

GABRIELA PADILHA

SISTEMA DE RECONHECIMENTO E MEDIDA SEMIAUTOMÁTICA DE ALVOS EM
CAMPO TERRESTRE DE CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS

Curitiba

Outubro, 2016

GABRIELA PADILHA

SISTEMA DE RECONHECIMENTO E MEDIDA SEMIAUTOMÁTICA DE ALVOS EM
CAMPO TERRESTRE DE CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésias, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof. Dr. Alvaro Muriel Lima Machado e Prof. Dr. Jorge A. Silva Centeno

Curitiba

Outubro, 2016

P123s

Padilha, Gabriela

Sistema de reconhecimento e medida semiautomática de alvos em campo terrestre de calibração de câmaras / Gabriela Padilha. – Curitiba, 2016.
70 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2016.

Orientador: Alvaro Muriel Lima Machado, Jorge A. Silva Centeno.
Bibliografia: p. 50-53.

1. Geodésia. 2. Detecção semiautomática. 3. Segmentação.
I. Universidade Federal do Paraná. II. Machado, Alvaro Muriel Lima.
III. Centeno, Jorge A. Silva. IV. Título.

CDD: 526

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIELA PADILHA

“SISTEMA DE RECONHECIMENTO E MEDIDA SEMIAUTOMÁTICA DE ALVOS
EM CAMPO TERRESTRE DE CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS”

Dissertação nº 292 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Alvaro Muriel Lima Machado
Departamento de Geomática, UFPR


Prof. Dr. Hideo Araki
Departamento de Geomática, UFPR


Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita
Departamento de Geomática, UFPR

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente à minha família que sempre me forneceu o apoio que necessitei, e em especial ao meu irmão e minha cunhada, pela ajuda também com os materiais necessários. Agradeço aos meus amigos de infância, pela compreensão e apoio durante esses anos.

Agradeço ao professor Alvaro Machado pela dedicação e paciência, sempre auxiliando de uma forma bastante criativa nas incontáveis dúvidas que surgiram durante a realização deste trabalho. Agradeço também ao professor Jorge Centeno, pela orientação e auxílio financeiro para os experimentos. Ao Niarkios e ao Pierre pela medição das coordenadas, cedidas para este trabalho. À Mônica, por todo o auxílio dedicado aos alunos do CPGCG. Aos amigos e colegas do CPGCG. Finalmente, gostaria de agradecer à UFPR pelo ensino de qualidade e ao CNPQ, e a todos mais que eu não tenha citado nesta lista de agradecimentos, mas que de uma forma ou de outra contribuíram para a minha dissertação.

RESUMO

Qualquer câmara que se pretenda utilizar em Fotogrametria precisa ter suas características conhecidas por meio de calibração. Esta afirmação é ainda mais verdadeira quando se trata de câmara não fotogramétrica e de comércio comum, ou “*off-the-shelf*”. Sistemas de identificação de alvos em imagens que forneçam alguma automatização à calibração de câmaras introduzem agilidade, economia e confiabilidade a esse processo. Nesta pesquisa foi proposto um sistema semiautomático de reconhecimento de alvos em imagens. Foram utilizados quatro alvos quadrados nas cores vermelho, verde, azul e preto, inseridos em cada extremidade do campo de calibração, bem como 63 alvos circulares monocromáticos distribuídos pelo campo. A partir de uma fotografia do campo de calibração, o sistema converteu a imagem para o espaço de cores CIELuv, onde a segmentação por meio de limiarização foi realizada. As imagens foram disponibilizadas no espaço RGB, sendo utilizadas cores puras para a identificação dos segmentos obtidos. Os centróides dos segmentos referentes aos alvos coloridos foram detectados por meio de componentes conexos. Utilizando as coordenadas em imagem destes centróides e as coordenadas para o referencial local do campo de calibração, por meio da transformação projetiva foi possível determinar quais são os parâmetros que devem ser utilizados para obter as coordenadas aproximadas dos alvos circulares na imagem. Nesses locais, foram inseridas janelas de busca para o reconhecimento por casamento de padrões. Foram então detectadas as coordenadas de imagem do centro dos alvos circulares, sendo que esse procedimento foi realizado para várias imagens. O sistema foi utilizado para imagens tomadas em dias e horários diferentes, com iluminação variante. Os resíduos entre as coordenadas lidas para o referencial do campo de calibração e as coordenadas obtidas pelo sistema foram maiores do que o esperado. Prováveis explicações abrangem o formato e tamanho dos padrões escolhidos para a identificação e experimentos realizados com câmaras de baixa qualidade (distorções não parametrizadas). Palavras-chave: detecção semiautomática, segmentação, casamento de padrões, alvos.

ABSTRACT

Any camera, when used in Photogrammetry, need to have their characteristics known by camera calibration. This statement is even more true when it comes to not photogrammetric camera, or "off-the-shelf". Recognition targets systems that provide some automation to the camera calibration introduce agility, economy and reliability to this process. In this research it was proposed a semiautomatic target recognition system in images. It was used four square targets in the colors red, green, blue and black, inserted in each corner of the calibration field, as well 63 circular monochromatic targets spread in the field. From a photo, the system converted the image to the CIE Luv color space, where the segmentation with thresholding was performed. The images were available in RGB color space, with pure colors being used for the identification of the segments obtained. The centroids of the segments referred to the color targets were detected by connected components. Using the image coordinates of these centroids and the coordinates of a local referential of the calibration field, with the projective transformation was possible to determinate the parameters to be used to obtain an approximation of the circular targets coordinates in the image. In these locals, the search windows for the template matching was positioned. The image coordinates of the center of the circular targets were detected and this process was performed for various images. The system was utilized with photos taken in different days and times, with variant lighting. The differences between the coordinates of a local referential of the calibration field and the coordinates obtained by the system were higher than the acceptable, probably due the chosen template for the template matching. Keywords: semiautomatic detection, segmentation, template matching, targets.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura1: ESPECTRO VISÍVEL DA LUZ..... | 12 |
| Figura 2: REPRESENTAÇÃO DO MODELO RGB..... | 14 |
| Figura 3: DIAGRAMA DE CROMATICIDADE | 15 |
| Figura 4: CONECTIVIDADE ENTRE PIXELS | 18 |
| Figura 5: GEOMETRIA DA TRANSFORMAÇÃO PROJETIVA | 21 |
| Figura 6: CAMPO DE ALVOS DO LABORATÓRIO DE FOTOGRAMETRIA | 26 |
| Figura 7: REPRESENTAÇÃO DOS LIMITES PARA AS CORES NO ESPAÇO UV .. | 28 |
| Figura 8: ESQUEMATIZAÇÃO DO ALGORITMO EXECUTADO PARA DETECÇÃO DE ALVOS COLORIDOS | 30 |
| Figura 9: TEMPLATE UTILIZADO PARA O CASAMENTO DE PADRÕES NA IMAGEM A | 32 |
| Figura 10: IMAGEM A DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 33 |
| Figura 11: IMAGEM B DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 33 |
| Figura 12: IMAGEM C DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 34 |
| Figura 13: IMAGEM D DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 34 |
| Figura 14: IMAGEM E DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 34 |
| Figura 15: IMAGEM F DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 35 |
| Figura 16: IMAGEM G DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 35 |
| Figura 17: IMAGEM H DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 35 |
| Figura 18: IMAGEM I DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 36 |
| Figura 19: IMAGEM J DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO | 36 |
| Figura 20: IMAGEM A APÓS SEGMENTAÇÃO..... | 37 |
| Figura 21: IMAGEM B APÓS SEGMENTAÇÃO..... | 37 |
| Figura 22: IMAGEM C APÓS SEGMENTAÇÃO | 38 |
| Figura 23: IMAGEM D APÓS SEGMENTAÇÃO | 38 |
| Figura 24: IMAGEM E APÓS SEGMENTAÇÃO..... | 39 |
| Figura 25 : IMAGEM F APÓS SEGMENTAÇÃO..... | 39 |
| Figura 26: IMAGEM G APÓS SEGMENTAÇÃO | 40 |
| Figura 27 : IMAGEM H APÓS SEGMENTAÇÃO | 40 |
| Figura 28: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS FINAIS | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 29: ORDEM DE LEITURA DOS ALVOS | 68 |
| Figura 30: CROQUI DOS ALVOS COLORIDOS..... | 68 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - COMPONENTES CONEXOS DENTRO DO LIMAR DE PORCENTAGEM..... | 24 |
| TABELA 2 - LIMITES PARA AS CORES NO ESPAÇO UV | 27 |
| TABELA 3 - COMPONENTES CONEXOS DENTRO DO LIMAR DE PORCENTAGEM..... | 41 |
| TABELA 4: APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE COMPACIDADE | 41 |
| TABELA 5: COORDENADAS DOS CENTRÓIDES DOS ALVOS COLORIDOS DA IMAGEM A..... | 42 |
| TABELA 6: COORDENADAS APROXIMADAS PARA IMAGEM A | 42 |
| TABELA 7: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM A..... | 44 |
| TABELA 8: MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA OS RESÍDUOS DAS COORDENADAS DE CADA IMAGEM..... | 46 |
| TABELA 9: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM B..... | 54 |
| TABELA 10: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM C..... | 55 |
| TABELA 11: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM D..... | 57 |
| TABELA 12: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM E..... | 59 |
| TABELA 13: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM F..... | 61 |
| TABELA 14: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM G..... | 62 |
| TABELA 15: RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM H..... | 64 |
| TABELA 16: COORDENADAS LIDAS PARA O REFENCIAL LOCAL DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO..... | 66 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 OBJETIVOS | 9 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 9 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 10 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 10 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 2.1 RECONHECIMENTO DE PADRÕES..... | 11 |
| 2.1.1.1 O modelo RGB | 13 |
| 2.1.1.2 Os modelos CIE | 14 |
| 2.1.1.3 Componentes conexos..... | 17 |
| 2.1.2 Casamento de padrões | 18 |
| 2.2 TRANSFORMAÇÃO PROJETIVA..... | 20 |
| 2.3 SISTEMAS DE DETECÇÃO DE ALVOS..... | 22 |
| 3 METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 MATERIAIS | 25 |
| 3.2 MÉTODOS | 25 |
| 3.2.1 Revitalização do novo campo de calibração | 25 |
| 3.2.2 Segmentação das imagens..... | 26 |
| 3.2.3 Detecção por casamento de padrões..... | 31 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES | 48 |
| REFERÊNCIAS | 50 |
| APENDICE I | 54 |
| ANEXO I | 66 |

1. INTRODUÇÃO

As câmaras disponíveis no mercado, ou “*off-the-shelf*”, têm sido constantemente utilizadas em aplicações fotogramétricas devido a seu baixo custo e avanços com relação à resolução do sensor. No entanto, os parâmetros de orientação interna desse tipo de câmara não são conhecidos, o que torna necessária sua calibração (MITISHITA et al., 2012). O processo de calibrar uma câmara estabelece, segundo o modelo fotogramétrico, os parâmetros mencionados, que são: as coordenadas do ponto principal, a distância focal, as distorções radial e descentrada e coeficientes de afinidade. Para se estabelecer a relação geométrica entre um ponto na imagem e esse ponto no espaço, durante o processo de calibração, utilizam-se pontos de controle. Para facilitar a identificação desses pontos na imagem, podem ser utilizados padrões, neste trabalho denominados alvos, que devido à sua função, devem ter características que os permitam ser identificados facilmente (MIKHAIL et al., 2001; FIALA, 2010).

A automatização do reconhecimento e medida dos alvos introduz agilidade ao processo de calibração, proporcionando economia em tempo e mão de obra, bem como uma maior confiabilidade (SILVA et al., 2014). Os alvos desenvolvidos para reconhecimento automático possuem um desenho próprio, associado aos algoritmos para detectá-los (TRUCO; VERRI, 1998). São geralmente circulares ou quadrados, e alguns possuem padrões binários em seu interior, de acordo com a técnica de reconhecimento utilizada. O conjunto de pontos de controle e o algoritmo de reconhecimento são chamados de sistemas de reconhecimento de alvos (FIALA, 2004).

Desde a década de 70, numerosos trabalhos nesta área foram publicados, explorando técnicas como modelagem estatística, correlação, modelo paramétrico e análise das propriedades de formas geométricas baseada em imagens binárias. Muitos estudos foram direcionados a alguns elementos em especial, como a geometria do alvo, a intensidade da quantização, o ruído da imagem e técnicas de suavização. No fim da década de 90, a utilização de novas tipologias de alvos e técnicas diferenciadas promoveram uma melhora nos sistemas de detecção (GUTIERREZ; ARMSTRONG, 2008).

Buscando aprimorar a robustez da detecção automática bem como a rapidez do processamento, desenvolveu-se, neste trabalho, um sistema semiautomático que primeiramente identifica quatro alvos diferenciados num campo de calibração, utilizando o reconhecimento através de técnicas de segmentação de imagens. Estes alvos são quadrados e totalmente preenchidos nas cores vermelho, verde, azul e preto. A partir de uma conversão do espaço RGB para o espaço CIELuv, com a aplicação de limiares, os alvos coloridos são destacados, mesmo havendo pequenas diferenças na iluminação e rotação da imagem, e têm as coordenadas de seus centróides detectadas. A partir destas e das coordenadas no espaço objeto do centro destes alvos, são determinados os parâmetros da transformação projetiva no plano. A partir destes parâmetros e das coordenadas no espaço objeto dos alvos monocromáticos do campo de calibração, são determinados aproximadamente os locais na imagem onde devem ser inseridas janelas de busca, para que alvos monocromáticos sejam detectados por meio de casamento de padrões.

Seguem, neste mesmo capítulo, os objetivos geral e específicos, que precedem a justificativa do trabalho. Logo após, no capítulo 2, será apresentada uma descrição detalhada sobre alguns tópicos relevantes ao entendimento deste estudo, compondo a revisão de literatura. No capítulo subsequente, são esclarecidos os materiais e métodos a serem empregados nesta pesquisa. O capítulo posterior compreende os resultados e a discussão e, após esse, as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um sistema semiautomático de identificação de alvos invariante à iluminação, rotação, translação e escala, a partir da utilização conjunta de técnicas de reconhecimento por meio de segmentação de imagens e casamento de padrões. Tal sistema visa um procedimento robusto de identificação e medida de pontos de controle para calibração de câmaras de pequeno formato com custo computacional de reconhecimento reduzido.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho compreendem os seguintes passos:

- Construir um novo campo de calibração com alvos coloridos e monocromáticos;
- Desenvolver um procedimento de identificação de alvos que funcione sob diferentes rotações e alterações na iluminação em um ambiente externo, ao longo do dia.

1.2 JUSTIFICATIVA

As câmaras disponíveis no mercado, cada vez mais aperfeiçoadas, tem sido uma alternativa para a obtenção de informações fotogramétricas com rapidez e baixo custo. Entretanto, para que o produto final obtido seja confiável, necessitam ser calibradas, pois seus parâmetros de orientação interior não são fornecidos pelo fabricante (MITISHITA et al., 2012). Sendo assim, a automatização do processo de identificação e medida de alvos em imagens aumenta a agilidade e a confiabilidade do processo de calibração como um todo.

A segmentação por cores foi escolhida para esta pesquisa, pois não é altamente dependente da resolução como a segmentação por feições (SWAIN; BALLARD, 1991). Os sistemas que utilizam segmentação de imagens para identificação de objetos possuem aplicação limitada em diferentes condições de iluminação natural, em ambiente aberto (CHO et al., 1998). Atualmente, a maioria dos sistemas de reconhecimento pode distinguir e encontrar objetos em imagens claras e limpas, com boas resoluções e sem oclusões. Entretanto, sem boas imagens como entrada, a eficiência dos métodos fica limitada (BEZERRA; AGUIAR, 2013).

Sendo assim, existe a demanda por ferramentas que proporcionem automatização com um nível adequado de robustez na leitura dos alvos, ou seja, que funcionem para uma série de situações de iluminação e rotação, com pouca necessidade de ajustes manuais dos limiares.

Neste trabalho, é proposto que seja delimitada a área de busca para uma região menor. Este procedimento diminui o custo computacional, pois torna desnecessária a varredura da imagem por completo, aumentando também a rapidez na localização de cada ponto de controle.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O termo reconhecimento de padrões compreende a utilização de ferramentas computacionais para detectar automaticamente certos aspectos que são percebidos com facilidade pelo cérebro humano (BISHOP, 2006). Este conceito pode ser aplicado em imagens, sinais ondulatórios ou qualquer tipo de medição que necessite de classificação. Muitas áreas do conhecimento tiveram evolução considerável quando técnicas de reconhecimento automatizado começaram a ser implantadas. É possível destacar, dentre estas, o diagnóstico através de imagens na medicina, o reconhecimento de voz e caracteres por computador, a classificação da madeira para fins industriais, a observação de sinais sísmicos para previsão de terremotos, as aplicações em visão computacional, entre outras (GOSE et al., 1996).

As técnicas de reconhecimento fazem uso de semelhanças e diferenças em diferentes amostras de dados, de modo que esses sejam segmentados, permitindo dessa forma a detecção do objeto a ser reconhecido..

