

CÁLCULO DE VOLUME EFETIVO DE OBJETOS EM MOVIMENTO USANDO ESTEREOSCOPIA

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

Renato Campelo de Barros
Orientador: Wellington Pinheiro dos Santos



UNIVERSIDADE
DE PERNAMBUCO

Renato Campelo de Barros

**CÁLCULO DE VOLUME EFETIVO DE
OBJETOS EM MOVIMENTO USANDO
ESTEREOSCOPIA**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Recife, Junho de 2009.

Dedico este trabalho ao meu pai, que me ajudou em tudo que estive ao seu alcance para que esse sonho se tornasse realidade.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela dádiva do conhecimento e da sabedoria, pois nEle repousam os tesouros da ciência.

Sou grato aos meus pais, os quais em tudo me apoiaram com amor. Vocês fazem parte dessa conquista.

Agradeço ao Prof. Wellington Pinheiro por ter compartilhado do seu conhecimento e por me incentivar a desempenhar esse projeto.

E agradeço à minha amada Renata, por sua presença carinhosa e serena, proporcionando-me paz e coragem para chegar à reta final do curso.

Resumo

Diversas aplicações industriais mostram que a medição de volumes passantes é fundamental para determinadas linhas de produção. As técnicas de fotogrametria e de estereoscopia indicam que é possível, a partir de uma única câmera, medir alturas de montes, edifícios e acidentes geográficos variados, utilizando-se de pares de imagens aéreas deslocadas uma da outra segundo determinado critério. Esses pares são chamados de pares estéreo. Este trabalho mostra que é possível adaptar técnicas fotogramétricas e estereoscópicas para medição de objetos passantes em esteira, no contexto industrial, usando apenas uma câmera. Para tanto, foi desenvolvida uma solução que faz uso de Morfologia Matemática e de estereoscopia com finalidade de medir a altura, a área superior e o volume de caixas passantes em esteiras. Foi desenvolvido também um protótipo mecânico para realizar as medições em condições próximas daquelas encontradas no ambiente industrial. Os resultados obtidos mostram que é possível empregar com sucesso a solução proposta para medir volumes no contexto industrial. Entretanto, em diversos casos a precisão ainda é baixa, demonstrando algumas limitações da técnica proposta.

Palavras-chave: Fotogrametria. Estereoscopia. Medição de Objetos.

Abstract

Many industrial applications have shown that the moving volumes measure is fundamental for some production lines. The photogrammetry and stereoscopy techniques show that is possible, from a single camera, to measure the height of hills, buildings and a varied geographic accidents with the use of offset aero image pairs according to the determined criteria. These pairs are named stereo pairs. This paper shows that is possible to adapt the photogrammetry and stereoscopy techniques for the measuring of moving objects in the carousel in a industrial context, with the use of only one camera. This way, a solution was developed using the Mathematic Morphology and the stereoscopy in order to measure the height, superior area and the volume of passing boxes in the carousel. Also, a mechanical prototype was developed to make the measuring in similar conditions as the ones found in the industrial environment. The obtained results demonstrate that it is possible to make use of the proposed solutions to measure volumes in a industrial context successfully. However, in many cases the accuracy is still low, demonstrating some restrictions of the proposed technique.

Keywords: Photogrammetry. Stereoscopy. Objects Measure.

Sumário

Resumo	v
Abstract	vi
Sumário	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Capítulo 1 Introdução	11
Capítulo 2 Estereoscopia	13
1. Efeitos Passivos em imagens 2D	15
2. Técnicas Estereoscópicas	17
Capítulo 3 Metodologia	23
1. Estimativa de Altura	24
2. Procedimentos Realizados	29
2.1. Pós-processamento nas imagens.	31
2.2. Análise e Varredura nas imagens	35
2.3. Calibragem do equipamento	38
Capítulo 4 Resultados Obtidos	41
Capítulo 5 Conclusão e Trabalhos Futuros	46
Bibliografia	47

Índice de Figuras

Figura 1. Experimento de visão estéreo. a) Olhos convergindo para o polegar, visão dupla do objeto. b) olhos focando objeto, visão de dois polegares. [13]-----	14
Figura 2. Noção de distância entre objetos [12] -----	15
Figura 3. Perspectiva em uma imagem bidimensional-----	16
Figura 4. Iluminação: a) sem efeito de iluminação. b) com efeito de iluminação. [9]	16
Figura 5. Efeito de oclusão [9]-----	16
Figura 6. Efeito de sombra em imagens planares [9] -----	17
Figura 7. Disparidade da retina -----	17
Figura 8. Configuração de câmeras: a) eixo paralelo e b) eixo convergente [1]-----	18
Figura 9. Efeito <i>Keystone</i> : a) imagem original e b) imagens sobrepostas [1] -----	19
Figura 10. Técnica de Anaglifo: a) Óculos de filtragem; b) Imagem anaglifo [15]----	20
Figura 11. Técnica de lentes polarizadas [17]-----	21
Figura 12. Técnicas de visualização de estereogramas: a) <i>Cross-viewing</i> b) <i>Parallel-viewing</i> [16]-----	22
Figura 13. <i>Magic Eye Stereogram – Shark</i> -----	22
Figura 14. Sistema de esteira com suporte para câmera -----	23
Figura 15. Diferença de paralaxe – a) paralaxe esquerda b) paralaxe direita-----	24
Figura 16. Medição de altura através da sombra do corpo [10]-----	25
Figura 17. Imagem aérea para método do deslocamento [10] -----	26
Figura 18. Diferença de Paralaxe de foto aérea [10]-----	27
Figura 19. Semelhança de triângulo -----	28
Figura 20. Imagens extraídas da esteira: a) posição inicial; b) deslocamento de 15 cm; c) posição ortogonal à câmera; d) deslocamento de 45 cm; e) deslocamento de 60 cm-----	30
Figura 21. Diagrama de Processos -----	31

Figura 22. Histograma da imagem -----	32
Figura 23. Pós processamento: a) Imagem original adquirida no processo de “Aquisição de Imagens”; b) Imagem “imA” após processo de binarização; c) Imagem “imA” após processo de Abertura; d) Imagem “imB” após equalização de histograma; e) Imagem resultante do processo AND -----	34
Figura 24. Calibragem do sistema: a) imagem original b) recorte da imagem original com pós-processamento-----	38
Figura 25. Objetos utilizados no experimento: a) caixa-1; b) caixa-2; c) caixa-3; d) caixa-4; e) perfume-----	41
Figura 26. Imagens resultantes do algoritmo de detecção de região de interesse---	42

Índice de Tabelas

Tabela 1. Dimensões dos objetos utilizados	42
Tabela 2. Estimativa de altura a 70 centímetros de distância	42
Tabela 3. Estimativa de altura a 90 centímetros de distância	43
Tabela 4. Dimensões estimadas dos objetos	43
Tabela 5. Erro absoluto	44
Tabela 6. Erro relativo	44

Capítulo 1

Introdução

A evolução dos sistemas computacionais nas últimas décadas permitiu uma grande revolução no processamento de dados e na área de aplicação da ciência da computação. Como consequência, o leque de aplicações de processamento computacional aumentou, tornando possível a automação de problemas que antes eram inviáveis devido à complexidade de sua natureza como, por exemplo, a computação gráfica.

Desde o seu surgimento, a computação gráfica contribuiu para um grande avanço nos inúmeros setores da ciência: na medicina, com o uso de sistemas capazes de interpretar imagens médicas automaticamente; na engenharia, com criação de modelos e plantas tridimensionais; na astronomia, através do tratamento de imagens para remoção de ruídos e aumento da nitidez. Além disso, temos aplicações da computação gráfica nos setores da indústria, robótica, geoprocessamento, e muitas outras áreas novas, como, por exemplo, a realidade virtual.

Nesse trabalho será estudada uma sub-área da computação gráfica, a visão computacional, usando técnicas de visão estéreo, a fim de calcular o volume efetivo de um objeto para aplicação no setor industrial. Dentre os propósitos de encontrar esse volume podemos citar o processo de otimização na alocação física do transporte de mercadorias. Essa otimização não faz parte do escopo desse projeto, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

No capítulo 2 iremos estudar os fundamentos da visão estéreo, vendo tópicos sobre estereoscopia, efeitos passivos em imagens estáticas e técnicas estereoscópicas, com o intuito de criar um arcabouço teórico para os capítulos subsequentes.

O capítulo 3 fala sobre a metodologia aplicada para alcançar o objetivo do presente trabalho, descrevendo as técnicas de estimativa de altura e o funcionamento do algoritmo proposto.

No capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação do sistema. Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Estereoscopia

“estereoscopia é o processo fotográfico que produz efeito tridimensional graças à utilização de dois registros simultâneos, em duas perspectivas diferentes, do mesmo assunto”.

Dicionário Aurélio

A palavra estereoscopia deriva do grego *“stereos”* e *“skopein”*, que significa, respectivamente, “sólido”, “relevo” e “ver”, “olhar”, o que quer dizer “ver em relevo” ou “visão sólida”.

As primeiras aplicações da visão estereoscópica remontam o surgimento da fotografia, por volta do século XIX. As primeiras referências que temos sobre a percepção visual de volume são atribuídas a El-Hazen, Archimedes e Leonardo da Vinci. Muito embora, apenas em 1833, Sir Wheatestone demonstrou física e praticamente o fenômeno da estereoscopia. Em 1844, Sir David Brewsrer inventou o primeiro estereoscópio prismático, sendo responsável por difundir esse fenômeno no século XIX.

O fenômeno da estereoscopia baseia-se na visualização de um objeto a partir de dois pontos de observação distintos e próximos entre si.

Normalmente nos referimos ao termo estéreo no contexto sonoro, ou seja, relacionado à tecnologia de áudio existente nos aparelhos de CD, *home theater* ou no rádio do automóvel [12]. Nesse sentido estéreo quer dizer que o som emitido origina-se de duas fontes independentes e afastadas entre si, como as caixas de sons de um sistema *microsystem*. Os sons reproduzidos nos alto-falantes são ligeiramente diferentes e, ao serem processados por nosso cérebro, nos dá a sensação de imersão no ambiente que os está reproduzindo.

