

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA E DE COMPUTAÇÃO

ERROS DE ALGORITMOS DE CALIBRAÇÃO E DE DIMENSIONAMENTO DE  
CÂMERAS EM FUNÇÃO DA IMPRECISÃO NAS COORDENADAS DE PONTOS DE  
REFERÊNCIA

Autor:

---

Leonardo Cidade Ribeiro

Orientador:

---

Prof. José Gabriel Rodriguez Carneiro Gomes, Ph.D.

Examinadora:

---

Profa. Mariane Rembold Petraglia, Ph.D.

Examinador:

---

Prof. Julio Cesar Boscher Torres, D.Sc.

DEL  
JUNHO DE 2008

# Dedicatória

*Ao meu avô Gelson por proporcionar tudo em minha vida até hoje,*

*à minha mãe Rosane por sempre me apoiar nas minhas idéias por mais loucas que possam parecer*

*e à minha avó Iracema por ser minha fonte de inspiração em tudo o que realizo...*

# Agradecimentos

Ao meu professor e orientador José Gabriel R. C. Gomes pela enorme paciência e dedicação na orientação deste meu projeto de fim de curso e pelas mais organizadas aulas do curso de Engenharia Eletrônica e de Computação.

À professora Mariane Rembold Petraglia pelo conhecimento transmitido ao longo do curso e por aceitar fazer parte da minha banca.

Ao professor Julio Cesar Boscher Torres por aceitar fazer parte da minha banca.

Ao professor Antonio Carlos Moreirão de Queiroz pela pessoa brilhante que é e pela oportunidade que tive ao ser seu aluno.

E aos demais professores do Departamento de Eletrônica e de Computação da UFRJ que também contribuíram para minha formação.

À Nathália Cristina Oliveira Braga por me dar todo o apoio que eu tenho precisado nesse final e por ser tão especial na minha vida.

À segunda pessoa que também merece ser chamada de brilhante nesse texto, Leandro Basílio dos Santos. Dispensa qualquer outro tipo de comentário.

À minha família pelo apoio e por acreditar que eu seria capaz. Lemos, Rianne e Rennan, obrigado por permanecerem ao meu lado mesmo eu sendo do jeito que eu sou e talvez não muito carinhoso.

Aos amigos que fiz, principalmente (da forma que eu os chamo e em ordem alfabética): Amaro, Aninha, Danilo, Flavia, Gustavo, Heitor, Madjer, Marcelo, PC, Rafael, Ramón, Suzana e Trally. Vocês foram os que mais contribuíram para que tudo isso pudesse acontecer.

Aos demais amigos que fiz ao longo desse curso. Espero que a eventual distância não prejudique essa amizade.

A todas as demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que isso pudesse ser realizado.

# Resumo

Este projeto apresenta uma análise da qualidade de diferentes conjuntos de imagens estéreo de uma referência conhecida, obtidas a partir de câmeras descalibradas. Seus parâmetros estudados são: as variáveis de calibração das câmeras e um fator de dimensionamento.

Existem rotinas de calibração e de dimensionamento pelas quais, usando a estereofotogrametria, conseguimos obter o cálculo preciso da dimensão e da posição de objetos a partir de pares estéreo de imagens adquiridas no mesmo instante. Utilizamos os algoritmos para a calibração e para o dimensionamento que foram previamente desenvolvidos no laboratório de Processamento Analógico e Digital de Sinais (PADS) da COPPE/UFRJ.

Apresentamos uma metodologia pela qual podemos realizar análises de diversas situações, que são: tipos diferentes de câmeras, quantidade de pontos de calibração, índice de pontos a serem escolhidos no *grid* (objeto de referência) para calibração e influência nas distâncias e erro no registro de pixels. Estudamos também o comportamento dos parâmetros do projeto: coordenadas, ângulos e índice de qualidade do dimensionamento.

Com essas análises, definimos regras de forma a afirmar se determinado conjunto de escolhas para calibração e dimensionamento gerará um resultado satisfatório antes mesmo de realizar a captura das imagens.

# Palavras-Chave

Processamento de Sinais

Estereofotogrametria

Calibração

Dimensionamento

Visão Computacional

# Sumário

<i>Dedicatória</i> .....	<i>ii</i>
<i>Agradecimentos</i> .....	<i>iii</i>
<i>Resumo</i> .....	<i>iv</i>
<i>Palavras-Chave</i> .....	<i>v</i>
<i>Sumário</i> .....	<i>vi</i>
<i>Lista de Figuras</i> .....	<i>viii</i>
<i>Lista de Tabelas</i> .....	<i>ix</i>
<i>Glossário, Abreviaturas, Siglas e Símbolos</i> .....	<i>xi</i>
<i>Capítulo 1: Introdução</i> .....	<i>13</i>
1.1    Objetivo .....	14
1.2    Organização .....	15
<i>Capítulo 2: Conceitos Teóricos</i> .....	<i>16</i>
2.1    Estereofotogrametria.....	16
2.2    Eixos de Posicionamentos .....	16
2.2.1    Eixo de Posicionamento da Câmera .....	17
2.2.2    Eixo de Posicionamento do Objeto.....	17
2.3 <i>Grid</i> .....	18
2.4    Arquivo de Calibração .....	18
2.5    Calibração .....	19
2.6    Parâmetros do Projeto.....	19
2.6.1    Parâmetros Extrínsecos (ou de Orientação Exterior).....	19
2.6.2    Parâmetros Intrínsecos (ou de Orientação Interior) .....	20
2.6.3    Parâmetro de Qualidade do Dimensionamento.....	20
2.7    Perturbações.....	21
2.8    Índice de Pontos do <i>Grid</i> .....	21
2.9    Distância .....	23
2.10   Dimensionamento .....	24
<i>Capítulo 3: Métodos</i> .....	<i>26</i>
3.1    Câmeras Utilizadas .....	26
3.2    Procedimento para Captura de Dados.....	27
3.3    Plano de Fotos.....	29
3.4    Método 1: Obtenção de Valores sem Perturbação para Coordenadas e Ângulos .....	30
3.5    Método 2: Obtenção de Valores com Perturbação para Coordenadas e Ângulos.....	31
3.6    Método 3: Obtenção dos Erros para Coordenadas e Ângulos .....	32
3.7    Método 4: Obtenção do <i>v</i> .....	33

3.8	Método 5: Obtenção do $v$ com Perturbações .....	34
<i>Capítulo 4: Resultados</i> .....		35
4.1	Tabelas Geradas.....	35
4.2	Regras Obtidas.....	37
4.3	Regra 1.....	38
4.4	Regra 2.....	40
4.5	Regra 3.....	42
4.6	Regra 4.....	43
4.7	Regra 5.....	44
4.8	Regra 6.....	46
4.9	Regra 7.....	47
4.10	Regra 8.....	48
4.11	Regra 9.....	49
4.12	Regra 10.....	50
Validação das Regras.....		51
4.12.1	Validação da Regra 1.....	51
4.12.2	Validação da Regra 2.....	52
4.12.3	Validação da Regra 3.....	52
4.12.4	Validação da Regra 4.....	53
4.12.5	Validação da Regra 5.....	53
4.12.6	Validação da Regra 6.....	54
4.12.7	Validação da Regra 7.....	54
4.12.8	Validação da Regra 8.....	55
4.12.9	Validação da Regra 9.....	55
4.12.10	Validação da Regra 10.....	56
<i>Capítulo 5: Conclusão</i> .....		57
<i>Apêndice A: Imagens Obtidas</i> .....		59
<i>Apêndice B: Arquivos de Calibração</i> .....		63
<i>Apêndice C: Códigos Desenvolvidos</i> .....		70
<i>Apêndice D: Resultados Completos</i> .....		74
<i>Referência Bibliográfica</i> .....		81

# Lista de Figuras

<i>Figura 1: Eixos de posicionamento da câmera e do objeto.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2: Exemplo de imagem do grid sobre a mesa .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3: Coordenadas x,y e z e os ângulos <math>\omega</math>, <math>\varphi</math> e <math>\kappa</math> .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4: Os três índices de pontos do grid para calibração com 12 pontos.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5: Grid numerado.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 6: Distâncias <math>D1</math> e <math>D2</math>.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 7: Imagens com as distâncias <math>D1</math> e <math>D2</math>.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 8: Distâncias entre 4 pontos A, B, C e D.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 9: Câmeras utilizadas no projeto.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10: Procedimento para tomada de fotos estéreo a partir de uma câmera.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 11: Imagens tomadas a partir do método da Tabela 1 .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 12: Colunas na Tabela de Resultados.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13: Gráfico ilustrativo da Regra 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 14: Gráfico ilustrativo da Regra 2.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15: Gráfico ilustrativo da Regra 5.....</i>	<i>45</i>



# Lista de Tabelas

<i>Tabela 1: Índices de pontos do grid.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 2: Procedimento para aquisição de imagens estéreo a partir de uma câmera.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 3: Imagens obtidas .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 4: Método 1 .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 5: Método 2 .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 6: Método 3 .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 7: Método 4 .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 8: Método 5 .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 9: Exemplo de visualização da Tabela de Resultados .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 10: Exemplo da Regra 1 .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 11: Exemplo da Regra 2 .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 12: Exemplo da Regra 3 .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 13: Exemplo da Regra 4 .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 14: Exemplo da Regra 5 .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 15: Exemplo da Regra 6 .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 16: Exemplo da Regra 7 .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 17: Exemplo da Regra 8 .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 18: Exemplo da Regra 9 .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 19: Exemplo da Regra 10 .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 20: Validação da Regra 1 .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 21: Validação da Regra 2 .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 22: Validação da Regra 3 .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 23: Validação da Regra 4 .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 24: Validação da Regra 5 .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 25: Validação da Regra 6 .....</i>	<i>54</i>

<i>Tabela 26: Validação da Regra 7</i> .....	54
<i>Tabela 27: Validação da Regra 8</i> .....	55
<i>Tabela 28: Validação da Regra 9</i> .....	55
<i>Tabela 29: Validação da Regra 10</i> .....	56
<i>Tabela 30: Imagens Obtidas (Canon)</i> .....	59
<i>Tabela 31: Imagens Obtidas (Kodak)</i> .....	60
<i>Tabela 32: Imagens Obtidas (Olympus)</i> .....	61
<i>Tabela 33: Imagens para a Validação (Canon e Kodak)</i> .....	62
<i>Tabela 34: Arquivos de Calibração (Canon – D1)</i> .....	64
<i>Tabela 35: Arquivos de Calibração (Canon – D2)</i> .....	65
<i>Tabela 36: Arquivos de Calibração (Kodak – D1)</i> .....	66
<i>Tabela 37: Arquivos de Calibração (Kodak – D2)</i> .....	67
<i>Tabela 38: Arquivos de Calibração (Olympus – D1)</i> .....	68
<i>Tabela 39: Arquivos de Calibração (Olympus – D2)</i> .....	69
<i>Tabela 40: Script de calibração</i> .....	70
<i>Tabela 41: Script de dimensionamento</i> .....	72
<i>Tabela 42: Dados 1 (coordenadas e ângulos – índice 1)</i> .....	75
<i>Tabela 43: Dados 2 (v – índice1)</i> .....	76
<i>Tabela 44: Dados 3 (coordenadas e ângulos – índice 2)</i> .....	77
<i>Tabela 45: Dados 4 (v – índice 2)</i> .....	78
<i>Tabela 46: Dados 5 (coordenadas e ângulos – índice 3)</i> .....	79
<i>Tabela 47: Dados 6 (v - índice 3)</i> .....	80

# Glossário, Abreviaturas, Siglas e Símbolos

- **Bit:** Sigla de *binary digit*. Assume os valores 0 e 1 e representa a unidade básica de sinais digitais para comunicação e armazenamento.
- **BMP:** Abreviação de *bitmap*. Mapa de bits para representar uma imagem sem compressão de dados.
- **JPEG:** Sigla de *Joint Photographic Experts Group*. Trata-se de um formato de compressão de dados amplamente utilizado em processamento de imagens.
- **Grid:** É o objeto de referência utilizado neste trabalho. Consiste em uma grade sobre uma superfície plana horizontal, com alvos cujos centros têm coordenadas tridimensionais conhecidas com alta precisão. Ver um exemplo de imagem do *grid* na Figura 2.
- **Algoritmo de Calibração:** É uma rotina computacional que calcula os valores para os parâmetros extrínsecos e intrínsecos de uma câmera fotográfica, incluindo estimativa de sua posição em relação ao *grid*, a partir de uma imagem.
- **Algoritmo de Dimensionamento:** É uma rotina computacional que gera estimativas de comprimento a partir de técnicas de estereofotogrametria, usando pares estéreo de câmeras calibradas.
- **Arquivo de Calibração:** É um arquivo onde temos os parâmetros de entrada necessários para realizar a calibração.
- **Parâmetros Extrínsecos:** São parâmetros de calibração que indicam o posicionamento da câmera fotográfica em relação ao objeto de referência.
- **Parâmetros Intrínsecos:** São parâmetros de calibração relacionados à lente e à construção da câmera fotográfica.
- **Eixos X, Y e Z:** São os eixos ordenados do *grid* (ver Figura 3).
- **Coordenadas:** Definimos como coordenadas as três variáveis,  $x$ ,  $y$  e  $z$ , que correspondem aos comprimentos entre a câmera e os eixos X,Y e Z (ver Figura 3).
- **Ângulos:** Definimos como ângulos as três variáveis,  $\omega$ ,  $\phi$  e  $\kappa$ , que correspondem às rotações em torno dos eixos X,Y e Z, respectivamente (ver Figura 3).
- **CalMF.dll:** É uma biblioteca dinâmica que contém as funções utilizadas na calibração de uma câmera fotográfica.

- **DimMF.dll**: É uma biblioteca dinâmica que contém as funções utilizadas no dimensionamento de um objeto.
- **v (letra nu do alfabeto grego)**: É o parâmetro que mede a qualidade do dimensionamento, estimada a partir do cálculo das distâncias entre todos os pontos do *grid*.
- **Imagem Principal**: Imagem onde temos a lente da câmera perpendicular ao eixo de posicionamento do objeto. Ver exemplo na Imagem 1 na Figura 11.
- **Imagem Secundária**: Imagem onde deslocamos a câmera à esquerda em uma distância conhecida. É usada para dimensionarmos objetos. Ver exemplo na Imagem 2 na Figura 11.

# Capítulo 1:

## Introdução

O processamento de imagens estéreo é utilizado no campo da visão computacional para extrair informação tridimensional a partir de duas (ou mais) imagens bidimensionais em uma mesma cena. Estas imagens são tomadas no mesmo instante de tempo em, posições diferentes, e com apenas duas imagens é possível estimar a geometria espacial partindo das projeções dos pontos do espaço em cada uma das imagens.

A Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS, empresa líder no segmento a nível mundial, detém tecnologia de ponta, por diversas vezes únicas, para resolução de suas atividades. Existe uma demanda pela solução de um problema relacionado à prospecção de petróleo em águas profundas, especialidade da PETROBRAS, que se trata da manutenção dos equipamentos submarinos.

Atualmente, este trabalho é realizado manualmente por mergulhadores experientes, que descem a profundidades grandes, de até 300 metros, enfrentando um risco elevado de acidentes, com grande custo financeiro e muitas limitações, incluindo a necessidade dos longos períodos de decompressão após cada operação, o que inviabiliza procedimentos de longo prazo. Esta tarefa também pode ser realizada por robôs submarinos controlados remotamente, o que, apesar de garantir a segurança dos operadores, não permite grande agilidade e precisão, em grande parte devido à visão em apenas duas dimensões. Esta visão em 2D pode causar acidentes graves que vão desde o manuseio incorreto de alguma ferramenta até a colisão dos robôs com as estruturas.

Para solucionar este problema, fazemos uso do processamento de imagens estéreo. Os robôs possuem pelo menos duas câmeras e, realizando um processamento imediato e possuindo monitores especiais capazes de exibir imagens em 3D, os operadores do robô possuem a sensação de profundidade reduzindo o risco de acidentes.

O PADS (Laboratório de Processamento Analógico e Digital de Sinais da COPPE/UFRJ) possui um projeto que trata deste problema e uma vertente interessante para este projeto seria realizar o estudo da qualidade da calibração e do dimensionamento a partir de diferentes conjuntos de imagens estéreo. Assim, os operadores do robô poderiam saber que critérios utilizar para que a tomada de fotos possibilite os menores erros.

## 1.1 Objetivo

Este projeto apresenta um estudo onde realizamos a análise da qualidade da calibração de câmeras com diferentes conjuntos de imagens estéreo de uma referência conhecida. Para calibração das câmeras e dimensionamento de objetos, utilizamos as rotinas desenvolvidas em [1].

Não temos como objetivo focar nosso estudo na rotina de calibração utilizada, e sim na estimativa da precisão dos parâmetros extrínsecos de calibração retornados pela rotina. O mesmo acontece para a rotina de dimensionamento.

Para tomada de imagens utilizamos três diferentes câmeras. Utilizamos também um *grid* (como mostrado na Figura 2) que servirá como referência para a calibração.

Aplicaremos a metodologia desenvolvida para obtenção dos resultados do estudo dos erros dos algoritmos e, após a análise dos resultados obtidos, são apresentadas regras que contêm informações a respeito do comportamento dos parâmetros analisados.

## **1.2 Organização**

O trabalho se divide em cinco capítulos. No Capítulo 2 temos uma análise da teoria envolvida na fotogrametria, bem como dos principais conceitos de calibração de uma câmera fotográfica, de dimensionamento e de posicionamento de objetos. São também descritos todos os parâmetros do projeto.

Os métodos desenvolvidos para a obtenção dos resultados se encontram no Capítulo 3.

No Capítulo 4 temos os resultados obtidos com a aplicação dos métodos.

Por último, o Capítulo 5 mostra as conclusões sobre o trabalho e sugere melhorias que podem ser alvos de trabalhos futuros.

# Capítulo 2:

## Conceitos Teóricos

Este capítulo apresenta os principais aspectos teóricos do projeto. Aqui serão discutidos conceitos de estereofotogrametria, calibração, dimensionamento, perturbações e indexação de pontos, utilizados no restante deste trabalho.

### 2.1 Estereofotogrametria

A fotogrametria é uma técnica para a obtenção de medidas tridimensionais sem contato físico ou conhecimento prévio das propriedades geométricas do objeto em estudo, a partir de fotografias ou imagens. Na estereofotogrametria são usados pares ou conjuntos maiores de imagens. Esta técnica é utilizada em diversas áreas, tais como: cartografia, topografia, sensoriamento remoto, geologia, robótica, construção naval, etc.

### 2.2 Eixos de Posicionamentos

Iremos definir agora os eixos de posicionamento da câmera e do objeto. Na Figura 1 conseguimos ter uma visualização dos eixos com o objeto e a câmera.



### 2.2.1 Eixo de Posicionamento da Câmera

O eixo de posicionamento da câmera é definido como o eixo de liberdade de movimento da câmera. Esse eixo é perpendicular ao segmento de reta que liga o centro da câmera principal ao objeto. Com o eixo de posicionamento da câmera, simulamos câmeras obtendo imagens simultaneamente sem que se altere a posição do objeto. Utilizamos este recurso no projeto para obtermos imagens estéreo.

Nossas imagens principais estão sempre na intersecção dos eixos de posicionamento da câmera e do objeto enquanto que as imagens secundárias poderiam ocupar qualquer posição no eixo de posicionamento da câmera. Neste trabalho, as imagens secundárias se posicionam à esquerda da posição da imagem principal, a uma distância de aproximadamente 5cm.

### 2.2.2 Eixo de Posicionamento do Objeto

O eixo de posicionamento do objeto é definido como o eixo de liberdade de movimento do objeto sobre o qual o mesmo pode se deslocar de forma a alterar a distância à câmera. Esse eixo é paralelo ao segmento de reta que liga o centro da câmera principal ao objeto.

