

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE COMPUTAÇÃO E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
BACHARELADO EM TECNOLOGIAS DIGITAIS**

LEONARDO FRANKE

ANÁLISE POSTURAL DIGITAL PARA CICLISTAS

CAXIAS DO SUL

2014

LEONARDO FRANKE

ANÁLISE POSTURAL DIGITAL PARA CICLISTAS

Trabalho de Conclusão para obtenção do grau
de Bacharel em Tecnologias Digitais. Curso
de Bacharelado em Tecnologias Digitais.
Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. Carlos Nery

CAXIAS DO SUL

2014

Dedicatória

Aos meus familiares...

Aracy Franke

Débora Franke

Hannelore Hisserich Franke

Hugo Franke

Tiago Franke

Ruth Hisserich

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pelo apoio durante toda a minha trajetória.

Ao meu orientador, professor Carlos Eduardo Nery, pelos conselhos e seu tempo dedicado.

Aos meus colegas e amigos que colaboraram com minha jornada acadêmica, pelo compartilhamento de conhecimento e amizade.

“O sofrimento é passageiro,
desistir é pra sempre.”

Lance Armstrong

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 BIKE FIT	15
2.1 LESÕES COMUNS EM CICLISTAS.....	15
2.2 AJUSTES POSSÍVEIS NOS COMPONENTES DA BICICLETA	16
2.3 POSICIONAMENTO IDEAL DO CICLISTA	19
2.4 FERRAMENTAS DIGITAIS ATUAIS UTILIZADAS EM AVALIAÇÕES POSTURAS.....	23
3 IMAGEM DIGITAL	25
3.1 AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO.....	27
3.2 SISTEMA DE CORES HSV.....	29
4 FOTOGRAFIA DIGITAL	31
4.1 SENSORES.....	31
4.2 SISTEMAS ÓPTICOS E POSSÍVEIS DISTORÇÕES E ERROS DE PERSPECTIVA.....	35
5 VISÃO COMPUTACIONAL	37
5.1 SEGMENTAÇÃO.....	37
5.1.1 Detecção de Descontinuidades.....	37
5.1.3 Segmentação orientada a regiões.....	40

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS CIRCULARES.....	41
6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	43
6.1 INTERFACE GRÁFICA.....	43
6.1.1 Janela de captura das fotografias.....	43
6.1.2 Janela de calibração da captura.....	45
6.1.3 Janela de resultados.....	46
6.2 PROGRAMAÇÃO IMPLEMENTADA.....	47
6.2.1 Aquisição da imagem digital.....	48
6.2.2 Análise da imagem digital.....	49
6.2.2.1 Calibragem da captura.....	49
6.2.2.2 Ângulos entre os círculos encontrados.....	51
6.2.3 Apresentação Dos Resultados Da Análise.....	52
7 TESTES, VALIDAÇÃO E RESULTADOS.....	54
8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

RESUMO

O presente trabalho objetiva o estudo de conceitos e desenvolvimento de um sistema digital que auxilie ciclistas amadores, de forma simples, a obterem um posicionamento correto durante o pedalar. Tal sistema, nomeado BFit4All, contribuirá com a saúde e desempenho do ciclista. Utilizando-se de ferramentas digitais, como câmeras, bibliotecas de visão computacional e ambientes de programação, o aplicativo faz uma análise de fotografias do ciclista pedalando para então propor sugestões de ajustes a serem feitos na bicicleta.

Palavras-chave: postura, ciclista, bicicleta, fotografia, digital.

ABSTRACT

This paper aims to study the concepts and develop a digital system that helps amateurs cyclists, in a simple way, to obtain a correct positioning during pedaling. This system, named BFit4All, will contribute to the health and performance of the rider. Using digital tools like cameras, computer vision libraries and programming environments, the application proposes to do an analysis of photographs of the cyclist pedaling, then propose suggestions for adjustments to be made on the bike. After bibliographic data collection and studies about the theme, the system proved to be feasible to achieve.

Key words: posture, cyclist, bike, photography, digital

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síndrome Patelofemural	16
Figura 2- Áreas de contato ciclista/bicicleta.	17
Figura 3 - Representação esquemática dos componentes ajustáveis.	17
Figura 4 - Medição do cavalo.	18
Figura 5 - Medição do eixo do pé-de-vela até o topo do selim	19
Figura 6 - Taco de uma sapatilha para ciclismo de estrada	20
Figura 7 - Posicionamento do Taco.....	20
Figura 8 - Análise dos ângulos nas articulações.	21
Figura 9 - Ponto Morto Inferior	22
Figura 10 - Alinhamento do joelho com o pedal	22
Figura 11 - Flexão do tronco	23
Figura 12 – Mensuração de ângulos utilizando o software Corel Draw 12.....	24
Figura 13 - Representação do processo de amostragem.	25
Figura 14 - Representação do processo de quantização.	26
Figura 15 - Matriz de uma imagem digital monocromática.....	26
Figura 16 - Representação do processo de digitalização de uma imagem	28
Figura 17 - Sistema de Cores HSV	30
Figura 18 - Layout de sensores CCD.....	32

Figura 19 - Layout de sensores CMOS.	33
Figura 20 - Layout de sensores CMOS/CDD coloridos.	34
Figura 21 - Câmera com 3 sensores.	34
Figura 22 - Distorções ópticas e erros de perspectiva.	36
Figura 23 - Lentes telecêntricas.	36
Figura 24 - Máscaras de detecção de descontinuidades.	38
Figura 25 - Imagem digital com seu histograma.....	39
Figura 26 - Segmentação por crescimento de regiões.	40
Figura 27 - Segmentação por divisão e agrupamento.....	41
Figura 28 – TH para identificação de círculos.	42
Figura 29 - Janela de Captura da Fotografias	44
Figura 30 - Janela de Calibragem	46
Figura 31 - Janela de Resultados.....	47
Figura 32 - Classes Implementadas.....	48
Figura 33 – Código Conversão HSV	50
Figura 34 - Código <i>InRange</i>	50
Figura 35 - Código Transformada de Hough	51
Figura 36 - Código Imagens dos Resultados	52
Figura 37 - Código Comparações de Resultados.....	53
Figura 38 - Marcador inicial.....	55

Figura 39 - Primeiro teste.....	55
Figura 40 - Novo Marcador.....	56
Figura 41 - Segundo Teste.....	56
Figura 42 - Registro dos Teste	57
Figura 43 - Calibragem Usuário 2	58
Figura 44 - Resultados Usuário 2.....	59
Figura 45 - Resultado Usuário 3.....	61
Figura 46 - Registro Teste Usuário 3	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT&T	<i>American Telephone and Telegraph</i> , Telefone e Telégrafo Americana
CCD	<i>Charge Coupled Devic</i> , Dispositivo de Carga Acoplada
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i> , Semicondutor Metal-óxido Complementar
GUI	<i>Graphic User Interface</i> , Interface Gráfica do Usuário
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , Organização Internacional de Padronização
OpenCV	<i>Open Source Computer Vision</i> , <i>Visão Computacional de Código Aberto</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PN	Ponto Neutro
TH	Transformada de Hough

1 INTRODUÇÃO

O Brasil vive um momento propício para a evolução da ciência esportiva, pois foi a sede Copa das Confederações de Futebol em 2013, da Copa do Mundo de Futebol em 2014, e será dos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016. Ricardo Avellar (apud Ferreira, P. 2010, pg.56), coordenador geral de Excelência Esportiva da Secretaria Nacional de Esporte de Alto Rendimento, confirma: “Essa é a oportunidade e a motivação de criar ciência e tecnologia, para finalmente sermos protagonistas neste cenário, e não apenas compradores de eventos e soluções esportivas”.

Além da alta *performance* que se busca nos jogos, os investimentos poderão trazer benefícios para futuros atletas que terão uma estrutura muito melhor e maior.

No entanto, atletas iniciantes que atuam no âmbito do esporte brasileiro, os quais não possuem patrocínio ou apoio, na maioria das vezes não conseguem realizar avaliações em centros esportivos ou em laboratórios especializados devido aos custos. Desta forma, são escassas as opções dos atletas brasileiros quanto à possibilidade de analisar sua técnica de forma precisa, levando a realizar avaliações a olho nu por meio de um profissional treinado, que pode não ser tão eficiente quanto um método digital avançado.

Dentre as diferentes modalidades de esportes existentes temos o ciclismo, o qual se popularizou nos últimos anos devido à consagração de Lance Armstrong, que após vencer o câncer, foi heptacampeão do *Tour de France*, que apesar de ter seus títulos retirados em 2013, devido a envolvimento com esquema de *dopping*, serviu de garoto propaganda do esporte por muitos anos. Também por consequência das políticas de incentivo de transporte limpo, esporte para saúde pública e transmissões pelas mídias das principais competições do mundo. Porém, o número de profissionais especializados na modalidade ainda é pequeno, o que torna serviços relacionados, como teste de VO_2^1 , que mede a resistência aeróbica,

¹ Medição da eficiência com que o corpo consegue capturar oxigênio pelos pulmões e distribuir para os tecidos através do sistema cardiovascular, para produção de energia.

assessoria para compra de equipamentos adequados e treinamento orientado, e também medições de potencia e eficiência, muitas vezes de difícil acesso.

O *Bike Fit* é um destes serviços que, segundo Di Alencar e Matias (2009, p.84), “Originou-se com a proposta de analisar as condições morfológicas do ciclista para adequar as dimensões da bicicleta às características antropométricas do seu usuário.” O autor Silberman *et al.* (2005) complementa: “A adaptabilidade de bicicleta adequada é essencial para o conforto, segurança, prevenção de lesões e desempenho máximo. O objetivo é balancear todas as questões possíveis, otimizar energia e eficiência aeróbica e evitar lesões”. Lesões estas mais comuns aparecerem na região lombar, no pescoço e extremidades superiores e inferiores, de acordo com Mestdagh (1998).

Atualmente, não há disponível um método que proporcione uma avaliação fácil, eficiente e sem custos, para que os ciclistas possam corrigir seu posicionamento durante a pedalada.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho propõe um ambiente para analisar através de tecnologia digital a postura do atleta sobre a bicicleta, onde o próprio poderá identificar e corrigir sozinho sua postura ao pedalar, através de análise de imagens digitais obtidas por fotografia digital. O que agregará benefícios e evitará futuras lesões devido ao esforço repetitivo. Para melhor definição, o estudo se focará apenas em bicicletas de ciclismo clássico de estrada, podendo ser acrescentada outras modalidades em trabalhos futuros.

Assim sendo, a fim de orientar o desenvolvimento da proposta, no capítulo 2 é apresentado o conceito de *Bike Fit*, no capítulo 3 os conceitos de imagem digital, seguidos pela conceituação da fotografia digital no 4 e técnicas de visão computacional no 5. Após, no capítulo 6, uma descrição do desenvolvimento do aplicativo, baseada nos estudos realizados nos capítulos anteriores é feita, para então no sétimo capítulo relatar os testes e validações. Por fim, no oitavo capítulo apresenta-se as conclusões e considerações finais deste trabalho.

2 BIKE FIT

O ciclismo por ser uma modalidade esportiva com um padrão de movimento muito repetitivo, onde um ciclista durante uma hora de treino pode ultrapassar cinco mil pedaladas, possui uma grande chance fazer lesões. E, se associada a um posicionamento incorreto, devido a um mau ajuste do usuário em relação aos componentes da bicicleta, essas chances se multiplicam. Além de ocorrer um déficit no desempenho geral, e desconforto. O procedimento, conhecido nacional e internacionalmente por *Bike Fit*, surgiu para realizar estes ajustes importantes e necessários com o intuito de colocar a posicionamento do ciclista dentro de padrões pré-definidos baseados na cineologia e biomecânica (DI ALENCAR e MATIAS, 2009).

2.1 LESÕES COMUNS EM CICLISTAS

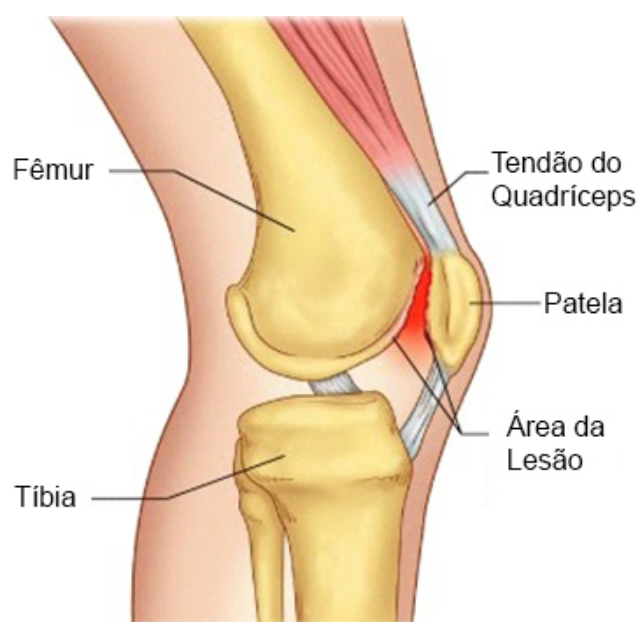
Em primeiro lugar dentre as lesões mais comuns no ciclismo está lombalgia que acomete de 30 a 60% dos ciclistas devido à flexão de tronco sustentada por longos períodos. Em especial quando há discrepância entre o tamanho da bicicleta e do ciclista causando uma hiperflexão não desejada, devido a falta de ajustes, ou quando é necessária uma posição mais aerodinâmica, no caso uma hiperflexão voluntária (DI ALENCAR et al., 2011).

Ainda segundo Di Alencar et al. (2011), dores na região cervical e nos ombros e pulsos também estão relacionadas a esse tipo de posicionamento. No pescoço as dores são devidas a hiperativação dos extensores da coluna, pois o ciclista mais esticado a frente e deitado, de modo a direcionar a face para frente, a fim de olhar para a direção em que está se movimentando.

O autor complementa, afirmando que, os ombros e pulsos absorvem maior impacto quanto o ciclista está hiperflexionado, o que pode ser agravado principalmente por bicicletas de estradas não possuem nenhum tipo de amortecimento.

