

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 688
**DESENVOLVIMENTO DE UM
SISTEMA DE POSICIONAMENTO LOCAL
PARA MONITORAMENTO DA NATAÇÃO**

Marcus Rene Salles Giannetti

DATA DA DEFESA: 27/06/2011

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE POSICIONAMENTO
LOCAL PARA MONITORAMENTO DA NATAÇÃO**

Marcus Rene Salles Giannetti

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Wallace do Couto Boaventura

Belo Horizonte - MG

Junho de 2011

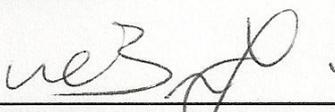
**"Desenvolvimento de Um Sistema de Posicionamento Local
Para Monitoramento da Natação"**

Marcus Rene Salles Giannetti

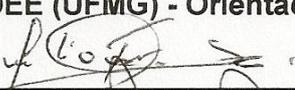
Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 27 de junho de 2011.

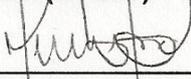
Por:



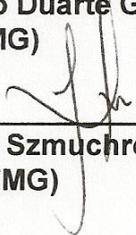
Prof. Dr. Wallace do Couto Boaventura
DEE (UFMG) - Orientador



Prof. Dr. Carlos Julio Tierra Criollo
DEE (UFMG)



Prof. Dr. Murilo Eugênio Duarte Gomes
DELT (UFMG)



Prof. Dr. Leszek Antoni Szmuchrowski
EEFFTO (UFMG)

Aos meus pais,
Pedro Giannetti Netto (in memoriam) e
Marília Salles Giannetti

Agradecimentos

O esporte entrou tardio em minha vida. Comecei a praticar esportes com 33 anos, no ano de 1994, quando morava no Rio de Janeiro. De lá para cá minha vida mudou muito. Devo toda esta mudança a Lauter Nogueira, meu técnico e amigo que orientou meu treinamento. Na verdade, ele disciplinou meu treinamento e com sabedoria fez brotar dentro de mim uma parte que nem eu conhecia. Além disso, me fez subir em vários pódios em várias competições que participei.

Esta descoberta tardia me fez mudar de profissão. No ano de 2003 comecei a estudar educação física na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional na Universidade Federal de Minas Gerais. Estudar nesta escola já tinha um objetivo, pois além de ser uma escola reconhecida pelo mérito de seus professores e ambiente de ensino já havia em mim um interesse muito grande pela área de pesquisa. Ser engenheiro era uma vantagem ainda não descoberta. Mas em um curso de intercâmbio na Universidade do Porto descobri que ser engenheiro era uma vantagem no meio de professores de educação física. Então comecei a estudar mais profundamente a biomecânica, que unia a parte física aprendida na profissão anterior com os novos conceitos onde o ser humano, o biológico, é o centro da atenção. Agradeço ao professor Túlio Banja, Universidade Federal do Ceará, por ter insistido para que eu trilhasse este caminho.

Agradeço de coração ao professor Hans-Joachim Karl Menzel, meu orientador em Biomecânica, pelo encorajamento contínuo à minha pesquisa, pela paciência e pelos conhecimentos transmitidos.

Durante meu estágio supervisionado com natação no Minas Tênis Clube que surgiram as primeiras ideias de como acompanhar o atleta durante os treinos, graças às conversas com o professor e técnico de natação Wellington Soares. Agradeço também a toda equipe; Omar Gonzalez, Juan Toledo, Maria José Almeida, Sérgio Eleutério, Clarisse Jane Vasconcelos Aleixo, Luís Antônio De Castro Menezes (in memoriam), André Henrique Oliveira Cordeiro, Gabriel Resende Quinan (fisioterapeuta), Eduardo Almeida dos Santos, Edson Rodrigues (Fisioterapeuta), Marcelo Vaccari e Fernando Antonio Vanzella (técnico principal), pelo trabalho profissional, por terem me acolhido de forma tão especial e pelos momentos ímpares que guardarei para sempre como a possibilidade de ajuda no Pan-Americano em

2007 no Rio de Janeiro. Mesmo depois de terminado o estágio minhas ideias continuaram a evoluir.

No ano de 2009 fiz uma opção radical. Saí do programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte, mais precisamente da Biomecânica para entrar no programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Esta mudança foi fundamental, não apenas a infraestrutura e o ambiente de estudo da nova escola, mas também a companhia com colegas e profissionais de alto gabarito que me apoiaram na tarefa de voltar a engenharia. E foi no final do primeiro semestre do mestrado em engenharia que este projeto tomou forma. Agradeço muito ao Professor Wallace do Couto Boaventura pelas dicas e orientações, tanto que se tornou meu orientador.

Não poderia deixar de comentar e agradecer ao financiamento de meus estudos através da bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que foi fundamental a dedicação exclusiva aos estudos e à Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio ao desenvolvimento das ideias que fecham esta etapa de desenvolvimento do projeto.

Ao John Kennedy Schettino de Souza, não tenho palavras para agradecer por toda sua colaboração, incentivo e amizade. Ajudou-me em todos os momentos. Um obrigado seria muito pouco. Aos amigos do NEPEB (Núcleo de Ensino e Pesquisa em Engenharia Biomédica) pela colaboração e ajuda nos momentos em que precisei. Muito obrigado.

Agradeço também aos funcionários da secretaria do PPGEE que sempre se mostraram educados e interessados em ajudar em nossas dificuldades com a burocracia do curso.

Aos familiares e amigos que sempre me acompanharam nesta jornada, um agradecimento especial à minha mãe que me apoiou desde a mudança de profissão até à conclusão do mestrado.

Por fim, à minha esposa que me apoia incondicionalmente e me incentivou a vir para a engenharia, quando tive a oportunidade de escolher entre a biomecânica e a biomédicas.

Sumário

RESUMO.....	x
ABSTRACT	xii
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	xiv
LISTA DE SIGLAS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Treinamento e tecnologia.....	1
1.2 Utilização de equipamentos de acompanhamento na natação	1
1.3 Objetivos do estudo.....	2
1.4 Organização do texto	2
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Patentes de equipamentos para o treinamento esportivo em natação.	5
2.2 Patentes usadas em treinamento.....	8
3 A IMAGEM	12
3.1 Imagem eletrônica.....	12
3.1.1 Formação da imagem eletrônica	12
3.1.2 Amostragem e Quantização	16
3.1.3 Representação de Imagens Digitais	17
3.1.4 Relações Básicas entre Pixels.....	18
3.1.5 Medindo distâncias	20
3.1.6 Operações com imagem na base de pixels	20
3.1.7 Parâmetros externos à câmera.....	21
3.1.8 Correção de uma imagem em perspectiva	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 Escolha do hardware.....	26
4.2 Escolha do software.....	27
4.2.1 Procedimentos básicos de software.	28
4.2.2 Fluxograma do protocolo utilizado;	35
4.3 Construção do modelo de piscina para testes	38
4.4 Parâmetros usados na montagem dos experimentos	40
4.4.1 Nos testes estáticos e dinâmicos em laboratório.....	40
4.4.2 Nos testes em piscina real.....	42

4.5	Metodologia.....	43
4.5.1	Metodologia para realização das medidas em imagens de forma direta e em perspectiva em laboratório nos testes estáticos.....	43
4.5.2	Metodologia para realização das medidas nos testes dinâmicos.	48
4.6	Aspectos éticos do estudo	52
5	RESULTADOS.....	53
5.1	Resultados encontrados nos experimentos estáticos	53
5.2	Resultados encontrados nos experimentos dinâmicos.	56
5.2.1	Teste em laboratório.....	56
5.2.2	Teste em piscina real.....	57
5.3	Relatório do sistema.....	59
6	DISCUSSÃO	61
7	CONCLUSÃO	63
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
	Anexo A : Comitê de ética	70
	A.1 Parecer do Comitê de ética em Pesquisa	70
	A. 2 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	71
	Anexo B Resumo de patentes.....	73
	B1 Patente: Electronic Swim timer Controlled by Touch pad in Swim Lane - U.S. PATENT Nº 3,363,243 de C. G. L. MORLEY de 9 Jan 1968.....	73
	B2 Patente: Bench for Simulating and Developing Swimming Movements - U.S. PATENT Nº 3,731,921 de C. W. Andrews Jr. de 08 May 1973.....	75
	B3 Patente: Method and Apparatus of Measuring Swimming Technique - U.S. PATENT Nº 4,654,010 de Rod Havriluk de 31 Mar 1987	77
	B4 Patente: Swimming Pool - U.S. PATENT Nº 2,617,764 de Carl Hauber de 11 Nov. 1952	78
	B5 Patente: Restraint particularly Suited for Use as na Aquatic Training Aid - U.S. PATENT Nº 4,218,056 de Tom S. Whitting de 19 Aug. 1980	80
	B6 Patente: Swimmer Training Device - U.S. PATENT Nº 3,861,675 de Robert T. Hopper de 21 jan. 1975	81
	B7 Patente: Swim Instruction, Training and Assessment Apparatus - U.S. PATENT Nº 5,391,080 de Robert H. Bernacki de 21 Bev. 1995.....	83
	B8 Patente: Programmable Audible Pacing Device - U.S. PATENT Nº 5,921,8590 de Patrick G. Milley de 13 Jul. 1999	85

B9 Patente: Swimmer's Training Method with a Visual Display - U.S. PATENT N° 6,033,228 de Eli M. Ladin 07 Mar 2000	86
B10 Patente: System and Method dor Training a Swimmer - U.S. PATENT N° 6,086,379 David Pendergast, Hamburg; 11 Jun. 2000	87

RESUMO

Com o avanço das tecnologias e da miniaturização dos equipamentos eletrônicos como o GPS, acelerômetros e meios de transmissão de dados com conexão por ondas de rádio, tem-se tornado comum o uso desses sistemas para a telemetria do treinamento nos esportes em ambiente seco e com grandes distâncias percorridas. Porém, em relação ao treinamento na piscina, ou meio aquático, a maioria dos sistemas usados para análise da técnica do nado são baseados na supervisão visual (pelo treinador), por sistemas com sensores, ou ainda pela utilização de técnicas onde os atletas estão ligados diretamente ao equipamento de medida por meio de um fio.

A solução proposta neste trabalho, o Sistema de Posicionamento Local usando Imagens - SPLI é um sistema que se propõe medir as variáveis cinemáticas sem conexão física com o atleta utilizando câmeras de filmagens USB de fácil obtenção, em tempo real. Através de processamento em tempo real, os resultados podem ser analisados imediatamente ao lado da piscina, ou guardados para uma posterior análise.

O sistema proposto foi implementado em hardware e software através da plataforma de desenvolvimento LabView da National Instruments e a avaliação do desempenho do sistema foi realizada por meio de experimentos em laboratório (piscina em miniatura) e em situação real (piscina de 25m).

Foram avaliados diversos deslocamentos, da ordem de vários centímetros, na piscina em miniatura. Foi calculado o menor valor de circunferência que pode ser identificado pelo sistema e este valor foi de 4 pixels de raio que corresponde a um marcador de 0,72 centímetros de diâmetro na piscina miniatura. Nos testes realizados na piscina real, filmados em perspectiva, o sistema calculou o deslocamento do atleta durante o seu percurso. A identificação da posição do nadador foi feita pela variação da luminância e o sistema calculou um corretamente um deslocamento de 25 m.

A medição das variáveis cinemáticas através de um sistema sem conexão tem a vantagem de deixar o atleta livre para executar o movimento sem interferência. Outra vantagem seria a facilidade para o acompanhamento de treinamentos ou testes de longa duração, uma característica importante uma vez

que o desempenho do atleta varia durante a execução, podendo ser diferente do período inicial da arrancada, o qual é utilizado nas medições dos sistemas atuais.

Os resultados de ambos os experimentos foram satisfatórios, evidenciando que a concepção, testes e aplicação do Sistema de Posicionamento Local usando Imagens (SPLI) foram efetivados com sucesso.

ABSTRACT

With advances in technology and miniaturization of electronic devices, such as GPS and accelerometers, and means for wireless data transmission, it has become common the use of these systems for telemetry training in dry sports with long distances in open or closed facilities. However for training in the swimming pool, or aquatic field, most systems used for analysis of swimming technique are based on visual supervision (by coach), or sensor-based systems, or yet using techniques in which athletes are linked directly to the measuring apparatus by means of wire.

The solution proposed in this work, the “Sistema de Posicionamento Local usando Imagens” - SPLI (Local Positioning System using Images), is a system aimed to measure the kinematic variables without physical connection to the swimmer using regular USB camera footage, in real time. Using real-time processing, the results can be analyzed immediately beside the pool, or saved for later analysis.

The proposed system was implemented in hardware and software through the LabView development platform from National Instruments and the evaluation of system performance was conducted through laboratory experiments (miniature pool) and in real situations (25m pool).

Several displacements, around some centimeters, were evaluated in the miniature pool. We calculated the lowest circumference which can be identified by the system and this value was 4 pixels radius corresponding to a marker of 0.72 cm in diameter in the real world simulation. For the real pool of 25 meters tests, which was filmed in perspective, the system calculated the displacement of the athlete during his trajectory. The search for the swimmer’s position was done using the change of luminance and the system calculated, correctly, a displacement of 25 m.

The measurement of the kinematic variables through a system without connection has the advantage of allowing the athlete to move freely without interference. Another advantage would be the easiness to follow long term training or tests, an important feature since the athlete's performance during execution may vary, being different from the initial period of measurement which is used by current evaluating systems.

The results of both experiments were satisfactory, showing that the design, implementation and testing of Local Positioning System (LPS) using Images were conducted successfully.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das vantagens entre sensores de imagens CMOS E CCD. Adaptado de Bigas (2005).....	12
Tabela 2: Posicionamento dos marcadores na medida direta e em perspectiva.....	44
<i>Tabela 3: Posicionamento dos marcadores na lateral e centro da piscina para a imagem direta e em perspectiva.</i>	<i>44</i>
Tabela 4 Posicionamento dos marcadores no centro e lateral da piscina para imagem em perspectiva.	46
Tabela 5: Dados coletados no mundo real na imagem direta.	54
Tabela 6: Dados coletados no mundo dos pixels na imagem em perspectiva.	54
Tabela 7: Medidas realizadas na lateral da piscina (imagem direta) e foram usados os pontos 45 e 50 cm e no centro os pontos 32,5 e 27,5 cm.	55
Tabela 8: Medidas realizadas na lateral da piscina (imagem em perspectiva) e foram usados os pontos 45 e 40 cm e no centro os pontos 32,5 e 27,5 cm.....	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Áreas da Biomecânica para análise do movimento humano. Fonte: (BAUMANN, 1992).....	3
FIGURA 2 - Comparação entre os três modos de precisão de um sistema usando GPS. Adaptado do site www.garmin.com	5
FIGURA 3 - Velocímetro para medir a velocidade do nadador. Imagem cedida pela CBDA.	8
FIGURA 4 - Foto mostrando a cinta presa à cintura da nadadora, a seta indica o fio de conexão Imagem cedida pela CBDA.....	9
FIGURA 5 - Detalhe do rastro do fio cortando a água (mostrado pela seta) enquanto a atleta se afasta do velocímetro. Imagem cedida pela CBDA.....	9
FIGURA 6 - Programa SignalFrame-An da SportMetrics. Imagem cedida pela CBDA.	10
FIGURA 7 - Sensor fotodiodo e seus componentes. (a) um único sensor, (b) uma linha de sensores, (c) um matriz de sensores. Fonte (GONZALEZ, 2003).	13
FIGURA 8 - Arquitetura básica de um pixel sensor de imagem passivo CMOS. Adaptado Thewissen (2001).....	14
FIGURA 9 - Configuração gerador de imagem por pixel CMOS ativo baseado em fotodiodo. Adaptado Thewissen (2001).....	14
FIGURA10 - Convenção de eixos coordenados usado no modo indireto. Fonte: Gonzalez (2003).....	17
FIGURA11 - Um pixel e sua vizinhança (pixels que estão juntos lateralmente). Figura adaptada (Klinger, 2009).....	19
FIGURA12 - Parâmetros fundamentais de um sistema de imagem. Figura adaptada (Manual Vision Concepts, 2003).	22
FIGURA13 - Projeção em perspectiva de um círculo. Figura adaptada (Heikkilä, 1997).....	23
FIGURA14 - Foto da piscina modelo em perspectiva.	24
FIGURA15 - Foto da imagem da piscina em perspectiva corrigida.....	24
FIGURA16 - Exemplo de uma máscara 3 x 3 aplicada no pixel central (x, y). Adaptado. Fonte: Gonzalez, 2003.....	29
FIGURA17 - Modelo de borda com região de transição de um pixel de largura. Fonte Jain, 1989.....	31
FIGURA18 - Exemplo de calibração com grelha. (a) imagem após correção da perspectiva; (b) imagem em perspectiva. Fonte National Instruments.....	33
FIGURA 19 - Direção dos eixos em um sistema de coordenadas. Fonte National Instruments.....	34
FIGURA 20 - Configuração da calibração. Fonte National Instruments.	35
FIGURA 21 - Modelo de piscina criada para os experimentos em laboratório. O retângulo em amarelo está mostrado em detalhes na FIGURA 22.	39
FIGURA 22 - Detalhe da régua na figura 21.	39

FIGURA 23 - Imagens da piscina de simulação. Em (a) de forma direta e em (b) em perspectiva.....	40
FIGURA 24 - Posicionamento da câmera perpendicular ao plano da piscina. Foto tirada pelo autor.	41
FIGURA 25 - Foto da piscina de simulação com a grelha de pontos para calibração da imagem. De lado a régua milimetrada para medir distâncias. Foto da piscina em perspectiva.....	42
FIGURA 26 - Os dez pontos usado para teste do sistema. Medida direta.	45
FIGURA 27 - Os dez pontos usado para testes do sistema. Imagem em perspectiva.	47
FIGURA 28 - Plataforma de trabalho do software NI Vision mostrando o resultado da aplicação do "Script" para localização do nadador. FONTE National Instruments.	49
FIGURA 29 - Reprodução de uma imagem a ser processada.	50
FIGURA 30 - "Script" que será executado na imagem.....	50
FIGURA 31 - Imagem corrigida.	51
FIGURA 32 - Distribuição da luminância ao longo da linha verde na FIGURA 30.	52
FIGURA 33 - Valores do posicionamento do marcador encontrados no experimento dinâmico.....	56
FIGURA 34 - Valores do posicionamento do nadador encontrados no experimento em piscina real.	58
FIGURA 35 - Valores da velocidade do nadador encontrados no experimento em piscina real.	58
FIGURA 36: Tela do programa do Sistema de Posicionamento Local.....	59
FIGURA 37 - Cópia do parecer do comitê de ética da Universidade Federal de Minas Gerais.....	70
FIGURA 38 - Diagrama de blocos de um circuito eletrônico para o aparelho de temporização automático. Fonte: (MORLEU,1968).....	73
FIGURA 39 - Vista de plano de cima do aparelho de exercício. Fonte: (ANDREWS, 1973).	75
FIGURA 40 - Aparelho para medir a pressão diferencial na mão do nadador. Fonte: (Havriluk, 1987).	77
FIGURA 41 - Piscina com fluxo de água para treinamento. Fonte: (HAUBER, 1947)	78
FIGURA 42 - Dispositivo de retenção para uso como auxílio em treinos de natação. Fonte: (WHITLING, 1980).	80
FIGURA 43 - Dispositivo de treinamento para a natação consistindo de um poste com uma carga variável presa ao nadador. Fonte: (Hopper, 1975).	81
FIGURA 44 - Ilustração do aparelho. Fonte (Bernacki, 1995).	83
FIGURA 45 - Exemplo de uso do dispositivo de "pace" sonoro e programável. Fonte (Milley, 1999).....	85
FIGURA 46 - Dispositivo para treinamento com um display visual. US PAT. 6,033,228. Fonte: (Landim, 2000). Em A uma vista do atleta. Em B vista do óculos.	86

FIGURA 47 - Sistema de medição de velocidade patenteado com contato físico, PATENT Nº 6,086,379. Fonte (Pendergast, 2000).....87

LISTA DE SIGLAS

AC	Alternating Current
CBDA	Confederação Brasileira de Desportos Aquáticos
DC	Direct Current
DLT	Direct Linear Transformation
DOT	Departament of Transportation
FAA	Federal Aviation Administration
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
SNR	Signal to Noise Ratio
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia
WAAS	Wide Area Augmentation System
CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor

1 INTRODUÇÃO

1.1 Treinamento e tecnologia

O termo “treinamento” é utilizado em geral como “exercício”, cuja finalidade é o aperfeiçoamento em uma determinada área (WEINECK, 2003). O treinamento esportivo visa de maneira planejada à melhoria do rendimento físico. Para Weineck (2003, p18),

“O treinamento esportivo, bem como o esporte para recondicionamento da saúde, visam de maneira planejada, a melhoria do rendimento físico. O termo planejado é usado em um contexto em que o objetivo, o método, o processo e a organização do treinamento foram previamente estabelecidos, sendo a execução do treinamento controlada e seus efeitos/resultados avaliados regularmente através de testes de modo que os objetivos visados sejam atingidos”.

O esporte hoje é um empreendimento interdisciplinar que pode englobar diversos ramos como a engenharia, eletrônica, biomecânica, ciência dos materiais, psicologia, cinesiologia, medicina, nutrição dentre outros.

O desenvolvimento de novos equipamentos para suprir as necessidades de acompanhamento do treinamento em ambientes abertos e com grande distâncias é hoje o foco de grandes empresas de tecnologia, mas a natação tem sido deixada de lado e o presente projeto foi desenvolvido para diminuir esta lacuna.

1.2 Utilização de equipamentos de acompanhamento na natação

O acompanhamento do nadador durante a execução dos exercícios é de vital importância no desenvolvimento do atleta em qualquer nível (SLAWSON et al., 2008) tanto para análise do rendimento (DAVEY, 2004; DIGERONIMO, 2010; ARRELLANO, 2004; SEIFERT, 2007; TOUSSAINT, 1992;), quanto para evitar o treinamento excessivo (LEHMANN, 1997). O sobre-treinamento é uma síndrome caracterizada pela fadiga associada ao baixo desempenho físico. Especificamente pode ser definida como um desequilíbrio entre o treinamento, a competição e a recuperação. (LEHMANN, 1997, VANCINI, 2000).

Evitar o sobre-treinamento é uma das principais preocupações dos técnicos no dia a dia da equipe e o meio aquático apresenta uma barreira para utilização de

equipamentos elétrico-eletrônicos. O meio aquático oferece ao equipamento elétrico/eletrônico um risco de curto circuito em caso de contato da água com o circuito do equipamento. A presença de íons na água podem torna-la condutora danificando os equipamentos utilizados nas medições. Quando equipamentos como os acelerômetros são acoplados ao corpo do atleta, uma boa isolamento deve providenciada.

1.3 Objetivos do estudo

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver um sistema com base em imagens (sem nenhuma ligação física com o atleta) para monitoramento do desempenho dos atletas de natação enquanto eles estiverem treinando ou em competições on-line usado assim como, desenvolver a interdisciplinariedade entre os laboratórios do NEPEB (Núcleo de Estudos e pesquisa em Engenharia Biomédica) e o LEAT-A (Laboratório de Engenharia de Alta Tensão e Aplicações).

Os objetivos específicos foram:

- Implementar o hardware do sistema
- Desenvolver o software em LabView
- Desenvolver e implementar técnicas de processamento de imagens para estimar a posição do atleta na piscina.
- Avaliação do sistema em ambiente controlado em piscina miniatura.
- Aplicação em piscina real.

1.4 Organização do texto

Este capítulo apresentou uma breve revisão de como as tecnologias são utilizadas para o acompanhamento do treinamento físico de atletas, suas dificuldades e propostas de estudo. O capítulo 2 faz uma revisão do uso da biomecânica e suas aplicações. No capítulo 3 é feita uma descrição detalhada da formação da imagem eletrônica, do funcionamento do olho humano e das ferramentas usadas no projeto. O capítulo 4 descreve como a pesquisa foi desenvolvida no laboratório e na piscina real, o protocolo e os cuidados tomados quanto à confiabilidade dos testes. O capítulo 5 apresenta os resultados encontrados na simulação e no experimento real. Logo a seguir é feita uma

discussão destes resultados no capítulo 6. Por fim no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e propostas para estudos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A biomecânica é uma disciplina entre as ciências que se ocupa de análises físicas de movimentos do corpo humano (AMADIO, 2007).

Segundo Baumann (1992) a biomecânica pode ser dividida em 4 principais áreas. Na FIGURA 1 são mostrados as áreas e os principais métodos usados. Este trabalho está inserido na cinemetria, pois o objetivo é localizar o posicionamento do corpo no espaço de uma piscina, utilizando filmagem, para que sejam mostrada a cinemática do nado em gráficos e imagens.

