

Projeto de um sensor de posição utilizando webcam para um sistema mesa bola

1st Sabrina Loiola de Morais
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Mossoró, Brasil
sabrinaloiola9@gmail.com

2nd Marcelo Roberto Bastos Guerra
Vale
Centro de Engenharias
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido
Mossoró, Brasil
marceloguerra@ufersa.edu.br

Resumo — *O constante interesse em técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e sua importância em diversas áreas de atuação, tem impulsionado estudos que envolvam implementações práticas. Este trabalho tem o intuito de utilizar uma câmera web como um sensor de posição para um sistema de controle mesa bola. Esse projeto baseia-se nas técnicas de PDI, utilizando-se do software Matlab™ em conjunto com a câmera. Assim como discorre sobre os materiais utilizados e suas respectivas funções e especificações. Aborda também as técnicas utilizadas para obtenção dos resultados. Os resultados apresentados se mostraram satisfatórios, indicando o bom funcionamento do conjunto e o valor posição da bola muito próximo ao real..*

Palavras chave— *PDI, câmera, mesa-bola;*

I. INTRODUÇÃO

Segundo [1], as áreas de processamento de imagens e visão por computador vêm apresentando expressivo desenvolvimento nas últimas décadas. Tal crescimento pode ser detectado na área acadêmica, onde o assunto é objeto de pesquisas, teses e dissertações nas mais importantes universidades brasileiras e mundiais.

Sendo explorado em uma infinita gama de aplicações, o processamento digital de imagens (PDI) pode ser encontrado desde os aspectos mais triviais do cotidiano, como em fotografias e tratamento de imagens, quanto aos mais complexos, utilizados por grandes indústrias e pela medicina. Como tomografias computadorizadas, radiografias, inspeção industrial e ainda com aplicações militares na utilização em radares e observações astronômicas.

Uma das aplicações do PDI é o controle e/ou detecção de posição de objetos, utilizando-se de uma câmera como um sensor sensível a movimentos. De posse dos dados, estes seriam aplicados posteriormente como entrada de um sistema de controle ou ainda para outros tipos de análises como vigilância de locais, uso em cirurgias delicadas, entre demais aplicações.

O nível de precisão e o tipo desses sensores são proporcionais ao estilo de aplicação em que irão ser utilizados, variando também com o tipo de ambiente,

iluminação e a necessidade da velocidade de captura de dados.

Este trabalho tem o objetivo de explicar detalhadamente, desde a base teórica até a construção e implementação de uma câmera web como sensor para um sistema de controle mesa bola.

Para detecção da posição da bola em tempo real foi desenvolvido um algoritmo de visão computacional no software Matlab™, utilizando-se da biblioteca de aquisição de imagens e de ferramentas de reconhecimento de objetos.

A. Objetivo Geral

Este trabalho tem o intuito de utilizar uma câmera web (caracterizada por ser uma câmera de vídeo de baixo custo) como um sensor de posição para um sistema de controle mesa bola. O objetivo do sensor é que seja aplicável em qualquer superfície, de fácil ajuste para o usuário e que seja rápido o suficiente - visto que o sistema de controle a ser aplicado apresenta dinâmica rápida.

B. Objetivos Específicos

- Construção da estrutura física do sistema;
- Configuração da câmera e aplicação de técnicas de processamento digital de imagens para detecção da bola;
- Identificar apenas objetos redondos;
- Retornar a posição do centro da bola em tempo real;
- Calibração do sensor (câmera web) em relação à plataforma de controle;

II. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Segundo [2], o campo do processamento digital de imagens se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital.

Cada imagem digital é composta por um número de elementos que a formam chamados de pixels e sua resolução é diretamente ligada ao número de pixels presente na formação dessa imagem.

Para entender melhor o processo de PDI é preciso ter atenção aos componentes usados nos processos, que são muito importantes na qualidade da obtenção dos resultados

do trabalho. Na Fig. 1, se ilustra os componentes de um sistema de PDI para uso geral.

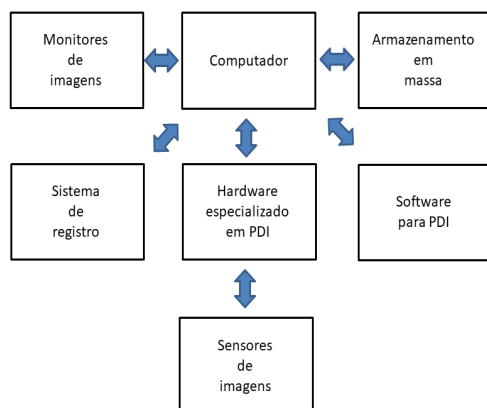


Fig. 1. Componentes de um sistema de PDI de uso geral [2]

O primeiro elemento responsável pelo PDI é o *sensor de imagem*, que trata-se de uma ferramenta sensível à energia irradiada da cena a ser capturada e converte em formato digital. O dispositivo de *hardware especializado em processamento de imagens*, geralmente executa funções as quais um computador comum não é capaz de processar, seja devido ao grande volume de dados ou a velocidade necessária para tal tarefa.