Essa tecnologia de som estéreo pode ser estendida ao sistema visual [6]. Nós, seres humanos, somos dotados de dois olhos posicionados na parte frontal da

cabeça. Dessa forma, capturamos duas imagens ligeiramente diferentes, devido aos olhos estarem afastados por uma distância de aproximadamente 65 milímetros. Essa diferença entre as imagens é responsável por nos proporcionar uma visão binocular e conseqüentemente uma noção tridimensional do ambiente. Isso pode ser facilmente observado através de um experimento bastante simples: alinhe seu polegar esquerdo com um objeto a frente de seu nariz e foque sua visão para o dedo, você verá esse objeto como sendo dois; agora foque sua visão no objeto por detrás do polegar, você verá dois dedos, conforme ilustrado na figura abaixo:

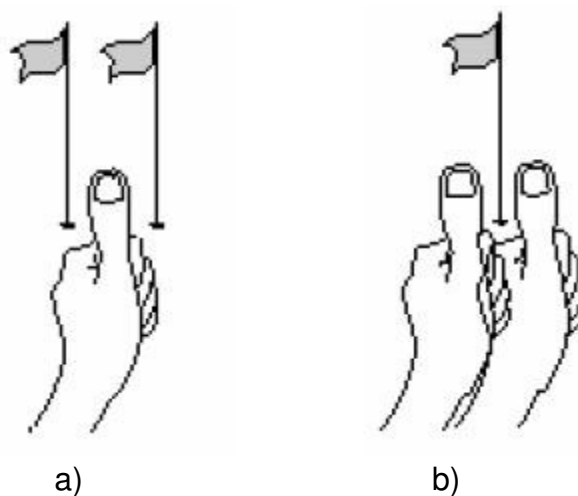


Figura 1. Experimento de visão estéreo. a) Olhos convergindo para o polegar, visão dupla do objeto. b) olhos focando objeto, visão de dois polegares. [13]

A visão tridimensional que temos do mundo é resultado da interpretação, pelo cérebro, das duas imagens bidimensionais que cada olho capta a partir de seu ponto de vista e das informações sobre o grau de convergência e divergência [4]. Além das imagens, nosso cérebro coordena o movimento dos músculos dos globos oculares e processa a informação sobre o ângulo de convergência dos olhos ao focarem um objeto a frente, através desse ângulo é que somos capazes de auferir a distância de um corpo, como mostrado na figura abaixo.

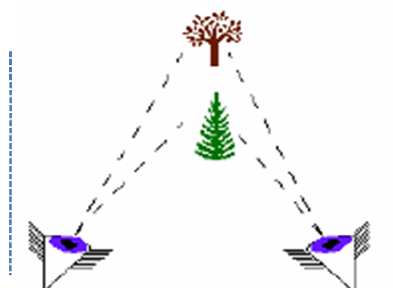


Figura 2. Noção de distância entre objetos [12]

Além do processo natural para obtenção de estereoscopia, outros processos artificiais podem ser usados para dar a sensação de 3D ao observador. Existem ainda alguns efeitos presentes em imagens bidimensionais que nos fornecem características tridimensionais. Entretanto, tais efeitos não correspondem a imagens estereoscópicas, mas apenas refletem à aparência do mundo externo, são chamados de efeitos passivos, que serão discutidos a seguir. Posteriormente serão apresentadas técnicas para gerar imagens estereoscópicas. Esses processos podem ser gerados ou não por computadores e serão apresentados na próxima seção.

1. Efeitos Passivos em imagens 2D

Ao observarmos uma imagem ou fotografia impressa em papel, percebemos características tridimensionais na cena, apesar dessa imagem ser planar, ou seja, bidimensional. Essa percepção é resultado de certos efeitos que são capturados do ambiente externo independentemente de uma visão estéreo, por isso que são chamados efeitos estáticos presentes na imagem. Vamos agora detalhar essas características.

- **Perspectiva:** define-se como a projeção em uma superfície bidimensional de um determinado fenômeno tridimensional [3]. Como resultado, objetos de mesmo tamanho, mais próximos do observador, no caso a câmera, devem aparecer maiores que objetos mais atrás da cena.



Figura 3. Perspectiva em uma imagem bidimensional

- **Iluminação:** o efeito de iluminação acrescenta a imagem maior grau de realismo da cena, fazendo com que a percepção de profundidade da cena seja aprimorada.

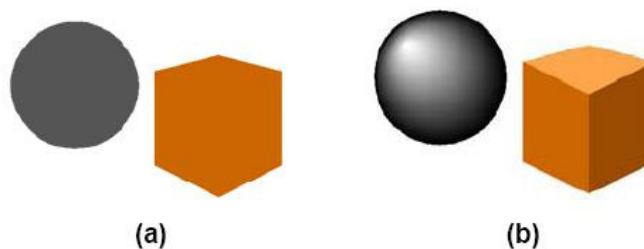


Figura 4. Iluminação: **a)** sem efeito de iluminação. **b)** com efeito de iluminação. [9]

- **Oclusão:** é o efeito responsável por esconder parte ou totalmente um objeto que se encontra atrás de outro numa cena. Dessa forma, percebe-se a ordem em termos de distância do observador.

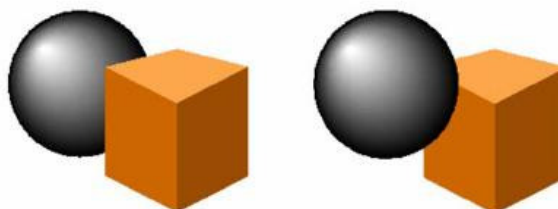


Figura 5. Efeito de oclusão [9]

- **Sombra:** o efeito de sombra pode ser responsável por aprimorar a percepção da posição de um objeto em relação a outro corpo numa cena. Dessa forma, a sombra pode ser interpretada para saber quando

um objeto está sob um plano, por exemplo: na figura abaixo qual objeto está tocando o plano?

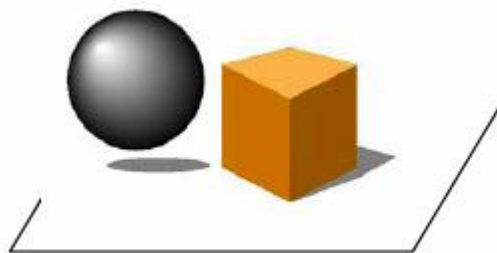


Figura 6. Efeito de sombra em imagens planares [9]

2. Técnicas Estereoscópicas

Vimos até agora alguns dos efeitos passivos em imagens estáticas. Entretanto, a estereoscopia visual é classificada como um efeito ativo, porque não está presente diretamente na imagem, sendo interpretada pelo nosso cérebro.

A base para o funcionamento da estereoscopia é a disparidade existente entre o par de imagens capturadas pelo olho esquerdo e direito. Como já foi dito, o nosso cérebro funde essas duas imagens gerando a sensação de profundidade da cena. A disparidade acontece devido aos nossos olhos estarem afastados por uma distância de aproximadamente 65 mm, fazendo com que cada olho tenha um ponto de vista diferente em relação ao objeto em questão [9]. A figura a seguir representa esse processo de disparidade.

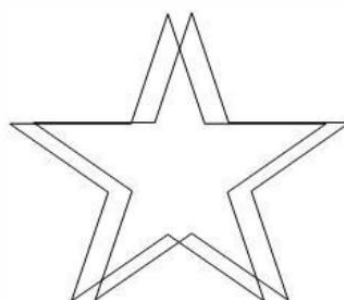


Figura 7. Disparidade da retina

Por esse motivo que qualquer técnica de geração de imagens estereoscópicas deve explorar essa disparidade.

A seguir vamos apresentar algumas das técnicas de visão estereoscópica explicando o princípio presente nas mesmas.

- Vídeo Estereoscópico

Essa técnica consiste na existência de duas câmeras capturando a mesma cena. Porém, as câmeras estão afastadas entre si para causar a disparidade de imagens necessária para o processo de estereoscopia. Segundo [5], existem duas formas de posicionamento de captura:

- a) Câmeras com eixo paralelo;
- b) Câmeras com eixo convergente;

Na configuração de eixo paralelo os sensores de captura das câmeras são posicionados com um leve deslocamento e são coplanares, ou seja, estão situados no mesmo plano de observação, focalizando a cena de forma paralela, essa configuração pode ser visualizada na Figura 8-a. Note que a distância entre os pontos de observação gera duas imagens ligeiramente deslocadas entre si, formando um par de imagens estéreo. Por outro lado, na configuração de eixo convergente acontece que as câmeras são posicionadas de modo que haja um ângulo de convergência entre os sensores. Essa configuração gera um efeito indesejado no par de imagens estéreo, chamado de distorção *Keystone*, ilustrado na Figura 9, que decorre do fato dos sensores das câmeras estarem posicionados em planos distintos e convergentes. Esse tipo de alinhamento pode ser visualizado na Figura 8-b.



Figura 8. Configuração de câmeras: a) eixo paralelo e b) eixo convergente [1]

Nessa técnica o vídeo capturado pelas duas fontes precisa ser visualizado de forma independente, ou seja, cada olho deve ver apenas o que foi capturado pelo sensor correspondente. Desse modo, a sensação de profundidade é alcançada da

mesma forma que a nossa visão, através da fusão, pelo cérebro, do par de imagens capturado.

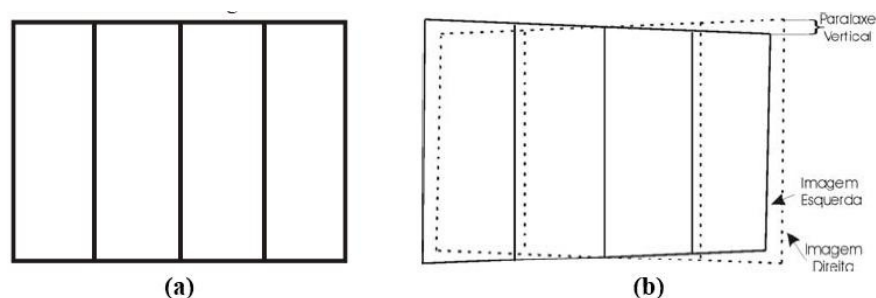


Figura 9. Efeito *Keystone*: a) imagem original e b) imagens sobrepostas [1]

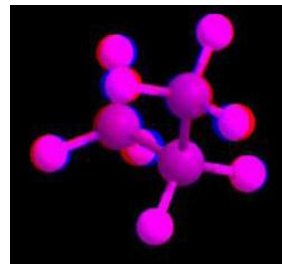
- Anaglifo

É a técnica de estereoscopia que consiste em fundir um par de imagens estéreo, cada uma composta por uma ou mais cores primárias, de forma que nenhuma imagem possua a cor da outra. Dessa forma, é gerada uma única imagem plana, cujo relevo é obtido através de cores complementares, normalmente vermelho e verde ou vermelho e azul. Isto é fundamental para que se consiga separá-las através dos filtros coloridos dos óculos específicos para essa finalidade [1].