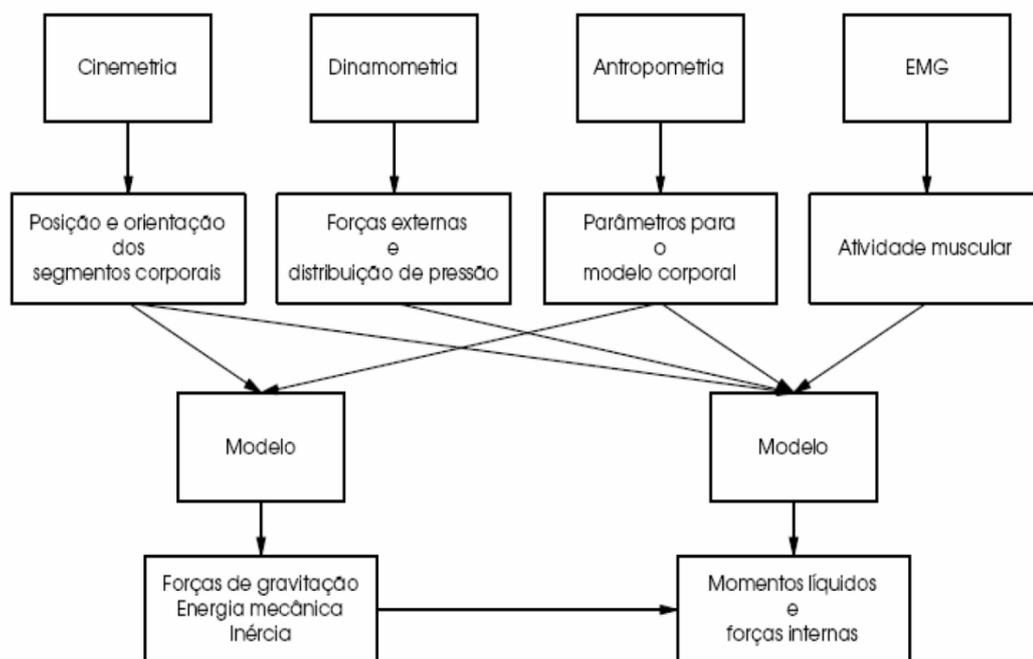


FIGURA 1 - Áreas da Biomecânica para análise do movimento humano. Fonte: (BAUMANN, 1992).

Krabbe citado por Amadio (2007) apresenta que, devido à especificidade de cada técnica de movimento no esporte, é necessário, desenvolver um sistema específico para a análise meta. Isso implica na escolha e definição de variáveis apropriadas para encontrar o diagnóstico correto que descreve o movimento.

Pela especificidade do treinamento a busca por metodologias específicas

para melhorar o rendimento, principalmente no esporte, é uma constante. As componentes chaves para um efetivo programa de treinamento incluem mecanismos de instrução do nado, programas de treinamento de longo prazo, técnicas de treinamento projetadas para desenvolver determinada característica e técnicas de avaliação para diagnose e instrução.

A importância da avaliação do desempenho físico do ser humano no campo da atividade esportiva vem se constituindo numa área de conhecimento científico de grande influência na preparação física e no controle do treinamento (PELLEGRINOTTI, 2002).

Para Allen H. a importância de um sistema de monitoramento permanente tem as seguintes características:

Percepção do relacionamento quantidade com resposta do atleta.

Histórico completo dos treinamentos

Conhecimento do tempo em diferentes níveis de esforço conseguidos.

Conhecimento do que é preciso fazer para realizar as metas de treinamento.

O estudo da eficiência na natação tem envolvido o uso de equipamentos caros e especializados (WATKINS, 1982). Com o avanço das tecnologias e da miniaturização dos equipamentos eletrônicos como o Global Positioning System (GPS) e acelerômetros (MALKINSON, 2009 e DAVEY,2009) e sistemas de transmissão de dados com conexão por ondas de rádio, tem-se tornado comum o uso desses sistemas para a telemetria do treinamento em esportes em ambiente seco e com longas distâncias percorridas em ambientes abertos ou fechados, mas com uma visão direta do céu (HEDLEY, 2010). Porém, em relação ao treinamento na piscina, ou meio aquático, a maioria dos sistemas usados para análise da técnica do nado são baseados na supervisão visual (pelo treinador), por sistemas com sensores (LE SAGE, 2010), ou ainda com utilização de técnicas onde os atletas estão ligados diretamente ao equipamento de medida por meio de um cabo (PENDERGAST, 2000).

O GPS tem duas limitações: a necessidade de uma visada do céu (não funciona quando a piscina é coberta) e o erro de posição estimada. Nestes equipamentos este erro é normalmente de 100 m podendo ser diminuído com

disponibilidade seletiva de acordo com o programa de governo dos Estados Unidos. Nestas áreas o erro pode ser de 15 metros.

Na América do Norte está sendo desenvolvido o *Wide Area Augmentation System* (WAAS). Este sistema, que é uma cooperação entre a *Federal Aviation Administration* (FAA) e o *Department of Transportation* (DOT) para uso do GPS com precisão, corrige o erro causado pelos distúrbios da ionosfera, passando o erro do equipamento a ser menor ou igual do que 3 m em 95% do tempo (Manual Garmin). Ainda assim, é um erro que não pode ser desprezado já que para uma piscina de 25 m, este erro corresponde a 12%. Na FIGURA 2 é mostrado em proporção o que representa as faixas de erro em que o sistema de GPS pode trabalhar. O sistema WAAS não está disponível para a América Latina.

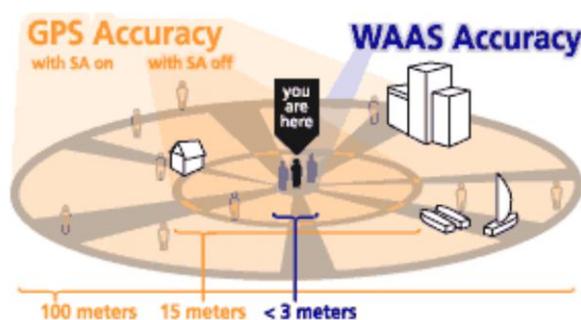


FIGURA 2 - Comparação entre os três modos de precisão de um sistema usando GPS. Adaptado do site www.garmin.com.

Diferentemente do GPS os acelerômetros são mais usados para identificar o estilo de nado (NAKASHIMA, 2010) que está sendo praticado e não a sua posição instantânea.

Citando a pesquisa de Ohgi (2002) os acelerômetros são presos no pulso e a informação obtida gravada em um "Data Logger". O sistema desenvolvido mede a aceleração do pulso nos três eixos durante uma hora de treinamento de natação para determinar a fadiga do nadador. De acordo com os autores da metodologia os tempos de transição e as fases das braçadas podem ser identificadas.

Essas limitações levaram a procurar outra solução que faz parte deste estudo.

2.1 Patentes de equipamentos para o treinamento esportivo em natação.

Nos últimos 60 anos tem-se procurado desenvolver vários equipamentos para monitorar a atividade física dentro da piscina. Foram escolhidas 10 patentes para mostrar como as invenções para apoio do treinamento foram desenvolvidas. No anexo B foi feito um resumo detalhando melhor o equipamento e seu funcionamento.

A primeira invenção patenteada listada foi chamada de “Electronic Swim timer Controlled by Touch Pad in Swim Lane” de 1968, anexo B1, e descrita aqui é um dispositivo eletrônico para sinalizar os tempos de finalização ao toque dos atletas no fim de suas competições, independente do tempo de reação dos juízes de prova. Além dos tempos de chegada este dispositivo também controla a saída indicando quando um atleta faz a saída do bloco antes de ter sido dado o sinal de partida. O sistema de falsa partida pode ser usado em corridas de “medley” e dá uma mudança de estado “incorreto” quando em um estágio subsequente da corrida de revezamento o atleta deixa o bloco de partida antes do nadador do estágio anterior ter completado o seu estágio tocando a placa no fim da corrida.

A invenção patenteada e chamada de “Bench for Simulating and Developing Swimming Movements” de 1973, anexo B2, é um banco de treinamento que poderia simular com razoável precisão uma piscina em ambiente seco, dando ao atleta a possibilidade de treinar em períodos que estivesse afastado da piscina.

A seguir foi inventado um aparelho para medir a diferença de pressão entre as costas e a palma da mão chamado de “Method and Apparatus of Measuring Swimming Technique” de 1987, anexo B3.

A primeira invenção patenteada cronologicamente foi chamada de “Swimming Pool” datada de 1947, anexo B4, vem a ser uma piscina onde o movimento da água substitui o movimento do atleta. O objetivo da invenção foi criar uma piscina compacta e barata, mas visando a recreação. O treinamento nesta piscina serve como complemento em lugares que não existam piscinas em tamanho oficial e não tem como objetivo o treinamento de técnicas ou aperfeiçoamento da natação em si, pois não é a água que movimenta em competições.

Outra invenção para treinamento sem deslocamento do atleta na natação e chamada de “Restraint particularly Suited for Use as an Aquatic Training Aid” de 1980, anexo B5, é um receptáculo preso à parede da piscina no qual o atleta apoia a cabeça e nada contra a parede, tendo seu movimento seria impedido pelo aparelho. A força exercida pelo nadador seria medida por um transdutor instalado no eixo do

equipamento.

A seguir faremos uma pesquisa pelas patentes que visam o controle da carga. A invenção chamada de “Swimmer Training Device” de 1975, anexo B6, é um poste onde um cabo preso ao nadador levanta uma carga variável à medida em que for nadando e este cabo exercerá uma força contrária ao seu movimento. Esta carga pode ser variada mudando-se os pesos presos ao cabo.

O aparelho a seguir chamado de “Swim Instruction, Training and Assessment Apparatus” de 1995, anexo B7, é um dispositivo conectado a um sistema computacional por meio de telemetria no qual um cabo preso por arreios ao nadador passa informação do rendimento da natação ao técnico. Fazem parte do programa alguns modelos de treinamento que podem ser seguidos.

A próxima invenção é de um sistema de ritmo chamado de “Programmable Audible Pacing Device” de 1999, anexo B8, em que um sistema audível é preso à borracha do óculos e próximo ao ouvido.

A invenção do anexo B9 chamada de “Swimmer’s Training Method with a Visual Display” de 2000, anexo B9, é composta por um módulo preso à cintura do atleta no lado submerso. A água ao passar pelo módulo movimenta um rotor e este movimento do rotor é magneticamente acoplado a um sensor que gera um pulso de frequência que varia de acordo com a velocidade do nadador. Esta velocidade é passada aos óculos por meio de um fio.

O último sistema patenteado descrito é chamado de “System and Method for Training a Swimmer” de 2000 e imaginado por Pendergast no anexo B10. O sistema é um medidor associado a um computador, onde é medida a velocidade, a velocidade de pico, média e mínima porém acoplado ao atleta por um cabo. Parte desta invenção é a metodologia mais aplicada atualmente.

Outros pesquisadores têm desenvolvido outras formas de monitorar a natação em tempo real. Le Sage em 2010 publicou um sistema de monitoramento da natação por meio de uma rede sem fios chamada de Wireless Sensor Network (WSN) que usa um sistema microprocessado onde um acelerômetro é preso às costas do nadador e os valores do acelerômetro são alimentados em tempo real a um filtro Butterworth, juntamente com uma câmera sincronizada com os dados enviados. O resultado é mostrado em uma tela em computadores portáteis ou não.

2.2 Patentes usadas em treinamento

Das invenções descritas, poucas são utilizadas para verificação do rendimento esportivo. Nos treinamentos em altitude da seleção Brasileira de natação em Sierra Nevada na Espanha foi utilizado um sistema de monitoramento do nado, similar ao descrito na patente de Pendergast do ano de 2000

Vemos na FIGURA 3 uma foto de um velocímetro, o fio de conexão com o atleta e a cinta azul que deve ser presa na cintura do nadador para medir sua velocidade enquanto se afasta do equipamento.



FIGURA 3 - Velocímetro para medir a velocidade do nadador. Imagem cedida pela CBDA.

. A biomecânica tem usado equipamentos com conexão física para o acompanhamento da cinemática do nado (PENDERGAST, 2000; PUSSIELD, 2001).

A FIGURA 4 mostra uma nadadora na posição inicial do teste. A seta na figura esta apontando para o cabo que faz a ligação entre o equipamento e a atleta.

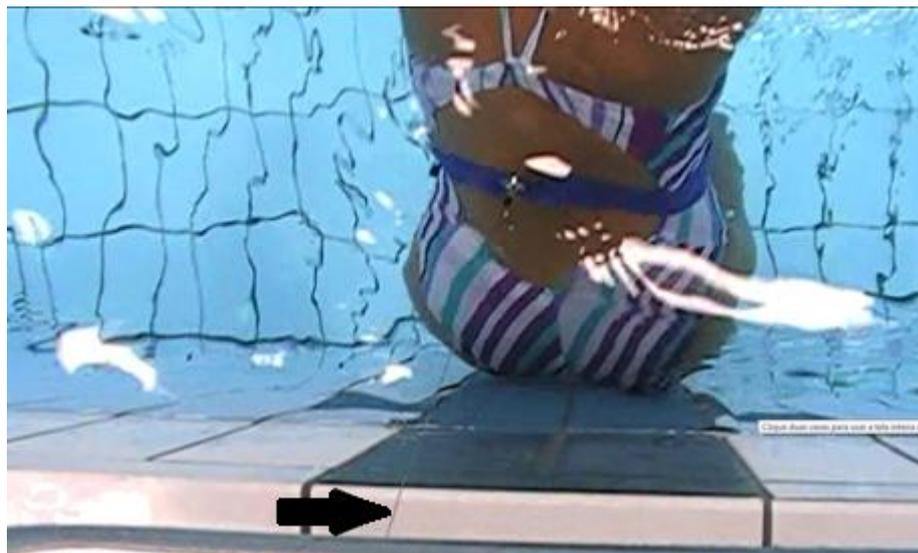


FIGURA 4 - Foto mostrando a cinta presa à cintura da nadadora, a seta indica o fio de conexão
Imagem cedida pela CBDA.

A FIGURA 5 é um instantâneo após a largada e percebe-se o rastro deixado pelo fio ao ricochetear na água.

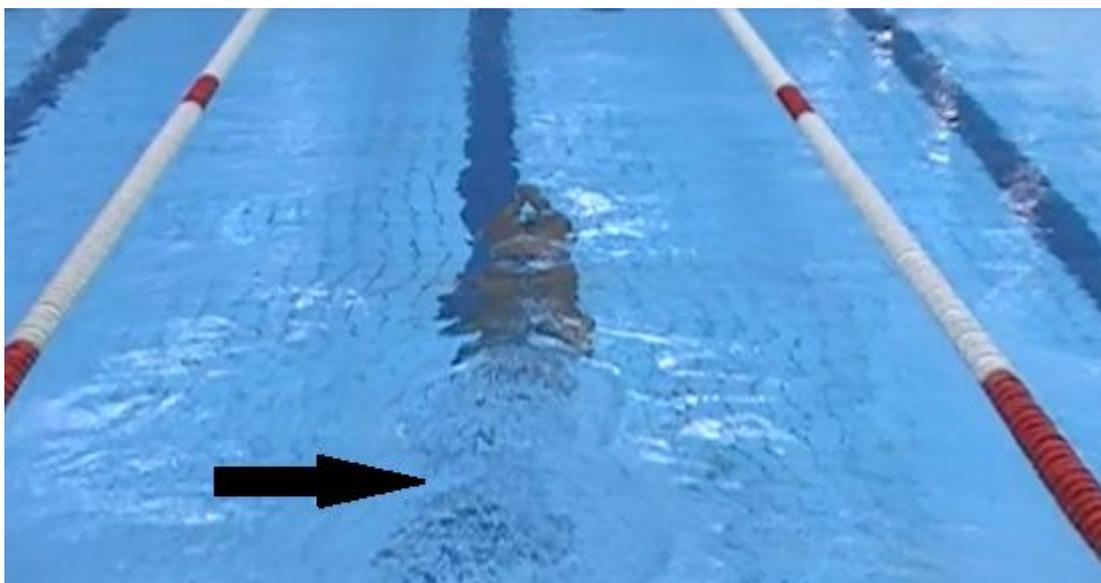


FIGURA 5 - Detalhe do rastro do fio cortando a água (mostrado pela seta) enquanto a atleta se afasta do velocímetro. Imagem cedida pela CBDA.

O primeiro problema é que o fio que faz a ligação do atleta ao velocímetro não pode exercer nenhuma força oposta ao movimento do atleta sob o risco de modificar a trajetória do atleta em movimento. E é exatamente pela falta de pressão que, quando o atleta completa a sua trajetória e volta, o fio fica solto perdendo então os dados cinemáticos. A análise fica restrita a uma distância menor que o comprimento

da piscina, implicando que o tempo de análise fica limitado a aproximadamente 12 seg. tempo gasto para um atleta percorrer uma trajetória da piscina. Neste equipamento testes de longa distância não podem ser executados.

O segundo problema é a limitação do número de atletas que podem ser analisados em um equipamento. Com a presença do fio, é necessário que apenas um atleta seja analisado por vez necessitando um longo período para analisar um grande número de atletas.

O terceiro problema é o preço, pois estes equipamentos são importados e caros, dificultando a aquisição de vários equipamentos por clube.

A FIGURA 6 mostra a tela do Programa *SignalFrame-An da SportMetrics*, disponível em <http://www.sportmetrics.net>, que mostra em sua tela os seguintes dados: duas janelas para inserção de filmes (dois canais), uma janela mostrando a curva da velocidade (em vermelho), tempo total da medição, o tempo mostrado pela linha preta vertical na janela do gráfico, valor da velocidade, em m/s e a aceleração em m/s^2 no instante mostrado pelo cruzamento da linha vertical preta com a linha vermelha.

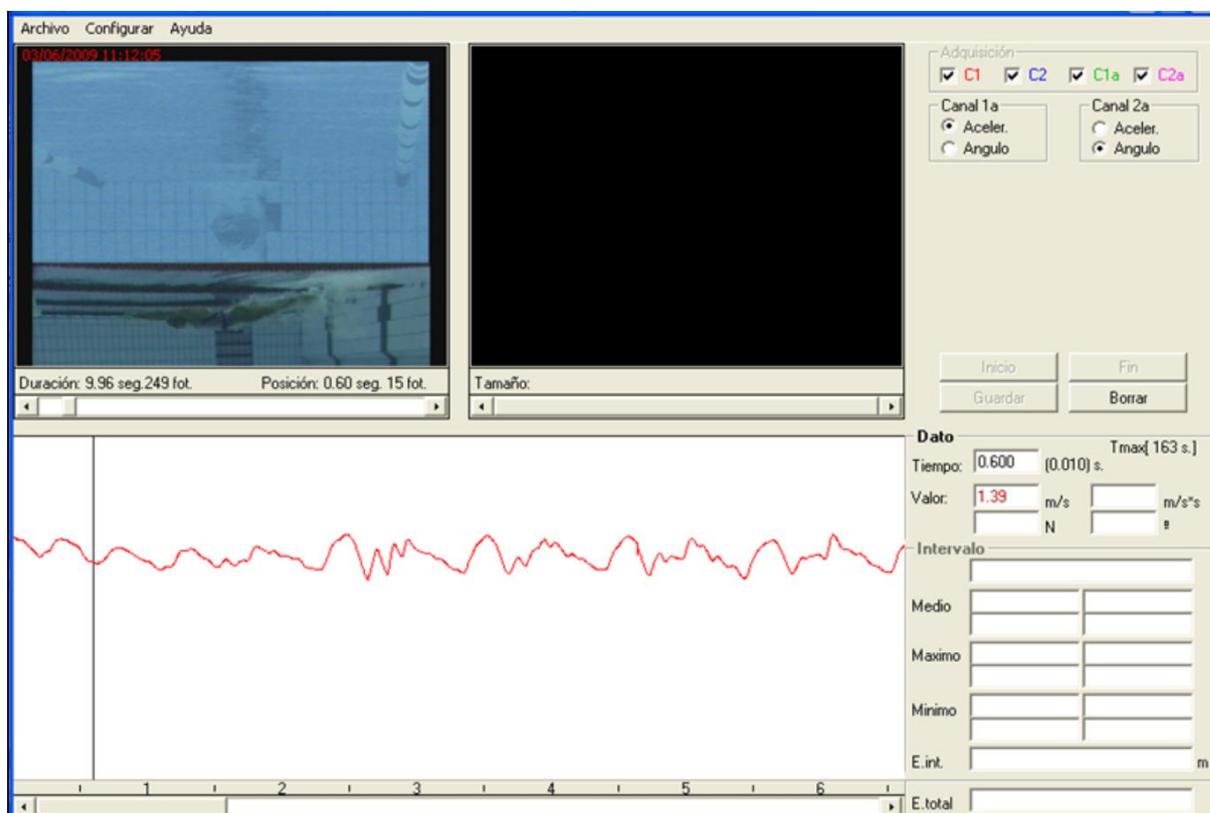


FIGURA 6 - Programa SignalFrame-An da SportMetrics. Imagem cedida pela CBDA.

Este sistema do velocímetro pode ser sincronizado com outra câmera (como na FIGURA 6) para filmagem e posterior simultaneamente ao nado ou posteriormente (CRAIG, 2000) da técnica de nado. Mas esta câmera não serve para calcular a posição do atleta e sim para mostrar a técnica de execução do nado sincronizado com a cinemática mostrado no gráfico.

3 A IMAGEM

Parte fundamental do projeto é entender com uma imagem se forma no sensor das câmeras.

3.1 Imagem eletrônica

3.1.1 Formação da imagem eletrônica

Processamento digital de imagens em câmeras se inicia com o recebimento de sinais elétricos gerados por sensores que são distribuídos justapostos um ao lado do outro em retângulos ou quadrados no mesmo plano e cada sensor é referenciado como em uma matriz, na direção x e na direção y , e então processados por computador.

A primeira geração de tecnologia de imagem em estado sólido foi o Coupled Charge Device (CCD) e logo após seguiu-se o Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS) (FOSSUM, 1997). Os sensores de imagem por CMOS apresentam várias vantagens com respeito aos CCD tais como baixo consumo de potência, operação em tensões mais baixas, funcionalidade e baixo custo apesar de gerarem mais ruídos e serem menos sensíveis que os CCD (BIGAS, 2006).

Tabela 1: Resumo das vantagens entre sensores de imagens CMOS E CCD. Adaptado de Bigas (2005).

CCD	CMOS
Baixo ruído	Baixo consumo de potência
Tamanho de pixel menor	Única fonte de tensão
Corrente mais baixa no nível preto	Alta capacidade de integração
Fator de preenchimento 100%	Baixo custo
Alta sensibilidade	Menor sensibilidade
Obturador eletrônico sem artefatos	Acesso aleatório

A Figura 7a mostra componentes de um simples sensor CCD, um fotodiodo construído de silício cuja tensão de saída é proporcional à quantidade de luz (JÄHNE, 2002). A FIGURA 7b mostra uma linha de sensores e a FIGURA 7c mostra

uma matriz de sensores para formação de imagens em duas dimensões. Este formato é o preferencial em câmeras digitais com matriz CCD (GONZALEZ, 2003).

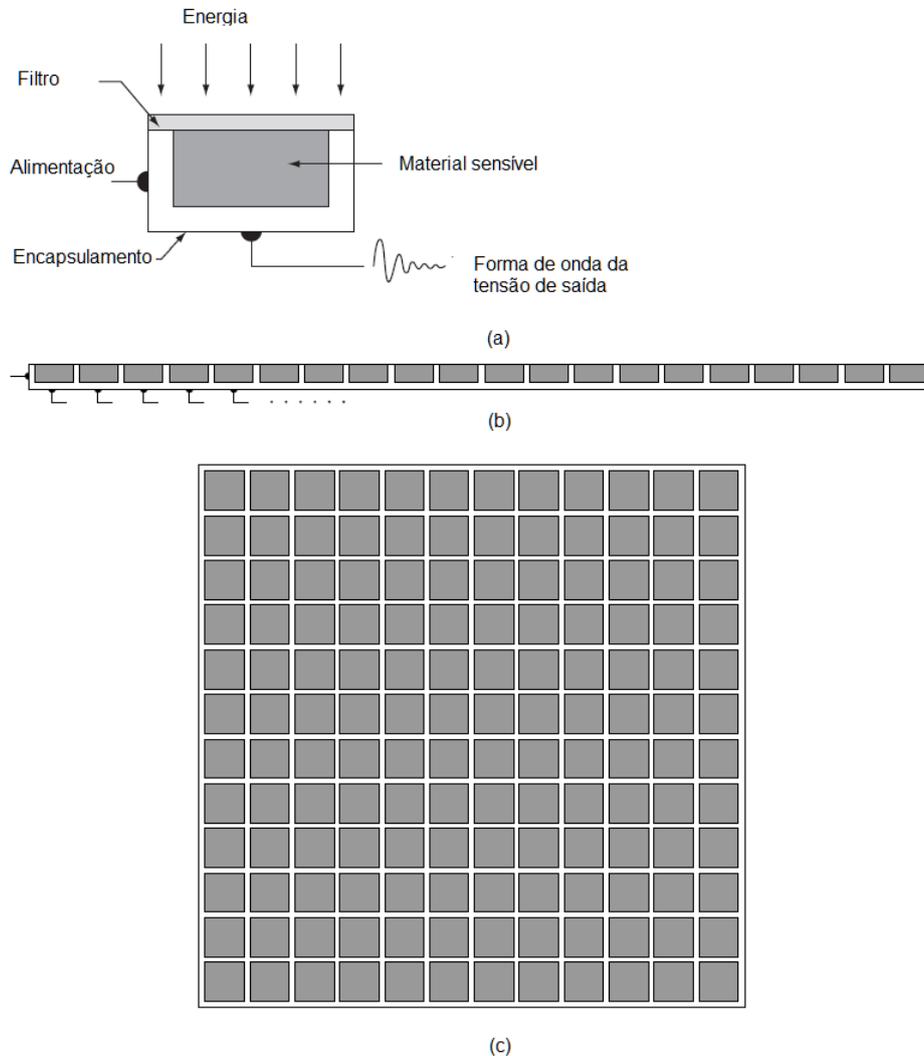


FIGURA 7 - Sensor fotodiodo e seus componentes. (a) um único sensor, (b) uma linha de sensores, (c) um matriz de sensores. Fonte (GONZALEZ, 2003).