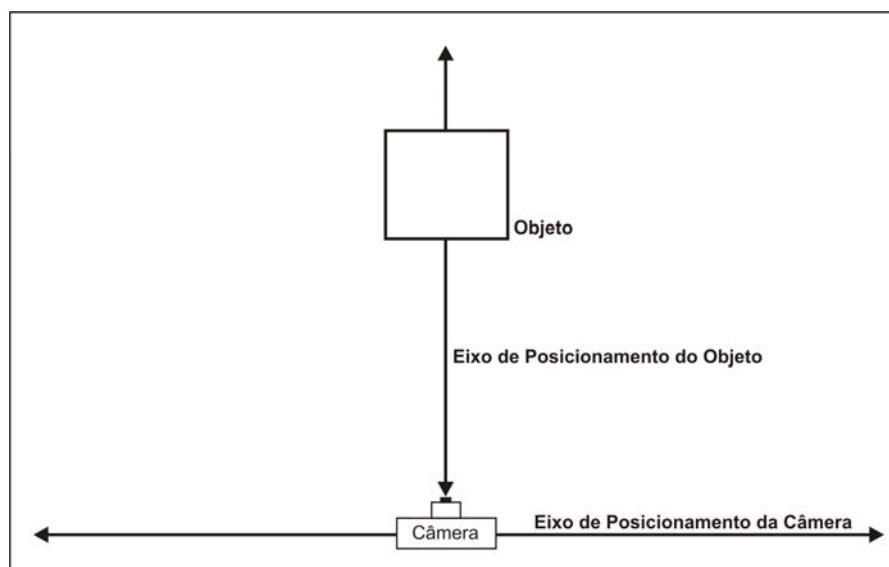


Figura 1: Eixos de posicionamento da câmera e do objeto

## 2.3 Grid

É o objeto de referência utilizado neste trabalho. Consiste em uma grade sobre uma superfície plana horizontal, com alvos cujas coordenadas tridimensionais são conhecidas com alta precisão. Seus eixos X, Y e Z podem ser vistos na Figura 3. Um exemplo de imagem do *grid* é observado na Figura 2.

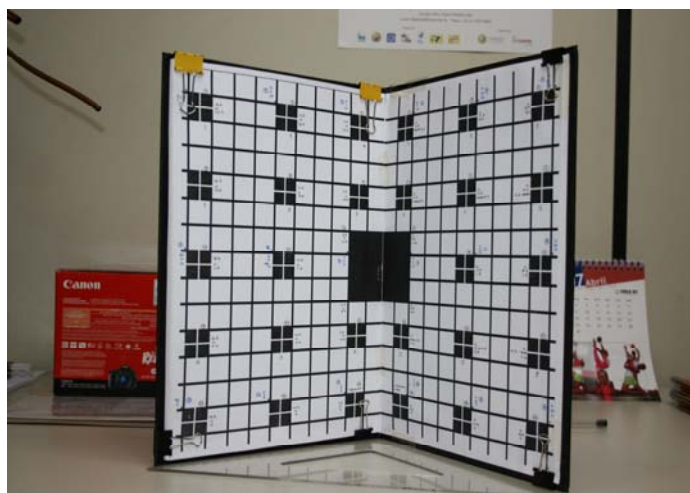


Figura 2: Exemplo de imagem do grid sobre a mesa

## 2.4 Arquivo de Calibração

Os arquivos de calibração são arquivos texto onde encontramos o mapeamento das coordenadas 2D na imagem (pixels) para as coordenadas 3D dos alvos (pontos conhecidos) do *grid*. As coordenadas 2D são os pixels no plano XY correspondentes a cada alvo na imagem: esses valores são obtidos manualmente a partir de um editor de imagens. As coordenadas 3D são as coordenadas reais também medidas para cada alvo e o método para obtenção desses valores não é o foco neste trabalho.

Podemos ter arquivos de calibração com um mínimo de 6 pontos, porém, espera-se que quanto mais pontos obtivermos, melhor será a calibração. Focaremos nosso estudo em calibrações utilizando de 12 a 24 pontos do *grid* e apenas nas *imagens principais* (definição no Item 3.2).

No Apêndice B, encontramos todos os arquivos de calibração de 24 pontos gerados no projeto.

## 2.5 Calibração

Neste projeto, a calibração das câmeras tem como objetivo determinar seus parâmetros extrínsecos (definidos na próxima seção). Usamos para isto uma biblioteca dinâmica (CalMF.dll), aplicada sobre as coordenadas 3D e 2D do objeto e da imagem, respectivamente.

O método para realizar a calibração, encontrado no Capítulo 3, utiliza arquivos de calibração como parâmetros de entrada para o uso da CalMF.dll. A rotina de calibração retorna um vetor coluna com os parâmetros de orientação exterior e de orientação interior (definidos na próxima seção).

## 2.6 Parâmetros do Projeto

Com a utilização da CalMF.dll para calibração, temos como retorno um vetor coluna com 10 posições. As seis primeiras posições tratam de *parâmetros extrínsecos* e as quatro últimas posições são os *parâmetros intrínsecos*, que serão abordados nos subitens a seguir.

### 2.6.1 Parâmetros Extrínsecos (ou de Orientação Exterior)

São parâmetros de calibração que indicam o posicionamento da câmera fotográfica em relação ao objeto de referência. Definimos como eixos **X**, **Y** e **Z**, os eixos ordenados no *grid* e se visualizarmos esses eixos na Figura 3, os três primeiros parâmetros do vetor de retorno são os comprimentos entre os eixos da câmera e os eixos X, Y e Z. Os três próximos parâmetros são as rotações em torno dos eixos X, Y e Z, respectivamente.

Chamaremos os comprimentos de *coordenadas* e as rotações de *ângulos*. As coordenadas, são as variáveis **x**, **y** e **z**, que correspondem aos comprimentos entre a câmera e os eixos X, Y e Z (ver Figura 3). Os ângulos são as variáveis  **$\omega$** ,  **$\phi$**  e  **$\kappa$** , que correspondem às rotações em torno dos eixos X, Y e Z, respectivamente (ver Figura 3).

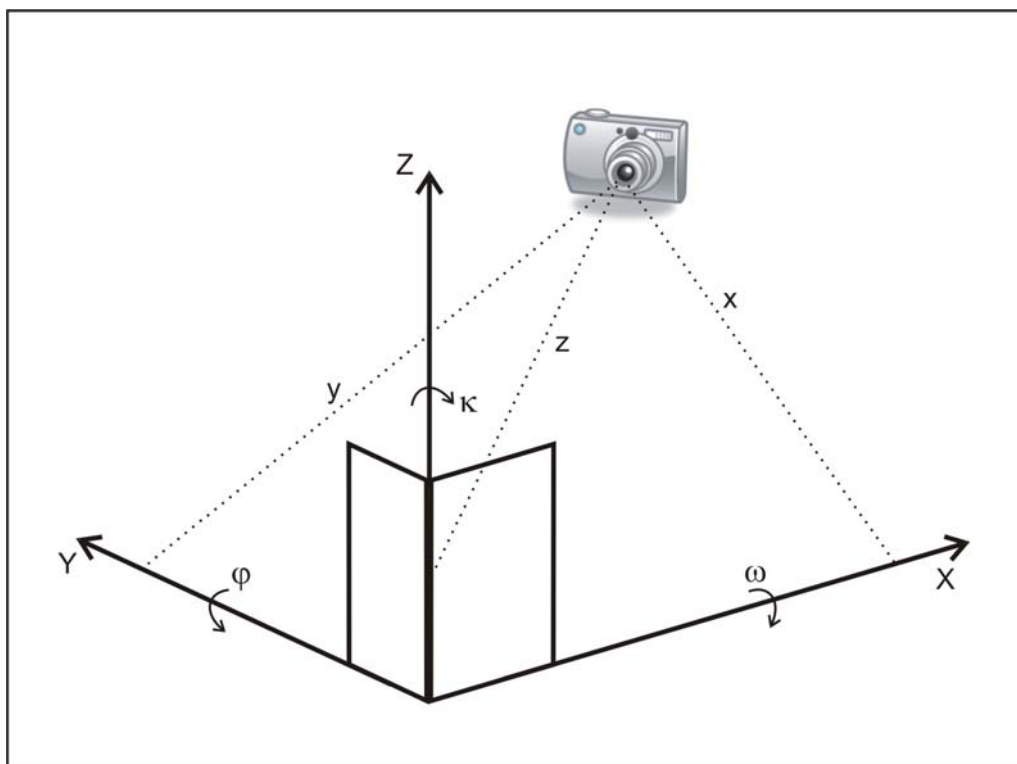


Figura 3: Coordenadas  $x, y$  e  $z$  e os ângulos  $\omega, \varphi$  e  $\kappa$

### 2.6.2 Parâmetros Intrínsecos (ou de Orientação Interior)

São parâmetros de calibração relacionados à lente e à construção da câmera fotográfica. São eles: projeção horizontal distância focal ( $f_u$ ), projeção vertical distância focal ( $f_v$ ), coordenada horizontal da origem ( $u_0$ ), coordenada vertical da origem ( $v_0$ ). Não fazem parte do escopo deste trabalho.

### 2.6.3 Parâmetro de Qualidade do Dimensionamento

Chamaremos de  $\nu$  (nu no alfabeto grego), o parâmetro que mede a qualidade do dimensionamento. Será apresentado com mais detalhes no Item 2.10.

## 2.7 Perturbações

Após realizarmos as calibrações, adicionaremos perturbações nas imagens. Isto é feito variando as coordenadas dos pixels na criação do arquivo de calibração. Essa variação estará simulando uma situação real onde, na tomada dos pixels das imagens em um editor de imagens, acontecem falhas humanas.

As perturbações estudadas nesse projeto serão de 1 a 5 pixels e serão feitas diretamente nos arquivos de calibração quando aplicamos os métodos conforme descrito no Capítulo 3. Deve-se ressaltar que, quando adicionamos perturbações de 1 pixel, estamos acrescentando ao valor do pixel na imagem um valor inteiro de distribuição uniforme em  $[-1, 1]$  pixel. O mesmo acontece para os demais casos. Por exemplo, para 4 pixels de perturbação, falamos de -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 ou 4 pixels acrescentados em cada coordenada do ponto em questão.

## 2.8 Índice de Pontos do *Grid*

É foco deste projeto realizar testes com diferentes *índices de pontos* do *grid*, ou seja, diferentes escolhas de pontos para as calibrações. Não faz parte do escopo, realizar o estudo das diferenças nos resultados gerados a partir de escolhas diferentes. Os índices de pontos se referem a diferentes conjuntos com os  $n$  primeiros pontos a serem escolhidos para calibração.

Definiremos aqui os três índices de pontos usados no projeto. Suas escolhas foram feitas a princípio sem embasamento teórico e o que foi levado em consideração foi a uniformidade da distribuição dos pontos do *grid*.

Primeiro, mostramos os três índices para calibração com 12 pontos, conforme a Figura 4.

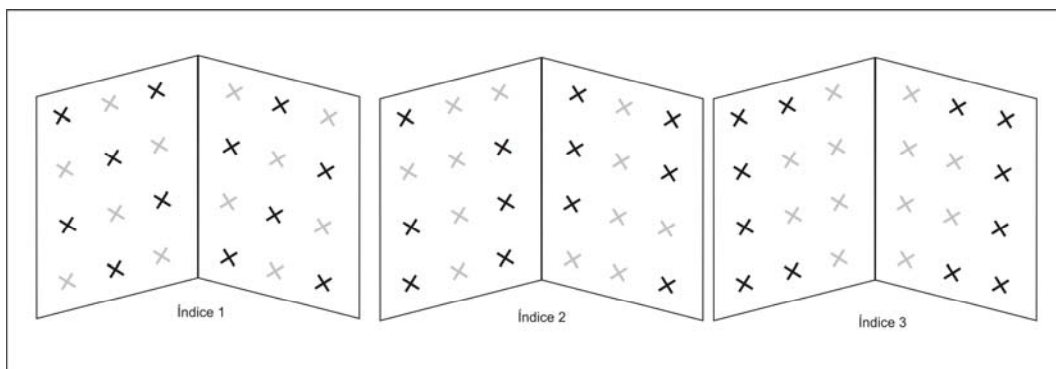


Figura 4: Os três índices de pontos do grid para calibração com 12 pontos

Para calibrações entre 12 e 23 pontos, numeramos o *grid* (ver Figura 5) de forma que a ordem dos alvos se torne parâmetro de referência.

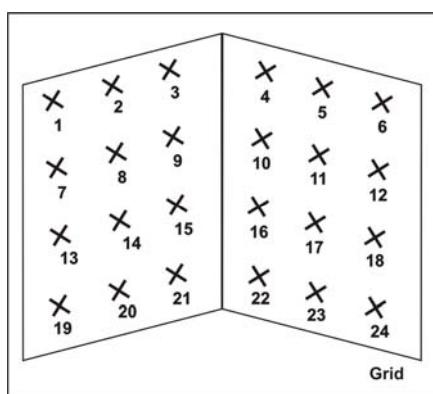


Figura 5: Grid numerado

Definimos assim vetores onde listamos os pontos na ordem em que serão retirados. Estes vetores, com os índices de pontos, estão na Tabela 1.

Tabela 1: Índices de pontos do grid

Índice 1	[2 23 6 14 11 19 4 7 18 9 21 16]
Índice 2	[2 23 5 20 8 17 11 14 7 18 3 22]
Índice 3	[15 16 9 10 17 11 14 8 21 22 3 4]

Então, por exemplo, quando queremos calibrações de 22 pontos com o índice 1, serão retirados os pontos 2 e 23 do *grid*.

## 2.9 Distância

Definimos *distância* como o comprimento medido entre a posição do objeto que se deseja dimensionar e a câmera, como mostra a Figura 6.

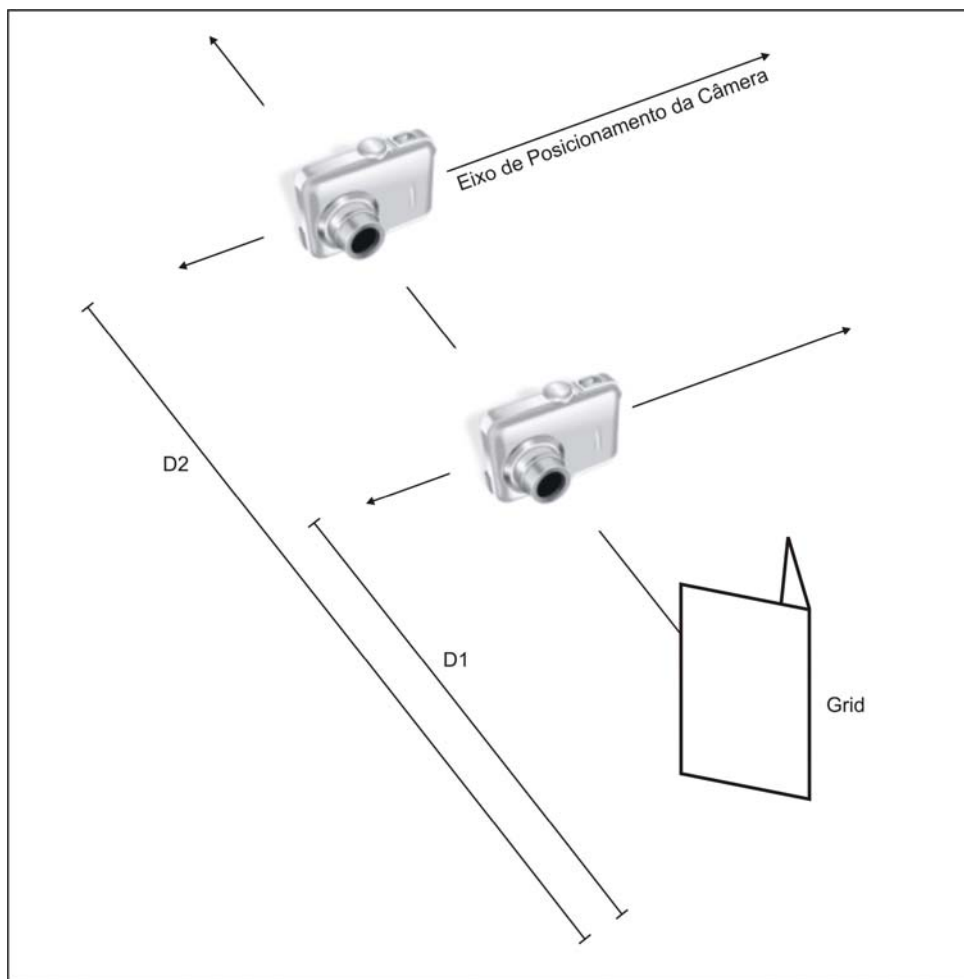


Figura 6: Distâncias D1 e D2

Teremos duas distâncias no projeto, a primeira, chamada D1, em torno de 60 cm, onde o *grid* ocupa uma grande parte da imagem. A segunda, D2, em torno de 100 cm, foi escolhida de forma que o *grid* ocupasse 1/9 da imagem. Um exemplo das imagens capturadas com distâncias D1 e D2 pode ser visto na Figura 7.

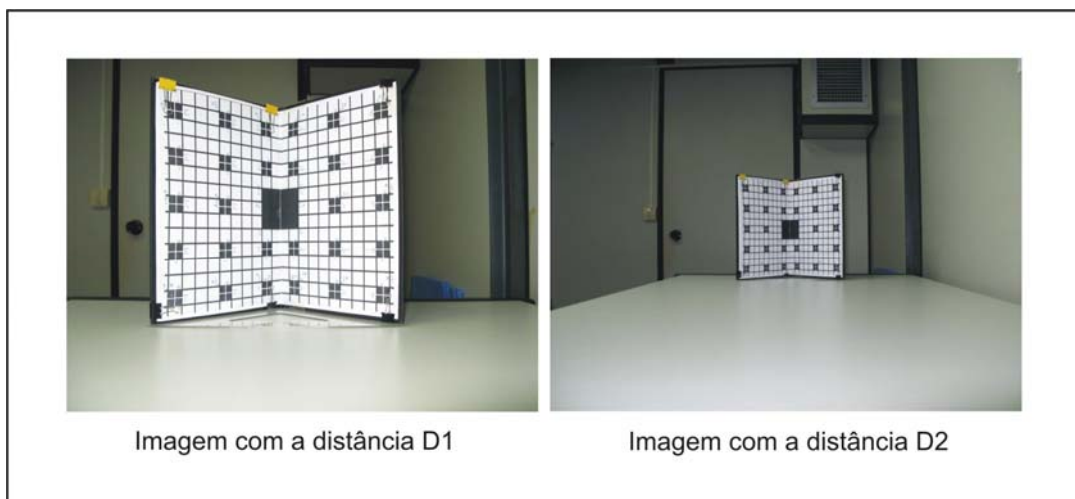


Figura 7: Imagens com as distâncias  $D1$  e  $D2$

## 2.10 Dimensionamento

Para realizar o dimensionamento de objetos, são necessários, no mínimo duas imagens com as câmeras calibradas, e também outra biblioteca dinâmica (DimMF.dll). Os parâmetros de entrada para a DimMF.dll são as coordenadas 2D das duas imagens e os vetores retornados pela CalMF.dll.

Considerando inicialmente uma imagem com 4 pontos A, B, C e D, obtém-se seis segmentos:  $d1$ ,  $d2$ ,  $d3$ ,  $d4$ ,  $d5$  e  $d6$ , como mostra a Figura 8.

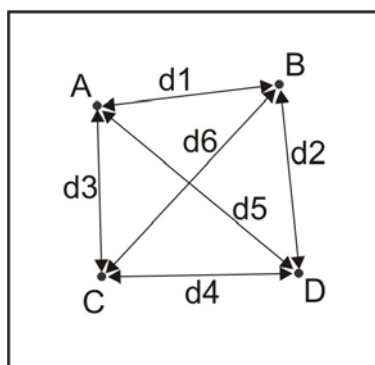


Figura 8: Distâncias entre 4 pontos A, B, C e D



O cálculo da distância  $d1$  pode ser feito, aplicando conceitos de geometria, pela fórmula:

$$d1 = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \quad (2.1)$$

Passando os pixels dos pontos A e B e o vetor resultante da CalMF.dll como parâmetros de entrada para a DimMF.dll, ela nos retornará uma distância estimada  $\hat{d}1$ . Se fizermos este procedimento para os demais pontos, teremos  $\hat{d}2$ ,  $\hat{d}3$ ,  $\hat{d}4$ ,  $\hat{d}5$  e  $\hat{d}6$ .