O *computador* é responsável por algumas tarefas específicas, muitas vezes contendo também o *software de processamento de imagens* (utilizado para estudo e tratamento de imagens) e o *sistema de registro de dados*.

Os *monitores de imagens* e o *armazenamento em massa* são componentes extras geralmente usados para casos específicos. Sendo o primeiro utilizado em casos de vigilância, simulador de realidade virtual e sempre que há necessidade de telas extras. O segundo é utilizado quando há exigência de espaço para armazenamento de dados e informações que um computador de uso geral não consegue comportar.

É preciso destacar alguns passos importantes no processo de PDI, ilustrados na Fig. 2.

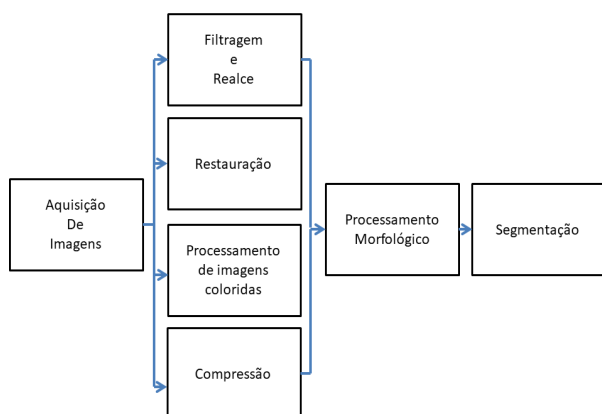


Fig. 2. Passos no processo de PDI - Adaptado de [2]

O processo começa com a *aquisição de imagens*, podendo ser feito através do simples recebimento de uma foto ou a sua captura por outros meios. Depois ocorrem os processos de reformulação da imagem (*filtragem e realce, restauração, processamento de imagens coloridas e compressão*), que podem ou não serem feitos e variam com a escolha de cada projetista e de seu interesse.

Seguido desse, ocorre o *processamento morfológico*, que consiste na formulação matemática como uma ferramenta para extrair componentes das imagens que são úteis na representação e descrição da forma de uma região. Logo depois, o *processo de segmentação*, que consiste em dividir uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. Nas seções a seguir, será feita a explicação de cada um dos processos ilustrados na Fig. 2.

A. Aquisição de Imagens

A maneira de capturar imagens e suas formas de serem percebidas pelo olho humano é de fundamental importância para o processo de PDI, sendo o primeiro processo a ser realizado. Há algumas formas de onda não visíveis a olho nu, mas que são facilmente percebidas por outros tipos de equipamentos e que podem auxiliar no processo de PDI. Esses diferentes tipos de onda são facilmente apresentáveis quando comparadas entre si em seus tamanhos e características, como mostrado no espectro eletromagnético.

i. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Segundo [3], a energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região, como ilustrado na Fig. 3.

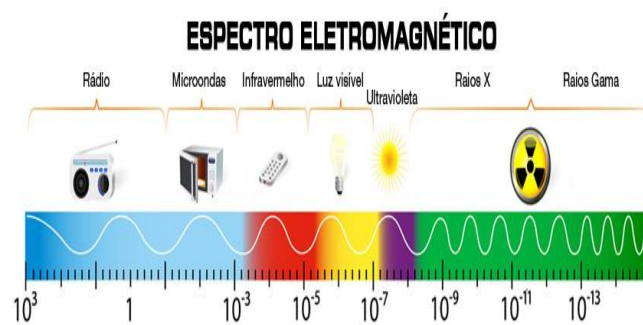


Fig.3. Espectro Eletromagnético [4]

Essa classificação varia desde os comprimentos de onda muito grandes, como ondas de rádio, passando pela luz visível ao olho humano, até aos pequenos comprimentos como os de raios gama. Dependendo do tipo de onda a ser captada, há diferentes tipos de sensores a serem utilizados, como é abordado na seção a seguir.

ii. SENSORES

Segundo [2], a maioria das imagens é gerada por uma fonte de iluminação que é refletida na cena (objetos e outras coisas presentes) cuja imagem está sendo constituída. A fonte de alimentação pode se originar de uma fonte de energia eletromagnética (raios-x, radar ou infravermelho) ou por fontes menos convencionais, como ultrassom.

Para transformar essa energia refletida pelos objetos da cena em imagens digitais é necessário um sensor. Esse, por sua vez, converterá a energia em tensão pela combinação de energia elétrica e do material do sensor. Depois, a onda de saída relacionada ao fenômeno que está sendo gerado é digitalizada.

• Aquisição de imagens utilizando sensores matriciais

Os sensores matriciais são dispostos em forma de uma matriz bidimensional coletando a energia de entrada (fonte de alimentação) e projetando ela em um plano imagem, como mostra a Fig. 4.