O gerador de imagens por um Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS), i.e., Semicondutor Metal-Óxido Complementar é construído como uma matriz de fotodiodos, cada qual contém um transistor MOS agindo como uma chave. As arquiteturas usadas dos fotodiodos são: “Passive Pixel Sensor” (PPS) e “Active Pixel Sensor” (APS).

O gerador de imagens com pixels passivos (um único diodo) é limitado em sua atuação devido a níveis relativamente alto de ruídos e uma figura padrão de ruído fixa, particularmente causados pela baixa capacitância do fotodiodo que é

conectado a uma linha de leitura do sensor com grande capacitância. Um estágio chaveado eletronicamente dentro de cada pixel limita o ruído e a figura padrão do ruído (FIGURA 8).

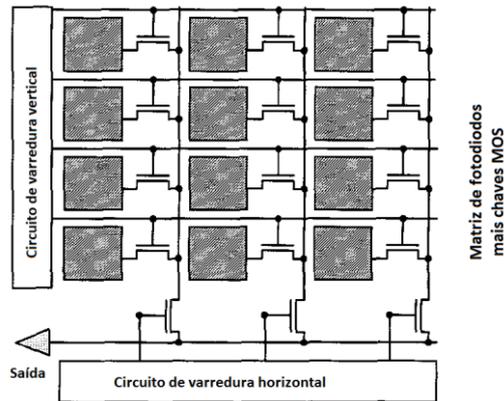


FIGURA 8 - Arquitetura básica de um pixel sensor de imagem passivo CMOS. Adaptado Thewissen (2001)

A arquitetura do sensor de pixel ativo (APS) é muito similar ao sensor de pixel passivo (PPS). A FIGURA 9 mostra a conversão pelo sensor de pixel ativo usando um fotodiodo e a informação da leitura do fotodiodo é da mesma forma que é feita no CC; a carga é transportada da área foto sensível por meio da porta de transferência (RS).

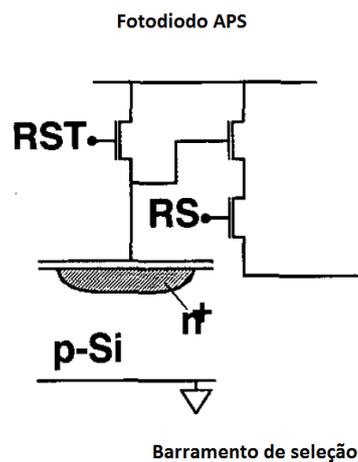


FIGURA 9 - Configuração gerador de imagem por pixel CMOS ativo baseado em fotodiodo. Adaptado Thewissen (2001).

Para gerar uma imagem digital em duas dimensões é necessária uma representação da distribuição espacial da irradiação em um plano, neste caso, o

sensor (FIGURA 7c). A irradiação é o fluxo radiante que incide em uma superfície por unidade de área e medida em watts por metro quadrado (w/m^2). Matematicamente falando, a irradiação que incide nos sensores em uma distribuição espacial é descrita como uma função contínua de duas variáveis espaciais (JÄHNE, 2002):

$$f = (x, y) \quad (1)$$

A equação 1 é caracterizada por duas componentes: 1) a quantidade de iluminação incidente na cena sob o campo de vista, e 2) a quantidade de iluminação refletida pelo objeto na cena. Estes fatores são chamados de iluminação e refletância e são denotados por $i(x, y)$ e $r(x, y)$. Estas duas funções combinam para produzir a forma de $f(x, y)$.

$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y) \quad (2)$$

Teoricamente temos que:

$$0 < i(x, y) < \infty \quad (3)$$

e

$$0 < r(x, y) < 1 \quad (4)$$

A equação 3 mostra que a iluminação é limitada por 0 lumens por metro quadrado (lm/m^2) (escuro total) e por infinito (sensor saturado) Nos dias claros, o sol pode produzir a quantidade de $90.000 lm/m^2$ de iluminação na superfície da terra a valores em torno de $10.000 lm/m^2$ nos dias nublados. Em noites claras a lua pode produzir $0,1 lm/m^2$ de iluminação e a iluminação típica de escritórios está em torno de $1.000 lm/m^2$. A Eq. 4 mostra que a refletância é limitada por 0 (absorção total) e 1 (refletância total). Valores típicos de refletância para materiais são: veludo preto 0,65, e para o aço 0,80. Para uma parede pintada de branco é igual a 0,90 (GONZALEZ, 2003).

3.1.2 Amostragem e Quantização

3.1.2.1 Amostragem

Para converter uma imagem analógica em digital, é feita uma amostragem com respeito ao eixo x , eixo y e também na amplitude, ou seja, cada valor amostrado representa uma variação da potência de iluminação sobre uma pequena região da imagem plana. Em cada caso a informação é reduzida a um único número. Um modo comum de amostrar uma imagem é varrê-la fila por fila até completar a imagem (JAIN, 1989).

Para Gonzalez (2003) as amostras são vistas como uns pequenos quadrados brancos superpostos a uma função (a imagem).

O desafio da amostragem é transformar uma imagem contínua em imagem discreta evitando a perda de informação entre intervalos de amostras e também a introdução de artefatos. A teoria de amostragem (Nyquist) elabora as condições sobre as quais um sinal pode ser amostrado e reconstruído com precisão, sujeito apenas às inevitáveis perdas de detalhes (POYNTON, 1989, pag. 44).

O principal fator determinante da resolução espacial de uma imagem é a amostragem. A resolução espacial é o menor detalhe que pode ser percebido por unidade de distância, por exemplo, 100 linhas por milímetro. Também é determinada pelo número de linhas e colunas que a imagem possui (GONZALEZ, 2003).

3.1.2.2 Quantização

Na digitalização o passo seguinte da amostragem de uma imagem é a quantização. Um quantizador mapeia uma variável contínua u em uma variável discreta u' , que tem valores de um conjunto finito $\{r_1, r_2, \dots, r_L\}$ de números. Este mapeamento é geralmente uma função degrau e a regra da quantização é a seguinte: Definimos $\{t_k, k = 1, \dots, L + 1\}$ como um conjunto de transições ou níveis de decisão com t_1 e t_{L+1} como os valores mínimo e máximo respectivamente de u . Se u está no intervalo $[t_k, t_{k+1})$ então ele é mapeado como r_k , o k -ésimo nível de reconstrução (JAIN, 1989).

O efeito da quantização a um número finito discreto de níveis de amplitude é equivalente a adicionar ruído de quantização aos níveis ideais de um sinal quantizado, e assim, diminuir a relação SNR (POYNTON, 2003).

3.1.3 Representação de Imagens Digitais

Um fator importante na produção de imagens digitais é sua fidelidade na representação de uma imagem real. Para JAIN (1989, PAG. 4),

“A frequência de amostragem (número de pixels por unidade de área) tem que ser grande o suficiente para preservar a informação útil de uma imagem. Ela é determinada pela largura de banda da imagem. Por exemplo, a largura de banda da varredura horizontal em televisão é em geral 4 MHz (Sistema Pal N). Da teoria de amostragem, requer uma frequência de amostragem de no mínimo 8 MHz (frequência de Nyquist). Quantização de uma imagem é a conversão analógica para digital da imagem amostrada para um número finito de níveis de cinza.”

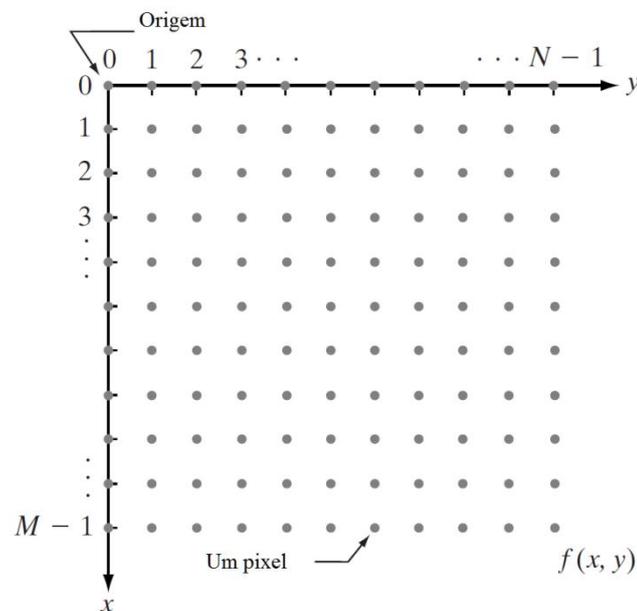


FIGURA10 - Convenção de eixos coordenados usado no modo indireto. Fonte: Gonzalez (2003).

O resultado da amostragem e quantização é uma matriz de números reais. Usando a FIGURA 10 como referência, os pontos representam pixels. Assim, valores na coordenada na origem são $(x, y) = (0, 0)$. O primeiro pixel na primeira

coluna da imagem é representado como $(x, y) = (0, 1)$. Isso significa que este ponto está representando a segunda amostra na primeira coluna.

Usando esta notação podemos escrever uma imagem digital completa da forma $M \times N$ na seguinte forma de matriz.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N - 1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M - 1,0) & f(M - 1,1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

O lado direito da equação 5 é por definição a imagem digital. Cada elemento desta matriz é chamado de elemento de imagem ou pixel.

O processo de digitalização requer uma decisão sobre os valores de M , N e do número L , os níveis de cinza discretos permitidos para cada pixel. Não há pré-requisitos para M e N , a não ser de serem números positivos e inteiros. Por considerações de hardware, o número de níveis de cinza é um múltiplo da potência de 2. Assim temos:

$$L = 2^k \quad (6)$$

É assumido que os níveis discretos são igualmente espaçados e que eles são inteiros no intervalo $[0, L-1]$.

3.1.4 Relações Básicas entre Pixels

3.1.4.1 Vizinhança de um pixel

Na FIGURA11 a imagem possui uma resolução de 12 pixels no eixo x por 10 pixels no eixo dos y , ou seja, uma imagem de 12×10 pixels de resolução. Um pixel tem 8 pixels vizinhos. O pixel 1 tem 4 vizinhos dois na horizontal $(x + 1, y)$ e $(x - 1, y)$ e 2 na vertical; $(x, y + 1)$ e $(x, y - 1)$ chamados de $N_4(p)$ cada pixel com uma unidade de distância. Os quatro pixels na diagonal; $(x + 1, y + 1)$, $(x + 1, y - 1)$, $(x - 1, y + 1)$ e $(x - 1, y - 1)$ formam quatro vizinhos e são chamados de $N_D(p)$ que junto com os outros 4 vizinhos formam um grupo de 8 pixels vizinhos chamados de $N_8(p)$

O sistema de eixos indiretos é mostrado na FIGURA11 (y na direção inversa).

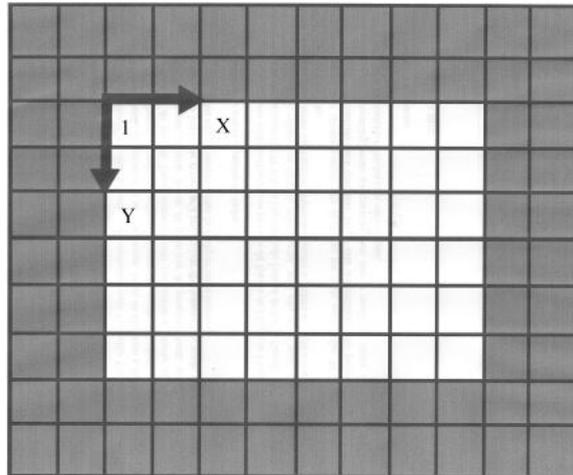


FIGURA11 - Um pixel e sua vizinhança (pixels que estão juntos lateralmente). Figura adaptada (Klinger, 2009).

3.1.4.2 Conectividade, Adjacência, Regiões e Fronteiras

O entendimento de conectividade entre pixels simplifica vários conceitos de imagem digital. Para estabelecer que dois pixels estejam conectados, devemos determinar se eles são vizinhos e se eles satisfazem o critério de similaridade de seus níveis de cinza. Ou seja, se os níveis de cinza dos pixels são similares.

Seja V o conjunto de valores da escala de cinza usados para definir adjacência. Para adjacência temos que explicar os três tipos:

- (1) 4 adjacência. Quando dois pixels p e q com valores de V são 4 adjacentes se q está no conjunto $N_4(p)$.
- (2) 8 adjacência. Quando dois pixels p e q com valores de V são 8 adjacentes se q está no conjunto $N_8(p)$.
- (3) m adjacência. Dois pixels p e q com valores de V são m adjacentes se:
 - (i) q está no $N_4(p)$.
 - (ii) q está no $N_D(p)$ e o conjunto $N_4(p) \cap N_4(q)$ e estes pixels não têm valores que pertençam a V .

Um caminho (curva) digital do pixel p com coordenadas (x, y) até o pixel q com coordenadas (s, t) é uma sequência de pixels distintos com coordenadas $(x_0, y_0, (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ onde $(x_0, y_0) = (x, y)$ e $(x_n, y_n) = (s, t)$, e os pixels (x_i, y_i) e (x_{i-1}, y_{i-1}) são adjacentes por $1 \leq i \leq n$. Nesse caso n é o comprimento do caminho. Se

$(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ então temos um caminho fechado.

Seja R um subconjunto de uma imagem. R é chamado de uma região da imagem se R está conectado a um conjunto. A fronteira (também chamada de borda ou contorno) de uma região R é o conjunto de pixels dentro da região que tem um ou mais vizinhos que não estão em R .

3.1.5 Medindo distâncias

Para pixels p , q e z , com coordenadas (x, y) , (s, t) , (v, w) , respectivamente, D é a função distância ou métrica se:

(1) $D(p, q) \geq 0$ então $D(p, q) = 0$, se somente se, $p = q$,

(2) $D(p, q) = D(q, p)$, e

(3) $D(p, z) \leq D(p, q) + D(q, z)$

A distância Euclidiana entre os pontos p e q é definido como:

$$D(p, q) = [(x - s)^2 + (y - t)^2]^{1/2} \quad (7)$$

Para esta medida de distância, os pixels tendo um distância menor ou igual a algum valor de r de (x, y) são pontos contidos em um disco de raio r centrado em (x, y) .

3.1.6 Operações com imagem na base de pixels

Quando nos referimos a uma operação como “dividir uma imagem por outra”, queremos especificamente significar que a divisão é realizada entre pixels correspondentes nas duas imagens. Assim, por exemplo, se f e g são imagens, o primeiro elemento da imagem formada da “divisão” de f por g é simplesmente o primeiro pixel em f dividido pelo primeiro pixel em g ; naturalmente, é assumido que nenhum pixel em g tenha o valor zero. Outras operações são similarmente definidas entre pixels correspondentes nas imagens envolvidas.

3.1.6.1 Operações lineares e não lineares

Seja H um operador cuja entrada e saída são imagens. H é dito um operador linear se, para qualquer das duas imagens f e g e quaisquer dois outros escalares a e b temos;

$$H(af + bg) = aH(f) + bH(g) \quad (8)$$

Em outras palavras, o resultado de aplicar um operador linear à soma de duas imagens (que podem ser multiplicadas por uma constante como mostrado) é idêntico a aplicar o operador às imagens individualmente, multiplicando pela constante apropriada, e depois somá-las. Se o resultado destas operações for igual, podemos dizer que o operador é linear. Uma operação que falha no teste da eq. 8 é por definição não linear.

3.1.7 Parâmetros externos à câmera.

Com relação à aquisição de imagens, além da configuração interna do sensor, características externas são de importância fundamental para o sucesso da aquisição. Iluminação, vibração, controle, fixação da peça e condições ambientais são componentes chaves na condição de aquisição de uma imagem durante todo o procedimento de captura.

Na FIGURA12 são definidos os seguintes parâmetros para maiores detalhes:

1. Resolução.

A menor característica do objeto que o sistema pode distinguir.

2. Campo de visão.

O menor número de pixels necessários para representar um objeto.

3. Distância de trabalho.

A distância entre a frente da lente da câmera e o objeto sob observação.

4. Tamanho do sensor.

O tamanho da área ativa de um sensor, tipicamente definida como a dimensão horizontal do sensor.

5. Profundidade do campo.

A profundidade máxima que permanece em foco.

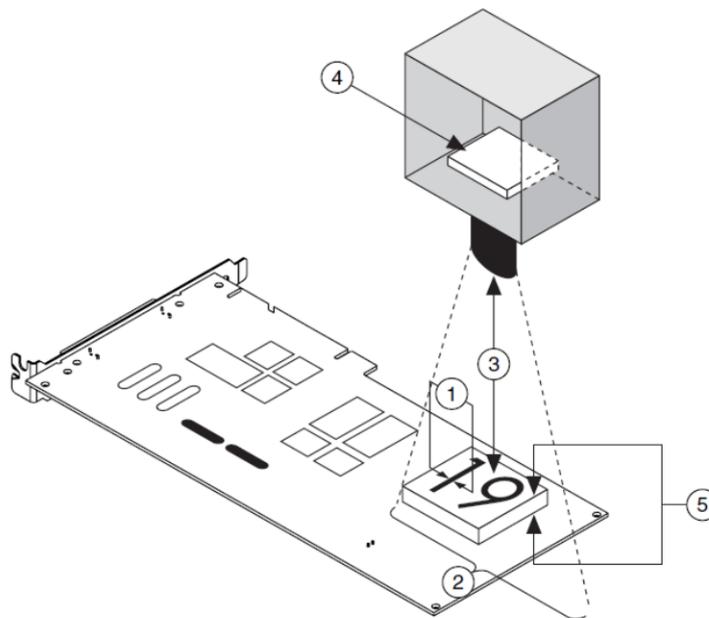


FIGURA12 - Parâmetros fundamentais de um sistema de imagem. Figura adaptada (Manual Vision Concepts, 2003).

A câmera FIREFLY-MV oferece o recurso de inserir nos primeiros pixels da imagem sobreposta à imagem uma representação do tempo em uma palavra de 64 bits chamada de “*Timestamp*”.

O *timestamp* é gerado a partir do relógio do computador e as imagens capturadas tem inseridos em seus primeiros bits quatro bits da representação do tempo.

3.1.8 Correção de uma imagem em perspectiva

Segundo o INMETRO no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) 2009 calibração é:

Operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidas por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas, numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando à obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação (VIM, pág. 25, 2009).

De forma geral tornou-se comum na literatura dizer que o ajuste de uma imagem se chama calibração. Termo que será usado daqui para frente significando de correção da imagem em perspectiva.

Segundo Heikkilä existem duas formas de uma imagem ser captada: de forma direta ou em perspectiva, podendo ter ou não distorções e estas distorções serem lineares ou não lineares.

Com relação à FIGURA13, uma imagem direta ocorre quando o eixo da imagem é perpendicular ao eixo da câmera (plano Π_2) e não necessita de correções se as distorções forem desprezíveis. Também as linhas não sofrem distorção na imagem no plano em perspectiva. Objetos com duas ou três dimensões são distorcidos se o plano em que se encontram não são coplanares (plano Π_1) com o plano da imagem (HEIKKILÄ, 1997).

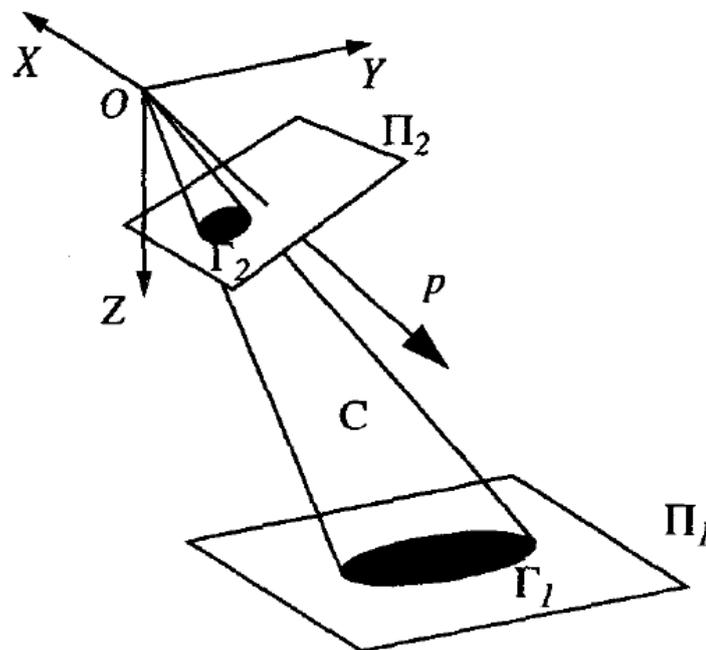


FIGURA13 - Projeção em perspectiva de um círculo. Figura adaptada (Heikkilä, 1997).

Na FIGURA14 temos um exemplo de imagem em perspectiva antes de ser corrigida. Neste momento devemos inserir as coordenadas no mundo real para que o programa faça a correção da imagem e passe a medir as distâncias em valores do mundo real.

Para este caso, o local dos pontos em pixels:

Ponto 1 (69, 417); ponto 2 (567, 419); ponto 3 (126, 150) e ponto 4 (543, 148).

E os valores dos pontos no mundo real em centímetros:

Ponto 1 (0, 35,4); ponto 2 (43,4, 0,0); ponto 3 (0, 0) e ponto 4 (43,8, 34,8).

Na FIGURA15 a imagem corrigida. Podem-se perceber os quatros pontos usados como pontos conhecidos para ajuste da imagem.

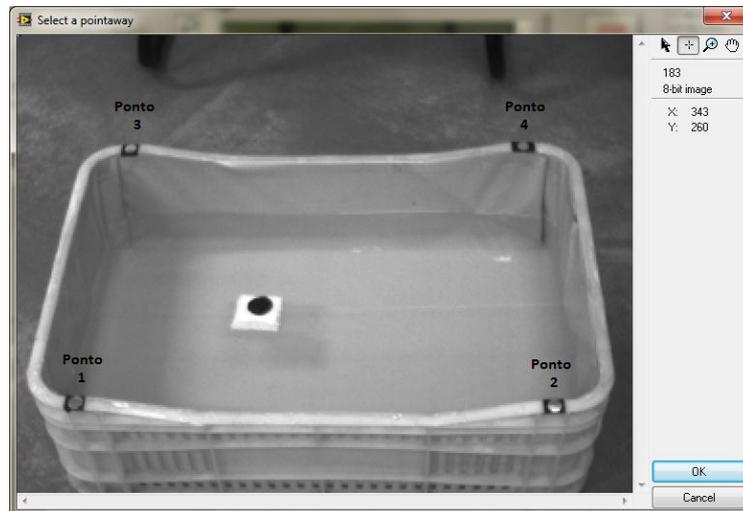


FIGURA14 - Foto da piscina modelo em perspectiva.

A nova imagem parece agora deformada em primeira vista, mas apresenta, por exemplo, as paredes da piscina retas. O traçado de um retângulo auxiliar em verde na FIGURA 15 dá uma ideia melhor do ajuste da figura.

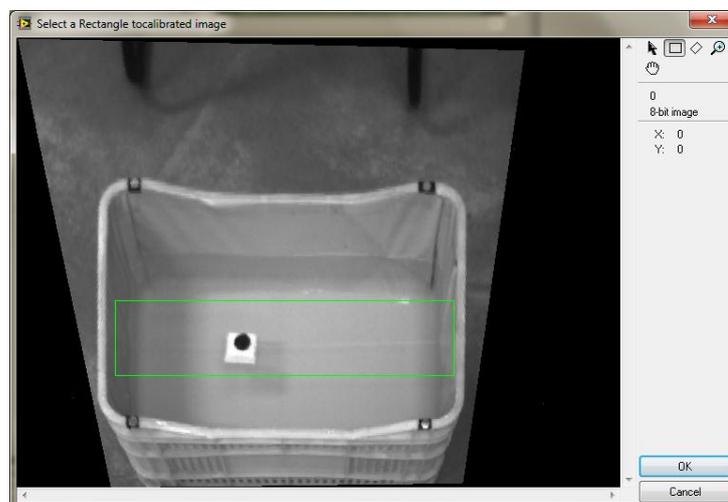


FIGURA15 - Foto da imagem da piscina em perspectiva corrigida.

Com o ajuste destes pontos o programa corrige a imagem e passa a dar os valores de deslocamento em valores no mundo real

.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema de Posicionamento Local (LPS) utilizando imagens é um sistema para supervisão da cinemática do nado em tempo real. Sua principal característica é a não intrusão no movimento do atleta, já que não há contato físico entre o equipamento e o nadador, sendo assim, o técnico pode acompanhá-lo no sentido de ter suas informações gravadas em meio computacional não apenas durante vinte segundos (em média) da arrancada do nado, mas por todo o período do treinamento. O desenvolvimento ocorreu em duas áreas diferentes: hardware e software.

4.1 Escolha do hardware

Para o Hardware é sugerida a utilização do seguinte sistema para um bom rendimento, mas outras configurações podem ser utilizadas:

- Um sistema computacional com um processador Intel® Core™ i5-600, com 4 Giga bytes de memória DDR3 DRAM e portas USB 2.0.
- Camera FireFly-M da Point Grey Research com 1,3 MP Color Firefly MV USB 2.0 Câmera, 1/3-Inch CMOS.

A escolha da câmera partiu pela necessidade de adquirir um equipamento de baixo custo e fácil instalação à beira da piscina. Entre as opções de uma câmera de alta velocidade estão as câmeras FireWire e as câmeras USB 2.0, pois atualmente, estas possuem taxa de transferência de 480 Mbits (Manual FireFly-MV, 2009).