Chamaremos de  $e_1$ , o erro relativo entre  $d1$  e  $\hat{d}1$ , dado por:

$$e_1 = \frac{|\hat{d}1 - d1|}{d1} \times 100\%. \quad (2.2)$$

Faremos então o mesmo para as demais distâncias e teremos  $e_2$ ,  $e_3$ ,  $e_4$ ,  $e_5$  e  $e_6$ . Um parâmetro de qualidade  $\nu$  para essas distâncias seria a média aritmética desses erros relativos, dado por:

$$\nu = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 e_i. \quad (2.3)$$

Como nosso objeto de estudo (*grid*) possui 24 pontos, aplica-se o mesmo conceito visto acima, expandindo para os 24 pontos. Notamos que o número de distâncias possíveis, para esta situação, é uma combinação de 24 pontos, 2 a 2 ( $C_{24}^2 = 276$  distâncias) e assim, teremos o parâmetro  $\nu$  dado por:

$$\nu = \frac{1}{276} \sum_{i=1}^{276} e_i \quad (2.4)$$

# Capítulo 3:

## Métodos

Neste capítulo encontram-se os procedimentos utilizados para obtenção dos dados que aparecem no Apêndice D. Os procedimentos foram realizados com o intuito de estudar os erros das coordenadas ( $x, y$  e  $z$ ), dos ângulos ( $\omega$ ,  $\varphi$  e  $\kappa$ ) e do  $v$  a partir de um valor de referência.

Para realização destes procedimentos, utilizou-se a seguinte lista de materiais:

- *Grid*
- Câmeras (Canon G7, Kodak C530 e Olympus D560)
- Plano (mesa)
- Instrumentos para medições (réguas, trena,...)
- Instrumentos para apoio e posicionamento em geral

### 3.1 Câmeras Utilizadas

No projeto, há três modelos de câmeras distintas (ver Figura 9):

- Canon PowerShot G7 - 10 Megapixels;
- Kodak EasyShare C530 - 5 Megapixels;
- Olympus D560 - 3.2 Megapixels.

Com essas câmeras foram realizadas as tomadas de fotos do *grid* para a aplicação dos *métodos*, descrito nos próximos itens.

Como há apenas um modelo de cada câmera e os métodos exigem imagens estéreo, definiu-se um *eixo de posicionamento da câmera* de forma a obter as imagens estéreo com uma câmera apenas.



Figura 9: Câmeras utilizadas no projeto

### 3.2 Procedimento para Captura de Dados

A realização da tomada de imagens consiste basicamente em tirar fotos digitais do *grid*. Essas imagens constituem os dados-fonte para a aplicação dos procedimentos. As imagens foram geradas em seqüência mantendo o *grid* fixo e deslocando a câmera no seu *eixo de posicionamento*. A Figura 10 mostra o esquema para tomada das imagens.

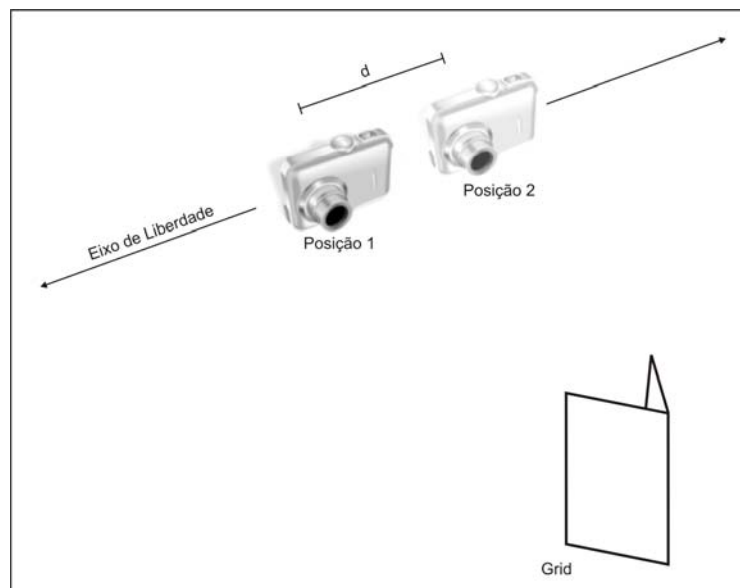


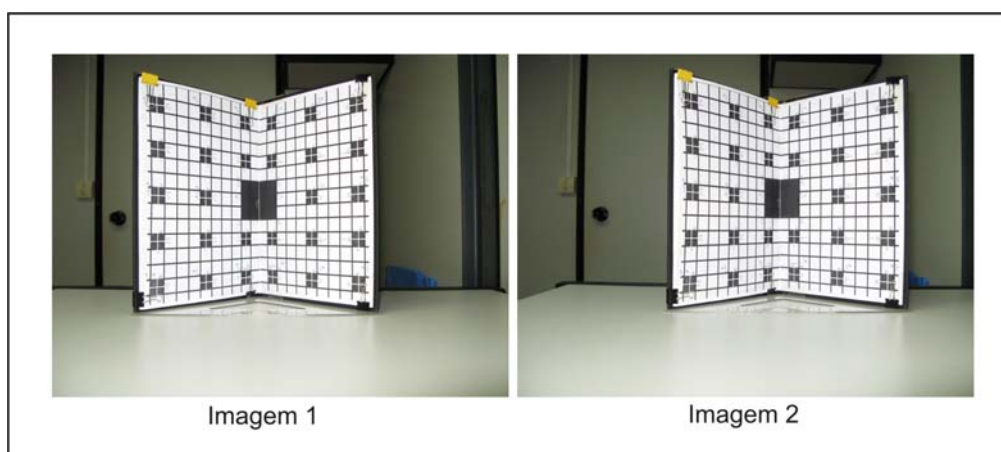
Figura 10: Procedimento para tomada de fotos estéreo a partir de uma câmera

Na Tabela 2, encontram-se os procedimentos para a captura de imagens estéreo:

*Tabela 2: Procedimento para aquisição de imagens estéreo a partir de uma câmera*

- 1 - Posicionar o objeto onde deve ser tomada a imagem (*grid*);
- 2 - Posicionar a câmera cuidadosamente em seu *eixo de posicionamento* de forma que sua direção de disparo se encontre perpendicular a esse eixo como ilustrado na Posição 1 na Figura 10;
- 3 - Obter a primeira imagem;
- 4 - Sem alterar os parâmetros do objeto, posicionar novamente a câmera sob uma distância conhecida à esquerda em seu *eixo de posicionamento*, de modo que sua direção de disparo se encontre perpendicular a esse eixo como ilustrado na Posição 2 na Figura 10;
- 5 - Obter a segunda imagem;
- 6 - Para obter novos pares de imagens, voltar ao Passo 1 ou terminar o método caso não necessite de mais imagens.

Após a aplicação dos procedimentos da Tabela 2, tem-se imagens como as ilustradas na Figura 11 abaixo. Definiremos *imagem principal* como sendo a Imagem 1 e *imagem secundária* como a Imagem 2 (estéreo). Utilizaremos somente a imagem principal para a realização das calibrações e para o dimensionamento, usaremos o par estéreo (imagem principal e secundária).



*Figura 11: Imagens tomadas a partir do método da Tabela 1*

### 3.3 Plano de Fotos

No presente estudo, considerou-se fotos estéreo de cada câmera da Figura 9: Câmeras utilizadas no projeto e as duas *distâncias* D1 e D2. Desta forma, contamos com 4 imagens para cada câmera que nomearemos de *IM\_Câmera\_Posição\_Distância*. Os nomes das imagens se encontram na Tabela 3 e as imagens propriamente ditas estão no Apêndice A.

*Tabela 3: Imagens obtidas*

IM_Canon_Principal_D1	IM_Canon_Secundária_D1	IM_Canon_Principal_D2	IM_Canon_Secundária_D2
IM_Kodak_Principal_D1	IM_Kodak_Secundária_D1	IM_Kodak_Principal_D2	IM_Kodak_Secundária_D2
IM_Olympus_Principal_D1	IM_Olympus_Secundária_D1	IM_Olympus_Principal_D2	IM_Olympus_Secundária_D2

### 3.4 Método 1: Obtenção de Valores sem Perturbação para Coordenadas e Ângulos

Para encontrarmos os valores das coordenadas e dos ângulos sem perturbação, seguimos a Tabela 4.

*Tabela 4: Método 1*

- 1 - Carregar na memória o arquivo de calibração referente à imagem escolhida;
- 2 - Filtrar a quantidade de pontos para calibração usando os índices de pontos do *grid*;
- 3 - Passar o arquivo de calibração filtrado como parâmetro de entrada para a CalMF.dll que retornará um vetor coluna onde os três primeiros valores são as coordenadas, em centímetros, e os três seguintes são os ângulos, em radianos;
- 4 - Voltar ao passo 1 para obter novos valores ou finalizar o processo.

Usando o Método 1, para 24 pontos de calibração nas imagens principais de cada câmera, obtemos os valores mais próximos da realidade para coordenadas e ângulos. Esses valores, são estimados pela biblioteca e servirão como referência para comparação quando adicionarmos as perturbações nos arquivos de calibração.

É importante ressaltar que poderíamos realizar as medições das coordenadas e dos ângulos com instrumentos de precisão, mas preferimos adotar a melhor situação como sendo a real já que o intuito do trabalho é estudar as variações dos parâmetros de calibração em relação aos parâmetros obtidos sem perturbação. Ao realizarmos mais esse procedimento, teríamos uma melhoria na precisão da referência mas todos os parâmetros perturbados teriam erros mais elevados em relação à referência.

Devemos dizer também que a CalMF.dll retorna os ângulos em radianos. No nosso projeto, trabalharemos com ângulos em graus porque isto leva a resultados de mais fácil visualização.

Aplicando o Método 1 para as imagens principais, calibrando com 24 pontos, com as distâncias D1 e D2 e com os índices de pontos, obtém-se os valores das coordenadas e dos ângulos sem perturbações.

### **3.5 Método 2: Obtenção de Valores com Perturbação para Coordenadas e Ângulos**

Nesta seção, mostra-se como aplicar perturbações nos arquivos de calibração antes de realizar o Método 1. Assim, consegue-se obter os valores perturbados (com variação de  $n$  pixels) para as coordenadas e os ângulos. A Tabela 5 mostra o Método 2.

*Tabela 5: Método 2*

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1 - Perturbar aleatoriamente de <math>n</math> pixels as colunas referentes aos pixels no arquivo de calibração escolhido;</li><li>2 - Seguir para o Passo 1 do Método 1 e prosseguir até o fim.</li></ol> |
|--|

Aplicando o Método 2, foram obtidas estimativas diferentes para os parâmetros. Perturbando os dados de calibração de, por exemplo, 1 pixel, observa-se que os resultados são semelhantes aos obtidos quando não se aplica a perturbação.

### 3.6 Método 3: Obtenção dos Erros para Coordenadas e Ângulos

Se pegarmos, por exemplo na coordenada  $x$ , a diferença entre a medida  $x$  sem perturbação e a medida  $x_1$  (quando calculada com 1 pixel de perturbação), teremos um erro entre as medidas. Agora, se gerarmos um conjunto grande de imagens perturbadas,  $N$ , obteremos os valores de  $x_1$  para cada imagem, valores esses obtidos com a aplicação de uma perturbação aleatória com distribuição discreta uniforme, no intervalo  $[-1,1]$ .

A definição do *erro absoluto* em um parâmetro é a média aritmética do módulo dos erros entre o parâmetro inicial sem perturbação e os parâmetros calculados com perturbação, obtida por média das  $N$  amostras de erro. Neste trabalho considerou-se  $N$  igual a 50. Observamos agora, sua fórmula:

$$e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i, \text{ para } N = 50. \quad (3.1)$$

O erro será obtido para as coordenadas e para os ângulos. O erro relacionado ao  $v$  será explicitado posteriormente.

Agora, apresentamos o Método 3 na Tabela 6 para obter todos os erros das coordenadas e dos ângulos.

Tabela 6: Método 3

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1 - Aplicar o Método 1 para a imagem e o parâmetro, com calibração de 24 pontos;</li><li>2 - Armazenar o valor inicial do parâmetro;</li><li>3 - Aplicar o Método 2 para a mesma imagem e o mesmo parâmetro, com calibração desejada e pixels de perturbação desejados;</li><li>4 - Armazenar o módulo da diferença entre o valor inicial armazenado e o valor obtido no Passo 3;</li><li>5 - Voltar ao Passo 3 até que se tenha 50 valores somados;</li><li>6 - Dividir a soma por 50.</li></ol> |
|---|



Aplicando o Método 3 para as imagens principais, calibrações com 13 a 24 pontos, distâncias D1 e D2, e os três índices de pontos do *grid*, possuímos todos os valores das coordenadas e dos ângulos encontrados nas tabelas do Apêndice D, que mostra os resultados.

### 3.7 Método 4: Obtenção do $v$

A definição do parâmetro de qualidade do dimensionamento  $v$  encontra-se na Equação (2.4). Para obtê-lo, aplicaremos o Método 4 descrito na Tabela 7.

*Tabela 7: Método 4*

- 1 - Aplicar o Método 1 para a imagem principal desejada e armazenar o resultado;
- 2 - Aplicar o Método 1 com os mesmos parâmetros do Passo 1 para a imagem secundária desejada e armazenar o resultado;
- 3 - Calcular a distância real entre dois pontos e a distância estimada entre os mesmos pontos usando a DimMF.dll;
- 4 - Calcular o erro estimado para os dois pontos do Passo 3 e armazenar o resultado;
- 5 - Voltar ao Passo 3 até que todas as distâncias possíveis tenham sido calculadas e somar todos os erros estimados;
- 6 - Calcular  $v$ .

### 3.8 Método 5: Obtenção do $v$ com Perturbações

Notamos que o Método 4 nos fornece  $v$  sem perturbações. O Método 5 para o cálculo de  $v$  com perturbações é mostrado na Tabela 8.

*Tabela 8: Método 5*

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1 - Perturbar aleatoriamente de <math>n</math> pixels as colunas referentes aos pixels no arquivo de calibração escolhido;</li><li>2 - Seguir para o Método 4.</li></ol> |
|--|

# Capítulo 4:

## Resultados

Neste capítulo são discutidos os resultados obtidos pela aplicação dos métodos descritos no Capítulo 3. De acordo com a metodologia desenvolvida, foram obtidas três tabelas, nas quais podemos observar tendências que definiremos como *regras*.

### 4.1 Tabelas Geradas

Nas tabelas geradas, que se encontram no Apêndice D, encontramos todas as variáveis relevantes do projeto:

- Câmeras (Canon G7, Kodak C530 e Olympus D560);
- Distâncias (D1 e D2);
- Número de Pontos do *Grid* (12 a 24);
- Índice de Tomada de Pontos do *Grid* (Índice 1 a Índice 3);
- Parâmetros ( $x, y, z, \omega, \varphi$  e  $\kappa$  e  $\nu$ ).

As tabelas se diferenciam de acordo com os índices dos conjuntos de pontos extraídos do *grid*. Para a primeira tabela teremos o *índice 1*, para a segunda tabela, o *índice 2* e para a terceira tabela, temos o *índice 3*.

Nas linhas temos as variações de câmera, distância e pontos no *grid*. Nas colunas de resultados encontraremos os parâmetros distribuídos de acordo com o esquema abaixo:

Parâmetro sem perturbação (#0) – Parâmetro com perturbação de 1 pixel (#1), perturbação de 2 pixels (#2), e assim por diante até perturbação de 5 pixels (#5).

Por exemplo:

<b>X0</b>	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>	<b>X4</b>	<b>X5</b>
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figura 12: Colunas na Tabela de Resultados

Para visualizarmos, por exemplo, quais seriam os resultados de *y* para a câmera Kodak, com a distância D1, com todos os pontos no *Grid* (12 a 24), utilizando o índice 1 de tomada de pontos, teríamos o resultado mostrado na Tabela 9.

Tabela 9: Exemplo de visualização da Tabela de Resultados

ÍNDICE 1			Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
<b>KODAK</b>	<b>D1</b>	<b>12</b>	<b>50,95</b>	0,25	0,41	0,74	0,82	<b>1,21</b>
		13		0,33	0,47	0,73	0,85	1,31
		14		0,29	0,48	0,59	0,87	1,05
		15		0,28	0,45	0,68	0,86	0,85
		16		0,26	0,41	0,64	0,75	0,95
		17		0,23	0,42	0,62	0,82	1,00
		18		0,35	0,42	0,59	0,85	0,95
		19		0,38	0,43	0,60	0,66	0,75
		20		0,42	0,45	0,51	0,71	0,77
		21		0,23	0,40	0,57	0,66	1,26
		22		0,23	0,37	0,48	0,64	0,72
		23		0,20	0,37	0,50	0,58	0,70
		24		0,21	0,32	0,68	0,68	0,85

Assim, percebemos que o retorno da calibração sem perturbação para *y* é de 50,95 cm. Este valor pode variar até  $\pm 1,21$  cm quando temos 5 pixels de perturbação para calibração com 12 pontos já que o erro mostrado é sempre em valor absoluto. Devemos lembrar que as unidades dos erros são: centímetros (cm) para coordenadas e graus (°) para ângulos. O *v* é explicitado em porcentagem (%).

## 4.2 Regras Obtidas

A partir da análise dos resultados obtidos, podemos identificar tendências e explicitá-las através de algumas regras com as quais poderemos prever o comportamento de determinado parâmetro e/ou escolher a melhor configuração para obter melhores resultados.

Apresentaremos as regras nos sub-itens a seguir e, após a definição das mesmas, mostramos a validação das regras a partir de outras imagens em que aplicamos a metodologia. As regras aparecem na forma de tabelas mas alguns gráficos que auxiliam no entendimento das regras também são ilustrados.

Antes da apresentação das regras, definiremos um código para facilitar a leitura das tabelas. A partir de agora, as informações serão vistas de acordo com os seguintes símbolos, separados por traços, usando a seguinte codificação:

- Parâmetro (x - X, y - Y, z - Z,  $\omega$  - W,  $\varphi$  - F,  $\kappa$  - K, v - N);
- Índice de Pontos do *Grid* (I1, I2, I3)
- Câmera (Ca - Canon, Ko - Kodak, Ol - Olympus)
- Distância (D1 e D2)
- Pontos do *Grid* (P12 a P24)

Assim, sabemos que para W-I1-Ko-D2-P12, estamos falando do parâmetro  $\omega$ , usando o índice 1 de pontos do *grid*, com a câmera Kodak, com a distância D2 e com 12 pontos de calibração. Da mesma forma, N-I3-Ca-D1-P17 equivale a parâmetro v, índice 3, câmera Canon, distância D1 e 17 pontos de calibração. Podemos também restringir o número de pixels usando por exemplo, Y2-I1-Ca-D2-P24. Nesse caso estamos falando apenas do y com 2 pixels de perturbação. Se quisermos omitir uma variável, basta apenas colocar XX na posição correspondente, por exemplo: K-I3-XX-D1-P23. Desta forma o que for relacionado à câmera será explicitado no texto.

