

**ROBERTO ELIZEU PREOSCK**

**OTIMIZAÇÃO DA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL  
URBANA: RELAÇÃO ESCALA DA FOTOGRAFIA E A  
RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

**Orientadores:**

**Prof. Dr. Edson A. Mitishita**

**Prof. Dr. Alzir Felipe Buffara  
Antunes**

**CURITIBA**

**2006**

# **“OTIMIZAÇÃO DA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL E A RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM”**

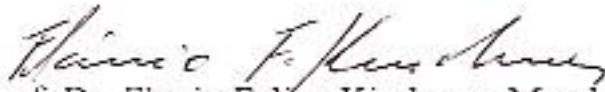
**POR**

**ROBERTO ELIZEU PREOSCK**

Dissertação nº 196 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre  
no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade  
Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Curitiba, 27 de julho de 2006.

  
Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita(UFPR)  
Orientador e Presidente

  
Prof. Dr. Flavio Felipe Kirchner– Membro (UFPR)

  
Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos – Membro (UFPR)

  
Dr. Alvaro Muriel Lima Machado (UFPR)

À minha esposa Marli  
e aos meus filhos Juliane e Rafael  
Dedico

## AGRADECIMENTOS

Para a realização desta pesquisa agradeço:

- À Universidade Federal do Paraná e ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade oferecida;
- À empresa Aeroimagem Aerofotogrametria S.A. pelo incentivo e pela estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho;
- Aos colegas de trabalho da Aeroimagem pela compreensão e colaboração na troca de idéias e desenvolvimento das operações produtivas que se fizeram necessárias para o sucesso desta pesquisa;
- Ao Prof. Dr. Edson A. Mitishita pela amizade, apoio e orientação prestados para a realização deste trabalho;
- Ao Prof. Dr. Alzir Felipe Buffara pela ajuda de grande valia na orientação da pesquisa;
- Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela companhia e pelas contribuições ao longo desta jornada e
- Principalmente à minha esposa e filhos pelos momentos de apoio e incentivo para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|                                                 |          |
|-------------------------------------------------|----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                       | <b>1</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....                             | 2        |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....                      | 2        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....                | 2        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA.....                          | 3        |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>            | <b>4</b> |
| 2.1 DEFINIÇÕES.....                             | 4        |
| 2.1.1 Precisão.....                             | 4        |
| 2.1.2 Acurácia ou Exatidão .....                | 4        |
| 2.2 FILME FOTOGRÁFICO.....                      | 5        |
| 2.2.3 Densidade do filme .....                  | 5        |
| 2.2.4 Poder de Resolução do Filme Aéreo .....   | 7        |
| 2.3 CÂMERA AEROFOTOGRAMÉTRICA .....             | 7        |
| 2.3.1 Resolução do Sistema de Lentes .....      | 8        |
| 2.4 CONTRASTE E MODULAÇÃO DA IMAGEM.....        | 9        |
| 2.5 FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA MODULAÇÃO .....  | 10       |
| 2.6 SCANNER FOTOGRAMÉTRICO .....                | 13       |
| 2.6.1 Iluminação e sistema óptico.....          | 14       |
| 2.6.2 Porta placa.....                          | 15       |
| 2.6.3 Sensor.....                               | 15       |
| 2.6.4 Tipos de Pixel .....                      | 16       |
| 2.7 FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....                  | 17       |
| 2.7.1 Estação Fotogramétrica Digital (EFD)..... | 18       |
| 2.8 Imagem Digital e Resolução Espacial .....   | 20       |
| 2.8.1 Imagem Digital e Pixel .....              | 20       |
| 2.8.2 Resolução Geométrica.....                 | 22       |
| 2.8.3 Dimensão do Pixel .....                   | 25       |

|          |                                                                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.9      | Considerações sobre a aerotriangulação .....                                                       | 25        |
| 2.10     | acurácia posicional da carta .....                                                                 | 26        |
| 2.10.1   | Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.....                                                         | 26        |
| 2.10.2   | Avaliação da Acurácia segundo o NSSDA.....                                                         | 28        |
| 2.10.3   | Verificação da acurácia segundo a ASPRS .....                                                      | 29        |
| 2.11     | Trabalhos Relacionados .....                                                                       | 31        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                                   | <b>36</b> |
| 3.1      | Cobertura Aérea .....                                                                              | 38        |
| 3.2      | Digitalização do Filme Aéreo .....                                                                 | 40        |
| 3.3      | Apoio Terrestre .....                                                                              | 40        |
| 3.4      | Aerotriangulação.....                                                                              | 41        |
| 3.4.1    | Planejamento dos Blocos.....                                                                       | 41        |
| 3.4.2    | Planejamento dos pontos do apoio suplementar .....                                                 | 42        |
| 3.4.3    | Planejamento dos pontos de verificação.....                                                        | 42        |
| 3.4.4    | Planejamento dos pontos fotogramétricos .....                                                      | 43        |
| 3.4.5    | Medidas fotogramétricas.....                                                                       | 44        |
| 3.4.6    | Processamento da Aerotriangulação .....                                                            | 44        |
| 3.5      | Restituição estereofotogramétrica digital.....                                                     | 45        |
| 3.6      | Verificação da Qualidade Posicional .....                                                          | 46        |
| 3.7      | Análise dos Dados e Resultados.....                                                                | 47        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                                               | <b>48</b> |
| 4.1      | Cobertura Aérea .....                                                                              | 48        |
| 4.1.1    | Resolução do Sistema de Lentes da Câmera Aérea .....                                               | 49        |
| 4.2      | Digitalização do filme aéreo.....                                                                  | 51        |
| 4.2.1    | Comparação entre resoluções geométricas na fotografia escala<br>1:8.000 .....                      | 51        |
| 4.2.2    | Comparação entre resoluções geométricas e entre fotografias nas<br>escalas 1:8.000 e 1:10.000..... | 54        |
| 4.2.3    | Definição da dimensão do pixel .....                                                               | 55        |
| 4.3      | Apoio Terrestre .....                                                                              | 58        |
| 4.4      | Aerotriangulação Digital.....                                                                      | 58        |
| 4.4.1    | Análise da Precisão dos Blocos Aerotriangulados.....                                               | 60        |
| 4.4.2    | Análise da Acurácia dos Blocos Aerotriangulados.....                                               | 67        |
| 4.5      | Restituição Estereofotogramétrica Digital.....                                                     | 70        |

|          |                                                                                 |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.6      | Verificação da Qualidade Posicional .....                                       | 71         |
| 4.6.1    | Comparação das discrepâncias planimétricas e altimétricas dos<br>conjuntos..... | 74         |
| 4.6.2    | Resumo da avaliação segundo o PEC.....                                          | 120        |
| 4.6.3    | Resumo da avaliação segundo o NSSDA.....                                        | 120        |
| 4.6.4    | Comparação entre as avaliações segundo o PEC e o NSSDA .....                    | 122        |
| 4.7      | Apropriação de tempos.....                                                      | 123        |
| 4.7.1    | Cobertura Aérea .....                                                           | 126        |
| 4.7.2    | Apoio Terrestre .....                                                           | 127        |
| 4.7.3    | Digitalização e Aerotriangulação.....                                           | 127        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>                                         | <b>129</b> |
| 5.1      | Cobertura Aérea .....                                                           | 129        |
| 5.2      | Digitalização do filme .....                                                    | 129        |
| 5.3      | Aerotriangulação.....                                                           | 129        |
| 5.4      | Restituição .....                                                               | 130        |
| 5.5      | Recomendações.....                                                              | 131        |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                         | <b>132</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 – Padrão para teste de resolução geométrica de um sistema de lentes de uma câmera fotográfica.....          | 8  |
| FIGURA 2 – Exemplos de contraste alto e baixo de uma imagem digital .....                                            | 10 |
| FIGURA 3 - Função de Transferência da Modulação.....                                                                 | 11 |
| FIGURA 4 – Curva da Função de Transferência da Modulação .....                                                       | 12 |
| FIGURA 5 – Relação entre os diferentes tipos de pixel, gerados no processo de digitalização da fotografia .....      | 17 |
| FIGURA 6 – Esquema básico de uma Estação Fotogramétrica Digital e seu ambiente de trabalho .....                     | 18 |
| FIGURA 7 – Sistema de coordenadas (linha x coluna) da imagem digital .....                                           | 21 |
| FIGURA 8 – Diferentes resoluções geométricas da imagem digitalizada a partir de uma fotografia escala 1:8.000.....   | 22 |
| FIGURA 9 – Resolução do filme fotográfico, segundo o parâmetro AWAR( <i>area weighted average resolution</i> ) ..... | 23 |
| FIGURA 10– Seqüência das fases de trabalho a serem executadas para a realização do projeto.....                      | 37 |
| FIGURA 11– Plano de vôo gráfico nas diferentes escalas, na cidade de Araucária, Paraná.....                          | 39 |
| FIGURA 12– Planejamento da distribuição do apoio suplementar em uma faixa de vôo isolada.....                        | 41 |
| FIGURA 13– Planejamento da distribuição dos pontos de verificação no bloco de aerotriangulação .....                 | 43 |
| FIGURA 14– Esquema de distribuição dos pontos fotogramétricos no modelo                                              | 44 |
| FIGURA 15– Fotoíndices das fotografias obtidas nas diferentes escalas.....                                           | 49 |
| FIGURA 16– Trecho do certificado de calibração da câmera aérea Wild RC 10 .....                                      | 50 |
| FIGURA 17– Imagem com resolução geométrica de 32 micrômetros.....                                                    | 52 |



|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 18– Imagens de uma fotografia aérea escala 1:8.000, em diferentes<br>resoluções espaciais.....            | 53 |
| FIGURA 19– Imagens de fotografias aéreas escalas 1:8.000 e 1:10.000, em<br>diferentes resoluções espaciais ..... | 54 |
| FIGURA 20– Localização das áreas restituídas em relação às escalas de<br>fotografias .....                       | 71 |
| FIGURA 21– Restituição digital de uma quadra da área de estudo .....                                             | 72 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| QUADRO 1 – Classificação das cartas quanto à exatidão .....                                                   | 27 |
| QUADRO 2 – Valores AWAR para câmeras aéreas.....                                                              | 31 |
| QUADRO 3 – Planejamento da cobertura aérea .....                                                              | 39 |
| QUADRO 4 – Informações sobre as faixas fotografadas.....                                                      | 48 |
| QUADRO 5 – Informações sobre a resolução geométrica da imagem colorida<br>e o tamanho do arquivo digital..... | 51 |
| QUADRO 6 – Escalas fotográficas e resolução geométrica das imagens .....                                      | 57 |
| QUADRO 7 – Definição dos blocos de aerotriangulação.....                                                      | 59 |
| QUADRO 8 – Erro médio quadrático (E.M.Q.) geral dos pontos dos resíduos<br>dos blocos aerotriangulados.....   | 61 |
| QUADRO 9 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 8-<br>24 .....                           | 61 |
| QUADRO 10 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 10-<br>16 .....                         | 61 |
| QUADRO 11 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 10-<br>24 .....                         | 62 |
| QUADRO 12 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 12-<br>16 .....                         | 62 |
| QUADRO 13 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 12-<br>24 .....                         | 63 |
| QUADRO 14 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 15-<br>16 .....                         | 63 |
| QUADRO 15 – Erros médios quadráticos dos resíduos dos pontos do bloco 15-<br>24 .....                         | 64 |
| QUADRO 16 – Tolerâncias planimétrica e altimétrica para os resíduos pontos<br>de apoio.....                   | 65 |
| QUADRO 17 – Discrepâncias planimétrica e altimétrica pontos de apoio .....                                    | 66 |
| QUADRO 18 – Tolerâncias planimétrica e altimétrica para as discrepâncias dos<br>pontos de verificação.....    | 68 |

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| QUADRO 19 – Discrepâncias dos pontos de verificação nos diferentes blocos<br>aerotriangulados.....                                  | 69  |
| QUADRO 20 – Coordenadas UTM dos pontos de verificação.....                                                                          | 73  |
| QUADRO 21 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 1 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 75  |
| QUADRO 22 - Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>1 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 78  |
| QUADRO 23 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 2 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 81  |
| QUADRO 24 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>2 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 84  |
| QUADRO 25 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 3 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 87  |
| QUADRO 26 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>3 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 91  |
| QUADRO 27 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 4 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 95  |
| QUADRO 28 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>4 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 98  |
| QUADRO 29 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 5 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 101 |
| QUADRO 30 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>5 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 104 |
| QUADRO 31 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 6 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 107 |
| QUADRO 32 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>6 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 110 |
| QUADRO 33 – Pontos que formam o conjunto amostral planimétrico para o<br>conjunto 7 e respectivas discrepâncias planimétricas ..... | 113 |
| QUADRO 34 – Pontos que formam o conjunto amostral vertical para o conjunto<br>7 e respectivas discrepâncias altimétricas.....       | 116 |
| QUADRO 35 – Avaliação dos conjuntos segundo o PEC.....                                                                              | 120 |
| QUADRO 36 – Avaliação dos conjuntos segundo a acurácia posicional.....                                                              | 120 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| QUADRO 37 – Discrepâncias entre os conjuntos fotogramétricos segundo o<br>NSSDA ..... | 121 |
| QUADRO 38 – Comparação entre as avaliações segundo o PEC e o NSSDA<br>.....           | 123 |
| QUADRO 39 – Classificação da densidade urbana escala 1:2.000 .....                    | 124 |
| QUADRO 40 – Apropriação de tempo na fase de Restituição Digital.....                  | 125 |
| QUADRO 41 – Comparação entre escalas fotográficas na Cobertura Aérea.                 | 127 |

## LISTA DE SIGLAS

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| FTM – Função de Transferência de Modulação.....                        | 8  |
| EMQ – Erro Médio Quadrático .....                                      | 13 |
| CCD – Charge Coupled Device.....                                       | 16 |
| EFD – Estação Fotogramétrica Digital .....                             | 18 |
| AWAR – Área Weighted Average Resolution .....                          | 23 |
| RES – Resolução do Sistema de Lentes da Câmera Aérea .....             | 24 |
| AM – Angular Motion da Câmera Aérea.....                               | 24 |
| FM – Forward Motion da Câmera Aérea .....                              | 24 |
| PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica .....                            | 26 |
| FGDC – Federal Geographic Data Committee.....                          | 28 |
| NSSDA – National Standard for Spatial Data Accuracy .....              | 28 |
| GPS – Global Positioning System .....                                  | 36 |
| SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas ..... | 40 |
| IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística .....           | 58 |
| UNICENP – Centro Universitário Positivo .....                          | 58 |
| CPU – Central Processing Unit .....                                    | 60 |
| SAD-69 – Datum Sul Americano – 1969 .....                              | 73 |

## RESUMO

Atualmente, pode se afirmar que praticamente a totalidade de mapeamentos fotogramétricos realizados no País ainda é realizada com imagens digitais provenientes de câmeras aerofotogramétricas analógicas e a devida transformação para a forma digital com o emprego de scanners fotogramétricos. Isto deve-se aos elevados custos de uma câmara digital métrica, da impossibilidade da tomadas de fotos em todas as escalas, das dificuldades operacionais existentes com a utilização de câmaras digitais não fotogramétricas e sem dúvida, do processo de aproveitamento de tecnologias existentes nas empresas de mapeamento fotogramétrico.

Apesar de grande mudança no processo produtivo, pouca coisa foi modificada ou proposta com relação à resolução geométrica da imagem versus escala de mapeamento. Utilizam-se os mesmos conceitos e conhecimentos adquiridos com a fase analógica. Variáveis existentes no processo na geração de imagens digitais a partir de aerofotos convencionais podem ser combinadas a fim de garantir melhor utilização das mesmas com base na maximização da relação Benefício/Custo.

Como resultado uma nova metodologia de obtenção de mapeamentos fotogramétricos será apresentada e esta tem como base a maximização de desempenho no que se refere à facilidade operacional, menor tempo no processo produtivo, acurácia posicional necessária e menor custo na geração do mapeamento urbano escala 1:2.000.

## ABSTRACT

Nowadays, we can affirm that practically the totality of photogrammetric mappings carried out in the country are with digital images proceeding from analogical aerophotogrammetric cameras and the transformation for the digital form using the photogrammetric scanners. This happens, owing to the high costs of a metric digital camera, the impossibility of taking photos in all scales, the existing operational difficulties using non-photogrammetric digital cameras and without a doubt, the process of advantage of technologies existing in the photogrammetric mapping companies.

Although great changes in the productive process, very little was modified or proposal relating the geometric resolution of the image versus mapping scale. The same concepts and knowledge acquired with the analogical phase are used. Existing variables in the process of generation of digital images from conventional aerophotos can be combined in order to guarantee a better use of them in basis of increasing the benefit/cost relation.

As result, a new methodology of getting photogrammetric mappings will be presented and this one has, as basis, the increase of performance referring to the operational facility, less time in the productive process, necessary positional accuracy and less cost in generating urban mapping scale 1:2.000.

# 1 INTRODUÇÃO

A Fotogrametria vem tendo avanços consideráveis no âmbito digital, principalmente nos últimos 10 anos. As Estações Fotogramétricas Digitais vêm substituindo aceleradamente os aparelhos fotogramétricos analíticos e semi-analógicos no mercado nacional e internacional.

Os “scanners” fotogramétricos de alta resolução permitem a digitalização de filmes aéreos com grande precisão geométrica e excelente qualidade radiométrica.

As estações fotogramétricas digitais apresentam recursos de ampliação da imagem até a visualização do “pixel”. Por esta razão permitem um maior detalhamento na visualização das feições a serem restituídas, quando comparadas aos equipamentos analógicos e analíticos. Muitas vezes, tem-se a falsa impressão de maior precisão devido a ampliação dos detalhes, porém, a precisão da fotografia depende basicamente da escala original e da resolução geométrica utilizada na digitalização da mesma. A capacidade de armazenamento e o gerenciamento dos arquivos digitais de imagem, não representam maiores problemas de operação nos dias de hoje. Entretanto, alguns usuários preferem definir o valor da resolução geométrica, levando em consideração o espaço de armazenamento e a capacidade dos sistemas em suportar grandes arquivos digitais de imagem.

A definição da resolução geométrica da imagem tem sido estabelecida em função dos conhecimentos produtivos adquiridos na Fotogrametria convencional e adaptados para a digital. Poucos trabalhos foram feitos para autenticar tais modificações e adequações. Testes práticos (empíricos) têm sido um grande aliado nestas definições, logo, estudos mais criteriosos precisam ser desenvolvidos para corroborar os parâmetros (resolução geométrica e escala da fotografia) hoje em uso ou apontar para novos valores e procedimentos a serem adotados e que permitam obter um melhor desempenho na obtenção do produto fotogramétrico final.

Trabalhos técnicos esparsos nos últimos 10 anos foram publicados mostrando as experiências de determinadas instituições. Neste estudo pretendeu-se chegar a um resultado da qualificação da melhor



resolução geométrica da imagem a ser adotada em função da escala da fotografia aérea e da resolução da digitalização da mesma, tendo em consideração a acurácia posicional dos produtos gerados pelo processo fotogramétrico. Os conceitos sobre o sistema de lentes da câmera aérea, filme fotográfico, scanner fotogramétrico e estação fotogramétrica digital foram abordados com ênfase na qualidade geométrica da imagem a ser gerada e manipulada pelos mesmos. Alguns métodos para a determinação da resolução espacial da imagem em função da escala da fotografia e do conjunto ou sistema câmera aérea/filme fotográfico foram considerados nesta pesquisa.

A base para a realização desta pesquisa consistiu na realização de restituições fotogramétricas digitais em uma área teste, composta por coberturas aerofotogramétricas em diferentes escalas e resoluções geométricas da imagem, visando a geração de mapeamento urbano na escala 1:2.000.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em buscar parâmetros para a realização da restituição fotogramétrica digital, visando o melhor desempenho na obtenção do mapeamento urbano escala 1:2.000, tendo como base a combinação eficiente da escala da foto, resolução da digitalização fotogramétrica, escala do produto cartográfico, tempo e custo operacional envolvidos no processo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Pesquisar o emprego da melhor resolução geométrica (dimensão do pixel) quando da digitalização do negativo do filme aéreo e a combinação com diferentes escalas de fotografias, visando a obtenção do mapeamento urbano (produto cartográfico) na escala 1:2.000;

- b) Avaliar combinações eficientes da escala da fotografia e da resolução geométrica da imagem que permitam obter produtos cartográficos equivalentes em qualidade posicional;
- c) Analisar e apresentar considerações sobre os produtos cartográficos obtidos com diferentes combinações de variáveis tendo como base em ganhos e perdas de entidades, que podem ser restituídas dentro da precisão aceitável para a escala 1:2.000;
- d) Pesquisar e apresentar considerações sobre tempo e custos operacionais envolvidos nas diferentes recomendações propostas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Nos dias atuais, as câmeras aerofotogramétricas digitais podem ser consideradas como realidade promissora no mercado de trabalho. Entretanto, devido ao elevado custo não se tem conhecimento da utilização de câmeras aéreas deste tipo pelas empresas de aerofotogrametria no mercado nacional. A restituição fotogramétrica digital é realizada através de estações fotogramétricas digitais e tem como base a digitalização de filmes aéreos analógicos nos digitalizadores fotogramétricos de alta resolução (scanners).