As câmeras USB possuem uma vantagem em relação às câmeras Firewire quando usadas com notebooks. Os conectores Firewire quando estão presentes em laptops não possuem a saída de fonte de alimentação incorporada, sendo necessário o uso de um repetidor para levar a alimentação até a câmera. Este procedimento além de trabalhoso demanda também um custo adicional ao uso do equipamento.

Outras características que motivaram o uso da câmera:

- Obturador Global. Pixels com Fotodiodos com leitura e integração simultânea.

- Controle de auto-exposição automática. Assegura auto-configuração para o obturador e ganho para cada imagem.
- Frequência de quadros mais rápida de até 60 (sessenta) FPS.
- Ganho e brilho. Ajuste de ganho e nível de preto por um Conversor A/D de 10 bits.
- Canais de memória. Armazenamento da configuração de partida da câmera por memória não volátil.

Outros materiais necessários para os experimentos são:

- Cronômetro Accusplit EAGLE Modelo 602M100 precisão de centésimos de segundo.
- Trena com graduação em milímetros.
- Lente distância focal 8 mm.
- Tripé girafa WS-505
- Piscina miniatura (53 cm x 32 cm x 18 cm).

Para o experimento em piscina real foi utilizada uma câmera Cannon DSC-HX1. A justificativa para a substituição da câmera no experimento real foi testar a ideia fazendo o processamento off-line, localização do atleta pela distribuição da luminância e utilizando uma câmera de filmagem convencional. As dificuldades encontradas no teste em piscina real que motivaram usar uma câmera diferente serão discutidas posteriormente.

4.2 Escolha do software.

Para o desenvolvimento do software foi utilizada a plataforma LabVIEW 2010 da National Instruments. O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica e suas principais aplicações são realização de medidas e a automação. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem a vantagem para a aquisição de dados e sua manipulação. Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (VI).

Sua metodologia de programação é baseada em blocos de funções que são os Sub-VI's e cada programa é composto por painel frontal que contém a interface e pelo diagrama de blocos, que contém o código gráfico do programa. O programa não é processado por um interpretador, mas sim compilado. Deste modo, o seu desempenho é comparável à exibida pelas linguagens de programação de alto nível. A linguagem gráfica do LabVIEW é chamada "G" (<http://www.ni.com/labview>).

O LPS é capaz de localizar um marcador elíptico ou circular preso ao corpo do nadador e determinar sua posição na imagem fazendo sua transformação para o mundo real simultaneamente enquanto o treino é executado.

4.2.1 Procedimentos básicos de software.

O termo domínio espacial se refere a um agregado de pixels que compõe uma imagem. Processos no domínio espacial são procedimentos que operam diretamente nestes pixels e são escritos como:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (9)$$

Onde $f(x, y)$ é a imagem de entrada, $g(x, y)$ é a imagem processada e T é um operador em f definido sobre alguns vizinhos de (x, y) .

A principal aproximação para definir uma vizinhança sobre um ponto (x, y) é usar uma área de sub-imagem quadrada ou retangular centrada em (x, y) como mostrado na FIGURA16. A sub-imagem é chamada de filtro ou máscara e os valores em uma sub-imagem são conhecidos como coeficientes.

O processo consiste de mover a máscara de ponto a ponto em uma imagem. Em cada ponto (x, y) , a resposta do filtro naquele ponto é calculada usando uma pré-determinada relação.

O operador T é aplicado a cada locação (x, y) para fornecer a saída g , naquela locação. O processo atua somente nos pixels na área da imagem gerada pela vizinhança.

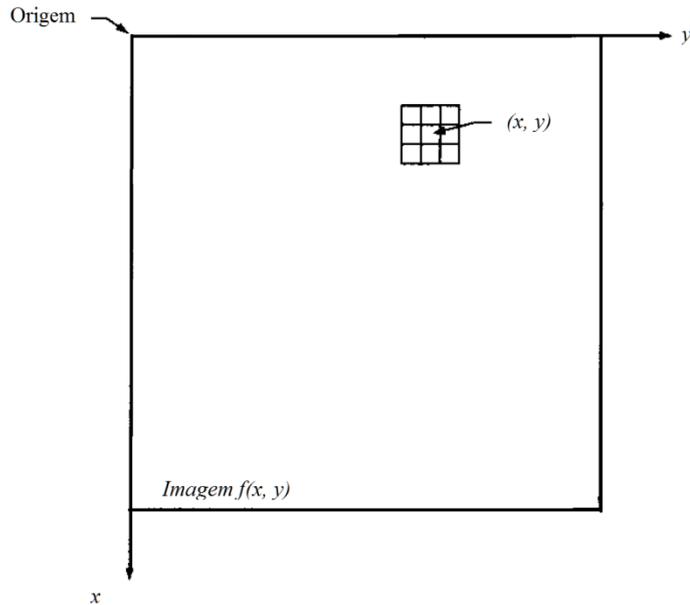


FIGURA16 - Exemplo de uma máscara 3 x 3 aplicada no pixel central (x, y) . Adaptado. Fonte: Gonzalez, 2003.

Basicamente, uma máscara é uma matriz 2-D tal como a da FIGURA16 na qual os valores dos coeficientes da máscara determinam a natureza do processo.

O Histograma

O histograma de uma imagem fornece informação útil para fazer realce e análise da imagem. Em uma imagem em preto-e-branco revela a distribuição dos níveis de cinza. É representado por um gráfico que dá o número de pixels para cada nível de cinza na imagem. Fazendo a variável aleatória u representar um nível cinza em uma dada região da imagem.

$$p_u(x) \triangleq Prob[u = x] \simeq \frac{\text{Número de pixels com nível de cinza } x}{\text{Número total de pixels na região}} \quad (10)$$

$$x = 0, 1, \dots, L-1$$

Os recursos mais comuns do histograma $p_u(x)$ são seus primeiro e segundo momentos que são definidos a seguir.

$$\begin{aligned}
 \text{m\u00e9dia} = m_1 \qquad m_1 = E[u] &= \sum_{x=0}^{L-1} x_i p_u(x) \\
 & \quad (x) i = 1, 2, \dots
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\text{vari\u00e2ncia} = \mu_2 \qquad \mu_2 = E\{[u - E(u)]^2\} = \sum_{x=0}^{L-1} (x - m_1)^2 p_u(x) \tag{12}$$

$$\text{dispers\u00e3o} = \hat{\mu}_1 \qquad \hat{\mu}_1 = E[|u - E(u)|] = \sum_{x=0}^{L-1} |x - m_1| p_u(x) \tag{13}$$

Um histograma de baixa amplitude indica uma regi\u00e3o de baixo contraste. A vari\u00e2ncia pode ser usada para medir a varia\u00e7\u00e3o local nas amplitudes.

O desvio padr\u00e3o enfatiza bordas fortes e a dispers\u00e3o extrai as estruturas de bordas finas na imagem. A m\u00e9dia, mediana e moda extraem recursos de baixa frequ\u00eancia espacial (JAIN, 1989, p\u00e1g. 345).

Detec\u00e7\u00e3o de bordas

Bordas caracterizam fronteiras e s\u00e3o informa\u00e7\u00f5es \u00fateis para segmenta\u00e7\u00e3o, registro e identifica\u00e7\u00e3o de objetos em cena. Podemos pensar na borda como sendo um lugar em que um pixel tem uma mudan\u00e7a abrupta na escala de cinza.

Considere um modelo de borda cuja regi\u00e3o tem uma largura de um pixel (FIGURA17). Para detectar a presen\u00e7a de uma borda na posi\u00e7\u00e3o P, calculamos o gradiente como:

$$g_1(m, n) \triangleq \hat{u}_f(m, n - 1) - \hat{u}_b(m, n + 1) \tag{14}$$

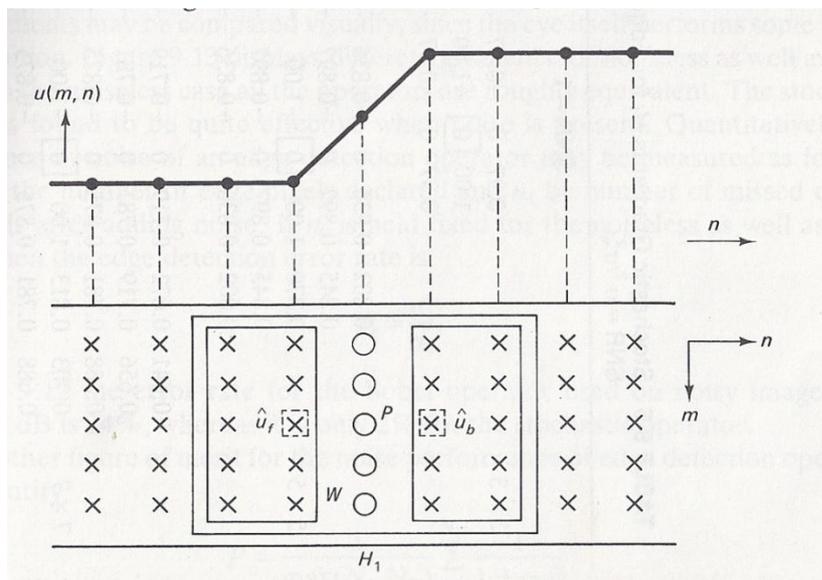


FIGURA17 - Modelo de borda com região de transição de um pixel de largura. Fonte Jain, 1989.

onde, $\hat{u}_f(m, n)$ e $\hat{u}_b(m, n)$ são as estimativas dos valores de $u(m, n)$ nos pixels à direita e esquerda respectivamente.

Localizando o objeto.

A presença de um objeto conhecido (gabarito) em cena pode ser detectada pelo casamento entre o gabarito $u(m, n)$ e a cena $v(m, n)$. A metodologia usada para achar um gabarito, “template”, pelo software é a correlação cruzada normalizada. O mecanismo subjacente para a correlação esta baseado em uma série de operações de multiplicação que resultam em reduzir o tempo total de computação.

A correspondência com o gabarito pode ser conduzida pela procura do deslocamento de $u(m, n)$, onde a incompatibilidade da energia é mínima. Para um deslocamento (p, q) é definida a incompatibilidade de energia $\sigma_n^2(p, q)$:

$$\begin{aligned}
 \sigma_n^2(p, q) &\triangleq \sum_m \sum_n [v(m, n) - u(m - p, n - q)]^2 \\
 &= \sum_m \sum_n |v(m, n)|^2 \\
 &\quad + \sum_m \sum_n |u(m, n)|^2 - 2 \sum_m \sum_n v(m, n)u(m - p, n - q)
 \end{aligned} \tag{15}$$

Para que $\sigma^2(p, q)$ tenha um valor mínimo é suficiente maximizar a correlação cruzada:

$$C_{vu}(p, q) \triangleq \sum_m \sum_n v(m, n)u(m - p, n - q), \quad \forall(p, q) \quad (16)$$

Da desigualdade Cauchy-Schwarz nos temos:

$$\begin{aligned} |C_{vu}| &= \left| \sum_m \sum_n v(m, n)u(m - p, n - q) \right| \\ &\leq \left[\sum_m \sum_n |v(m, n)|^2 \right]^{1/2} \left[\sum_m \sum_n |u(m, n)|^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (17)$$

Que a igualdade ocorre se e somente se, $v(m, n) = \alpha u(m-p, n-q)$, onde α é uma constante arbitrária e pode ser igual a 1. Isto significa que a correlação cruzada $C_{vu}(p, q)$ obtém o valor máximo, ou seja, o deslocamento de posição do gabarito coincide com a imagem observada. Então nós obtemos:

$$C_{vu}(p, q) = \sum_m \sum_n |v(m, n)|^2 > 0 \quad (18)$$

O máximo ocorre quando a imagem observada e o gabarito são espacialmente sobrepostos.

Definindo áreas de procura.

Dois fatores que definem o sucesso de um algoritmo de localização de um padrão são: velocidade e precisão. Uma Região de Interesse (ROI) é a parte da imagem a ser processada com vistas a acelerar o processamento.

No LabVIEW existem várias ferramentas para seleção de uma ROI em uma imagem. Estas ferramentas permitem selecionar pontos, linhas além de contornos com polígonos, retângulos, anéis circulares e ovais. No projeto três modos, de seleção de ROI são usados. Seleção de pontos, linhas e retângulos. Para cada modo de seleção existiu uma razão para sua aplicação. A seleção de pontos como

ROI foi usada para marcar o eixo x na borda da piscina e assim calcular o ângulo dela em relação à horizontal. Também foi usada para marcar os quatro pontos para o processo de calibração e para a conversão para mundo real sendo informados os valores das coordenadas no mundo real. A seleção de ROI usando um retângulo foi usada para limitar a área de procura do marcador, quando se procurava uma circunferência em uma área menor do que a imagem completa..

A aplicação da seleção de áreas de ROI diferentes dentro de uma imagem da piscina é uma ferramenta importante quando se quer examinar nadadores em raiais diferentes. Selecionando várias ROI dentro de uma piscina cria a possibilidade de fazer a análise de mais de um nadador separado, pois cada um estará separado por ROI diferentes.

Processo de calibração

O processo de calibração de uma imagem em perspectiva e sem distorção não linear se faz de duas formas. Uma com quatro pontos conhecidos e outra com uma grelha de circunferências¹ (FIGURA 18). Neste caso, com a distância (unidades do mundo real) entre o centro de massas das circunferências na direção x e na direção y devem ser conhecidos para realizar o processo de calibração.

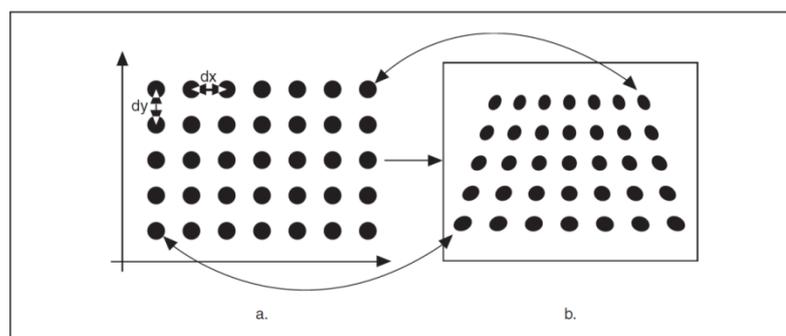


FIGURA18 - Exemplo de calibração com grelha. (a) imagem após correção da perspectiva; (b) imagem em perspectiva. Fonte National Instruments.

¹ Nota do autor. Apesar de ser explicado o processo de calibração usando uma imagem em grelha para facilitar o entendimento e no processo de calibração ter usando uma imagem de grelha (FIGURA 26) a calibração foi realizada usando os quatros pontos da extremidade da grelha e seus respectivos valores no mundo real.

O software de calibração gera um mapa de erro que estima o pior caso quando uma coordenada em pixel é transformada para mundo real. Para definir um sistema de coordenadas no mundo real, devemos definir um sistema de coordenadas, ou seja, sua origem, ângulo e direção dos eixos. A origem expressa em pixels define o centro do sistema de coordenadas. O ângulo especifica a orientação do sistema de coordenadas com respeito ao eixo horizontal. O software de calibração determina que a direção do eixo horizontal esta alinhado com a fileira superior da grelha de pontos de forma direta (FIGURA 19).

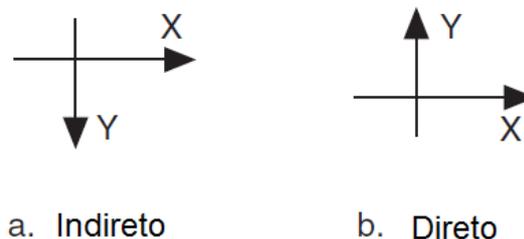


FIGURA 19 - Direção dos eixos em um sistema de coordenadas. Fonte National Instruments.

O eixo vertical é pré-determinado como indireto e o lado superior da piscina contém a origem e o eixo x.

Converter mundo do pixel para mundo real

O processo de calibração requer uma lista de pixels conhecidos mapeados no mundo real para calcular as informações de calibração na imagem toda.

Se os pontos da imagem focalizada tiverem coordenadas no mundo real, por exemplo em metros, o programa dará os resultados das distâncias na imagem em metros. Para fazer a conversão para o mundo real é preciso inserir as coordenadas no mundo real no painel de controle do programa.

Na FIGURA 20 temos: (1) Espaçamento entre Centros de Massa. (2) Centro de massa de um ponto da grelha e (3) distância entre bordas dos pontos.

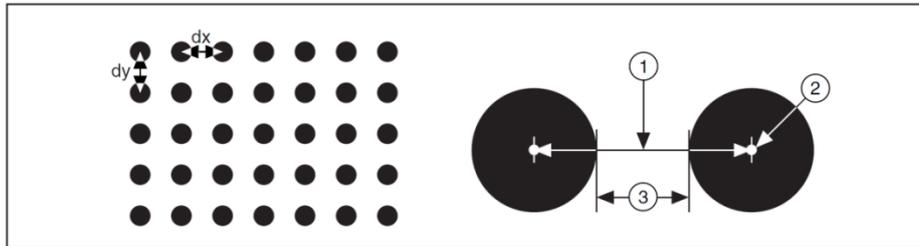


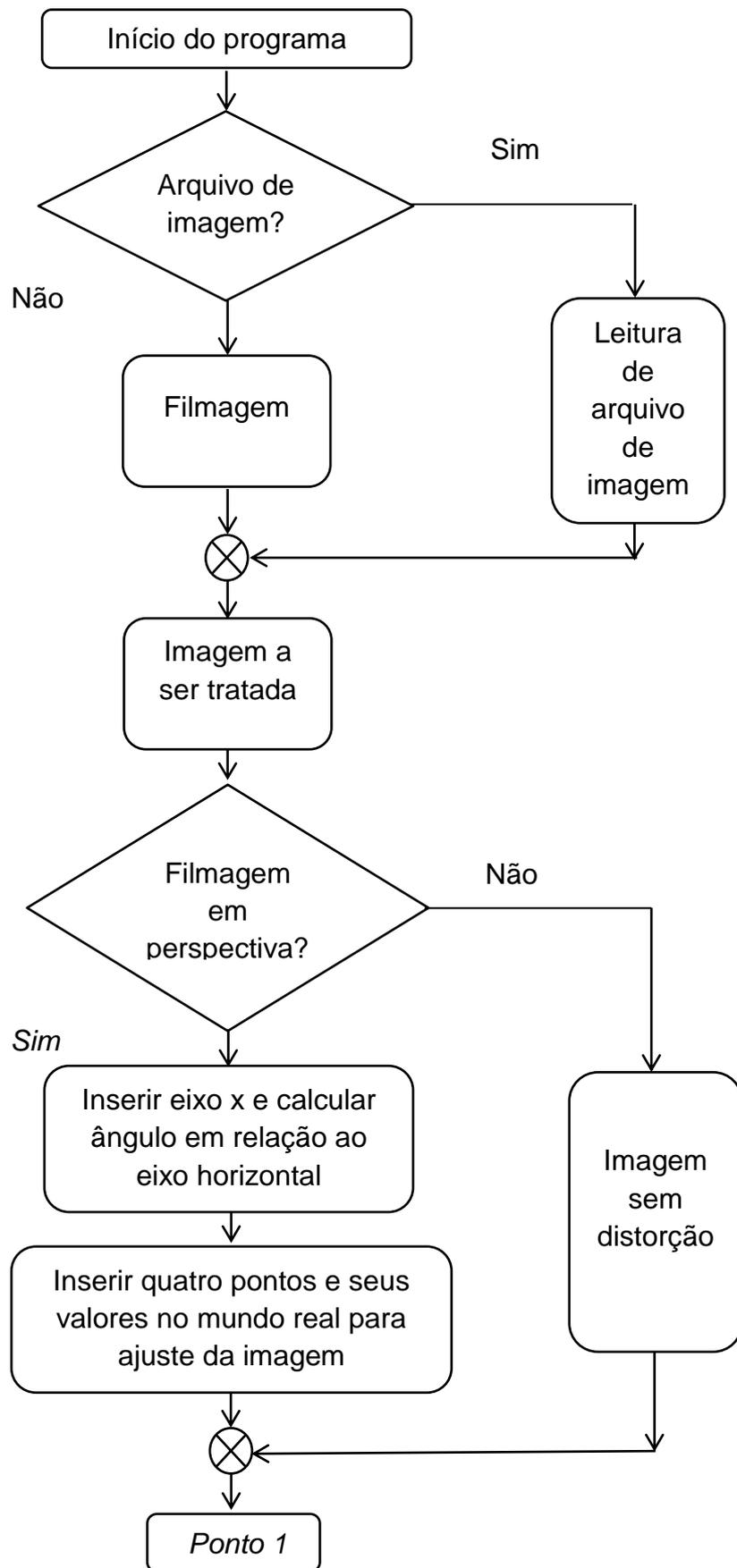
FIGURA 20 - Configuração da calibração. Fonte National Instruments.

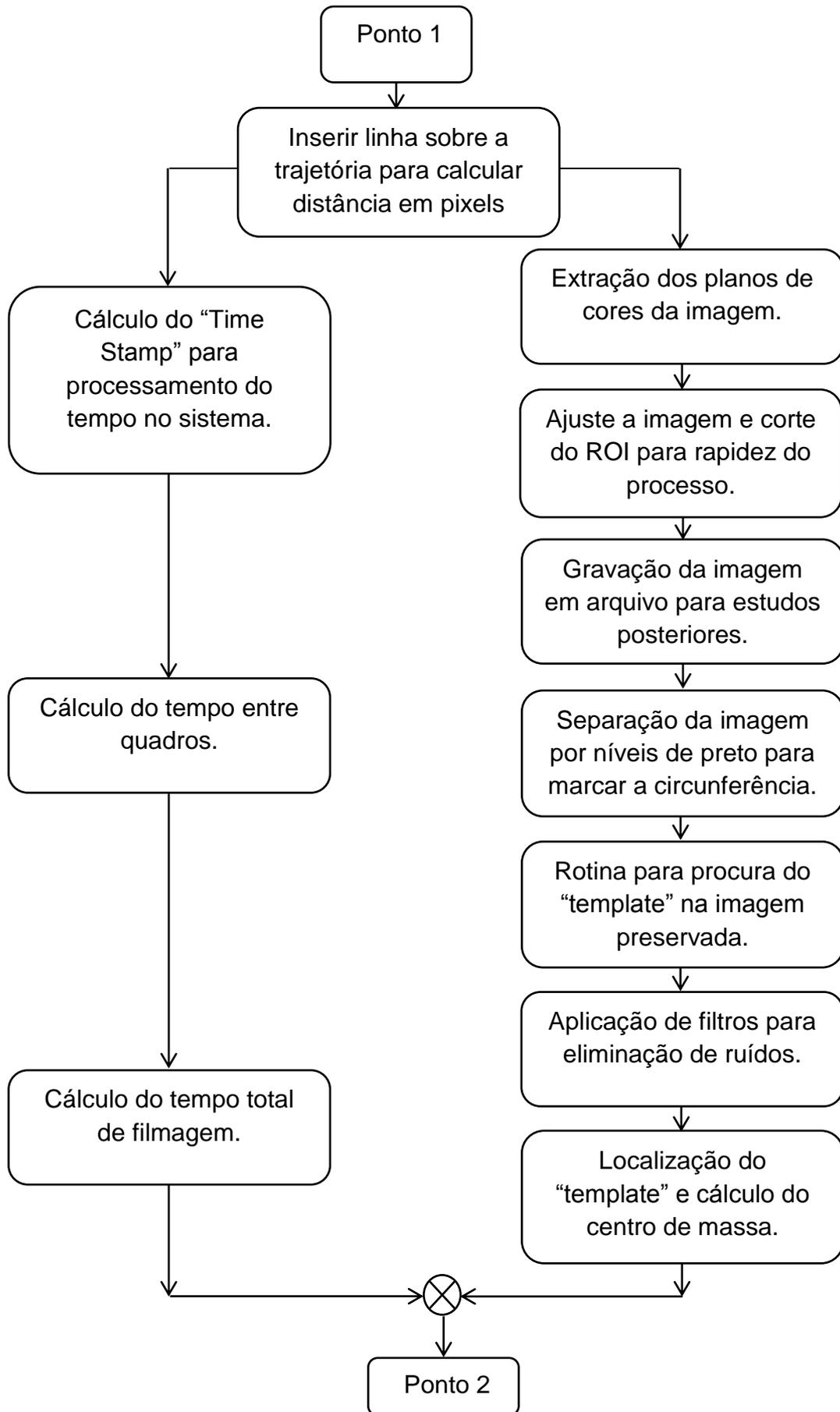
Correção da imagem

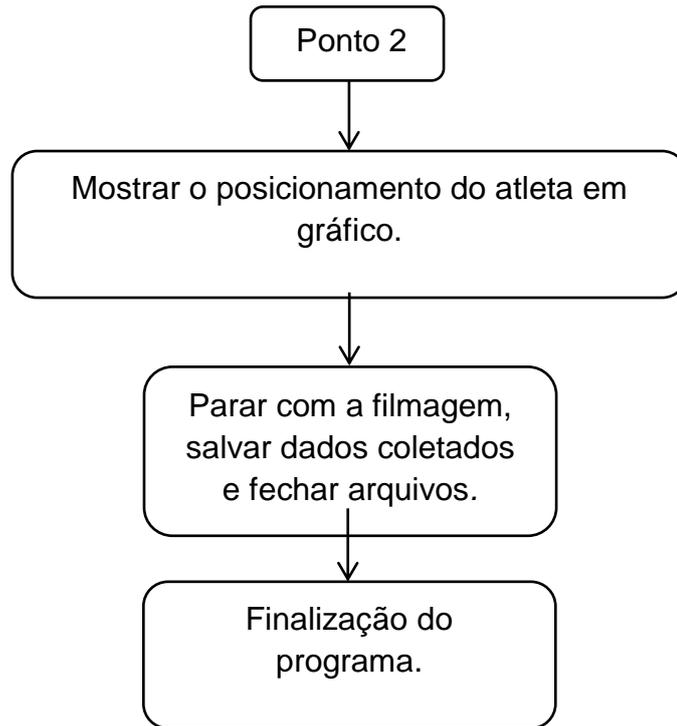
Correção da imagem envolve uma transformação da imagem adquirida em uma nova imagem onde os erros de perspectiva são corrigidos. As rotinas de ajuste do NI Vision fazem uso de processos de interpolação, aplicando um deslocamento simples dos pixels da imagem original para gerar a nova imagem. Além disso, aplica na transformação para todos os pixels da imagem de adquirida a conversão do mundo dos pixels para mundo real, durante o processo de escalonamento

4.2.2 Fluxograma do protocolo utilizado;

É mostrado a seguir o fluxograma para ilustrar como ocorre o processamento de dados pelo algoritmo.