O movimento de pedalar tem a maior parte da força gerada pelo quadríceps, e esta é transmitida através do joelho, o que torna esta área também muito propícia a dores e lesões. Um selim mal posicionado pode fazer com que esta articulação faça um movimento de extensão ou flexão exagerado e desnecessário, o que faz com que a patela exerça uma alta compressão sobre a cabeça do fêmur, podendo causar desgaste com o tempo, gerando a síndrome patelofemural (Figura 1), uma dor na parte frontal do joelho (MARTINS, 2007).

Figura 1 - Síndrome Patelofemural



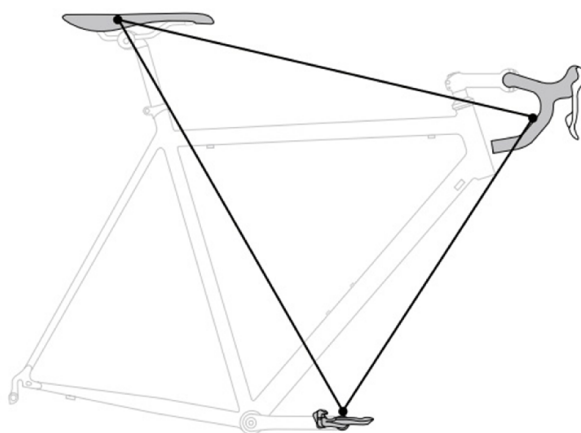
Fonte: Academia happy day. Disponível em
<www.academiahappyday.com.br/site/wp-content/uploads/2011/10/patelar.jpg>
Acesso em 27 de Abril de 2013 – Alterado pelo autor.

2.2 AJUSTES POSSÍVEIS NOS COMPONENTES DA BICICLETA

Manter uma postura adequada é importante para que haja uma harmonia entre as três áreas de contato que o ciclista tem com a bicicleta (Figura 2). São elas: as interfaces pelve-selim, mãos-guidão e sapatilha-pedal. E para encontrar este equilíbrio o profissional do esporte pode realizar o *Bike Fit* fazendo cinco ajustes básicos representados na Figura 3: (A) aumentar ou baixar a altura do selim, (B)

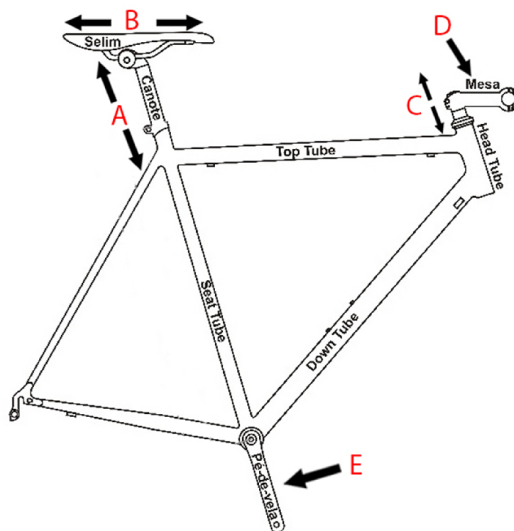
anteriorizar ou posteriorizar o selim, (C) altura da mesa, (D) tamanho da mesa, (E) comprimento do pé-de-vela e o posicionamento do encaixe da sapatilha com o pedal (DI ALENCAR et al., 2011).

Figura 2- Áreas de contato ciclista/bicicleta.



Fonte: Di Alencar et al. (2011)

Figura 3 - Representação esquemática dos componentes ajustáveis.



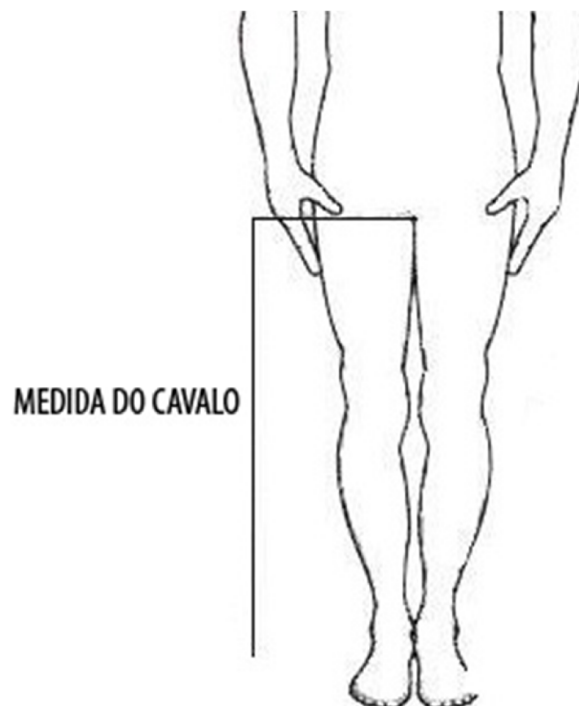
Fonte: Di Alencar et al. (2009). Alterado pelo autor.

De acordo com Di Alencar et al. (2011), apesar da possibilidade destes ajustes, a primeira e mais importante adequação da bicicleta ao atleta deve acontecer na hora da compra, onde o ciclista deve adquirir um quadro com um tamanho compatível com as suas medidas. Um quadro de tamanho inapropriado pode comprometer ajustes futuros, por ser um objeto rígido e não permitir alterações de medidas.

Ainda segundo o autor o tamanho ideal de quadro pode ser encontrado através da fórmula mais aceita na atualidade, desenvolvida pelo engenheiro suíço Wilfried Hüggi, e consiste no chamado tamanho do cavalo (Tc), que é distância do chão até o púbis, em centímetros (Figura 4), multiplicado por 0,65cm, como pode ser visto na equação a seguir:

$$Tc * 0,65 = x \quad (2.1)$$

Figura 4 - Medição do cavalo.



Fonte: Gigabike. Disponível em
<www.gigabike.com.br/Vitrine/AutoAtendimento/AutoAtendimento>
Acesso em 7 de Outubro de 2012.

Depois de adquirida a bicicleta, o segundo principal ponto a ser ajustado é a altura do selim, que também pode ser posicionado através de uma fórmula utilizando a medida do cavalo. Porém desta vez multiplicado por 0,88cm, segundo o método criado pelo ex-ciclista três vezes campeão do Tour da França Greg Le Mond. Esta altura resultante deve ser medida na bicicleta do eixo do pé-de-vela até o topo do selim, como pode ser visualizado na Figura 5. É um ajuste para se ter uma altura inicial base para posterior ajuste mais detalhado. (DI ALENCAR et al., 2011; MESTDAGH, 1998).

Figura 5 - Medição do eixo do pé-de-vela até o topo do selim



Fonte: Specialized. Disponível em <www.specialized.com> Acesso em 27 de Abril de 2013.

2.3 POSICIONAMENTO IDEAL DO CICLISTA

O posicionamento ideal do ciclista é determinado através da análise das angulações das articulações, que seguem de padrões determinados por estudos da cineologia e biomecânica. Estes são valores médios, não devem necessariamente ser seguidos à risca, pois as individualidades de cada usuário devem ser levadas em conta. É um posicionamento neutro, que proporciona o melhor conforto na grande maioria das pessoas.

Segundo o autor Mestdagh (1998), primeiramente deve-se posicionar corretamente o taco da sapatilha (Figura 6), que deve ficar na altura da cabeça do 1º

metatarso, na articulação entre a parte medial do pé com hálux, mais conhecido como dedo maior, ou dedão, de acordo com a Figura 7.

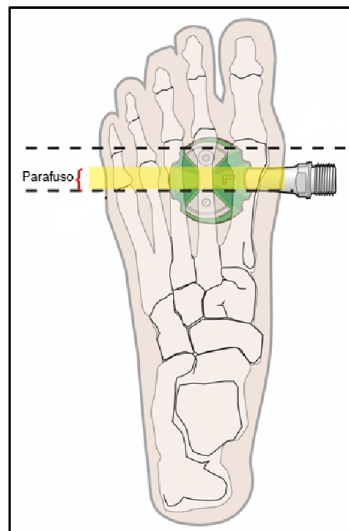
Figura 6 - Taco de uma sapatilha para ciclismo de estrada



Fonte: Google Images. Disponível em <<http://3.bp.blogspot.com/-h1loOC0RV4A/T13mJnKfgKI/AAAAAAAAACbo/qCDcwhrgQS0/s1600/Road+Cleat+Shoe.jpg>>

Acesso em 20 de Abril de 2013.- Alterado pelo autor.

Figura 7 - Posicionamento do Taco



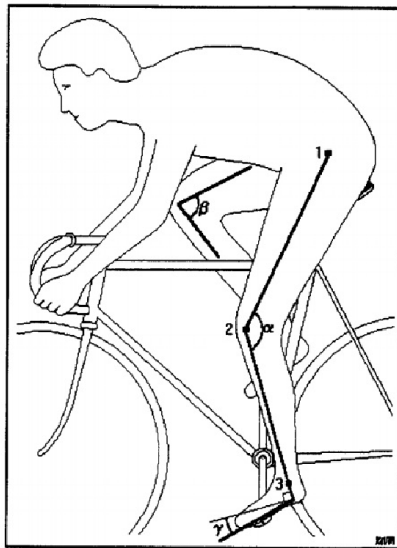
Fonte: Google Images. Disponível em <www.speedmatrix.ca/blog/wp-content/uploads/2013/04/imgH2FaB81.jpg>

Acesso em 20 de Abril de 2013.- Alterado pelo autor.

Ainda segundo o autor, após feito o ajuste do taco, com o ciclista já em cima de sua bicicleta e com a sapatilha engatada no pedal, faz-se a medição dos ângulos entre os membros do ciclista (Figura 8). Devem ser analisados três posições (Figura 9) do atleta: na posição 6 horas, ou Ponto Morto Inferior (PMI), no Ponto Morto Superior (PMS), ou 0 hora, e também na Posição Neutra (PN), onde os pedais ficam paralelos ao solo.

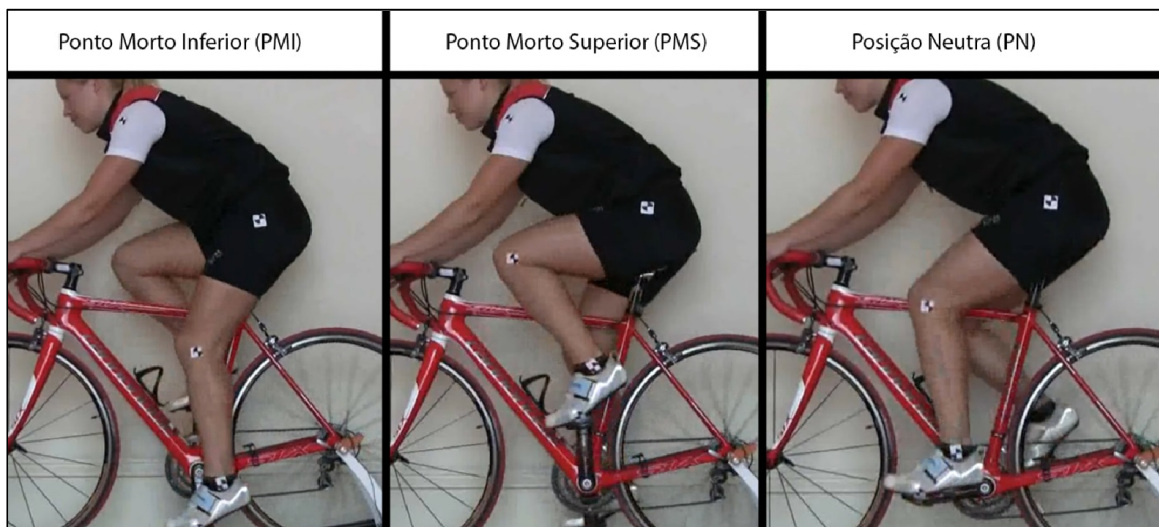
No PMI o ângulo máximo da extensão entre a coxa e a perna deve ficar entre 150 a 155 graus. No PMS este mesmo ângulo não deve ser menor do que 65 graus. Já o ângulo de flexão, ou seja, a elevação da ponta do pé em relação à perna, não deve passar de 13 graus. Estes valores ideais podem ser buscados alterando a altura do selim. (MESTDAGH, 1998; SILBERMAN *et al.*, 2005)

Figura 8 - Análise dos ângulos nas articulações.



Fonte: Mestdagh (1998).

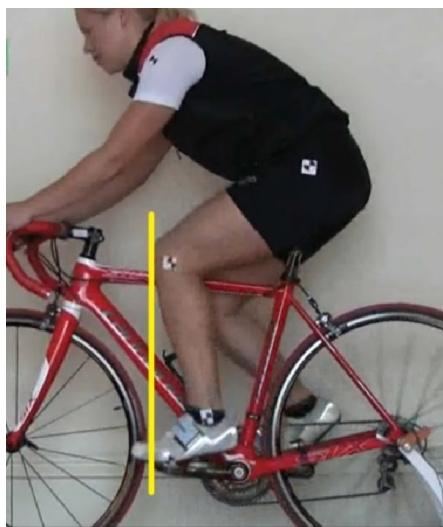
Figura 9 - Ponto Morto Inferior



Fonte: BikeDynamics Bike Fitting Summary. Disponível em <www.youtube.com/watch?v=Guk7Q0QsIOU> Acesso em 08 de Julho de 2012 – alterado pelo autor.

Com o pedal na posição 9 horas, ou neutra, os autores enfatizam que a ponta do osso patelar deve ficar alinhado com o engate da sapatilha no pedal (Figura 10), neste caso o ajuste é feito avançando ou recuando a posição horizontal do selim.

Figura 10 - Alinhamento do joelho com o pedal



Fonte: BikeDynamics Bike Fitting Summary. Disponível em <www.youtube.com/watch?v=Guk7Q0QsIOU> Acesso em 08 de Julho de 2012 – alterado pelo autor.