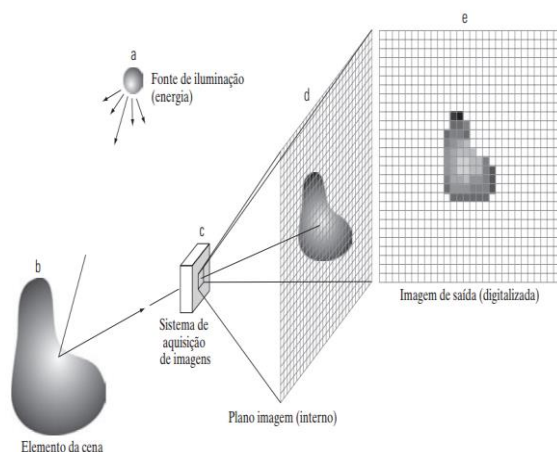


Fig.4. Aquisição de imagem por um sensor matricial [2]

O sensor de imagem matricial projeta seu ponto de vista do que está sendo observado em seu ângulo de visão em um plano e depois ocorre o processo de digitalização. Então, a qualidade da imagem a ser digitalizada dependerá inteiramente da quantidade de sensores usada. Quanto mais sensores sendo usados, maior a quantidade de detalhes e consequentemente, maior a qualidade.

Esse tipo de sensor é o predominante nas câmeras digitais e geralmente aparecem na forma de 4.000 x 4.000 elementos ou mais.

B. Realce

De acordo com [1], o principal objetivo das técnicas de realce é processar certa imagem de modo que o resultado seja mais adequado para uma aplicação específica do que o original.

A alteração da imagem original para uma imagem binária se dá muitas vezes pela necessidade de simplificação da análise. Levando em conta a menor

necessidade de processamento e também o contraste entre cores.

De acordo com [9], esse processo se dá pela alteração de todos os pixels de iluminância alta para nível 1 e todos os demais para nível 0. Se a imagem original não estiver em tons de cinza, é primeiro feito esse processo e depois então a imbinarização.

C. Processamento morfológico de imagens

Depois da aquisição de imagens e aplicação de filtros necessários para melhor resolução, se dá o processamento morfológico.

Segundo [5], o princípio de morfologia digital se embasa no fato de que a imagem é um conjunto de pontos elementares (pixels) que formam subconjuntos elementares bi ou tridimensionais. Os subconjuntos e a inter-relação entre eles formam estruturalmente a morfologia da imagem. Pode ser interpretado como a descrição matemática das imagens, que pode ser aplicada em várias áreas de processamento e análise de imagens, com objetivos como realce, filtragem, segmentação, detecção de bordas, entre outras.

Em uma imagem binária, o processamento morfológico de imagens representa todos os pixels brancos como um conjunto e os pretos como outro. Esses conjuntos são membros do espaço 2-D de números inteiros, onde cada pixel está representado como uma coordenada (x,y).

Uma operação fundamental para o processo morfológico, é o processo de erosão que é explanado na seção a seguir.

i. EROÇÃO

De acordo com [1], sejam A e B conjuntos pertencentes ao espaço bidimensional dos inteiros, a erosão de A por B é o conjunto de todos os pontos z, de forma que B, transladado por z, está contido em A.

A erosão é um dos processos bases para várias outras operações em PDI, como a extração de fronteiras, que é explicada na seção a seguir.

• Extração de fronteiras

Um dos processos morfológicos que utilizam a erosão, e que é de grande importância, é a extração de fronteiras. Esse processo se dá pela erosão dos conjuntos que compõem uma imagem. Se deseja-se extrair as fronteiras de um conjunto A em relação a um elemento estruturante B, essa pode ser obtida pela erosão de A por B seguida da diferença de conjuntos entre A e essa erosão. Esse processo é ilustrado pela Fig. 5.

Como pode ser observado na Fig. 5, o resultado mostra os limites entre o conjunto A e o elemento estruturante B (fundo).



Fig.5. Extração de fronteiras ou contorno [2]

D. Segmentação de imagens

Logo depois do processamento morfológico, ocorre a segmentação de imagens, ou seja, a divisão de uma imagem em regiões e objetos, conforme o interesse do projetista, podendo ser dividida em quantos níveis (sub-regiões) forem necessários, como ilustrado na Fig. 6.

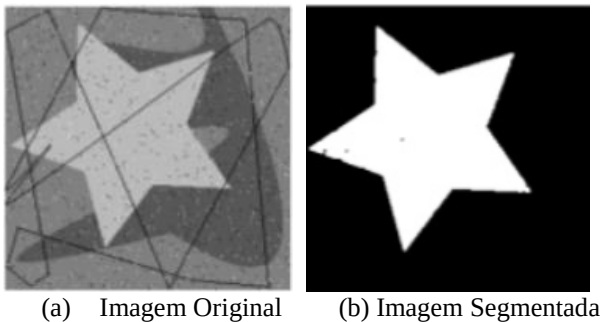


Fig.6. Segmentação de imagem [2]

Geralmente esse processo é feito por níveis de intensidade diferentes na imagem, definindo pixels de transição como bordas. Como mostrado na Fig. 6, que destaca o desenho de estrela do fundo da imagem.

Segundo [6], para segmentação de uma imagem de forma a identificar círculos que contrastem com o fundo, é utilizado o método da métrica, que consiste em utilizar o perímetro e a área do objeto em questão, de acordo com a Equação 1.

$$\text{Métrica} = 4 \cdot \pi \cdot A / P^2 \quad (1)$$

Onde:

A= área do objeto;

P= perímetro do objeto.