4.3 Construção do modelo de piscina para testes

Foi imaginado um modelo de piscina reduzido de forma a ser trabalhado dentro do laboratório para facilitar o manuseio e conferir as distâncias percorridas (FIGURA 21).

Esta piscina foi preenchida de água até a altura de 8 centímetros e para manter o marcador sempre paralelo ao plano da água um isopor quadrado foi colado ao mesmo e este conjunto fixado em um fio que, mantido esticado, dava condições de movimentar o conjunto de um lado para outro livremente.

Para mover o marcador em uma distância determinada, uma régua foi fixada ao lado da piscina. Assim para movimentar o marcador por 4 centímetros era preciso

movimentar a linha, presa a um puxador em branco em cima da régua (FIGURA 21), por 4 centímetros.



FIGURA 21 - Modelo de piscina criada para os experimentos em laboratório. O retângulo em amarelo está mostrado em detalhes na FIGURA 22.

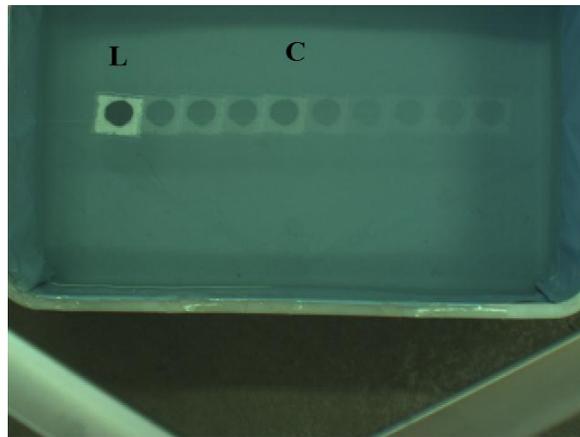
Na FIGURA 22 é mostrado um detalhe da FIGURA 21 mostrando o puxador e seu posicionamento em cima da régua para auxiliar na determinação do espaço correto a ser movimentado para cumprir as distâncias exigidas.



FIGURA 22 - Detalhe da régua na figura 21.

A FIGURA 23 mostra o marcador em 10 posições em que foram realizadas as medidas. Estas figuras foram formadas pela sobreposição de 10 fotos indicando a trajetória e o posicionamento do marcador. O deslocamento do marcador no mundo

real corresponde a 4 cm. O L indica região lateral e o C indica a região central da piscina.



(a)



(b)

FIGURA 23 - Imagens da piscina de simulação. Em (a) de forma direta e em (b) em perspectiva.

4.4 Parâmetros usados na montagem dos experimentos

4.4.1 Nos testes estáticos e dinâmicos em laboratório.

Todas as figuras geradas nos experimentos tiveram a resolução de 640 x 480 pixels. O tamanho do marcador foi de 30 pixels.

Na montagem da FIGURA 24, imagem direta teve os seguintes parâmetros medidos:

- Altura da borda da piscina: 18,2 cm.
- Distância de trabalho: 102,8 cm. Refere-se a distância entre o espelho da água e a lente da câmera.

- Número de pixels medido em todo o percurso do marcador: 585 pixels.



FIGURA 24 - Posicionamento da câmera perpendicular ao plano da piscina. Foto tirada pelo autor.

Na montagem da FIGURA 25, imagem em perspectiva, teve os seguintes parâmetros medidos. A fotografia mostra o momento em que a grelha de pontos foi colocada para fazer a calibração da imagem com os 4 pontos das extremidades.

- Altura da borda da piscina: 18,2 cm.
- Distância de trabalho: 103,1 cm. Refere-se a distância entre o espelho da água e a lente da câmera.
- Distância horizontal da câmera à piscina: 68,7 cm.

- Ângulo da piscina em relação ao eixo x na imagem: 4,4° graus (calculado pelo software).



FIGURA 25 - Foto da piscina de simulação com a grelha de pontos para calibração da imagem. De lado a régua milimetrada para medir distâncias. Foto da piscina em perspectiva.

4.4.2 Nos testes em piscina real

O teste em piscina real foi realizado na piscina da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, cujo tamanho é de 25 metros por 12,5 metros. A montagem foi realizada somente com a imagem em perspectiva e teve os seguintes parâmetros medidos:

- Distância de trabalho: 4,38 m. Refere-se a distância entre o espelho da água e a lente da câmera.
- Distância horizontal da câmera à piscina: 1,8 m.
- Número de pixels medido no percurso do nadador: 385 pixels.

Diferentemente dos testes em laboratório, o teste em piscina foi analisado posteriormente de filmado (OFF-LINE).

4.5 Metodologia.

4.5.1 Metodologia para realização das medidas em imagens de forma direta e em perspectiva em laboratório nos testes estáticos.

Nos experimentos simulados em laboratório foram feitas quatro medições para filmagem direta onde o eixo da câmera está perpendicular ao plano da figura e não ocorre distorção na imagem (sendo três experimentos estáticos e um experimento dinâmico) e quatro medições para filmagem em perspectiva quando o ângulo do eixo da câmera é oblíquo ao plano da figura e ocorrem distorções lineares (aqui também três experimentos estáticos e um experimento dinâmico).

O primeiro experimento estático consistiu em tirar uma centena de fotogramas do marcador em dez posições diferentes, progressivamente de um lado ao outro da piscina sendo dez fotos em cada posição sendo o deslocamento entre os respectivos pontos de quatro centímetros marcados em uma régua lateral à piscina. Ou seja, tirava-se uma foto do marcador na posição 1, depois na posição 2 até à posição 10 sucessivamente. Este procedimento foi repetido dez vezes.

Apesar de nestes testes o marcador ter sido passado em toda a dimensão da piscina, mais dois testes foram feitos para averiguar se há diferenças entre medidas na lateral, por exemplo, no lado esquerdo, e medidas realizadas no centro da piscina. A distância entre os marcadores foi de cinco centímetros.

O segundo experimento estático consistiu de tirar vinte fotos dos marcadores localizados na parte central, ou seja, nos pontos 27,5 centímetros e 32,5 centímetros para a imagem direta e para a imagem em perspectiva e como no experimento anterior, intercalado entre uma posição e outra. Como na FIGURA 23 (a).

O terceiro experimento estático consistiu de tirar vinte fotos dos marcadores localizados na parte lateral, ou seja, nos pontos 45 centímetros e 50 centímetros, para imagem direta e para a imagem em perspectiva nos pontos 40 centímetros e 45 centímetros e também como no experimento anterior, intercalado entre uma posição e outra. Como na FIGURA 23 (a).

O experimento dinâmico consistiu de um teste com o marcador sendo movimentado de um lado para o outro por meio de um fio preso ao conjunto

marcador e isopor, para simular a movimentação de uma pessoa nadando em uma piscina real.

Configuração das medidas em imagens diretas em laboratório.

A seguir se mostra como os pontos foram escolhidos para os testes quando é usada uma imagem direta e na imagem em perspectiva (TABELA 2, 3 e 4).

Tabela 2: Posicionamento dos marcadores na medida direta e em perspectiva.

Número da medida 10 vezes cada	Posição na régua (cm)	Posição nas FIGURAS 26 e 27
1	11	1
2	15	2
3	19	3
4	23	4
5	27	5
6	31	6
7	33	7
8	37	8
9	41	9
10	45	10

O marcador na lateral da piscina foi colocado entre as distâncias 45 cm e 50 cm, e entre as medidas no centro foi colocado nos pontos 27 cm com 32,5 cm.

Tabela 3: Posicionamento dos marcadores na lateral e centro da piscina para a imagem direta e em perspectiva.

Número da medida 10 vezes cada	Posição na régua (cm)
1	45
2	50
3	32,5
4	27,5

Para os experimentos com o marcador em movimento foram feitas dez medições dos deslocamentos dinâmicos (FIGURA 27). Antes foi calculada a relação pixel por unidade de medida de todo o trajeto a ser percorrido pelo marcador.

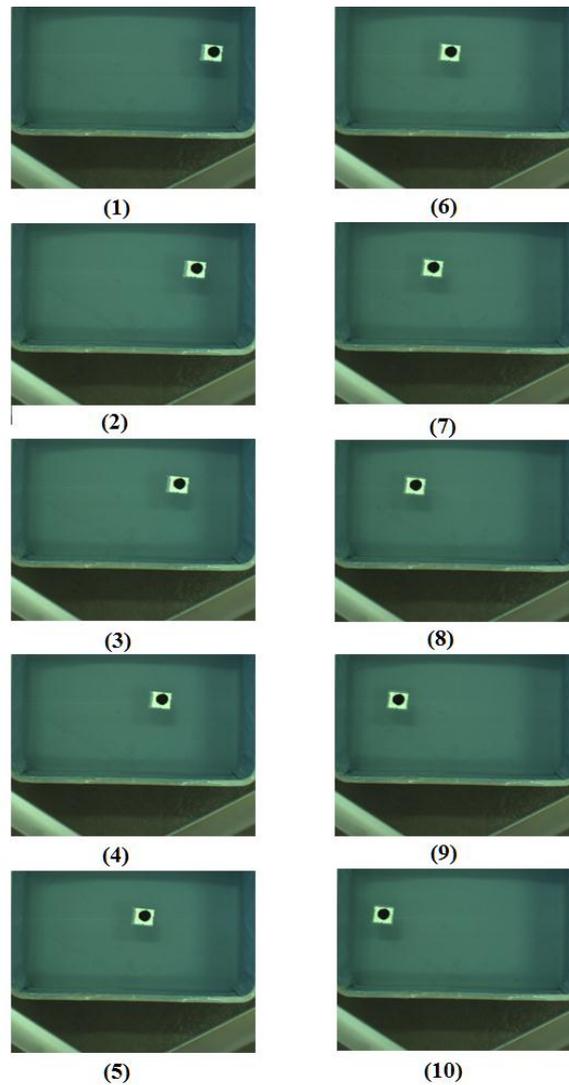


FIGURA 26 - Os dez pontos usado para teste do sistema. Medida direta.

Segue abaixo o procedimento de ajuste e coleta.

1. Colocar o objeto sob o campo de vista a ser medido. Com a câmera no centro geométrico do objeto FIGURA 24.
2. Iniciar o programa.
3. Definir a ROI da imagem. Região na qual será percorrida em linha reta pelo objeto e que terá a distância calculada.

4. Traçar uma linha reta sobre todo o intervalo a ser medido para obter a distância percorrida em pixels.
5. Objetos parados.
 - 5.1. Colocar o marcador parado nos pontos a serem medidos; fazer as medições da posição do objeto tirando fotografias do mesmo.
6. Objetos em movimento.
 - 6.1. Com o marcador em movimento e fazer a medição da posição em cada imagem.

Configuração das medidas em imagens em perspectiva em laboratório.

Quando a imagem está em perspectiva e as distorções da imagem são lineares, é necessário ajustar a imagem para calcular a relação pixels por unidade medida, por exemplo, pixels por metro.

Para os experimentos com marcador parado e marcador em movimento foram feitas as mesmas medições propostas na medição da imagem direta (TABELA 2 e 4).

Da mesma forma que nos testes de dez medidas para cada ponto aqui também foi feita a verificação na lateral e no centro da piscina, mas com uma pequena diferença (TABELA 4). o marcador na lateral da piscina foi colocado entre as distâncias 45 cm e 50 cm, e entre as medidas no centro foi colocado nos pontos 27 cm com 32,5 cm.

Para os experimentos com o marcador em movimento foram feitas dez medições dos deslocamentos dinâmicos (FIGURA 28). Antes foi calculada a relação pixel por unidade de medida de todo o trajeto a ser percorrido pelo marcador.

Tabela 4 Posicionamento dos marcadores no centro e lateral da piscina para imagem em perspectiva.

Número da medida 10 vezes cada	Posição na régua (cm)
1	40
2	45
3	32,5
4	27,5

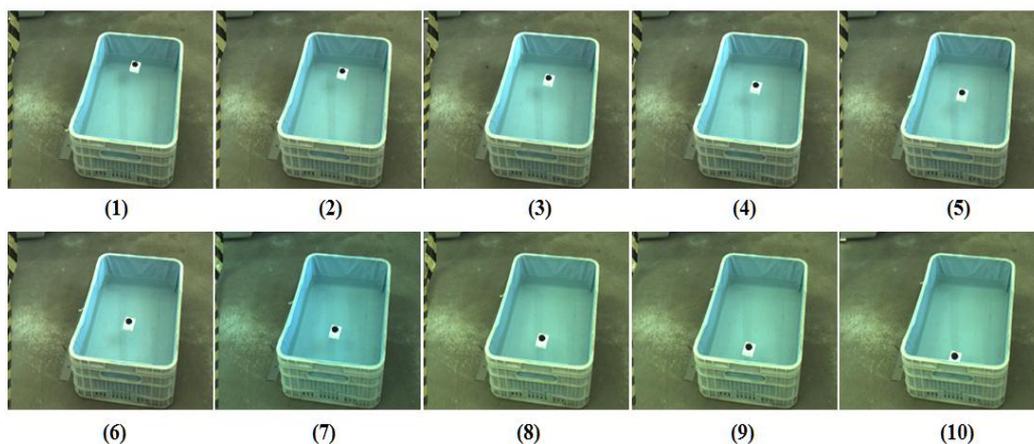


FIGURA 27 - Os dez pontos usado para testes do sistema. Imagem em perspectiva.

Segue abaixo o procedimento de ajuste e coleta.

1. Colocar o objeto sob o campo de visão a ser medido. A câmera em perspectiva ao plano da piscina como na FIGURA 25 25.
2. Inserir na página de controle do programa os quatro pontos a serem calculados no mundo real antes de iniciar o programa.
3. Iniciar o programa.
4. Preparar para marcar os pontos de ajuste da imagem.
5. Definir o eixo x de referência. A direção do eixo deve ser previamente ajustada. Modo indireto é o método utilizado.
6. Preparar para marcação dos pontos do eixo dos x. O primeiro ponto distante da origem e o segundo sobre a nova origem ($x=0$, $y=0$). Ambos os pontos definem o eixo dos x.
 - 6.1. A orientação do eixo deve ter sido previamente escolhida. Geralmente no modo indireto.
 - 6.2. Se houver alguma angulação entre o novo eixo dos x e a horizontal, definida como a borda inferior da imagem, haverá uma rotação da imagem para que fique horizontalmente ajustada.
7. Marcar quatro novos e diferentes pontos dos previamente escolhidos na imagem e com os valores no mundo real já calculados e inseridos na página inicial do programa.
8. Selecionar uma ROI que será usada para cálculo da distância em pixels. Um retângulo que abranja todo o caminho a ser percorrido pelo objeto.

9. Traçar uma reta sobre o eixo que será percorrido pelo marcador para determinação da relação pixels por unidade de medida.

10. Objetos parados

10.1. Colocar o marcador parado nos pontos a serem medidos; fazer as medições da posição do objeto tirando fotografias do mesmo.

11. Objetos em movimento

11.1. Com o marcador em movimento e fazer a medição da posição em cada imagem.

4.5.2 Metodologia para realização das medidas nos testes dinâmicos.

Testes em laboratório.

Para determinação da frequência de captura dos quadros foi usada como parâmetro a velocidade média do nado em nadadoras de elite. Este valor está em torno de 1,8 m/s [11] e a velocidade máxima dada pelo recorde mundial é de 2.3 m/s [12]. Escolheu-se como velocidade de estudo a velocidade de 2,0 m/s e uma frequência de captura de 20 Hz. Assim, ter-se-á uma distância máxima de 10 cm entre quadros numa piscina real.

Os testes dinâmicos foram feitos de forma direta e em perspectiva, 10 vezes cada. Os experimentos constaram de fazer as movimentações do marcador de um lado para o outro, como se fosse um nadador realizando um treino de 50 metros em uma piscina de 25 metros enquanto o movimento do marcador era filmado e calculado o deslocamento pelo software. .

Teste na piscina real

O teste em piscina consistiu em nadar uma distância de 25 metros no estilo crawl enquanto era filmado. O ritmo foi determinado pelo próprio nadador e nenhuma outra exigência foi feita ao atleta. . Temos na figura 29 a plataforma NI Vision em sua tela de trabalho. Esta tela é dividida em quatro regiões.

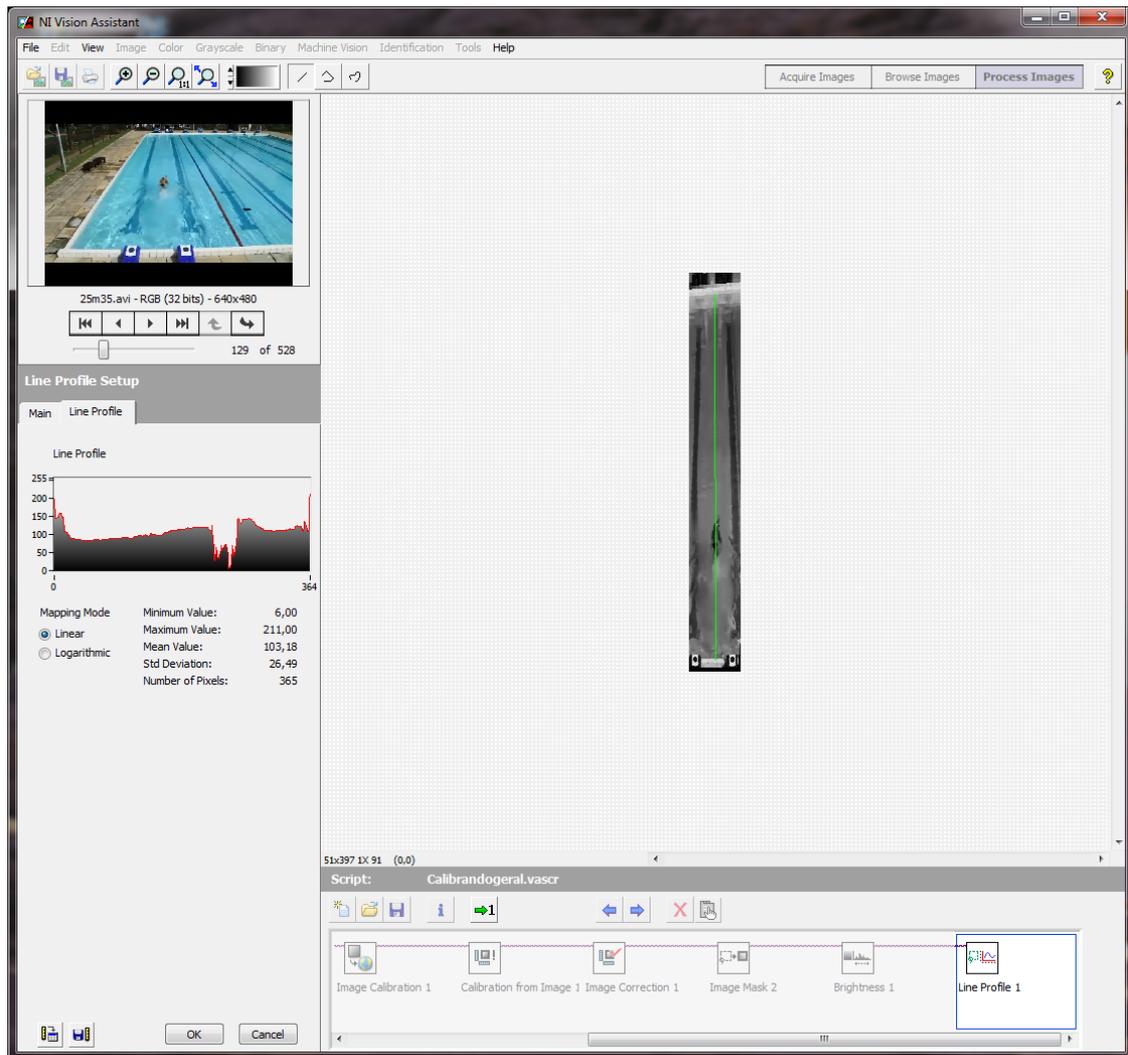


FIGURA 28 - Plataforma de trabalho do software NI Vision mostrando o resultado da aplicação do "Script" para localização do nadador. FONTE National Instruments.

O processamento foi realizado off-line. Usando o programa Vision Assistant da National Instruments e foi criado um protocolo de verificação que primeiro extrai os três planos de cor da imagem deixando apenas a luminância (escala de cinza) presente e como resultado obtém-se uma distribuição da escala de cinza ao longo da reta nadada

A primeira região na parte superior esquerda é reproduzida a imagem na qual esta sendo realizado o procedimento descrito no script. A segunda região a direita em tamanho maior a imagem depois do realizado o procedimento descrito no script. Na terceira região na parte da direita em baixo é colocado script de procedimentos que foram realizados. E por fim na parte esquerda e debaixo da primeira região a região que contém o resultado do script. No nosso caso aparece a distribuição de

luminância na linha em verde da figura na segunda região. Este resultado é gravado em um arquivo de texto.

Após a filmagem, o filme é convertido para o formato AVI, pois a câmera grava em formato MP4 utilizando o programa WINAVI Video Converter da ZJMedia Digital Technology Ltd. Website: <http://video-converter.winavi.com>.

Nas figuras a seguir e feito um detalhamento do processo.



FIGURA 29 - Reprodução de uma imagem a ser processada.

De acordo com a FIGURA 28 no canto superior esquerdo uma reprodução original da imagem é mantida para acompanhamento do processo a ser realizado no "script", localizado na parte inferior da mesma imagem.

A FIGURA 30 é mostrado o "script" que foi executado para tratar a imagem adquirida no experimento. A primeira ação do script é carregar a imagem a ser tratada. A ação seguinte é extrair os planos de cores da imagem para o processamento ser realizado em imagem de oito bits.

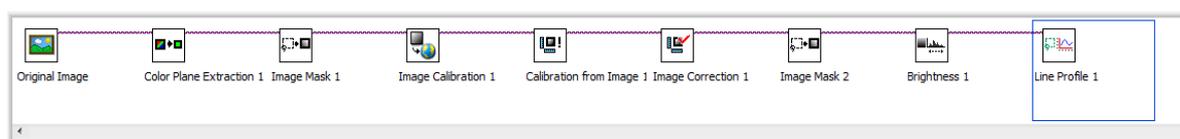


FIGURA 30 - "Script" que será executado na imagem.

Então é selecionada uma região de ROI limitando a área de processamento à raia na qual o atleta esta nadando. Agora é feita a calibração da imagem sendo

nesses passos necessário informar os valores dos pontos usados para calibração no mundo real e a seguir fazer a correção da imagem em perspectiva (FIGURA 31). Este processo consistiu de três blocos sendo eles: Imagem *Calibration* 1 onde é feita a leitura dos dados para transformação para o mundo real de uma imagem pré-preparada na imagem atual. O bloco *Calibration from* imagem 1 aplica a informação na figura atual e por fim no processo de calibração o bloco *Image correction1* faz o ajuste modificando a imagem atual em perspectiva em uma nova imagem ajustada.

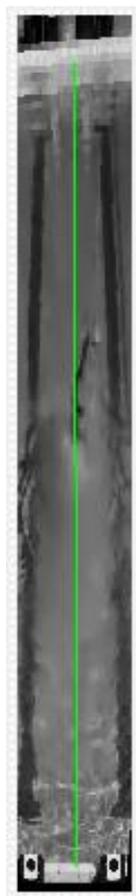


FIGURA 31 - Imagem corrigida.

Uma nova seleção de ROI é feita para diminuir ainda mais a área usada para detecção da luminância.

É feita um ajuste no brilho da imagem (transformação gama) para que o nadador fique distinto fazendo com que a área de pixels onde ele se encontra fique em um tom escuro, ou seja, um baixo valor de luminância (FIGURA 32). Lembrando aqui que preto representa um nível de zero e que o branco representa um nível de 255 na escala de cinza. A distribuição de luminância foi filtrada por passa-baixo de

média móvel de 21 pontos. O ponto de menor luminância foi considerada como a posição do atleta (FIGURA 32).

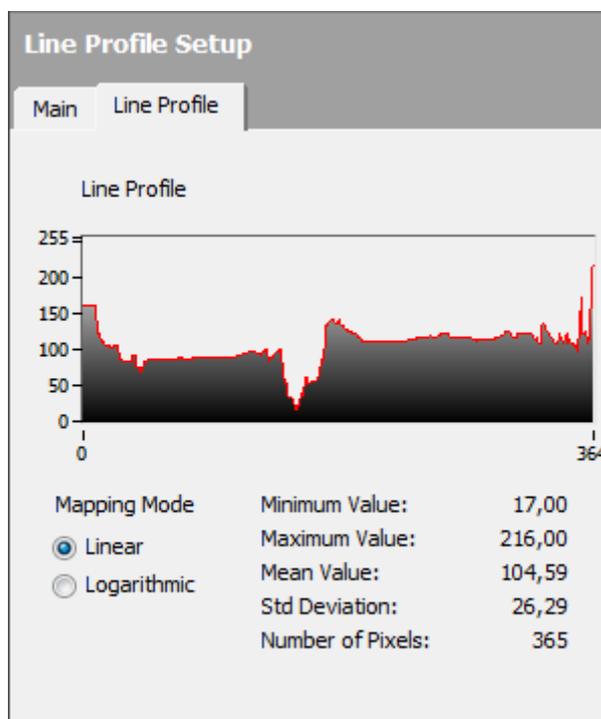


FIGURA 32 - Distribuição da luminância ao longo da linha verde na FIGURA 30.