A função dos óculos de filtragem é separar as cores cada uma para o olho correspondente, de forma que o olho esquerdo visualize a imagem destinada a ele, e igualmente para o olho direito. A Figura 10-a mostra um exemplo de óculos utilizados para visualização de anaglifos. Nesse exemplo, a lente esquerda (aquele com a película vermelha) deixa o olho receber apenas a parte do anaglifo de tonalidade vermelha, enquanto a lente ciano (azul+verde) permite apenas a passagem para o olho da tonalidade ciano. Utilizando este tipo de filtro, as duas imagens da Figura 10-b são separadas na observação e fundidas pelo cérebro dando a ilusão de profundidade. [15]



a)



b)

Figura 10. Técnica de Anaglifo: a) Óculos de filtragem; b) Imagem anaglifo [15]

- Óculos polarizados

Nesse método, a tela é coberta com o painel polarizador e as duas imagens são reproduzidas simultaneamente. A primeira imagem é formada apenas pelas linhas pares da cena, enquanto a segunda tela com as linhas ímpares. Para a visualização estereoscópica é necessário o uso de um óculos especial, conhecido como óculos polarizador, usado para separar as imagens cada uma para o olho correspondente.

Nesta técnica, os óculos são produzidos com elementos passivos de fácil construção apresentando custo, tamanho e peso reduzido, com a grande dificuldade encontrando-se na placa polarizadora montada sobre a tela [14].

O esquema abaixo ilustra o funcionamento desse método.

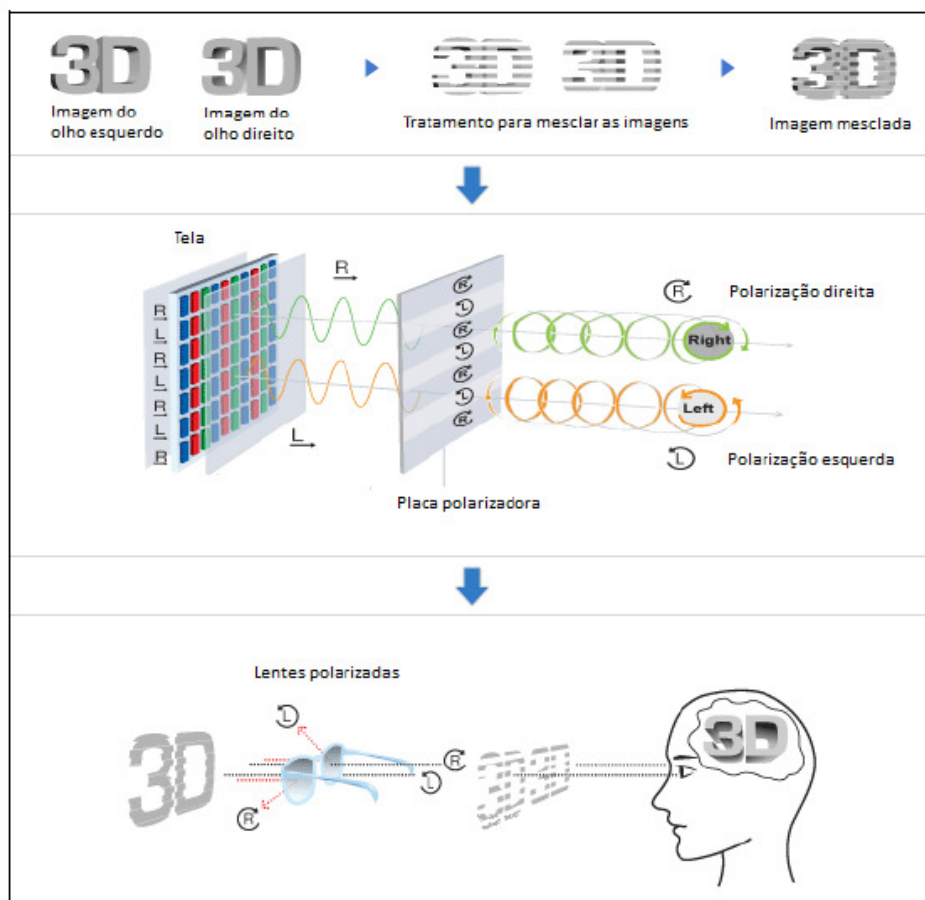
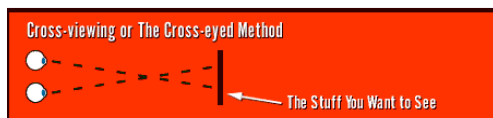


Figura 11. Técnica de lentes polarizadas [17]

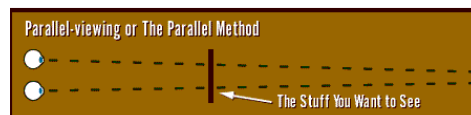
- Estereograma de pontos aleatórios

A idéia por trás da técnica de estereograma é a mesma existente nos pares estereoscópicos, entretanto, as duas imagens estéreo são construídas em uma única imagem planar, i.e bidimensional, com apenas uma parte alterada (aquela que se deseja mudar a profundidade). Essa técnica de estereoscopia é bastante antiga e facilmente encontramos na internet várias imagens de estereograma.

Existem duas técnicas para se visualizar o conteúdo tridimensional desse tipo de imagem. A primeira forma é olhar a imagem com o método de visão paralela, que se consegue focalizando um objeto no infinito. O segundo método, conhecido como “*cross viewing*” que significa visão cruzada procura focalizar a imagem em um ponto anterior ao plano da imagem. Essas técnicas são mostradas na Figura 12.



a)



b)

Figura 12. Técnicas de visualização de estereogramas: a) *Cross-viewing* b) *Parallel-viewing* [16]

Um exemplo de estereograma, extraído de [16] é apresentado abaixo.

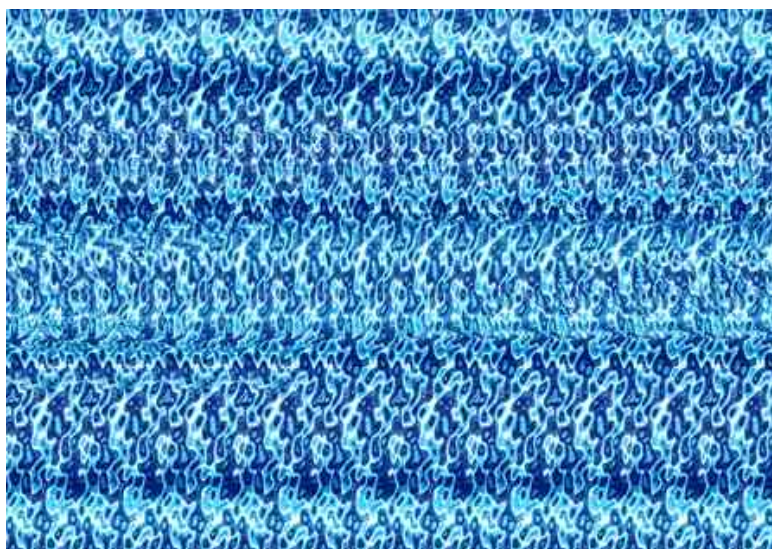


Figura 13. *Magic Eye Stereogram – Shark*

Capítulo 3

Metodologia

Neste trabalho faz-se necessária a aquisição de um par de imagens estéreo para estimar a altura de objetos em movimento. Tal par de imagens será obtido através de um sistema de esteira com suporte para uma câmera posicionada acima da esteira. A câmera estará bem fixada a uma distância conhecida e precisamente medida sobre a esteira. Ao mover-se na esteira, o objeto será fotografado por essa câmera em posições deslocadas, a fim de se adquirir um par de imagens estéreo do mesmo. Esse equipamento foi montado utilizando uma chapa de ferro e esquadilhas de alumínio, todas pintadas na cor preta, conforme mostra a Figura 14. Inicialmente, o objeto que passará pela esteira terá formas regulares, como paralelepípedos ou prismas, a fim de diminuir a complexidade geométrica no processo de estimativa da profundidade do objeto. A cor escolhida para o objeto foi branca para aumentar o contraste com o fundo da esteira.



Figura 14. Sistema de esteira com suporte para câmera

O movimento do objeto e o instante de captura da imagem serão conhecidos para se obter o deslocamento do mesmo ao longo da esteira. Esse deslocamento

entre as imagens faz com que o objeto seja visualizado através de ângulos de incidência diferentes. Dessa forma, haverá uma disparidade na visualização da imagem com relação à profundidade do objeto, como ilustra a Figura 15. Essa disparidade foi gerada por causa da diferença de paralaxe existente nas imagens.

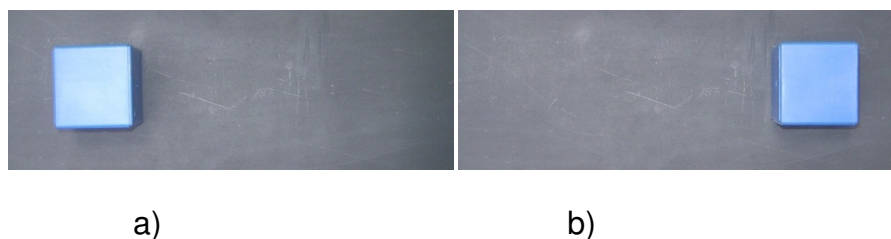


Figura 15. Diferença de paralaxe – a) paralaxe esquerda b) paralaxe direita

1. Estimativa de Altura

A estimativa da altura de um objeto pode ser alcançada por diferentes técnicas de mensuração de altura. Discutiremos três dessas técnicas a seguir:

- Estimativa de altura através da sombra do corpo

Essa técnica, que estima a altura do corpo através da sombra que o mesmo projeta no terreno, pode ser utilizada quando se conhece a posição da fonte de luz que incide sobre o objeto. Assim, altura pode ser calculada de forma simples pelos conhecimentos de trigonometria, ver Figura 16.

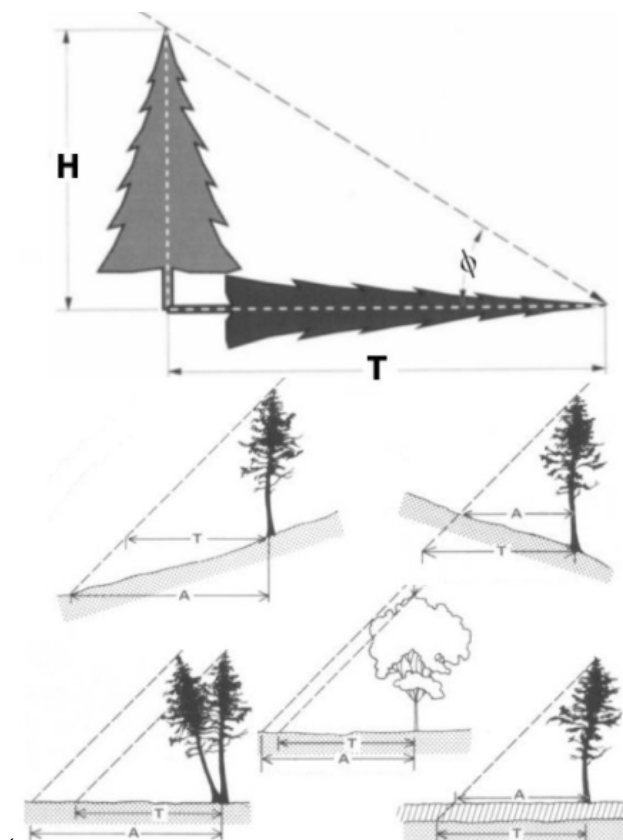


Figura 16. Medição de altura através da sombra do corpo [10]

Nessa ilustração podemos encontrar a altura “H” da árvore através da fórmula:

$$H = T \cdot \tan \phi \quad (1)$$

Sendo:

H = altura desejada

T = comprimento da sombra;

ϕ = ângulo de incidência da fonte de luz sobre o corpo

Existem, entretanto, muitos problemas para estimar a altura do objeto através dessa técnica, como foi ilustrado na figura acima. Observamos na ilustração que um desnível de terreno causa distorção no comprimento da sombra sobre o mesmo, outro problema pode ser o da inclinação do objeto com relação ao plano ou também a forma do objeto, pois sua largura pode alterar o comprimento da sombra de acordo com o ângulo de incidência da luz sobre o corpo.