O termo resolução da imagem fotográfica digital necessita ser melhor conhecido e divulgado no mercado nacional, pois é freqüentemente utilizado como sinônimo de precisão cartográfica. Verifica-se nas empresas de aerofotogrametria, que os usuários do mapeamento fotogramétrico possuem dúvidas na definição da melhor resolução geométrica da imagem a ser empregada para a obtenção de produtos fotogramétricos específicos.

Nota-se de forma global que as metodologias aplicadas nas empresas de aerofotogrametria, estão baseadas nos conceitos e experiências adquiridas na época de utilização dos sistemas analógicos e analíticos (ainda em uso em alguns segmentos do mercado). Entretanto, pode-se afirmar que grande parte dos mapeamentos fotogramétricos, realizados no país nos dias atuais, tem como base os sistemas fotogramétricos digitais e, portanto, necessitam de novas propostas e metodologias que levem à minimização da relação custo/benefícios da restituição fotogramétrica digital.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a realização desta pesquisa, foram revistos conceitos básicos sobre as diversas etapas de trabalhos envolvidas no processo fotogramétrico. As pesquisas correlacionadas com o assunto são apresentadas, com o objetivo de melhor embasar os estudos envolvidos. Cada equipamento ou insumo utilizado na Fotogrametria apresenta características próprias quanto às resoluções geométricas e espectrais da imagem e que influenciarão direta ou indiretamente na qualidade (acurácia e precisão) do produto final a ser obtido.

### 2.1 DEFINIÇÕES

#### 2.1.1 Precisão

Conforme GEMAEL(1994, p. 63,65), a precisão refere-se aos efeitos aleatórios e está relacionada à “repetibilidade” de medidas sucessivas feitas em condições semelhantes, pelo mesmo observador, sobre uma quantidade física, isto é, ao menor e maior grau de “concordância” de tais medidas repetidas. Segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(1980, p.70) precisão é o grau de repetibilidade de uma medida.

#### 2.1.2 Acurácia ou Exatidão

Acurácia ou exatidão segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(1980, p. 996) é o grau de conformidade em relação a um padrão ou o grau de perfeição alcançado em uma medida. A acurácia é relativa à qualidade de um resultado e difere da precisão, que refere-se à qualidade das operações com as quais o resultado é obtido.

## 2.2 FILME FOTOGRÁFICO

Segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(2005, p.513) materiais fotográficos, neste caso o filme fotográfico, consistem basicamente de uma emulsão e de um suporte, além de elementos complementares, como a camada de proteção, a de anti-reflexo, e uma extremamente fina, unindo a emulsão e camada anti-reflexo ao suporte.

A emulsão é formada pelos grãos de prata envoltos por uma gelatina. O suporte do filme fotográfico é transparente e é feito geralmente de poliéster.

### 2.2.3 Densidade do filme

Conforme SCHENK(2002, p.227), o fluxo de luz ou energia  $\Phi_i$  que incide no filme aéreo processado sofre o seguinte processo:

- Parte do fluxo é absorvida, outra é refletida e parte transmitida, conduzindo aos termos absorvância  $\Phi_a$ , reflectância  $\Phi_r$  e transmitância  $\Phi_t$  espectrais respectivamente.

Para a definição da densidade, é importante definir a transmitância  $\tau$  como sendo a razão entre o fluxo de luz transmitido  $q_t$  e o incidente  $q_i$ :

$$\tau = \frac{q_t}{q_i} \quad (1)$$

A recíproca ou o inverso da transmitância é denominada de opacidade, conforme WOLF(1983, p.47):

$$O = \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

A densidade D do filme é definida como sendo o logaritmo da recíproca da transmitância ou opacidade:

$$D = \log(O) \quad (3)$$

Por exemplo:

- Se a luz transmitida for de 10% a transmitância  $\tau$  será:

$$t = 0,10 = \frac{1}{10}$$

- A opacidade O por ser recíproca da transmitância terá:

$$O = \frac{1}{0,10} = 10$$

- A densidade D, portanto será  $\log 10 = 1$

O que resulta na equação (adaptada) segundo ANDRADE (2003, p.14), considerando um filme aéreo revelado (negativo):

$$D = \log\left(\frac{I'}{I}\right) = \log\left(\frac{1}{t}\right) = \log O \quad (4)$$

onde,

$I'$  = intensidade de luz que atravessa o negativo;

$I$  = intensidade de luz incidente no negativo;

$\tau$  = transmitância e

$O$  = opacidade

Conforme WOLF(1983, p.47), a densidade do filme é a medida de luz que pode ser transmitida pela emulsão fotográfica. Segundo SCHENK(2002, p.227), filmes negativos branco e preto apresentam densidades variando entre 0,2 a 2,5D e os coloridos entre 0,3 a 3,5D, sendo “D” a densidade do filme conforme a equação (4).

#### 2.2.4 Poder de Resolução do Filme Aéreo

Segundo ANDRADE(2003, p.19), o poder de resolução do filme aéreo é a qualidade de uma emulsão fotográfica em gravar distintamente pormenores finos. O poder de resolução de um filme depende da granulação da emulsão fotográfica, do contraste do filme e do objeto fotografado. Conforme o mesmo autor, o poder de resolução é uma informação útil, apenas quando for conhecido o contraste do alvo fotografado. Informação esta importante para o estabelecimento do horário e condições meteorológicas bem definidos para a execução da cobertura aerofotogramétrica.

### 2.3 CÂMERA AEROFOTOGRAMÉTRICA

As câmeras aerofotogramétricas possuem alta rigidez geométrica e segundo ANDRADE(2003, p.26), são destinadas a obter imagens fotográficas com estabilidade geométrica.

Nesta pesquisa foi dado ênfase no sistema de lentes que compõe a câmera aerofotogramétrica, o qual tem influência direta na qualidade visual e na resolução geométrica da imagem da fotografia.

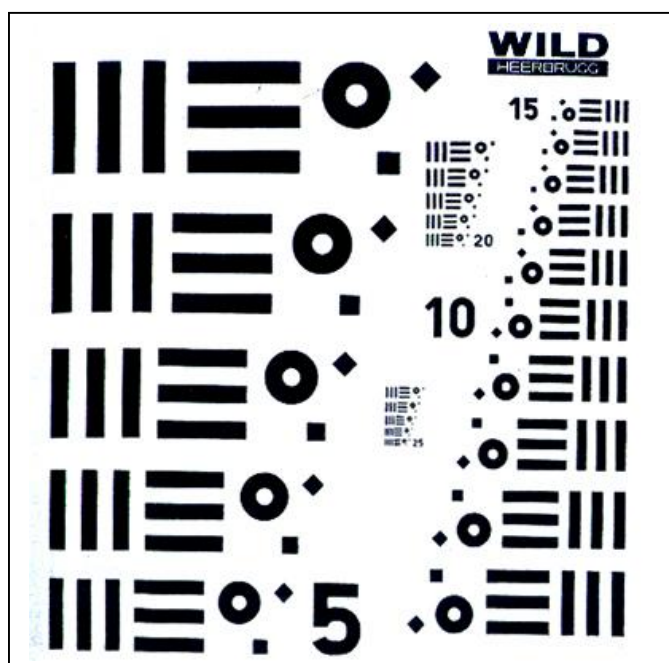
### 2.3.1 Resolução do Sistema de Lentes

Segundo WOLF(1983, p.80), existem dois métodos para a determinação da resolução do sistema de lentes da câmera aérea:

- a contagem direta na fotografia do número de pares de linhas por milímetro (lp/mm) reconhecidas distintamente pelas lentes da câmera e
- a utilização da Função de Transferência de Modulação do sistema de lentes (FTM).

A contagem das linhas consiste em fotografar um alvo padrão usando um filme de alta resolução (entre 100 e 120 lp/mm). O alvo padrão consiste de vários conjuntos de pares de linhas (linhas pretas paralelas variando em espessura e separadas por espaços em branco e de mesma espessura que as pretas) conforme a figura 1.

**FIGURA 1 – PADRÃO PARA TESTE DE RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DE UM SISTEMA DE LENTES DE UMA CÂMERA FOTOGRÁFICA**



Fonte – Adaptado de WOLF(1983, p.81).

O conjunto formado por uma faixa preta e uma branca de mesma espessura, define um par de linhas. Neste processo a fotografia é examinada na forma ampliada, com o objetivo de determinar o mais fino conjunto de linhas que pode ser identificado. A contagem inicia-se pelo conjunto maior, situado no canto superior esquerdo do alvo e no sentido anti-horário tenta-se distinguir o menor conjunto de linhas possível. Quanto menor o padrão a ser distinguido mais subjetivo torna-se o processo, pois envolve a acuidade visual do técnico envolvido. Outro fator implicativo é o nível de maior ou menor contraste da imagem, o que influenciará diretamente na resolução espacial da mesma. Por estas razões esta metodologia não é muito utilizada, sendo preferida Função de Transferência de Modulação.

## 2.4 CONTRASTE E MODULAÇÃO DA IMAGEM

O contraste da imagem está relacionado à diferença entre o maior e menor valor digital (nível de cinza) encontrado na mesma. Quanto maior o intervalo entre os valores digitais maior será o contraste e vice-versa.

Conforme pode ser visto na figura 2, quando o contraste de uma imagem for baixo, o histograma de freqüências dos valores digitais apresenta-se de forma estreita e quando o contraste for alto, o histograma tem a forma mais expandida conforme, CENTENO(2003, p.108).

O contraste visual da imagem não depende apenas do intervalo entre o máximo e mínimo valor digital, mas também de fatores físicos como o contraste natural das feições (insolação, sombras, etc) na área de interesse. Logo o contraste visual e numérico são dependentes da área visualizada.

A modulação por sua vez é definida pela fórmula (5) a seguir:

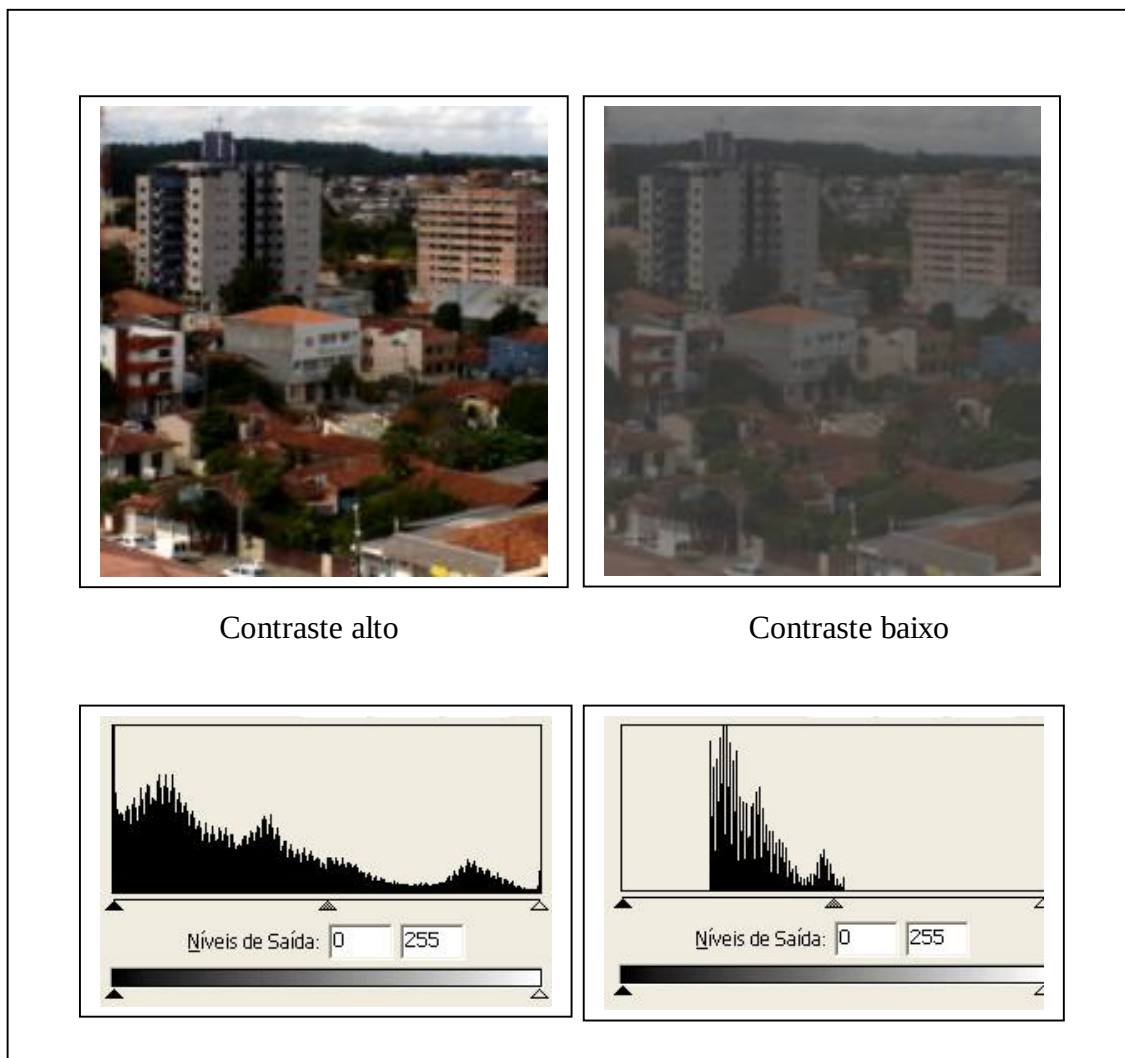
$$\text{Modulação} = \frac{E_{\text{máx}} - E_{\text{mín}}}{E_{\text{máx}} + E_{\text{mín}}} \quad (5)$$

Sendo E a intensidade luminosa, ou os valores digitais de uma imagem.



A modulação da imagem está relacionada ao contraste e conforme a definição da fórmula (5) terá valores sempre entre 0 e 1.

**FIGURA 2 – EXEMPLOS DE CONTRASTE ALTO E BAIXO DE UMA IMAGEM DIGITAL**



Fonte – Adaptado de CENTENO(2003, p.108)

## 2.5 FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA MODULAÇÃO

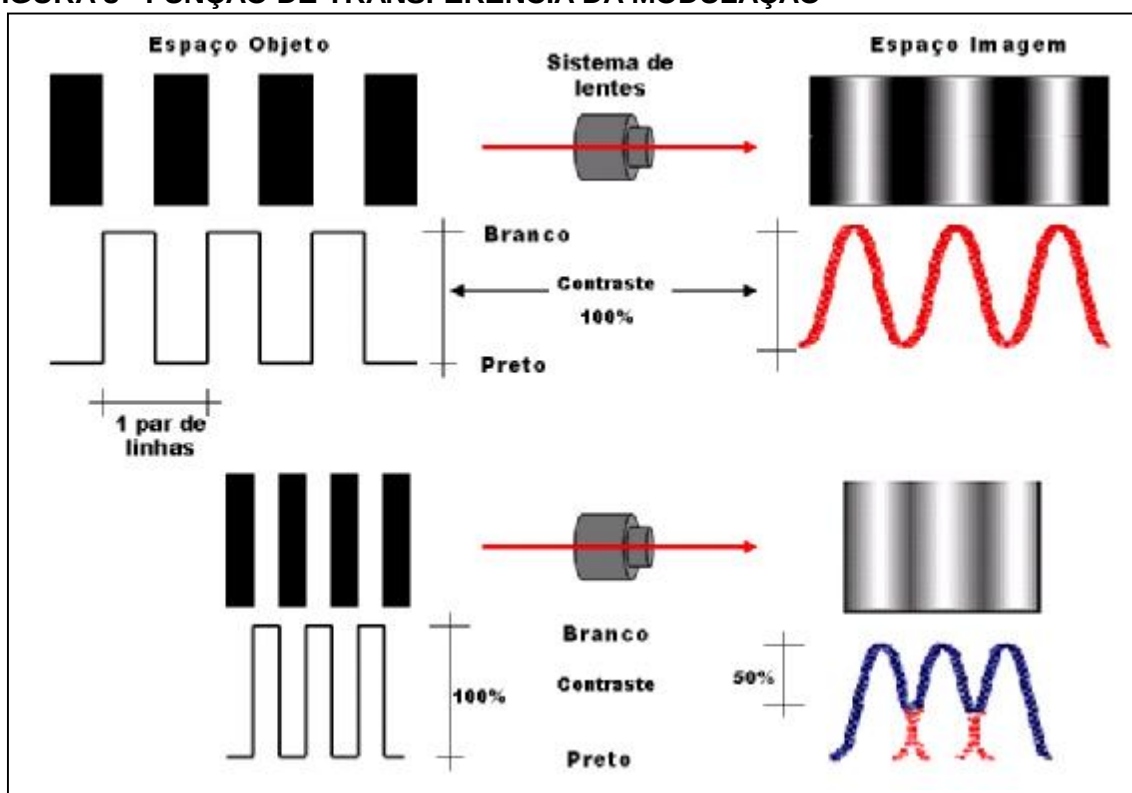
A Função de Transferência de Modulação (FTM) utiliza-se de padrões repetitivos, como uma série de “ondas” retangulares conforme a figura 3. Segundo ANDRADE(2003, p.20) a FTM é uma medida da relação

entre a modulação da imagem e do objeto, ou seja, fornece a informação da perda de contraste provocada pela difusão da luz no meio estudado.

Para a determinação da FTM, conforme WOLF (1983, p.81) e LILLESAND&KIEFER(1994, p.140), as linhas em preto e branco no espaço objeto, apresentam uma distribuição de brilho (variação de densidade).

Um filme ideal captaria não só as variações de brilho (modulação), mas também as linhas de forma bem definida e distinta.

**FIGURA 3 - FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA MODULAÇÃO**

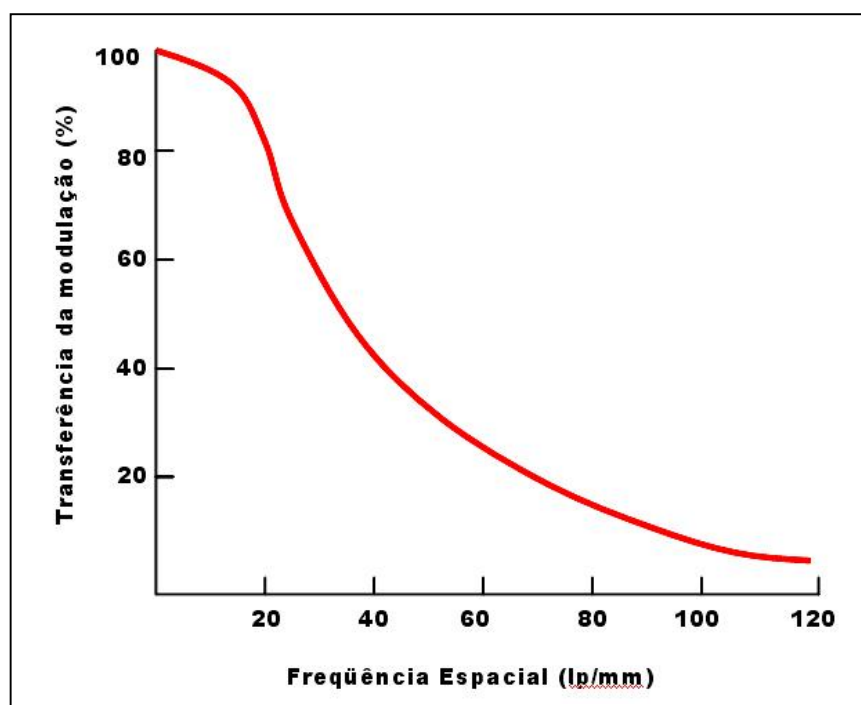


Fonte – Adaptado de BURTCH, 2005.