4.6 Aspectos éticos do estudo

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com o parecer 0446/10 em janeiro de 2011.

O voluntários foi previamente informado e esclarecido a respeito do propósito da pesquisa e dos procedimentos experimentais aos quais seriam submetidos e do caráter não-invasivo dos testes. Foram também esclarecidos quanto ao sigilo das informações colhidas durante a realização do trabalho, resguardando suas identidades. Atendendo à Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, os voluntários receberam o termo de consentimento livre e esclarecido, que após terem lido e acordado, assinaram para participar do estudo (Apêndice A).

5 RESULTADOS

Uma imagem real reproduzida por uma câmera apresenta uma diminuição proporcional à imagem real. Para determinar o menor marcador, que pode ser identificado pelo nosso software, o seu tamanho foi diminuído até ele não ter sido identificado. Assim, determinou-se que o tamanho mínimo é de 8 pixels de diâmetro.

Desta forma temos que:

Comprimento do modelo de piscina no mundo real: $C_{pm} = 53$ cm.

Comprimento da trajetória em pixels para imagem direta: $C_{tpd} = 585$ pixels.

Comprimento da trajetória em pixels para imagem em perspectiva: $C_{tpp} = 293$ pixels

Como a menor circunferência identificada pelo software foi de 8 pixels de diâmetro, isto corresponde a um marcador de 0,72 cm de diâmetro no mundo real.

Nas tabelas 5, 6, 7 e 8, os resultados apresentam um desvio padrão igual a zero. Este fato deve-se ao pixel ser a menor unidade de uma imagem e os desvios foram menores que uma unidade. A avaliação do desvio padrão das medidas tem por objetivo a verificação da robustez do algoritmo de detecção. Uma vez que os experimentos foram realizados em condições controladas, esperava-se um baixo desvio padrão, o que foi comprovado. Em condições reais, espera-se obter um pequeno desvio padrão, porém não nulo, o que seria condizente com a robustez verificada para os experimentos em laboratório.

5.1 Resultados encontrados nos experimentos estáticos

Pela EQUAÇÃO 18 podemos fazer as conversões das medidas em pixels na imagem para o mundo real na piscina em miniatura. As TABELAS 5 e 6 mostram os resultados de dez medidas em cada ponto na régua.

$$\begin{array}{ll} \text{Posição em pixel} & \longrightarrow \text{Posição no mundo real em} \\ & \text{cm} \\ \text{Comprimento total da linha} & \longrightarrow \text{Comprimento total da} \\ \text{sobre a trajetória em pixels} & \text{piscina em cm} \end{array} \quad (19)$$

Pelas dimensões da piscina em miniatura com seu comprimento maior de 53 cm que medido na imagem direta deu como resultado o valor de 585 pixels e pelo fato de não ter distorções nas imagens, a conversão do mundo do pixel para o mundo real é feito por uma regra de três simples. Então temos:

Tabela 5: Dados coletados no mundo real na imagem direta.

PONTO RÉGUA (cm)	PONTO POSIÇÃO PISCINA (cm)	Diferença (cm)
11	47,65	-
15	43,57	4,08
19	39,40	4,17
23	35,33	4,07
27	31,16	4,17
31	27,08	4,08
35	22,91	4,17
39	18,75	4,16
43	14,67	4,08
47	10,59	4,08

Na TABELA 6, para uma imagem em perspectiva o mesmo lado maior foi medido como tendo 293 pixels, pois pelo fato de que a imagem em perspectiva sofre uma distorção linear e antes de fazer qualquer medida é necessária sua correção.

Tabela 6: Dados coletados no mundo dos pixels na imagem em perspectiva.

PONTO RÉGUA (cm)	PONTO POSIÇÃO PISCINA (cm)	Diferença (cm)
11	44,50	-
15	40,16	4,34
19	35,78	4,38
23	31,84	3,94
27	27,50	4,34
31	23,34	4,16
35	19,18	4,16
39	15,02	4,16
43	10,86	4,16
47	6,88	3,98

Os valores de deslocamentos comparados mostram que para um deslocamento de 4,00 cm na régua ocorre uma variação de 0,17 cm no máximo na imagem direta e de 0,38 cm na imagem em perspectiva.

Nos testes comparando a localização do marcador quando posicionado na lateral (L) e no centro (C) da piscina para a imagem direta em ambos mostrados na FIGURA 23(a) os valores dos deslocamentos foram similares aos encontrados anteriormente (TABELA 7). Para um deslocamento de 5,00 cm ocorre uma variação de 0,16 no máximo que é similar aos resultados anteriores.

Tabela 7: Medidas realizadas na lateral da piscina (imagem direta) e foram usados os pontos 45 e 50 cm e no centro os pontos 32,5 e 27,5 cm.

PONTO RÉGUA (cm)	PONTO POSIÇÃO PISCINA (cm)	Diferença (cm)
45	12,59	5,08
50	7,51	
32,5	25,55	5,16
27,5	30,71	

A TABELA 8 apresenta os resultados da medida para a imagem em perspectiva. Nos testes comparando a localização do marcador quando posicionado na lateral (L) e no centro (C) da piscina para a imagem em perspectiva ambos mostrados na FIGURA 23(a) os valores dos deslocamentos foram similares aos encontrados anteriormente.

Tabela 8: Medidas realizadas na lateral da piscina (imagem em perspectiva) e foram usados os pontos 45 e 40 cm e no centro os pontos 32,5 e 27,5 cm.

PONTO RÉGUA (cm)	PONTO POSIÇÃO PISCINA (cm)	Diferença (cm)
45	7,60	5,25
40	12,85	
32,5	20,62	5,07
27,5	25,69	

5.2 Resultados encontrados nos experimentos dinâmicos.

5.2.1 Teste em laboratório

Os resultados estão apresentados no FIGURA 33 para um dos experimentos feito de forma direta mostrando a localização do marcador em uma movimentação de um lado para outro e voltando à posição inicial. São mostrados os 300 pontos de uma coleta de 15 seg. de duração. Os outros gráficos são de aparência similar.

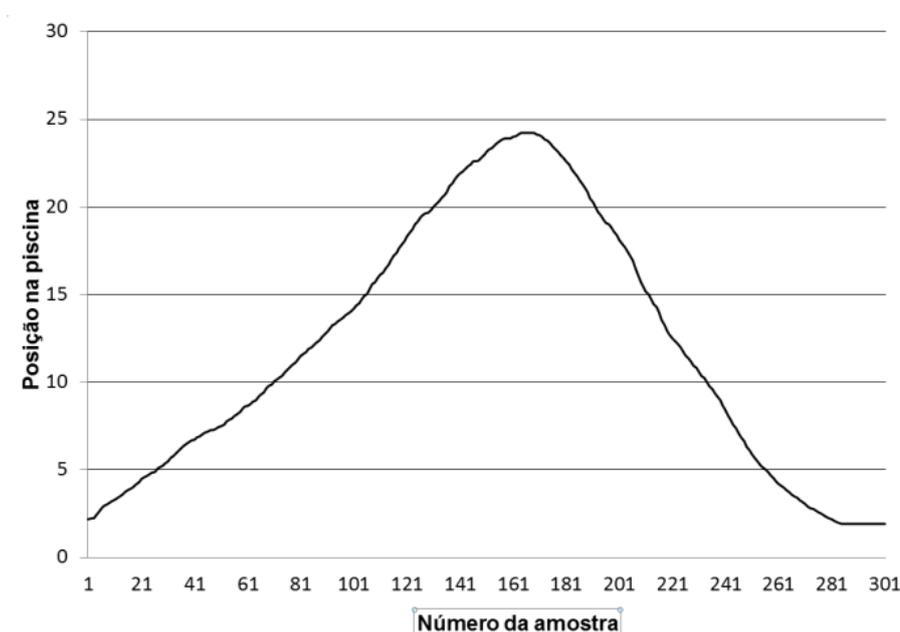


FIGURA 33 - Valores do posicionamento do marcador encontrados no experimento dinâmico.

Considerando-se uma piscina com distância de 25 metros, o software apresentou um deslocamento de 44,32 m para ida e volta. Para conferir este resultado o cálculo do deslocamento foi feito manualmente e conferido da seguinte forma:

O ponto inicial do marcador foi de 2,17m terminando em 1,92 m (dados proporcionados pelo software). Ponto máximo atingido pelo marcador na ida foi de 24,20 m.

Para se calcular a distância percorrida na ida e volta manualmente descontou-se o ponto inicial (2,17m), primeiro ponto localizado pelo software. O ponto final (1,92m), último ponto localizado pelo programa. Sabendo que o atleta partiu do ponto zero para o outro lado da piscina representa uma distância de 25 metros, e

que o programa calculou este deslocamento como sendo 24,8 metros. A diferença entre a distância total e a máxima distância percorrida teremos o que faltou para atingir a borda do outro lado da piscina. Multiplicando este valor por 2 temos o que faltou para que o nadador percorresse os 50 metros como mostrado na equação (16):

Então temos:

$$\Delta x = 50 - 2,17 - 1,92 - (2 \times 0,80) = 44,31 \text{ m} \quad (20)$$

Comparando com o resultado anterior temos que o erro apresentado entre o valor de deslocamento percorrido e o valor de deslocamento calculado pelo programa foi de 0,2%. Resultado similar foi obtido para imagens em perspectiva.

5.2.2 Teste em piscina real

Considerando-se uma piscina com distância de 25 metros, o software calculou um deslocamento de 25 m como esperado.

A FIGURA 34 mostra a evolução do nado por vinte cinco metros marcados por 520 pontos. O patamar inicial se deve ao estado parado do atleta antes de começar a nadar. A curva descreve um movimento quase constante mostrando algumas mudanças no meio do percurso.

O nadador seguiu as orientações de nadar de forma constante. Na parte central do gráfico percebemos uma variação de posicionamento maior que na parte inicial. Estas variações percebidas no gráfico foram geradas por localizações espaciais errôneas por pontos atípicos que necessitam de tratamentos estatísticos não aplicados atualmente.

Como a localização do atleta através da luminância apresenta as seguintes limitações: 1) o corpo do atleta mais escuro que a água da piscina se torna um alvo grande e sem precisão de sua localização, 2) a distribuição de luminância quando tratada com filtro média móvel apenas encontra uma possível localização

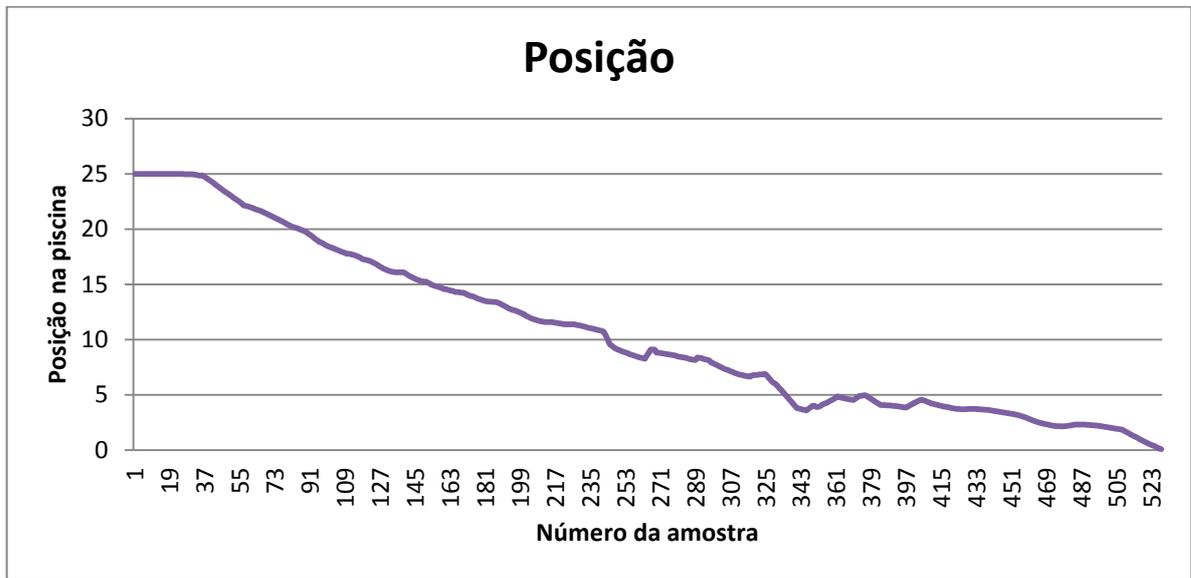


FIGURA 34 - Valores do posicionamento do nadador encontrados no experimento em piscina real.

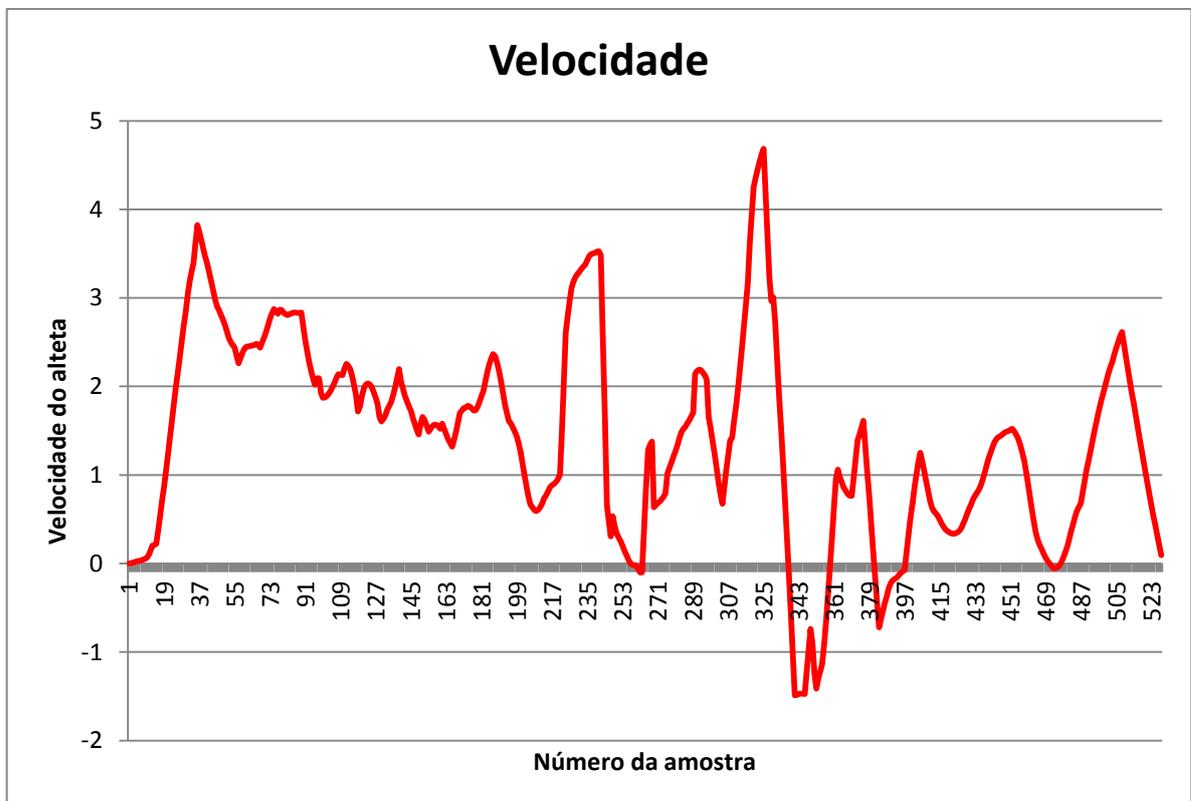


FIGURA 35 - Valores da velocidade do nadador encontrados no experimento em piscina real.

A FIGURA 35 mostra o gráfico de velocidade filtrada pelo mesmo filtro usado no gráfico de posição.

5.3 Relatório do sistema

A tela do programa do LPS apresenta os dados adquiridos durante o período sob supervisão. Na FIGURA 36 é mostrada a tela do programa.

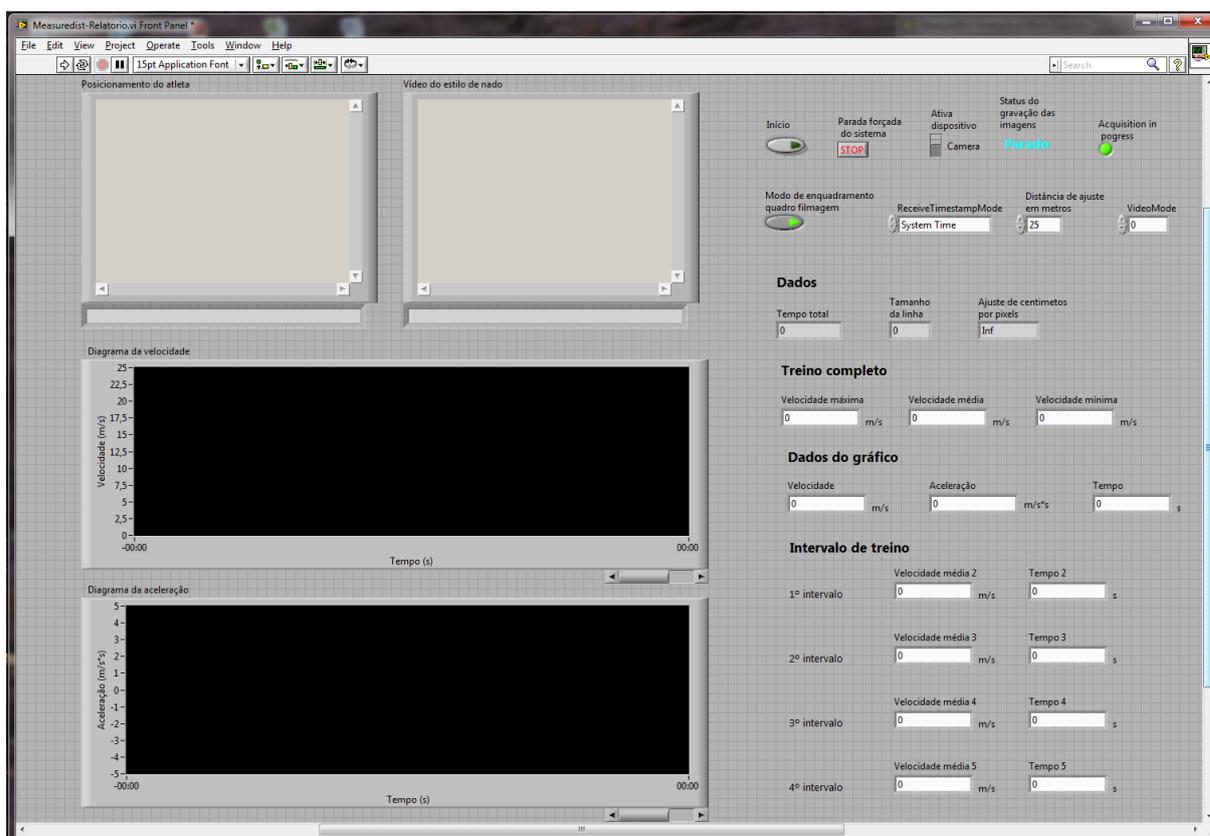


FIGURA 36: Tela do programa do Sistema de Posicionamento Local.

A tela do programa é composta por três regiões: a primeira composta por imagens da localização do atleta e de uma segunda câmera opcional que pode ser sincronizada para apresentar o atleta nadando para análise da técnica do nado. A segunda parte é composta por dois gráficos da velocidade e das acelerações. A terceira parte é constituída por vários dados de leitura na própria tela e que serão explicados mais adiante.

Esta região possui três botões e uma chave de seleção. Um botão para iniciar o funcionamento do sistema. Esta chave possui um indicador verde claro para

quando o sistema estiver ativo e verde escuro quando o sistema esta parado. Um botão de parada do sistema e um botão de enquadramento da imagem dentro da tela de imagem. Este botão quando habilitado faz com que a imagem apareça completa na figura. Se a imagem for muito grande e o botão estiver desabilitado apenas parte da imagem será mostrada. Esta chave também possui um indicador verde claro para quando o enquadramento esta ativado e verde escuro quando o enquadramento esta desativado.

A chave de seleção de filmagem ou leitura de arquivos deverá ser selecionada corretamente antes de o programa ser iniciado. Esta chave indica de onde as imagens serão adquiridas se de uma câmera, ou seja filmagem on line, ou de um arquivo previamente gravado. O sistema possui dois indicadores sendo um para aquisição de imagens da câmera e de gravação das imagens em um outro arquivo de imagens além dos dados adquiridos em arquivos texto.

Possui um indicador do modo de seleção do "*Timestamp*". As opções dada pelo sistema são: "*System Time*", "*Tick Count*" e "*None*". A primeira opção mostra o tempo dado pelo sistema no formato do "*Timestamp*". O "*Tick Count*" retorna o valor de contador correndo livremente quando o sistema é solicitado e quando é selecionada a opção de nenhum nada é produzido, uma posição de entrada do comprimento da piscina em metros e do modo de vídeo. O modo de vídeo deve estar compatível com o sistema utilizado pela câmera e pode ser achado no manual da mesma.

Os dados apresentados são calculados pelo sistema sem interferência humana.

Para o treino completo é mostrado a velocidade máxima, a velocidade média e a velocidade mínima.

Os gráficos tem a opção de traçar uma linha vertical que fazendo-a rolar pela janela, mostrará os valores que cruzam com os valores traçados pela respectiva variável.

Quanto aos treinos com mais de um trajeto, cada trajeto é contado com o um intervalo e neste intervalo é mostrado a velocidade média e o tempo do trajeto. São mostrados os quatro últimos intervalos, mas quando o programa é finalizado no fim do treino todos estes valores são apresentados em um arquivo de texto.

6 DISCUSSÃO

A solidez de uma medida repousa na estabilidade das condições de aquisição da imagem. Iluminação, vibração, controle, fixação da peça e condições ambientais são componentes chaves na configuração da imagem.

Um fator importante na determinação da frequência de quadros por segundo é a área do ROI. Uma área de ROI muito grande tornaria lento o processo de identificação do “template” por possuir muitos pixels para serem analisados.

O protocolo de captura de uma imagem em perspectiva faz o ajuste da imagem pixel por pixel antes de fazer o cálculo do posicionamento do marcador, tornando este protocolo mais pesado em termos de processamento de dados. Este fator foi importante na determinação da frequência de amostragem mínima.

Assim sendo, a frequência de 20 Hz seria capaz de dar resultados apropriados. Em uma piscina real, usando esta frequência para o cálculo do posicionamento, a distância máxima percorrida pelo nadador seria de 10,00 cm entre pontos se sua velocidade fosse de 2,0 m/s. Frequências maiores de captura de quadros e implicitamente distâncias menores entre pontos podem ser usadas desde que utilizem resolução de imagens menores que 640 x 480 pixels usadas neste experimento.

Outra característica importante é o menor objeto que pode ser detectado em ambiente de teste. Este valor de circunferência ajuda a cancelar certos ruídos na imagem que podem ser tratados como circunferências, tais como reflexos na borda da água formados pelo movimento do atleta. Vale lembrar que um pingo na água gera um padrão de ondas concêntricas que pode ser confundido com um marcador, por isso um método para evitar este tipo de ruído na identificação é detectar circunferência com raios não muito pequenos.

Nem sempre a colocação da câmera para a filmagem fica exatamente com a borda inferior paralela à horizontal. Mas esta correção é feita pelo software durante o processo de ajuste da imagem. Nos experimentos com imagem em perspectiva uma angulação diferente de zero em relação ao eixo dos x, ocorreu a variação de um pixel no eixo x na Tabela 6 enquanto que na Tabela 5 a variação do eixo y é zero

para o mesmo deslocamento na imagem.

No experimento na piscina real ocorreram outros problemas não identificados no teste em laboratório. O software apresenta vários problemas com a identificação do “template”, pois quando o nadador está próximo, sua imagem se apresenta grande e com boa visualização, mas quando o nadador se afasta da câmera sua imagem fica pequena e confusa, fazendo com que o software não mais localize o ponto de referência. Porque abranger todo o percurso nadado pelo campo de visão da câmera é necessário que a imagem seja em perspectiva.

Durante a virada o atleta sai da posição ventral para a posição dorsal e ao final da mesma desvira para a posição ventral. Neste intervalo o programa perde a referência, mas não invalida o cálculo, pois ao reencontrar gabarito novamente funciona como se o atleta tivesse voltado daquela posição.

Para evitar o erro causado pela variação do tamanho da imagem foi utilizada a técnica de detecção pela variação da luminância. Foi feita a procura do nadador por nível de luminância, que apresentou resultados satisfatórios. Porém toda a região na qual se encontra o atleta apresenta um tom escuro e significa que ele pode estar ou não naquele local determinado pela técnica. Este erro pode ser minimizado utilizando técnicas de detecção mais avançadas e que ainda precisa de mais investigações.