Também é feita a verificação do tronco em relação a uma linha horizontal paralela ao solo, este ângulo deve estar próximos dos 45 graus com as mãos posicionadas sob os trocadores de marchas e 30 graus quando posicionadas no *drop*². Além do ângulo do tronco em relação ao ponto de apoio das mãos, com os braços levemente flexionados, deve ficar em torno de 90 graus, como pode ser visto na Figura 11. Para ajustar essas posições é possível levantar ou baixar a mesa, além de trocar a mesa por uma maior ou menor. (MESTDAGH, 1998; SILBERMAN *et al.*, 2005)

Figura 11 - Flexão do tronco



Fonte: Silberman *et al.* (2005)

2.4 FERRAMENTAS DIGITAIS ATUAIS UTILIZADAS EM AVALIAÇÕES POSTURAIS

Hoje, com o desenvolvimento tecnológico digital, não há quase nenhuma área de ação humana que não utilize esses recursos para melhorar a qualidade dos serviços oferecidos. As tecnologias têm sido aplicadas de maneira intensa na medicina ajudando os profissionais desta área a diagnosticar e tratar de maneira mais objetiva e precisa diversas doenças. (CASTRO e LOPES, 2003).

A postura humana tem sido amplamente analisada pelos fisioterapeutas através de fotografias digitais, tanto para análise quanto para registro e

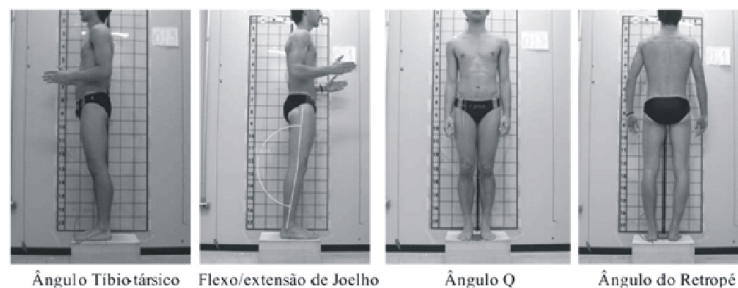
² Parte inferior do guidão, utilizada para uma posição mais aerodinâmica e para arrancadas de curtas distancia, chamadas de *sprints*.

comparações, facilitando, por exemplo, a identificação da evolução do tratamento de algum desvio postural, feita apenas com alguns cliques no computador. Além das vantagens destacadas, verifica-se que opção de ampliação da imagem digital, para uma visualização mais detalhada caso o profissional necessite.

No âmbito da análise da postura corporal no meio médico, verifica-se um grande número publicações que indicam protocolos de avaliação de fotografias digitais (CARDOSO et al., 2007; AMORIM et al., 2005; SACCO et.al., 2007.). Nestas publicações é possível observar também, que apesar de existirem softwares específicos para estes tipos de avaliações, como o *Darthfish*³, que realiza rastreamento automático de pontos da imagem indicados manualmente e apresenta a angulação formada entre retas, soluções mais simples, como aplicativos gráficos, que possuem ferramentas para medir ângulos de forma manual, do qual podemos destacar o Corel Draw e Autocad, ainda parecem ser mais os mais utilizados e difundidos no meio.

Softwares como o *Darthfish*, se apresentam necessários em contextos específicos, por exemplo, na análise cinemática de um vídeo com muitos frames de um atleta correndo, onde se tornaria inviável analisar quadro a quadro. O usuário necessita apenas identificar com cliques os pontos dos marcadores no primeiro frame, e o programa faz automaticamente o rastreamento destes pontos em todos os frames na sequência, porém pode haver uma alta taxa de erros de precisão, dependendo da qualidade da imagem capturada, iluminação, estabilidade, variação de cores, etc.

Figura 12 – Mensuração de ângulos utilizando o software Corel Draw 12



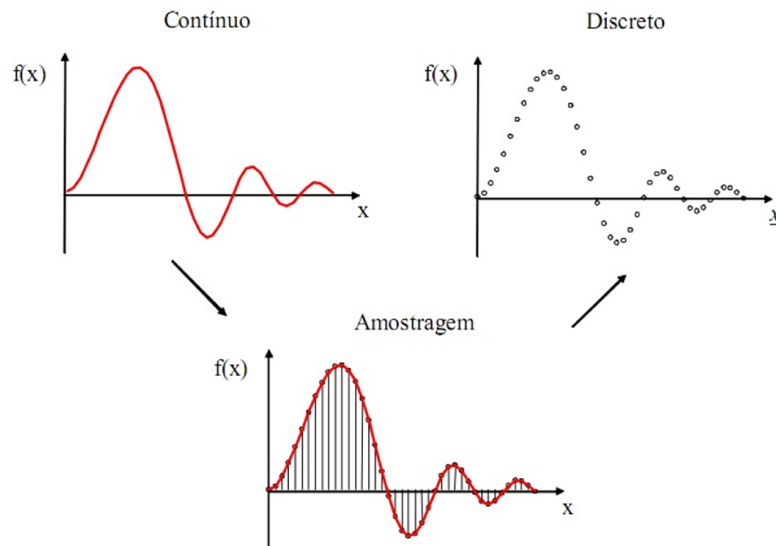
Fonte: Sacco (2007)

³ www.darthfish.com

3 IMAGEM DIGITAL

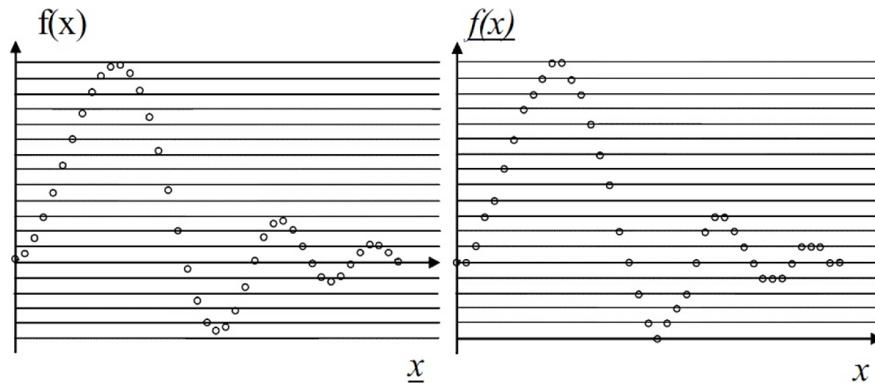
Imagens monocromáticas reais podem ser representadas matematicamente por funções contínuas $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais e f o valor da intensidade (brilho ou nível de cinza) naquele ponto. Porém computadores não tem capacidade de representar imagens contínuas, somente podem de armazenar bits, um valor que podem ser 0 ou 1. Então através da discretização (Figura 13) desta função contínua é possível representar a imagem em uma matriz bidimensional de pontos. Esse processo de discretização das coordenadas denomina-se amostragem, e os valores de intensidade quantização (SCURI, 2005).

Figura 13 - Representação do processo de amostragem.



Fonte: Scuri (2005)

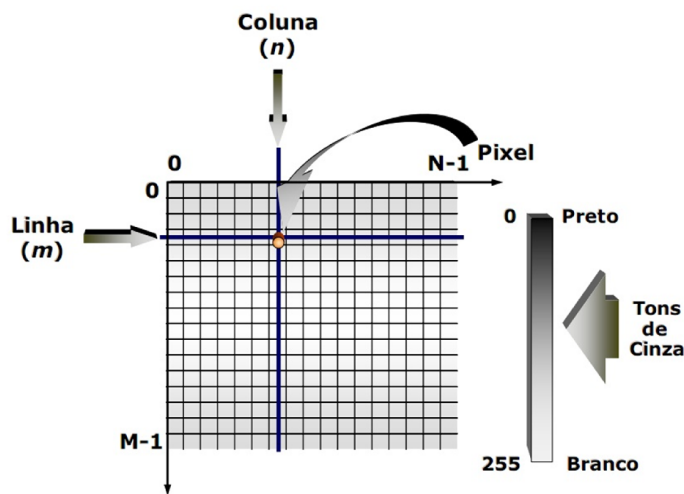
Figura 14 - Representação do processo de quantização.



Fonte: Scuri (2005)

Estes pontos que compõem a imagem são chamados de pixels, abreviação de *Picture Element*, que são posicionados em uma matriz, onde o primeiro número do índice é a posição da linha, e o segundo a posição da coluna. Como pode ser observado na figura 15, a matriz neste exemplo é composta de M linhas e N colunas, portanto os valores dos índices dos pixels poderão variar de 0 a M-1 e 0 a N-1. A origem da matriz, ou ponto (0,0), sempre será no canto superior esquerdo, assim convencionado para seguir a leitura e escrita ocidental (SCURI, 2005).

Figura 15 - Matriz de uma imagem digital monocromática.



Fonte: Queiroz e Gomes (2001)

Segundo Queiroz e Gomes (2001), a intensidade dos pixels podem ser decompostas em componentes de iluminação (i), que pode ser associada à luz que incide sobre esse ponto, as características da fonte de iluminação representado por $i(x,y)$, que deve ser maior que 0, e a reflectância (r), associada à luz refletida, que depende tais características da superfície dos objetos, representada por $r(x,y)$, que deve ser maior que 0 e menor que um. O produto resulta em:

$$f(x,y)=i(x,y).r(x,y) \quad (3.1)$$

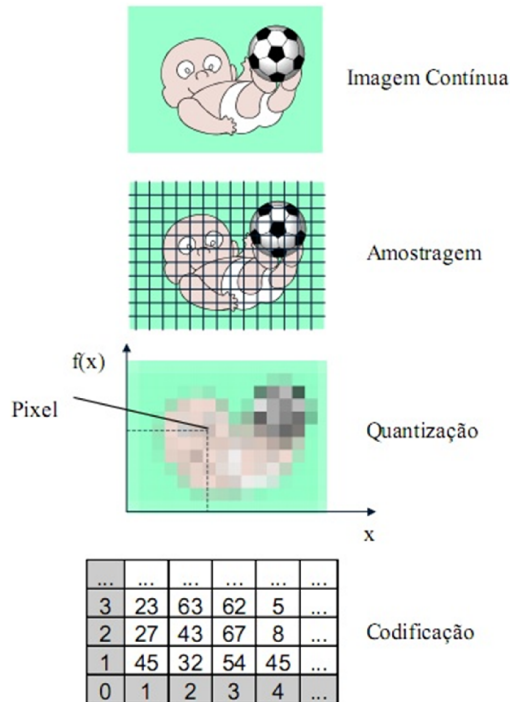
Já em uma imagem colorida no sistema RGB, o pixel é um vetor onde seus componentes alocam as intensidades de vermelho, verde e azul. A imagem colorida pode ser vista como a junção de três monocromáticas, como pode ser visto a seguir.

$$f(x,y)=fr(x,y)+fg(x,y)+fb(x,y) \quad (3.2)$$

3.1 AMOSTRAGEM E QUANTIZAÇÃO

Como foi mencionado no começo do capítulo o processo de trazer uma função continua e torna-la digital é chamado de discretização, isto é, tomar valores pontuais dentro da função continua e guardar seus valores correspondentes. Ela é feita através da amostragem para os valores da coordenadas e em seguida quantização para os valores de intensidade. A amostragem mais comum e popular, implementada na grande maioria dos dispositivos de captura, é chamada de uniformemente espaçada, pois cada amostra é tomada em intervalos iguais. E a quantização mais comum, que consistem em dividir a função em partes iguais, de acordo com o número de bits definido, para armazenar a amostra. Após esse processo tem-se a matriz $M \times N$, como visto anteriormente, onde cada ponto uniformemente espaçado é um elemento carrega a informação da intensidade L . (SCURI, 2005; QUEIROZ E GOMES, 2001).

Figura 16 - Representação do processo de digitalização de uma imagem



Fonte: Scuri, (2005)

A amostragem e quantização resultam em uma imagem digital que é uma aproximação da analógica, ou seja, há uma supressão de informação. Essa equivalência com a imagem analógica, a qualidade com que a imagem será representada digitalmente, varia de acordo com os valores de M , N e L . Aumentando o número de pixels na matriz, resultará numa resolução maior, conseqüentemente mais detalhada, assim como aumentando o valor da possibilidade dos níveis de intensidade, ambos acarretarão em um maior número de bits necessários para codificação binária, portanto, um volume maior a ser armazenado, processado e ou transmitido(SCURI, 2005).

3.2 SISTEMA DE CORES HSV

O sistema de cores RGB pode ser ideal pra geração de cores, porém torna-se limitado quanto a descrição delas. O sistema HSV, ou também chamado HSI, foi desenvolvido para assemelhar-se a forma como os humanos descrevem e interpretam as cores, uma descrição numérica de suas propriedades de matriz, intensidade e saturação (NASCIMENTO, 2010).

Marques Filho e Viera Neto (1999) afirmam que sua utilização é mais intensa em sistemas de visão computacional, e citam como exemplo um sistema automatizado de colheita de frutas, onde é preciso determinar se a fruta está madura a partir da análise da sua coloração externa.

A conversão de RGB para HSV é obtida pelas equações mostradas a seguir, onde é encontrada a tonalidade de cada pixel (3.3), a saturação (3.4), e a intensidade (3.5).

$$H = \sin \theta, \text{ se } B \leq G \text{ ou } H = 360 - \sin \theta, \text{ se } B > G$$

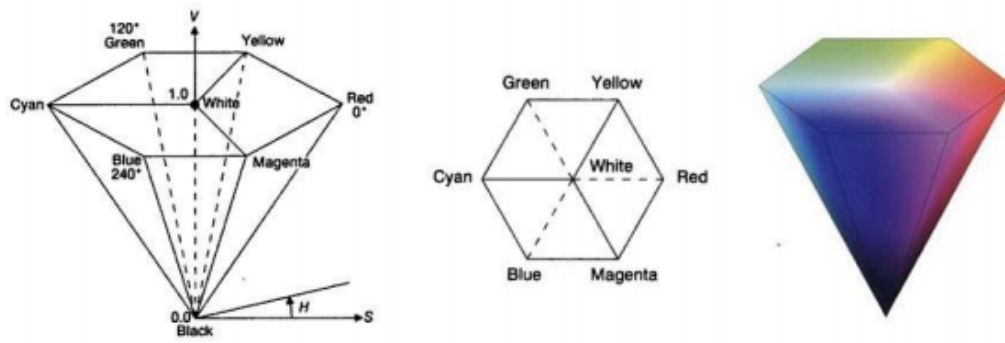
Onde, (3.3)

$$\sin \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \quad (3.4)$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (3.5)$$

Figura 17 - Sistema de Cores HSV



Fonte: Alves (2010)

4 FOTOGRAFIA DIGITAL

Para conversão de uma cena real tridimensional em digital é necessária a captura de tal imagem, um processo de aquisição. Neste trabalho o foco de estudo será em aquisição através de câmeras digitais.