Segundo a figura 3, os valores de brilho máximo e mínimo do alvo (espaço objeto) devem corresponder exatamente aos valores medidos na imagem do filme. Na frequência espacial do teste padrão a transferência de modulação do filme é de 100%, porém os cantos das linhas apresentam-se de forma arredondada na imagem. Como os espaços no teste padrão tendem a diminuir no espaço objeto, a densidade da digitalização da imagem no filme produzirá modulações reduzidas e níveis de arredondamento da forma cada vez mais acentuados. Medindo-se as densidades de cada padrão e respectivas

freqüências espaciais progressivas chega-se à curva de transferência da modulação como a da figura 4. A curva de transferência da modulação expressa a fidelidade com que determinadas feições de diferentes tamanhos ou freqüências espaciais podem ser armazenadas ou sensibilizadas em um filme aéreo. A curva FTM segundo WOLF (1983, p.85), pode ser combinada para diferentes tipos de lentes, filmes e processos de revelação, logo é possível estimar o efeito combinado de qualquer sistema de imageamento.

**FIGURA 4 – CURVA DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DA MODULAÇÃO**



Fonte – Adaptado de WOLF(1983, p.82).

Conforme LILLESAND&KIEFER(1994, p.143), a resolução ou transferência de modulação de um filme depende da dimensão dos grãos de sais de prata fotossensíveis (granulação do filme). Quanto maior a granulação menor o poder de resolução e mais sensível ou rápido será o filme. Portanto existe uma relação entre a velocidade do filme e a sua resolução espacial.

O poder de resolução deve ser analisado para o conjunto ou sistema câmera aérea/filme fotográfico e não isoladamente para cada um. Através de um sobrevôo em um determinado alvo no terreno, a imagem obtida será o resultado de vários fatores como os efeitos atmosféricos, movimento e

deslocamento da aeronave, gerando segundo LILLESAND&KIEFER(1994, p.143), a resolução espacial dinâmica de todo o sistema.

A FTM não deve ser utilizada para a comparação entre sistemas fotográficos diferentes e sim definir a capacidade do conjunto em registrar imagens distintas de pequenos objetos ou feições próximos uns dos outros, através dos conceitos de detecção, reconhecimento e identificação. A detecção consiste em discernir objetos separados distintamente, o reconhecimento de determinar tipos de feições e identificação o de definir com certeza os objetos.

A FTM conforme ANDRADE(2003, p.20), é definida como a relação entre a modulação da imagem e a modulação do objeto.

## 2.6 SCANNER FOTOGRAMÉTRICO

Segundo SCHENK (2002, p.221), os scanners de modo geral, convertem documentos impressos (forma analógica) para o meio digital. Além da função de digitalizar fotografias aéreas ou imagens de satélite em meio analógico, também são empregados para a conversão de todos os tipos de mapas.

Conforme o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (2005, p.560), um scanner é considerado fotogramétrico, se atender plenamente os seguintes quesitos:

- permitir a digitalização de documentos transparentes com dimensões mínimas de 23cmx23cm;
- ter uma precisão geométrica (Erro médio quadrático – EMQ) menor que 4-5  $\mu\text{m}$ ;
- possuir boa performance radiométrica e espectral, com resolução radiométrica mínima de 8bits por canal (vermelho, verde e azul);
- ter uma resolução espacial mínima de 15  $\mu\text{m}$  e
- ser equipado com sistemas computacionais que permitam a introdução de parâmetros para a digitalização, calibrações, e possíveis funções fotogramétricas (orientação interior da fotografia).

O principal e mais simples critério que distingue um scanner fotogramétrico dos demais, é a sua acurácia geométrica. O segundo critério mais importante consiste na reduzida dimensão do pixel (resolução) e na opção da utilização de rolos de filmes negativos.

Os scanners segundo SCHENK(2002, p.222), dividem-se em os de cilindro ou tambor e os planos (*flatbed*).

Os scanners de cilindro possuem elementos fotossensíveis, chamados de fotodiodos e que devido a sua alta sensibilidade apresentam uma grande escala de densidades, o que se traduz em tonalidades mais fiéis ao documento original. Características próprias deste equipamento como a não uniformidade da superfície do cilindro, as diferenças de velocidade de rotação do tambor e a impossibilidade em manter o negativo da fotografia perfeitamente unida à superfície, inviabilizam a sua utilização na Fotogrametria. Outro impeditivo reside na calibração geométrica adequada do scanner, devido à impossibilidade da utilização de uma placa de vidro de alta precisão com padrões pré-estabelecidos, para a realização da mesma.

Para as atividades de digitalização de fotografias aéreas para uso na fotogrametria digital, o scanner fotogramétrico plano é o mais indicado. Segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (2005, p.562), empregam sensores CCD lineares ou matriciais.

Os principais componentes do scanner plano são:

- iluminação e sistema óptico;
- porta placa;
- sensor;
- scanner eletrônico.

#### 2.6.1 Iluminação e sistema óptico

Segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (2005, p.568), a iluminação do sistema deve garantir uma qualidade radiométrica adequada durante a digitalização e aumentar a razão sinal/ruído, devido à alta velocidade do scanner e a perda da intensidade luminosa no caminho óptico percorrido

(nos scanners atuais apenas o equivalente a 1/4000 da iluminação inicial alcança a superfície do CCD).

A fonte de luz deve ser estável de modo a garantir que o fluxo de luz incidente nos sensores seja função apenas da densidade do filme. A fonte de luz é normalmente uma lâmpada halógena com potência de 100 a 300 watts. Em alguns tipos de scanners são utilizadas lâmpadas fluorescentes.

Alguns scanners são dotados de uma placa circular vazada de circunferências, onde são colocados filtros, para a digitalização de filmes coloridos. Neste caso, o filme é digitalizado em três passadas, uma para cada cor (azul, verde e vermelho). Outros utilizam três sensores diferentes, sendo um para cada cor e neste caso o filme é digitalizado em apenas uma passagem.

O sistema de lentes, da mesma forma que o da câmera aérea deve ser corrigido das distorções e aberrações. Também as posições relativas dos sensores, das lentes e do filme devem ser rígidas e conhecidas.

O tamanho do pixel da imagem digitalizada na direção da linha do sensor depende da dimensão do elemento do sensor (resolução) e do sistema óptico. A maioria dos sensores tem cerca de 8  $\mu\text{m}$ -10  $\mu\text{m}$ . O tamanho do pixel na direção do avanço do sensor é dado pela velocidade e tempo de integração do sistema.

#### 2.6.2 Porta placa

É o local onde o filme é posicionado para a digitalização. Devido a não existência de um sistema de vácuo para a planificação do filme, é utilizada uma placa de cristal sobre o filme, ficando este entre duas placas, a inferior e a superior.

#### 2.6.3 Sensor

O sensor tem a função de receber a parte final do feixe de luz nele incidente, o qual foi inicialmente emitido pela fonte de luz do scanner o qual atravessa o conjunto formado pelo porta placa e o negativo do filme.

Conforme o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (2005, p.562), a maioria dos scanners planos emprega sensores de linha *Charge Coupled Device* - CCD por serem mais sensíveis que os matriciais.

Os sensores lineares têm entre 2048 e 10200 pixels. Nos últimos anos os sensores são constituídos por três conjuntos de CCD, um para cada cor primária do espectro eletromagnético visível (vermelho, verde e azul).

#### 2.6.4 Tipos de Pixel

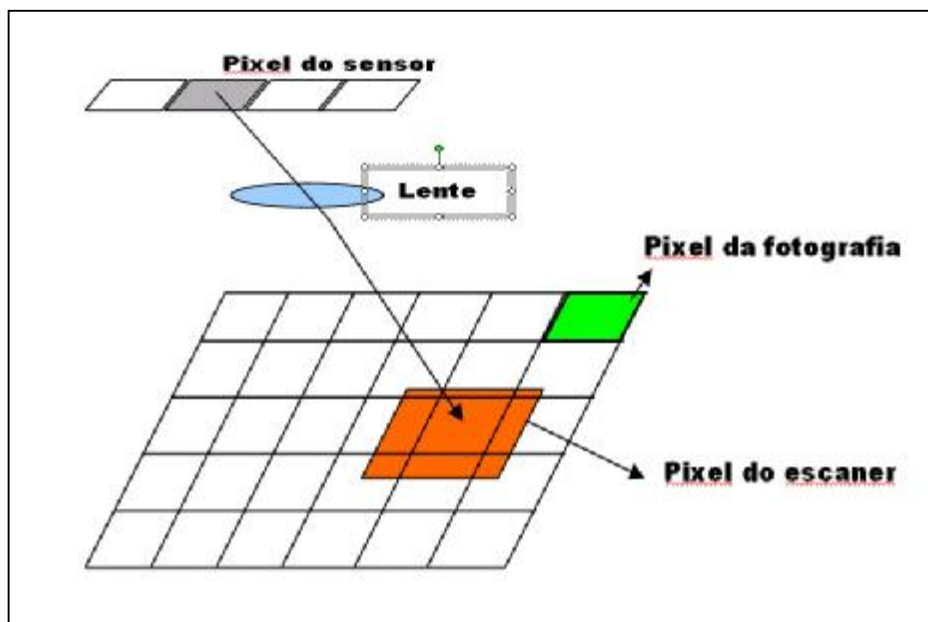
A dimensão do pixel é a que define com propriedade a resolução geométrica de uma imagem digital. Na Fotogrametria a definição da dimensão do pixel das imagens fotográficas é de vital importância, pois a partir dela, estão fundamentadas todas as operações fotogramétricas, tanto em precisão quanto em acurácia posicional.

De acordo com SCHENK(2002, p.229) existem alguns tipos de pixel que é importante distinguir (figura 5):

- pixel do sensor: relacionado ao elemento do sensor. Seu tamanho é determinado pelo tipo de sensor de linha. Atualmente varia entre 8-15  $\mu\text{m}$ ;
- pixel do scanner: refere-se à área projetada do pixel do sensor sobre o filme;
- pixel processado ou refinado: é o resultado final da digitalização e do pós processamento da imagem.
- pixel da fotografia: não propriamente um pixel, pois refere-se à resolução do filme e não é físico. Assume uma forma mais conceitual.

A dimensão do pixel do scanner é definida pela projeção óptica do pixel do sensor no plano do negativo e pela velocidade do avanço do porta placas e do tempo de integração de todo o sistema (SCHENK, 2002, p.230).

**FIGURA 5 – RELAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE PIXEL, GERADOS NO PROCESSO DE DIGITALIZAÇÃO DA FOTOGRAFIA**



Fonte – Adaptado de SCHENK(2002, p.231).

Resumindo, o pixel do sensor é uma quantidade física e consiste no menor elemento de resolução do mesmo e o pixel do scanner é o pixel do sensor projetado sobre o filme.

## 2.7 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Fotogrametria, segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (1980, p. 1) é a ciência, a arte e a tecnologia de se obter informações confiáveis de objetos físicos e do meio ambiente, através de processos de captura, medidas e interpretação de imagens fotográficas e de padrões da energia radiante do espectro eletromagnético e outros fenômenos.

A principal aplicação da Fotogrametria é a compilação de mapas topográficos baseada nas medidas e informações feitas sobre fotografias aéreas e espaciais.

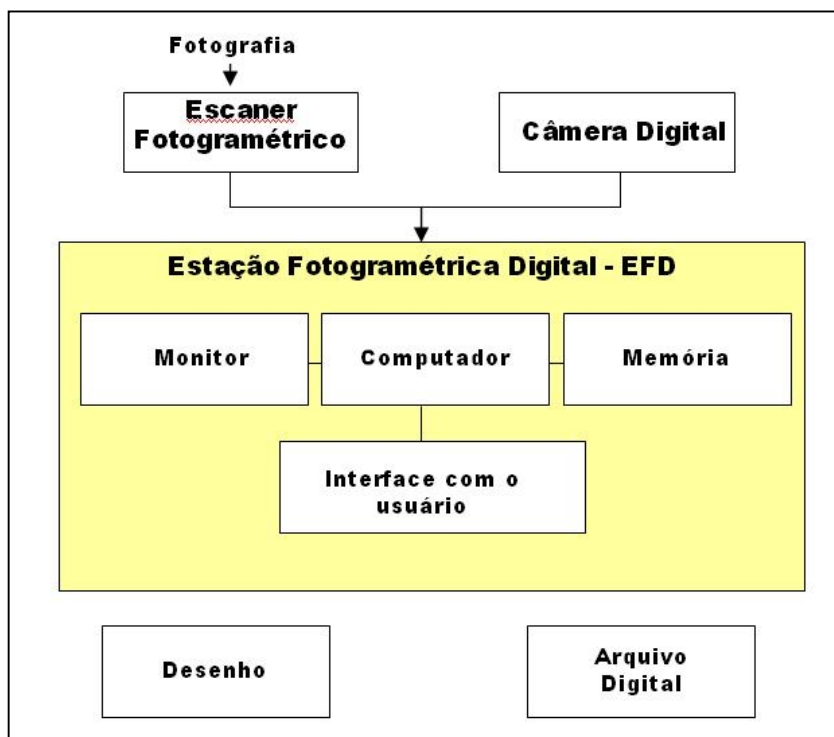
Fotogrametria Digital segundo HEIPKE(1995, p.49), é uma tecnologia utilizada para a obtenção de informações geométricas, radiométricas e semânticas de objetos no espaço tridimensional, a partir de imagens digitais 2D ou bidimensionais de tais objetos.



### 2.7.1 Estação Fotogramétrica Digital (EFD)

Conforme SCHENK(2002, p.238), uma EFD é composta basicamente de três módulos (figura 6): a entrada de dados, o processamento (estação de trabalho) e saída dos dados. A entrada de dados consiste nas imagens digitais das fotografias aéreas, geradas por câmeras digitais ou pela digitalização do filme aéreo. A unidade de processamento ou estação de trabalho é formada pelo computador, o monitor de vídeo, sistemas computacionais e interface com o usuário. A unidade de saída é formada pelos equipamentos automáticos de desenho vetoriais ou de imagens (*plotters*).

**FIGURA 6 – ESQUEMA BÁSICO DE UMA ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL E SEU AMBIENTE DE TRABALHO**



Fonte – Adaptado de SCHENK(2002, p.239).

Segundo o mesmo autor, a acurácia dos produtos fotogramétricos digitais dependem fundamentalmente da resolução do sistema de lentes das câmeras aéreas digitais ou dos scanners e dos algoritmos utilizados. COLOMER(1993, p.187) também afirma que a qualidade da digitalização é um fator crítico para a fotogrametria digital. Ao contrário dos equipamentos analíticos e analógicos, o hardware das EFD não tem efeito

considerável na precisão, com exceção dos monitores de vídeo. Estes devem ter a melhor resolução possível (no mínimo 1280x1024), pois de fato afetam a qualidade visual da imagem e a precisão das leituras ou observações fotogramétricas, conforme SCHENK(2002, p.248).

Existem inúmeros modelos de EFD no mercado, de diversos fabricantes, com mais ou menos recursos de processamento, visualização e automação das tarefas fotogramétricas. Atualmente a geração de modelos digitais do terreno para escalas pequenas (1:20.000 ou menor) é feita através dos recursos de correlação de imagem (*matching*). Os processos de leitura automatizada, também por correlação, dos pontos fotogramétricos para aerotriangulação encontram-se em um estado bem avançado. Da mesma forma, a realização da orientação interior da fotografia aérea (leitura das marcas fiduciais) é feita com a utilização de recursos de automação, independentemente da escala da fotografia (MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 2005, p. 953).

Um fator importante a ser considerado em uma EFD é o sistema de visualização, composto basicamente pelo monitor de vídeo e pela placa de aceleração gráfica. Segundo SCHENK(2002, p.248), o olho humano pode distinguir de sete a oito pares de linhas por milímetro (lp/mm) a uma distância de 25 cm do objeto. Quanto maior a resolução da imagem utilizada, maior deverá ser o fator de ampliação imposto ao sistema de visualização. Em um trabalho de restituição o fator de ampliação deverá ser de 8 a 10 vezes em relação imagem original visualizada no monitor de vídeo.

A relação entre a dimensão do pixel da imagem e o do pixel do monitor, está vinculada ao fator de ampliação utilizado para a visualização da imagem. Quanto maior o fator de ampliação melhor será a visualização da imagem até o limite de percepção das feições cartográficas de interesse. Ultrapassado este limite, as imagens das feições perdem a forma sendo impossível a sua identificação, uma vez que a imagem pode ser ampliada até a visualização do pixel, preenchendo toda a área do monitor de vídeo.

## 2.8 IMAGEM DIGITAL E RESOLUÇÃO ESPACIAL

### 2.8.1 Imagem Digital e Pixel

A imagem digital segundo o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY (2005, p. 399) e SCHENK (2002, p. 27 ), possui um sistema cartesiano de coordenadas associado a ela. A figura 7 mostra uma imagem fotográfica qualquer, em duas dimensões (2D), com a representação de seu respectivo sistema de coordenadas fotográfico, definido pelos eixos  $x$  e  $y$ . Um ponto qualquer  $p$  da imagem é definido pelas coordenadas  $x_p$  e  $y_p$ . Propriedades da imagem fotográfica são associadas a esta posição, definidas por uma função  $f(x,y)$  representando uma imagem contínua. Uma imagem digital discretiza esta função contínua em discreta  $g(x,y)$  , formada por linhas e colunas constituídas por pixels.

Conforme SCHENK(2002, p. 27 ), a fotografia pode ser descrita como uma função contínua  $F(x,y)$ , denominada imagem onde as coordenadas  $x,y$  são variáveis espaciais e a função valor  $F$  (amplitude) é a densidade. A função  $F(x,y)$  por ser contínua, deve ser discretizada em uma escala adequada, resultando em uma função discreta  $f(x,y)$ , denominada imagem digital. Esta função resulta em dois termos: - discretização , gerando as variáveis espaciais  $\Delta x$  e  $\Delta y$  e quantização (geração da variável  $g$ ), associados às resoluções espacial e radiométrica da imagem digital, respectivamente, conforme a figura 8. As variáveis  $x,y$  estão relacionadas à posição do pixel e a função  $g$  ao seu correspondente valor digital (nível de cinza, brilho ou contraste), conforme a fórmula (6) a seguir:

$$f(x,y) = g(x,y) \quad (6)$$

$$f(\Delta x.i, \Delta y.j,i) = 0,...N-1; 0,...,M-1 \quad (7)$$

onde,

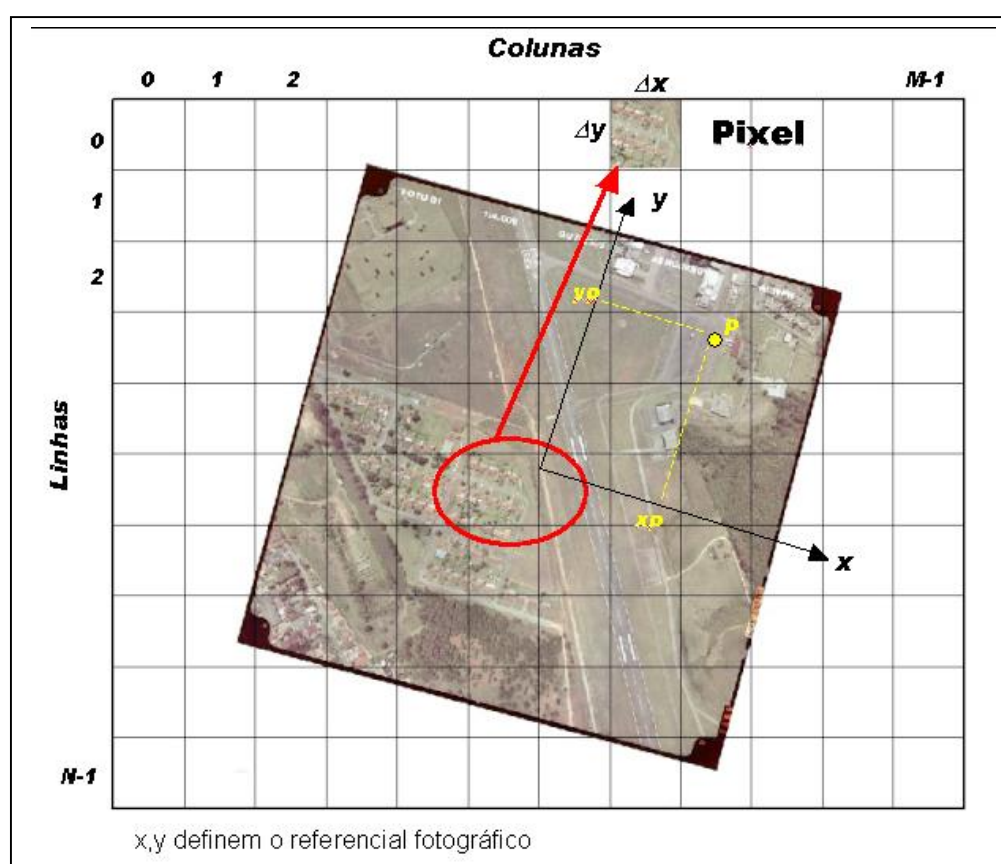
$f(x,y)$  é a imagem de entrada ou original;

$g(x,y)$  é a imagem de saída ou gerada;

$i,j$  a direção do pixel e

$N,M$  o número de linhas e colunas da imagem

**FIGURA 7 – SISTEMA DE COORDENADAS (LINHA X COLUNA) DA IMAGEM DIGITAL**



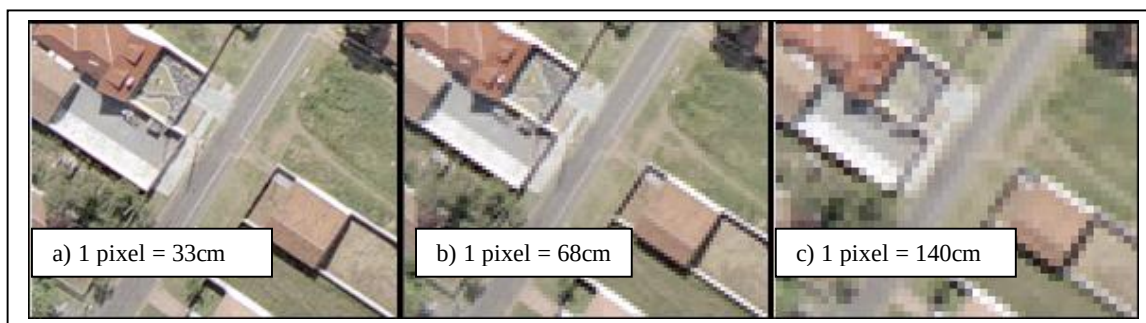
Fonte – Adaptado de SCHENK(2002, p.28). Imagem cedida pela empresa Aeroimagem Aerofotogrametria S.A.