### 4.3 Regra 1

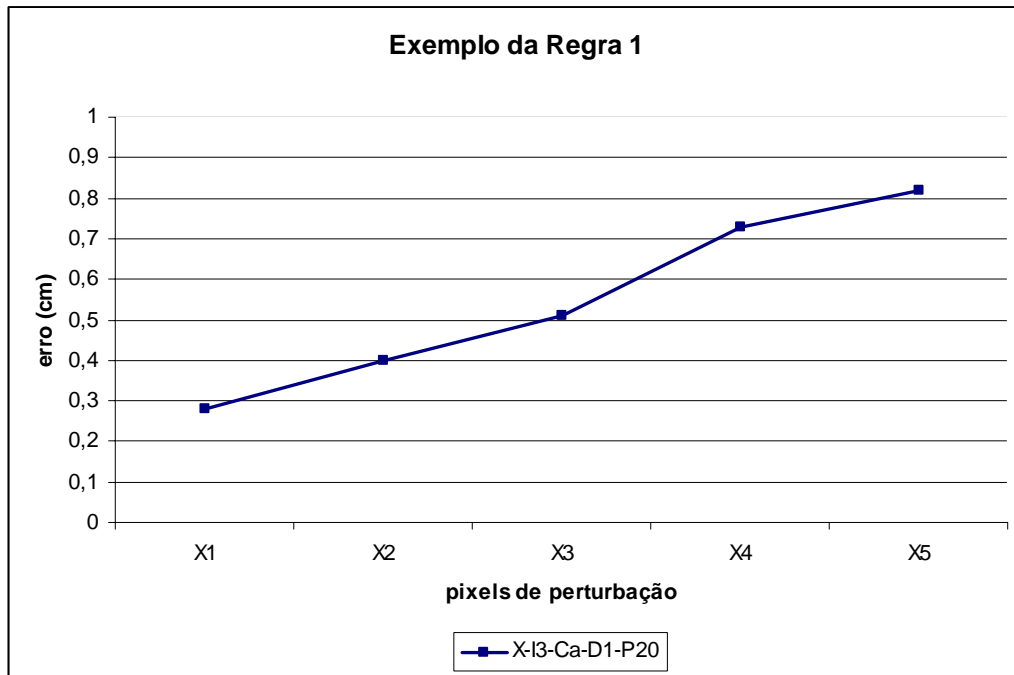
**“Os erros aumentam quando a perturbação passa de 1 para 5 pixels, independente do parâmetro e da configuração escolhida”**

De acordo com a Regra 1, observa-se que os erros, em qualquer parâmetro (coordenadas, ângulos ou  $v$ ), aumentam quando mais pixels de perturbação são adicionados nos dados de calibração. Essa regra vale para qualquer configuração, ou seja, qualquer câmara, qualquer distância, qualquer quantidade de pontos de calibração e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*.

Usando o código definido no Item 4.2, podem-se observar a Regra 1, a partir de exemplos para cada parâmetro na Tabela 10.

*Tabela 10: Exemplo da Regra 1*

Configuração <b>X-I3-Ca-D1-P20</b>	X0 <b>52,69</b>	X1 <b>0,28</b>	X2 <b>0,40</b>	X3 <b>0,51</b>	X4 <b>0,73</b>	X5 <b>0,82</b>
Configuração <b>Y-I2-OI-D2-P18</b>	Y0 <b>96,09</b>	Y1 <b>2,73</b>	Y2 <b>4,16</b>	Y3 <b>9,96</b>	Y4 <b>19,66</b>	Y5 <b>25,52</b>
Configuração <b>Z-I1-Ko-D2-P19</b>	Z0 <b>8,33</b>	Z1 <b>0,25</b>	Z2 <b>0,34</b>	Z3 <b>0,46</b>	Z4 <b>0,58</b>	Z5 <b>0,81</b>
Configuração <b>W-I2-Ca-D2-P13</b>	W0 <b>89,28</b>	W1 <b>1,22</b>	W2 <b>1,50</b>	W3 <b>1,60</b>	W4 <b>2,06</b>	W5 <b>2,90</b>
Configuração <b>F-I1-OI-D2-P21</b>	F0 <b>-46,30</b>	F1 <b>1,24</b>	F2 <b>1,94</b>	F3 <b>2,79</b>	F4 <b>3,56</b>	F5 <b>4,48</b>
Configuração <b>K-I3-Ko-D1-P15</b>	K0 <b>-177,36</b>	K1 <b>0,18</b>	K2 <b>0,27</b>	K3 <b>0,32</b>	K4 <b>0,40</b>	K5 <b>0,60</b>
Configuração <b>N-I1-OI-D1-P24</b>	N0 <b>0,6%</b>	N1 <b>1,0%</b>	N2 <b>1,5%</b>	N3 <b>1,9%</b>	N4 <b>2,5%</b>	N5 <b>3,1%</b>



*Figura 13: Gráfico ilustrativo da Regra 1*

O gráfico da Figura 13 mostra a variação do erro na primeira configuração da Regra 1. Neste caso, é possível ver que o erro cresce conforme aumentamos o número de pixels de perturbação.

## 4.4 Regra 2

**“Câmeras com resolução maior produzem erros menores, independente do parâmetro e da configuração escolhida”**

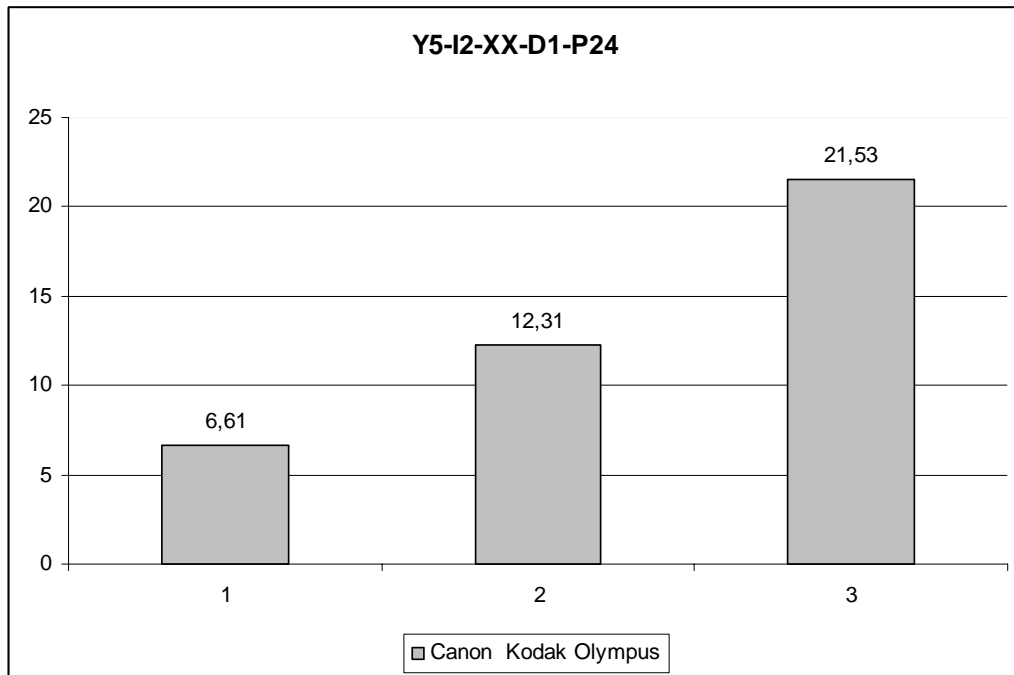
De acordo com a Regra 2, observam-se que com câmeras de melhor resolução, os erros são menores, se comparados com câmeras de menor resolução. Isso vale para qualquer parâmetro (coordenadas, ângulos ou  $v$ ), independente da configuração, ou seja, quaisquer câmeras comparadas, qualquer distância, qualquer quantidade de pontos de calibração e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 2, a partir de exemplos na Tabela 11.

*Tabela 11: Exemplo da Regra 2*

Configuração	Canon (10 Megapixels)	Kodak (5 Megapixels)	Olympus (3.2 Megapixels)
<b>X1-I1-XX-D1-P24</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>	<b>0,29</b>
<b>Y5-I2-XX-D2-P16</b>	<b>6,61</b>	<b>12,31</b>	<b>21,53</b>
<b>Z3-I3-XX-D2-P22</b>	<b>0,55</b>	<b>0,68</b>	<b>1,02</b>
<b>W2-I3-XX-D1-P14</b>	<b>0,23</b>	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>
<b>F4-I2-XX-D1-P21</b>	<b>1,51</b>	<b>1,89</b>	<b>2,34</b>
<b>K5-I1-XX-D2-P12</b>	<b>1,00</b>	<b>1,11</b>	<b>1,24</b>
<b>N3-I1-XX-D2-P24</b>	<b>5,8%</b>	<b>7,4%</b>	<b>10,3%</b>





*Figura 14: Gráfico ilustrativo da Regra 2*

O gráfico da Figura 14 mostra a variação do erro na segunda configuração da Regra 2. Neste caso, observamos que o erro da câmera Canon é menor comparado aos erros das outras câmeras.

## 4.5 Regra 3

**“Quanto mais próximo estiver o *grid* da câmera, menores serão os erros provocados pelas perturbações”**

De acordo com a Regra 3, temos que os erros nas coordenadas são menores em imagens mais próximas, independente do parâmetro (coordenadas, ângulos ou  $v$ ) ou da configuração escolhida, ou seja, qualquer câmera, qualquer quantidade de pontos de calibração e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*. Isso se deve ao fato de, nas imagens mais próximas, a distância referente a um pixel ser menor comparada com o tamanho do pixel em imagens mais afastadas.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 3, a partir de exemplos na Tabela 12.

*Tabela 12: Exemplo da Regra 3*

Configuração	D1	D2
<b>X1-I1-Ca-XX-P12</b>	<b>0,28</b>	<b>2,26</b>
<b>Y3-I2-Ko-XX-P18</b>	<b>0,81</b>	<b>5,21</b>
<b>Z5-I3-OI-XX-P21</b>	<b>0,38</b>	<b>1,70</b>
<b>W2-I2-Ko-XX-P15</b>	<b>0,45</b>	<b>1,82</b>
<b>F1-I1-OI-XX-P23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,84</b>
<b>K4-I3-Ca-XX-P16</b>	<b>0,32</b>	<b>1,55</b>
<b>N0-I2-Ko-XX-P24</b>	<b>0,4%</b>	<b>1,1%</b>

## 4.6 Regra 4

**“Nas coordenadas, os erros em z são menores do que os erros em x e y, para perturbações de 1 a 5 pixels, independente da configuração escolhida”**

De acordo com a Regra 4, temos que, os erros em z (com relação ao z obtido sem perturbação) são menores do que em x e y independente da configuração escolhida, ou seja, qualquer câmera, qualquer quantidade de pontos de calibração, qualquer distância e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 4, a partir de exemplos na Tabela 13.

*Tabela 13: Exemplo da Regra 4*

Configuração <b>XX-I1-Ca-D1-P17</b>	X3 <b>0,50</b>	Y3 <b>0,55</b>	Z3 <b>0,12</b>
Configuração <b>XX-I2-Ko-D2-P19</b>	X1 <b>2,76</b>	Y1 <b>2,53</b>	Z1 <b>0,21</b>
Configuração <b>XX-I1-OI-D1-P12</b>	X5 <b>1,71</b>	Y5 <b>1,77</b>	Z5 <b>0,45</b>
Configuração <b>XX-I3-Ko-D2-P24</b>	X2 <b>5,55</b>	Y2 <b>5,31</b>	Z2 <b>0,41</b>

## 4.7 Regra 5

**“Os erros nos parâmetros x e y possuem mesma ordem de grandeza, independente da configuração escolhida”**

De acordo com a Regra 5, observamos que, os erros em x e y são parecidos independente da configuração escolhida, ou seja, qualquer câmera, qualquer quantidade de pontos de calibração, qualquer distância e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*. Isso se deve ao fato do *grid* estar centralizado na foto e os parâmetros possuem estimativas bastante semelhantes.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 5, a partir de exemplos na Tabela 14.

*Tabela 14: Exemplo da Regra 5*

Configuração <b>XX-I2-Ko-D1-P20</b>	X1 <b>0,47</b>	Y1 <b>0,46</b>
Configuração <b>XX-I1-OI-D2-P14</b>	X4 <b>20,62</b>	Y4 <b>19,43</b>
Configuração <b>XX-I3-Ca-D1-P24</b>	X2 <b>0,26</b>	Y2 <b>0,25</b>
Configuração <b>XX-I1-Ca-D2-P12</b>	X3 <b>5,15</b>	Y3 <b>5,22</b>

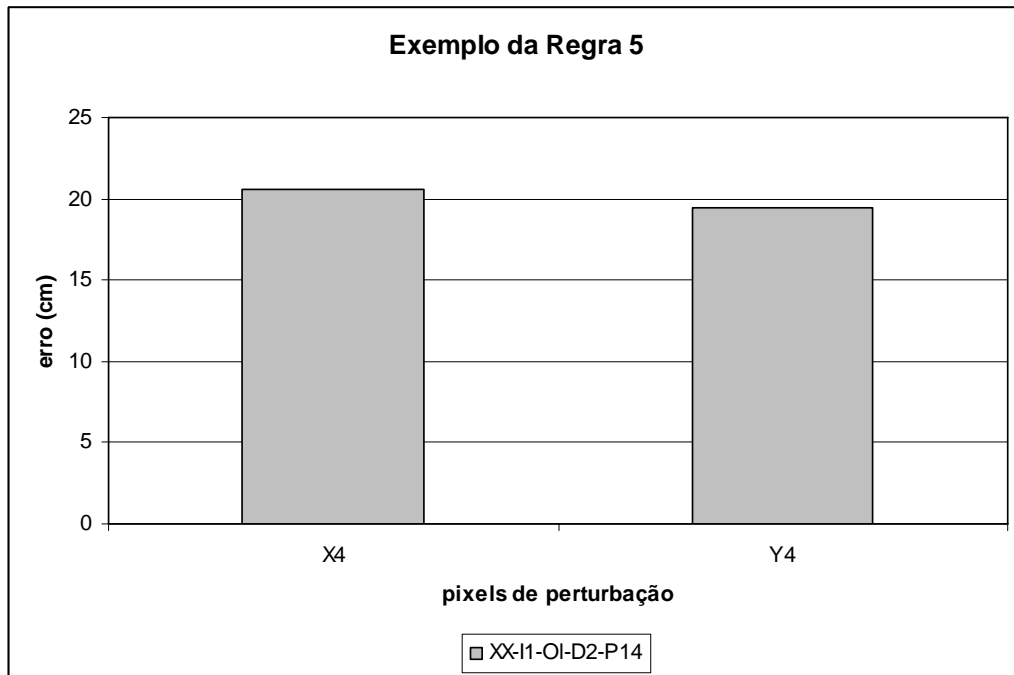


Figura 15: Gráfico ilustrativo da Regra 5

O gráfico da Figura 15 mostra a variação do erro na segunda configuração da Regra 5. Neste caso, observamos que os erros dos parâmetros x e y são de mesma ordem de grandeza.

## 4.8 Regra 6

**“Os erros nos ângulos ( $\omega$ ,  $\varphi$  e  $\kappa$ ) são equiparados, independente da configuração escolhida”**

De acordo com a Regra 6, observamos que, os erros nos ângulos são parecidos e independentes da configuração escolhida, ou seja, qualquer câmera, qualquer quantidade de pontos de calibração, qualquer distância e qualquer tomada de índice de pontos do *grid*. Nessa Regra, vemos que os ângulos não possuem valores absolutos próximos mas os mesmos podem ser equiparados, pois a diferença entre eles é em torno de 1 grau, que comparado com o círculo trigonométrico ( $360^\circ$ ) se torna irrelevante ( $1^\circ/360^\circ$ ). Isso não ocorre quando comparamos as distâncias onde em um universo de 50 centímetros, um centímetro levaria a um fator maior (1cm/50cm).

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 6, a partir de exemplos na Tabela 15.

*Tabela 15: Exemplo da Regra 6*

Configuração <b>XX-I2-Ko-D1-P18</b>	W2 <b>0,29</b>	F2 <b>0,23</b>	K2 <b>0,21</b>
Configuração <b>XX-I1-OI-D1-P12</b>	W4 <b>1,19</b>	F4 <b>0,87</b>	K4 <b>0,94</b>
Configuração <b>XX-I3-Ca-D2-P23</b>	W3 <b>1,38</b>	F3 <b>1,08</b>	K3 <b>1,01</b>
Configuração <b>XX-I1-Ko-D2-P21</b>	W1 <b>0,87</b>	F1 <b>1,13</b>	K1 <b>0,64</b>

## 4.9 Regra 7

**“Para a distância D1, calibrações com 24 pontos apresentam erros menores, para coordenadas e ângulos, se comparados às calibrações com 12 pontos”**

Pela Regra 7, podemos observar que as calibrações com 24 pontos apresentam erros menores, nas coordenadas e nos ângulos, quando comparados com as calibrações com 12 pontos. Isso é independente da câmera, ou índice de pontos do *grid*.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 7, a partir de exemplos na Tabela 16.

*Tabela 16: Exemplo da Regra 7*

Configuração	P24	P12	Variação (%)
<b>X1-I2-Ca-D1-XX</b>	<b>0,16</b>	<b>1,91</b>	<b>1093,75</b>
<b>Y3-I1-Ko-D1-XX</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	<b>8,82</b>
<b>Z5-I3-OI-D1-XX</b>	<b>0,27</b>	<b>0,64</b>	<b>137,04</b>
<b>W4-I1-Ca-D1-XX</b>	<b>0,43</b>	<b>1,10</b>	<b>155,81</b>
<b>F2-I2-OI-D1-XX</b>	<b>0,29</b>	<b>0,50</b>	<b>72,41</b>
<b>K1-I3-Ko-D1-XX</b>	<b>0,14</b>	<b>0,19</b>	<b>35,71</b>

Na coluna de variação podemos notar quantitativamente essa comparação. Por exemplo, para a primeira configuração, temos uma variação de 1093,75 %, ou seja, os erros para calibração com 12 pontos chegam a mais de mil vezes os erros para calibração com 24 pontos neste caso.

## 4.10 Regra 8

**“Em situações com distância D1, independente da câmera e calibração com 12 pontos, as coordenadas x e y apresentam erros menores se usamos o índice 1 de pontos do *grid*”**

Observamos na Regra 8 que o índice 1 de pontos do *grid* apresenta erros menores, em x e y, se comparado com os demais Índices. Essa regra vale quando calibramos com 12 pontos, para qualquer câmera e usando a distância D1.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 8, a partir de exemplos na Tabela 17.

*Tabela 17: Exemplo da Regra 8*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>X5-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,95</b>	<b>1,62</b>	<b>2,09</b>
<b>Y4-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,82</b>	<b>1,94</b>	<b>1,36</b>
<b>X1-XX-OI-D1-P12</b>	<b>0,39</b>	<b>2,04</b>	<b>1,72</b>
<b>Y3-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,57</b>	<b>2,16</b>	<b>1,11</b>
<b>X2-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,47</b>	<b>1,63</b>	<b>1,07</b>
<b>Y4-XX-OI-D1-P12</b>	<b>1,23</b>	<b>2,04</b>	<b>2,09</b>

É de se esperar que o índice 1 de pontos do *grid* tenha erros menores pois estamos calibrando com pontos mais espalhados, diferente do índice 3 de pontos do *grid* onde privilegiamos as bordas. Um estudo mais aprofundado sobre a influência dos índices de pontos do *grid* na calibração não é escopo deste projeto e é indicado no Capítulo 5 como propostas de trabalhos futuros.



## 4.11 Regra 9

**“Para calibrações com 12 pontos, com 5 pixels de perturbação, independente da distância e da câmera, os erros da coordenada z são menores se usamos o índice 2 de pontos do *grid*”**

Observamos na Regra 9 que o índice 2 de pontos do *grid* apresenta erros menores, em z, se comparado com os demais Índices. Essa regra vale para situações onde temos calibração com 12 pontos e 5 pixels de perturbação, para qualquer câmera e qualquer distância.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 9, a partir de exemplos na Tabela 18.

*Tabela 18: Exemplo da Regra 9*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>Z5-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,25</b>	<b>0,19</b>	<b>0,36</b>
<b>Z5-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,33</b>	<b>0,26</b>	<b>0,47</b>
<b>Z5-XX-OI-D1-P12</b>	<b>0,45</b>	<b>0,34</b>	<b>0,64</b>
<b>Z5-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>1,01</b>	<b>0,82</b>	<b>1,41</b>
<b>Z5-XX-Ko-D2-P12</b>	<b>1,23</b>	<b>1,03</b>	<b>1,78</b>
<b>Z5-XX-OI-D2-P12</b>	<b>1,60</b>	<b>1,35</b>	<b>2,18</b>

Apesar de, na regra anterior que analisa as coordenadas x e y, o índice 1 de pontos do *grid* apresentar erros menores comparados com os outros, nesta regra, para a coordenada z, quem apresenta erros menores é o índice 2 de pontos do *grid*.