Se a métrica calculada for igual a um, se tem um círculo. Para todas as outras formas, a métrica é menor que um.

De posse da informação se os objetos reconhecidos são círculos ou não, para a localização do centro desses círculos, se explorará na seção seguinte a transformada de Hough, que utiliza artifícios matemáticos para identificar seus respectivos centros.

i. TRANSFORMADA DE HOUGH

Para lidar com situações onde só se tem informações de borda da imagem e nenhuma informação sobre sua localização, um dos métodos utilizados é a transformada de Hough.

Segundo [7], o princípio básico dessa transformada consiste em obter, através das transformações do gradiente e da limiarização, pontos de uma imagem. A ideia é aplicar na imagem uma transformação tal que todos os pontos pertencentes a uma mesma curva sejam mapeados num único ponto de um novo espaço de parametrização, no caso dos círculos, o centro.

• Localização do centro dos círculos

Para o caso de reconhecimento de círculos, o usuário entra com um valor de raio desejado para identificação, com parâmetros de valores mínimos e máximos. Então, a partir da borda da imagem original são selecionados três ou quatro pontos aleatoriamente, respeitando uma distância mínima entre eles, como ilustra a Fig. 7.

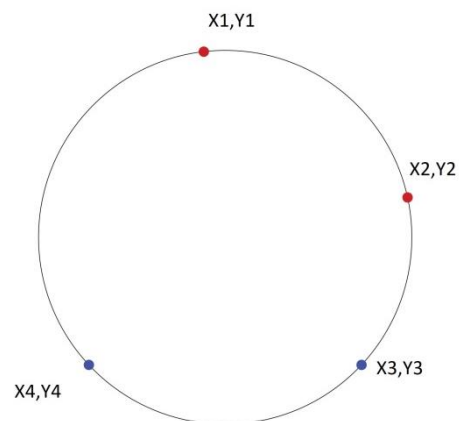


Fig.7. Escolha dos pontos – Adaptado de [8]

Logo depois de serem escolhidos os pontos, é traçada uma reta entre os pontos (X1,Y1) e (X2,Y2) e entre os pontos (X3,Y3) e (X4,Y4). Logo depois são localizados os pontos médios das retas e traçadas duas retas perpendiculares às retas já existentes. O ponto de intersecção entre as duas retas perpendiculares é o centro do suposto círculo em questão, como mostra a Fig. 8.

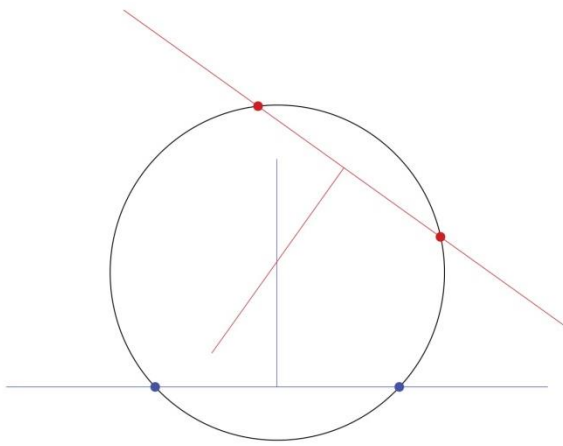


Fig.8. Intersecção das retas perpendiculares – Adaptado de [8]

Com o valor do centro do suposto círculo, é calculada a distância do raio desse círculo. Se este valor for menor ou maior do que o valor de raio informado pelo usuário, essa imagem não é reconhecida como círculo.

Esse processo de identificação do valor do centro é repetido diversas vezes e depois feito uma média para indicar com precisão o valor real do centro do círculo.

Para uma melhor associação dos métodos utilizados em cada etapa do PDI, a Fig.9 apresenta estes de acordo com a ordem descrita na Fig.2.

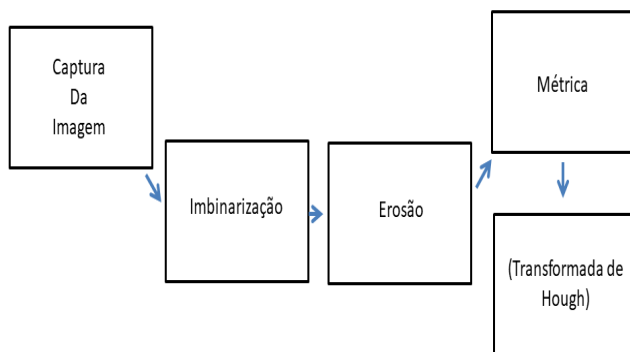


Fig.9. Métodos utilizados (autoria própria,2019)

Em um primeiro momento é feito a captura da imagem por meio dos processos citados no item A - Aquisição de imagens. Logo depois é feito o processo de imbinarização destacado no item B - Realce. A execução da detecção de bordas pelo método da erosão é feita em seguida, explicada no item C - Morfologia.

O item D – Segmentação – é dividido em dois processos: o reconhecimento de círculos pela métrica e a localização dos centros desses círculos pela transformada de Hough, como citado anteriormente.

III. MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção são explicados os principais componentes do sistema, assim como os métodos utilizados para aquisição das imagens e seu processamento.

A. Materiais

Na Fig. 10 estão apresentados todos os componentes do sistema e suas respectivas posições em uma vista isométrica.

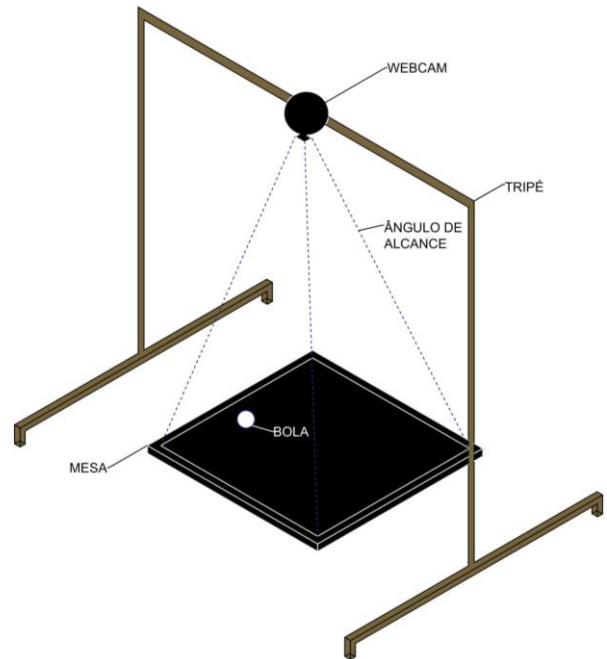


Fig.10. Sistema Simulado (autoria própria,2019)

A Fig. 10 apresenta o tripé com a câmera acoplada e direcionada de forma quase perpendicular à mesa, obtendo assim o melhor ângulo de captação da imagem. Já na Fig. 11, se tem a imagem do sistema real montado.

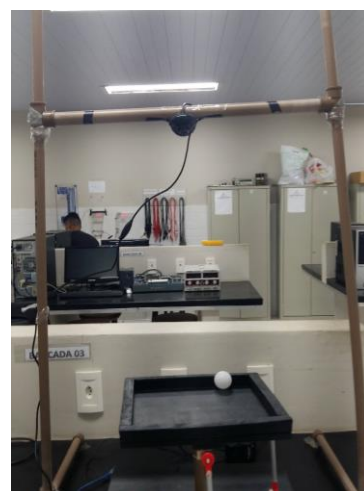


Fig.11. Sistema Real (autoria própria, 2019)

Nas subseções a seguir serão detalhados cada componente do sistema.

i. CÂMERA

Foi adquirida uma câmera webcam para servir como sensor do sistema, se aproveitando do fato de que o software MATLAB™ tem uma biblioteca específica para esse tipo de câmera, como ilustrado na Fig. 12.



Fig.12. Câmera Utilizada (autoria própria, 2019)

A câmera em questão tem capacidade máxima de resolução de até 640x480 e mínima de 160x120 pixels.

ii. TRIPÉ

Para que fosse possível obter um bom posicionamento da câmera (de forma que essa ficasse diretamente sobre o tablado, evitando interferências na aquisição da imagem), foi construído um tripé de canos de policloreto de vinilha (PVC), como ilustrado na Fig. 11.

O tripé conta com altura e deslocamento vertical reguláveis para que seja possível ajustar a posição da câmera sem que fosse interferida na posição da plataforma.

iii. MESA

A mesa utilizada como base para o sistema está ilustrada na Fig. 13.

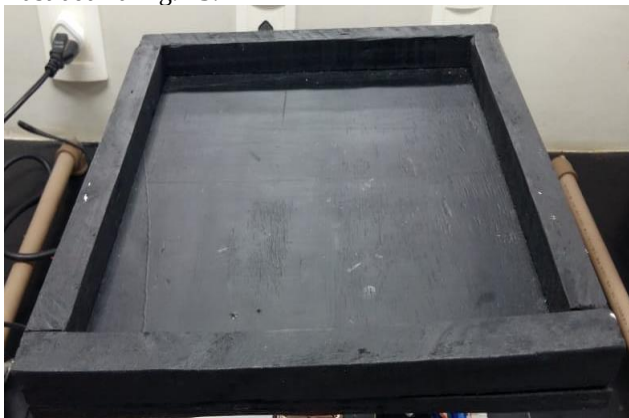


Fig.13. Mesa Utilizada (autoria própria, 2019)

Tomando como base um sistema de coordenadas x,y convencional, a mesa conta com medidas internas de 25 centímetros no eixo x e 26.5 centímetros no eixo y.

iv. BOLA

A bola utilizada no sistema está ilustrada na Fig. 14.

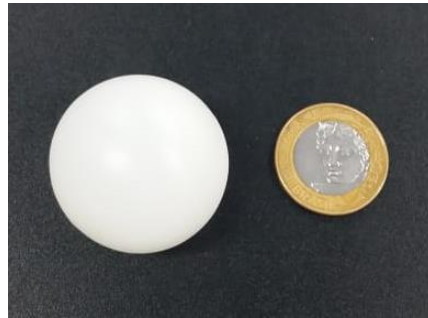


Fig.14. Bola Utilizada (autoria própria, 2019)

A bola utilizada aparece na Fig. 14 ao lado de uma moeda, para comparação do seu tamanho. Foi utilizada uma bola de peso leve, aproximadamente 2,4 gramas, para que o momento inercial não fosse grande, o que poderia atrapalhar no desempenho do sistema.

