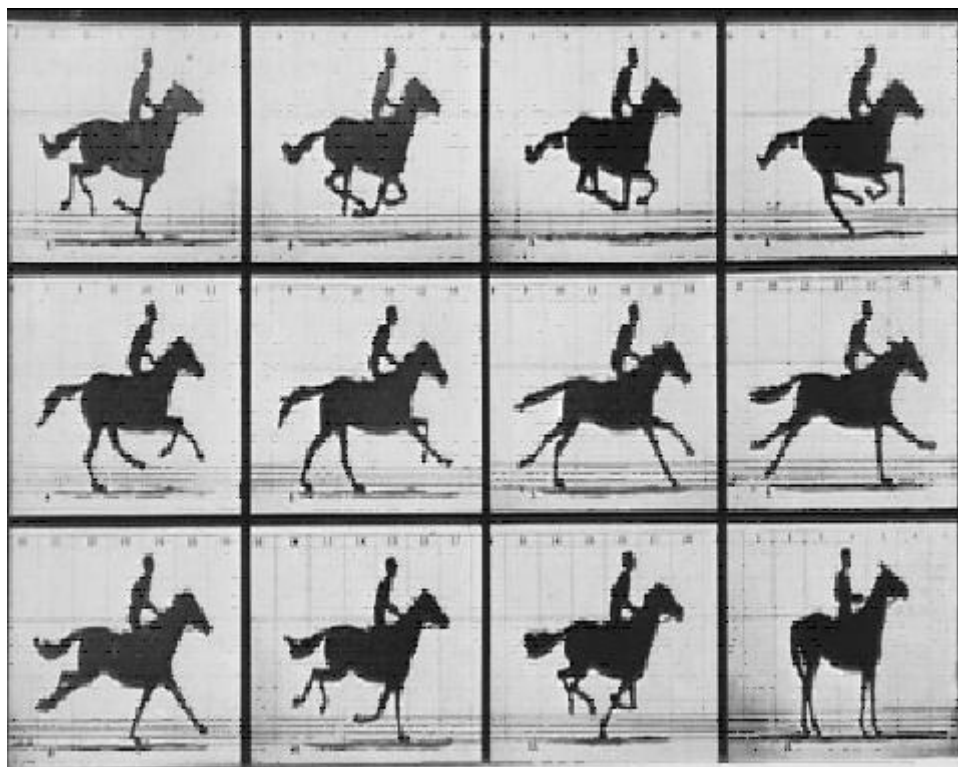


Figura 2.6. Fotos seqüenciais de cavalos galopando [32].

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: *DVIDEO* (*Digital Video for Biomechanics for Windows 32 bits*), *APAS* (*Ariel Performance Analysis System*), *PEAK MOTUS* (*Peak Performance Technologies*) e *WINanalyse*. Todos, exceto o *DVIDEO*, 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.