## 4.12 Regra 10

**“Para calibrações com 12 pontos, independentemente da distância e da câmera, os erros dos ângulos e do  $v$ , são menores se usamos o índice 3 de pontos do *grid*”**

Observamos na Regra 10 que o índice 3 de pontos do *grid* apresenta erros menores, nos ângulos e no  $v$ , se comparado com os demais Índices. Essa regra vale para situações com 12 pontos de calibração, para qualquer câmera e qualquer distância.

Usando o código definido no Item 4.2, podemos observar a Regra 10, a partir de exemplos na Tabela 19.

*Tabela 19: Exemplo da Regra 10*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>W1-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>1,12</b>	<b>0,34</b>	<b>0,13</b>
<b>F3-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,56</b>	<b>0,43</b>	<b>0,33</b>
<b>K4-XX-OI-D1-P12</b>	<b>0,94</b>	<b>0,57</b>	<b>0,52</b>
<b>N0-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,62%</b>	<b>0,52%</b>	<b>0,45%</b>
<b>W5-XX-Ko-D2-P12</b>	<b>4,62</b>	<b>3,70</b>	<b>1,99</b>
<b>F2-XX-OI-D2-P12</b>	<b>2,22</b>	<b>2,12</b>	<b>1,26</b>
<b>K1-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>2,04</b>	<b>0,81</b>	<b>0,39</b>
<b>N3-XX-Ko-D2-P12</b>	<b>6,24%</b>	<b>7,95%</b>	<b>4,63%</b>

Neste caso, verificamos que o índice 3 de pontos do *grid* apresenta erros menores para os ângulos e para o  $v$ , diferente das regras para coordenadas.

## Validação das Regras

Para validar as regras estabelecidas, novas imagens serão necessárias, e, após a aplicação da metodologia desenvolvida, uma nova análise de dados. As imagens foram geradas com duas câmeras: Canon G7 e Kodak EasyShare C530.

### 4.12.1 Validação da Regra 1

Observando os novos dados obtidos, valida-se a Regra 1 a partir de exemplos da Tabela 20.

*Tabela 20: Validação da Regra 1*

Configuração <b>X-I1-Ca-D1-P12</b>	X0 <b>64,59</b>	X1 <b>0,38</b>	X2 <b>0,68</b>	X3 <b>0,99</b>	X4 <b>1,33</b>	X5 <b>1,69</b>
Configuração <b>Y-I2-Ko-D1-P21</b>	Y0 <b>58,69</b>	Y1 <b>0,66</b>	Y2 <b>0,72</b>	Y3 <b>0,81</b>	Y4 <b>1,01</b>	Y5 <b>1,81</b>
Configuração <b>Z-I2-Ko-D2-P18</b>	Z0 <b>10,11</b>	Z1 <b>0,15</b>	Z2 <b>0,26</b>	Z3 <b>0,32</b>	Z4 <b>0,39</b>	Z5 <b>0,57</b>
Configuração <b>W-I3-Ko-D1-P15</b>	W0 <b>86,10</b>	W1 <b>0,23</b>	W2 <b>0,41</b>	W3 <b>0,58</b>	W4 <b>0,81</b>	W5 <b>1,08</b>
Configuração <b>F-I3-Ca-D2-P23</b>	F0 <b>-48,44</b>	F1 <b>0,56</b>	F2 <b>0,80</b>	F3 <b>1,19</b>	F4 <b>1,24</b>	F5 <b>1,62</b>
Configuração <b>K-I1-Ko-D1-P14</b>	K0 <b>178,27</b>	K1 <b>0,58</b>	K2 <b>0,71</b>	K3 <b>0,79</b>	K4 <b>1,02</b>	K5 <b>1,17</b>
Configuração <b>N-I3-Ko-D1-P24</b>	N0 <b>0,53%</b>	N1 <b>1,06%</b>	N2 <b>1,72%</b>	N3 <b>2,37%</b>	N4 <b>3,06%</b>	N5 <b>3,92%</b>

#### 4.12.2 Validação da Regra 2

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 2 a partir de exemplos da Tabela 21.

*Tabela 21: Validação da Regra 2*

Configuração	Canon	Kodak
<b>X1-I1-XX-D1-P17</b>	<b>0,48</b>	<b>0,57</b>
<b>Y5-I3-XX-D1-P12</b>	<b>3,55</b>	<b>3,67</b>
<b>Z3-I2-XX-D1-P14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,21</b>
<b>W2-I2-XX-D1-P22</b>	<b>0,31</b>	<b>0,36</b>
<b>F4-I1-XX-D1-P24</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>
<b>K5-I3-XX-D1-P15</b>	<b>0,64</b>	<b>0,76</b>
<b>N3-I1-XX-D1-P13</b>	<b>0,87%</b>	<b>0,95%</b>

#### 4.12.3 Validação da Regra 3

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 3 a partir de exemplos da Tabela 22.

*Tabela 22: Validação da Regra 3*

Configuração	D1	D2
<b>X1-I1-Ca-XX-P24</b>	<b>0,31</b>	<b>1,69</b>
<b>Y2-I2-Ca-XX-P18</b>	<b>1,76</b>	<b>2,77</b>
<b>Z5-I3-Ca-XX-P21</b>	<b>0,29</b>	<b>0,66</b>
<b>W3-I2-Ca-XX-P15</b>	<b>0,69</b>	<b>2,53</b>
<b>F1-I1-Ca-XX-P23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,47</b>
<b>K4-I3-Ca-XX-P16</b>	<b>0,33</b>	<b>1,66</b>
<b>N0-I2-Ca-XX-P12</b>	<b>0,53%</b>	<b>0,97%</b>

#### 4.12.4 Validação da Regra 4

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 4 a partir de exemplos da Tabela 23.

*Tabela 23: Validação da Regra 4*

Configuração <b>XX-I1-Ca-D1-P21</b>	X3 <b>0,95</b>	Y3 <b>0,78</b>	Z3 <b>0,13</b>
Configuração <b>XX-I1-Ko-D1-P14</b>	X1 <b>0,64</b>	Y1 <b>0,47</b>	Z1 <b>0,10</b>
Configuração <b>XX-I2-Ca-D2-P24</b>	X5 <b>14,86</b>	Y5 <b>13,26</b>	Z5 <b>0,52</b>
Configuração <b>XX-I3-Ko-D1-P</b>	X2 <b>1,99</b>	Y2 <b>1,49</b>	Z2 <b>0,27</b>

#### 4.12.5 Validação da Regra 5

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 5 a partir de exemplos da Tabela 24.

*Tabela 24: Validação da Regra 5*

Configuração <b>XX-I2-Ko-D1-P16</b>	X1 <b>2,47</b>	Y1 <b>2,44</b>
Configuração <b>XX-I1-Ca-D2-P20</b>	X4 <b>7,07</b>	Y4 <b>6,96</b>
Configuração <b>XX-I3-Ko-D1-P18</b>	X2 <b>0,53</b>	Y2 <b>0,52</b>
Configuração <b>XX-I2-Ca-D2-P</b>	X3 <b>20,75</b>	Y3 <b>20,02</b>

#### 4.12.6 Validação da Regra 6

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 6 a partir de exemplos da Tabela 25.

*Tabela 25: Validação da Regra 6*

Configuração	W2	F2	K2
<b>XX-I2-Ko-D1-P17</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>
Configuração	W4	F4	K4
<b>XX-I1-Ca-D1-P22</b>	<b>0,59</b>	<b>0,51</b>	<b>0,42</b>
Configuração	W3	F3	K3
<b>XX-I3-Ko-D1-P15</b>	<b>0,58</b>	<b>0,51</b>	<b>0,43</b>
Configuração	W1	F1	K1
<b>XX-I1-Ca-D2-P23</b>	<b>0,67</b>	<b>0,47</b>	<b>0,51</b>

#### 4.12.7 Validação da Regra 7

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 7 a partir de exemplos da Tabela 26.

*Tabela 26: Validação da Regra 7*

Configuração	P24	P12
<b>X1-I2-Ca-D1-XX</b>	<b>0,31</b>	<b>3,54</b>
<b>Y3-I1-Ko-D1-XX</b>	<b>1,21</b>	<b>1,28</b>
<b>Z5-I3-Ca-D1-XX</b>	<b>0,18</b>	<b>0,53</b>
<b>W4-I1-Ca-D1-XX</b>	<b>0,65</b>	<b>1,10</b>
<b>F2-I2-Ko-D1-XX</b>	<b>0,31</b>	<b>0,50</b>
<b>K1-I3-Ko-D1-XX</b>	<b>0,191</b>	<b>0,194</b>

#### 4.12.8 Validação da Regra 8

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 8 a partir de exemplos da Tabela 27.

*Tabela 27: Validação da Regra 8*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>X5-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>1,70</b>	<b>2,75</b>	<b>3,95</b>
<b>Y4-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>1,47</b>	<b>2,53</b>	<b>2,82</b>
<b>X1-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,38</b>	<b>3,54</b>	<b>2,66</b>
<b>Y1-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,41</b>	<b>2,97</b>	<b>1,42</b>
<b>X2-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,80</b>	<b>2,39</b>	<b>1,99</b>
<b>Y4-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>1,17</b>	<b>3,55</b>	<b>3,03</b>

#### 4.12.9 Validação da Regra 9

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 9 a partir de exemplos da Tabela 28.

*Tabela 28: Validação da Regra 9*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>Z5-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>0,35</b>	<b>0,28</b>	<b>0,53</b>
<b>Z5-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,42</b>	<b>0,35</b>	<b>0,85</b>
<b>Z5-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>0,99</b>	<b>0,87</b>	<b>1,31</b>

#### 4.12.10 Validação da Regra 10

Observando os novos dados obtidos, verifica-se a Regra 10 a partir de exemplos da Tabela 29.

*Tabela 29: Validação da Regra 10*

Configuração	Índice 1	Índice 2	Índice 3
<b>W1-XX-Ca-D1-P12</b>	<b>1,05</b>	<b>0,41</b>	<b>0,18</b>
<b>F3-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,66</b>	<b>0,65</b>	<b>0,37</b>
<b>K3-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>1,66</b>	<b>1,61</b>	<b>1,43</b>
<b>N2-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>1,49%</b>	<b>1,30%</b>	<b>1,06%</b>
<b>W5-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>1,69</b>	<b>1,23</b>	<b>0,85</b>
<b>F3-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>2,52</b>	<b>2,35</b>	<b>2,02</b>
<b>K1-XX-Ko-D1-P12</b>	<b>0,90</b>	<b>0,34</b>	<b>0,19</b>
<b>N3-XX-Ca-D2-P12</b>	<b>8,25%</b>	<b>10,64%</b>	<b>7,18%</b>



# Capítulo 5:

## Conclusão

Neste projeto foi realizada uma análise dos erros dos algoritmos de calibração e de dimensionamento em função da imprecisão nas coordenadas dos pontos de referência.

Para este estudo, utilizamos um objeto de referência (*grid*) e três câmeras com diferentes resoluções. Capturamos imagens estéreo do *grid*. Destas imagens, conseguimos obter a posição da câmera no espaço e realizar o dimensionamento de objetos.

As análises tomaram como base o tipo de câmera, a quantidade de pontos do *grid* que serviram para a calibração da mesma (mínimo de 12 e máximo de 24 pontos), as distâncias da câmera ao *grid* (D1 e D2) e três diferentes índices de escolha de pontos do *grid* para calibrações entre 12 e 23 pontos. Foi estudada também a influência de perturbações através da adição de erros nos valores dos pixels (máximo de 5 pixels) na imagem.

Os parâmetros de estudo foram os de orientação exterior das câmeras e um parâmetro que mede a qualidade do dimensionamento. Os parâmetros de orientação exterior eram as coordenadas e os ângulos de orientação da câmera. Para análise da qualidade do dimensionamento, definiu-se um parâmetro  $v$ , que é o erro percentual das distâncias dos pontos do *grid*.

Foram desenvolvidos métodos para se chegar aos dados finais de análise e, com a análise desses dados, definiram-se algumas regras. Estas regras não foram todas as possíveis a partir dos dados obtidos e sim, algumas observadas quando se estudou o comportamento dos parâmetros.

A partir das regras, pode-se prever qual conjunto de escolhas gerará um resultado satisfatório. Sabemos que as fotos com a distância D1 fornecem erros menores, câmeras com resolução maior também são melhores para captura de imagens. Utilizar calibração sempre com o maior número de pontos possíveis também contribui para uma maior precisão nos

resultados e procurar também distribuir uniformemente os pontos ao longo do *grid* quando for necessário calibrar com menos pontos.

O conhecimento destas regras é de extrema valia, por exemplo em aplicações práticas de processamento de imagens submarinas, pois a economia na obtenção das fotos reflete no trabalho do operador dos robôs que descem a grandes profundidades e sua manipulação possui algumas limitações, sem falar no custo de manutenção desses equipamentos que também é alto.

Algumas possíveis propostas de trabalho futuro foram observadas. A primeira seria um prévio processamento na imagem do *grid* de forma a eliminar possíveis erros humanos na marcação dos pontos e na criação do arquivo de calibração. Acredita-se também que, ao aumentarmos as distâncias, os erros também aumentariam muito. Uma segunda proposta seria realizar um estudo de qual seria a distância entre D1 e D2 em que se verificasse a alteração nas regras e procurar verificar o comportamento das regras em outras distâncias. A terceira proposta seria realizar um estudo mais detalhado do comportamento dos índices de tomada de pontos do *grid* e, conseqüentemente, definir novas regras para estes índices.

# Apêndice A:

## Imagens Obtidas

As tabelas abaixo mostram todas as imagens adquiridas neste projeto. Com elas, conseguimos chegar aos resultados que se encontram no Apêndice D. Definimos os nomes dos arquivos como *IM\_Câmera\_Posição\_Distância*.

*Tabela 30: Imagens Obtidas (Canon)*

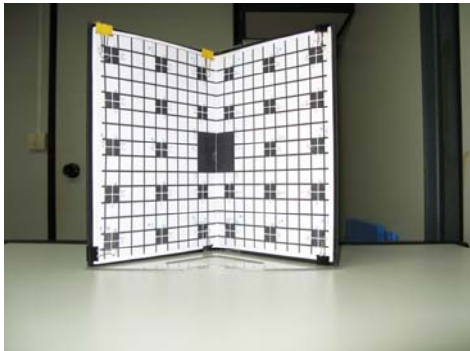
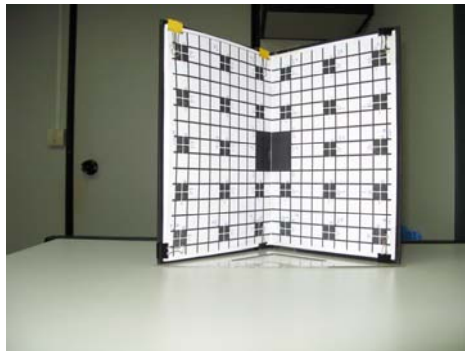
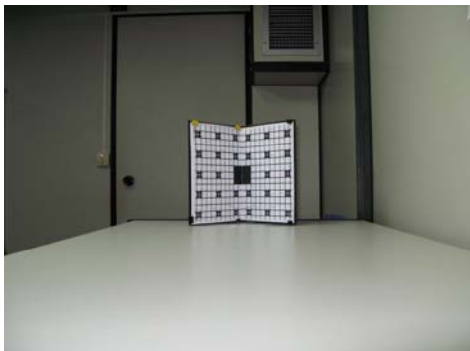

IM_Canon_Principal_D1	IM_Canon_Secundária_D1
	
IM_Canon_Principal_D2	IM_Canon_Secundária_D2
	

Tabela 31: *Imagens Obtidas (Kodak)*

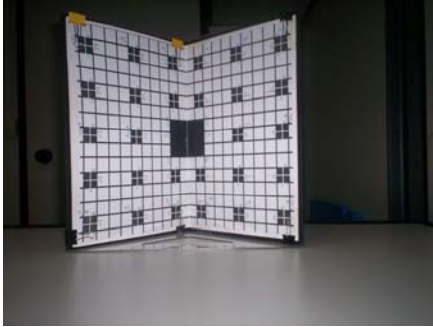
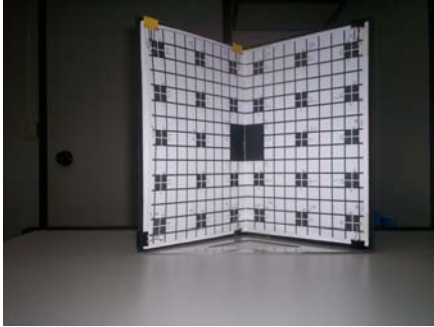
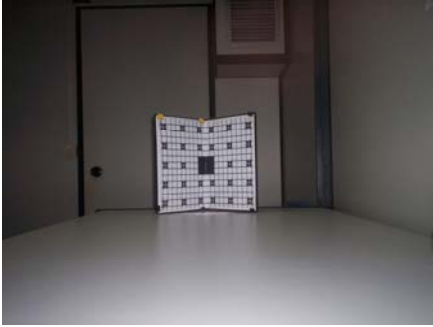
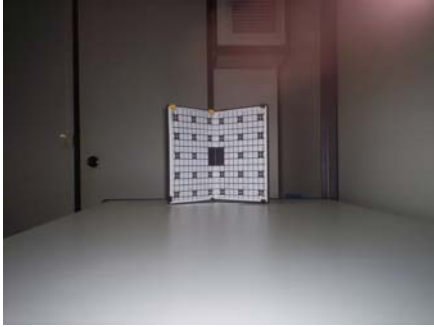
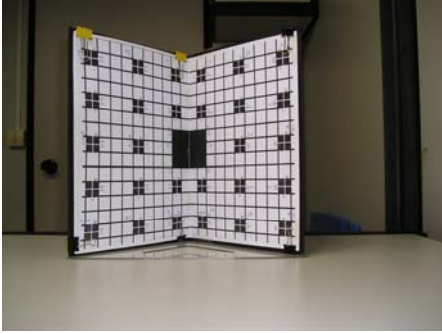
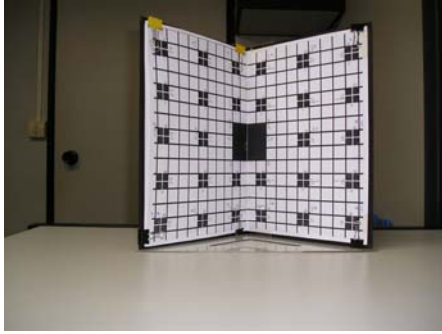
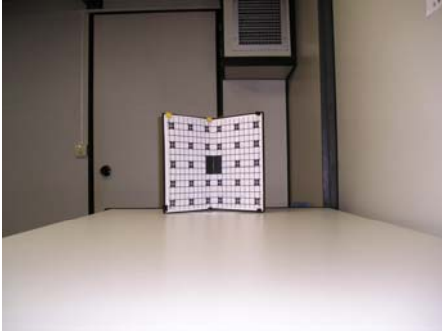

IM_Kodak_Principal_D1	IM_Kodak_Secundária_D1
	
IM_Kodak_Principal_D2	IM_Kodak_Secundária_D2
	

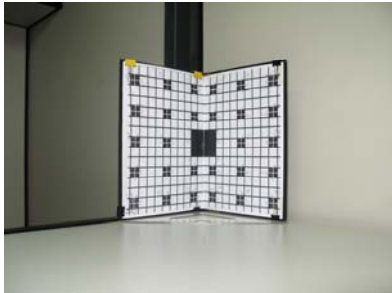
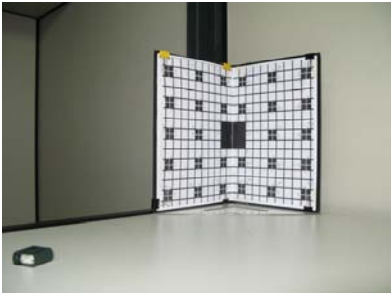


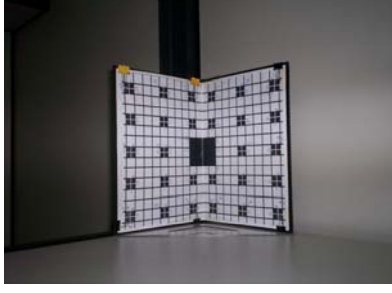
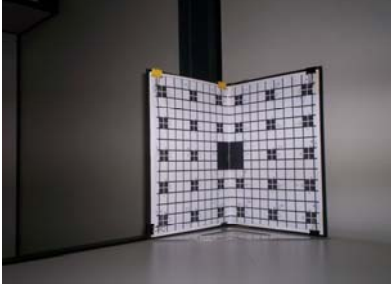
Tabela 32: *Imagens Obtidas (Olympus)*

IM_Olympus_Principal_D1	IM_Olympus_Secundária_D1
	
IM_Olympus_Principal_D2	IM_Olympus_Secundária_D2
	

# Imagens Para Validação

As tabelas abaixo mostram as imagens geradas posteriormente à definição das regras de forma a validá-las. Definimos, novamente, os nomes dos arquivos como *IM\_Câmera\_Posição\_Distância*.