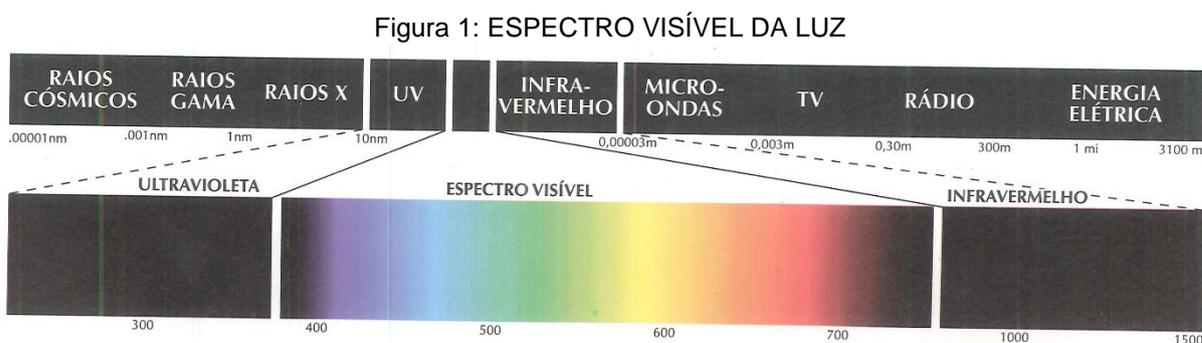
Neste trabalho, optou-se por dois métodos de reconhecimento de padrões. O primeiro, a ser aplicado nos alvos coloridos dos extremos do campo, os destaca dos demais objetos na imagem por segmentação a partir de cores, alcançada por meio da conversão das cores para o espaço CIELuv, e o processo de reconhecimento é feito a partir da aplicação de limiares aplicados aos componentes conexos obtidos na segmentação. O segundo, aplicado nos alvos circulares monocromáticos, utiliza casamento de padrões, e a identificação é feita por correlação estatística. Uma descrição dos métodos é desenvolvida a seguir.

2.1.1 Segmentação por cores

As propriedades da cor são particularmente importantes em tentativas de simular procedimentos realizados por seres humanos. Segundo Gose et al. (1996), cor é um termo que se refere ao alcance das sensações visuais aos olhos humanos, que podem ser produzidas por misturas de vários comprimentos de onda da luz visível. A análise do espectro da luz - definido como o gráfico de intensidade *versus* comprimento de onda - que o sistema visual dos humanos e outros animais pode

processar é pouco refinada. O branco, por exemplo, é percebido como a sensação de luz sem nenhuma cor. Uma mistura adequada de quaisquer três comprimentos de onda de porções vermelha, azul e verde resultará na cor branca, assim como uma determinada mistura de todos os comprimentos de onda visíveis (GOSE et al., 1996).

A noção de cor envolve três agentes: uma fonte de luz, um objeto e um observador. Quando há alguma modificação em algum deles, a cor também é alterada. O espectro de cor consiste em todo o alcance dos níveis de energia (comprimentos de onda) dos fótons enquanto viajam no tempo e no espaço. Os comprimentos de onda, da parte do espectro que sensibiliza o olho humano, vão desde 380nm até 700nm (um nm equivale a um bilionésimo do metro), o chamado espectro visível (Figura 1) (FRASER et al., 2005).



FONTE: GONZALEZ E WOODS, 2000

O componente fotorreceptivo do olho é a retina, que possui uma área de 100mm². Há dois tipos de fotorreceptores: cones – os receptores para cores de alta intensidade - e os bastonetes – utilizados para a visão noturna, e que possuem baixa acuidade visual. Uma diferença importante entre os cones e os bastonetes é o fato de que nos bastonetes há apenas um pigmento visual, a rodopsina, que responde aos fótons com absorção máxima de 505nm, enquanto os cones possuem um destes três pigmentos: o sensível ao azul, com máxima absorção de 455nm; o sensível ao verde, com máxima absorção de 535nm; e o sensível ao vermelho, com máxima absorção de 570nm (GERSHON, 1985).

O sistema visual distingue cores pelo processo da tricromacia. Este termo, também conhecido como teoria dos três componentes ou teoria de Young-Helmholtz, faz alusão aos três tipos de cones que o olho possui, que respondem aos três tipos de espectros (vermelho, verde e azul). A estrutura tricromática do olho nos possibilita

perceber as três cores primárias, correspondentes a esses espectros (FRASER et al., 2005).

As características normalmente utilizadas para distinguir uma cor de outra são o brilho, o matiz e a saturação. O brilho representa a noção de intensidade luminosa da radiação. O matiz é uma propriedade associada ao comprimento de onda predominante na combinação de ondas de luz. A saturação expressa a pureza do matiz ou, de modo similar, o grau de mistura do matiz original com a luz branca. As cores puras são completamente saturadas, e os componentes matiz e saturação são chamados de crominância (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

As cores são usualmente representadas por modelos que possuem três coordenadas no espaço. A seguir, serão descritos o modelo RGB e os modelos propostos pela CIE, dentre estes o CIELuv, utilizado nesta pesquisa.

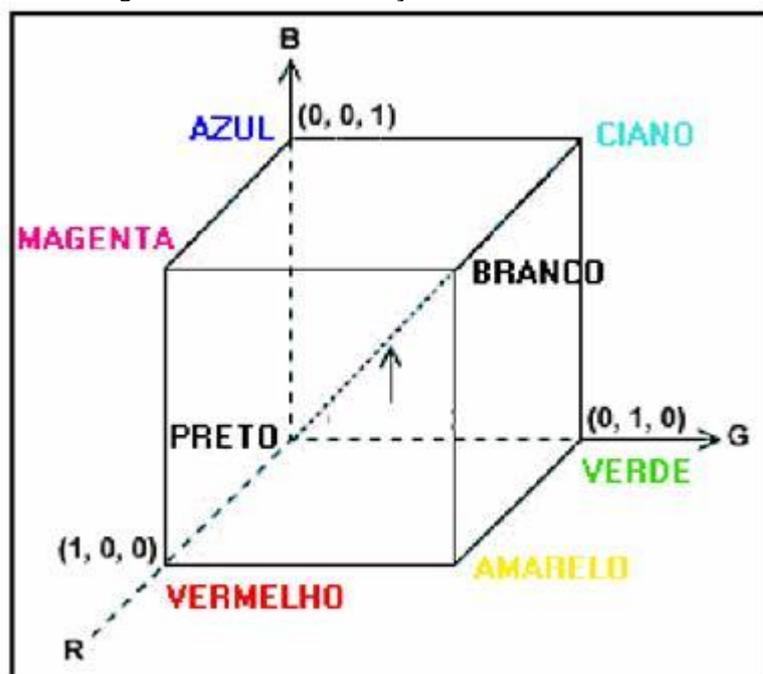
2.1.1.1 O modelo RGB

O modelo RGB é fundamentado em um sistema cartesiano, no qual o espaço de cores é um cubo. As cores primárias vermelho, verde e azul estão em três vértices do cubo, as cores primárias complementares ciano, magenta e amarelo estão em outros três vértices, o vértice junto à origem é o preto e o mais afastado da origem corresponde à cor branca. No modelo RGB, a escala de cinza se estende através da diagonal do cubo, ou seja, a reta que une a origem (preto) até o vértice mais distante (branco). Geralmente, assume-se que os valores R, G e B estão normalizados entre 0 e 1. O modelo RGB é muito utilizado em dispositivos como monitores e câmaras de vídeo (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

Segundo Alves (2010), cada pixel tem o seu próprio valor RGB representado geralmente por três bytes, um para cada componente de cor: vermelho, verde e azul. Se cada componente for armazenado como um byte, cada um poderá representar 256 diferentes intensidades. Isso significa que é possível trabalhar com 16,7 milhões de cores.

Segundo o mesmo autor, o modelo RGB possui uma grande desvantagem: ele não é adequado para definição de cores baseando-se no sistema de percepção visual humano. Isso significa que nada garante que cores com representação próxima no espaço RGB sejam próximas em termos de percepção visual (ALVES, 2010).

Figura 2: REPRESENTAÇÃO DO MODELO RGB



FONTE: UFRGS (2016)

2.1.1.2 Os modelos CIE

Qualquer sistema de medidas necessita de um padrão constante de valores, e para medidas colorimétricas, o modelo RGB não o possui, devido à diferença no espaço de cores para os dispositivos e a visão humana.

Segundo Pedrini e Schwartz (2008), visando um modelo de cores que tivesse um padrão entre equipamento e observador, em 1931, a CIE adotou um sistema de representação do espaço, cuja base é constituída por três cores do espectro visível. No modelo desenvolvido pela CIE, as cores são especificadas pela combinação das cores primárias X, Y e Z. As quantidades das cores primárias presentes em uma cor são chamadas de coeficientes tricromáticos, dados por:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (1)$$

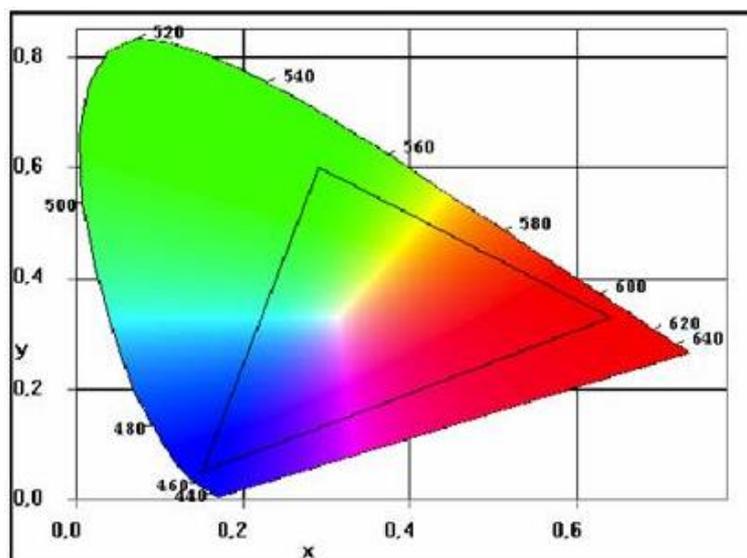
A soma dos três coeficientes tricromáticos reduz o espaço de cores tridimensional a um plano bidimensional que satisfaz a restrição

$$x + y + z = 1 \quad (2)$$

No modelo proposto pela CIE, qualquer combinação aditiva entre duas cores sempre será localizada na reta que conecta estas duas cores no plano XY (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

De acordo com o mesmo autor, no modelo XYZ, duas distâncias iguais em regiões diferentes do diagrama de cromaticidade não indicam variações equivalentes das cores em termos de percepção visual. Em 1976, a CIE definiu dois modelos de cores para permitir escalas perceptualmente mais uniformes, sendo que o modelo Luv é derivado do modelo XYZ da CIE. O componente L corresponde à luminância, enquanto os componentes u e v correspondem à informação de cromaticidade. A figura 3 representa o diagrama de cromaticidade do modelo CIE.

Figura 3: DIAGRAMA DE CROMATICIDADE



FONTE: UFRGS (2016)

O modelo RGB pode ser convertido para CIELuv depois de ser convertido para CIE XYZ. Para este procedimento, podem ser utilizadas as seguintes fórmulas (FORD; ROBERTS, 1998):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4122 & 0,3576 & 0,1805 \\ 0,2125 & 0,7152 & 0,0722 \\ 0,0193 & 0,1192 & 0,9504 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

sendo X, Y e Z os componentes da cor no espaço CIE XYZ e R, G e B os componentes no espaço RGB. Os valores da matriz foram calculados a partir das especificações

das coordenadas de cromaticidade (x, y) dos fósforos (responsáveis pelas cores vermelho, verde, azul e branco).

Com os valores no espaço CIE XYZ determinados, foram calculados os componentes u' , v' , u_w e v_w , sendo X_w , Y_w e Z_w os componentes da cor branca de referência.

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} \quad (4)$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} \quad (5)$$

$$u_w = \frac{4X_w}{X_w+15Y_w+3Z_w} \quad (6)$$

$$v_w = \frac{9Y_w}{X_w+15Y_w+3Z_w} \quad (7)$$

Após este cálculo, foi determinado o componente de luminância L.

Caso $\frac{Y}{Y_w} > 0,008856$, a equação 8 é utilizada.

$$L = 116 * \left(\frac{Y}{Y_w}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (8)$$

Caso $\frac{Y}{Y_w} \leq 0,008856$, usa-se a equação 9.

$$L = 903,3 * \left(\frac{Y}{Y_w}\right) \quad (9)$$

A partir destes valores serão calculados u e v:

$$u = 13 * L(u' - u_w) \quad (10)$$

$$v = 13 * L(v' - v_w) \quad (11)$$

2.1.1.3 Componentes conexos

De acordo com Gershon (1985), os psicólogos da Gestalt mostraram que os humanos possuem uma certa preferência por grupos ou conjuntos organizados em formas em seu campo visual. Os mecanismos de agrupamento organizam a cena em unidades com significado, que são homogêneas com relação a uma ou mais características, sendo este o primeiro passo para sua interpretação. Com relação à segmentação de imagens, a aplicação mais comum de cor é o chamado *region growing*. O objetivo desta técnica é usar as características da imagem para mapear pixels individuais, formando conjuntos de pixels denominados regiões. Uma região pode corresponder a um objeto na imagem ou a uma parte significativa deste. É importante lembrar que a efetividade dos algoritmos de *region growing* dependem altamente da área de aplicação e da imagem de entrada. Por exemplo, para uma imagem simples como uma bolha escura em fundo branco, técnicas simples locais terão um bom resultado, enquanto que para uma cena ao ar livre, técnicas mais elaboradas obterão resultados melhores.

A segmentação abordada neste trabalho faz uso de limiares para destacar elementos de interesse. Os pixels que excederem um certo limiar para algum atributo da imagem são definidos como pertencentes a um grupo e os demais a outro. Segundo Gonzalez e Woods (2000), uma imagem limiarizada é definida pela equação 12.

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > T \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (12)$$

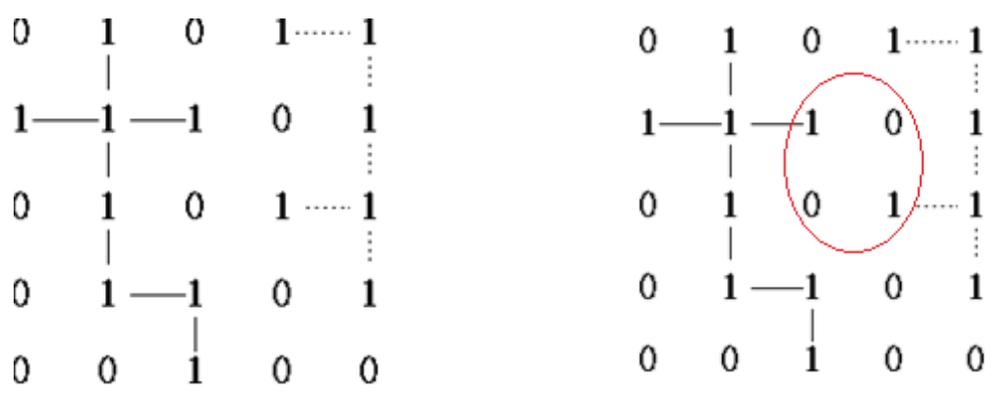
Os pixels rotulados como 1 pertencem ao objeto, enquanto que aqueles rotulados como 0 pertencem ao fundo. Para uma imagem colorida, o procedimento básico é análogo ao da imagem monocromática, porém, o conceito de limiarização passa a ser o de busca por agrupamentos no espaço tridimensional (RGB).

Nesta pesquisa os objetos de interesse foram segmentados e então separados em componentes conexos. Dois pixels são considerados conexos se forem ligados por caminhos cujos pixels adjacentes são vizinhos. O conjunto destes pixels conectados entre si forma um objeto de interesse, chamado de componente conexo.

Quando há mais de um objeto, os componentes destes devem ser rotulados com um valor em $\{1, 2, \dots, c\}$, sendo c o número de objetos na imagem.

Um aspecto que determina a conectividade entre os pixels é a maneira como se relacionam com os elementos vizinhos. Os pixels com conectividade de 4 são considerados vizinhos de cada elemento que toca suas bordas, ou seja, são conectados horizontal e verticalmente. Os pixels com conectividade de 8 são vizinhos de cada elemento que toca suas bordas ou seus vértices (CHENG et al., 2009). A figura 4 possui um exemplo de conectividade de 4, onde são evidenciados os dois componentes conexos formados. Caso tivessem conectividade de 8, teríamos apenas um componente conexo, pois haveria uma ligação entre os pixels no local destacado.

Figura 4: CONECTIVIDADE ENTRE PIXELS



FONTE: ADAPTADA DE CHENG et al. (2009)

2.1.2 Casamento de padrões

Uma das abordagens de reconhecimento mais tradicionais, o casamento de padrões ou *template matching*, é tipicamente utilizada em reconhecimento de voz, aplicações em robótica e, como neste trabalho, na identificação de pontos de controle em imagens.

Esta técnica é baseada na verificação da presença de um determinado padrão ou objeto de referência em uma imagem digital. A palavra “casamento” vem no sentido de comparação de acordo com a similaridade, pois o método atua de acordo com a medida de igualdade ou diferença entre o padrão de referência e a imagem, levando em consideração variações como translação, rotação e mudanças na escala (NASCIMENTO, 2003).

O funcionamento desta técnica depende de dois componentes primários:

Imagem de origem: É a imagem na qual se pretende encontrar os objetos a serem identificados.

Template ou padrão: É um protótipo do objeto a ser reconhecido. No caso deste trabalho será um extrato de imagem que engloba somente o alvo a ser reconhecido.

Um padrão pode apresentar certa variabilidade, nem todas as suas características são necessariamente iguais. A imagem pode ser contaminada por ruído, um objeto pode ser visto por diferentes ângulos, a iluminação pode mudar, bem como as configurações do sensor, e o próprio padrão pode conter diferentes tipologias (BRUNELLI, 2009). Alvos pintados manualmente em um campo de calibração podem conter diferenças milimétricas, e avarias no campo devem ser consideradas devido às intempéries. Nem sempre o *template* disponível adequa-se exatamente ao objeto a ser reconhecido na imagem. Um grande desafio da técnica em discussão é definir estratégias a partir das características do objeto para que o reconhecimento seja efetivo. Esta técnica permite a utilização de correlação estatística entre os dados do padrão e da imagem, e esta é a abordagem utilizada neste trabalho.

A correlação estatística é um índice que mede o grau de associação entre duas variáveis aleatórias. De acordo com Pedrini e Schwartz (2008), o coeficiente de correlação entre duas imagens f e g é dado por:

$$r = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - \mu_f][g(x,y) - \mu_g]}{\sqrt{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x,y) - \mu_f]^2 \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [g(x,y) - \mu_g]^2}} \quad (13)$$

onde M é o número total de colunas da imagem, N é o número total de linhas, μ_f é a média dos valores dos pixels da imagem f , μ_g é a média dos valores dos pixels da imagem g os termos $f(x,y)$ e $g(x,y)$ são referentes aos pixels das imagens f e g , respectivamente, sendo $0 < x < M - 1$ e $0 < y < N - 1$.