- Método do deslocamento

Essa técnica, assim como a anterior, utiliza uma única imagem para estimar a altura do objeto. Para isso faz-se necessário levantar algumas observações sobre a imagem:

1. O ponto central da imagem precisa ser ortogonal à posição do observador, de forma que a reta que sai do pixel central da imagem até o observador forme um ângulo de 90° com o plano da imagem;
2. Conhecer precisamente a altitude em que a cena foi fotografada;
3. Tanto o topo do objeto que se deseja estimar a altura, quanto a base devem ser facilmente visualizados na imagem;
4. O grau de disparidade da imagem precisa ser grande o suficiente para ser precisamente medido por equipamento disponível.

Se essas condições forem satisfeitas, então podemos encontrar a altura do objeto contido na imagem aérea através da equação:

$$H_o = \frac{H_a \cdot D}{R} \quad (2)$$



Figura 17. Imagem aérea para método do deslocamento [10]

Sendo:

H_o = altura a ser calculada,

H_a = altitude do observador (câmera),

D = grau de disparidade da imagem,

R = distância radial do centro do objeto até o topo do objeto

- Método da disparidade de paralaxe

Essa técnica foi efetivamente utilizada no presente trabalho de monografia, para tanto se fez necessário a aquisição do par de imagens estéreo descrito no início desse capítulo. O método da disparidade de paralaxe funciona de forma parecida com o que ocorre com nossa visão tridimensional. Vamos agora introduzir alguns conceitos a fim de explicar o funcionamento de tal técnica.

De acordo com a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, paralaxe é o deslocamento aparente da posição de um corpo, no que diz respeito a um ponto de referência ou a um sistema, causado por um deslocamento no ponto de observação [10]. Na Figura 18, notamos que o observador (no caso o avião com a câmera fotográfica) percorreu certa distância entre a aquisição das duas imagens, gerando com isso uma diferença de perspectiva na visualização do objeto. Observamos, nesse par de imagens, que na primeira foto existe uma projeção da lateral da árvore sobre a terra igual a dP_1 que é menor que a projeção dP_2 observada na segunda foto. Essa diferença de perspectiva observada é resultado justamente da diferença de paralaxe entre as duas imagens.

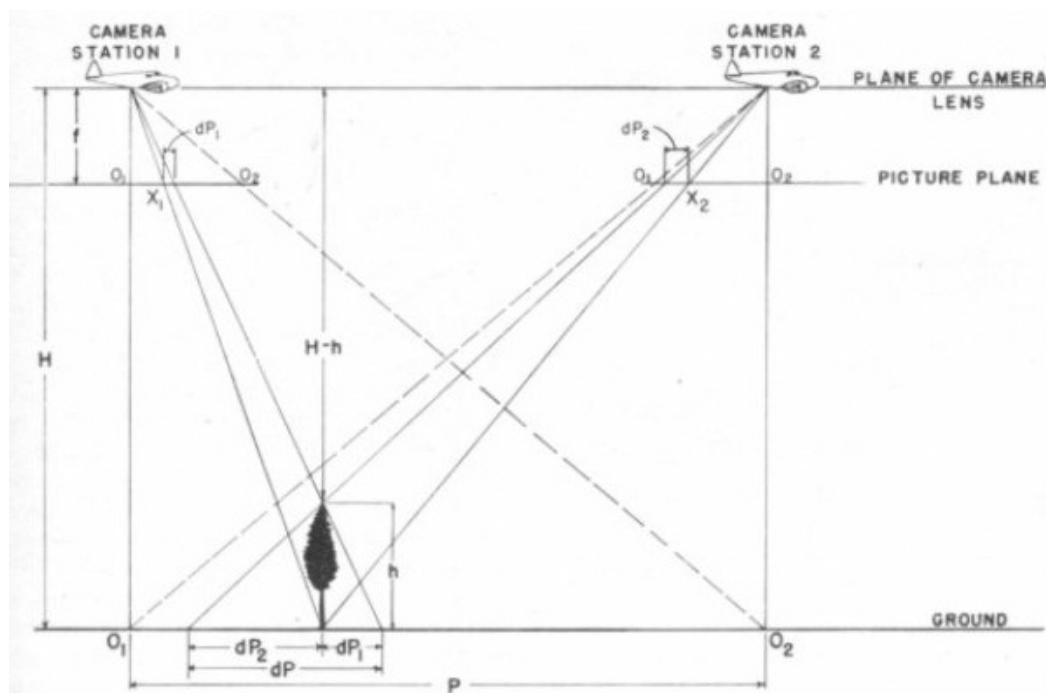


Figura 18. Diferença de Paralaxe de foto aérea [10]

Sendo:

H = altura do avião em relação à terra;

h = altura da árvore;

dP = disparidade de paralaxe ou paralaxe relativa;

P = paralaxe absoluta da base da árvore

A diferença de paralaxe entre as duas imagens é chamada de paralaxe relativa, na foto representada por dP , essa diferença é fundamental para a estimativa da altura do objeto por meio desta técnica. A distância entre os eixos do ponto de observação é chamada de paralaxe absoluta, na foto representada por P , e também é de fundamental importância o conhecimento dessa distância para a estimativa da altura.

A altura do objeto, através da técnica utilizada nesse trabalho, pode ser encontrada através de uma simples aplicação dos conhecimentos de geometria euclidiana. Na imagem abaixo, foi destacado dois triângulos formados pela diferença da posição do observador, nessa imagem, por semelhança de triângulo, sabemos que h está para dP assim como $H-h$ está para P .

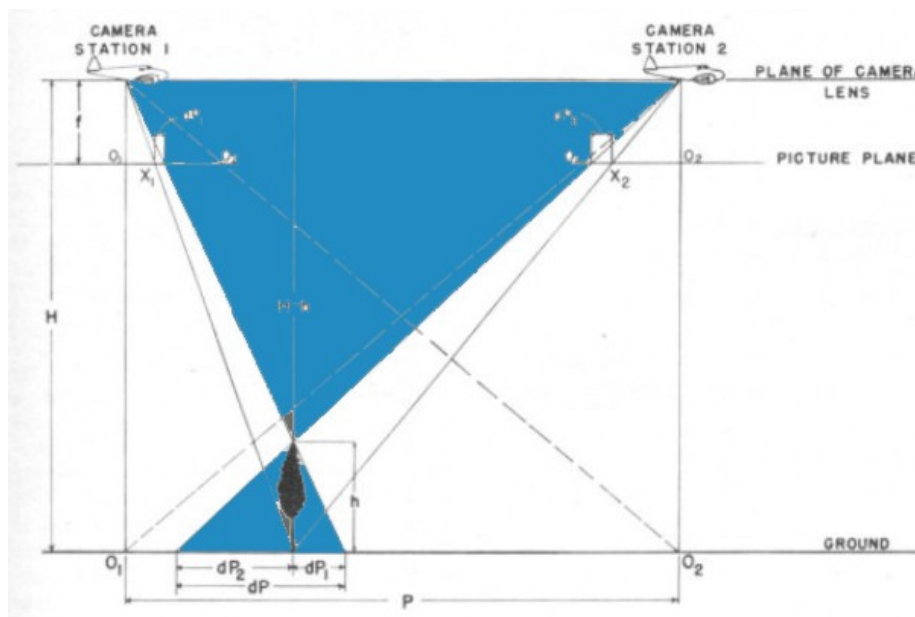


Figura 19. Semelhança de triângulo

Dessa forma, temos a seguinte equação algébrica:

$$\frac{h}{dP} = \frac{H - h}{P} \quad (3)$$

Portanto, a partir da equação (III) encontramos a altura do objeto “h”, conhecendo apenas a altura do observador em relação ao plano do objeto “H”, a paralaxe absoluta “P” e a paralaxe relativa “dP”. Resultando na equação:

$$h = H \cdot \frac{dP}{P + dP} \quad (4)$$

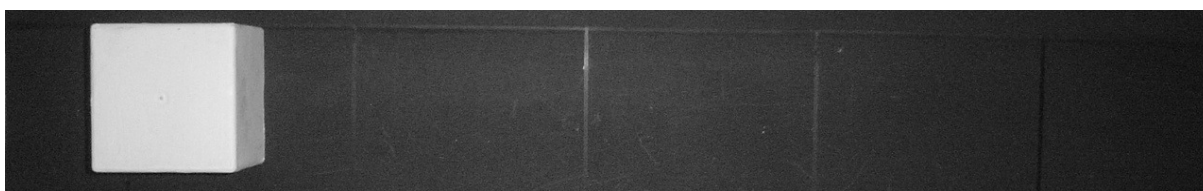
Nesse exemplo, o observador se deslocou com o objetivo de adquirir um par de imagens estéreo da cena. No contexto desse trabalho, o observador estará numa posição fixa acima da esteira, e o objeto se moverá através dela alcançando o mesmo resultado para obtenção do par de imagens estéreo. Discutiremos, no próximo tópico, o procedimento realizado para aquisição e tratamento necessário das imagens neste trabalho.

2. Procedimentos Realizados

O presente trabalho de monografia utilizou o software livre Scilab [11] para facilitar os cálculos e o processamento das imagens. Dessa forma os algoritmos propostos foram criados para serem executados dentro dessa ferramenta em conjunto com a biblioteca **Sip-0.4.1** [2].

O procedimento necessário para medição de altura de objetos neste trabalho se inicia com a aquisição do par de imagens estéreo, utilizando-se do mecanismo de esteira mencionado no início desse capítulo. Esse par de imagens será adquirido por meio de fotografias sucessivas do objeto em movimento na esteira. Como mencionado anteriormente, é essencial se conhecer a distância percorrida pelo objeto no intervalo de cada par de fotos, essa distância é chamada de paralaxe absoluta.