Tabela 33: Imagens para a Validação (Canon e Kodak)

IM_Canon_Principal_D1	IM_Canon_Secundária_D1
	
IM_Canon_Principal_D2	IM_Canon_Secundária_D2
	
IM_Kodak_Principal_D1	IM_Kodak_Secundária_D1
	

# Apêndice B:

## Arquivos de Calibração

Os arquivos de calibração são arquivos texto onde encontramos as coordenadas 2D na imagem (pixels) e 3D dos alvos (pontos conhecidos) do *grid*. As coordenadas 2D são os pixels no plano XY, correspondentes a cada alvo na imagem onde esses valores são conseguidos facilmente a partir de qualquer editor de imagens. As coordenadas 3D são as distâncias reais também medidas para cada alvo e o método para obtenção desses valores não é o foco neste trabalho. Definimos os nomes dos arquivos como *AC\_Câmera\_Posição\_Distância*. Nas tabelas abaixo encontraremos os arquivos de calibração criados para este projeto.

Tabela 34: Arquivos de Calibração (Canon – D1)

AC_Canon_Principal_D1	AC_Canon_Secundária_D1
18.8 00 23.7 837 403	18.8 00 23.7 1388 375
10.9 00 23.7 1227 477	10.9 00 23.7 1734 459
2.9 00 23.7 1543 547	2.9 00 23.7 2005 536
00 2.9 23.6 1753 548	00 2.9 23.6 2212 542
00 10.8 23.6 2064 478	00 10.8 23.6 2555 482
00 18.7 23.6 2431 401	00 18.7 23.6 2953 417
18.8 00 17.8 846 757	18.8 00 17.8 1400 730
10.9 00 17.8 1227 807	10.9 00 17.8 1733 787
2.9 00 17.8 1546 851	2.9 00 17.8 2008 838
00 2.9 17.7 1754 850	00 2.9 17.7 2213 841
00 10.8 17.7 2070 805	00 10.8 17.7 2560 804
00 18.7 17.7 2439 753	00 18.7 17.7 2959 762
18.8 00 5.9 843 1492	18.8 00 5.9 1390 1467
10.9 00 5.9 1229 1481	10.9 00 5.9 1730 1459
2.9 00 5.9 1550 1471	2.9 00 5.9 2006 1453
00 2.9 5.9 1758 1467	00 2.9 5.9 2211 1451
00 10.8 5.9 2074 1470	00 10.8 5.9 2558 1458
00 18.7 5.9 2447 1472	00 18.7 5.9 2960 1465
18.8 00 00 838 1857	18.8 00 00 1377 1832
10.9 00 00 1231 1817	10.9 00 00 1725 1794
2.9 00 00 1550 1780	2.9 00 00 2001 1760
00 2.9 00 1762 1775	00 2.9 00 2210 1756
00 10.8 00 2074 1803	00 10.8 00 2553 1786
00 18.7 00 2449 1834	00 18.7 00 2956 1817



Tabela 35: Arquivos de Calibração (Canon – D2)

AC_Canon_Principal_D2	AC_Canon_Secundária_D2
18.8 00 23.7 1511 1005	18.8 00 23.7 1662 984
10.9 00 23.7 1667 1018	10.9 00 23.7 1810 998
2.9 00 23.7 1802 1033	2.9 00 23.7 1938 1015
00 2.9 23.6 1903 1033	00 2.9 23.6 2037 1016
00 10.8 23.6 2048 1017	00 10.8 23.6 2189 1001
00 18.7 23.6 2207 1000	00 18.7 23.6 2355 986
18.8 00 17.8 1519 1161	18.8 00 17.8 1670 1141
10.9 00 17.8 1669 1170	10.9 00 17.8 1812 1151
2.9 00 17.8 1806 1179	2.9 00 17.8 1940 1161
00 2.9 17.7 1904 1178	00 2.9 17.7 2038 1161
00 10.8 17.7 2051 1167	00 10.8 17.7 2191 1152
00 18.7 17.7 2209 1156	00 18.7 17.7 2356 1142
18.8 00 5.9 1521 1479	18.8 00 5.9 1669 1459
10.9 00 5.9 1673 1475	10.9 00 5.9 1812 1456
2.9 00 5.9 1808 1472	2.9 00 5.9 1941 1453
00 2.9 5.9 1907 1470	00 2.9 5.9 2038 1452
00 10.8 5.9 2053 1469	00 10.8 5.9 2191 1453
00 18.7 5.9 2212 1469	00 18.7 5.9 2357 1454
18.8 00 00 1517 1637	18.8 00 00 1664 1617
10.9 00 00 1672 1627	10.9 00 00 1811 1608
2.9 00 00 1809 1618	2.9 00 00 1939 1600
00 2.9 00 1908 1615	00 2.9 00 2039 1598
00 10.8 00 2053 1621	00 10.8 00 2190 1604
00 18.7 00 2214 1626	00 18.7 00 2357 1610

Tabela 36: Arquivos de Calibração (Kodak – D1)

AC_Kodak_Principal_D1	AC_Kodak_Secundária_D1
18.8 00 23.7 491 266	18.8 00 23.7 918 290
10.9 00 23.7 782 322	10.9 00 23.7 1169 348
2.9 00 23.7 1014 373	2.9 00 23.7 1365 400
00 2.9 23.6 1166 372	00 2.9 23.6 1515 401
00 10.8 23.6 1392 319	00 10.8 23.6 1767 352
00 18.7 23.6 1660 257	00 18.7 23.6 2068 292
18.8 00 17.8 510 531	18.8 00 17.8 933 552
10.9 00 17.8 790 567	10.9 00 17.8 1172 590
2.9 00 17.8 1021 597	2.9 00 17.8 1369 622
00 2.9 17.7 1171 595	00 2.9 17.7 1516 622
00 10.8 17.7 1398 559	00 10.8 17.7 1770 590
00 18.7 17.7 1665 517	00 18.7 17.7 2069 552
18.8 00 5.9 521 1066	18.8 00 5.9 936 1080
10.9 00 5.9 803 1053	10.9 00 5.9 1177 1072
2.9 00 5.9 1031 1042	2.9 00 5.9 1371 1064
00 2.9 5.9 1180 1038	00 2.9 5.9 1519 1060
00 10.8 5.9 1405 1036	00 10.8 5.9 1771 1063
00 18.7 5.9 1673 1035	00 18.7 5.9 2071 1066
18.8 00 00 520 1330	18.8 00 00 929 1343
10.9 00 00 806 1294	10.9 00 00 1176 1311
2.9 00 00 1034 1263	2.9 00 00 1371 1284
00 2.9 00 1185 1257	00 2.9 00 1521 1280
00 10.8 00 1409 1274	00 10.8 00 1773 1300
00 18.7 00 1679 1293	00 18.7 00 2074 1324

Tabela 37: Arquivos de Calibração (Kodak – D2)

AC_Kodak_Principal_D2	AC_Kodak_Secundária_D2
18.8 00 23.7 957 751	18.8 00 23.7 1024 694
10.9 00 23.7 1071 760	10.9 00 23.7 1132 704
2.9 00 23.7 1170 770	2.9 00 23.7 1225 715
00 2.9 23.6 1242 769	00 2.9 23.6 1296 715
00 10.8 23.6 1346 755	00 10.8 23.6 1406 704
00 18.7 23.6 1461 742	00 18.7 23.6 1527 692
18.8 00 17.8 965 865	18.8 00 17.8 1031 808
10.9 00 17.8 1074 870	10.9 00 17.8 1134 815
2.9 00 17.8 1174 875	2.9 00 17.8 1227 821
00 2.9 17.7 1244 874	00 2.9 17.7 1298 821
00 10.8 17.7 1350 865	00 10.8 17.7 1408 813
00 18.7 17.7 1464 855	00 18.7 17.7 1528 805
18.8 00 5.9 969 1095	18.8 00 5.9 1033 1039
10.9 00 5.9 1079 1090	10.9 00 5.9 1137 1036
2.9 00 5.9 1178 1086	2.9 00 5.9 1230 1033
00 2.9 5.9 1248 1084	00 2.9 5.9 1300 1031
00 10.8 5.9 1353 1083	00 10.8 5.9 1410 1031
00 18.7 5.9 1468 1081	00 18.7 5.9 1531 1030
18.8 00 00 967 1209	18.8 00 00 1030 1153
10.9 00 00 1080 1200	10.9 00 00 1137 1146
2.9 00 00 1179 1192	2.9 00 00 1230 1138
00 2.9 00 1251 1189	00 2.9 00 1302 1136
00 10.8 00 1355 1192	00 10.8 00 1411 1139
00 18.7 00 1471 1194	00 18.7 00 1532 1143

Tabela 38: Arquivos de Calibração (Olympus – D1)

AC_Olympus_Principal_D1	AC_Olympus_Secundária_D1
18.8 00 23.7 412 265	18.8 00 23.7 730 221
10.9 00 23.7 630 307	10.9 00 23.7 924 269
2.9 00 23.7 805 347	2.9 00 23.7 1076 313
00 2.9 23.6 922 348	00 2.9 23.6 1193 316
00 10.8 23.6 1095 309	00 10.8 23.6 1387 281
00 18.7 23.6 1300 265	00 18.7 23.6 1614 242
18.8 00 17.8 418 464	18.8 00 17.8 737 423
10.9 00 17.8 630 492	10.9 00 17.8 925 456
2.9 00 17.8 807 517	2.9 00 17.8 1079 484
00 2.9 17.7 923 516	00 2.9 17.7 1193 486
00 10.8 17.7 1099 491	00 10.8 17.7 1390 463
00 18.7 17.7 1305 461	00 18.7 17.7 1617 438
18.8 00 5.9 417 874	18.8 00 5.9 734 838
10.9 00 5.9 633 868	10.9 00 5.9 924 834
2.9 00 5.9 810 862	2.9 00 5.9 1078 830
00 2.9 5.9 926 860	00 2.9 5.9 1193 829
00 10.8 5.9 1102 860	00 10.8 5.9 1389 832
00 18.7 5.9 1310 861	00 18.7 5.9 1618 835
18.8 00 00 413 1078	18.8 00 00 726 1044
10.9 00 00 633 1056	10.9 00 00 922 1023
2.9 00 00 810 1035	2.9 00 00 1076 1003
00 2.9 00 929 1031	00 2.9 00 1194 1001
00 10.8 00 1103 1045	00 10.8 00 1387 1017
00 18.7 00 1312 1062	00 18.7 00 1617 1034

Tabela 39: Arquivos de Calibração (Olympus – D2)

AC_Olympus_Principal_D2	AC_Olympus_Secundária_D2
18.8 00 23.7 784 584	18.8 00 23.7 832 543
10.9 00 23.7 873 591	10.9 00 23.7 916 551
2.9 00 23.7 949 599	2.9 00 23.7 988 561
00 2.9 23.6 1005 599	00 2.9 23.6 1044 562
00 10.8 23.6 1087 589	00 10.8 23.6 1130 553
00 18.7 23.6 1176 579	00 18.7 23.6 1224 544
18.8 00 17.8 790 672	18.8 00 17.8 837 631
10.9 00 17.8 874 677	10.9 00 17.8 917 637
2.9 00 17.8 951 681	2.9 00 17.8 990 643
00 2.9 17.7 1007 681	00 2.9 17.7 1045 643
00 10.8 17.7 1089 674	00 10.8 17.7 1131 638
00 18.7 17.7 1178 667	00 18.7 17.7 1224 632
18.8 00 5.9 791 851	18.8 00 5.9 837 811
10.9 00 5.9 877 849	10.9 00 5.9 918 810
2.9 00 5.9 954 846	2.9 00 5.9 990 808
00 2.9 5.9 1009 845	00 2.9 5.9 1045 808
00 10.8 5.9 1091 844	00 10.8 5.9 1131 808
00 18.7 5.9 1181 844	00 18.7 5.9 1225 808
18.8 00 00 790 940	18.8 00 00 834 900
10.9 00 00 877 934	10.9 00 00 917 896
2.9 00 00 954 929	2.9 00 00 989 891
00 2.9 00 1011 927	00 2.9 00 1046 889
00 10.8 00 1092 930	00 10.8 00 1131 892
00 18.7 00 1182 932	00 18.7 00 1225 896

# Apêndice C:

## Códigos Desenvolvidos

Nessa seção, apresentaremos exemplos de scripts utilizados para a calibração (Tabela 6) e para o dimensionamento (Tabela 7). Ambos ilustram um exemplo de aplicação para determinada câmera e imagem. Podem-se também passar outros parâmetros como entrada seguindo a formatação como descrito nos comentários.

*Tabela 40: Script de calibração*

```
% Script de calibracao
% Esse script recebe o arquivos de calibracao da imagem principal e
% gera outros arquivos com perturbacoes de 1 a 5 pixels(maxPert).
% Ele realiza o estudo com os erros entre os arquivos com e sem
% perturbacao colocando o resultado em erroCal.
%
% Argumentos de entrada da funcao:
% centerCalfile - arquivo de calibracao da foto principal (central)
% maxPert - maximo de perturbacoes que se quer estudar
% numExec - numero maximo de execucoes (Ex: 50)
% ptsGrid - quantidade de pontos do grid a serem usados (min 12, max 24)

clear all

centerCalfile = 'OlympusD560_principal_perto.txt';
maxPert = 5;
numExec = 50;
ptsGrid = 24;

% Zerando a semente
rand('state',0);
```

```

% Realizando a calibracao do arquivo principal
mainFile = load(centerCalfile);
P0 = CalMF(mainFile);
% index para os pontos do Grid
% indexPtsGrid = [15 16 9 10 17 11 14 8 21 22 3 4];
% indexPtsGrid = [2 23 5 20 8 17 11 14 7 18 3 22];
    indexPtsGrid = [2 23 6 14 11 19 4 7 18 9 21 16];
if(ptsGrid < 24)
    mainFile(indexPtsGrid(1:(24-ptsGrid)), :) = [];
end
newMainFile=mainFile;

P=zeros(10,numExec,maxPert);
erroCal=zeros(6,maxPert);
for iPixel=1:maxPert,
    for count=1:numExec,
        newMainFile(:,4:5) = mainFile(:,4:5) +
(ceil(rand(ptsGrid,2)*(2*iPixel+1))-iPixel-1);
        P(:,count,iPixel)=CalMF(newMainFile);
        erroCal(1:3,iPixel)= erroCal(1:3,iPixel) +
abs(P(1:3,count,iPixel)-(P0(1:3)));
        erroAng = rad2deg(P(4:6,count,iPixel)-(P0(4:6)));
        for i = 1:3,
            if erroAng(i) > (180)
                erroAng(i) = 360 - erroAng(i);
            else if erroAng(i) < (-180)
                erroAng(i) = -360 - erroAng(i);
            end
        end
        erroCal(4:6,iPixel)= erroCal(4:6,iPixel) + abs(erroAng);
    end
end
erroCal=erroCal/numExec;

perturbZero = [0;0;0;0;0;0];

erro = [perturbZero erroCal]

```

*Tabela 41: Script de dimensionamento*

```
% Script de Dimensionamento
% Esse script recebe os arquivos de calibracao da imagem principal e
% da imagem estereo a esquerda e gera outros com perturbacoes de 1 a
% 5 pixels(maxPert).
% Ele calcula o ni sem perturbacao e com as perturbacoes e gera os
graficos
%
% Argumentos de entrada da funcao:
% centerCalfile - arquivo de calibracao da foto principal (central)
% leftCalfile - arquivo de calibracao da foto a esquerda
% maxPert - maximo de perturbacoes que se quer estudar
% numExec - numero maximo de execucoes (Ex: 50)
% ptsGrid - quantidade de pontos do grid a serem usados (min 12, max 24)

clear all

centerCalfile = 'OlympusD560_principal_perto.txt';
leftCalfile = 'OlympusD560_esquerda_perto.txt';
maxPert = 5;
numExec = 50;
ptsGrid = 24;

% Zerando a semente
rand('state',0);

% Carregando as imagens
mainFile = load(centerCalfile);
leftFile = load(leftCalfile);

% index para os pontos do Grid
% indexPtsGrid = [15 16 9 10 17 11 14 8 21 22 3 4];
% indexPtsGrid = [2 23 5 20 8 17 11 14 7 18 3 22];
    indexPtsGrid = [2 23 6 14 11 19 4 7 18 9 21 16];

if(ptsGrid < 24)
    mainFile(indexPtsGrid(1:(24-ptsGrid)), :) = [];
    leftFile(indexPtsGrid(1:(24-ptsGrid)), :) = [];
end
```



```

% variavel com o numero de distancias totais
numDistPossiveis = (ptsGrid)*(ptsGrid-1)/2;

% Calculando as distancias reais em dReal e as distancias estimadas em
dEst
somaErros=zeros(1,maxPert+1); % variavel para somar o numero de erros
possiveis

newMainFile = mainFile;
newLeftFile = leftFile;

for iPixel = 0:maxPert,
    for count = 1:((numExec-1)*(iPixel~=0)+1),

        newMainFile(:,4:5) = mainFile(:,4:5) +
(ceil(rand(ptsGrid,2)*(2*iPixel+1))-iPixel-1);
        newLeftFile(:,4:5) = leftFile(:,4:5) +
(ceil(rand(ptsGrid,2)*(2*iPixel+1))-iPixel-1);

        P=CalMF(newMainFile);
        Q=CalMF(newLeftFile);

        for i = 1:(ptsGrid-1),
            for j=i+1:(ptsGrid),
                dReal = sqrt((mainFile(i,1)-mainFile(j,1)).^2 +
(mainFile(i,2)-mainFile(j,2)).^2 + (mainFile(i,3)-mainFile(j,3)).^2);
                dEst = DimMF([newMainFile(i,4) newMainFile(i,5)
newLeftFile(i,4) newLeftFile(i,5) newMainFile(j,4) newMainFile(j,5)
newLeftFile(j,4) newLeftFile(j,5)],P,Q);
                e = abs((dReal - dEst)/dReal) ;
                somaErros(iPixel+1) = somaErros(iPixel+1) + e ;
            end;
        end;
    end;
end;

ni = somaErros / (numDistPossiveis*numExec); % o parametro ni esperado
equivale ao erro medio
ni(1) = ni(1)*numExec;

```

## **Apêndice D:**

### **Resultados Completos**

Nas próximas tabelas encontraremos todos os resultados obtidos a partir da aplicação dos métodos do Capítulo 3.