Pixel (do inglês *picture element*) conforme CENTENO(2003, p.57) vem ser a unidade mínima de área unitária de uma imagem digital e define a resolução geométrica da mesma. A energia refletida por todos os objetos dentro desta unidade de área no terreno é ponderada e um único valor é registrado. A figura 8 mostra imagens de uma mesma área com três

resoluções geométricas diferentes: a imagem da esquerda (a) apresenta uma resolução de 42  $\mu\text{m}$ , a central (b) foi gerada com 85  $\mu\text{m}$  e a da direita (c) com 170  $\mu\text{m}$ . Percebe-se claramente que na imagem (c) de menor resolução, cada pixel engloba uma quantidade maior de detalhes em relação à imagem (a), perdendo a definição dos detalhes.

Quando a unidade de área abrangida pelo pixel é muito grande os detalhes são perdidos, pois vários objetos são fundidos dentro dele (média ponderada das reflectâncias). Logo, a imagem digital tem como definição três elementos: a resolução espectral, a geométrica e a radiométrica.

**FIGURA 8 – DIFERENTES RESOLUÇÕES GEOMÉTRICAS DA IMAGEM DIGITALIZADA A PARTIR DE UMA FOTOGRAFIA ESCALA 1:8.000**



### 2.8.2 Resolução Geométrica

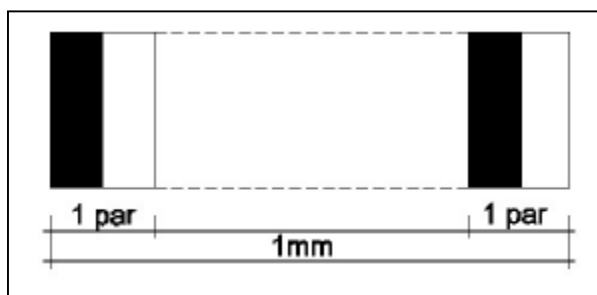
A resolução geométrica da imagem da fotografia aérea não pode ser confundida com a precisão do produto fotogramétrico final obtido através da compilação da mesma. O valor da acurácia posicional do produto fotogramétrico, seja de uma carta ou ortofotocarta, será sempre inferior à dimensão do pixel. Da aquisição da fotografia até o produto final, existem vários procedimentos que agregam erros ao produto, todos inerentes ao processo de geração dos dados. Alguns dos procedimentos que influenciam na acurácia do produto fotogramétrico final são:

- Escala da fotografia aérea;
- Resolução geométrica e radiométrica da imagem;
- Apoio Terrestre;
- Aerotriangulação;
- Restituição estereofotogramétrica.

A definição da resolução geométrica da imagem influencia diretamente na acurácia do produto final obtido e, associada à escala da fotografia, torna-se de fundamental importância para os trabalhos de Fotogrametria.

A resolução geométrica da imagem fotográfica é obtida levando-se em consideração não apenas a resolução do filme aéreo, mas sim de todo o conjunto envolvido no instante da tomada da fotografia. Desde o conjunto da câmera aérea/filme fotográfico até o contraste da imagem em função das condições meteorológicas no instante da tomada das fotografias. Conforme LIGHT(1996, p.285), um elemento importante utilizado para definir a resolução geométrica da imagem no filme é a resolução do conjunto formado pela câmera aérea e filme fotográfico, conhecido como AWAR (*area weighted average resolution*), ou seja, a resolução da média ponderada de área. O valor do parâmetro AWAR é dado em pares de linhas por milímetro (lp/mm). Conforme a figura 9, o conjunto formado por uma barra preta e uma branca forma um par de linhas, o qual serve de medida de qualidade de resolução geométrica do filme aéreo.

**FIGURA 9 – RESOLUÇÃO DO FILME FOTOGRÁFICO, SEGUNDO O PARÂMETRO AWAR(AREA WEIGHTED AVERAGE RESOLUTION)**



Da Figura 9 conclui-se que,

1 par de linhas = 1 lp = unidade mínima de resolução (conjunto de uma barra na cor preta e uma na cor branca).

Por exemplo, se um conjunto câmera aérea/filme tem uma resolução de 50 lp/mm, a resolução da imagem no filme será de:

Resolução do sistema:

$$RES = \frac{1mm}{50lp} \times \frac{1000\mu m}{mm} = 20\mu m/lp \quad (8)$$

Se considerarmos uma fotografia na escala 1:8.000, para a resolução acima, a resolução no terreno é de 0,16 m.

O parâmetro AWAR depende basicamente de cinco elementos:

- Sistema de lentes;
- Filme original;
- Arrastamento da imagem no filme, o qual pode ocorrer, devido a relação entre a velocidade da aeronave e o tempo de exposição da tomada da fotografia;
- Movimento angular (AM, *angular motion*) e
- Movimento no deslocamento da aeronave (FM, *forward motion*).

Segundo LIGHT(1996, p.286), os elementos acima são controláveis, ou seja, são erros sistemáticos que podem ser evitados ou corrigidos. Dois outros elementos não controláveis influenciam na resolução geométrica final da imagem: a atmosfera e o contraste natural das feições (insolação, sombras, etc). Estes fatores, se não observados no planejamento e execução da cobertura aérea tendem a reduzir a resolução do sistema para menos que 40 lp/mm, ou seja, 25  $\mu m/lp$ .

### 2.8.3 Dimensão do Pixel

A determinação da dimensão do pixel para digitalização do filme fotográfico é uma das grandes dúvidas do usuário de Fotogrametria. A principal consiste na definição da dimensão ótima do pixel, para se obter a acurácia esperada para o produto fotogramétrico, sem onerar o processo de capacidade de processamento das imagens digitais e as atividades fotogramétricas. Se a dimensão do pixel for baixa (em torno de 8 µm), o arquivo digital será grande demais (ver Quadro 5) e com uma resolução muito acima da precisão que se deseja alcançar. A recíproca é verdadeira, com o agravante de não se obter o produto cartográfico na precisão desejada.

Uma forma de se determinar a dimensão do pixel segundo LIGHT(1996, p.286), é a utilização do poder de resolução do sistema de lentes dado em pares de linhas por milímetro (lp/mm). A dimensão do pixel é determinada através da seguinte condição:

$$\frac{RES}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{RES}{2} \quad (9)$$

onde, RES é o poder de resolução do sistema de lentes em micrômetros, determinado a partir do parâmetro AWAR (ver equação 8).

Por exemplo, se o sistema de lentes apresentar um poder de resolução de 40 lp/mm, o valor de RES será 25 µm/lp. Aplicando a fórmula (9), o valor mínimo para o pixel será de 8,8 µm e máximo de 12,5 µm. Considerando a média dos intervalos mínimo e máximo, o valor a ser adotado para a dimensão do pixel será de 11 µm. Com este valor tem-se a garantia que todos os elementos contidos na imagem do filme fotográfico serão capturados no processo de digitalização.

## 2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE A AEROTRIANGULAÇÃO

Fototriangulação ou Aerotriangulação, segundo LUGNANI(1987, p.02), é o método fotogramétrico de determinação de coordenadas de pontos do espaço objeto num referencial específico, através



da relação geométrica entre fotografias adjacentes, pontos de apoio e de um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

Modernamente, a Aerotriangulação tem por finalidade a determinação dos parâmetros de orientação exterior da fotografia aérea (três rotações e as coordenadas tridimensionais do centro de projeção da fotografia).

Conforme LEBERL(1996, p.234), a centragem da leitura de um alvo simétrico em uma matriz de pixels independe do tamanho alvo, e sim da dimensão do pixel. Neste caso a precisão é alta, em torno de  $\pm 0,05$  do pixel. Esta relação é válida para a aerotriangulação baseada em alvos simétricos, porém hoje, com a Fotogrametria praticamente toda em ambiente digital e com os processos de leitura automatizados, os alvos são naturais e dificilmente são simétricos.

Segundo o mesmo autor, na aerotriangulação espera-se chegar a uma precisão de  $\pm 1 \mu\text{m}$  a  $\pm 2 \mu\text{m}$  (precisão dos equipamentos analíticos), significando que a leitura de pontos naturais deve ser de alta precisão, seja através da leitura estereoscópica convencional ou automática, como a baseada em métodos de correlação de imagens. Tal fato requer que as diferenças de escala entre duas imagens formando um par estereoscópico ao longo da faixa de vôo ou na região de ligação entre faixas adjacentes, deverá ser menor que o erro de leitura, ou seja, em torno de  $\pm 1,5$  da dimensão do pixel, conforme LEBERL(1996, p.234).

## 2.10 ACURÁCIA POSICIONAL DA CARTA

### 2.10.1 Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

O Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. O capítulo II trata da classificação das cartas quanto a exatidão, a qual deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, segundo os seguintes critérios:

- a) Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico – estabelecido;
- b) Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação das curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico – estabelecido;

Segundo o Decreto, o Padrão de Exatidão Cartográfica é definido como um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro Padrão ou Desvio Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

O Decreto define que as cartas, segundo a sua exatidão serão classificadas nas Classes A, B e C, conforme o Quadro 1, onde os valores planimétricos são determinados em função da escala da carta e os altimétricos em relação à equidistância entre as curvas de nível.

O quadro 1 mostra a classificação das cartas e respectivos valores para o erro padrão e PEC.

**QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DAS CARTAS QUANTO À EXATIDÃO**

| CLASSE<br>DA CARTA | PEC          |                   | Erro Padrão (EP) |                   |
|--------------------|--------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                    | Planimétrico | Altimétrico       | Planimétrico     | Altimétrico       |
| <b>A</b>           | 0,5 mm       | ½ equidistância   | 0,3mm            | 1/3 equidistância |
| <b>B</b>           | 0,8 mm       | 3/5 equidistância | 0,5mm            | 2/5 equidistância |
| <b>C</b>           | 1,0 mm       | 3/4 equidistância | 0,6mm            | ½ equidistância   |

Fonte – Adaptada do Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984.

Exemplo: Para uma determinada carta classe “A” na escala 1:2.000, com equidistância vertical das curvas de nível igual a um metro, os valores de teste do PEC deverão ser os seguintes:

### Planimetria

PEC = 0,5 mm na escala 1:2.000 = 1,0 m

EP = 0,3 mm na escala 1:2.000 = 0,6 m

Supondo que para o teste do PEC tenham sido utilizados 25 pontos bem definidos no terreno, os valores de teste serão:

- 90% dos pontos ou 22 pontos deverão apresentar discrepâncias planimétricas menores que 1,0 m e o desvio padrão dessas diferenças não deverá ser superior a 0,6 m.

### Altimetria

PEC =  $\frac{1}{2}$  eqüidistância vertical = 0,5 m

EP =  $\frac{1}{3}$  da eqüidistância = 0,33 m

Supondo que para o teste do PEC tenham sido utilizados 25 pontos bem definidos no terreno, os valores de teste serão:

- 90% dos pontos ou 22 pontos deverão ter discrepâncias altimétricas menores que 0,5 m e o desvio padrão dessas diferenças não deverá ser maior que 0,33 m.

## 2.10.2 Avaliação da Acurácia segundo o NSSDA

O órgão americano Federal Geographic Data Committee – FGDC , desenvolveu o National Standard for Spatial Data Accuracy – NSSDA, o qual implementa a metodologia estatística para estimar a acurácia posicional de cartas topográficas, através da comparação das coordenadas entre os pontos identificados na carta e os levantados em campo ou de maior acurácia.

Segundo o NSSDA (1998, p.4), para avaliar a acurácia posicional do produto final é utilizado o erro médio quadrático – EMQ - das

discrepâncias entre as coordenadas da carta e as de campo dos pontos que formam a amostra.

O nível de confiança para a avaliação da acurácia é de 95%, significando que 95% dos pontos que compõem a amostra deverão ter um erro em sua posição no terreno igual ou menor que o valor da acurácia obtida. Este valor reflete todas as incertezas ou erros introduzidos na fase do apoio terrestre, aerotriangulação, compilação da carta e pela própria extração das coordenadas no produto final a ser testado.

Para atender o nível de probabilidade de 95% deverão ser utilizados no mínimo 20 pontos, bem distribuídos na área a ser testada.

### 2.10.3 Verificação da acurácia segundo a ASPRS

O COMMITTEE FOR SPECIFICATIONS AND STANDARDS(1985, p.195), pertencente à American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, elaborou um estudo sobre a acurácia posicional das cartas de traço para escalas grandes ou maiores que 1:20.000. Afirma que o teste deverá ser realizado sobre o produto final, ou seja, o mesmo entregue ao usuário final (produto acabado).

De acordo com o estudo, a acurácia posicional da carta é avaliada com o propósito de aceitar ou rejeitar a mesma, pela comparação entre as coordenadas X,Y de terreno ou de campo ou as altitudes(Z) de no mínimo 20 pontos bem definidos e distribuídos na área a ser testada, com as respectivas coordenadas extraídas da carta a ser analisada.

Para atender a acurácia planimétrica de uma carta em uma determinada escala, o estudo prevê que os erros horizontais não deverão exceder as tolerâncias pré-definidas para aquele trabalho. Para uma carta escala 1:2.000 por exemplo, o erro padrão para  $1\sigma$  foi estabelecido em 0,50 m. Para atender acurácia altimétrica, os erros também não deverão exceder as tolerâncias pré-definidas para aquele estudo. A altitudes dos pontos de teste deverão ser obtidas por interpolação entre as curvas de nível existentes no produto final e comparadas com as determinadas em campo.

Os pontos que deverão compor a amostra deverão ser bem definidos e distribuídos de forma homogênea em toda a extensão da carta ou produto final. Para garantir com segurança que estes pontos possuam uma acurácia posicional três vezes melhor que as extraídas da carta e, que o resultado seja representativo para toda a extensão da carta, os seguintes procedimentos deverão ser observados:

- a determinação em campo dos pontos de verificação devem ser conduzidas com o mesmo grau de rigidez ou precisão utilizados para os pontos de apoio suplementares e
- deverão ser determinados no mínimo 20 pontos de verificação bem definidos e distribuídos na carta ou área do projeto a ser analisada.

Testes estatísticos de hipótese deverão ser conduzidos, para garantir que as acurácias posicionais planimétrica e altimétrica sejam aceitas ou rejeitadas. A medida de acurácia é formada por duas componentes: a tendência e a precisão. A tendência diz respeito às discrepâncias das feições da carta serem de mesma magnitude e direção e a precisão por outro lado, expressa a tendência das discrepâncias seguirem as características de uma distribuição normal.

Testes estatísticos deverão ser realizados sobre a média da amostra para avaliar a presença de tendências e sobre o desvio padrão para avaliar a conformidade da precisão, após a eliminação de possível tendência, ou seja, testes de hipóteses deverão ser realizados sobre a média e desvio-padrão da amostra, separadamente para as coordenadas horizontais X e Y e para as altitudes Z. Os dois testes são embasados no nível de confiança de  $(1-\alpha)$  de 95%, valor este também definido pelo MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(2005, p.991).

Os testes para avaliação de erros de tendência deverão ser feitos pela distribuição t-Student e os de precisão pela distribuição de qui-quadrado.

## 2.11 TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo LIGHT(1996, p.286), em seu trabalho sobre tendências de utilização de câmeras aéreas analógicas e digitais, mostra que o valor do parâmetro AWAR teve um ganho considerável nos últimos anos devido aos novos processos na fabricação das lentes, conforme pode ser visto no Quadro 2. Os valores obtidos são de testes em laboratório, feitos pelo U.S. Geological Survey desde a década de 1960. Resultados práticos mostraram que a atmosfera e outros fatores que podem ocorrer durante o voo, sempre reduzem a resolução final do filme para menos que 40 lp/mm.

**QUADRO 2 – VALORES AWAR PARA CÂMERAS AÉREAS**

| Ano  | AWAR - lp/mm ( $\mu\text{m}$ ) | Distorção Geométrica ( $\mu\text{m}$ ) |
|------|--------------------------------|----------------------------------------|
| 1960 | 63                             | $\pm 10$                               |
| 1994 | > 95                           | $\pm 3$                                |

Fonte – Adaptada de LIGHT(2003, p.285).

Conforme MAYR(1995, p.226), em seu trabalho sobre aerotriangulação automática, o produto final ou a sua aplicação é que definirão a resolução geométrica da imagem a ser obtida. Uma resolução geométrica de 15  $\mu\text{m}$  deve ser considerada como apropriada. Com este valor é possível obtenção de uma acurácia sub-pixel na ordem de 1/3 a 1/5 da resolução original, ou seja, entre 5 a 3  $\mu\text{m}$ .

COLOMER(1993, p. 185) mostra os aspectos operacionais e funcionais para a atualização cartográfica na escala 1:5.000 a partir de fotografias preto e branco em escala 1:22.000, baseados na digitalização de filmes aéreos para uso em EFD. Para o trabalho, foi assumida uma resolução geométrica de 60 lp/mm ou 0,37m no terreno. Foram estabelecidas duas resoluções geométricas para o processo de digitalização: 7,5  $\mu\text{m}$  e 15  $\mu\text{m}$  ou 0,165m e 0,33m no terreno, respectivamente. Aplicando a equação (9) a dimensão do pixel de 15  $\mu\text{m}$  ficou fora do limite, ao contrário da dimensão de

7,5  $\mu\text{m}$ . Após a execução dos testes, o autor indicou o uso da resolução geométrica de 7,5  $\mu\text{m}$  para compilação de áreas urbanizadas e 15  $\mu\text{m}$  para as rurais.