Observando-se a equação, a correlação pode ser vista como a covariância dividida por um fator que depende da distribuição dos níveis de cinza (variância da imagem) de cada uma das imagens. O valor de r varia entre -1 a 1, sendo que valores próximos de zero representam um relacionamento linear mais fraco entre as duas imagens, ou inexistente ($r=0$).

2.2 TRANSFORMAÇÃO PROJETIVA

As transformações projetivas ou homografias permitem que cada ponto dos objetos que formam a cena no espaço tridimensional possa ser projetado no plano de imagem. As transformações projetivas mais comuns são as projeções ortográfica e perspectiva (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008).

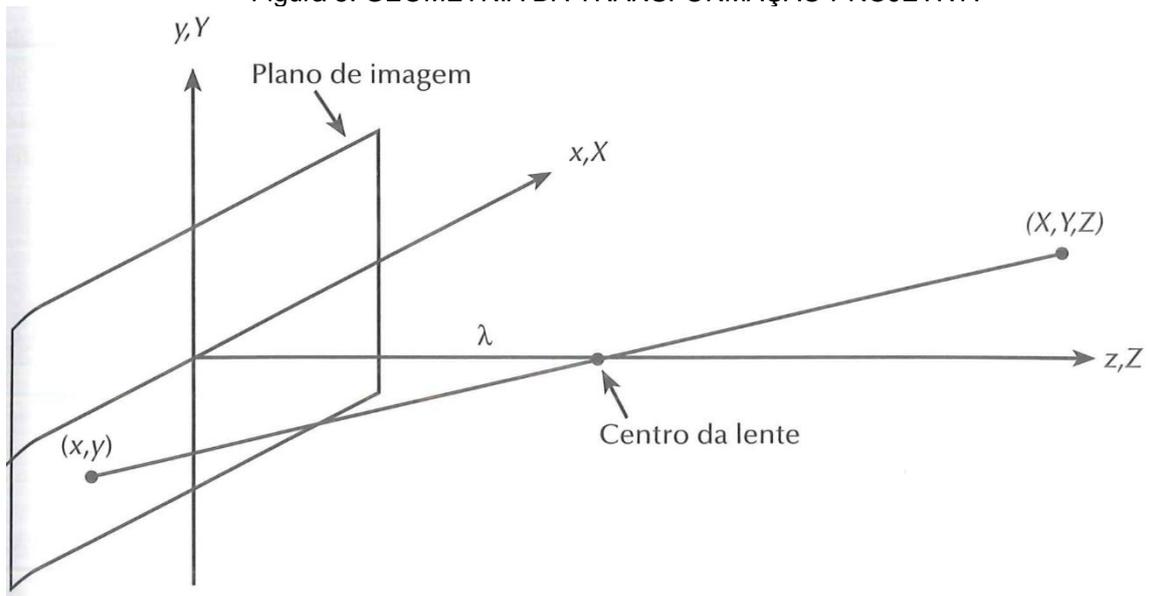
Segundo Gonzalez e Woods (2000), uma transformação de perspectiva projeta pontos tridimensionais sobre um plano. Transformações de perspectiva desempenham papel chave em processamento de imagens porque oferecem uma aproximação à maneira na qual uma imagem é formada ao se olhar para o mundo tridimensional. Nessa transformação, conforme Pedrini e Schwartz (2008), o tamanho dos objetos é reduzido com o aumento da distância do centro de projeção. Esses efeitos estão relacionados à percepção de profundidade do sistema visual humano, embora a forma dos objetos não seja preservada.

A figura 5 mostra um modelo do processo de formação da imagem. Seja (x, y, z) o sistema de coordenadas da câmara, este é colocado de tal forma que o plano da imagem coincida com o plano xy e o eixo óptico (estabelecido pelo centro da lente) fique ao longo do eixo z . Então, o centro da lente estará nas coordenadas $(0, 0, \lambda)$. Assumimos aqui que o sistema de coordenadas da câmara está alinhado com o sistema de coordenadas do mundo (X, Y, Z) e que $Z > \lambda$, ou seja, todos os pontos de interesse ficam à frente da lente. As coordenadas (x, y) da projeção do ponto (X, Y, Z) sobre o plano da imagem são obtidas por meio do uso de semelhança de triângulos na figura 5 (GONZALEZ; WOODS, 2000).

$$\frac{x}{\lambda} = -\frac{X}{Z-\lambda} = \frac{X}{\lambda-Z} \quad (14)$$

$$\frac{y}{\lambda} = -\frac{Y}{Z-\lambda} = \frac{Y}{\lambda-Z} \quad (15)$$

Figura 5: GEOMETRIA DA TRANSFORMAÇÃO PROJETIVA



FONTE: GONZALEZ E WOODS (2000)

Os sinais negativos na frente de X e Y indicam que os pontos da imagem são, na verdade, invertidos, como mostra a geometria da figura 5. As coordenadas do plano da imagem no ponto tridimensional projetado seguem diretamente das equações anteriores:

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (16)$$

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad (17)$$

É conveniente expressar estas equações na forma de matrizes lineares, ou então na forma a seguir:

$$x = \frac{b_{11} \cdot X + b_{12} \cdot Y + b_{13}}{b_{31} \cdot X + b_{32} \cdot Y + 1} \quad (18)$$

$$y = \frac{b_{21} \cdot X + b_{22} \cdot Y + b_{23}}{b_{31} \cdot X + b_{32} \cdot Y + 1} \quad (19)$$

onde b_{11} , b_{12} , b_{13} , b_{21} , b_{22} , b_{23} , b_{31} e b_{32} são os parâmetros da transformação, x e y são os valores das coordenadas da imagem e X e Y são os valores de coordenadas no espaço objeto.

As equações (18) e (19) derivam diretamente das equações de colinearidade, relação fundamental da fotogrametria analítica (XAVIER et al., 2007).

2.3 SISTEMAS DE DETECÇÃO DE ALVOS

Segundo Habib et al. (2013), várias formas de alvos tem sido utilizados como ponto de controle em sistemas de reconhecimento automático para calibração de câmaras, como cruces, pontos pretos em um fundo branco, alvos codificados, retroreflectivos, projetados com laser e codificados coloridos.

Em 2004, Kokubum et al. publicaram um estudo no qual um sistema de reconhecimento foi proposto para a detecção de alvos projetados por reconstrução com luz estruturada. O método utilizado consistia na substituição de uma câmara por um dispositivo que projeta um padrão de luz conhecido na cena a ser reconstruída. Foram utilizados padrões quadrados, formados pela junção de cinco padrões primitivos diferentes, projetados com luz branca. Para a identificação, foram utilizadas técnicas de limiarização, *region growing* e casamento de padrões, com bons resultados.

Gonçalves e Mitishita (2004), desenvolveram um sistema utilizando casamento de padrões no qual a detecção ocorria por meio de correlação, utilizando o campo de calibração do Laboratório de Fotogrametria da UFPR. Os autores transformaram os valores em RGB para HSI (hue, saturation, intensity), e a correlação foi calculada pelos valores da intensidade. A metodologia empregada permitiu obter precisamente a posição do pixel de interesse para qualquer forma geométrica de alvo.

Alguns sistemas de reconhecimento de alvos presentes na literatura possuem padrões binários em seu interior, e a detecção é feita através de segmentação das bordas, que tem como saída uma imagem com vários segmentos de reta, agrupados em quadrados. A partir dessas formas o padrão interior dos alvos é lido.

Segundo Fiala (2004), dentre os sistemas com metodologia similar, o ARTag alcançou uma probabilidade do alvo ser marcado no lugar de outro ou o plano de fundo ser erroneamente marcado em menos de 0,0079%, e possui resultados melhores com relação à luz e oclusões parciais do que o ARToolkit, desenvolvido por Kato e Billinghamurst em 1999, e amplamente utilizado. O que ocorre é que o ARTag possui licença de distribuição e isto dificulta seu uso em pesquisas acadêmicas. Embora possua uma tipologia muito parecida, o ARTag tem melhor desempenho do

que o ARToolkit, pois seu limiar é adaptativo, diferente do outro, que utiliza um limiar somente, e em condições de iluminação variável não detecta todos os alvos.

O ARToolkit foi sucedido pelo ARToolkitplus, apresentado em 2007 por Wagner e Schmalstieg. Este sistema possui a vantagem de ser utilizado em dispositivos móveis e também atualiza automaticamente o limiar de acordo com o valor de pixels nos marcadores uma vez detectados, mas diferentemente dos outros sistemas, não realiza verificação de erros.

Em 2007, Neves et al. apresentaram um estudo sobre identificação automática no IX Simpósio de aplicações operacionais em áreas de defesa (SIGE). O método de segmentação utilizado foi o watershed, wavelet e morfologia matemática para segmentar objetos em imagens infravermelhas. Neste mesmo ano, Lopez e Fuentes utilizaram o espaço CIELab para detectar placas de sinalização de rodovias em imagens coloridas. Resultados experimentais provaram que o método é invariante à rotação no plano, sendo capaz de detectar placas de diferentes tamanhos e cores vistas de qualquer orientação. O sistema detectou em média 97% das placas em ambiente de estradas e rodovias.

Em 2010, foi desenvolvido na Universidade de Córdoba um sistema denominado ArUco. Rápido, confiável e multiplataforma, possui limitação de 1024 alvos (SILVA et al., 2014). Utiliza geração automática, isto é, os alvos são gerados de acordo com a quantidade necessária para a aplicação, e com a maior diferença de bits entre eles, de modo a evitar que sejam confundidos com objetos do ambiente. Esta estratégia mostrou-se válida por meio de um estudo no qual foi comparada com o ARTag, e obteve melhores resultados para as diferenças entre os alvos do que este (GARRIDO-JURADO et al., 2014). Os alvos possuem códigos binários e sua detecção ocorre também através de detecção de bordas para extração do código.

A metodologia de trabalho realizada por Habib et al. (2013) compreende a redução da imagem, a detecção aproximada dos alvos e então a locação precisa das coordenadas dos centros dos alvos. Foram usados algoritmos como o detector de bordas de Canny, detector de cantos de Harris e de Forstner, e alvos com formato xadrez e circular. Os autores recomendam o uso de alvos com tipologia xadrez, pois sua detecção foi mais robusta. A tabela 1 resume alguns trabalhos já publicados sobre o assunto, com autor, ano, tipo de alvo utilizado e metodologia utilizada.

TABELA 1 - COMPONENTES CONEXOS DENTRO DO LIMIAR DE PORCENTAGEM

| AUTOR | ANO | TIPO DE ALVO | MÉTODO |
|------------------------|------|---|--|
| Kato e Billinghamurst | 1999 | Padrões monocromáticos quadrados | Casamento de padrões |
| Kokubum et al. | 2004 | Padrão quadrado de luz branca | Casamento de padrões Region Growing Limiarização |
| Gonçalves e Mitishita | 2004 | Circulares e cruzes | Casamento de padrões |
| Fiala | 2004 | Padrões monocromáticos quadrados | Detector de bordas Padrões binários no interior |
| ARToolkit Plus | 2007 | Padrões monocromáticos quadrados | Detector de bordas Casamento de padrões |
| Neves et al. | 2007 | Regiões com temperatura acima ou abaixo da ambiente | Watershed, wavelet e morfologia matemática |
| Lopez e Fuentes | 2007 | Placas de sinalização | Modelo Gaussiano |
| Garrido- Jurado et al. | 2010 | Padrões monocromáticos quadrados | Detector de bordas Padrões binários no interior |
| Habib et al. | 2013 | Xadrez circular e apenas circular | Detector de Canny Detector de Harris e Forstner Casamento de padrões |

3 METODOLOGIA

Este capítulo está dividido em duas partes: na primeira são descritos os materiais usados para a execução desta pesquisa e na segunda, os métodos utilizados em cada etapa do trabalho.

3.1 MATERIAIS

Os alvos coloridos foram pintados com tinta spray multiuso, a partir de um molde vazado de 15x15cm. Foram utilizadas tintas nas cores verde, azul, vermelho e preto (Figura 6). Os alvos monocromáticos foram confeccionados em alumínio composto, com diâmetro de 12cm.

A elaboração dos algoritmos foi realizada no Freemat v4.2 sendo processada em um notebook ASUS® com Windows® 8 e processador INTEL® Core i7. Para a tomada das imagens dos testes de detecção foi utilizado um celular SAMSUNG® com resolução de câmara de 5 megapixels, com sensor de 1836x3264 pixels.

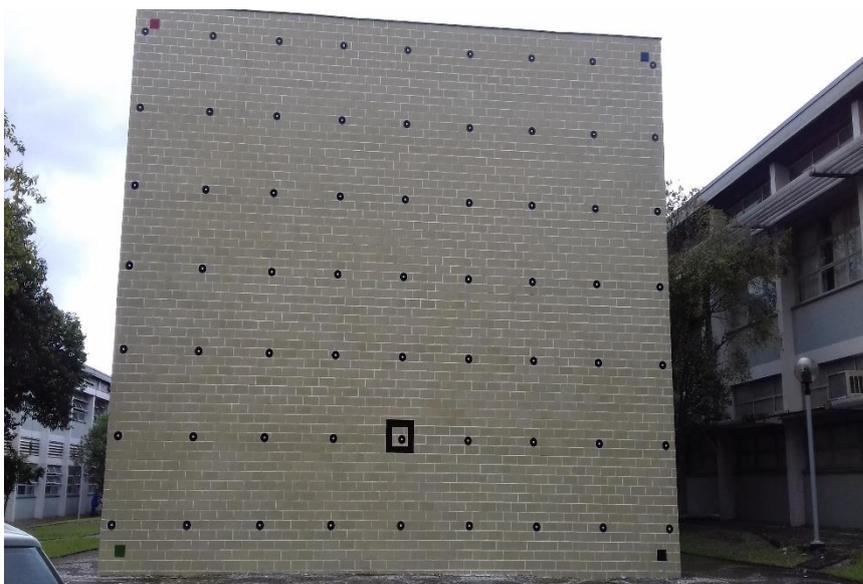
3.2 MÉTODOS

3.2.1 Revitalização do novo campo de calibração

O Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná mantém um campo de testes de calibração, localizado em uma das paredes externas do bloco VI, no Centro Politécnico. Como os alvos existentes nesse espaço estavam parcialmente apagados e não possuíam condições de ser utilizados nesta pesquisa, foi necessária uma revitalização do campo.

A parede onde estão inseridos os alvos foi limpa e teve sua argamassa de rejunte recolocada. Foram confeccionados novos alvos, em alumínio composto, com 12cm de diâmetro e nas cores preto e branco. Esses alvos foram fixados à parede com adesivo epóxi, dispostos em sete fileiras, com nove alvos cada. Também neste campo de calibração foram inseridos quatro alvos coloridos nas extremidades da parede. Esses são quadrados, com 15cm de lado, nas cores vermelho, verde, azul e preto e dispostos nas quatro extremidades do campo, conforme indicado na figura 6.

Figura 6: CAMPO DE ALVOS DO LABORATÓRIO DE FOTOGRAMETRIA DA UFPR



FONTE: A AUTORA (2015)

As fotografias do campo foram tomadas em dias e horários diferenciados, bem como condições atmosféricas distintas, de maneira que as condições de iluminação tivessem variabilidade. Foi utilizada a câmara de um celular Samsung com resolução de 5MP, propositadamente de baixa qualidade. Um vez que o método proposto para a detecção funcione num dispositivo com baixa resolução, o mesmo funcionará para dispositivos com resoluções mais altas.

A leitura das coordenadas do centro dos alvos para um referencial local foi realizada por meio de estação total, e disponibilizada pelo laboratório de Fotogrametria da UFPR (Anexo I).

3.2.2 Segmentação das imagens

Nesta etapa de segmentação, o objetivo é separar nas imagens do campo os pixels referentes aos alvos coloridos dos demais pixels, de modo que seja conhecida a localização dos alvos coloridos. Como as imagens do campo de calibração foram tiradas em um dispositivo que opera no espaço RGB, e a segmentação dessas imagens será realizada no espaço CIELuv, foi necessária uma conversão entre esses dois modelos. O processo de conversão consiste primeiramente em converter os pixels do espaço RGB para o XYZ e depois, deste último para CIELuv, utilizando as equações descritas no item 2.1.1.2.

No espaço CIELuv, cada pixel possui um valor para as componentes u e v referentes à cor, e L, referente à iluminância. Foram então mapeadas, dentro do espaço CIELuv, por meio de testes, regiões onde os valores dos pixels eram referentes às cores dos alvos: verde, azul, vermelho e preto. Os valores que, no espaço UV referem-se aos limites de cada cor estão representados na tabela 2 e no gráfico da figura 7.