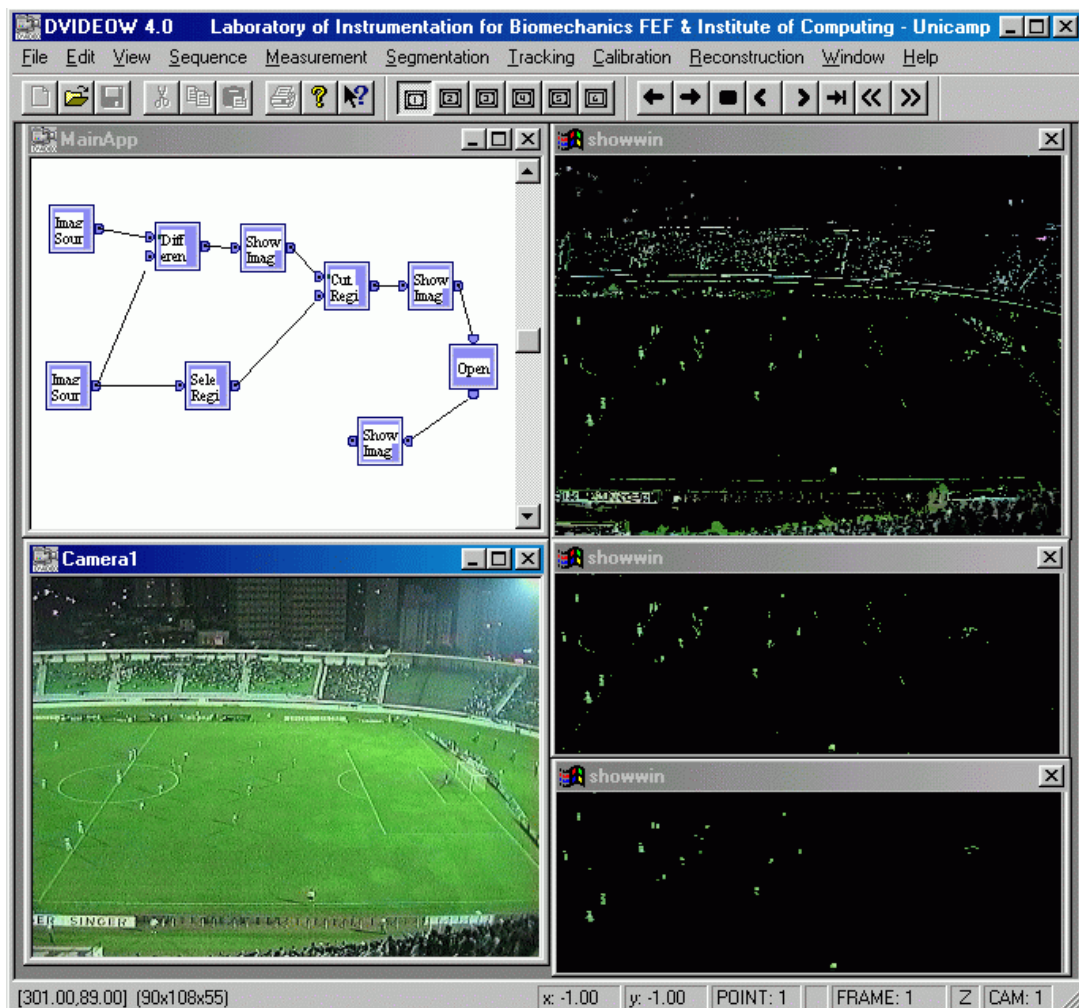


Figura 2.7. Interface do *software DVIDEOW* em um exemplo de *tracking* de jogadores de futebol [36].

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.

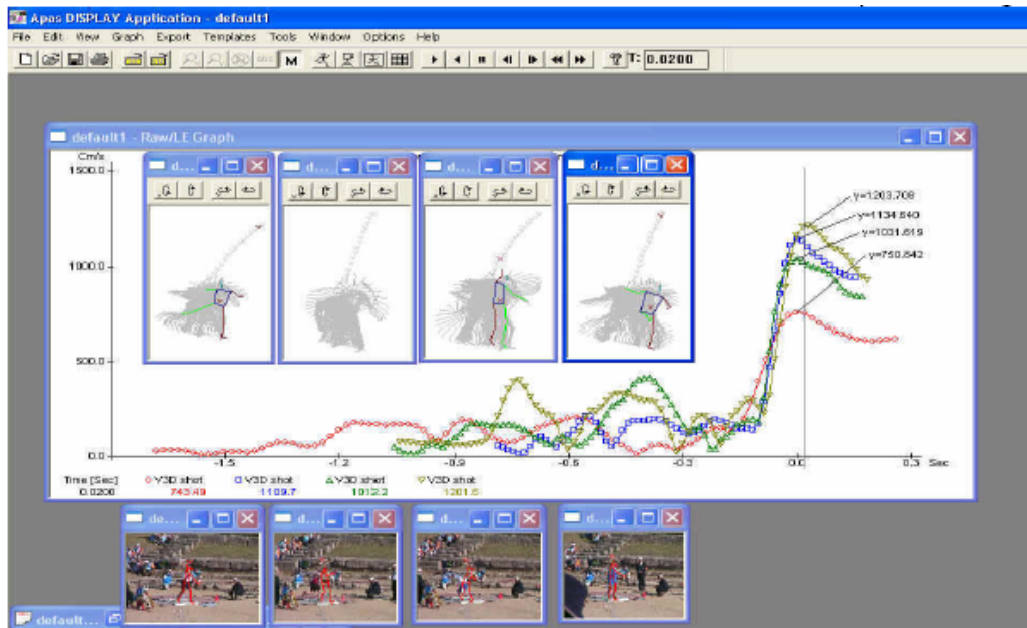


Figura 2.8. Interface do *software* APAS. Exemplo de análise do arremesso de peso em diversos segmentos das imagens com uso de duas câmeras calibradas a 45 graus [45].