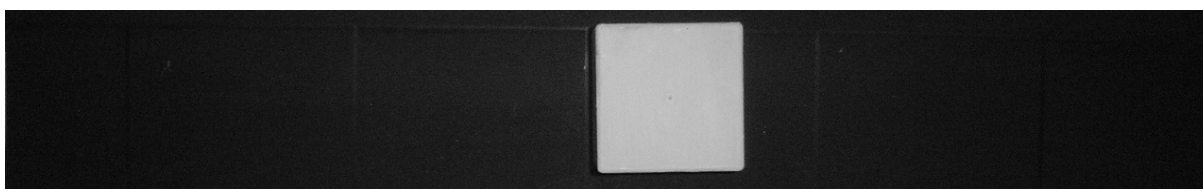
Dessa forma, convencionou-se fotografar o objeto a cada 15 cm percorridos ao longo da esteira, com isso nossa paralaxe absoluta em cada par estéreo será de 30, 45 ou 60 cm, dependendo da escolha das imagens do par. A Figura 20 ilustra o resultado da extração dessas imagens.



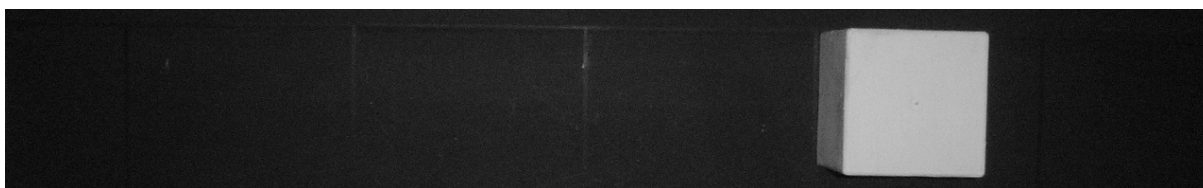
a)



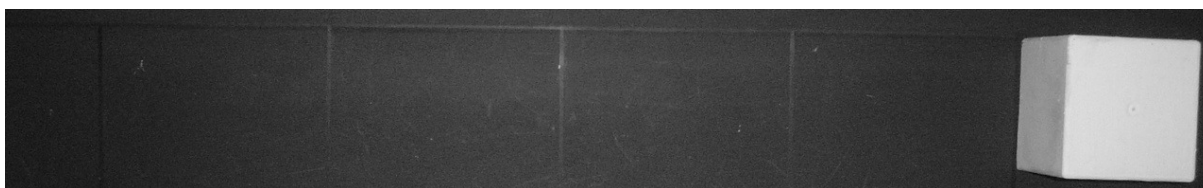
b)



c)



d)



e)

Figura 20. Imagens extraídas da esteira: a) posição inicial; b) deslocamento de 15 cm; c) posição ortogonal à câmera; d) deslocamento de 45 cm; e) deslocamento de 60 cm

É importante observar nessa figura que as imagens à esquerda da posição central ('a' e 'b') só formam par estéreo com as imagens à direita do centro da esteira ('d' e 'e'). Assim, uma tentativa de encontrar a altura com as paralaxes das imagens 'a' e 'b', por exemplo, resultaria em um valor incorreto.

O processo de estimativa de altura e volume do objeto foi dividido em duas fases com diferentes funcionalidades. A primeira fase busca fazer um pós-processamento nas imagens a fim de extrair características importantes, ela foi organizada em um único arquivo do Scilab. A segunda fase do processo realiza a análise das imagens e o cálculo da altura e volume do objeto. Vamos ver agora os processos realizados na primeira etapa do trabalho, em seguida será apresentada a segunda fase do processo de medição de altura proposto.

2.1. Pós-processamento nas imagens.

Após a aquisição das imagens é necessário realizar um pós-processamento para extrair informações da cena. Em cada imagem adquirida foi realizado o seguinte processo de tratamento representado no diagrama abaixo:

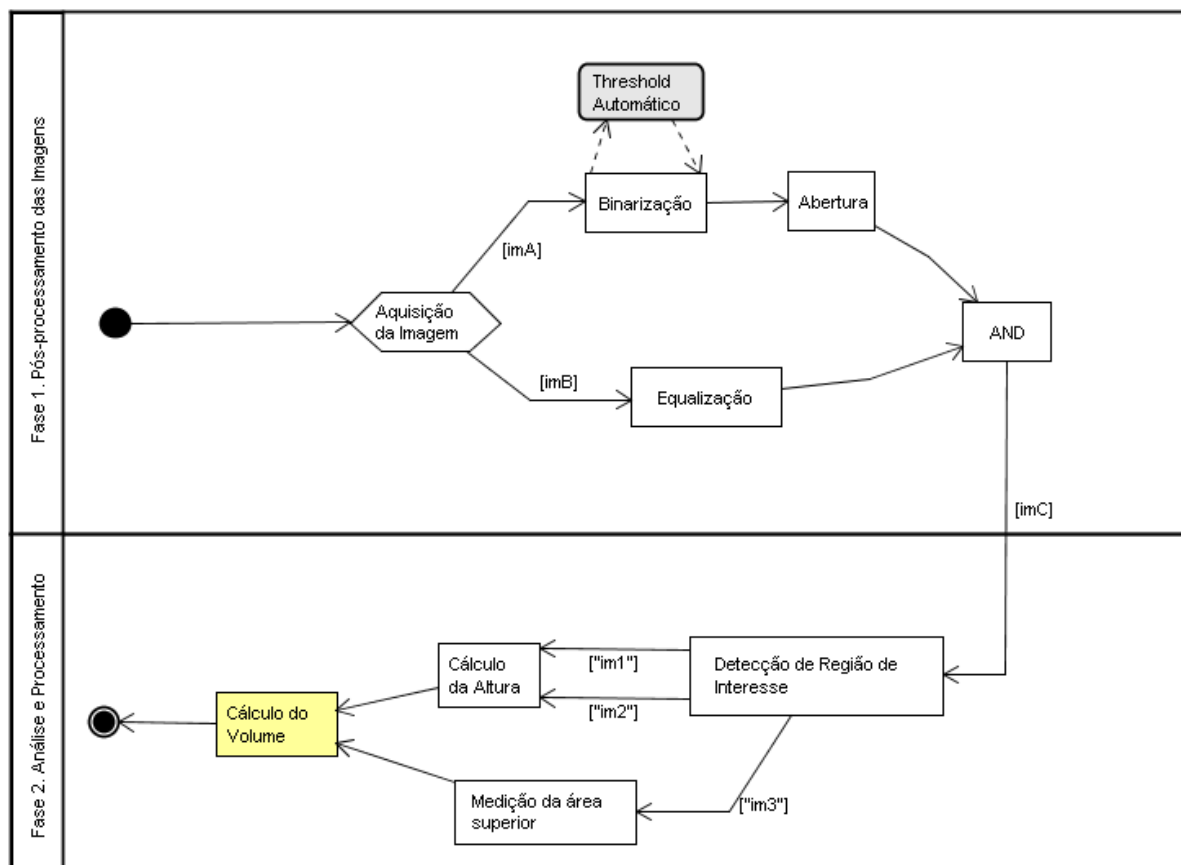


Figura 21. Diagrama de Processos

O primeiro passo do processo, após a aquisição da imagem, é a criação de duas imagens com características próprias, ambas extraídas da mesma imagem de entrada.

A imagem “imA” do diagrama passou por um processo de binarização a fim de excluir o *background* da imagem, que é o corpo da esteira. Esse processo pode se utilizar de algum algoritmo de *threshold* automático, a fim de identificar o limiar ideal para a imagem em questão, conforme ilustrado no diagrama acima. Entretanto, neste trabalho o limiar escolhido foi através de uma análise manual do histograma da imagem, como observado na Figura 22.

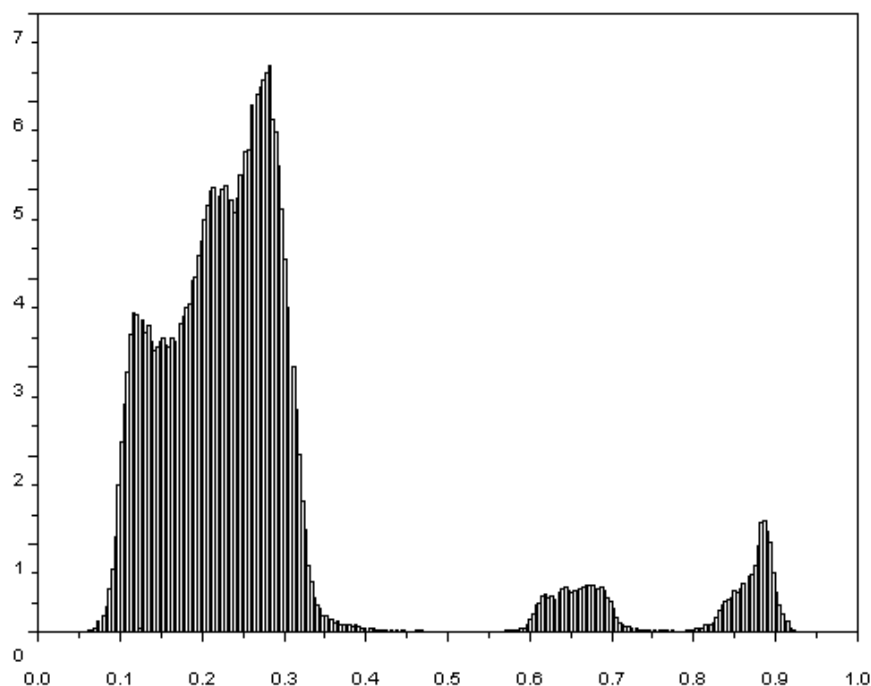


Figura 22. Histograma da imagem

Observam-se nesse histograma três regiões de concentração de luminosidade. A parte da esquerda são os *pixels* mais escuros presentes na imagem, enquanto a parte direita representa os *pixels* de tonalidade que se aproxima do branco. As três zonas de concentrações de tonalidades representam, respectivamente, o corpo da esteira – que é da cor preta, a lateral do objeto – que é a paralaxe relativa vista de cima, e a parte superior do objeto – que possui

tonalidade mais clara. Dessa forma, o valor de limiar escolhido foi 0.5, eliminando com isso o corpo da esteira.

Logo após o processo de binarização da imagem foi feito um processo de abertura na imagem “binarizada”, fazendo com que os pontos brancos de ruído fossem eliminados. Paralelamente, a imagem “imB” passou por um processo de equalização de histograma, que foi necessária para aumentar o contraste da imagem a fim de tornar mais clara a diferença de luminosidade do topo do objeto com a lateral do mesmo.