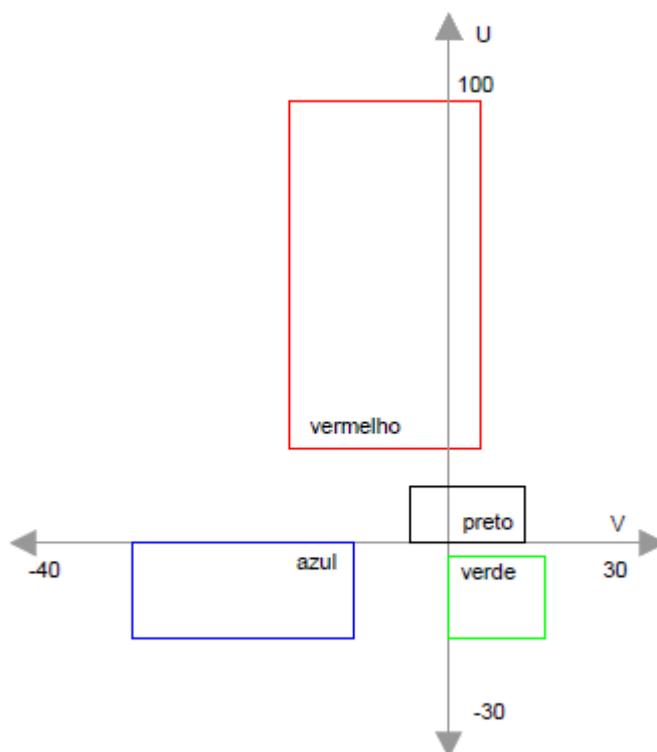
Foi elaborado um algoritmo que atribui cores puras em RGB aos pixels que possuem valores referentes à essas cores em CIELuv. Por exemplo, aos pixels que tiveram valores para L, u e v dentro dos limiares especificados para o vermelho, foi atribuída a cor vermelha em RGB, ou seja, o valor das bandas para estes pixels foi (255, 0, 0). Aos que tiveram valores para L, u e v dentro dos limiares especificados para o verde, foi atribuída a cor verde em RGB, ou seja, (0, 255, 0). De maneira análoga, os pixels com valores no limiar do azul tiveram a cor azul no espaço RGB, sendo (0, 0, 255) o valor de suas bandas. Aos pixels que tiveram valores para L, u e v dentro dos limiares especificados para o preto, foi atribuída a cor preta, com as bandas dos pixels tendo como valor (0, 0, 0). Aos que não se enquadraram nestes limiares, a cor branca foi atribuída, tendo os pixels o valor de (255, 255, 255).

TABELA 2 – LIMIARES PARA AS CORES NO ESPAÇO UV

| CORES | U | | V | |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| | min | max | min | max |
| vermelho | 15 | 70 | -25 | 5 |
| verde | -15 | -2 | 0 | 15 |
| azul | -15 | 0 | -50 | -15 |
| preto | 0 | 9 | -6 | 12 |

FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 7: REPRESENTAÇÃO DOS LIMIARES PARA AS CORES NO ESPAÇO UV



FONTE: A AUTORA (2016)

Para a segmentação da imagem resultante desse procedimento, foi elaborado um algoritmo que separa os componentes conexos entre si. O procedimento de separação ocorre por meio de uma varredura em cada banda, onde para cada pixel são avaliados os adjacentes com conectividade de 4. Caso estes possuam o mesmo valor do pixel em questão, terão suas coordenadas de imagem armazenadas, e, para uma matriz vazia com as mesmas dimensões da imagem, na linha e coluna respectiva a estes pixels será atribuído um valor numérico, de 1 a N, referente ao componente conexo em questão. N é o número total de componentes conexos da imagem.

Para o caso do alvo da cor preta, foi necessária uma restrição na janela de busca, pois houve uma grande quantidade de componentes conexos, o que causou lentidão na detecção do alvo. Essa restrição deu-se da seguinte forma: a partir da combinação das coordenadas encontradas para os alvos das cores verde, vermelho e azul, chegou-se a uma aproximação da coordenada do alvo da cor preta. As equações 20 e 21 foram utilizadas para uma das imagens obtidas, sendo Y_k e X_k as aproximações das coordenadas Y e X do alvo da cor preta, respectivamente:

$$Y_k = -48 + 152 + 1715 \quad (20)$$

$$Y_k = 1819$$

$$X_k = -566 + 2407 + 435 \quad (21)$$

$$X_k = 2276$$

A janela de varredura em busca de componentes conexos foi reduzida a um espaço na imagem que compreendia 350 pixels à direita, à esquerda, acima e abaixo dos valores encontrados para Y_k e X_k . Uma vez calculados os componentes conexos, foi determinada a área de cada um deles, em quantidade de pixels. Como as imagens foram tomadas de maneira que a parede ocupasse quase a totalidade da área central da fotografia, foi utilizado um limiar na porcentagem de área da imagem, em pixels, ocupada por cada alvo. Por exemplo, em uma imagem tirada com resolução de 1836x3264 pixels, o alvo ocupa aproximadamente 1150 pixels, o que resulta em, aproximadamente 0,02% da imagem. Os limiares utilizados como padrão para a porcentagem foram de 0,01% a 0,03%, ou seja, os componentes que ocupassem uma porcentagem da imagem entre esses valores seria armazenado pelo algoritmo. O uso de limiares na porcentagem permite que se utilize dispositivos com diferentes resoluções.

Após a aplicação destes limites para a porcentagem de ocupação da imagem, em alguns casos não se obteve apenas um componente, o que ocasionou a necessidade de um novo limiar. Foi então aplicado o índice i (eq. 22), que é uma adaptação do índice de Gravelius, ou coeficiente de compacidade, aplicado em bacias hidrográficas, o qual relaciona o perímetro de uma bacia com o perímetro de uma bacia de mesma área, porém de forma circular (VILLELA; MATTOS, 1975). O índice i relaciona o perímetro de um componente conexo com o perímetro de um componente com mesma área, porém quadrado, sendo que P corresponde ao perímetro e A corresponde à área, ambos em pixels. Quanto mais próximo de 1, mais próxima ao quadrado é sua forma, o que a aproxima dos alvos. Como padrão foram utilizados os limiares de 0,9 a 1,2. Este procedimento foi realizado para as cores vermelho, verde, azul e preto.

$$i = \frac{P}{4\sqrt{A}} \quad (22)$$

As coordenadas dos alvos identificados serão calculadas por meio da fórmula do centróide para áreas compostas, em que cada pixel é considerado um elemento com área unitária, conforme as equações 23 e 24 (HIBBELER, 2010), sendo C_x e C_y as coordenadas em x e y do componente conexo; n o número de pixels; A_i a área de cada pixel e C_{xn} e C_{yn} as coordenadas x e y de cada pixel.

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n A_i C_{xn}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (23)$$

$$C_y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i C_{yn}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (24)$$

As coordenadas em x e y de cada alvo foram obtidas também manualmente em todas as imagens, de modo que se pudesse comparar às obtidas por meio do algoritmo. As etapas do algoritmo de detecção dos alvos coloridos na imagem estão representadas na figura 8.

Figura 8: ESQUEMATIZAÇÃO DO ALGORITMO EXECUTADO PARA DETECÇÃO DE ALVOS COLORIDOS



FONTE: A AUTORA (2016)

3.2.3 Detecção por casamento de padrões

Seja C_a a matriz de coordenadas obtidas para os alvos coloridos das imagens por meio do algoritmo, e C_l a matriz de coordenadas lidas com a estação total. A correspondência entre as duas matrizes será feita por meio da transformação projetiva. Como exemplo, foram utilizadas as coordenadas para a imagem A (figura 10):

$$C_a = \begin{bmatrix} 566 & 48 \\ 435 & 1715 \\ 2407 & 152 \\ 2470 & 1726 \end{bmatrix}$$

$$C_l = \begin{bmatrix} 0,1359 & 6,8954 \\ 0,1443 & -0,3222 \\ 8,6435 & 6,9203 \\ 8,6384 & -0,3438 \end{bmatrix}$$

O vetor P dos parâmetros da transformação será obtido por meio de solução única das equações 19 e 20, a partir das coordenadas C_a e C_l :

$$P = \begin{pmatrix} 110,5 \\ 31 \\ 353,4 \\ -29,3 \\ -171,6 \\ 1525,2 \\ -0,00002 \\ 0,000009 \end{pmatrix}$$

Ainda que os dois últimos elementos do vetor sejam muito pequenos, não se pode desprezar estes valores e utilizar a transformação afim, pois haverá grande discrepância no resultado final. Com esses parâmetros e as coordenadas lidas para os alvos monocromáticos com a estação total, será possível determinar coordenadas de imagem aproximadas para esses alvos, e, nesses locais da imagem, serão inseridas janelas de busca para a detecção por casamento de padrões.

O procedimento de detecção por casamento de padrões compreende a identificação exata das coordenadas do centro dos alvos monocromáticos na imagem.

As coordenadas aproximadas dos centros dos alvos monocromáticos determinarão onde as janelas de busca serão posicionadas, de forma que a varredura ocorra somente em um local próximo das coordenadas exatas dos alvos, para que a etapa de detecção por casamento de padrões seja mais eficiente. Foi estipulada uma dimensão de 31 pixels para cada lado da janela de busca, sendo 15 de cada lado das coordenadas aproximadas. Os *templates* retirados das imagens possuem uma medida de aproximadamente 15x15 pixels, então foi estipulado o dobro dessa medida para que houvesse espaço suficiente para que a varredura fosse realizada. Para um *template* da imagem contendo um dos alvos (figura 9), será feita uma comparação pixel a pixel e serão calculadas as matrizes de correlação, com a fórmula da equação 13. As coordenadas do centro dos alvos monocromáticos serão os locais onde a correlação for máxima.

Figura 9: *TEMPLATE* UTILIZADO PARA O CASAMENTO DE PADRÕES NA IMAGEM A



FONTE: A AUTORA (2016)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens nas figuras 10 a 19 foram tomadas do campo de calibração em condições de iluminação, horários e ângulos diferentes. Para a apresentação dos resultados, estas foram nomeadas de A a J. As imagens de A a C foram tiradas pela manhã, D, E, I e J no fim da tarde e F e G foram tiradas no início da tarde. As imagens de A a F foram tiradas em dias nublados, nos quais a iluminação é menor. As imagens de G a J foram tiradas em dias ensolarados, nos quais a incidência de luz é maior. Foram tomadas fotografias de frente e com rotação de aproximadamente 45°.

Figura 10: IMAGEM A DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 11: IMAGEM B DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 12: IMAGEM C DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 13: IMAGEM D DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 14: IMAGEM E DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 15: IMAGEM F DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 16: IMAGEM G DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



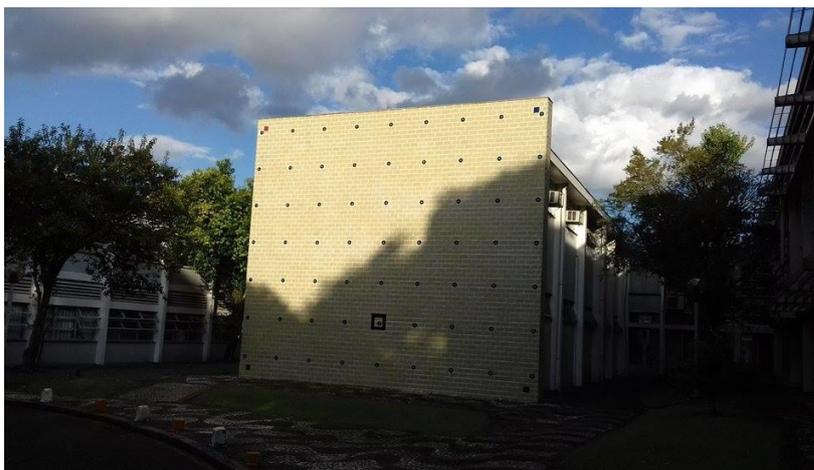
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 17: IMAGEM H DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 18: IMAGEM I DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 19: IMAGEM J DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO

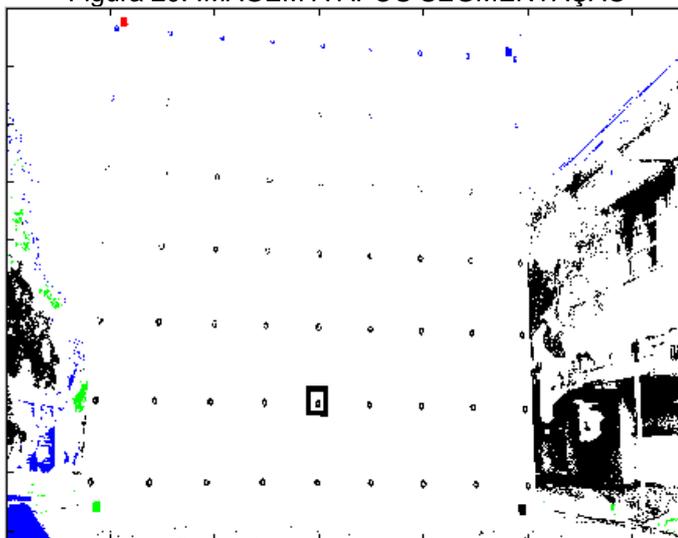


FONTE: A AUTORA (2016)

As imagens I e J apresentaram um forte contraste, prejudicando a detecção do alvo vermelho. Dessa forma, essas imagens foram descartadas da análise dos resultados.

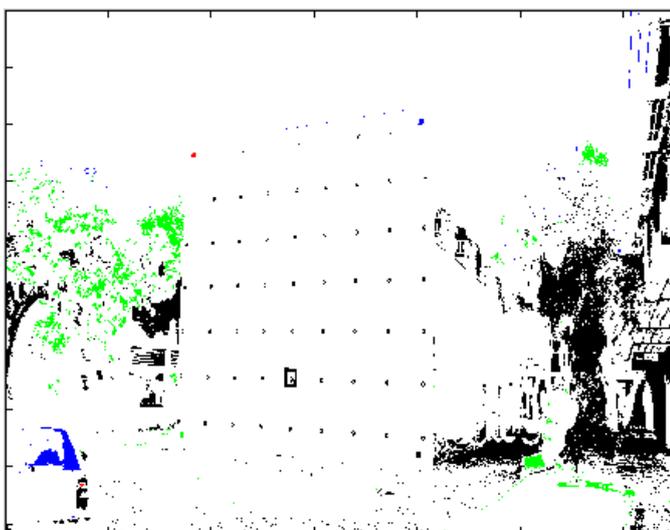
As imagens a seguir foram obtidas por meio do processo de conversão descrito no item 3.2.2.

Figura 20: IMAGEM A APÓS SEGMENTAÇÃO



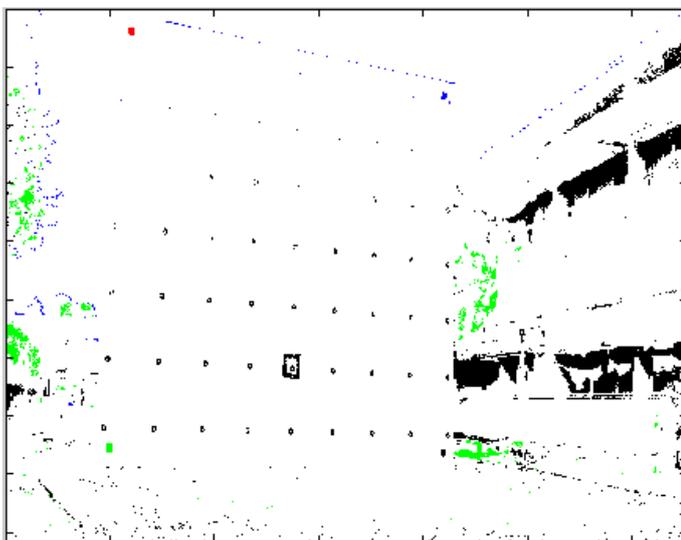
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 21: IMAGEM B APÓS SEGMENTAÇÃO



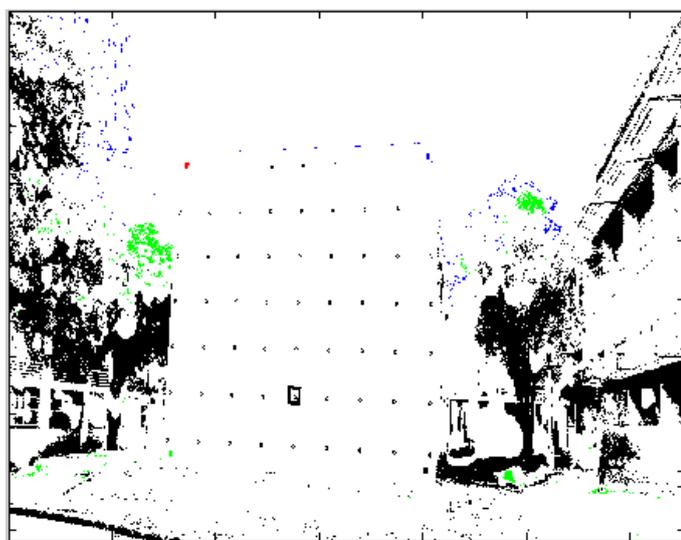
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 22: IMAGEM C APÓS SEGMENTAÇÃO



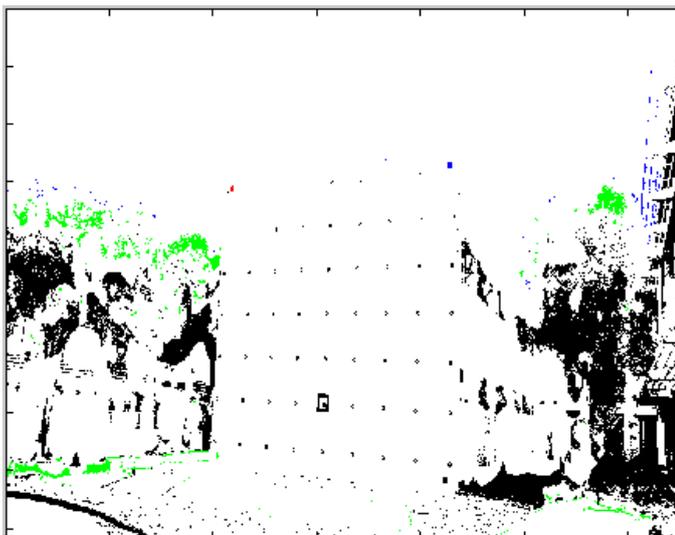
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 23: IMAGEM D APÓS SEGMENTAÇÃO