Tabela 42: Dados I (coordenadas e ângulos – índice I)

INDICE-1	X0	X1	X2	X3	X4	X5	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	W0	W1	W2	W3	W4	W5	FD	F1	F2	F3	F4	F5	K0	K1	K2	K3	K4	K5						
D1	12	0,28	0,39	0,55	0,81	0,92	0,19	0,32	0,57	0,83	0,94	0,08	0,13	0,14	0,22	0,25	0,25	0,25	1,16	1,02	1,20	1,10	1,28	0,46	0,44	0,51	0,66	0,72	0,91	0,83	0,97	0,88	1,00	0,93	0,90	0,91	0,88	0,96				
	13	0,35	0,43	0,65	0,74	1,12	0,28	0,38	0,58	0,70	1,03	0,09	0,12	0,14	0,16	0,19	0,19	0,19	0,19	1,16	1,12	1,12	1,10	1,20	0,38	0,42	0,44	0,55	0,58	0,77	0,83	0,81	0,88	0,85	0,77	0,83	0,81	0,88	0,85			
	14	0,24	0,33	0,49	0,77	0,79	0,22	0,38	0,48	0,71	0,84	0,05	0,06	0,10	0,13	0,17	0,05	0,09	0,10	0,95	0,94	1,00	1,04	1,12	0,36	0,35	0,43	0,46	0,75	0,77	0,76	0,79	0,82	0,86	0,77	0,83	0,81	0,88	0,85			
	15	0,20	0,33	0,54	0,55	0,79	0,20	0,33	0,52	0,59	0,74	0,05	0,07	0,11	0,11	0,17	0,05	0,08	0,12	0,62	0,72	0,76	0,82	0,86	0,24	0,28	0,40	0,41	0,60	0,37	0,31	0,47	0,55	0,53	0,53	0,59	0,63	0,66	0,66			
	16	0,20	0,32	0,50	0,59	0,79	0,23	0,36	0,55	0,70	0,77	0,05	0,08	0,12	0,15	0,18	0,05	0,08	0,12	0,62	0,72	0,76	0,82	0,86	0,24	0,28	0,40	0,41	0,60	0,37	0,31	0,47	0,55	0,53	0,53	0,59	0,63	0,66	0,66			
	17	52,69	0,18	0,30	0,51	0,66	0,66	53,35	0,19	0,28	0,45	0,73	0,80	0,19	0,28	0,44	0,49	0,61	0,72	0,72	0,70	0,86	0,80	1,02	-46,40	0,48	0,52	0,59	0,57	0,60	0,59	0,59	0,68	0,64	0,78	0,20	0,20	0,33	0,35	0,43		
	18	0,20	0,33	0,52	0,61	0,71	0,24	0,32	0,47	0,52	0,59	0,09	0,09	0,14	0,12	0,18	0,10	0,12	0,12	0,18	0,24	0,27	0,44	0,49	0,61	0,47	0,45	0,55	0,56	0,66	0,52	0,55	0,65	0,65	0,66	0,24	0,28	0,31	0,40	0,50		
	19	0,25	0,38	0,55	0,66	1,01	0,18	0,32	0,45	0,52	0,93	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,20	0,30	0,38	0,42	0,10	0,18	0,25	0,32	0,35	0,11	0,18	0,20	0,25	0,27	0,28	0,12	0,15	0,21	0,27	0,36	
	20	0,34	0,38	0,43	0,51	0,61	0,22	0,35	0,41	0,40	0,52	0,04	0,06	0,10	0,11	0,13	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,20	0,30	0,38	0,42	0,11	0,18	0,25	0,32	0,35	0,10	0,18	0,20	0,25	0,27	0,28	0,12	0,15	0,21	0,27	0,36	
	21	0,32	0,39	0,39	0,44	0,52	0,22	0,35	0,41	0,40	0,52	0,04	0,06	0,10	0,11	0,13	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,20	0,30	0,38	0,42	0,11	0,18	0,25	0,32	0,35	0,10	0,18	0,20	0,25	0,27	0,28	0,12	0,15	0,21	0,27	0,36	
	22	0,32	0,39	0,39	0,44	0,52	0,22	0,35	0,41	0,40	0,52	0,04	0,06	0,10	0,11	0,13	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,20	0,30	0,38	0,42	0,11	0,18	0,25	0,32	0,35	0,10	0,18	0,20	0,25	0,27	0,28	0,12	0,15	0,21	0,27	0,36	
	23	0,32	0,39	0,39	0,44	0,52	0,22	0,35	0,41	0,40	0,52	0,04	0,06	0,10	0,11	0,13	0,04	0,06	0,08	0,14	0,15	0,20	0,30	0,38	0,42	0,11	0,18	0,25	0,32	0,35	0,10	0,18	0,20	0,25	0,27	0,28	0,12	0,15	0,21	0,27	0,36	
	24	1,58	3,54	7,45	10,48	13,69	1,48	3,36	6,99	9,92	12,80	0,21	0,32	0,68	0,85	0,85	0,05	0,10	0,11	0,14	0,19	0,20	0,25	0,35	0,58	0,68	0,10	0,21	0,30	0,32	0,44	0,10	0,14	0,18	0,41	0,40	0,50	0,50	0,60			
	D2	12	0,29	0,47	0,67	0,95	1,16	0,25	0,41	0,74	0,82	1,21	0,08	0,16	0,17	0,27	0,33	0,33	0,33	1,17	1,08	1,28	1,13	1,43	0,38	0,44	0,56	0,71	0,85	0,96	0,86	1,03	0,88	1,11	0,96	0,86	1,08	0,88	1,11			
		13	0,36	0,46	0,76	0,91	1,39	0,33	0,47	0,73	0,85	1,31	0,08	0,14	0,17	0,20	0,24	0,24	0,24	1,22	1,16	1,13	1,16	1,31	0,40	0,45	0,61	0,76	1,01	0,96	0,93	0,93	0,92	1,02	0,91	0,88	1,08	0,91	1,11			
		14	0,46	0,60	0,85	1,01	1,39	0,38	0,48	0,78	0,97	1,35	0,07	0,11	0,15	0,21	0,27	0,27	0,27	1,00	0,98	1,08	1,30	1,51	0,42	0,48	0,65	0,81	1,06	0,96	0,96	0,96	1,01	0,99	1,01	1,01	1,01	1,01				
		15	0,28	0,46	0,68	0,69	1,01	0,26	0,41	0,64	0,75	0,95	0,09	0,11	0,15	0,15	0,22	0,22	0,22	0,89	0,88	0,98	1,10	1,31	0,38	0,42	0,58	0,75	0,94	0,96	0,96	0,96	1,01	0,99	1,01	1,01	1,01	1,01				
		16	0,34	0,44	0,59	0,69	0,86	0,23	0,42	0,62	0,82	1,00	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,25	0,25	0,89	0,83	0,88	1,05	1,08	0,38	0,42	0,58	0,75	0,94	0,96	0,96	0,96	1,01	0,99	1,01	1,01	1,01	1,01				
		17	50,56	0,49	0,56	0,74	0,80	0,79	50,95	0,38	0,43	0,60	0,85	0,95	7,62	0,07	0,11	0,14	0,18	0,23	91,76	0,91	0,90	0,98	1,06	1,30	-47,63	0,38	0,47	0,59	0,62	0,62	0,12	0,26	0,40	0,47	0,58	0,12	0,26	0,40	0,47	0,58
		18	0,28	0,42	0,66	0,77	0,89	0,31	0,44	0,57	0,74	0,90	0,42	0,45	0,51	0,71	0,77	0,08	0,11	0,15	0,22	0,21	0,34	0,46	0,63	0,72	0,37	0,43	0,59	0,54	0,77	0,15	0,24	0,32	0,46	0,54	0,15	0,24	0,32	0,46	0,54	
		19	0,28	0,46	0,67	0,87	1,35	0,23	0,40	0,57	0,86	1,26	0,08	0,11	0,15	0,22	0,22	0,08	0,11	0,15	0,22	0,19	0,33	0,46	0,63	0,70	0,35	0,38	0,52	0,55	0,77	0,14	0,25	0,33	0,46	0,52	0,14	0,25	0,33	0,46	0,52	
		20	0,24	0,36	0,48	0,67	0,79	0,23	0,37	0,48	0,64	0,72	0,23	0,37	0,48	0,64	0,72	0,05	0,08	0,12	0,19	0,21	0,37	0,44	0,50	0,56	0,14	0,23	0,34	0,41	0,46	0,14	0,23	0,34	0,41	0,46	0,14	0,23	0,34	0,41	0,46	
		21	0,23	0,42	0,47	0,64	0,71	0,20	0,37	0,50	0,58	0,70	0,20	0,37	0,50	0,58	0,70	0,05	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,25	0,35	0,58	0,68	0,10	0,21	0,30	0,32	0,44	0,10	0,14	0,18	0,41	0,40	0,50	0,50	0,60		
		22	2,45	4,06	7,80	13,34	17,05	2,27	3,66	7,11	11,98	16,30	0,28	0,67	0,67	1,06	1,23	0,28	0,67	0,67	3,08	2,76	3,67	4,60	6,62	1,11	1,72	2,17	2,65	3,30	2,39	2,08	2,77	2,32	3,35	2,33	2,19	2,21	2,53	3,01		
23		3,34	5,41	10,04	11,74	20,10	3,08	5,10	9,25	10,78	18,63	0,27	0,56	0,66	0,80	0,89	0,27	0,56	0,66	3,04	2,92	3,88	3,41	4,09	1,09	1,64	2,38	3,17	3,83	2,33	2,19	2,21	2,53	3,01	2,33	2,19	2,21	2,53	3,01			
24		2,45	4,06	7,80	13,34	17,05	2,27	3,66	7,11	11,98	16,30	0,28	0,67	0,67	1,06	1,23	0,28	0,67	0,67	3,08	2,76	3,67	4,60	6,62	1,11	1,72	2,17	2,65	3,30	2,39	2,08	2,77	2,32	3,35	2,33	2,19	2,21	2,53	3,01			
D1		12	0,30	0,45	0,65	0,88	1,39	0,36	0,51	0,80	1,29	0,46	0,65	1,02	1,23	1,77	0,11	0,19	0,23	0,28	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33			
		13	0,45	0,65	0,88	1,39	1,48	0,38	0,67	0,86	1,30	1,56	0,38	0,67	0,86	1,30	1,56	0,10	0,16	0,20	0,28	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33			
		14	0,41	0,58	0,80	1,16	1,22	0,40	0,64	0,96	1,20	1,29	0,40	0,64	0,96	1,20	1,29	0,07	0,10	0,18	0,23	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30			
		15	0,37	0,63	0,97	1,05	1,54	0,35	0,58	0,93	1,10	1,51	0,35	0,58	0,93	1,10	1,51	0,08	0,13	0,19	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30			
		16	0,40	0,56	0,88	1,09																																				

Tabela 43: Dados 2 (v - índice 1)

INDICE 1		NI0	NI1	NI2	NI3	NI4	NI5	
CANON	D1	12	0,62%	0,71%	0,89%	1,09%	1,25%	1,56%
		13	0,63%	0,71%	0,87%	1,13%	1,39%	1,62%
		14	0,63%	0,75%	0,93%	1,18%	1,34%	1,72%
		15	0,62%	0,72%	0,94%	1,19%	1,39%	1,63%
		16	0,60%	0,72%	0,91%	1,13%	1,40%	1,60%
		17	0,58%	0,68%	0,91%	1,17%	1,44%	1,72%
		18	0,61%	0,74%	0,93%	1,15%	1,43%	1,66%
		19	0,63%	0,75%	0,94%	1,24%	1,48%	1,73%
		20	0,63%	0,77%	0,95%	1,23%	1,48%	1,76%
		21	0,67%	0,84%	0,97%	1,26%	1,49%	1,83%
		22	0,65%	0,78%	0,99%	1,23%	1,48%	1,81%
		23	0,66%	0,78%	0,99%	1,21%	1,51%	1,82%
	24	0,66%	0,77%	0,99%	1,19%	1,49%	1,79%	
	D2	12	0,60%	1,96%	3,64%	5,09%	6,31%	9,76%
		13	0,90%	2,37%	3,97%	6,04%	7,70%	9,76%
		14	1,27%	2,71%	3,97%	6,69%	7,92%	12,92%
		15	1,24%	2,61%	4,26%	6,53%	8,18%	10,62%
		16	1,21%	2,53%	4,22%	6,18%	8,83%	10,16%
		17	1,16%	2,48%	4,19%	6,03%	8,75%	10,84%
		18	1,25%	2,64%	4,41%	6,25%	8,38%	10,32%
		19	1,26%	2,51%	4,36%	6,54%	8,43%	11,17%
		20	1,22%	2,68%	4,29%	6,19%	8,42%	10,76%
		21	1,34%	2,71%	4,12%	6,32%	7,81%	11,68%
		22	1,29%	2,61%	4,28%	5,93%	8,43%	10,80%
23		1,27%	2,61%	4,19%	5,82%	8,02%	10,22%	
24	1,26%	2,59%	4,11%	5,79%	8,03%	10,14%		
KODAK	D1	12	0,35%	0,57%	0,92%	1,20%	1,49%	1,93%
		13	0,34%	0,60%	0,94%	1,32%	1,66%	2,04%
		14	0,36%	0,67%	0,97%	1,39%	1,68%	2,18%
		15	0,39%	0,66%	1,02%	1,43%	1,75%	2,10%
		16	0,38%	0,66%	1,00%	1,37%	1,78%	2,09%
		17	0,36%	0,65%	1,02%	1,37%	1,82%	2,26%
		18	0,38%	0,68%	1,01%	1,40%	1,77%	2,17%
		19	0,38%	0,68%	1,02%	1,42%	1,77%	2,23%
		20	0,38%	0,70%	1,03%	1,43%	1,81%	2,24%
		21	0,40%	0,72%	1,03%	1,48%	1,78%	2,28%
		22	0,38%	0,68%	1,04%	1,42%	1,81%	2,31%
		23	0,40%	0,69%	1,07%	1,38%	1,80%	2,25%
	24	0,41%	0,69%	1,06%	1,41%	1,79%	2,27%	
	D2	12	0,42%	2,28%	4,40%	6,24%	7,91%	14,65%
		13	0,44%	2,63%	4,72%	7,41%	9,59%	13,16%
		14	0,48%	2,93%	5,14%	8,36%	10,12%	17,00%
		15	0,72%	3,07%	5,27%	8,55%	11,25%	14,65%
		16	0,85%	2,94%	5,29%	7,65%	12,42%	13,79%
		17	0,84%	2,81%	5,21%	7,60%	11,34%	15,06%
		18	1,01%	3,02%	5,60%	8,09%	10,61%	14,13%
		19	1,01%	3,00%	5,39%	8,30%	10,96%	15,24%
		20	1,12%	3,07%	5,32%	7,93%	11,15%	14,96%
		21	1,09%	3,17%	5,24%	8,12%	10,29%	16,74%
		22	1,12%	3,13%	5,34%	7,50%	11,58%	14,68%
23		1,08%	3,02%	5,16%	7,34%	10,41%	13,77%	
24	1,06%	3,00%	5,07%	7,38%	10,64%	13,16%		
OLYMPUS	D1	12	0,51%	0,81%	1,26%	1,68%	2,06%	2,65%
		13	0,50%	0,83%	1,29%	1,82%	2,31%	2,79%
		14	0,52%	0,89%	1,32%	1,89%	2,28%	3,03%
		15	0,60%	0,92%	1,41%	1,99%	2,44%	2,94%
		16	0,57%	0,92%	1,38%	1,87%	2,47%	2,86%
		17	0,55%	0,88%	1,40%	1,90%	2,52%	3,11%
		18	0,56%	0,96%	1,38%	1,94%	2,45%	3,00%
		19	0,59%	0,94%	1,43%	2,02%	2,49%	3,10%
		20	0,61%	0,99%	1,42%	2,00%	2,53%	3,13%
		21	0,62%	1,03%	1,40%	2,03%	2,46%	3,19%
		22	0,60%	0,97%	1,44%	1,96%	2,50%	3,19%
		23	0,61%	0,97%	1,46%	1,90%	2,52%	3,13%
	24	0,62%	0,95%	1,48%	1,94%	2,47%	3,15%	
	D2	12	0,65%	2,87%	5,68%	8,18%	10,53%	19,30%
		13	0,59%	3,35%	6,00%	9,71%	12,81%	18,61%
		14	0,70%	3,79%	6,61%	11,09%	13,42%	21,31%
		15	1,07%	3,87%	7,18%	12,09%	17,16%	24,16%
		16	1,04%	3,87%	7,16%	10,42%	19,52%	18,32%
		17	1,11%	3,81%	7,20%	10,28%	17,39%	22,21%
		18	1,07%	4,05%	7,60%	11,99%	15,55%	20,87%
		19	1,04%	4,16%	7,54%	12,03%	16,15%	26,00%
		20	1,00%	4,14%	7,24%	11,03%	16,51%	24,32%
		21	1,06%	4,24%	6,90%	11,41%	14,79%	29,71%
		22	1,03%	3,97%	7,12%	10,22%	18,54%	27,68%
23		0,98%	3,81%	6,92%	10,19%	15,56%	20,58%	
24	1,09%	3,85%	6,96%	10,28%	16,17%	19,95%		

Tabela 44: Dados 3 (coordenadas e ângulos – índice 2)