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).

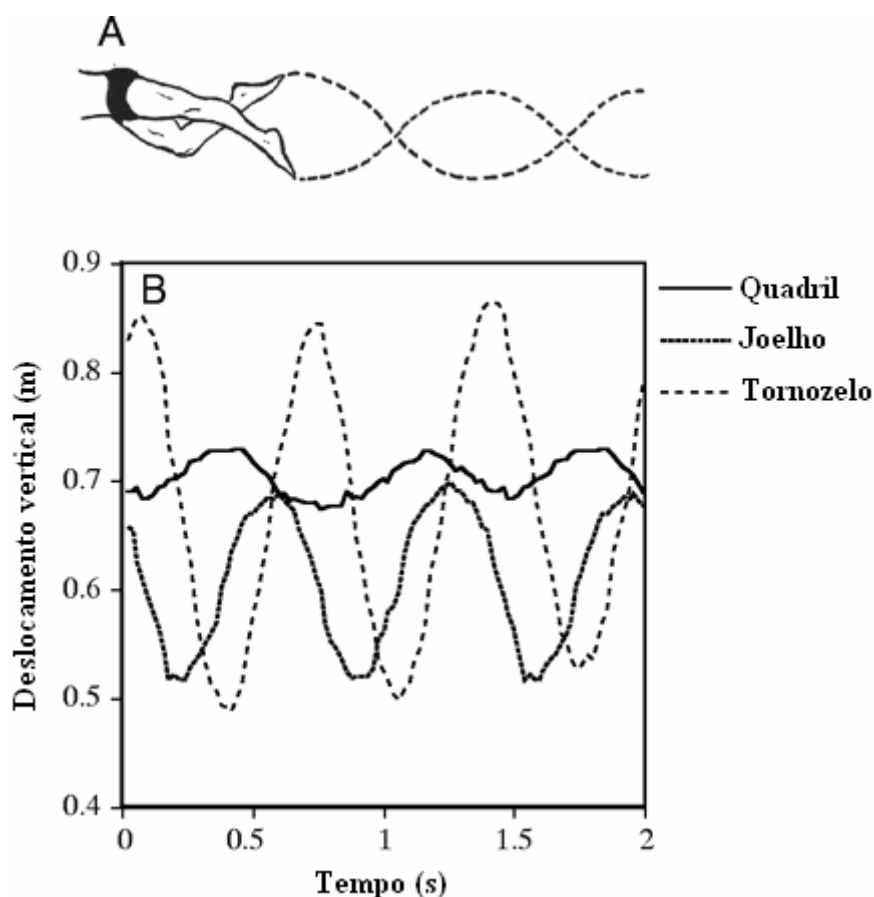


Figura 2.9. Dados do nadador obtidos pelo *software Peak Motus* [50].

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].

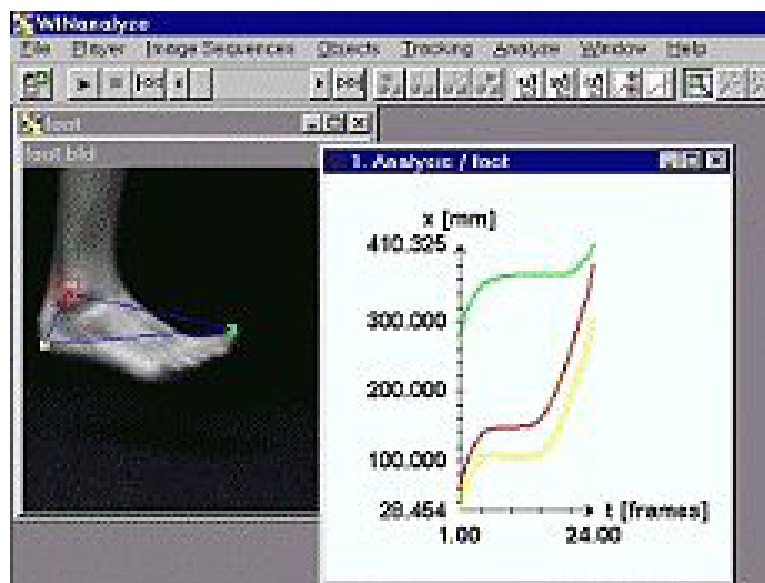


Figura 2.10. Demonstração da análise do movimento sem marcadores [55].