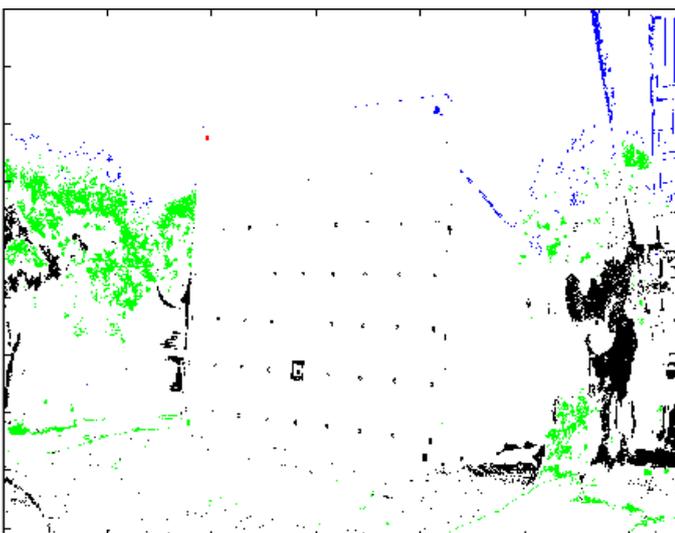
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 24: IMAGEM E APÓS SEGMENTAÇÃO



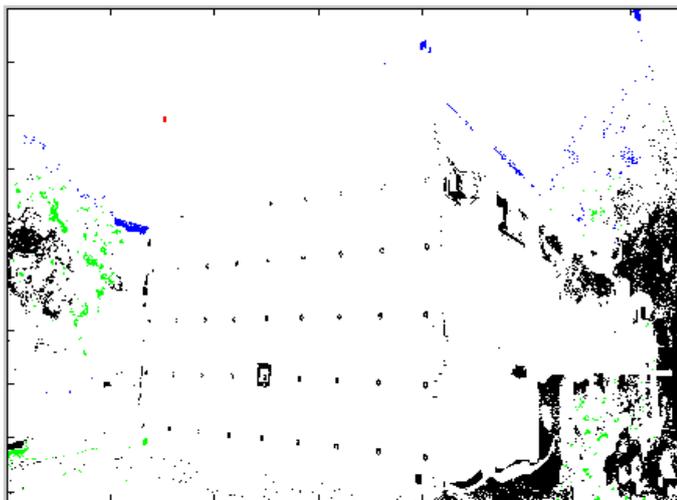
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 25: IMAGEM F APÓS SEGMENTAÇÃO



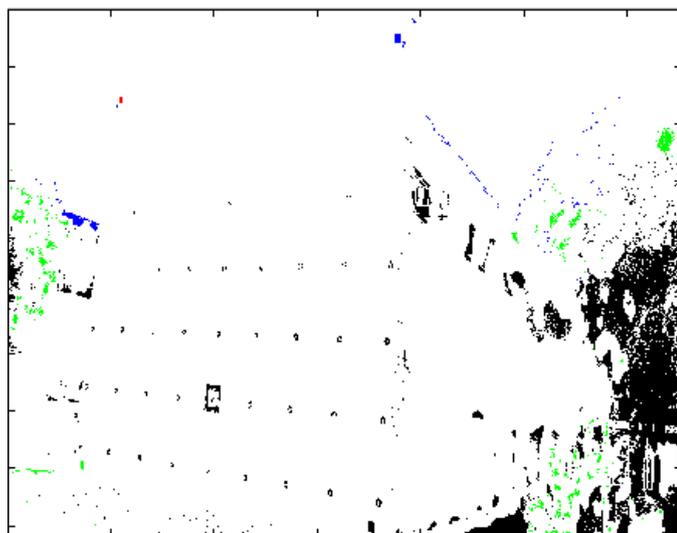
FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 26: IMAGEM G APÓS SEGMENTAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Figura 27: IMAGEM H APÓS SEGMENTAÇÃO



FONTE: A AUTORA (2016)

Uma vez convertidas as imagens, o limiar aplicado à porcentagem de área fez com que a grande maioria dos elementos externos na imagem (árvores, calçada, grama, etc) não influenciassem no resultado da identificação.

A seguir, será mostrado detalhadamente o processo de obtenção das coordenadas dos alvos coloridos para a imagem A. Os resultados finais dessas coordenadas para as demais imagens estão disponíveis no Apêndice I.

Após serem calculados os componentes conexos, foi aplicado o limiar de porcentagem de 0,01 a 0,03 conforme descrito no item 3.2.2 da metodologia. Os

resultados para os componentes conexos selecionados com a aplicação dos limiares estão expressos na tabela 3, para cada cor de alvo.

TABELA 3 - COMPONENTES CONEXOS DENTRO DO LIMIAR DE PORCENTAGEM

| COR | Nº DO COMPONENTE | PORCENTAGEM |
|----------|------------------|-------------|
| VERMELHO | 1 | 0,016 |
| VERDE | 41 | 0,0131 |
| | 199 | 0,0146 |
| | 347 | 0,0222 |
| AZUL | 51 | 0,9 |
| | 1022 | 3,1 |
| | 1255 | 1,5 |
| PRETO | 44 | 0,018 |

FONTE: A AUTORA (2016)

Pela tabela é possível perceber que a porcentagem de área dos componentes conexos dos alvos se encontrava dentro da faixa dos limiares padrão aplicados, de 0,01% a 0,03%. Porém, no caso do azul e verde, mais de um componente conexo se encontrava dentro dessa faixa. A partir destes resultados, para as cores azul e verde foi necessária mais uma etapa de segmentação.

Nessa etapa os componentes selecionados foram segregados por meio de um limiar aplicado ao coeficiente de compacidade. Desta forma, apenas um componente conexo foi selecionado, para as cores verde e azul. Os resultados para esta operação são apresentados na tabela 4.

TABELA 4 – APLICAÇÃO DO COEFICIENTE DE COMPACIDADE

| COR | Nº DO COMPONENTE | PERÍMETRO | ÁREA | <i>i</i> |
|-------|------------------|-----------|------|----------|
| VERDE | 41 | 491 | 798 | 4,3 |
| | 199 | 370 | 891 | 3,1 |
| | 347 | 140 | 1351 | 1 |
| AZUL | 51 | 114 | 924 | 0,9 |
| | 1022 | 398 | 1002 | 0,31 |
| | 1255 | 153 | 616 | 1,5 |

FONTE: A AUTORA (2016)

Utilizando os limites estipulados de 0,9 a 1,2 para o coeficiente de compacidade, para a cor verde foi obtido o componente conexo de número 347, e para a cor azul, foi obtido o componente conexo de número 51. Estes são os

componentes conexos relativos aos alvos verde e azul. As coordenadas dos centróides foram calculadas, conforme descrito em 3.2.2. As coordenadas obtidas para o centróide dos alvos da imagem A foram:

TABELA 5 – COORDENADAS DOS CENTRÓIDES DOS ALVOS COLORIDOS DA IMAGEM A

| ALVO | LINHA | COLUNA |
|----------|-------|--------|
| Vermelho | 48 | 566 |
| Verde | 1715 | 435 |
| Azul | 152 | 2407 |
| Preto | 1726 | 2470 |

FONTE: A AUTORA (2016)

A partir das coordenadas da tabela 5 e das coordenadas lidas para um referencial local, foi possível reconstituir a geometria da tomada da imagem, por meio da transformação projetiva. Foram então determinados por meio de uma solução única, os parâmetros dessa transformação, utilizando-se das coordenadas de imagem do centróide dos alvos coloridos e das médias das coordenadas dos cantos dos alvos, lidos com estação total, no campo de calibração.

Com os parâmetros obtidos para a transformação projetiva e as coordenadas do centro dos alvos monocromáticos, foram então determinadas as coordenadas para a imagem do centro destes. Os parâmetros foram apresentados no item 3.2.3 da metodologia e as coordenadas aproximadas dos alvos monocromáticos, na tabela 6, em conjunto com as coordenadas lidas manualmente e a diferença entre as duas.

TABELA 6 – COORDENADAS APROXIMADAS PARA IMAGEM A

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. aproximadas do alg. | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1633 | 405 | 1631 | 405 | 0 | 2 |
| 1634 | 686 | 1632 | 686 | 0 | 2 |
| 1635 | 959 | 1633 | 961 | -2 | 2 |
| 1637 | 1226 | 1633 | 1228 | -2 | 4 |
| 1638 | 1489 | 1634 | 1490 | -1 | 4 |
| 1639 | 1748 | 1635 | 1747 | 1 | 4 |
| 1640 | 2001 | 1637 | 2000 | 1 | 3 |
| 1642 | 2251 | 1640 | 2250 | 1 | 2 |
| 1644 | 2498 | 1644 | 2499 | -1 | 0 |
| 1350 | 428 | 1349 | 428 | 0 | 1 |
| 1355 | 709 | 1352 | 711 | -2 | 3 |

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. aproximadas do alg. | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1358 | 975 | 1355 | 978 | -3 | 3 |
| 1362 | 1235 | 1358 | 1238 | -3 | 4 |
| 1366 | 1493 | 1362 | 1494 | -1 | 4 |
| 1370 | 1744 | 1365 | 1743 | 1 | 5 |
| 1373 | 1992 | 1370 | 1989 | 3 | 3 |
| 1377 | 2238 | 1375 | 2235 | 3 | 2 |
| 1381 | 2487 | 1381 | 2486 | 1 | 0 |
| 1077 | 449 | 1075 | 449 | 0 | 2 |
| 1084 | 728 | 1082 | 731 | -3 | 2 |
| 1090 | 993 | 1088 | 996 | -3 | 2 |
| 1097 | 1242 | 1094 | 1245 | -3 | 3 |
| 1103 | 1496 | 1100 | 1496 | 0 | 3 |
| 1109 | 1747 | 1107 | 1745 | 2 | 2 |
| 1115 | 1993 | 1112 | 1989 | 4 | 3 |
| 1120 | 2237 | 1119 | 2232 | 5 | 1 |
| 1127 | 2476 | 1126 | 2473 | 3 | 1 |
| 812 | 470 | 811 | 471 | -1 | 1 |
| 821 | 742 | 821 | 745 | -3 | 0 |
| 831 | 1002 | 831 | 1006 | -4 | 0 |
| 839 | 1251 | 839 | 1254 | -3 | 0 |
| 847 | 1501 | 847 | 1501 | 0 | 0 |
| 854 | 1746 | 854 | 1745 | 1 | 0 |
| 863 | 1988 | 863 | 1985 | 3 | 0 |
| 870 | 2231 | 870 | 2225 | 6 | 0 |
| 879 | 2466 | 879 | 2463 | 3 | 0 |
| 558 | 491 | 557 | 491 | 0 | 1 |
| 571 | 756 | 570 | 758 | -2 | 1 |
| 580 | 1010 | 581 | 1013 | -3 | -1 |
| 590 | 1260 | 592 | 1263 | -3 | -2 |
| 600 | 1507 | 602 | 1507 | 0 | -2 |
| 610 | 1749 | 613 | 1747 | 2 | -3 |
| 619 | 1987 | 621 | 1983 | 4 | -2 |
| 630 | 2225 | 631 | 2221 | 4 | -1 |
| 639 | 2457 | 640 | 2454 | 3 | -1 |
| 312 | 511 | 311 | 511 | 0 | 1 |
| 324 | 772 | 324 | 773 | -1 | 0 |
| 337 | 1023 | 339 | 1025 | -2 | -2 |
| 349 | 1268 | 352 | 1267 | 1 | -3 |
| 360 | 1512 | 364 | 1513 | -1 | -4 |
| 372 | 1751 | 376 | 1749 | 2 | -4 |
| 383 | 1986 | 386 | 1983 | 3 | -3 |
| 394 | 2218 | 396 | 2215 | 3 | -2 |
| 405 | 2447 | 406 | 2446 | 1 | -1 |

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|----------|
| Coord. aproximadas do alg. | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 71 | 531 | 70 | 530 | 1 | 1 |
| 85 | 785 | 85 | 785 | 0 | 0 |
| 100 | 1033 | 101 | 1034 | -1 | -1 |
| 113 | 1276 | 115 | 1276 | 0 | -2 |
| 127 | 1517 | 130 | 1517 | 0 | -3 |
| 139 | 1752 | 142 | 1751 | 1 | -3 |
| 153 | 1983 | 155 | 1981 | 2 | -2 |
| 165 | 2212 | 166 | 2211 | 1 | -1 |
| 177 | 2438 | 176 | 2438 | 0 | 1 |
| Média | | | | 0,285714 | 0,47619 |
| Desvio Padrão | | | | 2,277764 | 2,217228 |

FONTE: A AUTORA (2016)

Nos locais indicados por estas coordenadas aproximadas dos alvos monocromáticos foram inseridas as janelas de busca para a detecção por casamento de padrões. Os locais que apresentaram correlação máxima entre o template utilizado e a imagem de entrada foram considerados como as coordenadas exatas dos alvos monocromáticos. Os resultados obtidos para essas coordenadas e sua comparação com as coordenadas obtidas manualmente para a imagem A estão representados na tabela 7. Os resultados para as demais imagens estão representados no Apêndice I.

TABELA 7 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM A

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1633 | 402 | 1631 | 405 | 2 | -3 |
| 1634 | 683 | 1632 | 686 | 2 | -3 |
| 1637 | 955 | 1633 | 961 | 4 | -6 |
| 1638 | 1221 | 1633 | 1228 | 5 | -7 |
| 1638 | 1484 | 1634 | 1490 | 4 | -6 |
| 1638 | 1743 | 1635 | 1747 | 3 | -4 |
| 1638 | 1998 | 1637 | 2000 | 1 | -2 |
| 1641 | 2249 | 1640 | 2250 | 1 | -1 |
| 1645 | 2498 | 1644 | 2499 | 1 | -1 |
| 1350 | 426 | 1349 | 428 | 1 | -2 |
| 1356 | 706 | 1352 | 711 | 4 | -5 |
| 1361 | 971 | 1355 | 978 | 6 | -7 |
| 1364 | 1230 | 1358 | 1238 | 6 | -8 |
| 1367 | 1488 | 1362 | 1494 | 5 | -6 |

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1368 | 1739 | 1365 | 1743 | 3 | -4 |
| 1369 | 1988 | 1370 | 1989 | -1 | -1 |
| 1374 | 2235 | 1375 | 2235 | -1 | 0 |
| 1379 | 2486 | 1381 | 2486 | -2 | 0 |
| 1077 | 447 | 1075 | 449 | 2 | -2 |
| 1087 | 725 | 1082 | 731 | 5 | -6 |
| 1093 | 990 | 1088 | 996 | 5 | -6 |
| 1100 | 1239 | 1094 | 1245 | 6 | -6 |
| 1103 | 1493 | 1100 | 1496 | 3 | -3 |
| 1107 | 1744 | 1107 | 1745 | 0 | -1 |
| 1111 | 1990 | 1112 | 1989 | -1 | 1 |
| 1115 | 2236 | 1119 | 2232 | -4 | 4 |
| 1124 | 2475 | 1126 | 2473 | -2 | 2 |
| 812 | 468 | 811 | 471 | 1 | -3 |
| 824 | 741 | 821 | 745 | 3 | -4 |
| 834 | 1002 | 831 | 1006 | 3 | -4 |
| 841 | 1250 | 839 | 1254 | 2 | -4 |
| 847 | 1500 | 847 | 1501 | 0 | -1 |
| 852 | 1746 | 854 | 1745 | -2 | 1 |
| 859 | 1987 | 863 | 1985 | -4 | 2 |
| 864 | 2231 | 870 | 2225 | -6 | 6 |
| 876 | 2466 | 879 | 2463 | -3 | 3 |
| 558 | 490 | 557 | 491 | 1 | -1 |
| 573 | 755 | 570 | 758 | 3 | -3 |
| 583 | 1011 | 581 | 1013 | 2 | -2 |
| 592 | 1262 | 592 | 1263 | 0 | -1 |
| 600 | 1509 | 602 | 1507 | -2 | 2 |
| 608 | 1751 | 613 | 1747 | -5 | 4 |
| 614 | 1989 | 621 | 1983 | -7 | 6 |
| 625 | 2226 | 631 | 2221 | -6 | 5 |
| 636 | 2457 | 640 | 2454 | -4 | 3 |
| 312 | 510 | 311 | 511 | 1 | -1 |
| 324 | 772 | 324 | 773 | 0 | -1 |
| 338 | 1024 | 339 | 1025 | -1 | -1 |
| 350 | 1270 | 352 | 1267 | -2 | 3 |
| 360 | 1516 | 364 | 1513 | -4 | 3 |
| 370 | 1755 | 376 | 1749 | -6 | 6 |
| 379 | 1989 | 386 | 1983 | -7 | 6 |
| 390 | 2220 | 396 | 2215 | -6 | 5 |
| 403 | 2448 | 406 | 2446 | -3 | 2 |
| 70 | 530 | 70 | 530 | 0 | 0 |
| 85 | 785 | 85 | 785 | 0 | 0 |
| 100 | 1034 | 101 | 1034 | -1 | 0 |

| Imagem A | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------|--------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 113 | 1278 | 115 | 1276 | -2 | 2 |
| 126 | 1520 | 130 | 1517 | -4 | 3 |
| 137 | 1755 | 142 | 1751 | -5 | 4 |
| 151 | 1985 | 155 | 1981 | -4 | 4 |
| 163 | 2213 | 166 | 2211 | -3 | 2 |
| 176 | 2437 | 176 | 2438 | 0 | -1 |
| Média | | | | -0,206349206 | -0,603174603 |
| Desvio Padrão | | | | 3,514860652 | 3,697015882 |

FONTE: A AUTORA (2016)

A partir dos resultados das tabelas 6 e 7, foi possível perceber que as coordenadas aproximadas obtiveram melhor aproximação com as coordenadas lidas manualmente do que com as coordenadas obtidas por meio do casamento de padrões. Os desvios-padrão foram de mais de dois pixels para as coordenadas aproximadas, o que, embora de grande magnitude, é aceitável, pois o resultado seria refinado na etapa posterior. No entanto, os desvios-padrão foram de mais de três pixels para as coordenadas que deveriam ser exatas. Os desvios padrão além do aceitável foram verificados também nas demais imagens, conforme a tabela 8, que resume os resultados para a média e o desvio padrão dos resíduos obtidos para a detecção dos alvos em todas as imagens.