Após esses procedimentos é realizado uma fusão das duas imagens em uma única imagem “imC”. A fusão dessas duas imagens é realizada por uma função do tipo AND, retornando o menor valor dos pixels correspondentes. Essa função é representada da seguinte forma:

Seja A uma matriz do tipo $A = [a_{i,j}]_{m \times n}$ e B uma matriz do tipo $B = [b_{i,j}]_{m \times n}$, então uma matriz $C = A \text{ AND } B$ pode ser representada por:

$$C_{i,j} = \min(a_{i,j}, b_{i,j}) \quad (5)$$

O resultado dessa fusão é uma imagem contendo o menor valor dos *pixels* correspondentes das imagens A e B. Esse resultado, que pode ser observado na Figura 23.-e, é útil para o algoritmo em questão por tornar nítida a diferença entre o *background* da esteira, a face superior do objeto e a paralaxe lateral do objeto, tornando mais viável uma análise das dimensões do objeto.

Após esses procedimentos, é realizado um processo de “Detecção de Região de Interesse”, que realiza uma varredura na imagem a procura de pontos de transição de contraste, tanto no sentido horizontal, quanto no sentido vertical. Ele retorna um vetor com as posições (em *pixel*) dessas transições. Através da identificação das transições de contraste na imagem obtemos as paralaxes relativas, que são essenciais para o processo de medição de altura.

A Figura 23 ilustra as imagens resultantes de cada passo realizado.

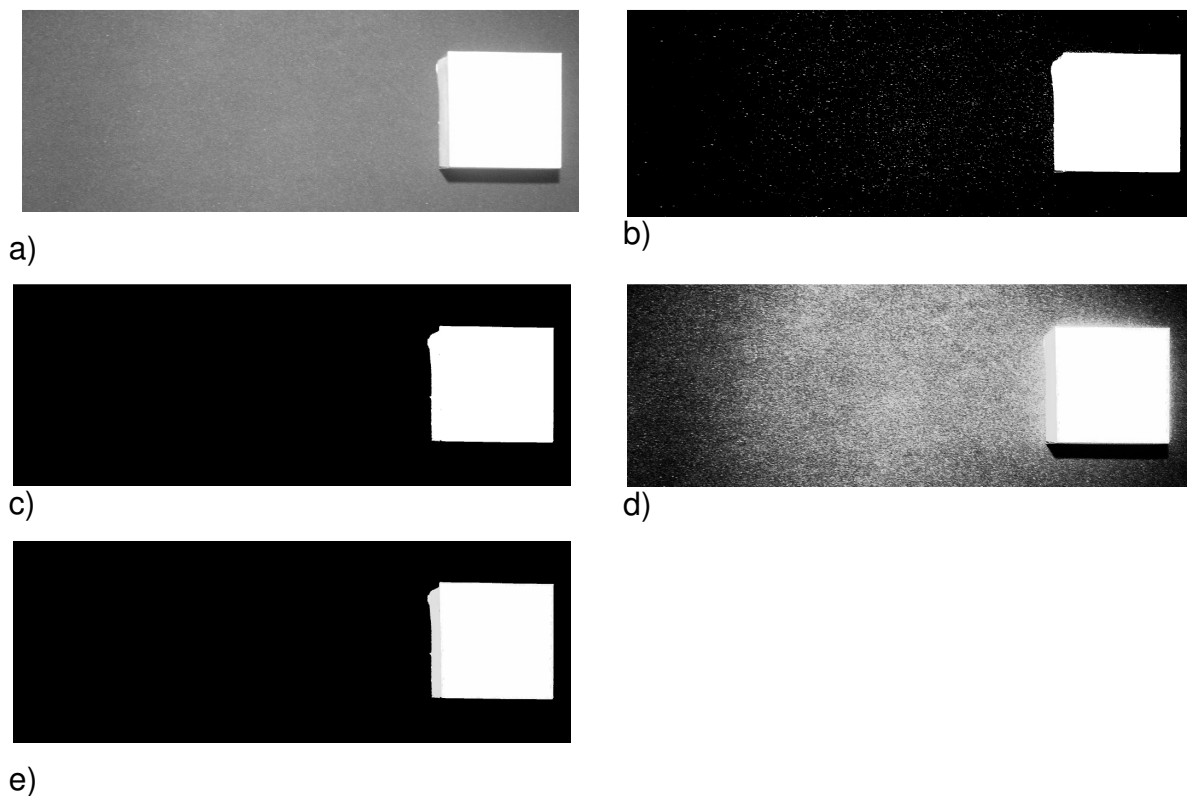


Figura 23. Pós processamento: a) Imagem original adquirida no processo de “Aquisição de Imagens”; b) Imagem “imA” após processo de binarização; c) Imagem “imA” após processo de Abertura; d) Imagem “imB” após equalização de histograma; e) Imagem resultante do processo AND

Neste momento é importante fazer algumas observações a respeito das imagens ilustradas acima. Nota-se na imagem “b” o ruído que é resultado da variação de iluminação do corpo da esteira. Esse ruído foi eliminado pelo processo de “Abertura”, ilustrado na Figura 21, que resultou numa separação mais nítida do corpo da esteira e o corpo do objeto, observada na imagem “c” da figura acima. Observamos, na imagem “d”, o aumento do contraste da parte superior do objeto com a parte lateral do objeto, que é a paralaxe relativa. Esse resultado favorece o algoritmo de detecção de região de interesse que será apresentado a seguir. Finalmente, na imagem “e”, houve uma junção das imagens “c” com a “d”, resultando numa imagem com regiões de interesse bem definidas.

Veremos no próximo tópico como funciona o algoritmo para calcular a altura e o volume do objeto a partir do par de imagens recebido dessa etapa.

2.2. Análise e Varredura nas imagens

Finalizada a etapa de tratamento de imagens, começa o processo do algoritmo para calcular as disparidades de paralaxe e as dimensões do objeto. O cálculo da paralaxe relativa do objeto é conseguido através de uma varredura na imagem em busca de regiões de transição de contraste, isto é, o algoritmo varre a imagem marcando as posições (em *pixel*) no qual houve uma diferença de iluminação no objeto.

Dessa forma, o processo “Detecção de Região de Interesse”, representado no diagrama da Figura 21, realiza essa funcionalidade através do seguinte algoritmo no Scilab:

```
1. //Função que analisa uma imagem na horizontal para buscar diferenças de
2. luminosidade na textura. Retorna um vetor com as posições de mudança de
3. luminosidade.
4. function out = analisarHorizontal(im)
5. medV = max(size(im(:,1)))/2;
6. maxH = max(size(im(1,:)));
7. vetorH = im(medV,:);
8. dist = [];
9. //indica quando houve uma alteração na luminosidade.
10. subida = 0;
11. //variável para controlar o salto quando encontra transição de luminosidade.
12. index=0;
13. //variável para controlar a escrita do vetor de distâncias de borda.
14. index_dist = 1;
15. for i=1:(maxH-1)
16. now = vetorH(i);
17. after = vetorH(i+1);
18. dif = module(after-now);
19. if (subida == 1)
20. index = index +1;
21. if(index>10)
22. index=0;
23. subida =0;
24. end
25. end
26. if (dif>difH & subida == 0)
27. subida = 1;
28. dist(index_dist) = i;
29. index_dist = index_dist+1;
30. end
31. end
32. out = dist;
33. endfunction
```

Essa função percorre o centro vertical da imagem, denominado de medV na linha 2, em busca de alterações no valor do *pixel* da imagem. Observe que foi criado

um vetor, chamado vetorH (linha 7, significando vetor horizontal) que recebe uma linha da matriz da imagem (medV,:). Essa linha é percorrida pelo for do algoritmo a procura de alteração no valor do *pixel*, comparando o valor atual, chamado de *now* com o valor do *pixel* subsequente, *after*. Se essa diferença dos *pixels* for maior que um valor definido, então a *flag* “subida” é ativada e a posição da transição é marcada no vetor de saída dist, linhas 26, 27 e 28. Na linha 18 temos uma chamada para a função *module*, que serve simplesmente para retornar o módulo de um número real e dessa forma não precisa ser explicitada.

Esse processo analisa a imagem no sentido horizontal. Entretanto, existe também uma função para analisar a imagem no sentido vertical, que tem como objetivo encontrar a dimensão vertical do objeto, e pela semelhança com a função “analisaHorizontal” não precisa ser explicitada.

Essas funções de análise horizontal e vertical da imagem de entrada são chamadas pela parte principal do algoritmo ilustrado abaixo:

```
1. //Main do algoritmo.
2. difV=0.03;
3. difH=0.034;
4. image1 = 'obj3-1';
5. format_out = '.png';
6. im = gray_imread(outputimage+ image1+format_out);
7. distH1 = analisarHorizontal(im);
8. distV1 = analisarVertical(im,distH1);
9.
10. difV=0.03;
11. difH=0.04;
12. image2 = 'obj3-5';
13. im2 = gray_imread(outputimage+image2+format_out);
14. distH2 = analisarHorizontal(im2);
15. distV2 = analisarVertical(im,distH2);
16.
17. dP1 = parLeft(distH1);
18. dP2 = parRight(distH2);
19.
20. dP = dP1+dP2;
21. P = 235;
22. P = 4*P;
23. h = 90 * ( dP/(P+dP) );
```

Esse algoritmo inicia inicializando os valores de limiar para diferença de contraste. Esses valores, difH e difV são utilizados nas funções “analisaHorizontal” e “analisaVertical”, respectivamente, e representam a sensibilidade relativa à variação

de luminosidade do objeto. Após a inicialização desses valores, as imagens são carregadas e analisadas pelas funções citadas anteriormente, linhas 4 a 15, retornando um vetor com as posições de transição de luminosidade do objeto, que representa as dimensões da parte superior e da paralaxe relativa. Logo após, são encontradas as paralaxes relativas do par de imagens estereoscópicas, linhas 17 e 18. Para isso foram utilizadas as funções `parLeft` e `parRight`, respectivamente. Essas funções podem ser observadas no trecho de código abaixo.

```
1. function out = parLeft(vetor)
2.   vec = [];
3.   vec(1) = module(vetor(2)-vetor(1));
4.   vec(2) = module(vetor(3)-vetor(2));
5.   out = vec(2);
6. endfunction

7. function out = parRight(vetor)
8.   vec = [];
9.   vec(1) = module(vetor(2)-vetor(1));
10.  vec(2) = module(vetor(3)-vetor(2));
11.  out = vec(1);
12. endfunction
```

Para encontrar o valor em *pixels* da paralaxe absoluta (que é de 15 cm conforme convencionado no início do capítulo) foi necessário realizar uma calibragem do sistema, encontrando o valor de 235 *pixels* para cada 15 cm. Portanto, P é igual a 235 (linha 21). Na linha 22, P recebe o valor $4P$, isso representa que a distância percorrida entre as imagens em questão foi de 60 cm.