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].

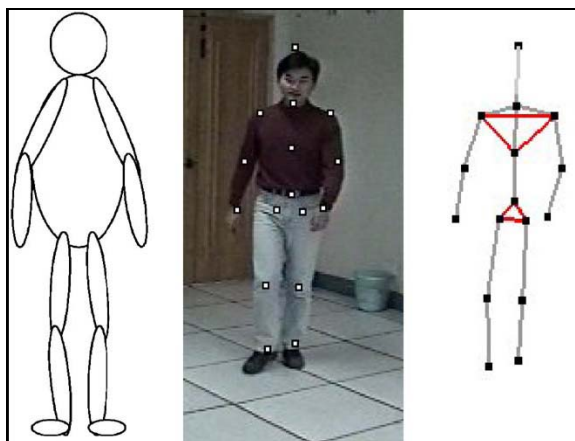


Figura 2.11: Exemplo de análise do movimento humano usando modelo [33].

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 significativo 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]. Frequentemente 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 frequência 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.

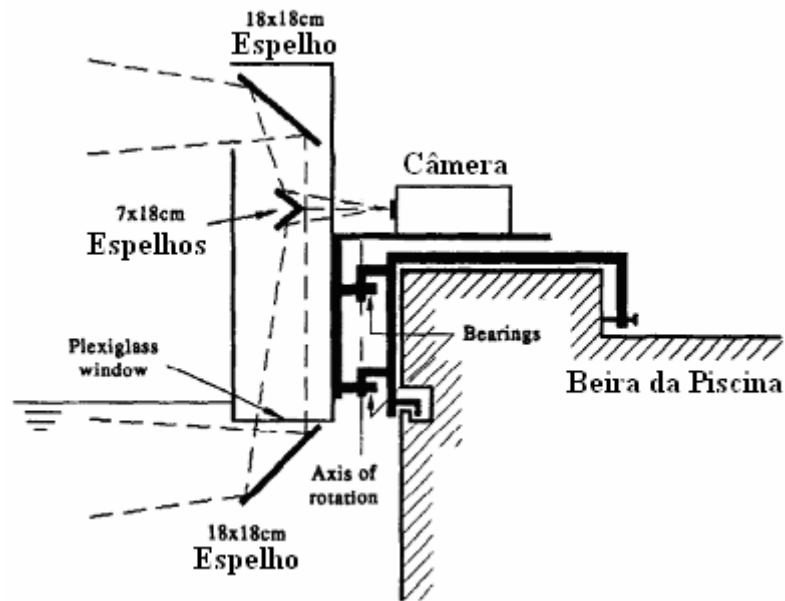


Figura 2.12. Vista lateral de um sistema de periscópio [52].