B. Método

Para uma melhor associação do sistema apresentado nesse trabalho, na Fig. 15 se tem um paralelo comparando os passos no processo de PDI do sistema usado com o esquema geral apresentado na Fig. 2.

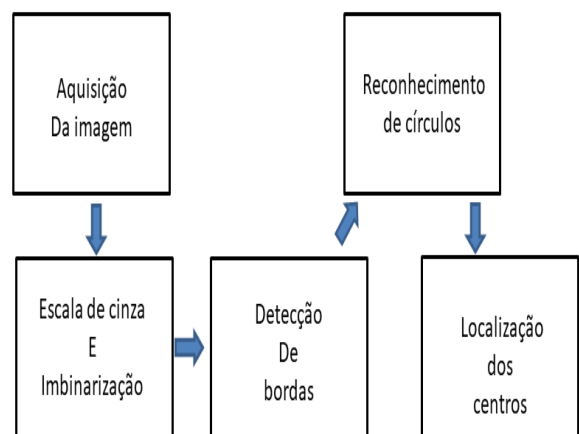


Fig.15. Passos no processo de PDI usado no sistema mesa bola (autoria própria, 2019)

Em um primeiro momento, haverá a captura da imagem pela biblioteca de aquisição de imagens do software Matlab™ em conjunto com a webcam, que permitirá a localização da bola em tempo real. Depois haverá a conversão da imagem para preto e branco e logo depois para binário para que o processo morfológico seja otimizado, dando maior contraste entre bola e mesa. Em

seguida, haverá o processo morfológico que se dará pela erosão e extração de fronteiras da imagem, permitindo que as bordas contidas na imagem sejam identificadas.

Dando continuidade, haverá o processo de segmentação que constará na identificação dos círculos e de seus respectivos centros. Dado o diâmetro da bola utilizada, foi colocado um raio variante de cinco a trinta como parâmetro de entrada.

Para cálculo da posição real da bola, foi medido o espaço de vídeo que a câmera mostrava (ângulo de alcance) com origem no canto superior direito, como ilustra a Fig. 16, pelo número de pixels de resolução em que a câmera se encontrava (160x120).



Fig.16. Ângulo de alcance da câmera (autoria própria, 2019)

Esse processo foi necessário, pois se a câmera ficasse muito baixa, não observaria o tablado todo e existiriam áreas em branco sem cobertura da câmera.

Os processos morfológicos e de segmentação foram feitos utilizando a função 'imfindcircles' do software Matlab™, que identificava apenas os centros dos círculos de cor mais clara que o fundo. Essa função permite também encontrar objetos mais claros que o fundo, sendo assim de fácil adaptação para outros ambientes.

Foi feito ainda um laço específico no programa para que fosse avisado quando a câmera não conseguisse captar a bola, ou seja, possíveis pontos cegos do sistema ou quando a bola estivesse se movendo em grande velocidade sobre a mesa. A condição colocada foi que quando a câmera não estivesse localizando a bola, uma mensagem seria exibida e o sistema usaria o último valor de iteração como valor atual.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o procedimento de montagem e certificando-se que todos os componentes se encontravam em seus respectivos lugares, foram realizadas medições de modo a certificar o funcionamento do sistema.

Na Fig. 17, ilustra-se a imagem de retorno do software, identificando a bola com um círculo azul e sua posição em relação à mesa no canto superior esquerdo – em vermelho a posição no eixo x e em azul a posição no eixo y.