Segundo HEIPKE(1999, p. 179), resoluções geométricas de 20  $\mu\text{m}$  a 30  $\mu\text{m}$  em diferentes escalas de fotografias e em diferentes lugares da Europa, foram utilizadas nos testes realizados para a OEEPE (European Organisation for Experimental Photogrammetric Research) e ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), com o objetivo de avaliar o desempenho da extração automática de pontos fotogramétricos de ligação na aerotriangulação. Para condições favoráveis os resultados apresentaram uma acurácia de 0,15 a 0,20 pixels ou 3 a 4  $\mu\text{m}$ , usando-se pontos naturais para as medidas (aplicação de mínimos quadrados para o refinamento da correlação). Nos equipamentos analíticos esta acurácia só seria obtida com a utilização de pontos pré-sinalizados. O resultado geral foi uma acurácia de 0,2 a 0,3 pixel ou 4 a 9  $\mu\text{m}$  para as imagens digitalizadas com um tamanho de pixel entre 20 a 30  $\mu\text{m}$ . Porém, o efeito do tamanho do pixel dentro do processo não foi investigado, baseado na sugestão de que pixels menores que 20  $\mu\text{m}$  não aumentariam a acurácia dos pontos fotogramétricos.

De acordo com JACOBSEN(2001, p.1), a Fotogrametria Digital mudou completamente a Fotogrametria tradicional. Equipamentos demasiadamente caros foram substituídos por micro computadores tipo PC e as fotografias analógicas convertidas para o meio digital através de scanners ou obtidas diretamente através de câmeras aéreas digitais. O autor afirmou que as fotografias aéreas convencionais, em qualquer escala e obtidas com as câmeras fotogramétricas em uso, têm uma resolução aproximada de 40 lp/mm ou 25  $\mu\text{m}/\text{lp}$ . Logo, uma digitalização do filme com dimensão do pixel menor que a calculada seria um desperdício de dados.

Conforme o mesmo autor JACOBSEN(2001, p.2), a precisão dos equipamentos analíticos pode chegar a 5  $\mu\text{m}$  e a Fotogrametria digital deve alcançar o mesmo nível de precisão. As medidas na imagem digital podem ser obtidas através do endereçamento pleno do pixel ou então na forma ampliada, obtendo-se uma leitura com acurácia sub-pixel. No primeiro caso uma acurácia de 1/3 do pixel pode ser alcançada, porque o maior erro de leitura é de 0,5 pixel e no segundo, pela integração de várias medidas, até a  $\pm 0,3$  pixel. Porém

na Fotogrametria, pontos – sem dimensão pela definição matemática - não são utilizados, e sim centros de pequenas áreas da imagem. Logo uma acurácia melhor é possível de ser alcançada, através de cálculos matemáticos ou por medidas em janelas de visualização ampliadas. Por este motivo, segundo o autor, não existe a necessidade de obter imagens digitais das fotografias com uma dimensão do pixel menor que 12  $\mu\text{m}$ .

Vários trabalhos publicados em congressos, simpósios, etc, relatam diversos tipos de metodologias adotadas e resultados obtidos, porém existe um elemento comum interligando-os, que é a resolução geométrica da imagem, definida pela dimensão do pixel. Os valores adotados variam entre 15  $\mu\text{m}$  e 25  $\mu\text{m}$ . KNUDSEN & OLSEN(2003, p. 1290) relatam os procedimentos e resultados para a detecção automática para atualização de mapas digitais do Banco de Dados Nacional Dinamarquês de Mapas Topográficos em áreas urbanas e sub-urbanas, na tentativa de diminuir a interferência humana na atualização dos dados. O serviço de atualização foi baseado em fotografias aéreas analógicas na escala 1:25.000, as quais foram digitalizadas com uma resolução de 21  $\mu\text{m}$  tanto para o uso estereofotogramétrico como para os trabalhos de classificação supervisionada para atualização automática.

Conforme PATIKOVA(2004, p.2), para os trabalhos de Fotogrametria Digital em áreas de mineração, a resolução espacial adotada deve ser em torno de 21  $\mu\text{m}$  (1200dpi). Para MIHAJLOVIC *et al.*(2004, p.3) nos trabalhos de geração de ortofotos na Sérvia, nas escalas de 1:1.000 a 1:5.000 a partir de fotografias aéreas analógicas coloridas e preto e branco nas escalas 1:5.000, 1:14.500, 1:20.000 e 1:26.000, um dos dilemas foi a determinação da resolução geométrica das imagens das fotografias, onde foi estabelecida uma resolução de 20  $\mu\text{m}$  para a digitalização das mesmas. Foi o resultado da relação entre preço e resultado a ser obtido, dentro do orçamento estabelecido para o projeto.

Em seu trabalho sobre tendências na Fotogrametria e SIG, JACOBSEN(2005, p.2) diz que a Fotogrametria Digital é o estado da arte e enfatiza o rápido avanço das câmeras digitais, dos satélites de alta resolução e suas aplicações em mapeamentos em grandes escalas. A geração do MDT através de correlação de imagens é utilizada, porém tem limitações em áreas de baixo contraste e em áreas urbanizadas. O uso de *true ortofotos* (apresenta



os objetos exatamente em sua projeção vertical, ou seja, os edifícios não apresentam suas paredes laterais e pontes e viadutos são gerados sem deformações) é baixo devido a necessidade de uma modelagem 3D completa do terreno e de imagens com grande superposição longitudinal e lateral, o que onera em demasia um projeto fotogramétrico.

Neste mesmo trabalho, JACOBSEN(2005, p.2) afirma que as imagens obtidas por câmeras digitais não são influenciadas pelos grãos do filme fotográfico, tornando a qualidade da imagem melhor, bem como a resolução radiométrica. Os objetos localizados em áreas de sombra podem ser melhor identificados nas imagens digitais geradas por câmeras digitais do que as das analógicas. Pode-se então esperar ganhos a serem determinados na precisão dos trabalhos fotogramétricos com o uso de câmeras digitais fotogramétricas. Vários testes mostraram excelentes resultados na acurácia das câmeras digitais. No ajustamento dos blocos foi alcançada uma acurácia de 0,2 pixels para a paralaxe  $x$  ( $2,4/2 \mu\text{m}$ ), o que representa o dobro da qualidade em relação às câmeras analógicas. A relação base-altura de vôo é compensada pela melhor acurácia da imagem.

No Brasil as empresas de aerofotogrametria ainda não possuem câmeras fotogramétricas digitais para a obtenção das fotografias em meio digital. O principal motivo deve-se ao elevado custo das câmeras digitais, hoje acima de US\$ 1.000.000,00. Todas as empresas lançam mão do recurso da digitalização do filme aéreo (negativo) utilizando-se de scanners fotogramétricos de alta precisão. Normalmente é a primeira tarefa a ser executada após a revelação do filme e análise da cobertura aerofotogramétrica. Com este procedimento evita-se a incidência de riscos que podem ocorrer nos processos de copiagem das fotografias. Quanto maior for a manipulação do filme, maior será a incidência de fatores que poderão influenciar na qualidade visual da imagem (riscos, poeira, penugens, etc).

Quanto à resolução geométrica, as empresas de aerofotogrametria brasileiras têm adotado valores para a dimensão do pixel entre  $20 \mu\text{m}$  e  $24 \mu\text{m}$ . No projeto de mapeamento do município de São Paulo iniciado em 13/12/2002 e ainda em andamento, as empresas executoras (Aerocarta, Aeroimagem, Engefoto e Esteio) optaram pela resolução geométrica de  $16 \mu\text{m}$ , de forma a garantir com maior segurança a precisão

exigida na fase de medição e cálculo da aerotriangulação (na fase de restituição digital foi adotada a resolução de 24  $\mu\text{m}$ ).

No controle da precisão dos resíduos dos pontos do apoio suplementar no ajustamento final da aerotriangulação, a tolerância planimétrica máxima individual deverá ser inferior a 40  $\mu\text{m}$  na escala da fotografia e de 30  $\mu\text{m}$  para a altimétrica, conforme as equações (10). Estas equações são de uso consolidado no processo de aerotriangulação (mais de 20 anos no Brasil) e refletem com segurança a qualidade das precisões dos resíduos obtidas dos pontos do apoio suplementar.

$$TXY = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)} < 40 \mu\text{m} \text{ na escala da fotografia} \quad (10)$$

$$TZ = \Delta z < 30 \mu\text{m} \text{ na escala da fotografia}$$

Onde,

- $\Delta x$ ,  $\Delta y$  são as discrepâncias planimétricas dos pontos de apoio;
- $\Delta z$  é a discrepância altimétrica dos pontos de apoio;
- TXY é a discrepância planimétrica resultante individual para cada ponto de apoio e
- TZ é a discrepância altimétrica para cada ponto de apoio.

No projeto de mapeamento urbano do município de São Paulo, as tolerâncias exigidas para o controle dos resíduos foram de 20  $\mu\text{m}$  para a planimetria e de 30  $\mu\text{m}$  para a altimetria. Considerando escala da fotografia 1:5.000, as tolerâncias para o projeto ficaram em:

- TXY = 10 cm e
- TZ = 15 cm

Se fosse adotada a resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$  (utilizada até aquele momento) a dimensão do pixel no terreno seria de 12cm, ficando acima da tolerância exigida. Foi adotada portanto, a resolução de 16  $\mu\text{m}$  ou 8cm no terreno, cujos resultados obtidos no ajustamento final ficaram abaixo das tolerâncias do projeto.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a realização desta pesquisa foram os seguintes:

- Filme fotográfico KODAK Aerocolor III 2444;

Os equipamentos empregados foram:

- Aeronave bi-motor Navajo, prefixo PT-CKW;
- Câmera aérea fotogramétrica WILD RC-10;
- Scanner fotogramétrico Wehrli RM-5;
- Rastreador GPS, Leica SR-9500
- Estação fotogramétrica digital ISM;

A metodologia de trabalho foi conduzida de forma a validar os objetivos iniciais desta pesquisa, e de se chegar a resultados que pudessem otimizar o processo produtivo aerofotogramétrico, visando o mapeamento urbano na escala 1:2.000.

No Brasil, para o mapeamento de áreas urbanas na escala 1:2.000, são utilizadas fotografias aéreas obtidas na escala média 1:8.000. Com o recurso de variar a escala da fotografia com diferentes resoluções geométricas, pretendeu-se alcançar valores ótimos ou otimizados, buscando economia nas etapas de cobertura aérea, apoio terrestre, aerotriangulação e restituição digital estereofotogramétrica.

Por exemplo: A substituição do conjunto escala da fotografia 1:8.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$  por uma fotografia escala 1:10.000 e resolução de 16  $\mu\text{m}$ , não terá o mesmo resultado em precisão e exatidão na carta topográfica 1:2.000?

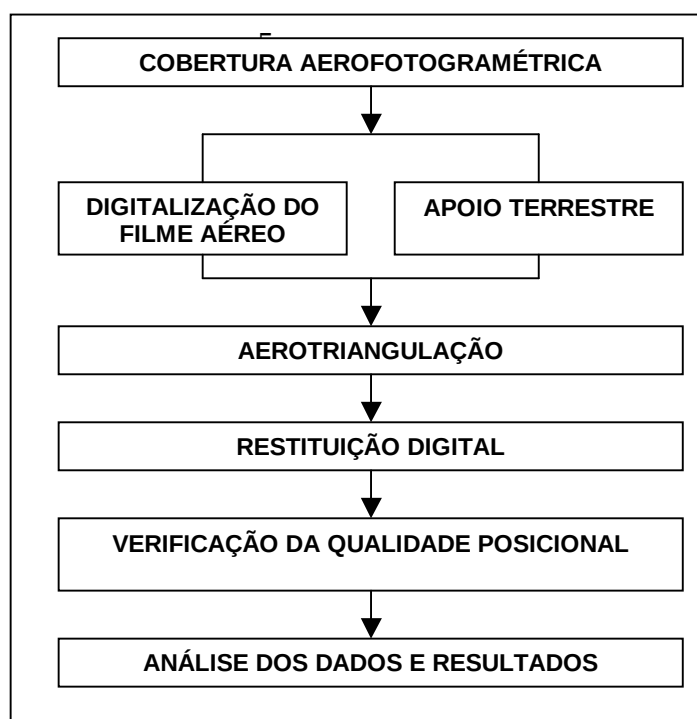
Neste trabalho os dados obtidos foram submetidos aos padrões oficiais, estabelecidos pelo Decreto Lei nº 89.817, que regulamenta o controle e a classificação das cartas topográficas produzidas no país. Através do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC – os dados foram avaliados e validados conforme a classificação definida pelo PEC.

As câmeras aerofotogramétricas construídas anteriormente à década de 1990 possuem um poder de resolução entre 40 lp/mm a 50 lp/mm. Os filmes fotográficos têm uma resolução entre 100 lp/mm e 120 lp/mm, porém, ficam limitados à resolução do sistema de lentes das câmeras. Considerando o mesmo raciocínio para o caso digital, a definição da resolução geométrica ou dimensão do pixel para a digitalização do filme deverá ser feita com critério. Uma resolução geométrica melhor poderá não acarretar em ganhos na qualidade posicional dos trabalhos, uma vez que a imagem da fotografia, devido à resolução do sistema de lentes, poderá ter uma resolução pior.

A análise dos dados obtidos da restituição digital de pares estereoscópicos de fotografias nas escalas 1:8.000, 1:10.000, 1:12.000 e 1:15.000 e com diferentes dimensões de pixel (8  $\mu$ m, 16  $\mu$ m, 24  $\mu$ m e 32  $\mu$ m) foi o enfoque principal a ser considerado. Foram denominados de conjuntos o par de variáveis: - escala da fotografia e resolução geométrica da imagem.

Conforme a figura 10, a metodologia para esta pesquisa foi baseada no fluxo de operações de um serviço de aerofotogrametria normal. Foram executadas todas as etapas do fluxo produtivo aerofotogramétrico para cada conjunto formado pela escala da fotografia e resolução geométrica da imagem.

**FIGURA 10 – SEQUÊNCIA DAS FASES DE TRABALHO EXECUTADAS PARA A REALIZAÇÃO DO PROJETO**



Nas etapas de aerotriangulação e restituição digitais foi utilizada uma estação fotogramétrica digital equipada com o sistema DiAP (*Digital Analytical Plotter*) da ISM e o sistema gráfico CAD MicroStation SE. Os resultados obtidos foram comparados entre os conjuntos estabelecidos e com os parâmetros do PEC.

A obtenção das fotografias aéreas para a realização deste trabalho foi realizada em uma área urbanizada, região central da cidade de Araucária, Paraná. A cidade de Araucária foi escolhida por estar fora do tráfego aéreo do aeroporto Afonso Pena e também ser de fácil acesso para os trabalhos de campo. Os sobrevôos nas diferentes escalas foram executados no mesmo dia e em seqüência, com o objetivo de minimizar os efeitos atmosféricos e de iluminação.

### 3.1 COBERTURA AÉREA

Foram planejados quatro sobrevôos, cada um formado por apenas uma faixa, para a obtenção de fotografias aéreas nas escalas médias de:

-1:8.000;  
-1:10.000;  
-1:12.000 e  
-1:15.000

O planejamento de vôo, conforme a figura 11, foi elaborado de forma que a área recoberta pela escala fotográfica menor envolvesse a área abrangida pela escala imediatamente maior e assim sucessivamente.

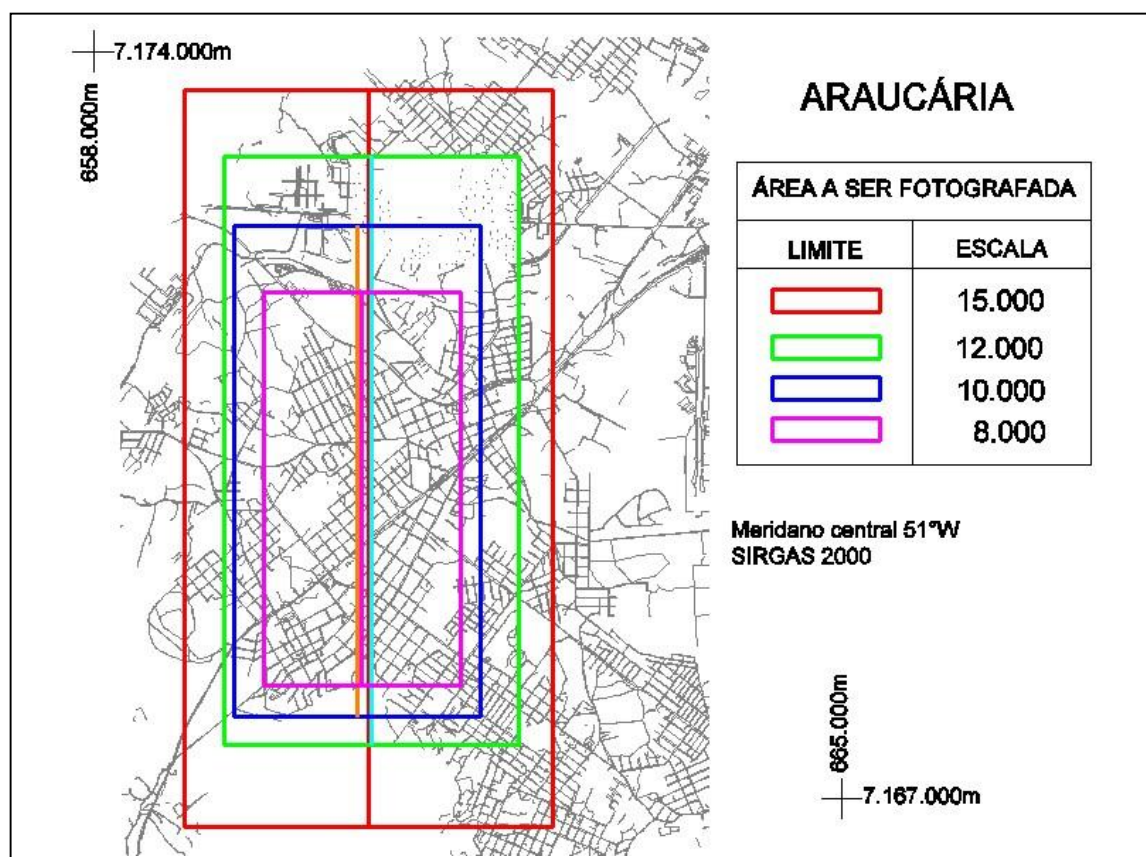
O Quadro 3 mostra as escalas de vôo planejadas e as respectivas alturas médias de vôo, considerando-se uma distância focal do sistema de lentes de 151,875 mm.

**QUADRO 3 – PLANEJAMENTO DA COBERTURA AÉREA**

| Escala da fotografia | Número de faixas | Direção de vôo | Altura média de vôo (m) | Altitude média de vôo (m) |
|----------------------|------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|
| 8.000                | 1                | N-S            | 1.215                   | 2.165                     |
| 10.000               | 1                | N-S            | 1.518                   | 2.468                     |
| 12.000               | 1                | N-S            | 1.822                   | 2.772                     |
| 15.000               | 1                | N-S            | 2.278                   | 3.228                     |

Para definição da altitude média de vôo foi considerado o valor de 950 m para a altitude média da região.

**FIGURA 11 – PLANO DE VÔO GRÁFICO NAS DIFERENTES ESCALAS, SOBRE A CIDADE DE ARAUCÁRIA, PARANÁ**



### 3.2 DIGITALIZAÇÃO DO FILME AÉREO

A digitalização do filme aéreo foi realizada utilizando-se o scanner fotogramétrico WEHRLI RM-5 o qual possui uma resolução geométrica mínima de 8  $\mu\text{m}$ .

Com o objetivo de verificar a relação entre a resolução do filme aéreo exposto e a resolução geométrica da imagem digitalizada, inicialmente foram geradas imagens com as seguintes dimensões de pixel: 8  $\mu\text{m}$ , 16  $\mu\text{m}$ , 24  $\mu\text{m}$  e 32  $\mu\text{m}$ . Os valores são múltiplos de oito devido a resolução geométrica mínima do scanner fotogramétrico ser do mesmo valor.