TABELA 8 – MÉDIAS E DESVIOS PADRÕES PARA OS RESÍDUOS DAS COORDENADAS DE CADA IMAGEM

| IMAGEM | MÉDIA DOS RESÍDUOS X | DESV. PAD. X | MÉDIA DOS RESÍDUOS Y | DESV. PAD. Y |
|--------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| A | 0,571428571 | 3,650241504 | 0,571428571 | 3,303265752 |
| B | 0,333333333 | 2,8619008 | 0,365079365 | 2,290779221 |
| C | 0,507936508 | 2,173965843 | 0,111111111 | 2,190246135 |
| D | 1,53968254 | 1,867222679 | -0,301587302 | 1,569904664 |
| E | -0,375 | 3,021130938 | -0,714285714 | 3,057276366 |
| F | -0,619047619 | 2,298574931 | 0,968253968 | 2,376927816 |
| G | 0,095238095 | 2,34157921 | -0,904761905 | 2,34157921 |
| H | 1,650793651 | 2,59522596 | -0,650793651 | 1,809663041 |

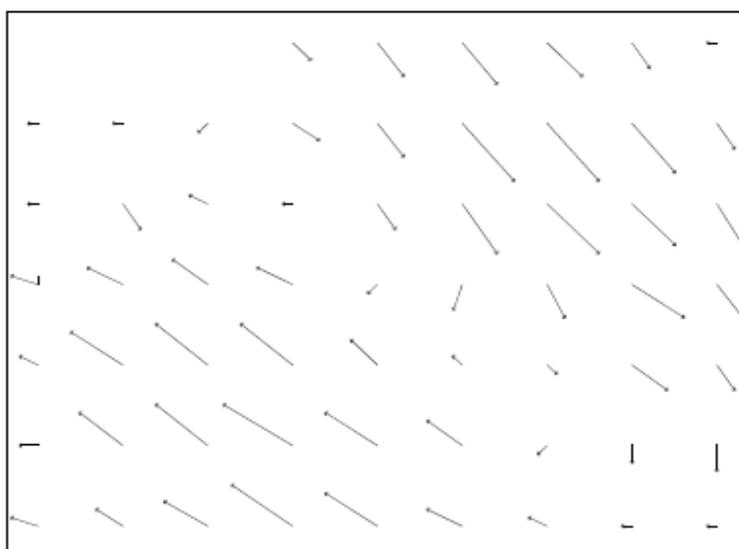
FONTE: A AUTORA (2016)

A média dos resíduos foi de menos de dois pixels, o que pode ser considerado um resultado aceitável, pois cada pixel equivale a aproximadamente 0,44cm. Portanto, uma média de resíduos de 1,65, a maior encontrada, resultaria em 0,7cm. Porém, os

desvios padrões para os resíduos tiveram resultados muito altos, de mais de três pixels. Os 3,65 pixels encontrados como desvio padrão das coordenadas no eixo X para a imagem A resultam em 1,6cm, o que não é um resultado aceitável. A média teve resultados mais baixos pois a variação dos resíduos oscilou entre valores negativos e positivos, mas como é possível verificar pela tabela 7, onde estão representados os resíduos para cada alvo, houve alvos em que a diferença nas coordenadas chegou a 8 pixels. Resíduos dessa magnitude são inaceitáveis para um sistema de detecção. A representação gráfica dos resíduos finais no campo de calibração está representada na figura 28. É possível perceber que os resíduos obedecem a uma rotação no sentido horário, provavelmente devido à câmera utilizada.

Uma vez que as coordenadas aproximadas contém divergências menores com as manuais do que as supostamente exatas, poderia-se inferir também que a desconformidade esteja na etapa do casamento de padrões. O motivo provável para que os resultados não tenham sido satisfatórios é o fato de que o padrão utilizado foi o mesmo em todos os alvos. De acordo com a orientação da imagem, alguns alvos não são exatamente circulares, possuindo forma elíptica. Portanto, ao se realizar a detecção, o *template* deveria ter sido diferenciado, o que pode ter comprometido a detecção.

Figura 28: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS FINAIS



FONTE: A AUTORA (2016)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Por meio dos experimentos executados e das análises realizadas, foi possível concluir que o espaço CIELuv possui propriedades que permitem segmentar as cores com maior efetividade do que o espaço RGB, permitindo assim a utilização da técnica de limiarização. No entanto, o nível de iluminação atrapalhou a detecção de alguns alvos, quando a luz solar incidia em grande intensidade no campo, o que impossibilita este sistema de detecção de ser utilizado em superfícies ensolaradas.

Algumas dificuldades na segmentação ocorreram devido à pigmentação das cores das tintas spray utilizadas para a pintura dos alvos coloridos. Os alvos nas cores azul, verde e preto não possuíam uma grande diferença na cor, o que fez com que os pixels de alguns elementos do ambiente tivessem dificuldade de serem separados dos pixels pertencentes aos alvos. Isso ocorreu principalmente com as árvores e com alguns elementos da edificação, detectados como verde e azul, respectivamente, que ainda assim foram segmentados com sucesso por meio do algoritmo. Os elementos da edificação detectados em preto proporcionaram maior dificuldade no reconhecimento do alvo dessa cor, inclusive tendo sido necessária uma diminuição da janela de busca.

Em geral, os experimentos levaram a um resultado dentro do esperado somente até a etapa de detecção aproximada. A aplicação da transformação projetiva obteve resultados satisfatórios para os locais onde a janela de busca deveria se posicionar. No entanto, na etapa onde a detecção é feita por meio de casamento de padrões houve resíduos muito grandes entre as coordenadas lidas manualmente e as detectadas pelo algoritmo. Para que haja uma detecção de maneira efetiva é necessário que os templates utilizados sejam diferenciados.

Para trabalhos futuros, recomenda-se as seguintes sugestões:

- Orientar os templates em conformidade com a tomada da fotografia, para uma correlação maior e detecção mais precisa;
- Utilizar uma biblioteca de alvos previamente desenvolvida disponível, como os alvos ARUco, por exemplo, no lugar dos alvos coloridos;

- Detectar a localização dos alvos monocromáticos com precisão subpixel.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. R. **Avaliação dos modelos de cores RGB e HSV na segmentação de curvas de nível em cartas topográficas coloridas**. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BEZERRA, K.V.S.; AGUIAR, E. **Casamento de padrões em imagens e videos usando características de imagens**. In: XXVI SIBGRAPI - Conference on Graphics, Patterns and Images, Arequipa, Peru, 2013.

BISHOP, C. M., **Pattern recognition and machine learning**. Singapore: Springer, 2006.

BRUNELLI, R. **Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice**. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2009.

CHENG, CC; PENG, GJ; HWANG, WL. **Pixel Connectivity**. IEEE transactions on image processing: a publication of the IEEE Signal Processing Society. 2009.

CHO, Y., LEE, J., NEUMANN, U. **A multi-ring color fiducial system and a rule-based detection method for scalable fiducial-tracking augmented reality**. In: Conference: Virtual Reality Annual International Symposium, 1998.

FIALA, M., **Artag, an improved marker system based on artoolkit**, In National Research Council Publication NRC 47166/ERB-1111, 2004.

FIALA, M. **Designing highly reliable fiducial markers**. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.32, n.7, 2010.

FORD, A.; ROBERTS, A.. **Colour Space Conversions**. August 11,1998.

FRASER, B., MURPHY, C., BUNTING, F. **Real World Color Management**. Second Edition. Estados Unidos: Peachpit Press, 2005. 582p.

GARRIDO-JURADO, S.; MUÑOZ-SALINAS, R.; MADRID-CUEVAS, F. J.; MARÍN-JIMÉNEZ, M. J.. **Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion**. *Pattern Recognition*, v. 47, n. 6, p. 2280-2292, 2014.

GERSHON, R. **Aspects of perception and computation in color vision**. In Computer vision, graphics, and image processing 32, p. 244-277. Toronto, Canadá, 1985.

GONÇALVES, G. A.; MITISHITA, E. A. **Detecção automática de alvos no processo de calibração pelo método das fotos convergentes**. In: I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2004, Recife.

GONZALEZ, Rafael C; WOODS, Richard E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 509 p.

GOSE, E. JOHNSONBAUGH, R. JOST, S. **Pattern recognition and image analysis**. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1996.

GUTIERREZ, J. A.; ARMSTRONG, B. S. R. **Precision Landmark Location for Machine Vision and Photogrammetry**. Berlin: Springer, 2008.

HABIB, A., LARI, Z., KWAK, E., AL-DURGHAM, K. **Automated detection, localization and identification of signalized targets and their impact on digital camera calibration**. Revista Brasileira de Cartografia, v.4, n.65, p.785-803, 2013.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**, 7ª Edição, Prentice Hall, SP, 2010.

KATO, H.; BILLINGHURST, M. **Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system**. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality (IWAR). October, San Francisco, USA, 1999.

KOKUBUM, C. N. C., TOMMASELLI, A. M. G., REISS, M. L. L., **Reconhecimento automático de alvos projetados por um sistema de luz estruturada**. In: I SIMGEO, Recife, 2004.

LOPEZ, L. D.; FUENTES, O. **Color-based road sign detection and tracking**. In: ICIAR, Montreal, Canadá, 2007.

MIKHAIL, E. M., BETHEL, J. S., McGLONE, C. **Introduction to modern photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, c2001.

MITISHITA, E., DEBIASI, P., HAINOSZ, F., CENTENO, J. **Calibration of low-cost digital camera using data from simultaneous LIDAR and photogrammetric surveys**. In: XXII ISPRS Congress, 2012, Melbourne, Australia, p. 133-138.

NASCIMENTO, J. P. R. **Análise e classificação de imagens baseadas em características de textura utilizando matrizes de co-ocorrência**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Informática), Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

NEVES, S. R., MENDONÇA, G. V., SILVA, E. A. B. **Segmentação de alvos em imagens infravermelhas utilizando watersheds, wavelets e morfologia matemática**. In: IX SIGE, 2007, São José dos Campos.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W.R. **Análise de imagens digitais**. Thomson, São Paulo, 2008.

SILVA, S. L. A., TOMMASELLI, A. M. G. , ARTERO, A. O. **Utilização de alvos codificados do tipo ARUco na automação do processo de calibração de câmaras**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v.20 n.3 2014.

SWAIN, M. J., BALLARD, D. H. **Color Indexing**. In: International Journal of Computer Vision, 7:1, 11-32, 1991.

TRUCO, E.; VERRI, A. **Introductory Techniques for 3-D Computer Vision**, Prentice Hall, 1998.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE SUL. **Página Dinâmica do Aprendizado do Sensoriamento Remoto**. Acesso em 18-01-2016. Disponível em <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/formcor.html>.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D. **ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices**. In: Proc. 12th Computer Vision Winter Workshop (CVWW), Sankt Lambrecht, Austria, 2007.

XAVIER, E. M. de A., FONSECA, L., M., G., D'ALGE, J.; C., L., CASTEJON, E. **Implementação da transformação projetiva no Terralib: Uma análise**

comparativa com a transformação afim. XIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007.

APENDICE I

TABELA 9 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM B

| Imagem B | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1442 | 841 | 1442 | 843 | 0 | -2 |
| 1449 | 969 | 1447 | 971 | 2 | -2 |
| 1454 | 1104 | 1453 | 1105 | 1 | -1 |
| 1462 | 1239 | 1459 | 1240 | 3 | -1 |
| 1468 | 1383 | 1466 | 1384 | 2 | -1 |
| 1475 | 1533 | 1473 | 1533 | 2 | 0 |
| 1482 | 1688 | 1481 | 1689 | 1 | -1 |
| 1490 | 1854 | 1490 | 1853 | 0 | 1 |
| 1498 | 2030 | 1500 | 2027 | -2 | 3 |
| 1283 | 852 | 1283 | 853 | 0 | -1 |
| 1287 | 980 | 1285 | 984 | 2 | -4 |
| 1290 | 1113 | 1287 | 1114 | 3 | -1 |
| 1294 | 1244 | 1290 | 1248 | 4 | -4 |
| 1293 | 1386 | 1294 | 1391 | -1 | -5 |
| 1299 | 1535 | 1298 | 1536 | 1 | -1 |
| 1301 | 1688 | 1302 | 1689 | -1 | -1 |
| 1305 | 1854 | 1306 | 1852 | -1 | 2 |
| 1308 | 2030 | 1310 | 2028 | -2 | 2 |
| 1132 | 865 | 1126 | 863 | 6 | 2 |
| 1127 | 991 | 1126 | 993 | 1 | -2 |
| 1128 | 1120 | 1126 | 1124 | 2 | -4 |
| 1127 | 1255 | 1126 | 1255 | 1 | 0 |
| 1126 | 1396 | 1126 | 1395 | 0 | 1 |
| 1126 | 1543 | 1126 | 1542 | 0 | 1 |
| 1124 | 1699 | 1124 | 1697 | 0 | 2 |
| 1123 | 1861 | 1125 | 1860 | -2 | 1 |
| 1122 | 2033 | 1125 | 2029 | -3 | 4 |
| 977 | 876 | 973 | 873 | 4 | 3 |
| 966 | 993 | 969 | 1001 | -3 | -8 |
| 963 | 1122 | 967 | 1130 | -4 | -8 |
| 963 | 1259 | 963 | 1261 | 0 | -2 |
| 960 | 1399 | 959 | 1401 | 1 | -2 |
| 953 | 1549 | 954 | 1546 | -1 | 3 |
| 949 | 1702 | 950 | 1700 | -1 | 2 |
| 944 | 1866 | 946 | 1862 | -2 | 4 |
| 939 | 2035 | 942 | 2031 | -3 | 4 |
| 826 | 885 | 822 | 881 | 4 | 4 |
| 817 | 1005 | 816 | 1008 | 1 | -3 |
| 810 | 1133 | 809 | 1135 | 1 | -2 |

| Imagem B | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna | |
| 802 | 1268 | 803 | 1268 | -1 | 0 | |
| 795 | 1407 | 794 | 1408 | 1 | -1 | |
| 786 | 1553 | 787 | 1553 | -1 | 0 | |
| 776 | 1705 | 779 | 1704 | -3 | 1 | |
| 768 | 1868 | 771 | 1866 | -3 | 2 | |
| 758 | 2039 | 762 | 2033 | -4 | 6 | |
| 670 | 883 | 673 | 889 | -3 | -6 | |
| 663 | 1014 | 663 | 1015 | 0 | -1 | |
| 654 | 1142 | 654 | 1144 | 0 | -2 | |
| 642 | 1276 | 645 | 1276 | -3 | 0 | |
| 632 | 1415 | 633 | 1415 | -1 | 0 | |
| 620 | 1560 | 622 | 1559 | -2 | 1 | |
| 608 | 1711 | 610 | 1710 | -2 | 1 | |
| 594 | 1870 | 597 | 1868 | -3 | 2 | |
| 580 | 2038 | 584 | 2036 | -4 | 2 | |
| 521 | 892 | 525 | 897 | -4 | -5 | |
| 516 | 1016 | 512 | 1022 | 4 | -6 | |
| 500 | 1149 | 500 | 1150 | 0 | -1 | |
| 486 | 1281 | 486 | 1282 | 0 | -1 | |
| 471 | 1420 | 472 | 1421 | -1 | -1 | |
| 455 | 1565 | 457 | 1564 | -2 | 1 | |
| 439 | 1716 | 442 | 1714 | -3 | 2 | |
| 422 | 1874 | 425 | 1872 | -3 | 2 | |
| 406 | 2039 | 407 | 2039 | -1 | 0 | |
| | | | | Média | -0,36507937 | -0,33333333 |
| | | | | Desvio Padrão | 2,290779221 | 2,8619008 |

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 10 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM C

| Imagem C | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1439 | 469 | 1440 | 469 | -1 | 0 |
| 1445 | 710 | 1444 | 712 | 1 | -2 |
| 1449 | 938 | 1447 | 940 | 2 | -2 |
| 1452 | 1155 | 1450 | 1158 | 2 | -3 |
| 1456 | 1362 | 1452 | 1366 | 4 | -4 |
| 1457 | 1563 | 1455 | 1565 | 2 | -2 |
| 1459 | 1755 | 1459 | 1755 | 0 | 0 |
| 1462 | 1939 | 1462 | 1939 | 0 | 0 |
| 1465 | 2118 | 1467 | 2117 | -2 | 1 |

| Imagem C | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1204 | 488 | 1203 | 489 | 1 | -1 |
| 1215 | 730 | 1212 | 733 | 3 | -3 |
| 1224 | 953 | 1220 | 957 | 4 | -4 |
| 1232 | 1165 | 1228 | 1169 | 4 | -4 |
| 1239 | 1371 | 1237 | 1374 | 2 | -3 |
| 1246 | 1565 | 1244 | 1567 | 2 | -2 |
| 1252 | 1754 | 1252 | 1754 | 0 | 0 |
| 1259 | 1937 | 1259 | 1936 | 0 | 1 |
| 1266 | 2118 | 1268 | 2116 | -2 | 2 |
| 973 | 503 | 971 | 506 | 2 | -3 |
| 989 | 746 | 986 | 750 | 3 | -4 |
| 1004 | 969 | 1000 | 974 | 4 | -5 |
| 1016 | 1175 | 1014 | 1179 | 2 | -4 |
| 1027 | 1379 | 1026 | 1381 | 1 | -2 |
| 1039 | 1574 | 1039 | 1575 | 0 | -1 |
| 1049 | 1762 | 1050 | 1762 | -1 | 0 |
| 1060 | 1943 | 1061 | 1943 | -1 | 0 |
| 1070 | 2119 | 1073 | 2117 | -3 | 2 |
| 744 | 522 | 744 | 524 | 0 | -2 |
| 767 | 759 | 765 | 762 | 2 | -3 |
| 788 | 979 | 785 | 983 | 3 | -4 |
| 803 | 1187 | 802 | 1189 | 1 | -2 |
| 819 | 1387 | 818 | 1388 | 1 | -1 |
| 834 | 1579 | 834 | 1579 | 0 | 0 |
| 849 | 1766 | 850 | 1765 | -1 | 1 |
| 863 | 1947 | 866 | 1945 | -3 | 2 |
| 878 | 2120 | 881 | 2117 | -3 | 3 |
| 524 | 539 | 524 | 540 | 0 | -1 |
| 552 | 772 | 551 | 774 | 1 | -2 |
| 575 | 989 | 574 | 991 | 1 | -2 |
| 597 | 1198 | 596 | 1199 | 1 | -1 |
| 615 | 1398 | 616 | 1397 | -1 | 1 |
| 635 | 1587 | 637 | 1587 | -2 | 0 |
| 652 | 1772 | 655 | 1769 | -3 | 3 |
| 672 | 1950 | 675 | 1947 | -3 | 3 |
| 689 | 2122 | 693 | 2119 | -4 | 3 |
| 309 | 555 | 308 | 556 | 1 | -1 |
| 338 | 786 | 337 | 786 | 1 | 0 |
| 367 | 1001 | 366 | 1003 | 1 | -2 |
| 391 | 1208 | 392 | 1207 | -1 | 1 |
| 416 | 1407 | 418 | 1405 | -2 | 2 |
| 438 | 1597 | 442 | 1593 | -4 | 4 |
| 461 | 1776 | 464 | 1774 | -3 | 2 |

| Imagem C | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 482 | 1951 | 486 | 1949 | -4 | 2 |
| 504 | 2120 | 506 | 2120 | -2 | 0 |
| 94 | 572 | 95 | 573 | -1 | -1 |
| 128 | 797 | 128 | 798 | 0 | -1 |
| 161 | 1011 | 161 | 1011 | 0 | 0 |
| 189 | 1217 | 191 | 1215 | -2 | 2 |
| 218 | 1414 | 221 | 1412 | -3 | 2 |
| 244 | 1602 | 248 | 1599 | -4 | 3 |
| 271 | 1779 | 274 | 1778 | -3 | 1 |
| 297 | 1952 | 298 | 1952 | -1 | 0 |
| 322 | 2120 | 321 | 2121 | 1 | -1 |
| Média | | | | -0,11111111 | -0,50793651 |
| Desvio Padrão | | | | 2,190246135 | 2,173965843 |