Finalmente, a altura “ h ” é calculada na linha 23 de acordo com a equação (4). Note que a constante 90 equivale a altura do observador em relação ao plano da esteira, que naquele exemplo era de 90 cm.

O cálculo do volume do objeto é realizado com a aquisição de uma terceira imagem, ortogonal ao eixo da câmera. Essa imagem, por ser ortogonal à câmera, não apresenta paralaxe relativa, ou seja, a imagem registra apenas as dimensões superiores do objeto. Dessa forma a área do objeto é encontrada facilmente apenas com as duas funções descritas anteriormente, “`analisaHorizontal`” e “`analisaVertical`”. E o volume é encontrado pela multiplicação da área pela altura.

No próximo capítulo vamos apresentar os resultados de experimentos feitos com vários objetos, de diferentes dimensões e de diferentes texturas. Vamos

apresentar as dificuldades e limitações do processo proposto neste trabalho e o grau de erro e acerto do algoritmo proposto.

2.3. Calibragem do equipamento

O processo de calibragem do sistema é essencial para o funcionamento desse trabalho, pois é nesse processo que é encontrada a razão *pixel* por centímetro das imagens adquiridas.

Para calibrar o sistema, basta adquirir uma imagem de tamanho conhecido (15 cm de largura, por exemplo), ortogonal à posição da câmera, e aplicar os algoritmos descritos anteriormente, pós-processamento e análise da imagem através da função **analisaHorizontal**. Desse modo, teremos como resultado a quantidade de *pixels* necessários para representar a largura daquele objeto, que é previamente conhecida. A Figura 24 ilustra a calibragem do sistema a 90 centímetros de altura.

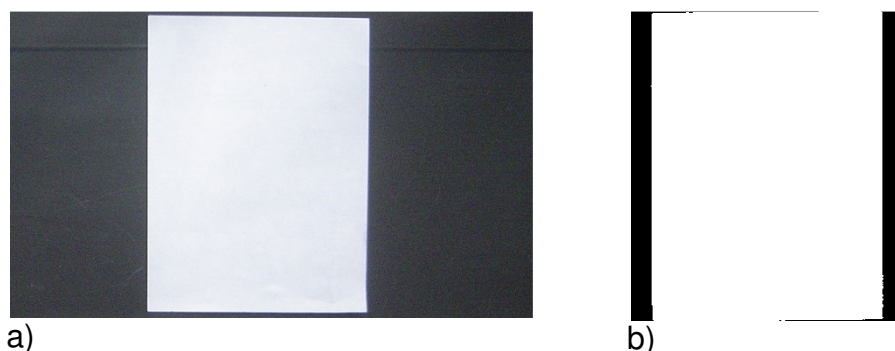


Figura 24. Calibragem do sistema: a) imagem original b) recorte da imagem original com pós-processamento

Nesse exemplo foi utilizado um pedaço de papel A4 recortado com 15 centímetros de largura, que coincide com o valor de paralaxe absoluta convencionado anteriormente. O resultado para esse caso foi de 235 *pixels* para a largura do objeto. Entretanto, devemos observar que esse valor pode sofrer modificações por consequência de fatores como: resolução da imagem e altura da câmera em relação à esteira. Veremos, neste momento, como esses fatores influenciam na alteração da razão *pixel* por centímetro.

- Resolução da imagem

Quando popularmente nos referimos ao termo resolução de imagem, tratando-se do escopo de imagens digitais, estamos falando a respeito da

quantidade de *pixels* existente numa imagem. Esse é o conceito de resolução que os fabricantes de máquinas fotográficas digitais utilizam para descrever a qualidade de captura do equipamento. Mas, quando a contagem de *pixels* é mencionada como resolução, a convenção é descrever a resolução como o conjunto de dois números positivos inteiros, em que o primeiro número é a quantidade de colunas (largura) de *pixels* e o segundo é o número de linhas (altura); algo como 640 X 480, por exemplo. Por outro lado, a resolução pode ser representada de maneira simplificada pelo produto destes dois números, como acontece nas câmeras digitais, nesse caso uma imagem de 1280 x 960 contém 1.3×10^6 *pixels*, que quer dizer 1.3 Mp (mega *pixels*).

Vale salientar que a resolução da imagem, em um contexto diferente do escopo desse trabalho, deve considerar a quantidade de *pixels* por unidade de medida. Esse conceito é mais utilizado para impressão de imagens digitais, onde o tamanho da imagem impressa reflete numa concentração de *pixels* por polegadas, por exemplo. Assim, nesse caso, a resolução é obtida na equação:

$$Resolução = \frac{p}{i} \quad (6)$$

Onde:

p = número de *pixels* da largura da imagem;
i = largura de impressão da imagem em polegadas.

Isto quer dizer que uma imagem na sua forma digital não possui, tecnicamente, uma resolução. Pode ser atribuído um valor de resolução que está relacionado com o tamanho que se deseja imprimir. Se desejar que uma imagem de 600 pixels de largura seja impressa em 3 polegadas ela terá 200 dpi; e se for impressa em 6 polegadas terá 100 dpi. No primeiro caso a imagem está apropriada para uma impressão em jornal, no segundo para um banner [8].

Dessa forma, para o presente trabalho, manter um padrão de resolução é essencial para o correto funcionamento do processo de estimativa de altura, pois caso contrário, a relação *pixel* por centímetro não seria constante. Sendo assim, convencionou-se uma resolução de 1.3Mp para todas as imagens adquiridas.

- Altura da câmera

A altura da câmera em relação ao plano da esteira influencia na escala pixel/cm da imagem. Por isso, da mesma forma que a resolução da imagem reflete nessa escala, a distância da câmera em relação ao objeto também altera essa razão. Desse modo, para uma distância de 90 centímetros da esteira, foi encontrada a razão de 235 *pixels* para cada 15 centímetros de comprimento; enquanto a uma distância de 76 centímetros esse valor subiu de 235 para 282.

Nota-se, com isso, que quanto mais próximo da esteira, mais *pixels* são utilizados para representar uma unidade de comprimento; e quanto mais distante, menor é essa quantidade. Dessa forma, o erro da estimativa tende a ser maior à medida em que a câmera se afasta do objeto, e menor ao se aproximar do objeto.

Por isso, cada vez que a distância da câmera em relação à esteira é alterada, o sistema precisa ser novamente calibrado para se adaptar à razão *pixel* por centímetro da imagem. Sendo assim, nos experimentos realizados foram utilizadas alturas diferentes para estudar o comportamento do erro em relação à distância de captura da imagem. Os resultados desses experimentos serão mencionados no próximo capítulo.

Capítulo 4

Resultados Obtidos

Os resultados obtidos neste trabalho variaram de acordo com fatores como: iluminação da cena, textura do objeto e altura da câmera em relação à esteira. A dificuldade de se controlar esses parâmetros refletiu na exatidão da estimativa da altura e volume do objeto. Entretanto, os resultados foram satisfatórios, considerando a inexistência de condições precisamente controladas para a aquisição das imagens.

Para uma análise mais eficaz do comportamento do sistema, as fotografias dos objetos foram extraídas em diferentes alturas. Dessa forma, temos fotografias capturadas a 70 centímetros da esteira, 90 cm e 110 cm. Sendo que para cada alteração de altura foi necessário re-calibrar o sistema com a nova escala de *pixels* por centímetros.

Os objetos escolhidos para estimativa de volume possuem diferentes tamanhos e alturas. A figura abaixo apresenta esses objetos.

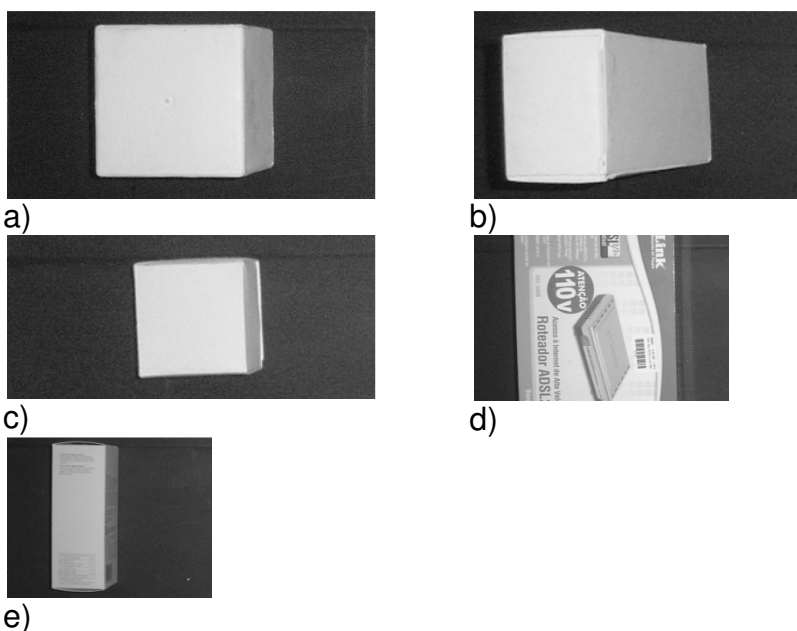


Figura 25. Objetos utilizados no experimento: a) caixa-1; b) caixa-2; c) caixa-3; d) caixa-4; e) perfume

As dimensões desses objetos podem ser encontradas na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões dos objetos utilizados

Dimensões dos objetos				
Nome	Largura(cm)	Comprimento(cm)	Altura(cm)	Volume(cm ³)
Caixa-1	8,658	8,658	8,000	599,688
Caixa-2	5,950	4,190	15,700	391,409
Caixa-3	5,098	5,246	3,030	81,035
Caixa-4	24,500	16,600	7,000	2846,900
Perfume	16,000	6,000	6,000	576,000

A tabela abaixo mostra os resultados encontrados referentes à altura dos objetos para uma distância de 70 centímetros, da câmera até o plano da esteira. Nessa altitude a limitação do ângulo da captura da cena se limita a uma paralaxe absoluta de 30 centímetros, por conta da proximidade da lente em relação à esteira. Observa-se na tabela que 15 centímetros são representados por 320 *pixels*.