### 3.3 APOIO TERRESTRE

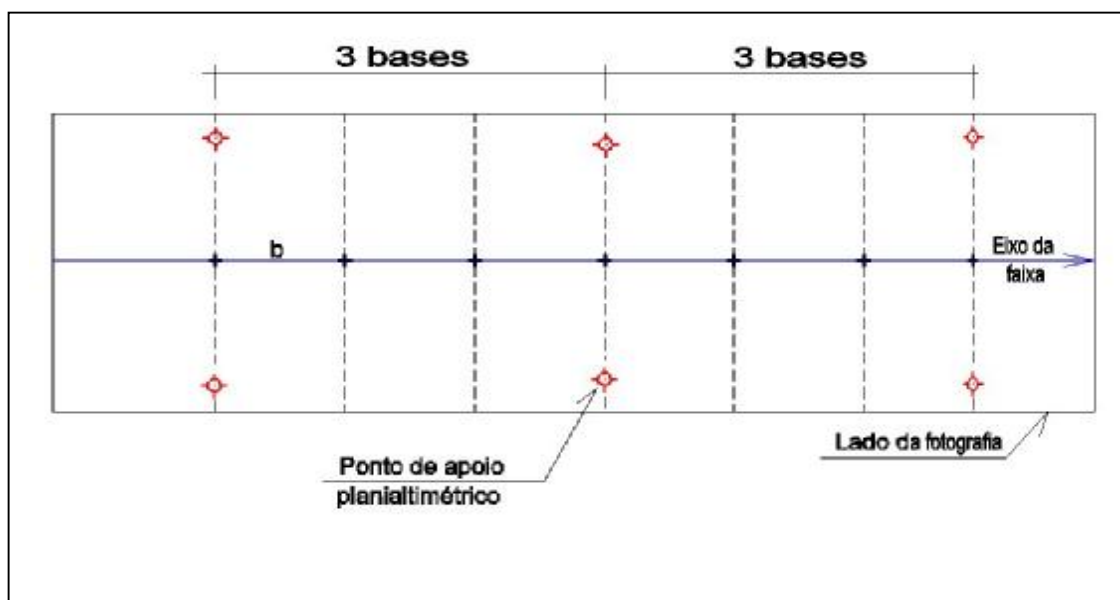
A fase do Apoio Terrestre teve por objetivo a determinação das coordenadas planialtimétricas dos pontos do apoio suplementar para a Aerotriangulação.

Foram utilizados equipamentos rastreadores GPS , frequência L1/L2 da marca Leica, modelo SR-9500. O método de rastreo foi o estático rápido e as coordenadas obtidas foram referenciadas ao Sistema Geodésico de Referência oficial do Brasil, SIRGAS 2000.

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos do apoio suplementar foi determinado um valor médio para o desnível geoidal da região, o qual foi aplicado às altitudes geométricas determinadas pelo rastreo GPS. As altitudes ortométricas foram referenciadas ao Datum vertical de Imbituba-SC.

O planejamento da distribuição dos pontos do apoio suplementar foi elaborado observando-se dois pontos planialtimétricos a cada três bases fotográficas, conforme a figura 12.

**FIGURA 12 – PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DO APOIO SUPLEMENTAR EM UMA FAIXA DE VÔO ISOLADA**



### 3.4 AEROTRIANGULAÇÃO

O processo de aerotriangulação foi executado para cada uma das faixas de fotografias e resoluções geométricas estabelecidas.

#### 3.4.1 Planejamento dos Blocos

Considerando as quatro faixas de voo com suas respectivas resoluções geométricas adotadas na digitalização do filme aéreo, conforme o Quadro 3, foram planejados os blocos de aerotriangulação, cada um formado por apenas uma faixa de fotografias. Cada conjunto de fotografias de uma escala e com sua respectiva resolução geométrica, foi considerado um bloco de fotografias, variando entre quatro a seis modelos fotogramétricos, conforme a distribuição dos pontos de apoio suplementar.



### 3.4.2 Planejamento dos pontos do apoio suplementar

Cada bloco de fotografias teve o seu conjunto de pontos de apoio distribuídos de tal forma a garantir a melhor rigidez possível para o processo da aerotriangulação. A figura 12 mostra como foi planejada a distribuição dos pontos de apoio ao longo das faixas, sendo dois pontos de apoio planialtimétricos no início e no final das faixas, e mais dois pontos a cada três bases fotográficas, conforme o MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(2005, p. 1111) e ANDRADE(2003, p.108).

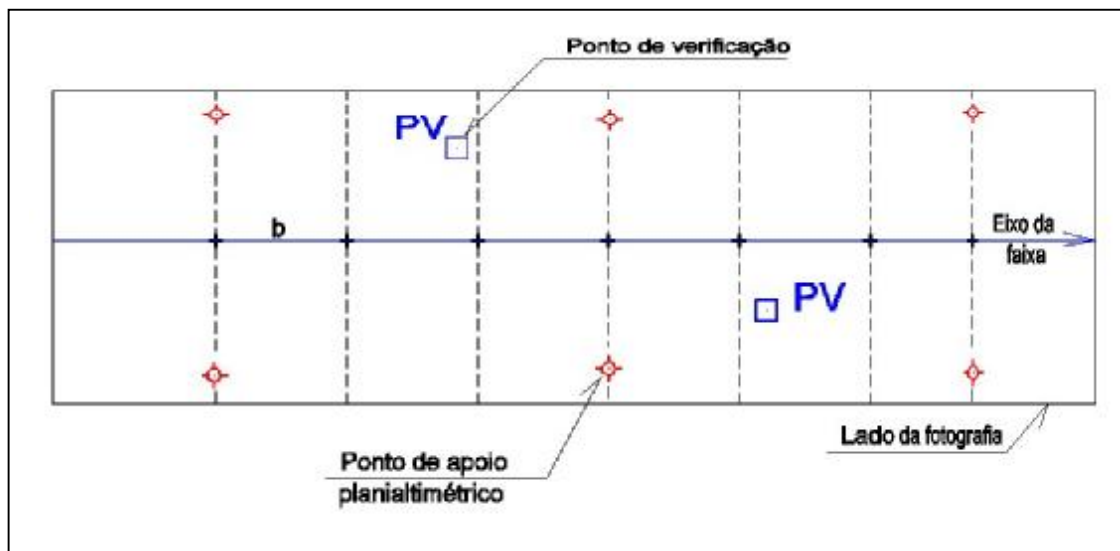
### 3.4.3 Planejamento dos pontos de verificação

Com o objetivo de verificar a qualidade da acurácia posicional dos resultados da aerotriangulação, foram planejados dois pontos de verificação (*“check points”*). Estes pontos tiveram suas coordenadas planialtimétricas determinadas pelo Apoio Terrestre e foram medidos e considerados como pontos fotogramétricos no processamento dos blocos de aerotriangulação.

As coordenadas planialtimétricas obtidas pelo processamento da aerotriangulação foram comparadas com as determinadas em campo. Com este procedimento os resultados dos blocos foram validados quanto à acurácia posicional.

A figura 13 mostra o planejamento dos pontos de verificação a utilizados nesta pesquisa.

**FIGURA 13 – PLANEJAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO NO BLOCO DE AEROTRIANGULAÇÃO**

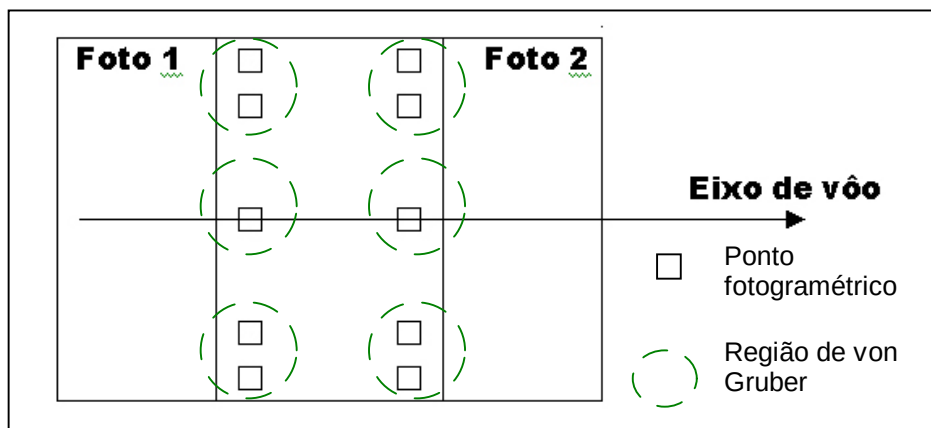


#### 3.4.4 Planejamento dos pontos fotogramétricos

No planejamento e execução da aerotriangulação os seguintes procedimentos foram adotados:

- conforme a figura 14, foram escolhidos dois conjuntos de cinco pontos de passagem ou ligação de modelos, cada um situado na linha central das fotografias, de forma a garantir que os mesmos fossem medidos no mínimo em três fotografias consecutivas. Os pontos foram distribuídos nas regiões de *von Gruber*, determinando-se, no mínimo dez pontos por modelo fotogramétrico e
- os pontos de passagem foram escolhidos e medidos em locais que apresentaram boa nitidez e definição, em áreas planas, evitando-se copas de árvores e áreas de alto contraste da imagem. Os pontos medidos nunca situaram-se a uma distância inferior a 2 cm das bordas das fotografias, região crítica quanto às deformações das lentes e do seu poder de resolução (seção 4.1.1).

**FIGURA 14 – ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS NO MODELO**



#### 3.4.5 Medidas fotogramétricas

O processo de medidas dos pontos fotogramétricos foi realizado em uma Estação Fotogramétrica Digital, obtendo-se inicialmente as coordenadas dos pontos no sistema fotográfico.

As medidas fotogramétricas foram realizadas por apenas um fotogrametrista. O objetivo deste procedimento foi o de garantir que todos os blocos tivessem os mesmos efeitos causados pelo operador, no que diz respeito às medidas estereofotogramétricas e na avaliação dos tempos gastos para a realização dos trabalhos.

As leituras fotogramétricas foram realizadas de forma interativa, com a escolha de pequenos detalhes da imagem, os quais foram medidos em três fotografias consecutivas. A orientação interior de cada fotografia foi feita de modo automático (*matching*).

#### 3.4.6 Processamento da Aerotriangulação

O processamento da aerotriangulação foi realizado pelo ajustamento simultâneo por modelos independentes, através de programa específico desenvolvido pela empresa Aeroimagem S.A. Para tanto, foi feita a

geração analítica dos modelos a partir das coordenadas inicialmente obtidas no referencial fotográfico.

Os pesos não correlacionados utilizados para o processamento foram:

- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| a) Pontos fotogramétricos | = $P_x = P_y = P_z = 1,00$ |
| b) Centros de projeção    | = $P_x = P_y = P_z = 0,25$ |
| c) Pontos de apoio        | = $P_x = P_y = P_z = 1,00$ |

Os resultados estatísticos do processamento de cada bloco foram analisados e validados quanto à precisão e acurácia posicional.

### 3.5 RESTITUIÇÃO ESTEREOFOTOGRAMÉTRICA DIGITAL

A restituição estereofotogramétrica digital foi realizada em uma estação fotogramétrica digital da marca DiAP da ISM, no ambiente MicroStation SE.

De posse das quatro escalas de fotografias foram compiladas as restituições das feições cartográficas, prevendo o mapeamento na escala 1:2.000, para posterior análise de resultados, conforme seguem:

#### a) Sistema viário

- Via com meio fio;
- Via sem meio fio;
- Ponte;
- Viaduto e
- Caminho.

#### b) Quadras

- Muro;
- Cerca e
- Edificação.

## c) Energia

- Poste e
- Torre.

## d) Hidrografia

- Rio perene;
- Rio intermitente;
- Vala e
- Bueiro.

## e) Hipsografia

- Curva de nível mestra;
- Curva de nível intermediária;
- Ponto cotado e
- Ponto intervia.

Toda a fase de Restituição foi realizada por apenas um fotogrametrista e diferente daquele que executou as medidas fotogramétricas da Aerotrinagulação, com o objetivo de primeiro garantir que todas as feições cartográficas possuam o mesmo peso, tanto na fotointerpretação quanto no traçado. Em segundo, que em um processo normal de produção, vários fotogrametristas trabalham na compilação da restituição.

### 3.6 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL

Para a verificação da acurácia posicional dos conjuntos de restituição foi escolhida uma amostra de pontos bem definidos na restituições geradas, de fácil acesso em campo para a instalação de equipamentos GPS e, que não apresentassem obstáculos nos seus entornos, para evitar a oclusão de satélites durante o rastreo. O tamanho da amostra estabelecido foi de 21 pontos bem distribuídos dentro da área considerada. Estes pontos tiveram suas coordenadas determinadas em campo e também extraídas dos arquivos gráficos digitais. Através da comparação entre as coordenadas de campo e as

da carta, foram feitas as análises correspondentes para cada conjunto de escala da fotografia e respectiva resolução geométrica da imagem.

### 3.7 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Com as discrepâncias planimétricas e altimétricas das amostras de cada conjunto foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Cálculo das médias amostrais e respectivos desvios padrões separadamente para as coordenadas planimétricas E e N e para a altimétrica;
- b) Obtenção da estimativa do parâmetro  $t_x$  amostral, dado pela distribuição t-Student, para a avaliação de possível tendência de erro em cada um dos três eixos de coordenadas. O parâmetro calculado foi submetido ao teste de hipótese considerando-se uma probabilidade de 90%;
- c) Determinação da estimativa do parâmetro estabelecido pela distribuição de Qui-quadrado, para a validar a acuracidade da restituição, considerando-se uma probabilidade de 90%;
- d) Cálculo do erro médio quadrático das discrepâncias planimétricas e altimétrica, para a determinação da acurácia do produto final segundo o NSSDA;
- e) Comparação das discrepâncias planimétricas e altimétrica com os limites estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC para cartas classe “A”, escala 1:2.000 e
- f) Aprovação ou não do conjunto considerando-se os itens anteriores.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa serão apresentados na mesma formatação do capítulo anterior, respeitando o fluxo de operações ou a fases de um trabalho de mapeamento aerofotogramétrico.

### 4.1 COBERTURA AÉREA

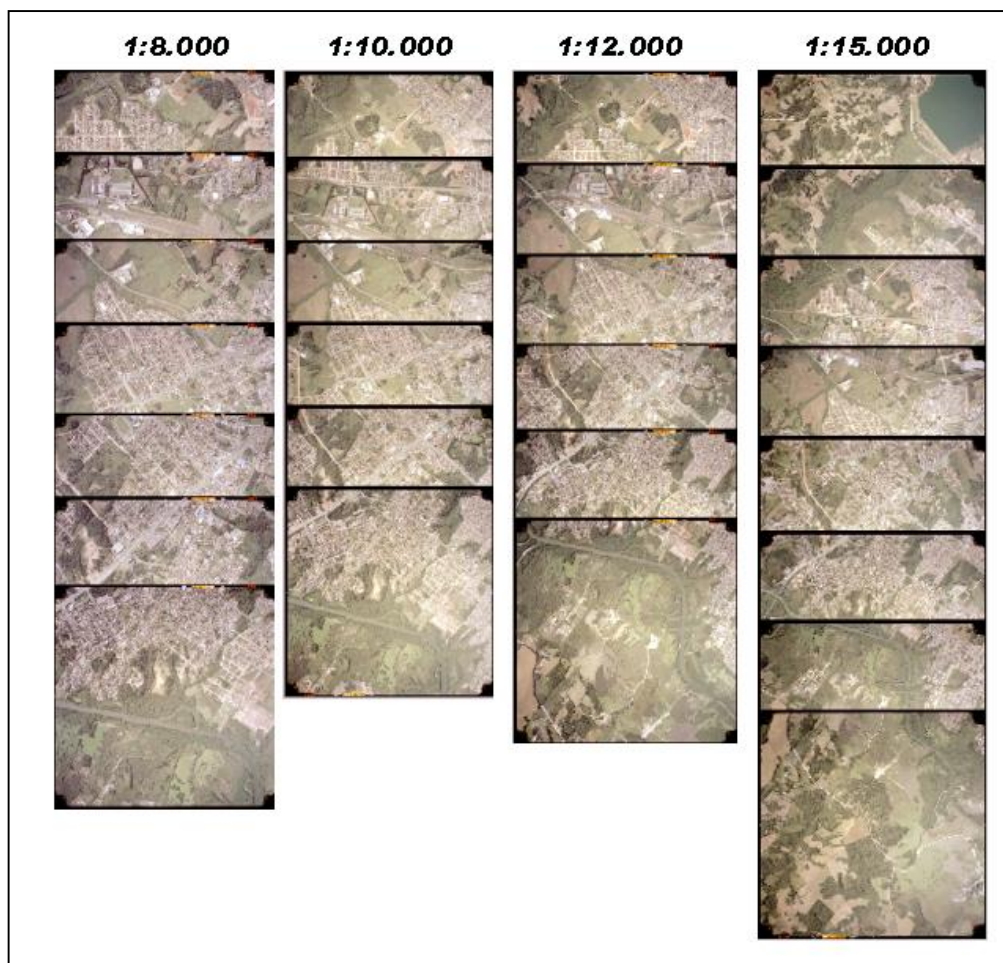
A cobertura área foi executada no dia 07 de outubro de 2004, pela empresa Aeroimagem Aerofotogrametria S.A. Foi empregada a câmera aérea Wild RC10 equipada com o sistema de lentes com distância focal igual a 151,875mm. O filme fotográfico foi o KODAK Aerocolor III 2444 (resolução de 100 lp/mm ou 10  $\mu\text{m/lp}$ ).

Foram executadas quatro faixas de vôo, uma para cada escala de fotografia aérea, planejadas conforme a seção 3.1. A figura 15 mostra os fotoíndices correspondentes e o quadro 4 as faixas executadas para cada escala e a quantidade de fotografias que cada uma contém.

**QUADRO 4 – INFORMAÇÕES SOBRE AS FAIXAS FOTOGRAFADAS.**

| <b>Escala da fotografia</b> | <b>Número de faixas</b> | <b>Direção de vôo</b> | <b>Número de fotos</b> | <b>Altura média de vôo (m)</b> | <b>Altitude média de vôo (m)</b> |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 8.000                       | 1                       | N-S                   | 7                      | 1.215                          | 2.165                            |
| 10.000                      | 1                       | N-S                   | 6                      | 1.518                          | 2.468                            |
| 12.000                      | 1                       | N-S                   | 6                      | 1.822                          | 2.772                            |
| 15.000                      | 1                       | N-S                   | 8                      | 2.278                          | 3.228                            |

**FIGURA 15 – FOTOÍNDICES DAS FOTOGRAFIAS OBTIDAS NAS DIFERENTES ESCALAS**



Fonte – Aeroimagem Aerofotogrametria S.A.

#### 4.1.1 Resolução do Sistema de Lentes da Câmera Aérea

A figura 16 mostra o certificado original do cone ou sistema de lentes UAG1037 da câmera aérea WILD RC-10 e as informações do poder resolutivo encontram-se na parte inferior do mesmo. O parâmetro AWAR é 44 lp/mm correspondendo a uma resolução de 22,7  $\mu\text{m/lp}$ . Os valores do poder resolutivo são informados em intervalos de dez graus a partir do eixo de vertical do sistema de lentes em direção às bordas do quadro focal.

Percebe-se que até o limite de 35° do ângulo central a resolução mantém-se acima de 44 lp/mm. Na região das bordas (ângulo



vertical acima de 35°) o poder resolutivo do sistema cai sensivelmente, não sendo indicado o seu uso para trabalhos de fotogrametria.

Em relação ao poder resolutivo do sistema de lentes, a câmera aérea WILD RC10 posiciona-se num patamar inferior ao da última geração de câmeras aéreas convencionais lançadas no mercado, como Wild RC30 e Zeiss RMK TOP. As câmeras recentes possuem um sistema de lentes com melhor resolução geométrica.

**FIGURA 16 – TRECHO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA AÉREA WILD RC 10**

WILD  
HERRBRUGG

CAMERA CALIBRATION

LENS : 15 UAG

NO.: 1037

CALIBRATION DATE: 79/03/09

FILTER ON CAMERA: ----

APERTURE F / 5.6

CALIBRATED FOCAL LENGTH

151.79 MM

DISTORTION (MICROMETERS)

POSITIVE VALUES DENOTE IMAGE DISPLACEMENT AWAY FROM CENTER.

| RADIUS<br>MM | 1  | SEMI-DIAGONAL<br>3 | 2  | 4   | MEAN |
|--------------|----|--------------------|----|-----|------|
| 0            | 0  | 0                  | 0  | 0   | 0    |
| 10           | 4  | 3                  | 5  | 1   | 3    |
| 20           | 5  | 5                  | 6  | 3   | 5    |
| 30           | 7  | 7                  | 7  | 5   | 6    |
| 40           | 8  | 7                  | 8  | 6   | 7    |
| 50           | 7  | 7                  | 7  | 6   | 7    |
| 60           | 6  | 7                  | 5  | 5   | 6    |
| 70           | 5  | 5                  | 4  | 4   | 5    |
| 80           | 1  | 2                  | 2  | 0   | 1    |
| 90           | -2 | -1                 | -2 | -5  | -3   |
| 100          | -5 | -5                 | -6 | -8  | -6   |
| 110          | -7 | -6                 | -7 | -9  | -7   |
| 120          | -7 | -6                 | -9 | -10 | -8   |
| 130          | -6 | -5                 | -8 | -6  | -6   |
| 140          | 3  | 2                  | -2 | 1   | 1    |
| 148          | 10 | 8                  | 6  | 9   | 9    |

RESOLVING POWER (LINE PAIRS PER MILLIMETER)

CONTRAST (LOG) 2.0

APERTURE: 5.6

FILM: AGFAPAN 25 PROFESSIONAL

| ANGLE<br>(DEG.) | 0  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| RAD.            | 53 | 53 | 52 | 51 | 50 | 38 | 52 | 49 | 23 | 8  |
| TANG.           | 53 | 53 | 51 | 49 | 53 | 55 | 45 | 40 | 39 | 21 |
| AWAR            | 44 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Poder  
Resolutivo

Parâmetro AWAR

} Poder  
Resolutivo

Parâmetro AWAR

Fonte – Certificado de calibração do fabricante Wild Heerbrugg, de 09 de março de 1979.