Os principais elementos de todas as câmeras digitais são os sensores, responsáveis por captar os feixes luminosos dos objetos, e o sistema óptico, responsável por direcionar esses feixes para o sensor, os capítulos a seguir apresentarão um estudo sobre estes.

4.1 SENSORES

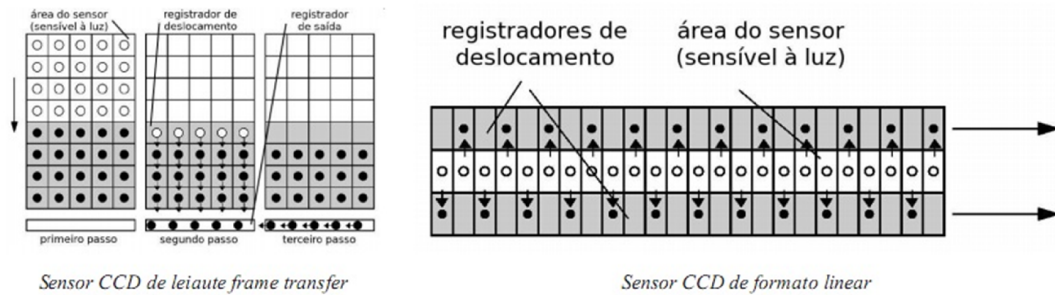
Os sensores são matrizes compostas de elementos fotossensíveis, ou pixels, agrupados de maneira retangular ou linear. Os tipos de sensores mais comuns atualmente são os CCD (*Charge Coupled Device*) e CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) (STEMMER et al., 2005).

De acordo com Stemmer et al. (2005) a arquitetura dos sensores CCD é subdividida em duas partes, a sensitiva e de armazenamento. Na sensitiva os fótons de energia luminosa que incidem sobre cada pixel da camada fotossensível durante o tempo de exposição, despreendem uma quantidade proporcional de elétrons, de acordo com a intensidade luminosa. Essa carga elétrica é armazenada em áreas de armazenamento para posterior transmissão do sinal elétrico. Como pode ser visto na Figura 18 seguir, há três tipos diferentes de *layout* de sensores: entrelinhas (*interline transfer*), transferência por quadros (*frame transfer*) e transferência por quadro completo (*full frame transfer*). Em ambos o princípio de captação permanece o mesmo, o que os diferencia é somente o modo como são armazenados os elétrons.

Após, segundo o autor, este armazenamento a energia é repassada para um registrador de saída, que envia um sinal elétrico com a informação quantizada da região de armazenamento para um elemento processador, que fará a discretização (digitalização) deste sinal analógico.

Os pontos fracos do sistema CCD é a supersaturação (*blooming*) de imagens em determinadas situações e ambientes com fundos escuros, o gargalo de taxa de transferência formado no envio das informações do registrador de saída para o processador e também seu custo de produção mais elevado, em comparação com o CMOS (STEMMER et al., 2005).

Figura 18 - *Layout* de sensores CCD.

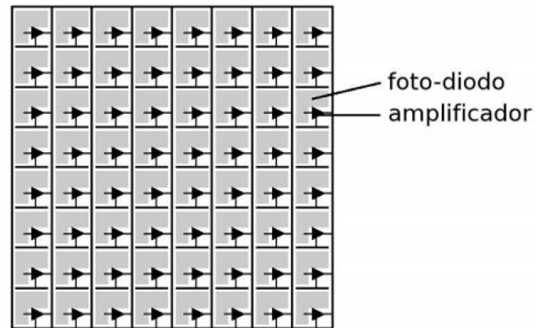


Fonte: Stemmer et al. (2005)

Já os sensores CMOS, apesar de sua arquitetura mais complexa, sua produção é mais barata devido a sua produção ser semelhante a dos processadores, podendo inclusive ser fabricado na mesma linha de produção. Neste tipo de sensor não há região de armazenamento, isto é as informações elétricas advindas de cada pixel da camada fotossensível, é armazenada em seu próprio resistor, e enviada diretamente para o processador realizar a digitalização, como exemplificado na Figura 19 (STEMMER et al., 2005).

Este tipo de sensor tem apenas uma desvantagem em relação aos CDD, o ruído de imagem mais alto, devido ao seu *layout*. Porém as vantagens são inúmeras, como consumo de energia muito menor, taxa de transferência de sinal de aquisição maior, acesso direto do valor de cada pixel, e como já foi mencionado o custo menor (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Figura 19 - Layout de sensores CMOS.



Fonte: Stemmer et al., (2005)

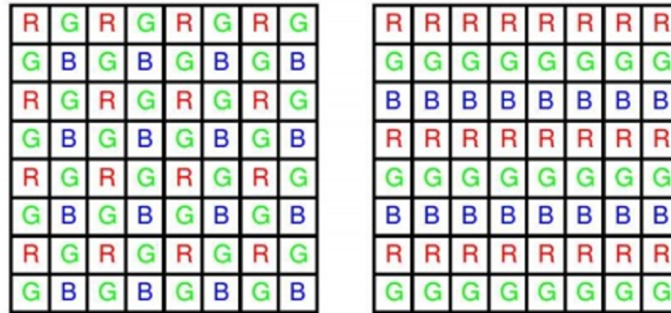
A aquisição de imagens coloridas em RGB pode ocorrer com câmeras de somente um sensor, como é o caso de webcam, câmeras de celular, e câmeras mais simples, ou com três sensores, em equipamentos mais caros e que resultam em maior qualidade, por exemplo, as câmeras semiprofissionais e profissionais (STEMMER et al., 2005).

Segundo Stemmer et al. (2005), com somente um sensor há uma perda de cerca de 10% da resolução da imagem, em relação às monocromáticas, devido à organização da informação de cores, que pode ser de duas maneiras diferentes: por linhas ou por mosaicos (figura 20). O autor complementa afirmando, que quando o dispositivo possui apenas um sensor, câmeras monocromáticas são melhores soluções para aplicações de metrologia ou aplicações em que a resolução do sistema seja um fator importante.

Em dispositivos com três sensores, cada um fica responsável por uma das cores primárias do RGB. Para que ocorra essa divisão de cores os feixes de luz que entram na câmera passam por um conjunto de prismas direcionando-a para seu respectivo sensor (Figura 21). Obtêm-se então três imagens distintas, digitalizadas e armazenadas separadas, que quando combinadas formam a imagem colorida. As desvantagens em relação a equipamentos com somente um sensor é o custo mais

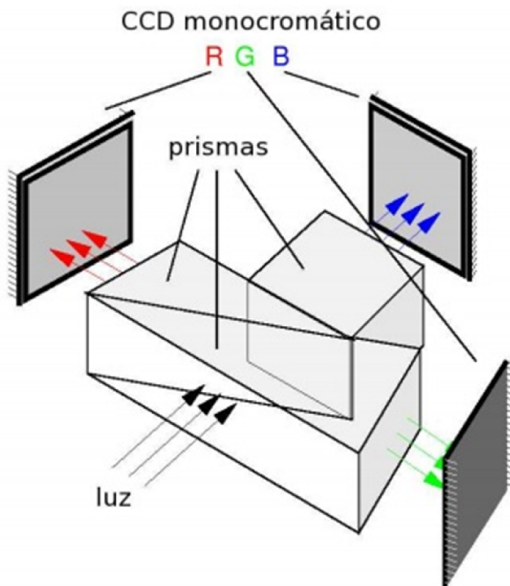
elevados, e uma sensibilidade pouco mais fraca, devido à divisão da luz nos prismas (STEMMER et al., 2005; MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

Figura 20 - Layout de sensores CMOS/CDD coloridos.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

Figura 21 - Câmera com 3 sensores.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

4.2 SISTEMAS ÓPTICOS E POSSÍVEIS DISTORÇÕES E ERROS DE PERSPECTIVA

Segundo Stemmer et al.(2005) sistema óptico de uma câmera é formado pela composição de lentes, tubos extensores, e de montagem, filtros, difusores, polarizadores, espelhos, prismas e fibras ópticas, sendo responsável pelo direcionamento e dimensionamento dos feixes luminosos que provêm do objeto para o sensor óptico.

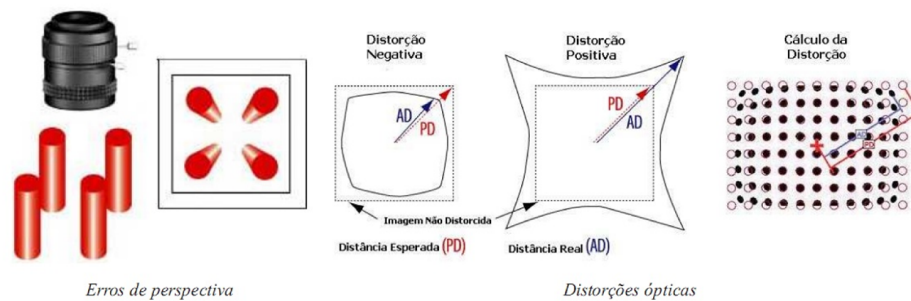
Ainda segundo o autor, as lentes que podem ser côncavas, convexas, plano-convexas, telecêntricas, dentre outras, tem a função de foco e ampliação e redução. Já os tubos de montagem servem para adaptar diferentes padrões de lentes e câmeras e os extensores auxiliam na magnificação (ampliação e redução) da imagem. Os filtros por sua vez, extraem frequências específicas do espectro luminoso que incide no sensor, o autor exemplifica citando luz de cores visíveis ao olho humano, infravermelho, e ultravioletas. Difusores tem a função de deixar a imagem com iluminação mais homogênea, já os polarizadores filtram a intensidade dos feixes luminosos. Espelhos, por sua vez, são usados na manipulação da trajetória dos feixes luminosos incidentes na cena em estudo por reflexão. E por fim os prismas tem a função de dividir os feixes luminosos, como no caso de câmeras com três sensores.

O autor complementa afirmando que a qualidade final de uma imagem pode se alterada devido a erros de distorção e perspectiva. A distorção é um fenômeno que ocorre com as lentes devido as suas características esféricas, produzindo diferença de tamanho em pontos distintos, fazendo com que objetos fiquem em uma posição incorreta em relação ao seu centro. Não há perda de informação, somente um posicionamento errôneo. Essa distorção ($D\%$) pode ser corrigida por software calculando-se a porcentagem de erro de distorção ou deslocamento ocasionado pelas lentes, através dos valores de distância atuais (AD) e previstos (PD) nas imagens adquiridas, conforme a equação a seguir (STEMMER et al., 2005).

$$D\% = \frac{AD-PD}{PD} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Os erros de perspectiva, conhecidos como parallax, segundo Stemmer et al.(2005) são fenômenos, normais a nós humanos, são eles que nos permitem enxergar em três dimensões. Eles ocasionam uma mudança na magnificação de um objeto, dando a impressão que as regiões mais próximas da lente tenham tamanhos maiores que as que estão mais distantes.

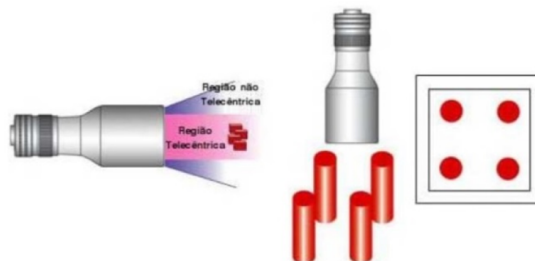
Figura 22 - Distorções ópticas e erros de perspectiva.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

Estes dois fenômenos, em geral, não comprometem substancialmente um sistema de visão computacional, é o que afirma Stemmer et al.(2005). Mas há para aplicações de muita precisão, a alternativa de se usar softwares que tentam corrigir as distorções, ou então usar lentes telecêntricas (Figura 23), que possuem uma segunda íris, permitindo que apenas feixes luminosos paralelos ao eixo óptico incidam no sensor. Estas lentes tem um custo maior e tem o campo de visão limitado ao diâmetro da lente.

Figura 23 - Lentes telecêntricas.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

5 VISÃO COMPUTACIONAL

A visão computacional procura emular a visão humana, tentando extrair características importantes. Possui como entrada uma imagem, porém, a saída é uma interpretação parcial ou inteira da imagem, extrair medidas qualitativas e quantitativas dos objetos existentes na cena (MARENGONI e STRINGHINI, 2009).

No contexto deste trabalho, neste capítulo será feito um estudo sobre a segmentação de uma imagem digital para separação dos pontos de interesse, para posterior identificação de formas circulares que serão os marcadores colados ao corpo do ciclista, para posterior cálculo da angulação entre eles.