INDICE 2	X0	X1	X2	X3	X4	X5	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	W0	W1	W2	W3	W4	W5	F0	F1	F2	F3	F4	F5	K0	K1	K2	K3	K4	K5
D1	12	1.91	1.82	1.90	1.74	1.62	2.22	2.12	2.16	2.11	1.82		0.09	0.11	0.13	0.16	0.19		0.34	0.35	0.46	0.50	0.54	0.52	0.28	0.27	0.39	0.54	0.52		0.28	0.27	0.35	0.38	0.51	
	13	1.75	1.71	1.67	1.67	1.32	2.00	1.95	1.94	1.88	1.63		0.05	0.09	0.11	0.12	0.14		0.29	0.37	0.48	0.55	0.58		0.35	0.25	0.36	0.50	0.63		0.30	0.29	0.31	0.39	0.50	
	14	1.50	1.42	1.44	1.29	1.14	1.80	1.73	1.74	1.54	1.43		0.07	0.08	0.12	0.14	0.15		0.23	0.27	0.43	0.44	0.61		0.15	0.22	0.31	0.33	0.47		0.22	0.28	0.36	0.47	0.43	
	15	1.51	1.43	1.44	1.33	1.15	1.77	1.68	1.73	1.57	1.45		0.09	0.09	0.13	0.15	0.16		0.14	0.13	0.15	0.16	0.18		0.15	0.20	0.34	0.42	0.44		0.20	0.25	0.31	0.33	0.45	
	16	1.39	1.31	1.18	1.16	1.24	1.42	1.35	1.26	1.25	1.28		0.10	0.11	0.10	0.13	0.12		0.17	0.26	0.34	0.40	0.58		0.11	0.16	0.27	0.35	0.41		0.11	0.19	0.25	0.29	0.43	
	17	1.05	0.93	0.89	0.89	0.94	1.04	0.93	0.87	0.88	0.94		0.09	0.10	0.11	0.10	0.12		0.15	0.25	0.33	0.42	0.64		0.13	0.16	0.26	0.33	0.41		0.09	0.17	0.24	0.29	0.40	
	18	0.98	0.93	0.81	0.79	0.85	1.00	0.94	0.82	0.80	0.85		0.08	0.09	0.10	0.12	0.12		0.12	0.19	0.24	0.37	0.57		0.13	0.18	0.27	0.37	0.44		0.09	0.13	0.29	0.26	0.40	
	19	0.72	0.59	0.66	0.67	0.70	0.71	0.58	0.69	0.68	0.71		0.07	0.10	0.10	0.12	0.16		0.19	0.26	0.36	0.48	0.55		0.11	0.18	0.30	0.34	0.42		0.12	0.18	0.25	0.34	0.39	
	20	0.45	0.46	0.52	0.54	0.68	0.34	0.38	0.42	0.47	0.53	0.73		0.04	0.08	0.08	0.11	0.15		0.15	0.20	0.30	0.39	0.42		0.13	0.23	0.24	0.26	0.39		0.10	0.16	0.22	0.30	0.36
	21	0.34	0.38	0.43	0.51	0.61	0.22	0.32	0.36	0.45	0.50	0.66		0.04	0.06	0.09	0.14	0.15		0.15	0.20	0.30	0.39	0.42		0.10	0.15	0.21	0.27	0.29		0.12	0.16	0.22	0.30	0.36
	22	0.22	0.29	0.39	0.44	0.52	0.17	0.25	0.35	0.41	0.40	0.62		0.04	0.07	0.10	0.11	0.13		0.19	0.26	0.33	0.38	0.50		0.11	0.18	0.25	0.25	0.38		0.15	0.20	0.25	0.27	0.36
	23	0.16	0.26	0.53	0.52	0.64	0.17	0.25	0.53	0.53	0.65		0.04	0.07	0.08	0.11	0.14		0.15	0.18	0.22	0.43	0.50		0.08	0.16	0.25	0.24	0.34		0.10	0.13	0.30	0.29	0.36	
	24	0.16	0.26	0.53	0.52	0.64	0.17	0.25	0.53	0.53	0.65		0.04	0.07	0.08	0.11	0.14		0.15	0.18	0.22	0.43	0.50		0.08	0.16	0.25	0.24	0.34		0.10	0.13	0.30	0.29	0.36	
	CANON	12	9.76	7.44	6.98	5.16	7.58	10.02	7.83	7.10	5.80	6.70		0.36	0.46	0.50	0.71	0.82		1.08	1.44	1.87	2.09	3.03		0.77	1.26	1.66	2.13	2.21		0.81	1.04	1.38	1.53	2.18
		13	8.11	6.45	5.24	4.74	7.51	8.27	6.70	5.26	4.94	6.46		0.23	0.37	0.47	0.49	0.53		1.22	1.50	1.60	2.06	2.80		0.44	0.93	1.54	2.28	2.72		0.98	1.09	1.15	1.53	2.10
		14	8.20	6.69	5.41	3.98	5.94	8.25	6.33	4.89	3.85	5.71		0.32	0.38	0.46	0.56	0.59		1.01	1.20	1.01	1.85	2.91		0.79	0.86	1.61	1.80	2.51		0.62	0.74	1.14	1.43	2.01
		15	7.22	5.16	4.44	4.68	7.52	6.81	4.94	4.22	4.67	6.61		0.33	0.35	0.49	0.44	0.59		0.86	1.34	1.77	2.39	2.31		0.69	0.90	1.57	1.93	2.02		0.62	0.97	1.07	1.72	1.69
16		3.95	3.14	4.12	5.76	8.02	3.60	2.96	3.79	5.29	7.48		0.20	0.31	0.38	0.52	0.65		0.66	1.28	1.65	1.89	2.61		0.54	0.80	1.24	1.51	1.90		0.48	0.95	1.22	1.40	1.93	
17		3.40	3.16	3.29	6.97	8.92	3.20	2.86	3.07	6.59	8.26	8.14		0.21	0.31	0.38	0.46	0.63		0.62	1.06	1.59	1.62	2.39		0.60	0.78	1.26	1.62	2.12		0.45	0.78	1.18	1.32	2.12
18		2.36	2.95	4.65	7.14	11.20	2.17	2.57	4.23	6.63	10.53		0.19	0.25	0.30	0.51	0.66		0.64	1.15	1.47	2.13	2.36		0.54	0.72	1.26	1.36	1.91		0.45	0.64	1.40	1.19	1.73	
19		1.76	2.52	4.77	8.07	13.57	1.60	2.52	4.63	7.39	12.71		0.18	0.21	0.35	0.58	0.72		0.64	0.98	1.48	1.77	1.97		0.50	0.97	1.01	1.20	1.74		0.47	0.73	1.06	1.30	1.46	
20		1.50	2.83	5.40	8.73	11.50	1.37	2.84	4.85	8.14	11.11		0.15	0.27	0.41	0.61	0.72		0.73	0.93	1.32	1.70	1.77		0.46	0.72	1.02	1.42	1.48		0.53	0.68	0.95	1.23	1.30	
21		1.52	2.94	5.63	9.59	12.81	1.36	2.63	5.11	8.82	11.92		0.14	0.32	0.40	0.49	0.67		0.69	1.06	1.48	1.65	2.09		0.49	0.84	1.15	1.07	1.11		0.50	0.67	1.09	1.18	1.52	
22		1.58	3.54	7.45	10.48	13.69	1.48	3.36	5.99	9.92	12.80		0.14	0.31	0.37	0.51	0.70		0.69	1.01	1.86	1.87	2.12		0.37	0.74	1.07	1.05	1.44		0.50	0.60	1.37	1.34	1.55	
23		1.77	1.63	1.73	1.53	1.53	2.08	1.94	1.99	1.94	1.64		0.14	0.15	0.18	0.22	0.26		0.45	0.47	0.51	0.67	0.92		0.20	0.33	0.43	0.56	0.60		0.36	0.35	0.47	0.50	0.66	
24		1.59	1.52	1.47	1.43	1.19	1.83	1.76	1.73	1.62	1.39		0.08	0.12	0.16	0.16	0.19		0.49	0.50	0.54	0.67	0.90		0.19	0.24	0.41	0.61	0.75		0.37	0.37	0.40	0.51	0.67	
D1		12	1.48	1.38	1.40	1.28	1.16	1.77	1.68	1.69	1.44	1.42		0.11	0.11	0.13	0.19	0.20		0.40	0.50	0.66	0.82	0.80		0.24	0.33	0.42	0.52	0.71		0.28	0.34	0.46	0.47	0.62
		13	1.52	1.41	1.42	1.25	1.01	1.62	1.68	1.75	1.50	1.34		0.14	0.13	0.19	0.20	0.21		0.35	0.45	0.63	0.82	0.85		0.21	0.23	0.37	0.43	0.69		0.19	0.29	0.40	0.50	0.50
		14	1.50	1.38	1.21	1.18	1.27	1.52	1.42	1.29	1.28	1.30		0.16	0.15	0.18	0.18	0.22		0.27	0.41	0.53	0.70	0.88		0.15	0.23	0.41	0.51	0.58		0.19	0.29	0.40	0.50	0.50
		15	0.96	0.81	0.81	0.82	0.96	0.95	0.80	0.79	0.82	1.02		0.09	0.12	0.12	0.19	0.21		0.19	0.27	0.47	0.56	0.79		0.15	0.21	0.33	0.42	0.51		0.13	0.27	0.36	0.42	0.59
	16	0.85	0.92	0.85	0.81	0.87	0.84	0.85	0.81	0.79	0.95		0.07	0.09	0.13	0.15	0.22		0.17	0.29	0.45	0.56	0.64		0.15	0.23	0.35	0.45	0.64		0.13	0.21	0.33	0.41	0.65	
	17	0.79	0.75	0.70	0.66	0.88	0.78	0.74	0.68	0.62	0.69		0.07	0.11	0.10	0.15	0.21		0.20	0.33	0.46	0.63	0.73		0.14	0.24	0.38	0.43	0.53		0.13	0.19	0.40	0.36	0.52	
	18	0.47	0.47	0.61	0.67	0.79	0.46	0.43	0.60	0.66	0.87		0.06	0.10	0.11	0.15	0.21		0.19	0.29	0.44	0.53	0.61		0.14	0.27	0.29	0.33	0.51		0.14	0.22	0.31	0.39	0.46	
	19	0.30	0.38	0.52	0.64	0.93	0.27	0.40	0.46	0.61	0.95		0.06	0.10	0.11	0.15	0.21		0.19	0.29	0.44	0.53	0.61		0.14	0.27	0.29	0.33	0.51		0.14	0.22	0.31	0.39	0.46	
	20	0.29	0.42	0.47	0.64	0.79	0.27	0.40	0.46	0.61	0.95		0.06	0.10	0.11	0.15	0.21		0.19	0.29	0.44	0.53	0.61		0.14	0.27	0.29	0.33	0.51		0.14	0.22	0.31	0.39	0.46	
	21	0.25	0.42	0.47	0.64	0.71	0.27	0.40	0.46	0.61	0.95		0.06	0.10	0.11	0.15	0.21		0.19																	

Tabela 45: Dados 4 (v - índice 2)

INDICE 2		NI0	NI1	NI2	NI3	NI4	NI5	
CANON	D1	12	0,52%	0,62%	0,77%	0,96%	1,12%	1,40%
		13	0,49%	0,57%	0,74%	0,95%	1,19%	1,43%
		14	0,50%	0,62%	0,78%	0,99%	1,15%	1,53%
		15	0,49%	0,58%	0,75%	1,03%	1,17%	1,36%
		16	0,53%	0,62%	0,77%	0,98%	1,18%	1,43%
		17	0,58%	0,66%	0,87%	1,10%	1,35%	1,62%
		18	0,60%	0,72%	0,89%	1,09%	1,37%	1,60%
		19	0,63%	0,74%	0,92%	1,18%	1,42%	1,72%
		20	0,66%	0,79%	0,98%	1,25%	1,47%	1,76%
		21	0,67%	0,83%	0,96%	1,24%	1,46%	1,78%
		22	0,65%	0,78%	0,99%	1,23%	1,48%	1,81%
		23	0,66%	0,78%	0,99%	1,21%	1,51%	1,82%
	24	0,66%	0,77%	0,99%	1,19%	1,49%	1,79%	
	D2	12	1,00%	1,97%	3,49%	5,45%	6,67%	9,68%
		13	1,07%	2,16%	3,79%	5,87%	7,85%	10,09%
		14	1,16%	2,26%	3,95%	6,12%	7,54%	12,07%
		15	1,13%	2,21%	3,57%	5,98%	7,41%	9,64%
		16	1,13%	2,17%	3,59%	5,58%	7,83%	9,66%
		17	1,34%	2,42%	4,09%	5,36%	8,34%	10,87%
		18	1,30%	2,51%	4,17%	5,73%	7,80%	9,81%
		19	1,30%	2,60%	4,06%	6,10%	7,87%	11,17%
		20	1,35%	2,71%	4,33%	6,21%	8,17%	10,67%
		21	1,33%	2,67%	4,06%	6,19%	7,76%	11,31%
		22	1,29%	2,61%	4,28%	5,93%	8,43%	10,80%
23		1,27%	2,61%	4,19%	5,82%	8,02%	10,22%	
24	1,26%	2,59%	4,11%	5,79%	8,03%	10,14%		
KODAK	D1	12	0,33%	0,52%	0,82%	1,09%	1,35%	1,78%
		13	0,33%	0,54%	0,82%	1,14%	1,48%	1,82%
		14	0,32%	0,58%	0,83%	1,18%	1,42%	1,94%
		15	0,31%	0,54%	0,80%	1,25%	1,44%	1,76%
		16	0,32%	0,54%	0,83%	1,15%	1,48%	1,83%
		17	0,37%	0,62%	0,95%	1,25%	1,67%	2,11%
		18	0,36%	0,64%	0,94%	1,28%	1,66%	2,05%
		19	0,37%	0,66%	0,98%	1,36%	1,73%	2,21%
		20	0,38%	0,72%	1,03%	1,43%	1,80%	2,25%
		21	0,38%	0,71%	1,01%	1,45%	1,76%	2,24%
		22	0,38%	0,68%	1,04%	1,42%	1,81%	2,31%
		23	0,40%	0,69%	1,07%	1,38%	1,80%	2,25%
	24	0,41%	0,69%	1,06%	1,41%	1,79%	2,27%	
	D2	12	1,03%	2,44%	4,91%	7,95%	9,46%	14,50%
		13	0,95%	2,53%	5,04%	8,17%	10,55%	14,41%
		14	0,93%	2,71%	5,26%	8,44%	10,38%	17,65%
		15	0,95%	2,72%	4,64%	8,26%	10,84%	13,66%
		16	0,95%	2,53%	4,71%	7,35%	11,21%	13,58%
		17	0,97%	2,58%	5,24%	7,01%	11,16%	15,50%
		18	1,19%	2,99%	5,34%	7,70%	10,22%	13,51%
		19	1,20%	2,97%	5,26%	8,36%	10,53%	16,45%
		20	1,21%	3,13%	5,47%	8,20%	11,00%	15,30%
		21	1,14%	3,16%	5,21%	7,98%	10,27%	16,15%
		22	1,12%	3,13%	5,34%	7,50%	11,58%	14,68%
23		1,08%	3,02%	5,16%	7,34%	10,41%	13,77%	
24	1,06%	3,00%	5,07%	7,38%	10,64%	13,16%		
OLYMPUS	D1	12	0,47%	0,73%	1,13%	1,57%	1,93%	2,54%
		13	0,46%	0,73%	1,14%	1,63%	2,10%	2,62%
		14	0,49%	0,82%	1,23%	1,68%	2,01%	2,86%
		15	0,47%	0,75%	1,13%	1,75%	2,07%	2,50%
		16	0,48%	0,76%	1,14%	1,59%	2,08%	2,58%
		17	0,52%	0,81%	1,31%	1,74%	2,32%	2,92%
		18	0,55%	0,88%	1,30%	1,76%	2,28%	2,82%
		19	0,56%	0,90%	1,35%	1,87%	2,39%	3,05%
		20	0,62%	0,99%	1,42%	1,97%	2,48%	3,10%
		21	0,61%	1,01%	1,37%	1,98%	2,42%	3,10%
		22	0,60%	0,97%	1,44%	1,96%	2,50%	3,19%
		23	0,61%	0,97%	1,46%	1,90%	2,52%	3,13%
	24	0,62%	0,95%	1,48%	1,94%	2,47%	3,15%	
	D2	12	1,01%	3,21%	6,92%	12,00%	14,12%	22,79%
		13	0,96%	3,50%	7,21%	12,04%	15,00%	21,71%
		14	0,92%	3,81%	7,57%	12,52%	15,65%	24,83%
		15	0,86%	3,48%	6,68%	12,13%	16,90%	21,64%
		16	0,92%	3,42%	6,84%	10,63%	17,29%	21,63%
		17	1,01%	3,58%	7,61%	9,61%	17,72%	23,49%
		18	1,01%	3,83%	7,19%	11,01%	15,08%	21,20%
		19	0,98%	3,93%	7,25%	12,03%	15,25%	27,37%
		20	1,04%	4,17%	7,50%	11,49%	17,37%	22,21%
		21	1,04%	4,15%	6,74%	10,94%	14,48%	32,16%
		22	1,03%	3,97%	7,12%	10,22%	18,54%	27,68%
23		0,98%	3,81%	6,92%	10,19%	15,56%	20,58%	
24	1,09%	3,85%	6,96%	10,28%	16,17%	19,95%		



Tabela 47: Dados 6 (v - indice 3)

INDICE 3		NI0	NI1	NI2	NI3	NI4	NI5	
CANON	D1	12	0,45%	0,52%	0,65%	0,76%	0,90%	1,14%
		13	0,45%	0,53%	0,68%	0,85%	0,97%	1,21%
		14	0,45%	0,59%	0,69%	0,96%	1,13%	1,36%
		15	0,44%	0,58%	0,75%	0,99%	1,11%	1,36%
		16	0,44%	0,58%	0,75%	1,04%	1,19%	1,44%
		17	0,50%	0,62%	0,82%	1,05%	1,31%	1,56%
		18	0,57%	0,71%	0,89%	1,10%	1,32%	1,56%
		19	0,61%	0,71%	0,90%	1,15%	1,37%	1,56%
		20	0,64%	0,76%	0,93%	1,16%	1,39%	1,64%
		21	0,65%	0,78%	0,90%	1,18%	1,42%	1,71%
		22	0,66%	0,77%	0,98%	1,21%	1,45%	1,84%
		23	0,66%	0,79%	0,99%	1,23%	1,50%	1,80%
	24	0,66%	0,77%	0,99%	1,19%	1,49%	1,79%	
	D2	12	0,49%	1,28%	2,31%	3,37%	5,26%	7,34%
		13	0,51%	1,43%	2,61%	3,75%	4,69%	6,72%
		14	0,94%	2,09%	2,89%	4,70%	6,07%	8,58%
		15	0,97%	2,06%	3,39%	4,80%	6,05%	7,50%
		16	1,14%	2,20%	3,49%	5,05%	6,46%	7,68%
		17	1,21%	2,22%	3,68%	5,06%	6,84%	8,86%
		18	1,25%	2,28%	3,75%	5,35%	6,42%	8,75%
		19	1,19%	2,30%	3,76%	5,41%	6,75%	8,51%
		20	1,16%	2,25%	3,73%	5,40%	7,48%	8,91%
		21	1,16%	2,31%	3,54%	5,39%	6,85%	9,62%
		22	1,12%	2,34%	3,95%	5,77%	7,34%	10,73%
23		1,13%	2,46%	4,02%	5,58%	7,61%	9,39%	
24	1,26%	2,59%	4,11%	5,79%	8,03%	10,14%		
KODAK	D1	12	0,44%	0,54%	0,76%	0,92%	1,10%	1,47%
		13	0,42%	0,58%	0,78%	1,03%	1,23%	1,59%
		14	0,41%	0,64%	0,82%	1,20%	1,47%	1,78%
		15	0,40%	0,63%	0,89%	1,26%	1,40%	1,75%
		16	0,40%	0,64%	0,91%	1,30%	1,51%	1,86%
		17	0,41%	0,66%	0,97%	1,27%	1,69%	2,04%
		18	0,43%	0,69%	0,99%	1,32%	1,64%	2,02%
		19	0,41%	0,67%	0,98%	1,33%	1,66%	1,99%
		20	0,41%	0,68%	1,00%	1,35%	1,70%	2,03%
		21	0,40%	0,68%	0,97%	1,38%	1,67%	2,15%
		22	0,41%	0,70%	1,04%	1,42%	1,77%	2,30%
		23	0,41%	0,72%	1,05%	1,41%	1,76%	2,25%
	24	0,41%	0,69%	1,06%	1,41%	1,79%	2,27%	
	D2	12	0,53%	1,57%	3,13%	4,63%	9,75%	9,71%
		13	0,70%	1,85%	3,30%	4,83%	6,19%	9,42%
		14	0,82%	2,44%	3,47%	5,79%	7,65%	11,60%
		15	0,87%	2,41%	4,08%	6,09%	7,74%	10,16%
		16	0,84%	2,53%	4,34%	6,38%	8,76%	10,30%
		17	0,83%	2,56%	4,48%	6,48%	8,85%	12,15%
		18	0,81%	2,57%	4,55%	6,66%	8,37%	11,85%
		19	0,92%	2,66%	4,77%	6,84%	8,84%	11,07%
		20	0,91%	2,61%	4,55%	6,91%	10,33%	12,58%
		21	0,96%	2,66%	4,44%	6,79%	8,67%	13,51%
		22	1,09%	2,83%	4,87%	7,36%	9,56%	14,82%
23		1,09%	2,98%	5,01%	7,01%	10,12%	12,46%	
24	1,06%	3,00%	5,07%	7,38%	10,64%	13,16%		
OLYMPUS	D1	12	0,41%	0,59%	0,86%	1,14%	1,46%	1,89%
		13	0,39%	0,63%	0,96%	1,31%	1,55%	2,06%
		14	0,38%	0,76%	1,01%	1,52%	1,88%	2,36%
		15	0,39%	0,75%	1,14%	1,62%	1,87%	2,32%
		16	0,42%	0,76%	1,17%	1,70%	2,02%	2,49%
		17	0,55%	0,83%	1,28%	1,77%	2,24%	2,74%
		18	0,56%	0,91%	1,30%	1,79%	2,18%	2,70%
		19	0,58%	0,88%	1,34%	1,83%	2,28%	2,67%
		20	0,58%	0,91%	1,32%	1,84%	2,31%	2,74%
		21	0,56%	0,93%	1,28%	1,84%	2,28%	2,93%
		22	0,65%	0,96%	1,43%	1,95%	2,43%	3,22%
		23	0,63%	1,00%	1,46%	1,97%	2,46%	3,10%
	24	0,62%	0,95%	1,48%	1,94%	2,47%	3,15%	
	D2	12	0,74%	1,99%	4,38%	6,77%	9,65%	15,04%
		13	0,86%	2,51%	4,99%	7,07%	10,70%	15,44%
		14	0,90%	3,14%	4,79%	8,47%	17,40%	17,81%
		15	0,85%	3,15%	5,27%	8,37%	11,11%	17,03%
		16	0,91%	3,16%	5,52%	8,54%	12,87%	13,92%
		17	0,95%	3,22%	5,95%	8,86%	12,28%	18,10%
		18	0,97%	3,49%	5,98%	9,11%	11,70%	16,71%
		19	0,93%	3,34%	6,24%	9,49%	12,32%	16,23%
		20	0,88%	3,34%	5,94%	9,47%	16,41%	35,63%
		21	0,89%	3,41%	5,66%	9,06%	11,99%	22,13%
		22	1,16%	3,82%	6,50%	10,22%	15,03%	26,56%
23		1,10%	3,97%	6,62%	10,17%	14,29%	17,92%	
24	1,09%	3,85%	6,96%	10,28%	16,17%	19,95%		



# Referência Bibliográfica

[1] Silva, L. C. “Método Robusto para a Calibração de Câmeras em Estereofotogrametria”, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2003.