## 4.2 DIGITALIZAÇÃO DO FILME AÉREO

### 4.2.1 Comparação entre resoluções geométricas na fotografia escala 1:8.000

Utilizando-se uma das fotografias do recobrimento na escala 1:8.000, foram realizadas digitalizações do negativo com as seguintes resoluções geométricas:

- 8  $\mu\text{m}$  ou 6,4 cm no terreno;
- 16  $\mu\text{m}$  ou 12,8 cm no terreno;
- 24  $\mu\text{m}$  ou 19,2 cm no terreno e
- 32  $\mu\text{m}$  ou 25,6 cm no terreno.

No quadro 5 verifica-se que o tamanho do arquivo digital aumenta geometricamente em relação a dimensão do pixel.

**QUADRO 5 – INFORMAÇÕES SOBRE A RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM COLORIDA E O TAMANHO DO ARQUIVO DIGITAL**

| Resolução geométrica ( $\mu\text{m}$ ) | Número de linhas e<br>Número de colunas | Tamanho do<br>Arquivo (Mb) |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| <b>8</b>                               | 28.750                                  | 2.480                      |
| <b>16</b>                              | 14.375                                  | 620                        |
| <b>24</b>                              | 9.583                                   | 276                        |
| <b>32</b>                              | 7.187                                   | 155                        |

As comparações visuais entre as imagens com diferentes resoluções geométricas foram feitas considerando-se as feições cartográficas que melhor representem a dificuldade de visualização e interpretação das mesmas, num mapeamento urbano escala 1:2.000. Foram selecionados os seguintes tipos de feições:

- edificações;
- divisas de propriedades e
- postes

A figura 17 mostra o detalhe de um canto de muro e parte de uma edificação referente a imagem com resolução espacial de 32  $\mu\text{m}$ . A dificuldade na identificação dos detalhes inviabiliza o uso desta resolução geométrica na restituição escala 1:2.000.

**FIGURA 17 – IMAGEM COM RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DE 32 MICRÔMETROS**

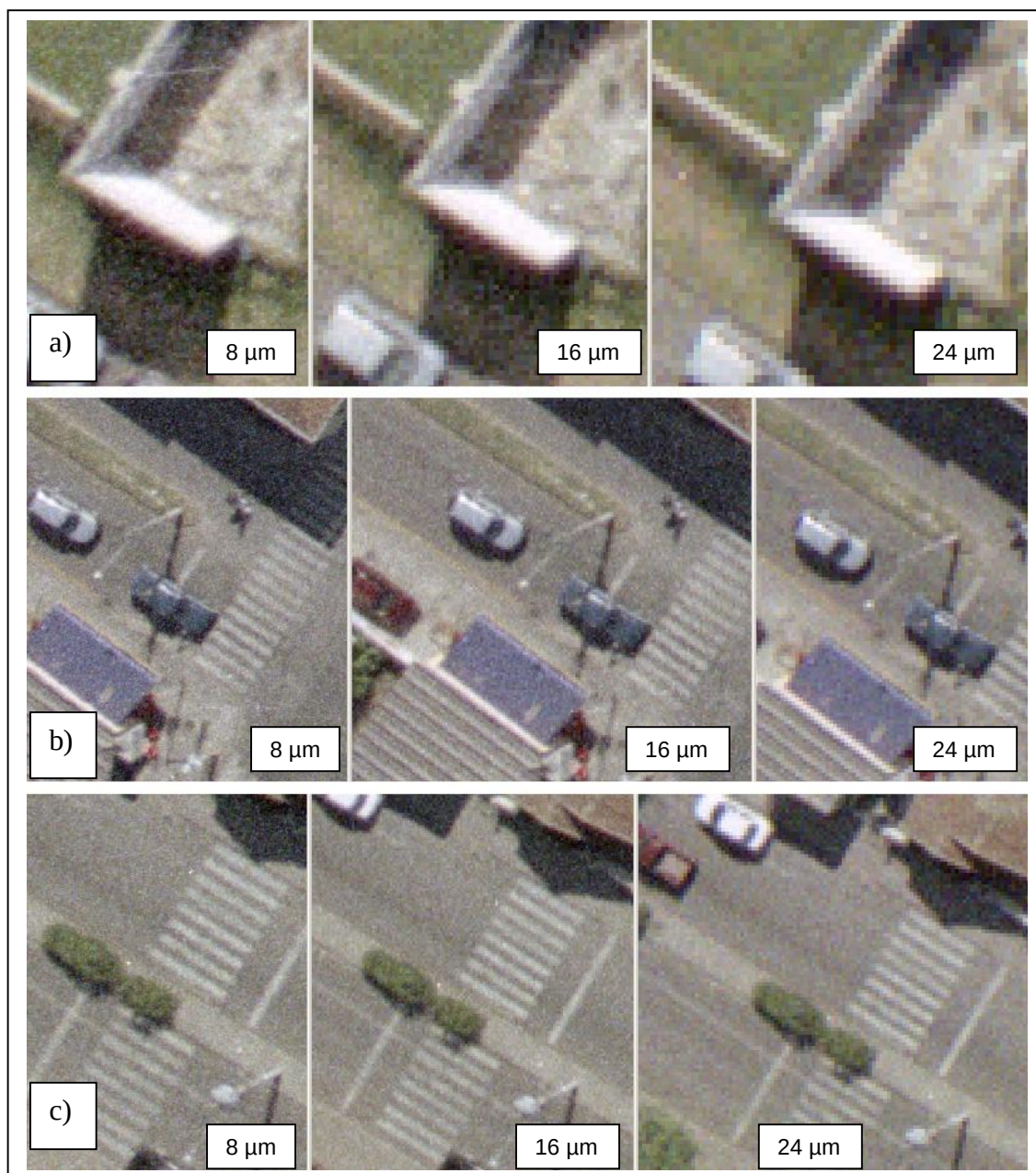


A figura 18a mostra o detalhe do mesmo canto de muro nas resoluções geométricas 8  $\mu\text{m}$ , 16  $\mu\text{m}$  e 24  $\mu\text{m}$ . Pode-se notar claramente que a resolução de 8  $\mu\text{m}$  (à esquerda) é a melhor, onde as linhas definidoras do muro são praticamente perfeitas. Nela, pode-se definir a largura do muro. Na resolução de 24  $\mu\text{m}$  (à direita) visualiza-se o canto de muro, porém percebe-se a granulação da imagem. A resolução de 16  $\mu\text{m}$  (imagem central) permite uma boa visualização do canto muro, com uma nitidez melhor que a de 24  $\mu\text{m}$ , porém com um tamanho de arquivo muito menor no armazenamento dos dados, quando comparado ao da imagem de 8  $\mu\text{m}$ . O mesmo na figura 18b, mostrando a imagem de um poste. A feição é visível nas três resoluções, sem dificuldade na interpretação da mesma. De forma semelhante na figura 18c, a imagem central com a resolução de 16  $\mu\text{m}$ , tem um ganho na nitidez comparada com a imagem da direita, de 24  $\mu\text{m}$ .

Considerando-se que a qualidade visual da imagem obtida com a resolução geométrica de 8  $\mu\text{m}$  não é significativa em relação à de 16  $\mu\text{m}$  e,

que a relação entre os tamanhos dos arquivos digitais é de quatro vezes, verificou-se que a resolução de 8  $\mu\text{m}$  não apresentou ganhos significativos sobre a resolução de 16  $\mu\text{m}$ .

**FIGURA 18 – IMAGENS DE UMA FOTOGRAFIA AÉREA ESCALA 1:8.000, EM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS**



Em um processo automatizado, pode-se obter diferenças entre as resoluções geométricas de 8  $\mu\text{m}$  e 16  $\mu\text{m}$ , porém, os arquivos digitais das



imagens formados pela primeira resolução, são grandes demais para os processamentos fotogramétricos atuais. Outro fator que inviabiliza até o momento o uso da resolução de geométrica de  $8\text{ }\mu\text{m}$ , é que os processos fotogramétricos automatizados ainda não estão fazendo parte na etapa de restituição fotogramétrica para o mapeamento urbano escala 1:2.000.

#### 4.2.2 Comparação entre resoluções geométricas e entre fotografias nas escalas 1:8.000 e 1:10.000.

A comparação entre imagens de uma mesma área, entre escalas fotográficas diferentes conduz a resultados interessantes. A figura 19 mostra o mesmo detalhe do canto de um muro e de uma edificação, nas escalas 1:8.000, 1:10.000, 1:12.000 e 1:15.000.

**FIGURA 19 – IMAGENS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS ESCALAS 1:8.000 E 1:10.000, EM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS**



As imagens da esquerda referem-se à fotografia escala 1:8.000 e resolução de 24  $\mu\text{m}$ . As demais imagens mostram o mesmo detalhe nas diferentes escalas e respectivas resoluções geométricas.

Na comparação visual entre as escalas 1:8.000 e 1:10.000, com resoluções geométricas de 24  $\mu\text{m}$  e 16  $\mu\text{m}$ , não existe dificuldade na identificação do canto de muro. O mesmo acontece para a edificação na parte superior da imagem. São indícios visuais da viabilidade da substituição da fotografia escala 1:8.000 com resolução geométrica 24  $\mu\text{m}$  pela 1:10.000 com resolução de 16  $\mu\text{m}$ .

Na parte inferior da figura 19, percebe-se claramente que o canto de muro e o da edificação, não apresentam a mesma nitidez para a escala 1:15.000 com resolução de 16  $\mu\text{m}$  ou 24  $\mu\text{m}$  no terreno. A imagem referente a escala 1:12.000 apresenta uma qualidade visual intermediária, entre a escala 1:10.000 e a 1:15.000.

#### 4.2.3 Definição da dimensão do pixel

A dimensão do pixel deve ser definida de modo que todos os elementos existentes na imagem do negativo sejam capturados pelo processo de digitalização. Com valor do parâmetro AWAR do sistema de lentes fornecido pelo fabricante da câmera aérea (44 lp/mm), a dimensão do pixel pode ser calculada através da equação (9), página 25:

Resolução do sistema:

$$RES = \frac{1\text{mm}}{44lp} \times \frac{1000\mu\text{m}}{\text{mm}} = 22,7\mu\text{m}$$

Dimensão do pixel:

$$\frac{RES}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{RES}{2}$$

$$\frac{22,7}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{22,7}{2}$$

$$8,0\mu m \leq Pixel \leq 11,3\mu m$$

$$Pixel \text{ médio} = 9,6 \mu m = 10 \mu m$$

Com a resolução geométrica de 10  $\mu m$  garante-se que todos elementos ou feições contidas no negativo do filme aéreo serão capturados pelo processo de digitalização da fotografia.

O scanner fotogramétrico WEHRLI RM-5 utilizado no processo de digitalização, possui uma resolução geométrica mínima de 8  $\mu m$ , ou seja, 20% abaixo do valor do pixel médio calculado. Pôde-se definir o novo intervalo para a definição da resolução geométrica, o qual ficou entre 10  $\mu m$  e 16  $\mu m$ .

Se for utilizada a resolução de 10  $\mu m$  deverá ser feita uma reamostragem da imagem originalmente obtida com a resolução de 8  $\mu m$  e o arquivo digital terá 1,59 Gb. Arquivos digitais com este tamanho são difícil gerenciamento pelos computadores atuais, mesmo como o uso de placas gráficas especiais para acelerar o processo de visualização das imagens no monitor de vídeo (o sistema tem que manipular em tempo real duas imagens de 1,59 Gb cada uma, para garantir a visão estereoscópica do modelo fotogramétrico). Com a utilização da resolução de 16  $\mu m$  o arquivo da imagem terá 620 Mb, dimensão que permitirá o fácil manuseio e gerenciamento no processamento fotogramétrico.

Embora a resolução de 16  $\mu m$  seja superior ao valor médio calculado de 10  $\mu m$ , a análise visual realizada na seção 4.2.2 mostrou que a resolução geométrica de 16  $\mu m$  mantém a qualidade visual da imagem muito próxima a da gerada com resolução de 8  $\mu m$ . São valores que estão dentro ou no limiar da resolução do conjunto do sistema de lentes e filme fotográfico. Assim, foram adotadas as resoluções geométricas de 16  $\mu m$  e 24  $\mu m$ .

No quadro 6, são apresentadas as escalas fotográficas e resoluções geométricas envolvidas no processo. A menor dimensão utilizada é a de 16 cm no terreno e a maior de 36 cm.

**QUADRO 6 – ESCALAS FOTOGRÁFICAS E RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS**

| Escala da foto | Resolução geométrica ( $\mu\text{m}$ ) | Dimensão do pixel no terreno (m) |
|----------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 1:8.000        | 24                                     | 0,192                            |
| 1:10.000       | 16                                     | 0,160                            |
|                | 24                                     | 0,240                            |
| 1:12.000       | 16                                     | 0,192                            |
|                | 24                                     | 0,288                            |
| 1:15.000       | 16                                     | 0,240                            |
|                | 24                                     | 0,360                            |

Percebe-se que a dimensão do pixel para escala a 1:10.000 com resolução de 16  $\mu\text{m}$  é melhor que a da escala 1:8.000 resolução de 24  $\mu\text{m}$  e assim sucessivamente, conforme o avanço nas linhas da primeira e segunda colunas do quadro 6. Neste caso, não foi considerada a influência da altura média vôo específica para cada escala de fotografia, relacionada com a respectiva base fotográfica, que influencia na qualidade posicional altimétrica dos resultados.

Considerando-se apenas a acuracidade planimétrica, na coluna dimensão do pixel do quadro 6, os valores se repetem para as diferentes combinações entre a escala da fotografia e a resolução geométrica da imagem. Por exemplo: para a escala 1:12.000 com resolução de 16  $\mu\text{m}$  e 1:8.000 com resolução de 24  $\mu\text{m}$ , a dimensão do pixel no terreno é a mesma. Um indicativo de se obter os mesmos resultados nos trabalhos de compilação estereoscópica em planimetria, variando a escala da fotografia e a resolução geométrica da imagem.

Não pode ser esquecido o fato de que a fotografia de menor escala, devido a maior altura de vôo, não possui a mesma qualidade na definição das feições do terreno do que uma fotografia de escala maior. Dependendo do tipo de feição, um muro por exemplo, a sua definição fica prejudicada nas escalas menores: Por exemplo, a escala 1:15.000, quando comparada com a 1:8.000.



#### 4.3 APOIO TERRESTRE

A finalidade da fase do Apoio Terrestre foi determinar as coordenadas planialtimétricas dos pontos do apoio suplementar destinado ao processamento da aerotriangulação. O Apoio Terrestre foi executado nos dias 13, 14 e 15 de abril de 2005, com a utilização de equipamentos rastreadores GPS, frequência L1/L2 da marca Leica, modelo SR-9500.

Como base foram utilizados os vértices do IBGE PARA e 93.646(UNICENP), sendo o primeiro pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do IBGE e o segundo à Rede Manfra de Monitoramento Contínuo, referenciados ao Sistema Geodésico de Referência oficial do Brasil, SIRGAS 2000. Destes vértices foram determinadas as coordenadas planialtimétricas do marco VT-02, situado na laje de cobertura da Prefeitura Municipal de Araucária.

A partir do marco VT-02 foram rastreados 24 pontos fotointerpretáveis nas fotografias de diferentes escalas e a metodologia de rastreio foi o estático rápido com um tempo mínimo de rastreio de quinze minutos e intervalo de dez segundos.

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos, foram rastreados três marcos da Rede de Referência do Município de Araucária, os quais têm altitudes ortométricas obtidas por nivelamento geométrico, projeto Paraná Urbano, de 1999, referenciados ao Datum Vertical de Imbituba-SC. Devido a área de pesquisa abranger uma área restrita de 23 km<sup>2</sup> foi adotada uma superfície geoidal no valor de 3,29 m.

#### 4.4 AEROTRIANGULAÇÃO DIGITAL

Conforme o quadro 7, foram processados sete blocos de fotografias formados segundo a escala da fotografia e a resolução geométrica da imagem. Cada bloco recebeu um nome simplificado composto pela escala e pela resolução. O número mínimo de modelos por bloco foi quatro e o máximo seis.

A Aerotriangulação Digital foi realizada com base em medidas estereoscópicas dos pontos fotogramétricos, pontos de apoio e de verificação, no ambiente digital, utilizando-se uma estação fotogramétrica digital da marca ISM, com o sistema DiAP/AIM.

Como produto das observações fotogramétricas foram gerados arquivos de coordenadas planas, no referencial fotográfico das fotografias que compõem os blocos.

#### QUADRO 7 – DEFINIÇÃO DOS BLOCOS DE AEROTRIANGULAÇÃO

| Escala da foto | Resolução geométrica ( $\mu\text{m}$ ) | Nome do bloco | Número de modelos | Número de pontos de apoio HV |
|----------------|----------------------------------------|---------------|-------------------|------------------------------|
| 1:8.000        | 24                                     | 8-24          | 6                 | 6                            |
| 1:10.000       | 16                                     | 10-16         | 5                 | 6                            |
|                | 24                                     | 10-24         | 5                 | 6                            |
| 1:12.000       | 16                                     | 12-16         | 4                 | 4                            |
|                | 24                                     | 12-24         | 4                 | 4                            |
| 1:15.000       | 16                                     | 15-16         | 6                 | 6                            |
|                | 24                                     | 15-24         | 6                 | 6                            |

Durante a fase das observações estereoscópicas, o fotogrametrista não teve problemas na realização das medidas dos pontos fotogramétricos. A identificação dos pontos do apoio suplementar foi feita sem dificuldades devido os croquis de localização dos mesmos não apresentarem dúvidas quanto às suas identificações.

Com relação ao tempo gasto para execução das medidas fotogramétricas, a apropriação do mesmo foi considerada tendo como parâmetro o número de modelos a ser aerotriangulado e não quanto à escala da fotografia ou resolução geométrica. O número de pontos fotogramétricos dentro de um modelo não varia em relação à escala da fotografia, muito menos a distribuição dos pontos de apoio dentro do bloco aerotriangulado.

Resumindo, o ganho no tempo na fase de medidas da aerotriangulação deve ser considerado apenas quanto ao número de modelos dentro de um bloco de fotografias. Considerando-se uma mesma área no terreno, quanto menor for a escala da fotografia, menor será o número de modelos que formam o bloco.

Para o processamento dos blocos de aerotriangulação foi utilizado o ajustamento simultâneo planialtimétrico por modelos independentes.

O tempo para o processamento dos blocos não variou de um bloco para outro, uma vez que o tempo computacional independe da escala da fotografia e da resolução geométrica da imagem. Por exemplo: Um bloco de fotografias formado por 150 modelos, o tempo de CPU é de apenas cinco segundos.

O que mais onera o tempo de processamento da aerotriangulação é o planejamento e a formação do bloco, detecção de erros grosseiros, verificação do apoio de campo e a análise dos resultados. Para todos estes itens o tempo foi praticamente igual para os sete blocos, pois todos apresentaram as mesmas características, como já descrito anteriormente.