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 11 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM D

| Imagem D | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1488 | 765 | 1488 | 766 | 0 | -1 |
| 1495 | 913 | 1495 | 915 | 0 | -2 |
| 1502 | 1062 | 1500 | 1066 | 2 | -4 |
| 1508 | 1214 | 1505 | 1218 | 3 | -4 |
| 1513 | 1371 | 1512 | 1374 | 1 | -3 |
| 1519 | 1533 | 1521 | 1533 | -2 | 0 |
| 1525 | 1695 | 1524 | 1695 | 1 | 0 |
| 1531 | 1862 | 1532 | 1862 | -1 | 0 |
| 1539 | 2035 | 1541 | 2033 | -2 | 2 |
| 1325 | 778 | 1325 | 780 | 0 | -2 |
| 1331 | 927 | 1329 | 931 | 2 | -4 |
| 1335 | 1075 | 1332 | 1079 | 3 | -4 |
| 1340 | 1223 | 1337 | 1228 | 3 | -5 |
| 1342 | 1377 | 1341 | 1382 | 1 | -5 |
| 1347 | 1538 | 1345 | 1537 | 2 | 1 |
| 1351 | 1694 | 1351 | 1696 | 0 | -2 |
| 1355 | 1863 | 1356 | 1860 | -1 | 3 |
| 1361 | 2033 | 1362 | 2034 | -1 | -1 |
| 1164 | 790 | 1164 | 792 | 0 | -2 |
| 1170 | 939 | 1167 | 944 | 3 | -5 |
| 1172 | 1088 | 1169 | 1092 | 3 | -4 |
| 1174 | 1233 | 1173 | 1236 | 1 | -3 |

| Imagem D | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1176 | 1385 | 1176 | 1388 | 0 | -3 |
| 1178 | 1546 | 1178 | 1545 | 0 | 1 |
| 1181 | 1703 | 1181 | 1705 | 0 | -2 |
| 1184 | 1867 | 1185 | 1868 | -1 | -1 |
| 1186 | 2036 | 1189 | 2035 | -3 | 1 |
| 1008 | 802 | 1006 | 805 | 2 | -3 |
| 1010 | 950 | 1008 | 954 | 2 | -4 |
| 1012 | 1096 | 1009 | 1100 | 3 | -4 |
| 1012 | 1242 | 1011 | 1245 | 1 | -3 |
| 1013 | 1394 | 1011 | 1397 | 2 | -3 |
| 1014 | 1548 | 1012 | 1550 | 2 | -2 |
| 1013 | 1711 | 1014 | 1708 | -1 | 3 |
| 1014 | 1872 | 1015 | 1872 | -1 | 0 |
| 1016 | 2038 | 1017 | 2038 | -1 | 0 |
| 854 | 814 | 853 | 817 | 1 | -3 |
| 854 | 961 | 853 | 963 | 1 | -2 |
| 855 | 1104 | 852 | 1108 | 3 | -4 |
| 853 | 1253 | 852 | 1255 | 1 | -2 |
| 852 | 1403 | 851 | 1405 | 1 | -2 |
| 851 | 1557 | 851 | 1558 | 0 | -1 |
| 850 | 1713 | 850 | 1714 | 0 | -1 |
| 849 | 1876 | 850 | 1876 | -1 | 0 |
| 849 | 2040 | 850 | 2040 | -1 | 0 |
| 701 | 827 | 702 | 828 | -1 | -1 |
| 699 | 972 | 699 | 973 | 0 | -1 |
| 700 | 1115 | 698 | 1118 | 2 | -3 |
| 696 | 1262 | 695 | 1263 | 1 | -1 |
| 693 | 1412 | 694 | 1413 | -1 | -1 |
| 691 | 1564 | 692 | 1565 | -1 | -1 |
| 687 | 1721 | 690 | 1720 | -3 | 1 |
| 685 | 1880 | 687 | 1879 | -2 | 1 |
| 683 | 2043 | 684 | 2044 | -1 | -1 |
| 549 | 839 | 551 | 839 | -2 | 0 |
| 549 | 980 | 548 | 983 | 1 | -3 |
| 547 | 1124 | 546 | 1126 | 1 | -2 |
| 542 | 1269 | 542 | 1271 | 0 | -2 |
| 537 | 1419 | 538 | 1420 | -1 | -1 |
| 534 | 1570 | 534 | 1571 | 0 | -1 |
| 528 | 1726 | 530 | 1726 | -2 | 0 |
| 524 | 1883 | 525 | 1883 | -1 | 0 |
| 521 | 2045 | 520 | 2046 | 1 | -1 |
| Média | | | | 0,301587302 | -1,53968254 |

Desvio Padrão 1,569904664 1,867222679

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 12 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM E

| Imagem E | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1501 | 1006 | 1501 | 1007 | 0 | -1 |
| 1510 | 1127 | 1509 | 1129 | 1 | -2 |
| 1518 | 1254 | 1516 | 1258 | 2 | -4 |
| 1528 | 1384 | 1528 | 1388 | 0 | -4 |
| 1536 | 1522 | 1535 | 1525 | 1 | -3 |
| 1545 | 1669 | 1545 | 1669 | 0 | 0 |
| 1554 | 1818 | 1554 | 1817 | 0 | 1 |
| 1566 | 1975 | 1566 | 1976 | 0 | -1 |
| 1577 | 2142 | 1579 | 2140 | -2 | 2 |
| 1352 | 1018 | 1350 | 1019 | 2 | -1 |
| 1357 | 1141 | 1356 | 1144 | 1 | -3 |
| 1363 | 1265 | 1360 | 1269 | 3 | -4 |
| 1368 | 1394 | 1366 | 1398 | 2 | -4 |
| 1371 | 1529 | 1372 | 1534 | -1 | -5 |
| 1379 | 1674 | 1377 | 1673 | 2 | 1 |
| 1384 | 1818 | 1384 | 1820 | 0 | -2 |
| 1392 | 1977 | 1392 | 1975 | 0 | 2 |
| 1399 | 2141 | 1400 | 2143 | -1 | -2 |
| 1209 | 1034 | 1203 | 1031 | 6 | 3 |
| 1207 | 1153 | 1206 | 1156 | 1 | -3 |
| 1209 | 1278 | 1207 | 1281 | 2 | -3 |
| 1211 | 1404 | 1210 | 1406 | 1 | -2 |
| 1213 | 1538 | 1213 | 1540 | 0 | -2 |
| 1215 | 1684 | 1215 | 1681 | 0 | 3 |
| 1218 | 1827 | 1219 | 1829 | -1 | -2 |
| 1220 | 1982 | 1222 | 1982 | -2 | 0 |
| 1223 | 2148 | 1226 | 2145 | -3 | 3 |
| 1064 | 1037 | 1058 | 1042 | 6 | -5 |
| 1064 | 1169 | 1057 | 1165 | 7 | 4 |
| 1064 | 1293 | 1058 | 1289 | 6 | 4 |
| 1063 | 1418 | 1057 | 1415 | 6 | 3 |
| 1056 | 1548 | 1057 | 1548 | -1 | 0 |
| 1055 | 1687 | 1055 | 1688 | 0 | -1 |
| 1054 | 1833 | 1055 | 1834 | -1 | -1 |
| 1052 | 1988 | 1055 | 1988 | -3 | 0 |
| 1053 | 2148 | 1054 | 2148 | -1 | 0 |
| 922 | 1058 | 917 | 1053 | 5 | 5 |
| 920 | 1178 | 915 | 1174 | 5 | 4 |

| Imagem E | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna | |
| 916 | 1301 | 910 | 1296 | 6 | 5 | |
| 906 | 1425 | 907 | 1424 | -1 | 1 | |
| 901 | 1558 | 903 | 1558 | -2 | 0 | |
| 899 | 1695 | 900 | 1696 | -1 | -1 | |
| 892 | 1841 | 895 | 1840 | -3 | 1 | |
| 889 | 1994 | 891 | 1993 | -2 | 1 | |
| 884 | 2154 | 886 | 2152 | -2 | 2 | |
| 783 | 1070 | 778 | 1064 | 5 | 6 | |
| 776 | 1190 | 771 | 1185 | 5 | 5 | |
| 770 | 1302 | 765 | 1307 | 5 | -5 | |
| 757 | 1434 | 759 | 1433 | -2 | 1 | |
| 750 | 1568 | 752 | 1567 | -2 | 1 | |
| 744 | 1704 | 745 | 1705 | -1 | -1 | |
| 735 | 1848 | 738 | 1848 | -3 | 0 | |
| 727 | 2000 | 730 | 1998 | -3 | 2 | |
| 719 | 2157 | 722 | 2156 | -3 | 1 | |
| 636 | 1083 | 639 | 1076 | -3 | 7 | |
| 635 | 1200 | 631 | 1195 | 4 | 5 | |
| 626 | 1322 | 622 | 1317 | 4 | 5 | |
| 612 | 1442 | 612 | 1442 | 0 | 0 | |
| 602 | 1576 | 603 | 1575 | -1 | 1 | |
| 590 | 1712 | 593 | 1711 | -3 | 1 | |
| 580 | 1855 | 582 | 1855 | -2 | 0 | |
| 567 | 2005 | 570 | 2003 | -3 | 2 | |
| 562 | 2156 | 557 | 2162 | 5 | -6 | |
| | | | | Média | 0,634920635 | 0,222222222 |
| | | | | Desvio Padrão | 2,934748508 | 2,989104258 |

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 13 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM F

| Imagem F | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1386 | 876 | 1386 | 876 | 0 | 0 |
| 1398 | 998 | 1397 | 1000 | 1 | -2 |
| 1410 | 1125 | 1409 | 1128 | 1 | -3 |
| 1423 | 1259 | 1422 | 1262 | 1 | -3 |
| 1435 | 1399 | 1434 | 1403 | 1 | -4 |
| 1448 | 1550 | 1447 | 1550 | 1 | 0 |
| 1462 | 1705 | 1463 | 1705 | -1 | 0 |
| 1477 | 1872 | 1480 | 1869 | -3 | 3 |

| Imagem F | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1494 | 2047 | 1498 | 2046 | -4 | 1 |
| 1228 | 890 | 1227 | 891 | 1 | -1 |
| 1236 | 1015 | 1235 | 1017 | 1 | -2 |
| 1244 | 1141 | 1243 | 1143 | 1 | -2 |
| 1252 | 1272 | 1251 | 1274 | 1 | -2 |
| 1259 | 1411 | 1260 | 1414 | -1 | -3 |
| 1268 | 1561 | 1269 | 1558 | -1 | 3 |
| 1278 | 1713 | 1279 | 1712 | -1 | 1 |
| 1288 | 1878 | 1290 | 1875 | -2 | 3 |
| 1299 | 2056 | 1302 | 2053 | -3 | 3 |
| 1072 | 904 | 1071 | 905 | 1 | -1 |
| 1076 | 1030 | 1075 | 1032 | 1 | -2 |
| 1080 | 1157 | 1079 | 1159 | 1 | -2 |
| 1085 | 1285 | 1085 | 1286 | 0 | -1 |
| 1088 | 1427 | 1088 | 1425 | 0 | 2 |
| 1093 | 1574 | 1094 | 1571 | -1 | 3 |
| 1096 | 1729 | 1099 | 1726 | -3 | 3 |
| 1102 | 1892 | 1105 | 1888 | -3 | 4 |
| 1108 | 2065 | 1112 | 2062 | -4 | 3 |
| 921 | 924 | 916 | 920 | 5 | 4 |
| 918 | 1042 | 917 | 1044 | 1 | -2 |
| 919 | 1169 | 920 | 1171 | -1 | -2 |
| 918 | 1299 | 919 | 1299 | -1 | 0 |
| 918 | 1437 | 920 | 1437 | -2 | 0 |
| 919 | 1581 | 920 | 1581 | -1 | 0 |
| 917 | 1739 | 921 | 1734 | -4 | 5 |
| 918 | 1903 | 921 | 1899 | -3 | 4 |
| 919 | 2074 | 923 | 2070 | -4 | 4 |
| 770 | 938 | 765 | 933 | 5 | 5 |
| 764 | 1054 | 763 | 1056 | 1 | -2 |
| 760 | 1180 | 760 | 1181 | 0 | -1 |
| 755 | 1312 | 757 | 1311 | -2 | 1 |
| 751 | 1450 | 753 | 1450 | -2 | 0 |
| 747 | 1595 | 750 | 1594 | -3 | 1 |
| 741 | 1748 | 745 | 1746 | -4 | 2 |
| 738 | 1911 | 741 | 1909 | -3 | 2 |
| 733 | 2082 | 737 | 2080 | -4 | 2 |
| 620 | 951 | 616 | 946 | 4 | 5 |
| 608 | 1068 | 609 | 1068 | -1 | 0 |
| 602 | 1194 | 603 | 1194 | -1 | 0 |
| 594 | 1324 | 595 | 1324 | -1 | 0 |
| 586 | 1464 | 588 | 1462 | -2 | 2 |
| 578 | 1607 | 581 | 1606 | -3 | 1 |

| Imagem F | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 568 | 1759 | 572 | 1757 | -4 | 2 |
| 559 | 1920 | 563 | 1918 | -4 | 2 |
| 550 | 2090 | 553 | 2089 | -3 | 1 |
| 471 | 954 | 466 | 959 | 5 | -5 |
| 456 | 1080 | 457 | 1080 | -1 | 0 |
| 446 | 1206 | 447 | 1205 | -1 | 1 |
| 434 | 1336 | 435 | 1335 | -1 | 1 |
| 422 | 1474 | 424 | 1473 | -2 | 1 |
| 409 | 1619 | 412 | 1617 | -3 | 2 |
| 396 | 1770 | 399 | 1768 | -3 | 2 |
| 382 | 1929 | 385 | 1928 | -3 | 1 |
| 369 | 2098 | 369 | 2099 | 0 | -1 |
| Média | | | | -0,96825397 | 0,619047619 |
| Desvio Padrão | | | | 2,253521082 | 2,298574931 |