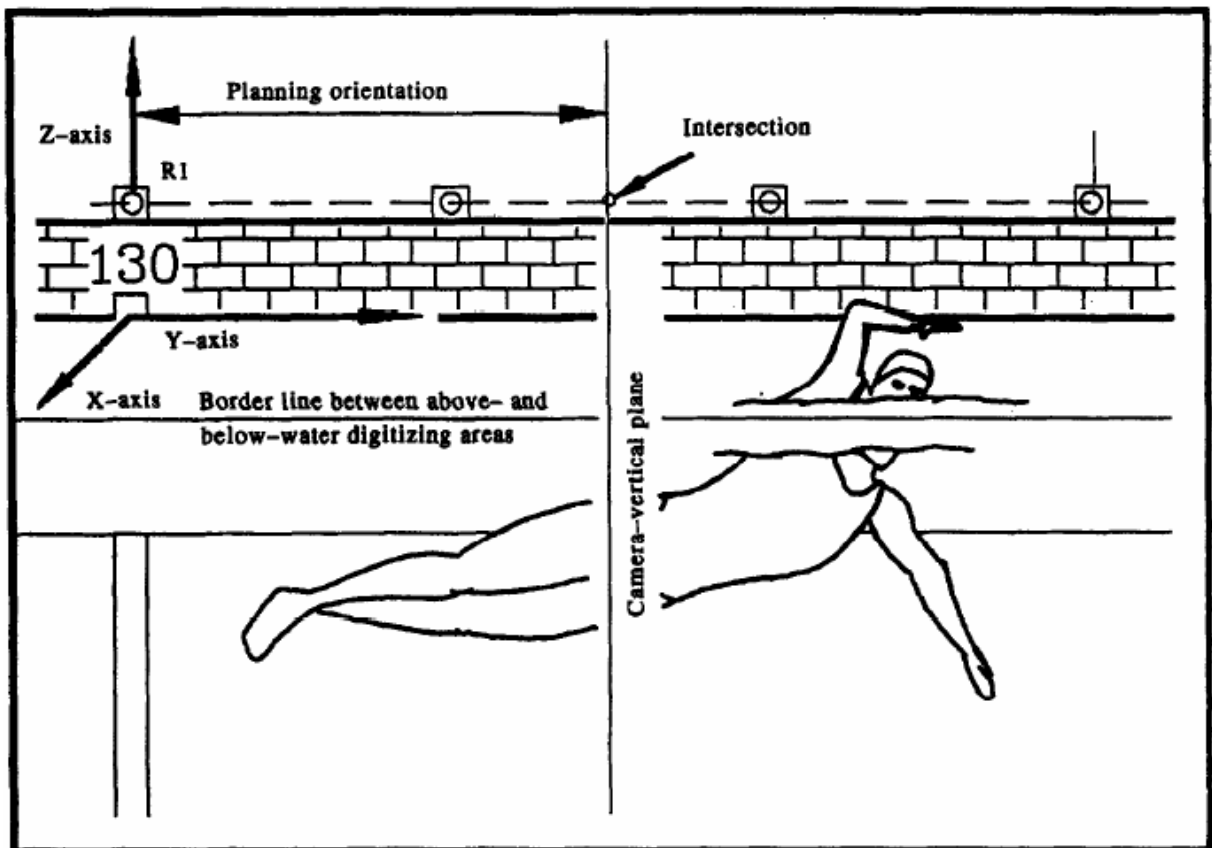


Figura 2.13. Um campo gravado pelo sistema de periscópio. As metades superiores e inferiores mostram as imagens obtidas acima e abaixo d'água, respectivamente [52].

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).

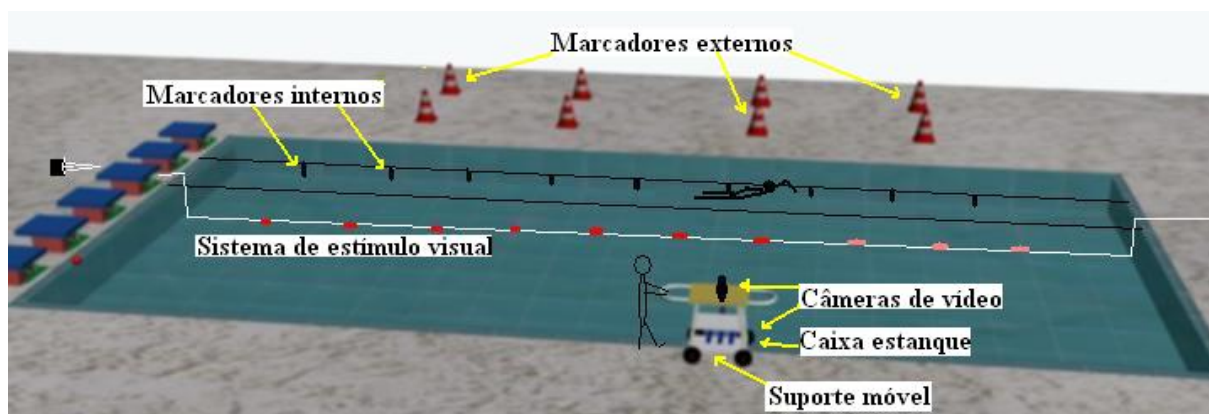


Figura 3.1. Representação das partes que compõem o *hardware* do SABIO.

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 microcontrolado

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 raia 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

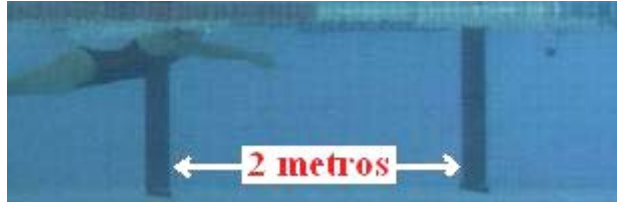


Figura 3.9. Imagem da câmera interna, possibilidade de cálculo da velocidade a cada 2m de distância.

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*.