5.1 SEGMENTAÇÃO

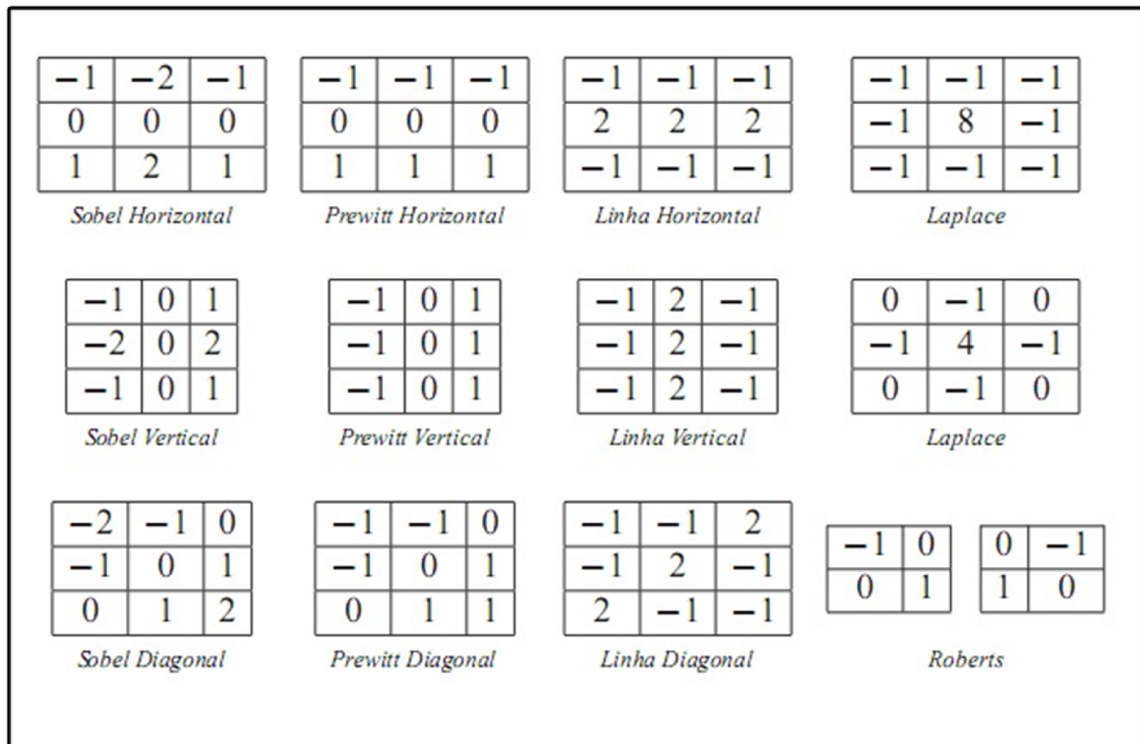
Em processos de análise de imagens, é necessário a extração de medidas, características ou informações de uma dada imagem por métodos automáticos ou semiautomáticos. Essa extração é feita pela segmentação, que consiste na subdivisão da imagem em partes ou objetos. Os algoritmos para imagens monocromáticas são baseados em duas propriedades básicas: a descontinuidade e a similaridade dos níveis de cinza (ou cores). O fundamento da descontinuidade consiste da segmentação em zonas caracterizada por mudanças bruscas dos níveis de cinza. Este tipo de algoritmos é utilizado quando há interesse em pontos isolados, linhas e bordas da imagem. Já a os algoritmos baseados em similaridade tem fundamento na limiarização e crescimento de regiões (QUEIROZ E GOMES, 2001) .

5.1.1 Detecção de Descontinuidades

Como mencionado no início do capítulo esse tipo de segmentação procura regiões de transição abrupta do nível de intensidade luminosa dos pontos da imagem para realizar as divisões. Dentre as descontinuidades mais comuns encontram-se pontos, linhas e bordas. Para este tipo de algoritmo é interessante aplicar um pré-processamento de imagem que acentue as características procurada, por exemplo o filtro *Sharpen Edges*. Como pode ser visto na figura 24 há inúmeras

configurações padrões de máscaras de convolução próprias para a detecção de cada uma destas características (STEMMER et al., 2005).

Figura 24 - Máscaras de detecção de descontinuidades.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

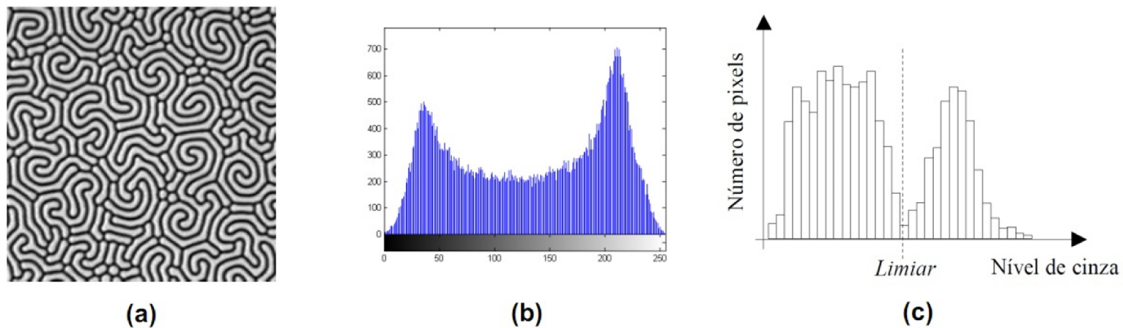
Stemmer et al. (2005) complementa indicando as melhores aplicações para cada máscara. A detecção de pontos, por exemplo, as máscaras de Laplace são as que mais terão eficácia, pois dão ênfase para o ponto centrado na máscara e reduzem a influência de seus vizinhos. Já para detecção de linhas pode-se usar máscaras especiais para ênfase de linhas horizontais, verticais ou na diagonal. Na detecção de bordas de objetos, várias são as possibilidades usadas, sendo as mais comuns apresentadas por Roberts, Prewitt e Sobel, que são operadores semelhantes às de linhas, porém adicionado o conceito de gradiente. Esse conceito é necessário, pois bordas não costumam ser abruptas, mas sim suaves.

5.1.2 Limiarização (*Thresholding*)

Segmentação por limiarização é uma abordagem de similaridade de níveis, mediante a definição de um limiar T , de baixo custo computacional utilizado para particionar uma imagem digital em regiões mutuamente exclusivas (NASCIMENTO, 2010).

Tradicionalmente, a aplicação de limiares está ligada a um estudo do histograma da imagem, pois neste tipo de processo há uma dificuldade de determinar o valor de limiarização mais adequado. Por exemplo, em uma imagem com um grande contraste, como um livro, onde normalmente o fundo é branco e os caracteres pretos, o limiar ficará entre os dois picos do histograma. Um exemplo similar pode ser visto na figura 25. A segmentação se dá varrendo-se a imagem, pixel a pixel, e rotulando-se cada pixel como sendo do objeto ou do fundo, em função da relação entre o valor do pixel e o valor do limiar. Múltiplos limiares podem ser definidos em uma única imagem. O tipo Canny de *Thresholding considerado com melhor eficiência* (NASCIMENTO, 2010; QUEIROZ E GOMES, 2001).

Figura 25 - Imagem digital com seu histograma.



(a) Imagem em tons de cinza. (b) Histograma de (a). (c) Interpretação dos eixos do histograma.

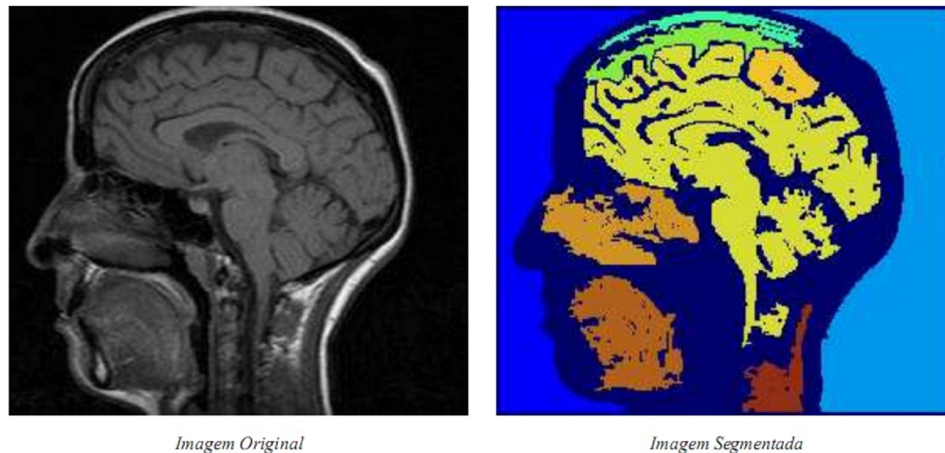
Fonte: Nascimento (2010)

5.1.3 Segmentação orientada a regiões

De acordo com Nascimento (2010) a segmentação orientada a regiões também é uma abordagem baseada em similaridades de níveis de cinza ou cores. Duas técnicas são bem conhecidas: segmentação por crescimento de regiões (*region growing*) e por divisão e agrupamento de regiões (*split and merge*).

Segundo Queiroz e Gomes (2001) o crescimento de regiões (Figura 26) é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões similares em regiões maiores, de acordo com um critério pré-definido de semelhança, tais como, intensidade, textura, cor, etc. O crescimento inicia-se a partir de pontos denominados sementes. Essa técnica apresenta dificuldades, como a seleção adequada de pontos sementes, e definição de critérios de crescimento adequado.

Figura 26 - Segmentação por crescimento de regiões.



Fonte: Stemmer et al. (2005)

Já a segmentação por divisão e agrupamento (Figura 27) faz o caminho contrário ao crescimento por regiões, segundo Nascimento (2010), “esta técnica visa subdividir uma imagem num conjunto arbitrário de regiões disjuntas e posteriormente realizar a junção (*merging*) e/ou separação (*splitting*) dessas regiões na tentativa de satisfazer as condições indicadas”.

Figura 27 - Segmentação por divisão e agrupamento.



Fonte: Stemmer et al. (2005) - alterado pelo autor.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DE FORMAS CIRCULARES

O método padrão para identificação de formas parametrizadas (linhas, círculos, elipses, etc) em visão computacional é através da Transformada de Hough (TH). Desenvolvida por Paul Hough em 1962 e patenteada pela IBM (JAMUNDÁ, 2000).

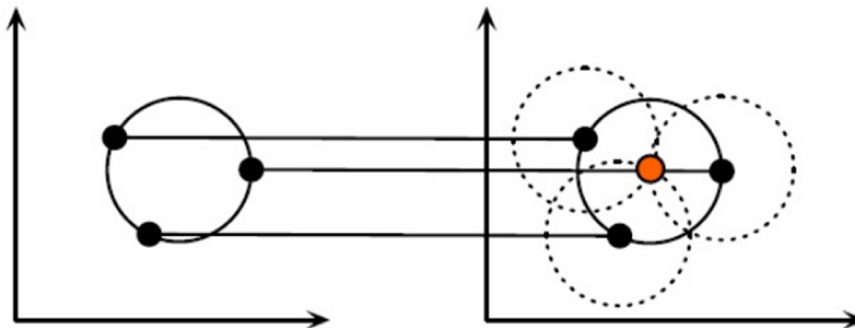
Para Jamundá (2000), o conceito principal da TH está em:

Definir um mapeamento entre o espaço de imagem e o espaço de parâmetros. Cada borda de uma imagem é transformada pelo mapeamento para determinar células no espaço de parâmetros, indicadas pelas primitivas definidas através do ponto analisado. Essas células são incrementadas, e indicarão no final do processo, através da máxima local do acumulador, quais os parâmetros correspondentes a forma especificada.

Isto é, a TH para reconhecimento de círculos baseia-se no agrupamento de pontos do objeto através de um procedimento de votação. Consiste, portanto, na transformação de uma imagem num acumulador de votos (SANTOS, 2011).

Para esta votação o algoritmo toma as coordenadas (x,y) das bordas dos objetos da imagem como possíveis centros do círculo que se quer determinar (Figura 28). Os pontos de intersecção de maior frequência entre estes círculos será o ponto mais votado, portanto o mais provável ponto central do círculo que se deseja identificar. Parâmetro do raio, e também o tamanho do vetor de acumulação deve ser informado para aumentar ou diminuir a precisão de detecção (MARTINS, TONIDANDEL e BIANCHI, 2006).

Figura 28 – TH para identificação de círculos.



Fonte: Martins, Tonidandel e Bianchi (2006)

De acordo com Duarte (2003) a principal desvantagem da TH é a de ser computacionalmente limitada e exigir uma grande quantidade de memória. A necessidade de processamento aumenta com o acréscimo no tamanho do vetor de acumulação e com a exatidão com que os parâmetros de raio.

Para um entendimento maior do assunto vários conceitos foram estudados neste capítulo, porém apenas alguns serão utilizados no desenvolvimento do aplicativo proposto.

6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Baseado nos conceitos e conteúdos apresentados nos capítulos anteriores, realizou-se a implementação da aplicação para análise postural de ciclistas através de um sistema digital de manipulação simples. Este faz uso de fotografias digitais e emprega técnicas de visão computacional, para ajudar ciclistas a evitarem erros de postura quando estiverem pedalando em suas bicicletas, assim evitando lesões e aumentando o desempenho.

O aplicativo foi criado utilizando linguagem C#, no ambiente *Microsoft Visual Studio*, e funções da biblioteca *OpenCV*, específica para aplicações de visão computacional.

Neste capítulo é descrito o sistema desenvolvido no trabalho, que recebeu o nome Bfit4All, abreviatura de *Bike Fit* para todos em inglês. É feita inicialmente uma descrição da concepção da interface que cronologicamente foi criada primeiro. O intuito é dar uma noção do sistema para uma posterior explicação geral do código de programação implementado e da organização das classes e funções utilizadas na aplicação.

6.1 INTERFACE GRÁFICA

Por ser direcionada para usuário comuns e leigos no *Bike Fit*, a GUI (*Graphic User Interface*) foi desenvolvida de modo simples e limpo, apenas com os botões necessários.

Três janelas foram criadas, cada uma será descrita nos subcapítulos a seguir.

6.1.1 Janela de captura das fotografias

Possui um *frame* com a imagem adquirida da *webcam*, que será acionada automaticamente quando o programa for executado. Logo abaixo alocou-se a barra de temporização, que indicará a contagem de intervalos para o ciclista posicionar-se.

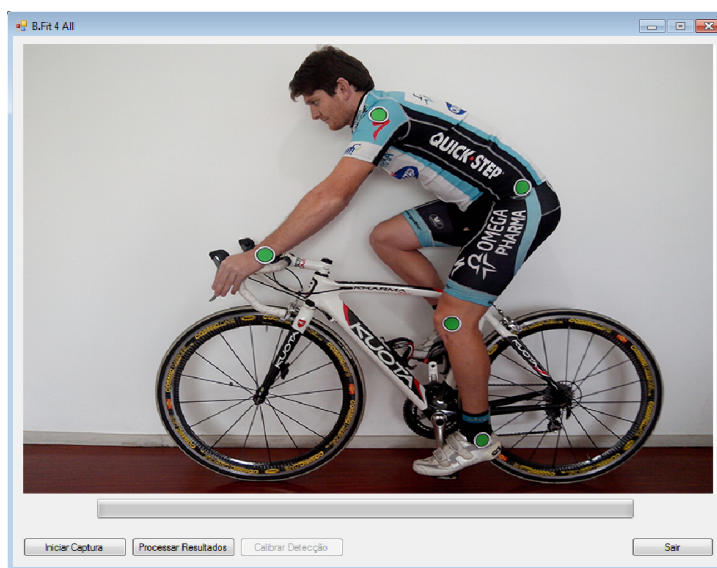
Mais abaixo, na margem esquerda foi disposto o botão para iniciar a captura,

seguido do botão para abrir a janela de resultados ao seu lado, e o botão para abrir a janela de calibração, que só será habilitado após a captura das fotografias. Mais a direita na parte inferior se foi alocado o botão de sair da aplicação.