Tabela 2. Estimativa de altura a 70 centímetros de distância

Altura calculada a 70 centímetros da esteira						
Imagem	Paralaxe absoluta	Valor Real (cm)	Altura Medida (cm)	Erro Absoluto (cm)	Erro Relativo	1/15 pixe/ cm
caixa1	30	8,0000	6,9153	1,0847	13,5593%	320
caixa2	30	15,7000	14,4719	1,2281	7,8222%	320

Para o caso da caixa-1 o processo “Detecção de Região de Interesse” retornou as seguintes imagens como identificação de paralaxe:

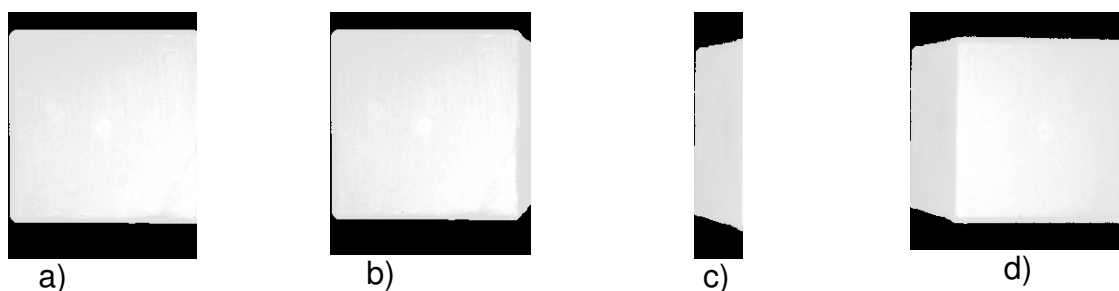


Figura 26. Imagens resultantes do algoritmo de detecção de região de interesse

Nessa imagem observamos o recorte realizado pelo algoritmo para identificar a quantidade de *pixels* da paralaxe relativa. A altura estimada apresentou um erro absoluto de 1,0847 cm, e erro relativo de 13,5593%.

A próxima tabela mostra os resultados da estimativa da altura para uma distância de 90 cm do plano da esteira. Nesse caso, observe que a razão de *pixel* por centímetro mudou e a paralaxe absoluta máxima é de 60 centímetros, que equivale ao tamanho da esteira.

Tabela 3. Estimativa de altura a 90 centímetros de distância

Altura a 90 centímetros da esteira						
Imagem	Paralaxe absoluta	Valor Real (cm)	Altura Medida (cm)	Erro Absoluto (cm)	Erro Relativo	1/15 pixel/cm
caixa1	30	8,0000	6,9153	1,0847	13,5593%	320
caixa2	30	15,7000	14,4719	1,2281	7,8222%	320
caixa1	45	8,0000	7,2602	0,7398	9,2478%	249,00
caixa1	60	8,0000	7,3127	0,6873	8,5916%	249,00
caixa2	45	15,7000	13,8759	1,8241	11,6188%	249,00
caixa2	60	15,7000	14,1005	1,5995	10,1878%	249,00
caixa3	45	3,0000	2,7779	0,2221	7,4026%	249,00
caixa3	60	3,0000	2,7193	0,2807	9,3567%	249,00
caixa4	45	7,0000	4,8388	2,1612	30,8738%	249,00

Veremos agora o resultado da estimativa das dimensões superiores dos objetos, além da altura e volume. Vale ressaltar aqui que a altura do objeto pode influenciar no cálculo realizado pelo algoritmo, pois para objetos altos, a parte superior estará mais próxima da lente. Portanto, a escala *pixel* por centímetro medida a partir do plano da esteira pode ser bastante diferente dessa escala à altura da face superior do objeto. A Tabela 4 apresenta os resultados calculados para a altura, largura, comprimento e volume do objeto em cm³.

Tabela 4. Dimensões estimadas dos objetos

Valores Calculados						
Nome do Objeto	Altura da Câmera	Paralaxe Absoluta	Altura	Largura	Comprimento	Volume
caixa1	70	30	6,9153	8,8529	8,8529	541,9690
caixa2	70	30	14,4719	6,5180	4,6055	434,4320
caixa1	90	45	7,2602	8,7102	8,7102	550,8148
caixa1	90	60	7,3127	8,7125	8,7125	555,0901
caixa2	90	45	13,8759	6,3952	4,5081	400,0447
caixa2	90	60	14,1005	6,3818	4,4986	404,8180
caixa3	90	45	2,7779	5,3814	5,1474	76,9501
caixa3	90	60	2,7193	5,3847	5,1506	75,4185
caixa4	90	45	4,8388	1,2598	17,0067	103,6685

Comparando as dimensões reais dos objetos com os valores encontrados, obtemos as seguintes tabelas de erros (em centímetros):

Tabela 5. Erro absoluto

Objeto	Atura da Câmera	Paralaxe	Erro Absoluto			
			Largura	Comprimento	Altura	Volume
caixa1	70 cm	30 cm	0,1949	0,1949	1,0847	57,7187
caixa2	70 cm	30 cm	0,5680	0,4155	1,2281	43,0231
caixa1	90 cm	45 cm	0,0522	0,0522	0,7398	48,8729
caixa1	90 cm	60 cm	0,0545	0,0545	0,6873	44,5976
caixa2	90 cm	45 cm	0,4452	0,3181	1,8241	8,6359
caixa2	90 cm	60 cm	0,4318	0,3086	1,5995	13,4091
caixa4	90 cm	45 cm	23,2402	0,4067	2,1612	2743,2315

Tabela 6. Erro relativo

Objeto	Atura da Câmera	Paralaxe	Erro Relativo			
			Largura	Comprimento	Altura	Volume
caixa1	70 cm	30 cm	2,2505%	2,2505%	13,5593%	9,6248%
caixa2	70 cm	30 cm	9,5464%	9,9175%	7,8222%	10,9919%
caixa1	90 cm	45 cm	0,6032%	0,6032%	9,2478%	8,1497%
caixa1	90 cm	60 cm	0,6297%	0,6297%	8,5916%	7,4368%
caixa2	90 cm	45 cm	7,4826%	7,5919%	11,6188%	2,2064%
caixa2	90 cm	60 cm	7,2571%	7,3662%	10,1878%	3,4259%
caixa4	90 cm	45 cm	94,8581%	2,4500%	30,8738%	96,3585%

Observe a limitação do algoritmo quanto ao objeto caixa4. Nesse caso o erro foi sobremodo maior que nos outros objetos, com textura uniforme. Esse erro se deve ao fato do algoritmo procurar por regiões de transição de luminosidade no objeto. Como mostra a Figura 25-d, a caixa4 possui desenhos de diferentes tonalidades, fazendo com que o processo de “Detecção de Região de Interesse” não recupere corretamente as dimensões desse objeto. Portanto, para esse caso há um erro no cálculo do volume de 96,35%.

Dessa forma, para os casos descritos como ideais, ou seja, objetos com textura uniforme (de preferência na cor branca), o sistema proposto neste trabalho obteve um resultado aceitável, com erro variando de 2 a 10%. Entretanto, percebe-

se uma limitação do trabalho quanto à textura do objeto, o que era de se esperar visto a metodologia aplicada.

Capítulo 5

Conclusão e Trabalhos Futuros

O presente trabalho de monografia mostrou que é possível estimar a altura e o volume de objetos através de técnicas de estereoscopia, utilizando-se de um par de imagens estéreo e processamento de imagens.

Os resultados adquiridos são considerados aceitáveis para objetos que apresentam textura uniforme, embora exista um pequeno erro relativo. Entretanto, há uma limitação da técnica no caso de objetos com variação de cores, o que já era previsto no início do projeto.

É importante ressaltar a dificuldade que foi encontrada na criação do sistema de esteira, dispendo de artefatos artesanais. Dessa forma, os resultados poderiam ser mais satisfatórios no caso da elaboração de um sistema industrial, mais preciso e melhor calibrado.

Como trabalho futuro, sugere-se a implementação de um algoritmo de *threshold* automático, a fim de identificar as três regiões de textura presente na cena, que são a parte superior do objeto, a paralaxe relativa (lateral do objeto) e o fundo da esteira. Nesse projeto a escolha do valor de limiar foi realizada manualmente, a partir da observação do histograma da imagem. Também é sugerido a construção de um mecanismo de ajuste automático da relação pixel/cm para objetos com altura considerável em relação à lente da câmera.

Bibliografia

- [1] ALBUQUERQUE, A. Um modelo para visualização estereoscópica utilizando webcams, 2006.
- [2] CHENG, Z. FABBRI, R. COSTA, L., BRUNO, O. SIP: Scilab Image Processing toolbox. Disponível em: <http://siptoolbox.sourceforge.net/>. Acessado em: 22 de Maio de 2009.
- [3] CHING, Francis D. K.; *Dicionário visual de arquitetura*; São Paulo: Editora Martins Fontes, 2000;
- [4] FONTOURA, F.N.F. (2001) “Estereoscopia. Curso de Especialização em Informática com Ênfase em Internet e aplicações de ensino”. Disponível em: <http://atlas.ucpel.tche.br/~magic/compgraf/estereoscopia.html>. Acessado em 20 de Abril de 2009.
- [5] JOHANSON, M. (2001) Stereoscopic Video Transmission over the Internet; presented at WIAPP'01 in San Jose, July.
- [6] LIPTON, L. (1982). Foundations of the Stereoscopic Cinema – A Study in Depth. *Van Nostrand Reinhold Company* .
- [7] MONTENEGRO, Gildo A.; *A perspectiva dos profissionais: Sombras, insolação, axonometria*; São Paulo: Edgard Blucher, 2001;
- [8] Photosynt.net. *Pixels, resoluções e coisas afins*. Disponível em: http://www.photosynt.net/ano2/03pe/questao/12_pixels/index.htm. Acessado em 16 de Maio de 2009.

- [9] RAPOSO, A. Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração, 2004.
- [10] RSCC Volume 1, Module 7 – Stereoscopy and Height Measurement. <http://www.r-s-c-c.org/rscc/v1m7.html>. Visitado em 22 de Abril de 2009.
- [11] Scilab Group. Disponível em <http://www.scilab.org/>. Acessado em 22 de Maio de 2009.
- [12] SISCOOTTO, R. SZENBERG, F. TORI, R. RAPOSO, A. CELES, W. GATTASS, M. Estereoscopia. In: KIRNER, C. TORI, R. Realidade Virtual: Conceitos e tendências. Editora Mania de Livro, São Paulo, 2004. Cap. 11, p.179-201.
- [13] STEREOGRAPHICS. StereoGraphics Developers Handbook. Disponível em: <http://www.stereographics.com/support/downloads_support/handbook.pdf>. Acessado em 22 de maio de 2009.
- [14] TOMMASELLI, A. M. G. Fotogrametria Básica - Estereoscopia e Paralaxe. Presidente Prudente, 2006.
- [15] TORI, R., KIRNER, C., SISCOOTTO, R. Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. 1 ed. Porto Alegre: SBC, 2006.
- [16] Vision 3D. Optometrists Network. <http://www.vision3d.com/>. Acessado em 26 de Abril de 2009.
- [17] ZALMAN. Zalman Coll Innovations. Disponível em: <<http://www.zalman.co.kr/eng/product/view.asp?idx=331&code=032>>.