Além disso, na piscina não coberta a incidência de luz proveniente do sol varia muito durante da hora do dia. Depende de condições do clima. Se o dia está nublado ou não. Se na hora da filmagem uma nuvem está passando entre o sol e a piscina. Uma sombra criada por outro objeto exterior à pesquisa, por exemplo: uma árvore na qual, parte da sombra incide sobre uma parte da piscina, mas que cruza a reta do percurso do nadador.

Todas estas dificuldades influenciam em muito a coleta de dados. Causam interpretações erradas por parte do software e podem invalidar uma medição.

Como proposta para trabalhos futuros pode ser criada uma nova metodologia para acompanhamento de treinamento de médias e longas distâncias com a supervisão constante do treinador imprescindível para o desenvolvimento acompanhado do atleta não só de alto rendimento, mas recreativo também.

7 CONCLUSÃO

Para o acompanhamento da cinemática do nado, o Sistema de Posicionamento Local se mostra uma ferramenta útil. É capaz de mostrar o desenvolvimento do nado em qualquer distância percorrida e tem a vantagem de apresentar os dados imediatamente depois de serem coletados, assim como de armazená-los para análise futura. Além disso, apresenta a vantagem da não intrusão, pois sem a necessidade de cintas ou fios presos ao atleta, este se move exatamente como faria em um treino ou competição.

Os testes na piscina em miniatura mostraram que o sistema é robusto e a localização do marcador foi realizada com precisão tanto na imagem direta como na imagem em perspectiva após realizada a correção das distorções lineares.

Os testes na piscina real também indicam que o seu uso é viável e apresenta resultados satisfatórios.

O treinamento arquivado auxilia o técnico na detecção do melhor planejamento e a entender as exigências específicas da competição para o melhor resultado de seus atletas.

Maiores estudos são necessários para tornar seu uso em piscinas de tamanho real uma ferramenta do técnico no seu dia a dia como a correção de imagens com distorção não linear, no caso da utilização de lentes grande angulares para cobertura de toda a extensão da piscina. Como proposta de continuidade de estudos, o cálculo do posicionamento usando métodos estatísticos aumentaria a confiabilidade do posicionamento do atleta descartando os pontos atípicos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, H., "Training and Racing with a Power Meter" Disponível em 12/07/2011 as 10:00H <http://ccc.je/TheClub/News/2008/HunterAllen/presentation%20One%20day%20seminar%20first%20presentation%202008.ppt.pdf>.

AMADIO, A. C.; ÁVILA, A. O. V.; GUIMARÃES, A. C. S.; DAVID, A.C.; MOTA, C. B.; BORGES, Deyse M.; GUIMARÃES, F.; MENZEL, H. J.; CARMO, J.; LOSS, J. F.; 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). **Revista Brasileira de Biomecânica**, n. 4, p. 57-67, 2002.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C., Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**. v 21, p. 61-85. 2007.

ARELLANO R., Applying Biomechanical testing to Swimming Training. **Seminario Europeo de Entrenadores de Natación**. Madrid, 7-9 mayo 2004

ASPENES, S., HJENDLIE, P., HOFF, J., HELGERUD, J., Combined Strength and endurance training in competitive swimmers; **Journal of sports Science and Medicine**, v. 8, p. 357-365, 2009.

BAUMANN, W.: Perspectives in methodology in Biomechanics of Sport. (Pp. 97-104), (in) Rodano, R., Ferrigno, G., Santambrogio, G.: **Proceedings of the Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports**, Edi-Ermes, Milano, (1992).

BIGAS, M., CABRUJA, E., FOREST, J., SALVI, J., Review of CMOS image sensors. **Microelectronic Journal**, Elsevier, V. 37, p. 433-451. 2006

CRAIG, A. B., TERMIN, B., PENDERGAST, D. R., Simultaneous recordings of velocity and Video During Swimming. **Portuguese Journal of Sport Sciences**. v. 6, n. 2, p. 32-35. 2006

DAVEY N. P. Acquisition and analysis of Aquatic Stroke Data from an Accelerometer based System. April 2004. Griffith University (Degree of Master of Philosophy). 2004

DAVEY, N., ANDERSON M., JAMES D. A., Validation trial of an accelerometer-based sensor platform for swimming in **Sports Technology**, Blackwell Publishing Asia Pty Ltd., 2009

DIGERONIMO M. K., Swimming Economy in Long Distance Swimmers and Ironman Triathletes. The Ohio State University, 2010. (Degree of Arts in the graduate School). 2010

FAIGENBAUM, A. D., WESTCOTT, W. L., LOUD, R. L., The Effects of Different Resistance Training Protocols on Muscular Strength and Endurance Development in Children. **Pediatrics**, v. 104, n. 1, p. e5. 1999.

FIREFLY MV, Getting Started Manual. Point Grey Reearch Inc. January 14, 2009

FOSSUM, E., R., Image Capture Circuits in CMOS, **International symposium on VLSI Technology, Systems and Applications**. Taipei, Twain 1997

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., Digital Image Processing. 3^a ed. Prentice Hall. , p. 37 2003

GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., EDDINS, S. L., Digital Image Processing Using MATLAB[®]. 2^a ed. **GatesmarkPublishing**. , 2009

HEIKKILÄ J., Silvén O., A Four-Step Calibration Procedure with Implicit Image Correction, **IEEE**, 1997.

HEDLEY, M., MACKINTOSH, C., SHUTTLEWORTH, R., HUMPHREY, D., SATHYAN, T., HO P., Wireless Tracking System for Sports Training Indoors and outdoors.**Procedia Engineering**. v 2 p 2999-3004. 2010.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008). 1^a Edição Brasileira. Rio de Janeiro, p. 25.2009.

JÄHNE, BERND,. Digital Image Processing. 5^a ed., **Springer**. 2002.

JAIN, A. K., Fundamentals of Digital Image Processing. **Prentice-Hall International Editions**. 1989

KRABBE, B. Zur Belastung des Bewegungsapparates beim Laufen - Einfluss von Laufschuh und Lauftechnik. Aachen: Verlag Shaker, 1994. Apud AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C., Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica esportiva. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**. V. 21, p. 61-85. 2007.

KLINGER T., Image processing with LabVIEW and IMAQ vision, **National Instruments virtual instrumentation Series**, Pearson Education inc., 2003.

KONNING, R. H., SIERKSMA, G., VELDE S. V. D., Editorial European Journal of Operacional Research. v. 148, p. 231-232, 2003. Available <<http://www.sciencedirect.com>>.

LEHMANN M. J., LORMES W., OPITZ-GRESS A., STEINACKER J. M., NETZER N., FOSTER C., GASTMANN U., Training and overtraining: an review and experimental results in endurance Sports. **The Journal of Sports and Physical Fitness**, v 37 n° 1, 1997.

LIAO T., Tactics Analysis on Women Swimming Athletes in the 800m Freestyle Swimming Race Using Speed Coefficient Theory, Knowledge **Discovery and Data Mining, WKDD 2008**. p 453-456, 2008.

MALKINSON T.J., Current and emerging technologies in endurance athletic training and race monitoring. Science and Technology for Humanity (TIC-STH), **2009 IEEE Toronto International Conference 2009**.

MANUAL GARMIN®, What is WASS? Disponivel em <<http://www8.garmin.com/aboutGPS/waas.html>> . Acesso em 18 Jan. 2011.

NI Vision Concepts Manual, **National Instruments Corporation**, July 2007.

NAKASHIMA, N., OHGI Y., AKIYAMA ERI., KAZAMI, NAOSUKE., Development of a Swimming Motion Display System for Athlete Swimmers' Training Using a Wristwath-Style Acceleration and Gyroscopic sensor Device **Procedia Engineering**., v 2, p 3035-3040, 2010.

OHGI Y, ICHIKAWA H, MIYAJI C. Microcomputer-based Acceleration Sensor Device for Swimming Stroke Monitoring. **JSME International Journal Series C**, 2002; 45-4: 960-966.

O'SULLIVAN, J. A., BLAHUT R. E., SNYDER, D. L., Information-Theoretic Image Formation. **IEEE**. v. 44. n° 6. 1998

Página oficial do LabVIEW na National Instruments. <http://www.ni.com/labview/> Acesso em 18 Jan 2011.

POYNTON, C. A., A Technical Introduction to Digital Video. Jonh Wiley & Sons, Inc.1996.

PSYCHARAKIS, S. G., SANDERS, R. H., Validity of the Use of a Fixed Point for Intracycle Velocity Calculations in Swimming. **Journal of Science and Medicine in sport**. v. 12, p. 262-265. 2009.

PUSFIELD, G., SZMUCHROWSKI, L. A.; MENZEL, H. J., Variação intracíclica da velocidade dos nados livre e peito. In: **Biomecânica IX** Congresso Brasileiro, 2001, Gramado. Congresso Brasileiro de Biomecânica/Porto Alegre, 2001. v. 2. p. 35-38.

RYAN, A. J., Sports Medicine today. **Science**. v. 200, p 919-924, 1978.

LE SAGE, T., BINDEL, A., CONWAY, P., JUSTHAHM, L., SLAWSON, S., WEST, A., Development of a real time system for monitoring of swimming performance. **Procedia Engineering**. v 2 p 2707-2712. 2010.

SEIFERT L., CHOLLET D., ROUARD A., Swimming Constraints and Arm Coordination. **Human Movement Science**, v. 26, p. 68-86, 2007. Available <<http://www.sciencedirect.com>>

SLAWSON, S. E., JUSTHAM, L. M., CONWAY, P. P., CAINE, M. P., HARRISON, R., The Engineering of Sport 7. Estivalet, M., Brisson, P. (Ed.) **Springer-Paris**. v 1 p 82, 2008.

SMITH, D. J., NORRIS, S. R., HOGG, J. M., Performance Evaluation of Swimmers **Sports Medicine**. v 32, n 9, 2002.

THEUWISSEN, A., J., P., CCD or CMOS Image Sensor for Consumer Digital still Photography? **Philips Semiconductors, Image sensors**, Eindhoven, 2001

TOUSSAINT H. M., BEEK, P., Biomechanics of Competitive Front Crawl Swmming. **Sports Medicine**. v. 13, n. 1, p. 8-24, 1992.

TOUSSAINT, H. M., WAKAYOSHI, K., HOLLANDER,A. P., OGITA, F., Simulated Front Crawl Swimming performance related to Critical Speed and Critical Power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 30, n 1 p 144-151, 1998.

UNITED STATES PATENT. Carl Hauber, Elmhurst, Robert J. Koupal,Infilvo INCORPORATED. Swimming Pool C. I. 2,617,764. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011

UNITED STATES PATENT Clarence w. Andrews Jr., Russellville, Ky Bench dor simulating and Developings Swimmins Movements. . Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011,

UNITED STATES PATENT Cyril George Lidstone Morley, Harrow, Englad. Electroctronic swim timer controlled by touch pad in swim lane. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011.

UNITED STATES PATENT David Pendergast, Hamburg; Albert Termin, Kenmore; John Zaharkin, North Tonawada; Research Foundation of State University Of New

York. System and Method for Training a Swimmer. C. I. A63B 69/12. U.S. D. I. 6.086037914 Jan. 1999: 11 Jul. 2000. Disponível em: www.googlepatents.com. Acesso em: 13 Jan. 2011.

UNITED STATES PATENT Eli M. Ladim Ann Arbor, Mich, Swimmer's Training Method with a Visual display. U. S. C. I 434/54; 434/247; 482/3; 368/10; 368/107. Int. C. I. A63B 69/12. 07 Mar. 2000. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011.

UNITED STATES PATENT Patrick G. Miley, Aberdeen. U.S, C.I. 482/3. 434/254, 351/43, 2/426, Int C.I. G04B/00. De Jul. 13 1999. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011.

UNITED STATES PATENT Robert H. Bernacki, Benton Ct., Joel M. Stager, Bloomington, Ind., Swim Instructin, Training and Assessment Apparatus. U. S. C. I. 434/254, 482/6; 482/5; 482/901. Int. C. I. A63B 69/12. 21 Feb. 1995.

UNITED STATES PATENT Robert T. Hopper, Califórnia, Swimmer Training Device. U.S. C.I. 272/71 e 272/80. Int. C.I A63b 31/00 21 Jan. 1975 Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011.

UNITED STATES PATENT Rod Havriluk, Tallahassee, Fla. Method and Apparatus of Measure Swimming Technique. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents>. Acesso em 13 Jan 2011.

VANCINI R. L., A síndrome do sobretreinamento Monografia apresentada a Escola Paulista de Medicina, Universidade de São Paulo, 2000.

WATKINS, J., PARK, J. A technique for monitoring the effects of training on swimming efficiency; **British Journal of Sports Medicine**, v.16, n.2, 1982, p.109-110.

WEINECK, J. Treinamento ideal; instruções sobre o desempenho fisiológico, incluindo considerações específicas de treinamento infantil e juvenil. 9ª ed. São Paulo: Manole Ltda,. p 18, 2003

User manual, National Instruments Corporation, April 2003.

Página da Federação Internacional de Natação (FINA) acesso em http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=805 Acesso em 13/01/2011 as 09:30H.

<http://www8.garmin.com/aboutGPS/manual.html> Acesso em 13/01/2011 as 09:45H
GPS Guide for begginers.

Anexo A : Comitê de ética

A.1 Parecer do Comitê de ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

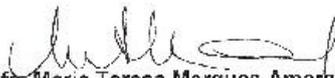
Parecer nº. ETIC 0446.0.203.000-10

Interessado(a): Prof. Wallace do Couto Boaventura
Departamento de Engenharia Elétrica
Escola de Engenharia - UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 21 de janeiro de 2011, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "**Sistema de posicionamento local usando imagens**" bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.


Prof. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

An: Ptas. Antônia Castro 6622 - Unidade Administrativa II - Pr. Acad. - Sala 2055 - Fone: (31) 3408-1592 - E-mail: coep@ufmg.br

FIGURA 37 - Cópia do parecer do comitê de ética da Universidade Federal de Minas Gerais.

A. 2 Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa:

SISTEMA DE POSICIONAMENTO LOCAL USANDO IMAGENS

Eu, voluntariamente, concordo em participar desta pesquisa realizada pelo Núcleo de Estudos e Pesquisa Biomédica da Escola de Engenharia Elétrica da UFMG, visando verificar o funcionamento do Sistema de Posicionamento Local utilizando imagens.

Serão realizados testes nos quais nadarei o estilo Crawl enquanto estarei sendo filmado para o cálculo da distância percorrida na natação. Fui informado de que não haverá treinamento nem ensino de técnica de natação e que as informações necessárias sobre como e quando nadar ou qualquer dúvida que houver sobre o experimento serão prontamente fornecidos durante a sua execução.

Será garantido o anonimato quanto à minha participação e os dados obtidos serão utilizados exclusivamente para fins de pesquisa pelo Laboratório de Biomedicas. As imagens obtidas não serão liberadas para outro uso que não seja a própria pesquisa.

Sei que posso me recusar a participar deste estudo ou posso abandoná-lo a qualquer momento, sem precisar me justificar e sem qualquer constrangimento.

Sei que não está prevista qualquer forma de remuneração e que todas as despesas relacionadas ao estudo serão de responsabilidades do pesquisador - UFMG.

Esclareci todas as dúvidas e se durante o andamento da pesquisa novas dúvidas surgirem, tenho total liberdade para esclarecê-las com a equipe responsável.

Compreendo também que os pesquisadores poderão decidir sobre minha exclusão do estudo por razões científicas, sobre as quais serei devidamente informado.

Nome

Assinatura do Participante

Declaro que expliquei os objetivos deste estudo, dentro dos limites dos meus conhecimentos científicos.

Nome

Assinatura do Pesquisador

Telefone pesquisador: Nome: Professor Wallace do Couto Boaventura Telefone: (31) 3409-3403

Comitê de Ética em Pesquisa – COEP/UFMG Tel.: 3409-4592
Unidade Administrativa II, 2º Andar, Sl. 2005
UFMG – Pampulha
Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Pampula.
Belo Horizonte, MG – CEP 31.270-901

Anexo B Resumo de patentes

B1 Patente: Electronic Swim timer Controlled by Touch pad in Swim Lane - U.S. PATENT Nº 3,363,243 de C. G. L. MORLEY de 9 Jan 1968

Os aparelhos manuais de medição do tempo de corridas de natação têm a desvantagem, mesmo quando estes aparelhos são precisos, de serem iniciados e parados manualmente além de ocorrer erro devido às variações do tempo de reação dos juizes da corrida. Na FIGURA 38 o diagrama da patente.

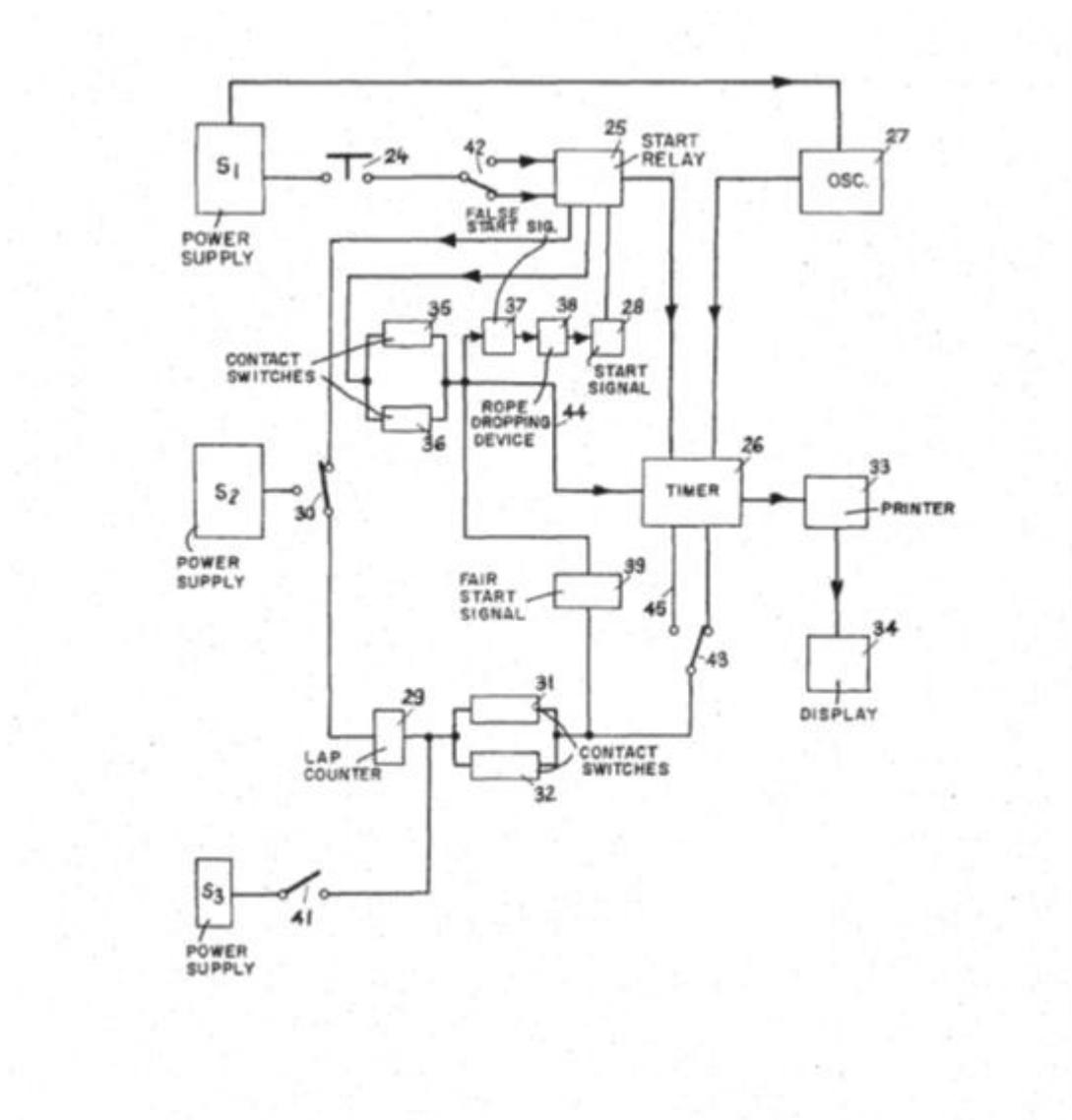


FIGURA 38 - Diagrama de blocos de um circuito eletrônico para o aparelho de temporização automático. Fonte: (MORLEY,1968).

Quando uma corrida tem uma chegada muito próxima, os juízes têm de esperar por uma fotografia da linha de chegada para determinar o resultado e anunciá-lo. Também é muito difícil para os juízes determinar se um nadador deixou o bloco de saída antes do sinal sonoro para o início da competição.

Uma desvantagem adicional ocorre quando no momento da partida dos competidores em seus blocos e estes blocos não têm a mesma distância do instrumento sonoro,, e assim, devido a baixa velocidade do som, este pode ser recebido em intervalos diferentes.

Os objetivos da invenção são eliminar as desvantagens citadas acima e dar uma temporização automática para os tempos de corridas.

O aparelho de tempo automático para corridas consiste de um oscilador, um timer para cada competidor, um meio para conectar cada um dos timers ao oscilador quando o sinal de partida é dado, e um meio de desconectar cada timer depois que cada competidor alcançar a posição final da corrida. Também pode fornecer energia para alimentar alto falantes próximos aos blocos de partida que fornecem um som audível para cada competidor.

É equipado com um detector de falsa partida. Assim é fornecido um par de contatos para cada bloco de saída, sendo estes contatos posicionados em cima do bloco de partida no qual o nadador está em pé e de onde ele mergulha para o início da corrida. O sinal de falsa partida é uma vantagem, pois gera um sinal “all clear” se os nadadores partem para a corrida depois do sinal de partida, mas se um nadador sai do bloco antes do sinal de partida um sinal de alarme é dado cancelando a partida da corrida. É fornecida também uma plataforma articulada para ser presa na borda da piscina para saídas no estilo costas.

O sistema de falsa partida pode ser usado em corridas de “medley”, e dá uma mudança de estado “incorreta” quando, em um estágio subsequente da corrida de revezamento, deixa o bloco de partida antes do nadador do estágio anterior completar o seu estágio tocando a placa no fim da corrida, ou seja, nesta competição quatro nadadores fazem uma etapa da competição em estilos diferentes, sendo eles: Borboleta, Peito, Costas e Crawl. Porém, o atleta que disputa a etapa seguinte à que está sendo disputada não pode partir antes da chegada do atleta que esta finalizando a etapa sob a penalização de desclassificar o conjunto.

**B2 Patente: Bench for Simulating and Developing Swimming Movements
- U.S. PATENT Nº 3,731,921 de C. W. Andrews Jr. de 08 May 1973**

O principal objetivo desta invenção é fornecer um aparelho de exercício que seja capaz de simular com uma razoável precisão uma pluralidade de braçadas da natação, incluindo um suporte horizontal com barras no início e no fim nos quais uma pessoa pode deitar com a face para baixo tendo seu torso medial descansando em um suporte. Uma parte do aparelho esta montada na frente com um pedivela suportado para que se consiga fazer as oscilações sobre o eixo horizontal. Uma montagem na traseira oferece um encaixe para os pés para que o atleta faça movimentos verticais guiados.

. Um outro objetivo foi construir um aparelho de exercício onde a resistência do movimento dos braços possa ser variada como desejado. Na FIGURA 39 o desenho da patente.

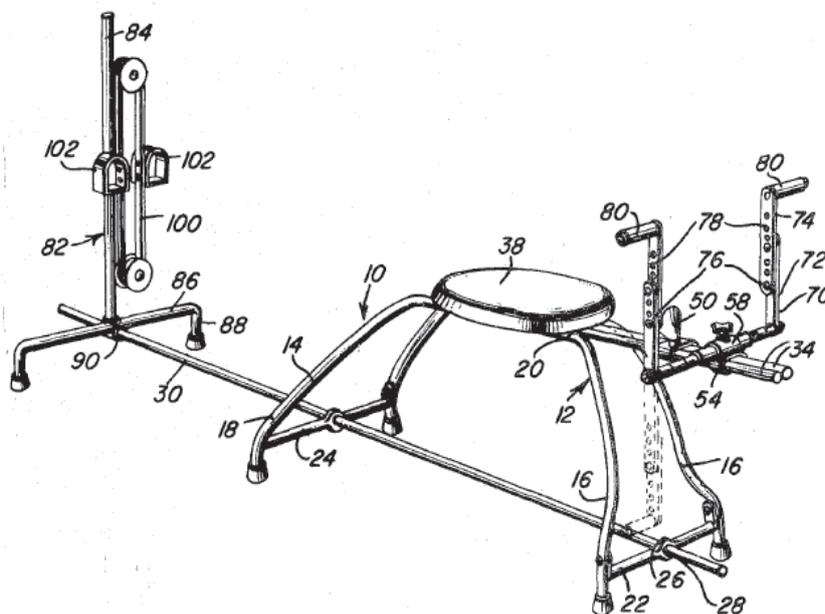


FIGURA 39 - Vista de plano de cima do aparelho de exercício. Fonte: (ANDREWS, 1973).

Um objetivo a mais desta invenção é fornecer um aparelho de exercício simulando o movimento das pernas que pode não somente simular a agitação e recuo das pernas, mas também da pernada no estilo Golfinho.

Um objetivo final seria fornecer um aparelho de baixo custo, construído de acordo com as formas convencionais de manufatura, ser de simples construção e fácil de usar.

B3 Patente: Method and Apparatus of Measuring Swimming Technique - U.S. PATENT N° 4,654,010 de Rod Havriluk de 31 Mar 1987

Esta patente é uma metodologia que usa um aparelho para “medir” a técnica do nado através de um transdutor de pressão que mede a pressão diferencial entre a palma e as costas da mão de um nadador e transmite um sinal representando esta pressão para um mecanismo capaz de plotar a curva de pressão versus tempo.