Iniciada a captura, a contagem é indicada por uma barra, sinais sonoros indicarão a iminência da captura da fotografia, ficando mais intensos seguidos de um som que representa o obturador de uma câmera fotográfica no momento em que o *frame* é adquirido e salvo. O processo se repete até que sejam retratadas todas as poses e termine o temporizador.

Terminada a captura das imagens digitais, botão que levará o usuário a próxima etapa, o botão de calibração, é ativado.

Figura 29 - Janela de Captura da Fotografias



Fonte: autoria própria.

6.1.2 Janela de calibração da captura

Assim que solicitada a tela de calibração, automaticamente abrirá uma janela para que o usuário selecione uma das imagens previamente capturadas para realizar ajustes utilizando ela como base, de modo a encontrar valores para que a identificação dos marcadores seja feita de modo correto.

Estes ajustes, referentes aos valores de HSV (Capítulo 3.2) e da transformada de Hough (Capítulo 5.2), apresentam-se a direita da tela, em formatos de barras, podendo aumentar o valor arrastando o indicador para a direita e diminuindo para a esquerda.

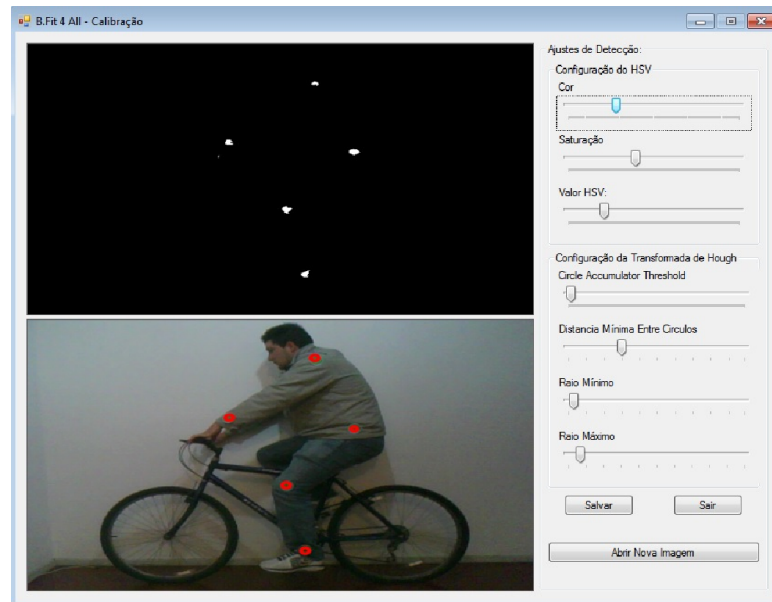
Na esquerda superior da tela, a imagem capturada e selecionada para análise aparece em duas instancias. Na parte superior é demonstrado o resultado do isolamento das cores dos marcadores, utilizando os valores indicados pelo usuário.

A cor preta indica a área a ser ignorada na imagem e a cor branca os marcadores que devem ser isolados.

Na Figura 30, apresenta-se a imagem digital original do ciclista, e sobre ela círculos vermelhos, indicando se os marcadores estão sendo identificados corretamente através da transformada de Hough. Os valores da função da transformada podem ser ajustados, até que os círculos vermelhos estejam posicionados da forma mais correta possível sobre os marcadores.

Na área inferior direita, foram posicionados os botões de salvar, que memoriza os valores indicados nas barras acima, o botão para abrir nova imagem de base caso seja necessário, e também o botão sair, para voltar a tela principal assim que terminada a fase de calibração.

Figura 30 - Janela de Calibragem



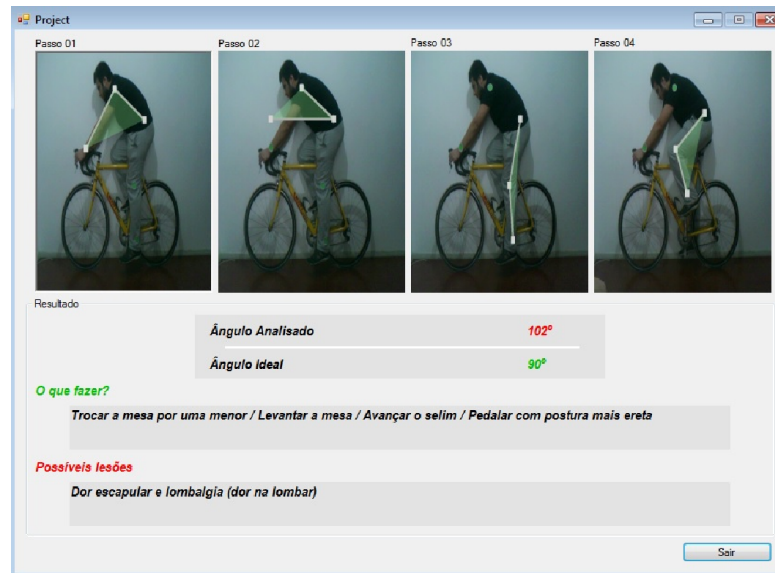
Fonte: autoria própria.

6.1.3 Janela de resultados

Somente será exibida se todos os cinco marcadores, de todas as imagens forem encontrados com sucesso, caso contrário uma caixa de diálogo será exibida, informando em qual fotografia não foi possível identificar todos os marcadores, solicitando uma nova calibragem.

Quando identificados com sucesso todos os marcadores, as quatro imagens analisadas serão apresentadas juntamente com seu respectivo resultado, como no exemplo mostrado na figura 31.

Figura 31 - Janela de Resultados



Fonte: autoria própria.

6.2 PROTÓTIPO IMPLEMENTADO

A estrutura de programação do aplicativo BFit4All foi dividida em duas partes principais. A *FrontEnd*, que contém as três classes com as três telas de interface que são apresentadas ao usuário, e a *BackEnd*, onde se encontra as classes com as funções utilizadas na análise das fotografias digitais propriamente ditas. Esta organização pode ser vista na Figura 32, e será descrita a seguir:

FrontEnd

Calibration: classe que possui a interface da tela de calibração.

MainWindow: classe que contém a tela inicial principal, onde a captura das fotografias é feita.

ResultScreen: classe com a interface que apresenta os resultados ao usuário.

BackEnd

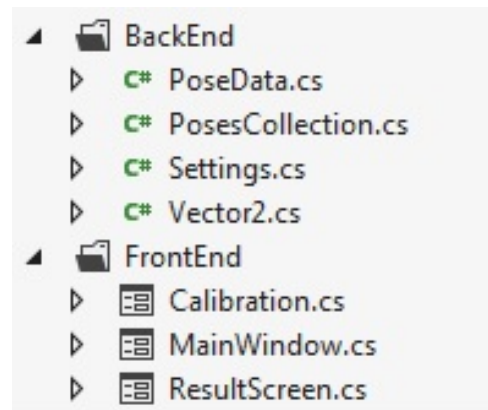
PoseData: classe responsável por processar a análise das fotografias.

PosesCollection: classe com a coleção de todas as poses analisadas na classe *PoseData*

Settings: esta classe armazena todos os valores dos ajustes feitos na tela de calibração.

Vector2: classe que contém os cálculos para encontrar o ângulo entre os marcadores.

Figura 32 - Classes Implementadas



Fonte: autoria própria.

6.2.1 Aquisição da imagem digital

A aquisição das fotografias digitais é realizada na tela principal, aberta quando o aplicativo é iniciado. Encontra-se na classe principal *MainWindow*, onde a função *ImageBox* da biblioteca *OpenCv*, habilita a câmera *default* e envia para a variável *imgVideo*, que contém as configurações do box de exibição e apresenta na tela principal, para o usuário ajustar o enquadramento para a fotografia que irá capturar.

Com um clique no botão 'Iniciar Captura', é iniciado o loop de captura, com timer de 45 segundos, indicados pela barra de progresso, 15 segundos para cada uma das 3 posições necessárias. Os sinais sonoros, de arquivos de áudio de extensão wav, que alerta o usuário da eminência da captura da fotografia, também são implementados neste laço.

A função que salva a imagem digital, foi chamada de *SnapShot*. Ela é responsável por criar uma pasta padrão no diretório Bibliotecas\Documentos\BIBfit4All\Images do sistema operacional, e dentro dela salvar os frames capturados pela câmera. Os arquivos de imagem são salvos em formato jpg, com resolução de 640 pixels de largura por 480 pixels de altura, em formato RGB, com denominação img0, seguidos pelo numero de contagem.

6.2.2 Análise da imagem digital

Nos subcapítulos a seguir serão descritos os processos para a realização da análise digital das fotografias capturadas.

6.2.2.1 Calibragem da captura

A classe *Calibration*, com a janela de calibragem, é chamada assim que realizado o clicar no botão localizado na janela principal. Sua utilidade é manipular os valores das variáveis que serão utilizadas nos processos para encontrar os marcadores.

Ela utiliza como base uma das imagens previamente capturadas, então uma janela de seleção de diretório é iniciada com a classe, obrigando o usuário a selecionar uma imagem de extensão jpg.

Caso esta etapa esteja sendo realizada pela primeira vez, os valores das variáveis a serem ajustadas entrarão com um valor default, senão é carregado um arquivo chamado BFit com extensão settings, criado dentro do diretório Bibliotecas\Documentos\BIBfit4All, com os valores da última calibragem.

Dentro da classe há um *loop* principal, responsável por exibir a prévia do processo, o *feedback* de como as alterações nos valores estão afetando as funções de identificação na fotografia digital.

Para que essa prévia seja feita é realizada uma série de processos, os mesmos que serão utilizados depois para a identificação dos marcadores em todas as fotografias capturadas .

O processo consiste em primeiro carregar a imagem jpg selecionada e convertê-la para o padrão de cores HSV, utilizando a função *Convert* da biblioteca

OpenCV. Além criar valores mínimos e máximos para a *Hue*, *Saturation* e *Value*. Esse processo pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 – Código Conversão HSV

```
//Carrega imagem.
Image<Bgr, Byte> imageFrame = new Image<Bgr, byte>(_imagePath);
//Converte a imagem carregada para o formato HSV (Hue, Saturation, Value)
Image<Hsv, Byte> hsvImage = imageFrame.Convert<Hsv, Byte>().PyrDown().PyrUp();

//Cria valores minimos e maximos de HSV para referencia.
Hsv lowerLimit = new Hsv(_settings.Color, _settings.Saturation, _settings.ColorValue);
Hsv upperLimit = new Hsv(_settings.ColorMax, 255, 255);
```

Fonte: autoria própria.

Após é feito o isolamento da cor que se pretende localizar na imagem, no caso o verde dos marcadores presos ao ciclista. Esse processo (Figura 34) é feito utilizando a função *InRange* da biblioteca, utilizando os valores HSV indicados pelo usuário pelas barras de ajustes. As cores que devem ser ignoradas ficam pretas e a indicada branca.

Figura 34 - Código *InRange*

```
//Função InRange isola a cor selecionada e transforma a imagem em preto,
//nas areas que não possuem a cor selecionada, e branco, nas areas que tem a cor selecionada.
Image<Gray, Byte> hsvImageDest = hsvImage.InRange(lowerLimit, upperLimit);
```

Fonte: autoria própria.

Feito o isolamento das cores, é então aplicada a Transformada de Hough que faz a identificação dos círculos brancos isolados na imagem. A função *HoughCircles* (Figura 35) presente na biblioteca, utiliza como valores de entrada, a limiarização Canny (Capítulo 5.1.2), chamada *CannyThreshold*, para detecção das bordas. Utiliza também o vetor de acumulação de círculos (Capítulo 5.2) *circleAccumulatorThreshold*, além de um valor de distancia mínima entre os círculos encontrados, nomeado *MinDistanceBetweenRadius*, e o tamanho máximo e mínimo do raio destes círculos, as variáveis *MinRadius* e *MaxRadius*.

Então, para que o usuário veja o resultado da função da Transformada de Hough, círculos vermelhos são desenhados utilizando a função *Draw* da *OpenCV*.

Todos estes passos podem ser vistos no trecho de código da figura 35, vista a seguir:

Figura 35 - Código Transformada de Hough

```
//Carrega imagem.
Image<Bgr, Byte> imageFrame = new Image<Bgr, byte>(_imagePath);
//Converte a imagem carregada para o formato HSV (Hue, Saturation, Value)
Image<Hsv, Byte> hsvImage = imageFrame.Convert<Hsv, Byte>().PyrDown().PyrUp();

//Cria valores minimos e maximos de HSV para referencia.
Hsv lowerLimit = new Hsv(_settings.Color, _settings.Saturation, _settings.ColorValue);
Hsv upperLimit = new Hsv(_settings.ColorMax, 255, 255);

//Função InRange isola a cor selecionada e transfoma a imagem em preto,
//nas areas que não possuem a cor seleciona, e
//branco, nas areas que tem a cor selecionada.
Image<Gray, Byte> hsvImageDest = hsvImage.InRange(lowerLimit, upperLimit);

//Cria os valores de cannyThreshold e Circle AccumulatorThreshold
Gray cannyThreshold = new Gray(_settings.CannyThreshold);
Gray circleAccumulatorThreshold = new Gray(_settings.CircleAccumulatorThreshold);

//Aplica a transformada de Hough a imagem.
CircleF[] circles = hsvImageDest.HoughCircles(
    cannyThreshold,
    circleAccumulatorThreshold,
    2,
    _settings.MinDistanceBetweenRadius, //Usado para achar o centro dos circulos
    _settings.MinRadius, //Distancia minima entre os circulos
    _settings.MaxRadius //Raio minimo dos circulos
)[0];

foreach (CircleF circle in circles)
    imageFrame.Draw(circle, new Bgr(Color.Red), 4);
```

Fonte: autoria própria.