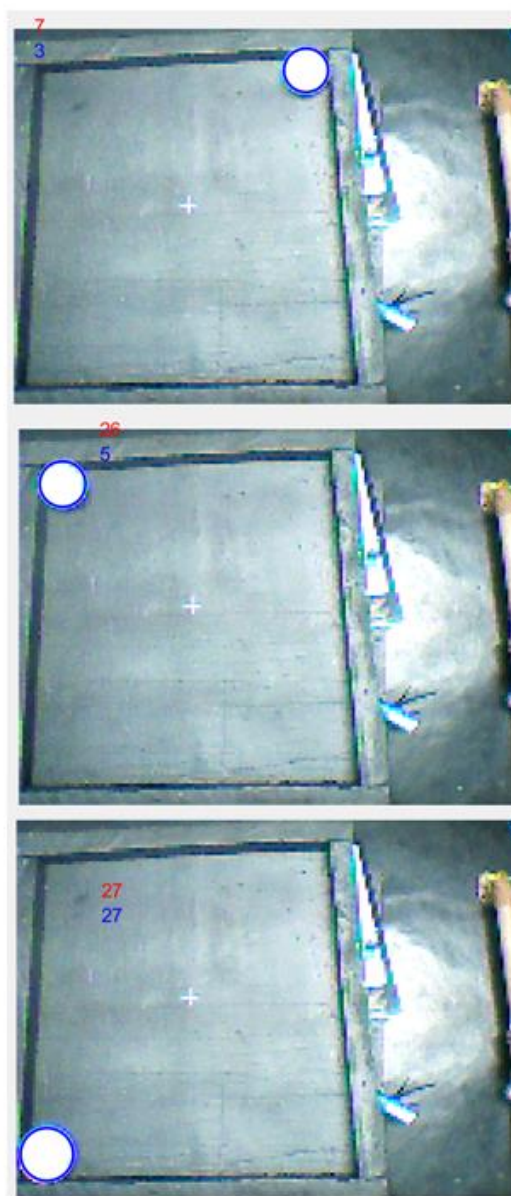


Fig.17. Posição da bola sobre a mesa (autoria própria, 2019)

O tempo de amostragem de cada iteração da posição do centro dos círculos foi cerca de 0,4 segundos - mostrando-se compatível e rápido o suficiente para o sistema mesa-bola.

A primeira posição de centro da bola no eixo x é quatro centímetros e a última é (vinte e seis). Já no eixo y, a primeira posição também é quatro e a última é (vinte e sete) centímetros.

Foi observado que o valor retornado pelo software era bem próximo do real, mas que ainda eram necessários alguns ajustes na função de posição – que até então apresentava puramente o valor retornado, sem nenhuma modificação. Esses ajustes foram feitos pela calibração da câmera, explanada no item a seguir.

A. Calibração

Para melhor desempenho do sistema e ajuste fino do valor retornado pelo software foi feita a medição centímetro

a centímetro da posição da bola na mesa. Movendo a bola no passo de um centímetro e observando a localização do centro dada pela câmera, foi feita a comparação entre o valor esperado e o retornado pela câmera e feita uma linearização dessa diferença, como apresentado na Fig. 18.

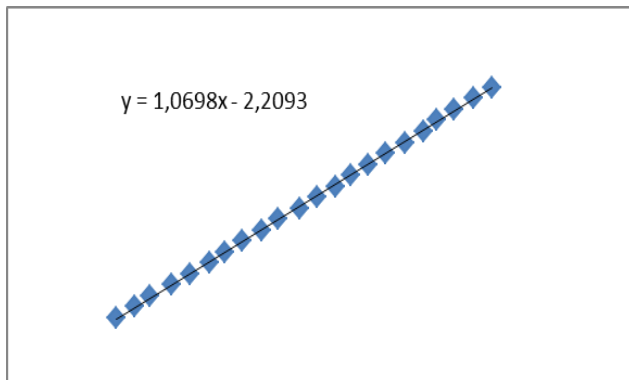


Fig.18 1.a. Parametrização no eixo x (autoria própria, 2019)

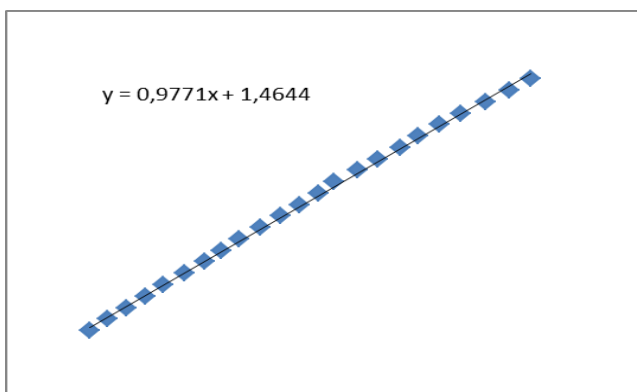


Fig.18.b. Parametrização no eixo y (autoria própria, 2019)

Na linearização, foi retornado um valor de função expressado na Fig.18, essa diferença foi utilizada no código de programação utilizado, corrigindo um possível erro de localização da bola. O resultado da posição da bola já com parametrização está ilustrado na Fig. 19.