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 14–RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM G

| Imagem G | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1553 | 655 | 1554 | 654 | -1 | 1 |
| 1564 | 783 | 1565 | 784 | -1 | -1 |
| 1577 | 920 | 1576 | 922 | 1 | -2 |
| 1590 | 1065 | 1588 | 1069 | 2 | -4 |
| 1603 | 1223 | 1602 | 1227 | 1 | -4 |
| 1618 | 1395 | 1615 | 1399 | 3 | -4 |
| 1632 | 1581 | 1631 | 1584 | 1 | -3 |
| 1650 | 1784 | 1650 | 1786 | 0 | -2 |
| 1670 | 2010 | 1671 | 2010 | -1 | 0 |
| 1359 | 670 | 1358 | 669 | 1 | 1 |
| 1363 | 800 | 1362 | 801 | 1 | -1 |
| 1368 | 935 | 1366 | 937 | 2 | -2 |
| 1373 | 1078 | 1370 | 1082 | 3 | -4 |
| 1377 | 1235 | 1374 | 1239 | 3 | -4 |
| 1383 | 1401 | 1380 | 1406 | 3 | -5 |
| 1388 | 1584 | 1385 | 1588 | 3 | -4 |
| 1394 | 1785 | 1393 | 1787 | 1 | -2 |
| 1401 | 2010 | 1401 | 2011 | 0 | -1 |
| 1167 | 685 | 1166 | 685 | 1 | 0 |
| 1166 | 815 | 1163 | 817 | 3 | -2 |
| 1164 | 951 | 1160 | 953 | 4 | -2 |
| 1161 | 1090 | 1158 | 1094 | 3 | -4 |

| Imagem G | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1158 | 1244 | 1155 | 1249 | 3 | -5 |
| 1155 | 1413 | 1152 | 1417 | 3 | -4 |
| 1149 | 1597 | 1148 | 1598 | 1 | -1 |
| 1144 | 1797 | 1145 | 1797 | -1 | 0 |
| 1139 | 2015 | 1142 | 2014 | -3 | 1 |
| 980 | 698 | 978 | 699 | 2 | -1 |
| 971 | 828 | 969 | 830 | 2 | -2 |
| 964 | 962 | 960 | 965 | 4 | -3 |
| 953 | 1104 | 951 | 1106 | 2 | -2 |
| 941 | 1258 | 940 | 1260 | 1 | -2 |
| 928 | 1424 | 927 | 1426 | 1 | -2 |
| 914 | 1606 | 916 | 1604 | -2 | 2 |
| 899 | 1805 | 902 | 1804 | -3 | 1 |
| 884 | 2021 | 888 | 2018 | -4 | 3 |
| 795 | 711 | 796 | 714 | -1 | -3 |
| 782 | 840 | 781 | 842 | 1 | -2 |
| 766 | 974 | 765 | 975 | 1 | -1 |
| 749 | 1117 | 748 | 1118 | 1 | -1 |
| 730 | 1270 | 730 | 1271 | 0 | -1 |
| 708 | 1437 | 710 | 1435 | -2 | 2 |
| 686 | 1615 | 688 | 1612 | -2 | 3 |
| 662 | 1813 | 666 | 1809 | -4 | 4 |
| 635 | 2026 | 640 | 2021 | -5 | 5 |
| 614 | 725 | 615 | 727 | -1 | -2 |
| 595 | 853 | 594 | 855 | 1 | -2 |
| 573 | 987 | 573 | 988 | 0 | -1 |
| 548 | 1128 | 549 | 1130 | -1 | -2 |
| 522 | 1283 | 524 | 1283 | -2 | 0 |
| 494 | 1448 | 497 | 1446 | -3 | 2 |
| 462 | 1625 | 466 | 1622 | -4 | 3 |
| 428 | 1818 | 433 | 1815 | -5 | 3 |
| 393 | 2029 | 397 | 2025 | -4 | 4 |
| 434 | 741 | 437 | 741 | -3 | 0 |
| 409 | 867 | 409 | 866 | 0 | 1 |
| 382 | 999 | 383 | 999 | -1 | 0 |
| 351 | 1141 | 352 | 1140 | -1 | 1 |
| 318 | 1292 | 320 | 1293 | -2 | -1 |
| 282 | 1456 | 283 | 1455 | -1 | 1 |
| 243 | 1633 | 246 | 1631 | -3 | 2 |
| 200 | 1823 | 203 | 1821 | -3 | 2 |
| 155 | 2031 | 156 | 2031 | -1 | 0 |
| | | | Média | -0,0952381 | -0,74603175 |

Desvio Padrão 2,34157921 2,376927816

FONTE: A AUTORA (2016)

TABELA 15 –RESULTADO DA DETECÇÃO DAS COORDENADAS PARA A IMAGEM H

| Imagem H | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|----------|--------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna |
| 1523 | 354 | 1525 | 352 | -2 | 2 |
| 1542 | 491 | 1544 | 492 | -2 | -1 |
| 1563 | 638 | 1562 | 639 | 1 | -1 |
| 1585 | 795 | 1583 | 797 | 2 | -2 |
| 1607 | 964 | 1607 | 966 | 0 | -2 |
| 1632 | 1147 | 1630 | 1150 | 2 | -3 |
| 1658 | 1344 | 1656 | 1347 | 2 | -3 |
| 1686 | 1559 | 1686 | 1561 | 0 | -2 |
| 1719 | 1796 | 1719 | 1798 | 0 | -2 |
| 1315 | 384 | 1316 | 384 | -1 | 0 |
| 1327 | 524 | 1327 | 524 | 0 | 0 |
| 1340 | 670 | 1339 | 671 | 1 | -1 |
| 1353 | 824 | 1352 | 827 | 1 | -3 |
| 1368 | 991 | 1365 | 996 | 3 | -5 |
| 1383 | 1169 | 1379 | 1175 | 4 | -6 |
| 1398 | 1362 | 1395 | 1368 | 3 | -6 |
| 1415 | 1576 | 1413 | 1580 | 2 | -4 |
| 1433 | 1815 | 1433 | 1817 | 0 | -2 |
| 1111 | 414 | 1111 | 413 | 0 | 1 |
| 1116 | 556 | 1115 | 556 | 1 | 0 |
| 1122 | 701 | 1120 | 714 | 2 | -13 |
| 1129 | 850 | 1126 | 855 | 3 | -5 |
| 1135 | 1017 | 1131 | 1022 | 4 | -5 |
| 1140 | 1197 | 1138 | 1203 | 2 | -6 |
| 1145 | 1393 | 1143 | 1396 | 2 | -3 |
| 1151 | 1605 | 1150 | 1606 | 1 | -1 |
| 1157 | 1836 | 1158 | 1836 | -1 | 0 |
| 912 | 442 | 911 | 443 | 1 | -1 |
| 911 | 582 | 909 | 584 | 2 | -2 |
| 911 | 726 | 908 | 730 | 3 | -4 |
| 908 | 878 | 905 | 882 | 3 | -4 |
| 905 | 1045 | 902 | 1049 | 3 | -4 |
| 901 | 1223 | 899 | 1227 | 2 | -4 |
| 897 | 1417 | 897 | 1417 | 0 | 0 |
| 892 | 1629 | 894 | 1629 | -2 | 0 |
| 888 | 1857 | 891 | 1856 | -3 | 1 |
| 717 | 471 | 717 | 471 | 0 | 0 |
| 710 | 609 | 709 | 610 | 1 | -1 |

| Imagem H | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------|-------------|-------------|
| Coord. exatas do algoritmo | | Coord. lidas manualmente | | Resíduos | | |
| Linha | Coluna | Linha | Coluna | Linha | Coluna | |
| 702 | 753 | 700 | 755 | 2 | -2 | |
| 692 | 907 | 691 | 910 | 1 | -3 | |
| 682 | 1073 | 681 | 1075 | 1 | -2 | |
| 671 | 1250 | 670 | 1252 | 1 | -2 | |
| 657 | 1441 | 657 | 1442 | 0 | -1 | |
| 642 | 1653 | 645 | 1651 | -3 | 2 | |
| 626 | 1880 | 631 | 1876 | -5 | 4 | |
| 527 | 499 | 526 | 499 | 1 | 0 | |
| 513 | 635 | 511 | 638 | 2 | -3 | |
| 498 | 780 | 496 | 782 | 2 | -2 | |
| 481 | 933 | 480 | 935 | 1 | -2 | |
| 464 | 1100 | 462 | 1102 | 2 | -2 | |
| 444 | 1278 | 444 | 1277 | 0 | 1 | |
| 422 | 1468 | 423 | 1466 | -1 | 2 | |
| 398 | 1674 | 401 | 1672 | -3 | 2 | |
| 372 | 1898 | 375 | 1895 | -3 | 3 | |
| 338 | 525 | 338 | 527 | 0 | -2 | |
| 317 | 663 | 317 | 663 | 0 | 0 | |
| 297 | 806 | 296 | 807 | 1 | -1 | |
| 275 | 958 | 273 | 960 | 2 | -2 | |
| 248 | 1124 | 248 | 1125 | 0 | -1 | |
| 221 | 1300 | 221 | 1300 | 0 | 0 | |
| 191 | 1489 | 192 | 1489 | -1 | 0 | |
| 159 | 1693 | 159 | 1693 | 0 | 0 | |
| 124 | 1914 | 123 | 1915 | 1 | -1 | |
| | | | | Média | 0,650793651 | -1,65079365 |
| | | | | Desvio Padrão | 1,809663041 | 2,59522596 |

FONTE: A AUTORA (2016)

ANEXO I

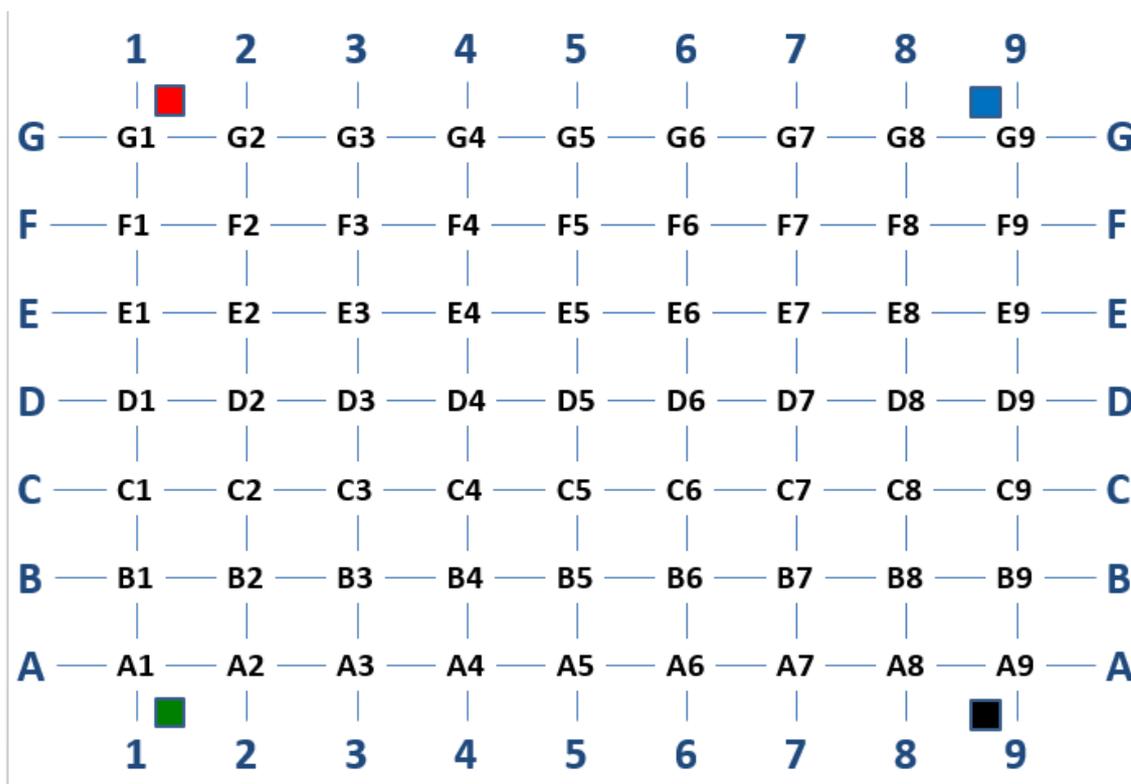
TABELA 15 –COORDENADAS LIDAS PARA O REFENCIAL LOCAL DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO

| ALVO | X | Y | Z |
|------|---------|--------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 1,1057 | 0,0003 | -0,0002 |
| 3 | 2,2035 | 0,0013 | 0,0017 |
| 4 | 3,293 | 0,0004 | 0,0012 |
| 5 | 4,3883 | 0,0013 | 0,0032 |
| 6 | 5,4852 | 0,0047 | 0,0013 |
| 7 | 6,5785 | 0,0047 | 0,0019 |
| 8 | 7,6757 | 0,0052 | 0,0002 |
| 9 | 8,7814 | 0,0039 | 0 |
| 10 | 0,0001 | 1,1296 | 0,0004 |
| 11 | 1,1257 | 1,1302 | 0,0008 |
| 12 | 2,2131 | 1,1313 | 0,001 |
| 13 | 3,2914 | 1,1318 | 0,0016 |
| 14 | 4,3863 | 1,1329 | 0,001 |
| 15 | 5,4661 | 1,1332 | 0,0021 |
| 16 | 6,5515 | 1,1338 | 0,0018 |
| 17 | 7,6512 | 1,1345 | 0,0004 |
| 18 | 8,7797 | 1,1327 | -0,0004 |
| 19 | -0,0066 | 2,2629 | 0,001 |
| 20 | 1,1343 | 2,2628 | 0,0014 |
| 21 | 2,2317 | 2,2631 | 0,0017 |
| 22 | 3,2863 | 2,2594 | 0,0022 |
| 23 | 4,377 | 2,2606 | 0,0012 |
| 24 | 5,4756 | 2,2603 | 0,0017 |
| 25 | 6,5724 | 2,2619 | 0,0017 |
| 26 | 7,6758 | 2,2617 | 0,0002 |
| 27 | 8,7806 | 2,2605 | -0,0011 |
| 28 | -0,0084 | 3,3958 | -0,0035 |
| 29 | 1,1215 | 3,3938 | -0,0016 |
| 30 | 2,217 | 3,3883 | -0,0007 |
| 31 | 3,2874 | 3,3912 | 0,0017 |
| 32 | 4,3782 | 3,3945 | 0,001 |
| 33 | 5,4703 | 3,3965 | 0,0022 |
| 34 | 6,566 | 3,3953 | 0,0034 |
| 35 | 7,6802 | 3,3966 | 0,0014 |
| 36 | 8,784 | 3,3936 | 0,0017 |
| 37 | -0,0072 | 4,5181 | -0,004 |
| 38 | 1,1098 | 4,5119 | -0,0012 |
| 39 | 2,2011 | 4,515 | 0,0003 |
| 40 | 3,2927 | 4,5171 | 0 |
| 41 | 4,3865 | 4,5199 | 0,0004 |

| ALVO | X | Y | Z |
|------|---------|---------|---------|
| 43 | 6,5716 | 4,5248 | 0,0013 |
| 44 | 7,686 | 4,5225 | 0,0006 |
| 45 | 8,7873 | 4,5245 | 0,0009 |
| 46 | -0,006 | 5,64 | -0,0057 |
| 47 | 1,1086 | 5,6453 | -0,0058 |
| 48 | 2,2041 | 5,6436 | -0,0047 |
| 49 | 3,2908 | 5,6478 | -0,0052 |
| 50 | 4,3932 | 5,6509 | -0,0031 |
| 51 | 5,4883 | 5,65 | -0,0024 |
| 52 | 6,582 | 5,655 | -0,0024 |
| 53 | 7,6834 | 5,6565 | -0,0004 |
| 54 | 8,7891 | 5,6587 | 0,001 |
| 55 | -0,0076 | 6,7744 | -0,0102 |
| 56 | 1,1003 | 6,7777 | -0,0091 |
| 57 | 2,1973 | 6,7752 | -0,0086 |
| 58 | 3,2897 | 6,7821 | -0,0085 |
| 59 | 4,3941 | 6,7843 | -0,0086 |
| 60 | 5,4886 | 6,7902 | -0,0071 |
| 61 | 6,5854 | 6,7912 | -0,0067 |
| 62 | 7,6865 | 6,7958 | -0,0024 |
| 63 | 8,7919 | 6,8024 | -0,0022 |
| R1 | 0,0591 | 6,9702 | -0,0157 |
| R2 | 0,2093 | 6,9704 | -0,0151 |
| R3 | 0,2128 | 6,8214 | -0,0139 |
| R4 | 0,0623 | 6,8196 | -0,0138 |
| B1 | 8,5701 | 6,9956 | -0,0048 |
| B2 | 8,7214 | 6,9974 | -0,0041 |
| B3 | 8,7172 | 6,8439 | -0,0063 |
| B4 | 8,5655 | 6,8441 | -0,0061 |
| P1 | 8,5626 | -0,2701 | -0,0051 |
| P2 | 8,7141 | -0,2678 | -0,0041 |
| P3 | 8,7146 | -0,4179 | -0,0048 |
| P4 | 8,5622 | -0,4194 | -0,0055 |
| G1 | 0,068 | -0,2459 | -0,0057 |
| G2 | 0,2198 | -0,2463 | -0,0057 |
| G3 | 0,2199 | -0,3989 | -0,0054 |
| G4 | 0,0693 | -0,3976 | -0,0051 |

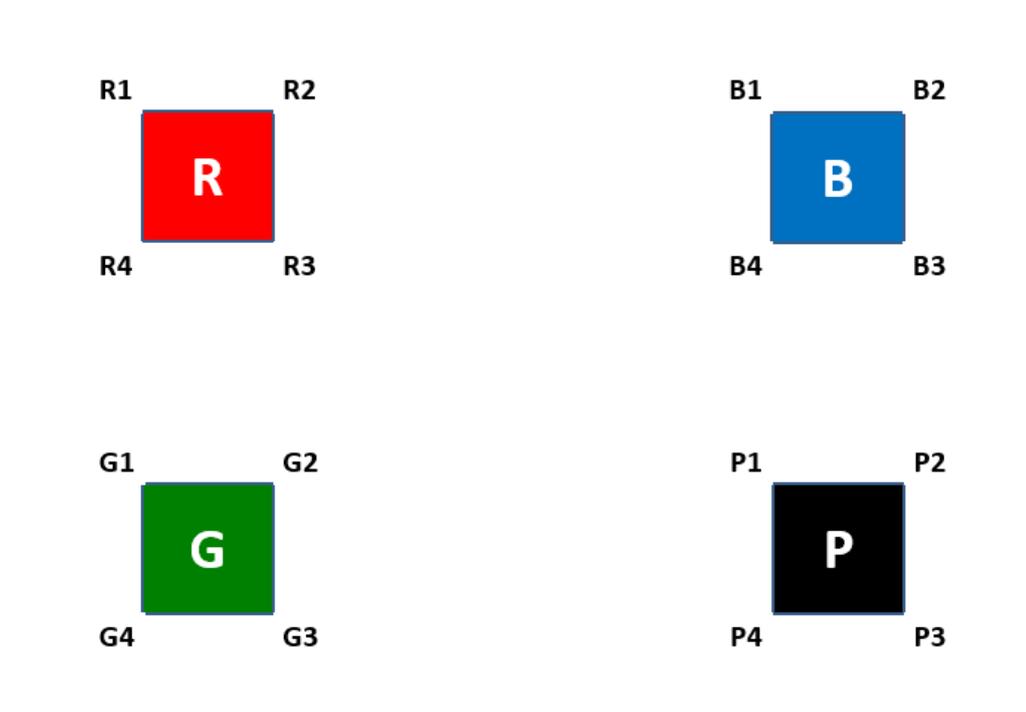
FONTE: LABORATÓRIO DE FOTOGRAMETRIA (2015)

Figura 29: ORDEM DE LEITURA DOS ALVOS



FONTE: LABORATORIO DE FOTOGRAMETRIA (2015)

Figura 30: CROQUI DOS ALVOS COLORIDOS



FONTE: LABORATORIO DE FOTOGRAMETRIA (2015)