6.2.2.2 Ângulos entre os círculos encontrados

Quando solicitado o processamento dos resultados, através do botão na janela principal, a classe *PosesCollection* é chamada. E dentro desta classe há um laço que chama a classe *PosesData*, responsável por retornar o valor do ângulo entre as combinações desejadas de marcadores encontrados em todas as fotografias.

O processo para detecção de círculos feito na calibragem, se repete agora dentro da classe *PosesData*, para cada uma das fotografias.

Encontrados e salvados todos os valores X e Y dos centros dos círculos, com a função *HoughCircles*, estes pontos são processados na classe *Vector2*, onde uma série de equações matemáticas são realizadas para encontrar o valor dos ângulos entre as articulações, desejado para a aplicação. Estas equações são: subtração de 2 vetores, produto escalar, ângulo entre 2 vetores, a direção destes dois vetores, e por fim o ângulo entre os 2 vetores a partir de um terceiro vetor, retornando o valor do ângulo entre as articulações.

Na classe *PosesData* também estão as funções para realizar os desenhos que indicam as ligações entre os ângulos nas fotografias, que serão utilizadas na tela de resultados. Para isto foram utilizadas as funções de biblioteca nativas do sistema, são elas: *DrawLine* para desenhar linhas de ligação, *FillRectangle*, para o retângulo que indica o ângulo e *DrawPoints* para os quadrados sobre os pontos dos marcadores.

Para que não sejam perdidas as fotografias capturadas originais, as imagens com os grafismo são salvas em uma nova pasta no caminho: Bibliotecas\Documentos\BIBfit4All\Images\DrawImages.

6.2.3 Apresentação Dos Resultados Da Análise

Se todo o processo de análise ocorrer corretamente, as novas imagens salvas na pasta *DrawImages*, com os desenhos, serão carregadas na janela de resultados, senão será dada uma mensagem de erro. O processo pode ser visto na figura 36.

Figura 36 - Código Imagens dos Resultados

```
if (string.IsNullOrEmpty(processResult))
{
    this.pctStep01.Image = Image.FromFile(this.PosesCollection.PosesData[0].DrawImagePath);
    this.pctStep02.Image = Image.FromFile(this.PosesCollection.PosesData[1].DrawImagePath);
    this.pctStep03.Image = Image.FromFile(this.PosesCollection.PosesData[2].DrawImagePath);
    this.pctStep04.Image = Image.FromFile(this.PosesCollection.PosesData[3].DrawImagePath);
}
else
{
    MessageBox.Show("Ocorreu um erro ao processar a imagem " + processResult + ". Realize a calibração, e tente novamente.",
        "Erro", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error);

    this.Close();
}
```

Fonte: autoria própria.

Ao clicar sobre cada fotografia desejada, uma função específica para cada uma será chamada, de modo a apresentar o ângulo que resultou da análise feita pela classe *PoseData* e compara-la com a angulação ideal. Então, laços de condições selecionarão quais sugestões de ajustes, e quais possíveis lesões poderão ocorrer caso o usuário não faça os ajustes descritos. Na figura 37 pode ser visto um trecho de código exemplificando uma dessas funções.

Figura 37 - Código Comparações de Resultados

```
private void pctStep01_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.lblIdealAngleResult.Text = "90º";
    this.lblAnalyzedAngleResult.Text = Math.Truncate(this.PosesCollection.PosesData[0].Angle).ToString() + "º";

    if (this.PosesCollection.PosesData[0].Angle == 90)
    {
        this.rtbLesion.Text = "-";
        this.rtbToDo.Text = "-";
    }
    else if (this.PosesCollection.PosesData[0].Angle > 90)
    {
        this.rtbLesion.Text = "Dor escapular e lombalgia (dor na lombar)";
        this.rtbToDo.Text = "Trocar a mesa por uma menor / Levantar a mesa / Avançar o selim / Pedalar com postura mais ereta";
    }
    else
    {
        this.rtbLesion.Text = "Dor nos punhos e ombros";
        this.rtbToDo.Text = "Trocar mesa por uma maior / Baixar a mesa / Recuar o Selim";
    }

    this.pctStep01.BorderStyle = BorderStyle.Fixed3D;
    this.pctStep02.BorderStyle = BorderStyle.None;
    this.pctStep03.BorderStyle = BorderStyle.None;
    this.pctStep04.BorderStyle = BorderStyle.None;
}
```

Fonte: autoria própria.

Apresentado os resultados ao usuário, se houver necessidade, ele pode sair e repetir todo o processo quantas vezes quiser.

7 TESTES, VALIDAÇÃO E RESULTADOS

A metodologia utilizada para o teste prático, validação da eficiência e usabilidade da aplicação, foi a de Teste de Usabilidade, onde o usuário é observado em um ambiente controlado. Aos usuários foi apresentado um manual (Apêndice A) com os passos a serem seguidos, para que durante o processo fosse aplicada a metodologia.

No total foram analisados seis usuários em momentos distintos, dois ciclistas experientes, que já tinham supostamente suas bicicletas ajustadas, porém nunca haviam feito *Bike Fit*, e também quatro usuários sem bicicleta própria e conhecimento algum de ciclismo. Serão apresentados apenas os três teste principais, dos quais foi possível agregar mais valor para a evolução do trabalho.

Segue o relatório com os dados coletados de cada usuário, em ordem cronológica:

- Usuário 1 – Ciclista experiente.

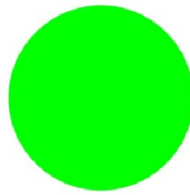
Ambiente:

Realizado em um ambiente caseiro, uma sala vazia, com iluminação externa e artificial de uma lâmpada fluorescente branca.

Relato do Teste:

Com este usuário ocorreu a testagem em dois momentos distintos, na primeira tentativa não houve sucesso, pois foi identificado que o padrão dos marcadores não eram ideais, devido a roupa de ciclismo utilizada ser colorida. Isto dificultou a identificação dos círculos, tornando a calibragem difícil e insatisfatória. Além disto, a aplicação não informava em qual das fotografias havia ocorrido o erro de identificação do algum ponto.

Figura 38 – Modelo de Marcador Inicial



Fonte: autoria própria.

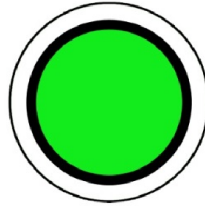
Figura 39 - Primeiro teste



Fonte: autoria própria.

Realizada a criação de novo marcador, desta vez com margens (Figura 40 e Figura 41) e incrementada a mensagem de erro, uma nova bateria de testes foi realizada.

Figura 40 – Novo Modelo de Marcador



Fonte: autoria própria.

Figura 41 - Segundo Teste



Fonte: autoria própria.

A melhoria na identificação dos marcadores foi significativa, tornando a etapa de calibragem menos árdua, apesar de ainda exigir moderada paciência.

Feita a identificação dos novos marcadores com sucesso, na próxima etapa, a de processamento dos resultados, foi identificada uma nova dificuldade. Os marcadores presos na sapatilha e na ponta do joelho, devido a proximidade gerava uma confusão na sequência de ligação dos pontos, realizando cálculos de ângulos entre articulações incorretas. A solução foi a retirada da análise destes dois pontos que é feita na posição neutra, onde a ponta do joelho não pode ultrapassar a linha do engate da sapatilha, como visto no Capítulo 2. Essa decisão se deu devido a

menor importância desta análise, pois se os outros aspectos da postura analisados estiverem corretos o joelho não ultrapassará o limite padrão da linha do engate da sapatilha. Então este elemento foi deixado para possíveis melhorias futuras.

Feita essa mudança, os resultados foram processados com sucesso, e como já era esperado, se tratando de um ciclista experiente, a análise identificou uma postura dentro dos padrões ideais.

Na Figura 42 estão as imagens registradas durante as testagens.

Figura 42 - Registro dos Teste



Fonte: autoria própria.

- Usuário 2 – Não ciclista.

Ambiente:

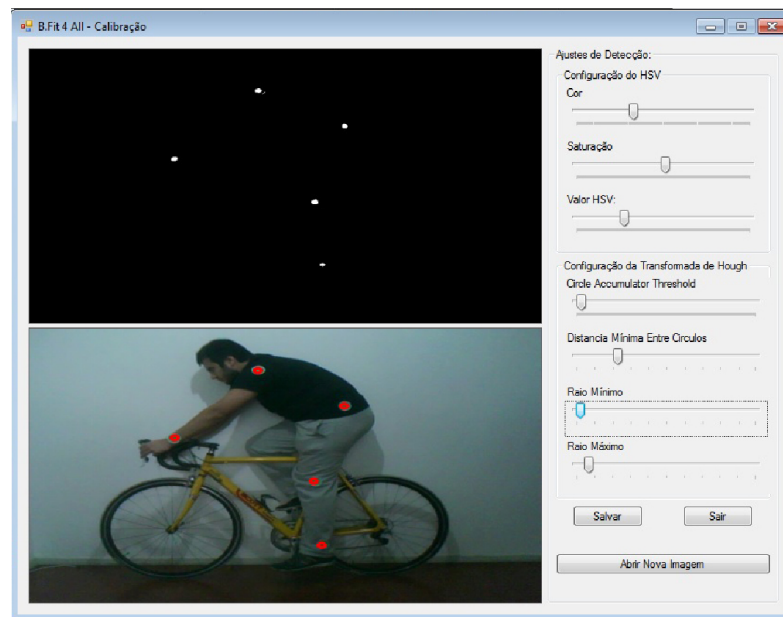
Realizado em um ambiente caseiro, uma sala vazia, com iluminação externa e artificial de uma lâmpada fluorescente branca.

Relato do Teste:

Com o objetivo principal de testar a usabilidade do aplicativo, foi convidado a realizar o teste usuário comum, sem ligação com ciclismo, em uma bicicleta emprestada e claramente desajustada, para que fosse identificada uma postura incorreta.

Seguindo os passos, o usuário colocou os marcadores e se mostrou familiarizado com a interface. E na etapa de calibração, devido as roupas casuais, de cores neutras, os ajustes não se fizeram necessários, pois as últimas configurações salvas, feitas pelo usuário 1, se adequaram perfeitamente, facilitando para o ciclista.

Figura 43 - Calibragem Usuário 2

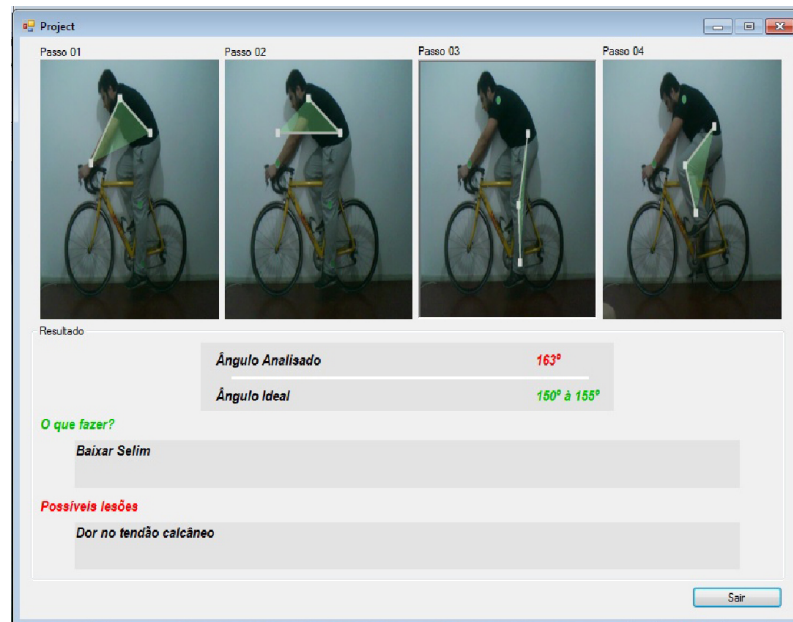


Fonte: autoria própria.

Com o sucesso da identificação dos marcadores, a etapa dos resultados foi solicitada, e como era esperado, foi identificado o posicionamento errado. O selim estava muito mais alto que o ideal. Pode se ver o resultado exemplificado na figura 44, onde o passo 3, a análise do pedal na posição PMI, o ângulo está acima do

ideal, com a perna quase totalmente estendida, indicando o que o selim deve ser baixado.

Figura 44 - Resultados Usuário 2



Fonte: autoria própria.

- Usuário 3 – Ciclista experiente.

Ambiente:

Realizado em uma sala fechada e ampla, somente com iluminação artificial de duas grandes lâmpadas fluorescente brancas.

Relato do Teste:

Na realização do teste encontrou-se um ambiente um pouco diferente dos anteriores, uma fonte luz de luz artificial somente em uma sala fechada, com muitos objetos e pouco espaço livre na parede. Foram então retirados quadros e objetos para realização da análise postural.

Com o manual de instruções em mãos, o ciclista fez as medições com uma trena para deixa na posição correta a câmera do computador.

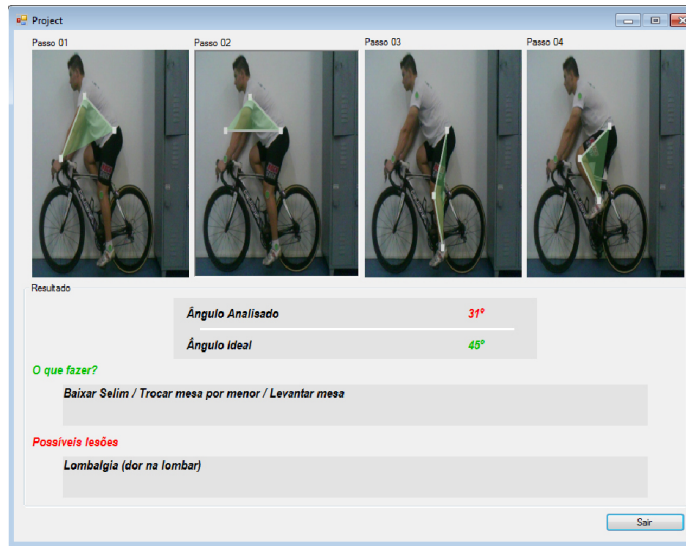
Já tendo noções de *Bike Fit* e anatomia do ciclismo, colou com facilidade os marcadores nas posições corretas, ficando pronto para iniciar a captura de fotos.