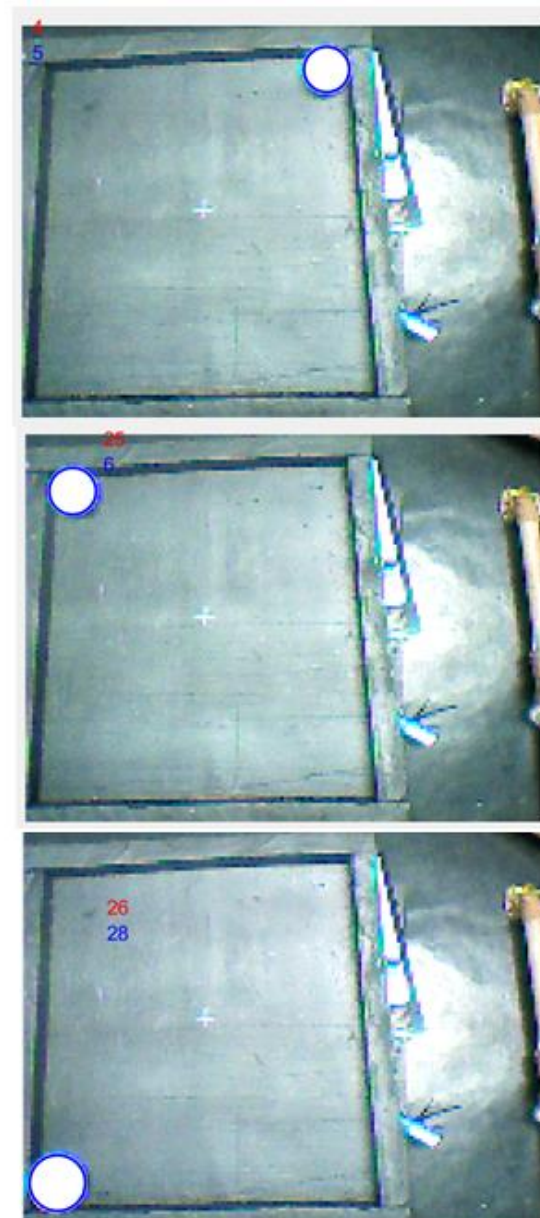


Fig.19. Posição da bola sobre a mesa com calibração (autoria própria, 2019)

Com os ajustes da calibração, os resultados observados foram melhores, indicando valores mais próximos dos reais do que os observados na Fig.17, caracterizando assim o bom desempenho do sistema.

Na Fig. 20, é possível observar outro objeto circular e um não circular junto com a bola na mesa.

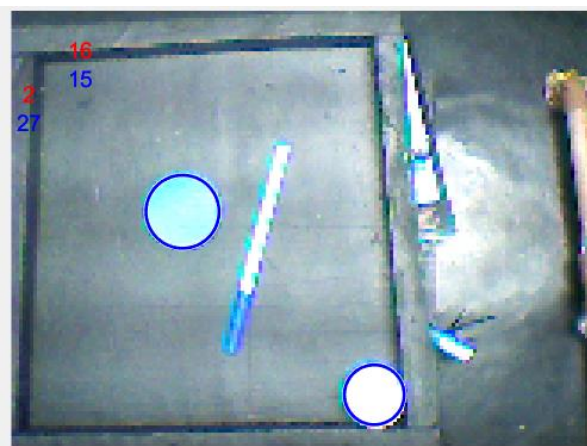


Fig.20. Objetos sobre a mesa (autoria própria, 2019)

Como ilustrado na Fig. 20, os objetos circulares foram identificados e o objeto não circular não foi localizado pela câmera, mostrando o bom desempenho em identificar apenas objetos circulares. Foi analisado ainda que o sistema apresentou um comportamento adequado com as luzes do laboratório ligadas, o que exclui problemas de reflexo que poderiam vir a atrapalhar o desenvolvimento.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho elaborado apresentou uma proposta de um sensor para um sistema de controle mesa-bola utilizando uma webcam, de modo a estudar e aperfeiçoar técnicas de processamento digital de imagens combinadas ao controle digital. Desta forma, o trabalho foi desenvolvido e testado em laboratório e mostrou resultados satisfatórios, atendendo às expectativas de medição de posição, comportamento sob luz forte e controle de tempo de cada iteração. O sistema é de fácil entendimento e utiliza seus componentes aliados a um processamento digital de natureza descomplicada. Assim, é possível afirmar que o sistema é confiável e pode ser usado em diversos tipos de ambientes, não sendo atrapalhado pela iluminação forte nem pela cor dos objetos e/ou fundo. Esse trabalho é apenas um sistema inicial e fica aberto para trabalhos futuros e quaisquer melhorias, como o acréscimo de funções com o objetivo de ultrapassar obstáculos, realizar movimentos pré programados ou melhorar seu funcionamento de alguma maneira.

REFERÊNCIAS

- [1] MARQUES FILHO, Ogê; NETO, Hugo Vieira. **Processamento digital de imagens**. Brasport, 1999.
- [2] GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard C. **Processamento digital de imagens**. Pearson Educación, 2009.
- [3] DE MORAES, Elisabete Caria. CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2002.
- [4] UFC – Espectro Eletromagnético, 2019. [Internet] Disponível em: <http://www.virtual.ufc.br/solar/aula_link/SOLAR_2/Curso_de_Graduacao_a_Distancia/LFIS/A_a_H/Fisica_IV/aula_04/03.html> Acesso em: 05/07/2019
- [5] DE QUEIROZ, José Eustáquio Rangel; GOMES, Herman Martins. Introdução ao processamento digital de imagens. **RITA**, v. 13, n. 2, p. 11-42, 2006.
- [6] MATLAB – **Identificação de objetos redondos**, 2010. [Internet] Disponível em: <<https://la.mathworks.com/help/images/examples/identifying-round-objects.html>> Acesso em: 04/08/2019
- [7] XU, Lei; OJA, Erkki; KULTANEN, Pekka. A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT). **Pattern recognition letters**, v. 11, n. 5, p. 331-338, 1990.
- [8] MATLAB – **Imfindcircles**, 2010. [Internet] Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html?s_tid=doc_ta#d117e127624> Acesso em: 10/06/2019
- [9] MATLAB – **Imbinarização**, 2010. [Internet] Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/im2bw.html?s_tid=doc_ta> Acesso em: 10/06/2019