Um sensor de pressão “X-ducer” (Model N° MPX 50D – MOTOROLA) de silicone pode ser utilizado como transdutor. Este transdutor tem quatro fios. O preto atua como uma conexão de terra, o verde como entrada de fonte de tensão, o amarelo como saída pçositiva e o vermelho como saída negativa. Os fios de saída são conectados a um conversor tensão-para-frequência e finalmente conectado a um transmissor. Na FIGURA 40 o diagrama da patente. Na FIGURA 40 o diagrama da patente.

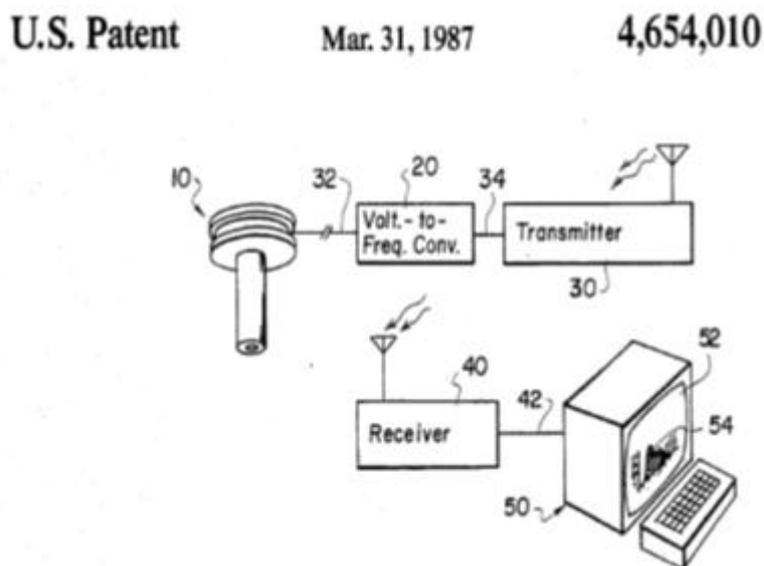


FIGURA 40 - Aparelho para medir a pressão diferencial na mão do nadador. Fonte: (Havriluk, 1987).

O transmissor FM envia o sinal do nadador para um receptor distante e utilizando meios computacionais, monta um gráfico da curva de pressão e calcula sua área.

B4 Patente: Swimming Pool - U.S. PATENT Nº 2,617,764 de Carl Hauber de 11 Nov. 1952

O objeto desta patente é criar uma piscina com um sistema circulador que não necessita de nenhum encanamento externo para conduzir a água da piscina para o filtro e assim de volta para a piscina. Na FIGURA 41o desenho da patente.

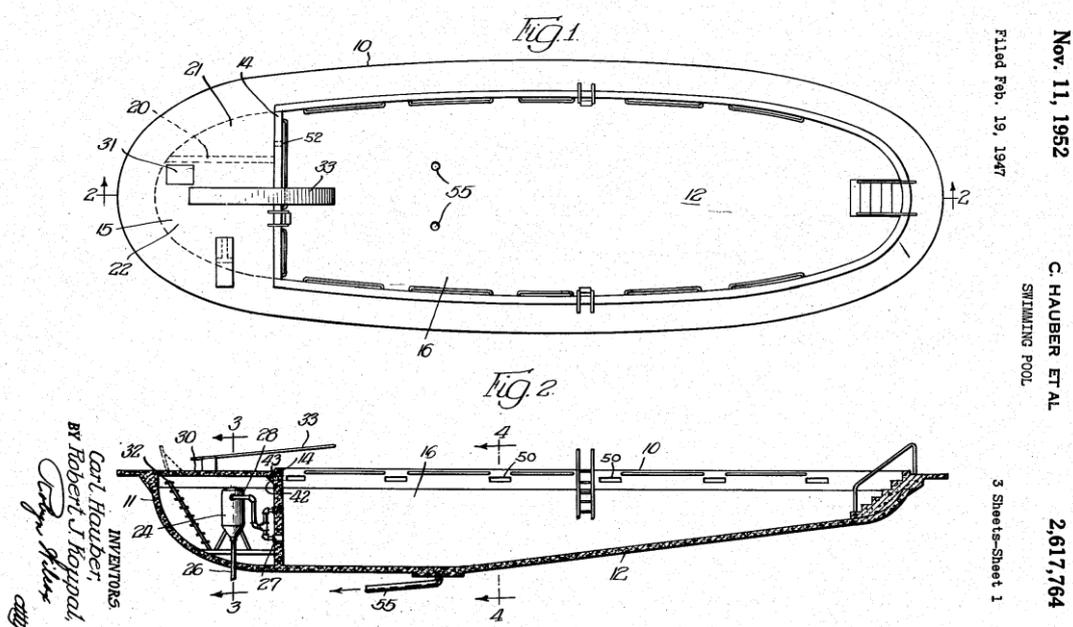


FIGURA 41 - Piscina com fluxo de água para treinamento. Fonte: (HAUBER, 1947)

A operação da piscina e do sistema de circulação é bastante simples. Assumindo que a piscina esteja vazia para limpeza e pronta para ser enchida. Ao completada de água até a marca predeterminada, os registros de entrada são fechados.

Então num circuito de encanamento interno, uma bomba força a água a passar pelo filtro e ser descarregada por saídas de águas de volta para dentro da piscina.

Drenos igualmente espaçados na parte interior e na parede da frente permitem a condução da água e sua recirculação. Estas portas (drenos) têm alturas próximas à altura pré-determinada do líquido na bacia para que seja formado um

sobre-fluxo do líquido. Existem furos na parede posterior, grandes o suficiente para retirar toda a água e enviá-las para os filtros de limpeza. Estes drenos também podem ser usados para esvaziar a piscina.

No contexto atual estas piscinas não são utilizadas em treinamento por três motivos principais: preço do equipamento, local de instalação e que em piscinas normais a água sempre esta parada e não em movimento mudando a cinética do nado.

B5 Patente: Restraint particularly Suited for Use as na Aquatic Training Aid - U.S. PATENT Nº 4,218,056 de Tom S. Whitling de 19 Aug. 1980

O objetivo desta invenção é fornecer um aparelho adequado pra uso no auxílio de treinamento a nadadores. Um receptáculo da cabeça, no qual o nadador apoia sua cabeça, e este receptáculo impede o movimento do nadador ir para frente de maneira tal que o movimento de braçadas ou bater pernas pode ser realizado ininterruptamente, pois o atleta não se movimenta para frente propiciando o ato de nadar em uma piscina de dimensões pequenas. Na FIGURA 42 o desenho da patente.

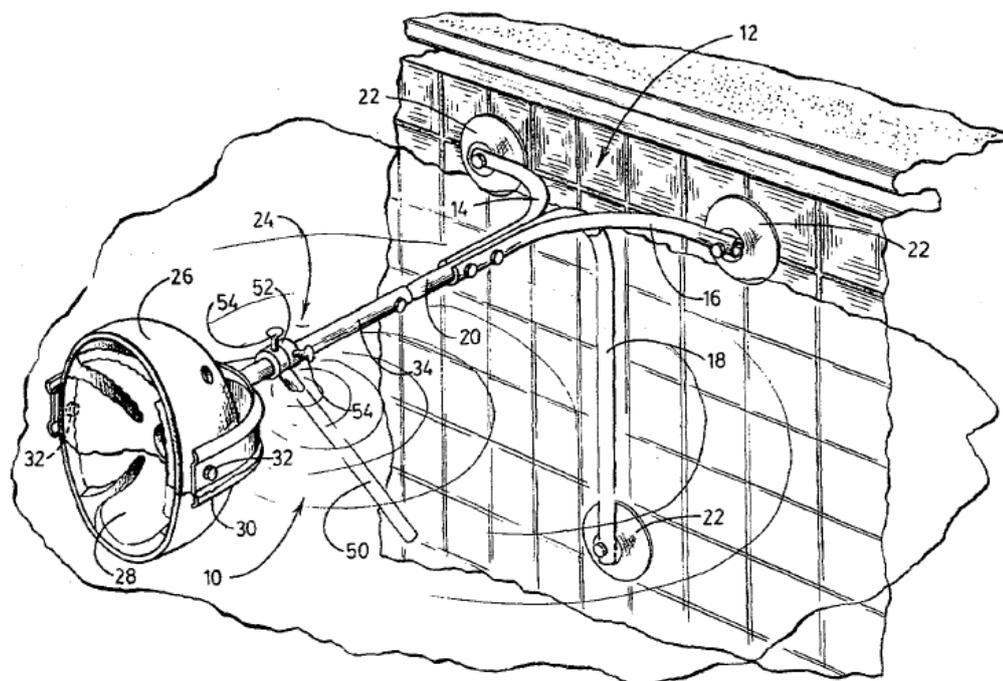


FIGURA 42 - Dispositivo de retenção para uso como auxílio em treinos de natação. Fonte: (WHITLING, 1980).

Outro objetivo é desenvolver um equipamento em que meça a força de saída da braçada. Esta força é medida em um transdutor no eixo de suporte da cabeça que fornece um sinal de saída para um medidor disponível. Este transdutor é um "Strain Gauge" em que varia a tensão de saída em resposta à pressão ali aplicada.

B6 Patente: Swimmer Training Device - U.S. PATENT Nº 3,861,675 de Robert T. Hopper de 21 jan. 1975

O objetivo desta invenção é fornecer um dispositivo de treinamento, no qual uma carga variável pode ser carregada para variar a força de restrição em que o nadador deve superar com uma força contrária e desta forma contribuir no desenvolvimento dos músculos do corpo utilizados na natação, particularmente no treinamento para eventos de natação competitiva. Na FIGURA 43 o desenho da patente.

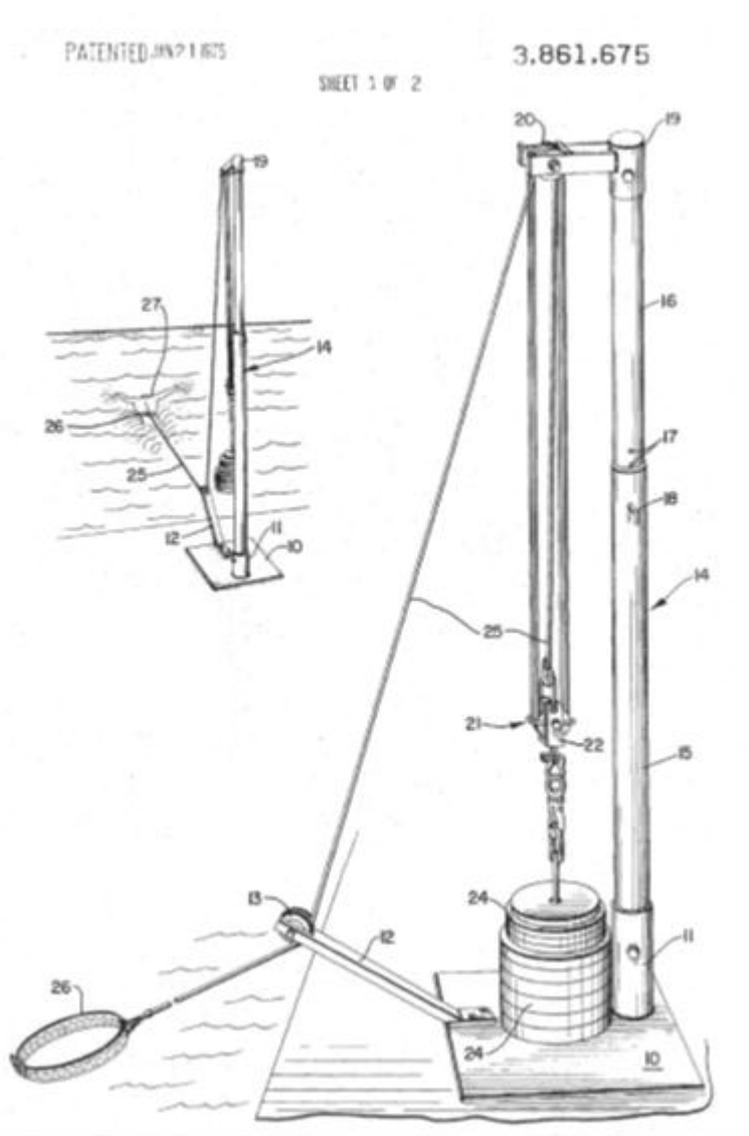


FIGURA 43 - Dispositivo de treinamento para a natação consistindo de um poste com uma carga variável presa ao nadador. Fonte: (Hopper, 1975).

Outro objetivo é desenvolver um aparelho barato e compacto que possa ser transportado e montado em curto espaço de tempo. Consiste de uma base, um poste do qual existe um pino na parte superior para e que suporte um determinado peso. Várias roldanas são montadas na parte superior e outra roldana na parte inferior.

Um cabo de ligação dos pesos ao nadador por meio de um cinto adaptado e fixado ao corpo do mesmo

Assim enquanto o nadador nada puxando o cabo, o peso é elevado. Cargas diferentes podem ser colocadas para serem suspensas.

B7 Patente: Swim Instruction, Training and Assessment Apparatus - U.S. PATENT N° 5,391,080 de Robert H. Bernacki de 21 Bev. 1995

Este aparelho está relacionado a um dispositivo para atividades instrucionais, treinamento, avaliação e pesquisa na atividade de natação e particularmente para o controle e monitoramento da aplicação de forças positivas e negativas ao nadador.

O ambiente da piscina por si mesmo apresenta vários desafios de engenharia. Considerações de segurança elétrica na área da piscina devem prever o uso de equipamentos que empregam alimentação alternada (AC) como fonte de potência principal. Uma outra consideração é com a logística de instalação e tamanho físico. Uma piscina cheia de pessoas com uma larga variedade de plataformas de saídas possui um espaço limitado para instalação de outros equipamentos. Estes equipamentos devem, pela natureza do deck azulejado em volta das piscinas, requerer o uso de montagens especializadas. Na FIGURA 44 o desenho da patente.

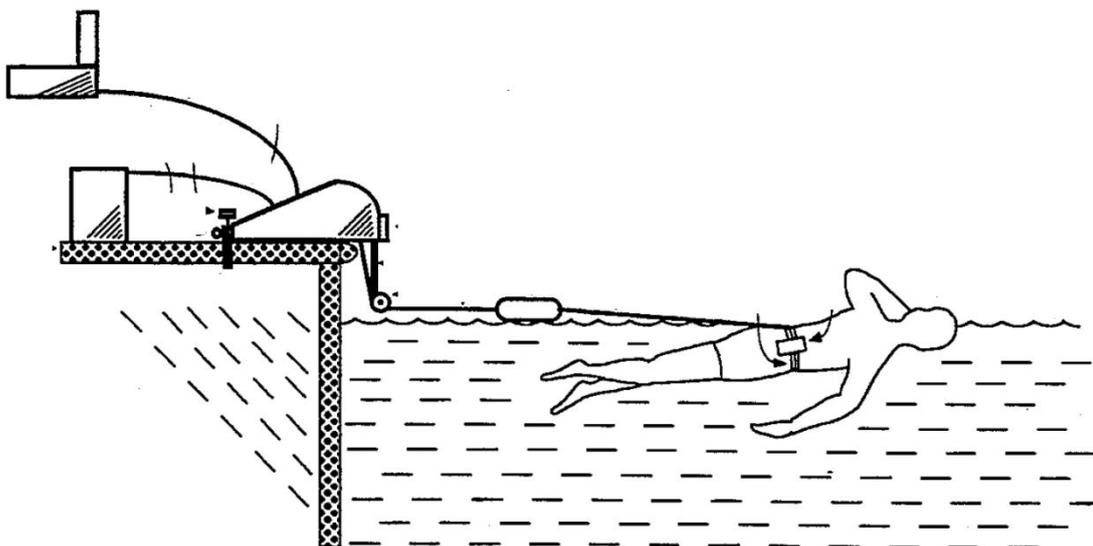


FIGURA 44 - Ilustração do aparelho. Fonte (Bernacki, 1995).

Um dos objetivos desta invenção é ajudar na instrução e desenvolvimento de

mecanismos de braçada com técnicas tais como “Sprint”, assistido pela aplicação da bio retroalimentação para um nadador. Fornecendo assim avaliação de diagnóstico do desempenho do nadador enquanto estiver nadando com medidas básicas como medida da eficiência da braçada, balanço e ondulação, bem como medidas de procedimento complexo como excesso e estimativa da potência anaeróbica como um procedimento automatizado.

No dispositivo, um nadador como na FIGURA 44 é atado ao equipamento na cintura por cabos de aço de aviação cobertos por teflon. O arreio provê uma ligação ao equipamento de telemedição ao nadador.

Este dispositivo contém um sensor de velocidade que acoplado ao cabo do controlador gera um sinal de saída proporcional à velocidade do nadador. Este controlador é um controlador programável. Além do mais, este controlador possui um meio de detectar automaticamente se a velocidade do nadador está dentro de uma faixa pré-determinada de velocidades, assim como detectar a direção do nadador quando este esta mudar sua trajetória dentro da piscina.

B8 Patente: Programmable Audible Pacing Device - U.S. PATENT Nº 5,921,8590 de Patrick G. Milley de 13 Jul. 1999

Esta patente relata um dispositivo de controle de ritmo (velocidade) programável que emite sinais audíveis para o usuário em intervalos de tempo regular. O usuário pode pré-programar o equipamento.



FIGURA 45 - Exemplo de uso do dispositivo de "pace" sonoro e programável. Fonte (Milley, 1999).

Nadadores usam tabelas de tempo para prever a quantidade de ácido láctico liberado durante o exercício aeróbico e anaeróbico no treinamento. Estas tabelas fornecem um modo preciso de controle da energia gasta.

O equipamento é composto de um relógio para medir o tempo, de um dispositivo sonoro capaz de emitir uma série de sons diferentes onde cada série corresponde a um conjunto de velocidades e de memória capaz de ser programada para armazenamento de conjunto de diferentes intervalos. Possui também um modo de entradas de dados para programação dos intervalos de tempo, como por exemplo, controlar a frequência da braçada de acordo com o ritmo do som emitido pelo equipamento.

O equipamento inclui um display digital (cristal líquido) ou alfanumérico para que a tempo possa ser visualizado pelo usuário. A informação pode ser retransmitida para a unidade sinalizadora por transmissão infravermelha ou por rádio. Isto permite uma programação remota que pode ser feita pelo técnico

entrando com informação significativa do intervalo de tempo na unidade de entrada e transmitindo remotamente para a unidade sinalizadora.

B9 Patente: Swimmer's Training Method with a Visual Display - U.S. PATENT Nº 6,033,228 de Eli M. Ladin 07 Mar 2000

A invenção é composta por um módulo retangular preso à cintura do nadador no lado submerso. Esta posição é preferida para que a água passe ininterruptamente por um orifício na caixa inferior do módulo enquanto o nadador avança na água. Enquanto o nadador avança na água, força a água a entrar pelo orifício diretamente para um rotor montado que possui pares de ímãs em suas lâminas. Ao serem rotacionadas as lâminas do rotor produz um campo magnético que age em um sensor. A resultante é um sinal de saída pulsante cuja frequência varia diretamente com a velocidade do nadador. Esta posição é afastada das águas turbulentas devido à rotação dos braços. Na FIGURA 46 o desenho da patente.

A informação de mudanças em sua velocidade é passadas imediatamente para o visor nos óculos do atleta informando-o da mudança.

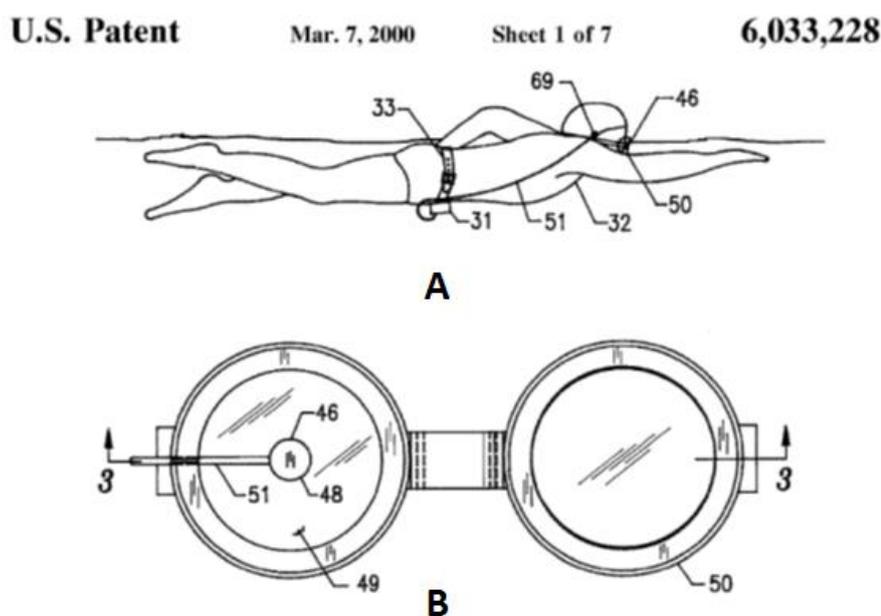


FIGURA 46 - Dispositivo para treinamento com um display visual. US PAT. 6,033,228. Fonte: (Landim, 2000). Em A uma vista do atleta. Em B vista do óculos.

B10 Patente: System and Method for Training a Swimmer - U.S. PATENT Nº 6,086,379 David Pendergast, Hamburg; 11 Jun. 2000

Descreve um sistema que fornece controle e monitoramento de aplicação de forças positivas e negativas por meio eletrodinâmico sob o controle de um controlador eletrônico. O sistema é um medidor de natação que associado a um computador onde é medida a velocidade e a frequência de braçada, fornece a velocidade de pico, média e mínima ao mesmo tempo em que a frequência da braçada e mudanças instantâneas ocorrem na velocidade do nadador. Ainda dá o valor do arrasto passivo e a efetividade das largadas e voltas.

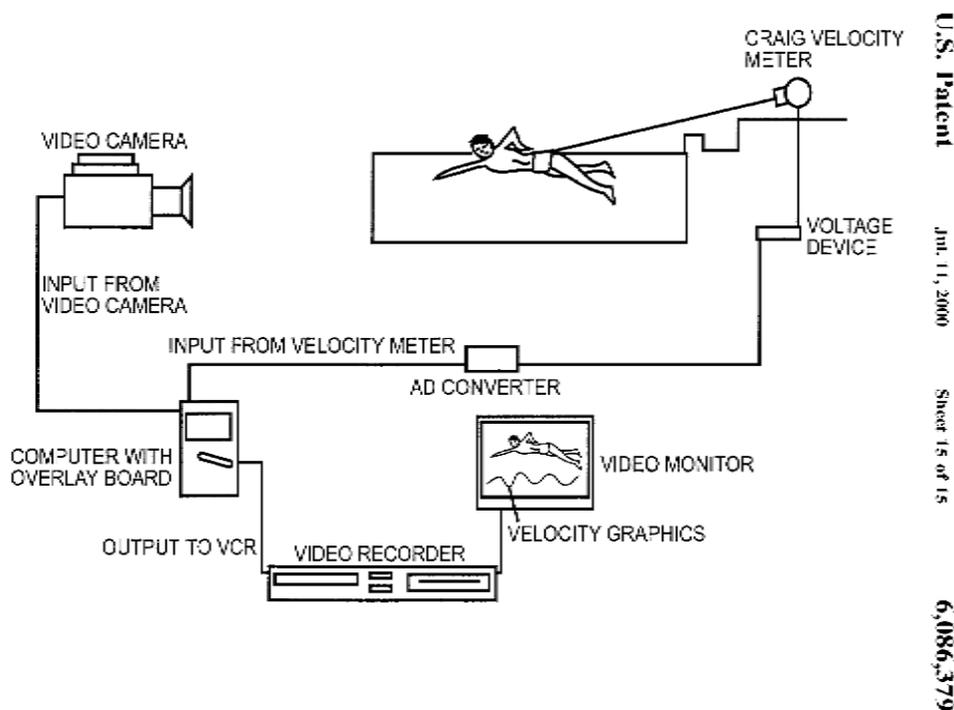


FIGURA 47 - Sistema de medição de velocidade patenteado com contato físico, PATENT Nº 6,086,379. Fonte (Pendergast, 2000).

Os óculos de natação com LEDs comunicam-se com o nadador através de um sinal piscante. Um modelo de treinamento implementado por programa de computador para melhorar a biomecânica, distância por braçada e metabolismo aeróbico do nadador.

A faixa de luzes é usada para ajudar os nadadores a obterem a velocidade de treino. Esta faixa é colocada no fundo da piscina e no centro de cada raia para que o nadadores possam nadar diretamente sobre a faixa.

A presente invenção também prevê um protocolo de testes nos quais a técnica de treinamento é “prescrita”. Os testes envolvem uma combinação de medidas da velocidade instantânea com vídeo análises sobre uma grande faixa de frequências de braçadas.

O treinamento prescrito é uma rotina progressiva envolvendo condicionamento biomecânico e condicionamento metabólico. O treinamento é conduzido por um sistema de controle que marca a velocidade e a distância da natação e pode ser mediado pela frequência da braçada.

O protocolo de teste é usado para calcular o progresso do nadador permitindo uma “sintonia fina” com os aspectos técnicos da competição (saída, volta e comprimento da braçada).

Os óculos de natação com os diodos emissores de luz (LED) têm o propósito de fornecer ao nadador um sinal visível por meio de uma luz piscante que comunica-se com o nadador como frequência da braçada que ele deve manter.