Feita a capturas das fotografias digitais com sucesso, passou então para a calibração. O usuário estava com roupas neutras, branca e preta, então a captura foi relativamente fácil, apesar de a logomarca na bermuda, com letras, ter dificultado um pouco, pois a letra “O” era identificada como um círculo marcador. Com um pequeno ajuste na barra de distância mínima entre círculos, da função de detecção de círculos de Hough, logo todos os pontos de marcação estavam sendo identificados corretamente.

Voltando para a janela principal foi solicitada o processamento dos resultados. Porém, um erro ocorreu em uma das fotos, onde um ponto não foi encontrado. Então, como solicitado na mensagem de erro, o usuário voltou na janela de calibração e utilizou como base para os ajustes a fotografia onde faltava algum marcador. Com novos ajustes feitos cuidadosamente, para que as imagens que estavam corretas continuassem corretas, foi realizado nova análise, desta vez com sucesso.

Nos resultados encontrados, foi identificado um erro postural (Figura 45), a análise do tronco do ciclista em relação ao solo, indicava uma hiperflexão, isto é, estava muito deitado. Porém, como se trata de um ciclista mais pesado e forte, especialista em velocidade, que utiliza uma bicicleta aerodinâmica, essa posição mais agressiva pode ser considerada normal, pois obtém menor resistência do ar ao pedalar em altas velocidades.

Figura 45 - Resultado Usuário 3



Fonte: autoria própria.

Na Figura 46 estão as imagens registradas durante a testagem.

Figura 46 - Registro Testagem Usuário 3



Fonte: autoria própria.

8 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposto um aplicativo baseado em conceitos de *Bike Fit* e visão computacional, que pudesse de forma simples ajudar ciclistas a identificarem sozinhos, seus possíveis erros posturais quando pedalando sobre suas bicicletas.

Os usuários que realizaram os testes da aplicação, utilizando o manual com os passos, mostraram-se familiarizados com a interface e conseguiram utilizar de forma satisfatória, identificando erros de postura ou certificando de já estarem com uma postura correta.

A maior dificuldade demonstrou ser a parte da calibragem, onde dependendo das variáveis da fotografia, como iluminação e roupas utilizadas pelo usuário, pode se tornar uma etapa penosa e cansativa. Essa etapa na concepção inicial do projeto não havia sido prevista, esperava-se conseguir por meio de valores padrão a identificação dos marcadores, o que seria mais fácil e automatizado para o usuário. Porém, durante o início do desenvolvimento do sistema, foi identificada a necessidade destes ajustes de cores e valores, devido a grande variação nas fotografias digitais capturadas.

A questão de pesquisa apresentada na proposta do trabalho era: “Como realizar medições em um atleta através de fotografia digital, a fim de analisar sua postura, com o intuito de melhorar o desempenho e evitar lesões?”. Foi comprovado através do protótipo desenvolvido que objetivo foi alcançado, pois os resultados se mostraram satisfatórios. O aplicativo BFit4All permite que sejam identificados erros de postura de ciclistas e, com as sugestões que o sistema informa, é possível solucionar estes erros de forma parcial, podendo ser utilizado como primeiros ajustes para os novatos no esporte que não tem conhecimento sobre a anatomia do ciclismo, evitando assim lesões. Porém, não substitui uma avaliação de *Bike Fit* profissional.

O sistema ainda possui muitas melhorias a serem feitas. Elas são propostas como trabalhos futuros e são listadas a seguir:

- Checagem da linha limite entre joelho e o pedal, quando no o ciclista estiver na posição neutra, vista no capítulo 2.

-Criar uma relação de escala, utilizando na fotografia dois pontos com uma distância conhecida entre eles, para que seja possível fazer uma relação de ajustes mais precisa, podendo sugerir um valor exato de ajuste a ser feito.

-Automatizar o máximo possível a etapa de calibração, para simplificar a utilização do usuário.

Acredita-se que com estas melhorias a aplicação pode se tornar mais precisa, tornando-se mais próxima de uma análise de *Bike Fit* profissional.

Elaborar este trabalho de conclusão de curso, devido aos desafios de sua concepção e superação de obstáculos ao longo de todas as etapas, houve grande evolução pessoal, e com certeza os conhecimentos adquiridos serão de grande valia para o futuro profissional na área.

O desenvolvimento deste TCC culminou para um desfecho preciso do curso de Bacharelado em Tecnologias Digitais, pois para sua elaboração foi utilizado muito do conhecimento adquirido ao longo dos vários anos de curso. Juntando as várias áreas estudadas, tanto artísticas como técnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Dorirley R. **Avaliação dos Modelos de Cores RGB eHSV na segmentação de Curvas de Nível em Cartas Topográficas Coloridas**, PUC-MG, Belo Horizonte, Maio, 2010.

AMORIM ,Daniel Atunes; Cordeiro, Gabriel Guimarães; RIBEIRO, Eduardo Marini; SILVA, Marco Aurélio Souza . **O programa autocad 2000 (r) como forma de medida angular para articulações**. Universidade de Itaúna, Minas Gerais, 2005.

ARAUJO, Gabriel M.; FREIRE, Eduardo O.; MENDONÇA, Meryelle M. **Reconhecimento automático de objetos baseado em core forma para aplicações em robótica**. Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.

BRADSKI, Gary; KAEHLER, Adrian. **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library**. Gravenstein: O'reilly, 2011.

CASTRO, Pedro Claudio Gonsales de; LOPES, José Augusto Fernandes Lopes. **Avaliação computadorizada por fotografia digital, como recurso de avaliação na Reeducação Posturas Global**. São Paulo, 2003.

CARDOSO J. R.;BOER M. C.; OLIVEIRA B. I. R.;KAWANO M. M.; CARREGARO R. **Confiabilidade intra e interobservador da mensuração do ângulo de flexão anterior do tronco pelo método de Whistance**. Universidade Estadual de Londrina, Paraná, 2007.

DUARTE, Glaucius Décio. **Uso da Transformada de Hough na Detecção de Círculos em Imagens Digitais**. Thema Revista Científica do Centro Federal de Educação Tecnológica, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 51-58, 2003.

DI ALENCAR, T. A. M.; Matias K. F. S. ; **Importância da avaliação musculoesquelética e biomecânica para o bike fit**. Revista Movimenta, Volume 2, N3, 2009.

FERREIRA, P. **De olho no pódio, Brasil investe em tecnologias esportivas**. Revista Inovação em pauta, número 8. Rio de Janeiro, RJ: nov. 2009/jan. 2010.

JAMUNDA, Teobaldo. 2000. **Seminário Visão Computacional – CPGCC/UFSC – 2000.2. Reconhecimento de Formas: A Transformada de Hough**. Disponível em: < <http://www.inf.ufsc.br/~visao/2000/Hough/index.html>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

JOHANN, Marcelo De Oliveira. **Curso de Introdução à Programação em C++**. Porto Alegre, ago. 2004. Disponível em:<<http://www.inf.ufrgs.br/~johann/cpp2004/>>. Acesso em: 28 out. 2012.

MARENGONI, Mauricio; STRINGHINI, Denise. Tutorial: Introdução à Visão Computacional usando OpenCV. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Porto Alegre, v.16, Número 1, 2009.

MARQUES FILHO, Ogê; VIEIRA NETO, Hugo. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999. ISBN 8574520098.

MARTINS, Elisando de Assis. **Avaliação do posicionamento corporal no ciclismo competitivo e recreacional**. Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum. 9(2):183-188, 2007

MARTINS, Murilo Fernandes; TONIDANDEL, Flavio; BIANCHI, Reinaldo. **Reconhecimento de Objetos em Tempo Real para Futebol de Robôs**. São Bernardo do Campo, 2006.

MESTDAGH, K. D. V.; **Personal perspective: in search of an optimum cycling posture**. Appl Ergon. 1998; vol 29: 325–334.

MICROSOFT DEVELOPER NETWORK. **Visual C++ 2008**. 2012. Disponível em:<[http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/60k1461a\(v=vs.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/60k1461a(v=vs.90).aspx)> Acesso em: 20 nov. 2012.

NASCIMENTO, Cayo Paiva de Oliveira. **Introdução a Técnicas de Segmentação de Imagens**. Dez. 2010.

OPENCV. 2012. **About OpenCV**. Disponível em: <<http://www.opencv.org/about.html>> Acesso em: 10 nov. 2012.

QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de; GOMES, Herman Martins. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**: instruções para preparação de documentos em Word, Porto Alegre, v. 8, p.1-31, 2001

SACCO I. C. N.; ALIBERT S.; QUEIROZ B. W. C.; PRIPAS D.; KIELING I.; KIMURA A. A., SELLMER A.E.; MALVESTIO RA; SERA M.T. **Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para avaliação postural de membros inferiores**. Revista brasileira de fisioterapia, São Carlos, v. 11, n. 5, p. 411-417, set./out. 2007.

SANTEE, André. **Programação de Jogos - com C++ e DirectX**. São Paulo: Novatec, 2005.

SATO, T. O.; VIEIRA, E. R.; GIL COURY, H. J. C. **Análise da confiabilidade de técnicas fotométricas para Medir a flexão anterior do tronco**. Departamento de

Fisioterapia, Laboratório de Fisioterapia Preventiva – Ergonomia, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2003.

SCURI, Antonio Escaño. **Fundamentos da Imagem Digital**. Rio de Janeiro: Tecgraf/Puc-Rio, 2002. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~scuri/download/fid.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2012.

SILBERMAN, M. R.; Webner, D. ; Collina, S. ; Shiple, B.J. **Road Bicycle Fit**. Clin Sport Med. Volume 15, Numero 4, Julho de 2005.

STEMMER, Marcelo Ricardo; ORTH, Alexandre; ROLOFF, Mário Lucio; DESCHAMPS, Fernando; PAVIM, Alberto Xavier. **Apostila de sistemas de visão**. Florianópolis: S2i - Sistemas Industriais Inteligentes, 2005. Disponível em: <<http://s2i.das.ufsc.br/harpia/downloads/apostila-sistemas-visao.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2012.

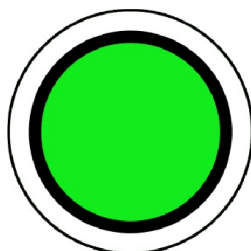
Apêndice A - Manual do Usuário

Caro Usuário, para seja feita uma correta avaliação de sua postura sobre a bicicleta se faz necessário, seguir as etapas que as etapas que serão apresentadas a seguir:

1ª Etapa – Marcadores

Para que seja feita a identificação visual dos pontos necessários para a análise se faz imprescindível a impressão dos marcadores, que serão presos ao corpo.

Os marcadores semelhantes a este abaixo estarão disponíveis para impressão em uma página avulsa no final deste documento, e deve ser impresso com impressora colorida.



2ª Etapa – Colagem dos Marcadores

Após feita a impressão dos marcadores será necessário a colagem dos mesmos, isso deve ser feito respeitando os passos a seguir.

- Corte um pedaço pequeno de fita adesiva e cole em cada um dos marcadores.
- Cole 1 marcador no punho da mão esquerda
- Cole 1 marcador na parte posterior do ombro esquerdo

- Cole 1 marcador na lateral esquerda do quadril
- Cole 1 marcador na lateral do joelho esquerdo
- Cole 1 marcador na lateral do tornozelo

3ª Etapa - Posicionar a Bicicleta

Posicione a bicicleta diante uma parede de cor neutra, branca de preferencia, e com boa iluminação. Pode ser usado um rolo de treino ou a bicicleta pode simplesmente ficar encostada na parede de modo seguro. A frente da bicicleta deve estar voltada para a esquerda no vídeo do aplicativo.

4º Etapa – Posicionar a câmera

Posicione a câmera que será utilizada para tira as fotografias a 2,90m da parada, e a 1m do solo, alinhada ao centro da bicicleta.

5ª Etapa – Executar a captura

Execute o programa em seu computador, e enquadre a bicicleta na imagem da câmera, a parte da bicicleta que toca o solo deve estar um pouco acima da linha inferior do enquadramento.

6º Etapa

Inicie a captura e suba na bicicleta. Posicione o pedal de pé esquerdo no ponto morto inferior e espere o sinal sonoro indicar a captura.

Após o sinal de áudio, posicione no ponto superior e espere novamente. Repita o procedimento com o pedal no ponto neutro, alinhado na horizontal, com o pé esquerdo na frente.

7º Etapa

Clique no botão calibrar detecção para realizar ajustes necessários. Estes ajustes serão explicados a seguir.

- Cor: ajusta a variação de cor que deseja se encontrar.
- Saturação: ajusta a saturação da cor desejada.
- HSV: ajusta o valor da intensidade desta cor
- Circle Accumulator Threshold: ajusta o valor da variável de acumulação da transformada de Hough. Quanto maior o valor, mais precisão é exigida para encontrar um círculo na imagem.
- Distancia mínima entre círculos: ajusta a variável que diz o quão perto os círculos encontrados podem estar. Quando for encontrado algum círculo indesejado perto, ou entre os círculos corretos, esse ajuste ajuda a elimina-lo.
- Raios Mínimos e Máximos: ajusta os limites de tamanho dos círculos que podem ser encontrados, podendo eliminar assim que pequenas sujeiras sejam identificadas como círculos.

8º Etapa

Clique agora no botão processar resultados. Se surgir uma mensagem de erro repita a etapa 7 com a imagem indicada pelo aplicativo.

Se não houver erro, clique sobre as imagens capturadas e veja o resultado de cada uma nas informações apresentadas abaixo. Realize os ajustes indicados pelo aplicativo e se julgar necessário repita as etapas 5, 6, 7, 8.