#### 4.4.1 Análise da Precisão dos Blocos Aerotriangulados

Tendo como base todos os padrões obtidos de forma empírica ao longo da Aerotriangulação Analógica e Analítica, foram considerados as seguintes tolerâncias máximas para a validação das precisões dos blocos aerotriangulados, baseados nos valores dos erros médios quadráticos dos resíduos obtidos no processamento da aerotriangulação:

- Pontos fotogramétricos:  $\leq 20 \mu\text{m}$  na escala da fotografia;
- Centros de projeção:  $\leq 40 \mu\text{m}$  na escala da fotografia;
- Pontos de apoio:  $\leq 20 \mu\text{m}$  na escala da fotografia e
- Geral do bloco:  $\leq 20 \mu\text{m}$  na escala da fotografia.

No quadro 8 são apresentados os erros médios quadráticos (EMQ) para os resíduos das coordenadas planimétricas e altimétricas, os quais refletem a qualidade das observações fotogramétricas de todo o conjunto de pontos que formaram os blocos de aerotriangulação.

Comparando-se os valores obtidos (quarta e quinta colunas) com a tolerância máxima esperada (terceira coluna), calculada com base nos

valores propostos acima, chegou-se à conclusão que a precisão das observações fotogramétricas foi atendida.

**QUADRO 8 – ERRO MÉDIO QUADRÁTICO (E.M.Q.) GERAL DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DOS BLOCOS AEROTRIANGULADOS**

| ESCALA | RESOLUÇÃO<br>GEOMÉTRICA<br>( $\mu\text{m}$ ) | TOLERÂNCIA<br>$20 \mu\text{m} * \text{Escala da foto}$<br>(m) | E. M. Q. DOS RESÍDUOS |             |
|--------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
|        |                                              |                                                               | HORIZONTAL(m)         | VERTICAL(m) |
| 8.000  | 24                                           | 0,16                                                          | 0,073                 | 0,112       |
| 10.000 | 16                                           | 0,20                                                          | 0,083                 | 0,146       |
| 10.000 | 24                                           | 0,20                                                          | 0,078                 | 0,140       |
| 12.000 | 16                                           | 0,24                                                          | 0,071                 | 0,172       |
| 12.000 | 24                                           | 0,24                                                          | 0,081                 | 0,198       |
| 15.000 | 16                                           | 0,30                                                          | 0,138                 | 0,218       |
| 15.000 | 24                                           | 0,30                                                          | 0,141                 | 0,258       |

Os quadros 9 a 15 mostram os erros médios quadráticos dos resíduos das observações para os diferentes blocos aerotriangulados.

**QUADRO 9 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 8-24**

| Bloco 8-24             |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,046 | 0,025 | 0,058 |
| Centros de projeção    | 0,130 | 0,185 | 0,100 |
| Pontos de apoio        | 0,067 | 0,049 | 0,044 |

**QUADRO 10 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 10-16**

| Bloco 10-16            |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,041 | 0,045 | 0,088 |
| Centros de projeção    | 0,181 | 0,150 | 0,060 |
| Pontos de apoio        | 0,042 | 0,076 | 0,049 |

Comparando-se os valores dos quadros 9 e 10, verificou-se que as diferenças são menores que 3 cm terreno, ou 3,75  $\mu\text{m}$  na fotografia escala 1:8.000. Considerando-se a escala final 1:2.000, as diferenças encontradas em torno de 1/5 do pixel de 16  $\mu\text{m}$ , não afetarão a qualidade posicional do mapeamento.

**QUADRO 11 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 10-24**

| <b>Bloco 10-24</b>     |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,046 | 0,034 | 0,079 |
| Centros de projeção    | 0,191 | 0,189 | 0,048 |
| Pontos de apoio        | 0,053 | 0,064 | 0,049 |

O quadro 11 mostra os valores dos erros médios quadráticos para a escala 1:10.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$ . Comparados com os valores do bloco 8-24, praticamente todos os valores ficaram acima.

O quadro 12 mostra os valores dos erros médios quadráticos para a escala 1:12.000 e resolução geométrica de 16  $\mu\text{m}$ . Comparados com os valores do bloco 8-24, os resultados ficaram muito próximos na planimetria e maiores na altimetria.

**QUADRO 12 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 12-16**

| <b>Bloco 12-16</b>     |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,046 | 0,022 | 0,078 |
| Centros de projeção    | 0,256 | 0,239 | 0,068 |
| Pontos de apoio        | 0,037 | 0,036 | 0,110 |

O quadro 13 mostra os valores dos erros médios quadráticos para a escala 1:12.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$ .

**QUADRO 13 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 12-24**

| <b>Bloco 12-24</b>     |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,054 | 0,018 | 0,096 |
| Centros de projeção    | 0,205 | 0,299 | 0,024 |
| Pontos de apoio        | 0,064 | 0,037 | 0,138 |

O quadro 14 mostra os valores dos erros médios quadráticos para a escala 1:15.000 e resolução geométrica de 16  $\mu\text{m}$ . São resultados excelentes considerando a escala da fotografia.

**QUADRO 14 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 15-16**

| <b>Bloco 15-16</b>     |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,084 | 0,050 | 0,120 |
| Centros de projeção    | 0,281 | 0,296 | 0,083 |
| Pontos de apoio        | 0,114 | 0,128 | 0,100 |

Comparando-se os valores dos quadros 9 e 14 verifica-se que as diferenças são menores que 10 cm terreno, ou 12,5  $\mu\text{m}$  na fotografia escala 1:8.000.

O quadro 15 mostra os valores dos erros médios quadráticos para a escala 1:15.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$ . São resultados considerados bons para esta escala de fotografia, uma vez que a tolerância, conforme o quadro 8, é de 0,30m.

**QUADRO 15 – ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS DOS RESÍDUOS DOS PONTOS DO BLOCO 15-24**

| <b>Bloco 15-24</b>     |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Descrição              | X (m) | Y(m)  | Z(m)  |
| Pontos fotogramétricos | 0,088 | 0,057 | 0,164 |
| Centros de projeção    | 0,387 | 0,278 | 0,085 |
| Pontos de apoio        | 0,166 | 0,143 | 0,148 |

De acordo com os quadros apresentados, os resultados obtidos no bloco 10-16 são similares aos do bloco 8-24, assim como entre os blocos 12-16 e 10-24 e 15-16 e 12-24. São valores que vão de encontro à validação da hipótese principal deste trabalho.

Para a comparação entre as discrepâncias planimétricas e altimétricas calculadas pelo processamento da aerotriangulação e, as respectivas tolerâncias possíveis dos pontos do apoio suplementar no referencial geodésico, foram utilizadas as equações (10), definidas na seção 2.11. As tolerâncias adotadas nesta pesquisa foram de 20  $\mu\text{m}$  na escala da fotografia para a planimetria e de 30  $\mu\text{m}$  na escala da fotografia para a altimetria. A seguir, as equações (10) adaptadas para estes limites:

$$TXY = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2)} < 20 \mu\text{m} \text{ na escala da fotografia}$$

$$TZ = \Delta z < 30 \mu\text{m} \text{ na escala da fotografia}$$

Onde,

- $\Delta x$ ,  $\Delta y$  são as discrepâncias planimétricas dos pontos de apoio;
- $\Delta z$  é a discrepância altimétrica dos pontos de apoio;
- TXY é a discrepância planimétrica resultante individual para cada ponto de apoio e
- TZ é a discrepância altimétrica para cada ponto de apoio.

O quadro 16 mostra as tolerâncias planimétricas e altimétricas calculadas para as quatro escalas de estudo, as quais serviram de limites para os blocos aerotriangulados.

**QUADRO 16 – TOLERÂNCIAS PLANIMÉTRICA E ALTIMÉTRICA PARA OS RESÍDUOS PONTOS DE APOIO**

| ESCALA DA FOTOGRAFIA | TOLERÂNCIAS PARA OS PONTOS DE APOIO |                     |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
|                      | HORIZONTAL(m)<br>(TXY)              | VERTICAL(m)<br>(TZ) |
| 1:8.000              | 0,16                                | 0,24                |
| 1:10.000             | 0,20                                | 0,30                |
| 1:12.000             | 0,24                                | 0,36                |
| 1:15.000             | 0,30                                | 0,45                |

Conforme é mostrado no quadro 17, os pontos de apoio utilizados para os diversos blocos apresentaram resíduos abaixo das tolerâncias para cada escala de fotografia. A coluna ResEN(m) mostra os valores calculados utilizando os resíduos planimétricos de cada ponto e a coluna H(m) os respectivos valores altimétricos, conforme as equações (10).



**QUADRO 17 – DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICA E ALTIMÉTRICA PONTOS DE APOIO**

| PONTO       | Resíduos |        |        | ResEN(m) | Tolerância (m)   |               |
|-------------|----------|--------|--------|----------|------------------|---------------|
|             | E(m)     | N(m)   | H(m)   |          | HORIZONTAL (TXY) | VERTICAL (TZ) |
| BLOCO 08-24 |          |        |        |          |                  |               |
| 81          | -0,028   | 0,003  | 0,024  | 0,03     | 0,160            | 0,240         |
| 82          | 0,077    | -0,026 | -0,080 | 0,08     |                  |               |
| 83          | -0,068   | 0,028  | 0,033  | 0,07     |                  |               |
| 84          | 0,090    | 0,016  | 0,051  | 0,09     |                  |               |
| 85          | -0,088   | 0,093  | 0,031  | 0,13     |                  |               |
| 86          | 0,054    | -0,068 | -0,013 | 0,09     |                  |               |
| 87          | -0,037   | -0,045 | -0,046 | 0,06     |                  |               |
| BLOCO 10-16 |          |        |        |          |                  |               |
| 81          | -0,062   | 0,106  | -0,016 | 0,12     | 0,200            | 0,300         |
| 82          | 0,026    | -0,065 | -0,046 | 0,07     |                  |               |
| 83          | -0,002   | 0,073  | 0,044  | 0,07     |                  |               |
| 84          | 0,057    | -0,046 | -0,009 | 0,07     |                  |               |
| 85          | 0,008    | -0,068 | 0,093  | 0,07     |                  |               |
| 86          | 0,031    | 0,081  | -0,006 | 0,09     |                  |               |
| 87          | -0,059   | -0,082 | -0,060 | 0,10     |                  |               |
| BLOCO 10-24 |          |        |        |          |                  |               |
| 81          | -0,021   | 0,105  | 0,013  | 0,11     | 0,200            | 0,300         |
| 82          | 0,034    | -0,051 | -0,071 | 0,06     |                  |               |
| 83          | 0,055    | -0,019 | 0,016  | 0,06     |                  |               |
| 84          | 0,049    | -0,062 | 0,045  | 0,08     |                  |               |
| 85          | -0,110   | 0,050  | 0,069  | 0,12     |                  |               |
| 86          | -0,025   | 0,053  | -0,002 | 0,06     |                  |               |
| 87          | 0,180    | -0,077 | -0,070 | 0,20     |                  |               |
| BLOCO 12-16 |          |        |        |          |                  |               |
| 81          | 0,013    | -0,030 | -0,055 | 0,03     | 0,240            | 0,360         |
| 82          | 0,020    | 0,013  | -0,029 | 0,02     |                  |               |
| 83          | -0,305   | 0,158  | 0,406  | 0,34     |                  |               |
| 84          | -0,006   | -0,029 | 0,500  | 0,03     |                  |               |
| 85          | -0,074   | 0,064  | 0,206  | 0,10     |                  |               |
| 86          | 0,027    | -0,033 | -0,001 | 0,04     |                  |               |
| 87          | 0,014    | -0,013 | -0,120 | 0,02     |                  |               |
| BLOCO 12-24 |          |        |        |          |                  |               |
| 81          | 0,048    | -0,023 | -0,061 | 0,05     | 0,24             | 0,360         |
| 82          | -0,019   | 0,017  | -0,043 | 0,03     |                  |               |
| 83          | -0,116   | 0,179  | 0,048  | 0,21     |                  |               |
| 84          | 0,121    | -0,180 | 0,346  | 0,22     |                  |               |
| 85          | -0,090   | 0,052  | 0,256  | 0,10     |                  |               |
| 86          | 0,092    | 0,011  | 0,004  | 0,09     |                  |               |
| 87          | -0,032   | -0,058 | -0,155 | 0,07     |                  |               |

| PONTO       | Resíduos |        |        | ResEN(m) | Tolerância (m)   |               |
|-------------|----------|--------|--------|----------|------------------|---------------|
|             | E(m)     | N(m)   | H(m)   |          | HORIZONTAL (TXY) | VERTICAL (TZ) |
| BLOCO 15-16 |          |        |        |          |                  |               |
| 24          | 0,203    | -0,017 | -0,118 | 0,20     | 0,300            | 0,450         |
| 26          | 0,045    | -0,164 | 0,176  | 0,17     |                  |               |
| 73          | 0,048    | -0,121 | -0,057 | 0,13     |                  |               |
| 75          | -0,147   | 0,146  | 0,035  | 0,21     |                  |               |
| 85          | -0,069   | -0,030 | 0,052  | 0,08     |                  |               |
| 86          | -0,080   | 0,186  | -0,088 | 0,20     |                  |               |
| BLOCO 15-24 |          |        |        |          |                  |               |
| 24          | 0,161    | 0,220  | -0,118 | 0,27     | 0,300            | 0,450         |
| 26          | 0,171    | -0,035 | 0,176  | 0,17     |                  |               |
| 73          | 0,257    | -0,062 | -0,057 | 0,26     |                  |               |
| 75          | -0,020   | 0,115  | 0,035  | 0,12     |                  |               |
| 85          | -0,211   | -0,002 | 0,052  | 0,21     |                  |               |
| 86          | -0,017   | -0,236 | -0,088 | 0,24     |                  |               |

#### 4.4.2 Análise da Acurácia dos Blocos Aerotriangulados

Para a avaliação da qualidade posicional do processamento da aerotriangulação foram definidos dois pontos de verificação. São pontos que possuem as suas coordenadas planialtimétricas determinadas por levantamento de campo (por rastreamento de satélites, método estático rápido), e pela aerotriangulação.

Nos trabalhos de campo, foi tomado o devido cuidado para que a identificação dos pontos de verificação fosse inequívoca, para evitar dúvidas durante a fase de leitura da aerotriangulação (o ponto PV01 é um canto em ângulo reto de uma calçada com um canteiro, o ponto PV02 um canto de muro bem definido na fotografia aérea)

As tolerâncias planimétrica e altimétrica dos pontos de verificação foram definidas conforme LIGTH(1993, p. 63-64) , considerando-se que o erro de leitura estereoscópica de um ponto fotogramétrico fosse igual ao valor de 1,41 vezes a dimensão do pixel. As equações (11) e (12), adaptadas do mesmo autor forneceram as tolerâncias planimétricas e altimétricas utilizadas nesta pesquisa:

$$Tp = \frac{H}{f} \times el \quad (11)$$

$$Ta = \frac{H}{f} \times \frac{H}{B} \times el \quad (12)$$

onde,

Tp = Tolerância planimétrica, em metros;

Ta = Tolerância altimétrica, em metros;

H = altura média de voo, em metros;

F = distância focal do sistema de lentes, em milímetros;

B = Base fotográfica no terreno, em metros e

el = erro de leitura igual a 1,41 vezes a dimensão do pixel, em milímetros.

O quadro 18 mostra, segundo as equações (11) e (12), as tolerâncias calculadas para as discrepâncias planimétrica e altimétrica utilizadas, considerando as escalas fotográficas e respectivas resoluções geométricas.

**QUADRO 18 – TOLERÂNCIAS PLANIMÉTRICA E ALTIMÉTRICA PARA AS DISCREPÂNCIAS DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO**

| ESCALA DA FOTOGRAFIA | RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA (μm) | TOLERÂNCIAS PARA OS PONTOS DE VERIFICAÇÃO |             |
|----------------------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------|
|                      |                           | HORIZONTAL(m)                             | VERTICAL(m) |
| 1:8.000              | 24                        | 0,271                                     | 0,298       |
| 1:10.000             | 16                        | 0,226                                     | 0,248       |
|                      | 24                        | 0,338                                     | 0,372       |
| 1:12.000             | 16                        | 0,271                                     | 0,298       |
|                      | 24                        | 0,406                                     | 0,447       |
| 1:15.000             | 16                        | 0,338                                     | 0,372       |
|                      | 24                        | 0,508                                     | 0,559       |

No quadro 19 encontram-se as diferenças entre as coordenadas dos pontos de verificação obtidas pelo levantamento de campo e as obtidas pelo processo de aerotriangulação. Os resultados obtidos são excelentes, conforme podem ser observados nas colunas sete(ResEN) e oito(Dh), em comparação com as tolerâncias esperadas para cada escala da fotografia (duas últimas colunas). Nas duas últimas linhas encontram-se as coordenadas de referência ou campo.

Os resultados encontrados para os dois pontos de verificação são ótimos para as escalas 1:8.000, 1:10.000 e 1:12:000 em ambas as resoluções geométricas. As diferenças planimétricas e altimétricas estão bem abaixo das tolerâncias admitidas.

**QUADRO 19 – DISCREPÂNCIAS DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO NOS DIFERENTES BLOCOS AEROTRIANGULADOS**

| PONTO   | COORDENADAS OBTIDAS (m) |               |         | DIFERENÇA (m) |        | ResEN<br>(m) | Dh<br>(m)     | TOLERÂNCIA(m) |       |
|---------|-------------------------|---------------|---------|---------------|--------|--------------|---------------|---------------|-------|
|         | E                       | N             | h       | dE            | dN     |              |               | EN            | H     |
| 1-08-24 | 660.225,203             | 7.169.441,707 | 909,974 | -0,053        | 0,048  | <b>0,072</b> | <b>0,079</b>  | 0,271         | 0,298 |
| 2-08-24 | 660.125,686             | 7.171.056,321 | 891,356 | 0,046         | 0,133  | <b>0,141</b> | <b>0,204</b>  |               |       |
| 1-10-16 | 660.225,278             | 7.169.441,630 | 910,070 | 0,022         | -0,029 | <b>0,036</b> | <b>0,175</b>  | 0,226         | 0,248 |
| 2-10-16 | 660.125,593             | 7.171.056,326 | 891,131 | -0,047        | 0,138  | <b>0,146</b> | <b>-0,021</b> |               |       |
| 1-10-24 | 660.225,100             | 7.169.441,587 | 910,041 | -0,156        | -0,072 | <b>0,172</b> | <b>0,146</b>  | 0,338         | 0,372 |
| 2-10-24 | 660.125,606             | 7.171.056,507 | 891,123 | -0,034        | 0,319  | <b>0,321</b> | <b>-0,029</b> |               |       |
| 1-12-16 | 660.225,349             | 7.169.441,889 | 909,967 | 0,093         | 0,230  | <b>0,248</b> | <b>0,072</b>  | 0,271         | 0,298 |
| 2-12-16 | 660.125,639             | 7.171.056,253 | 891,397 | -0,001        | 0,065  | <b>0,065</b> | <b>0,245</b>  |               |       |
| 1-12-24 | 660.225,105             | 7.169.441,675 | 910,240 | -0,151        | 0,016  | <b>0,152</b> | <b>0,345</b>  | 0,406         | 0,447 |
| 2-12-24 | 660.125,812             | 7.171.056,081 | 891,405 | 0,172         | -0,107 | <b>0,202</b> | <b>0,253</b>  |               |       |
| 1-15-16 | 660.225,325             | 7.169.441,733 | 909,798 | 0,069         | 0,074  | <b>0,101</b> | <b>-0,097</b> | 0,338         | 0,372 |
| 2-15-16 | 660.125,555             | 7.171.056,754 | 891,124 | -0,085        | 0,566  | <b>0,573</b> | <b>-0,028</b> |               |       |
| 1-15-24 | 660.225,170             | 7.169.441,513 | 909,859 | -0,086        | -0,146 | <b>0,169</b> | <b>-0,036</b> | 0,508         | 0,559 |
| 2-15-24 | 660.125,958             | 7.171.056,205 | 891,269 | 0,318         | 0,017  | <b>0,318</b> | <b>0,117</b>  |               |       |
| PV-01   | 660.225,256             | 7.169.441,659 | 909,895 |               |        |              |               |               |       |
| PV-02   | 660.125,640             | 7.171.056,188 | 891,152 |               |        |              |               |               |       |

O bloco 2-15-16 apresentou o ponto de verificação PV02 com uma discrepância planimétrica no valor de 0,573 m, portanto, acima da tolerância estabelecida de 0,338 m. Por ser o ponto de verificação PV02 um canto de muro, com uma largura média de 20 cm, a qualidade posicional das leituras fotogramétricas foi melhor nas escalas maiores, onde a dimensão do

pixel variou entre 13 cm e 24 cm, ou seja, menores ou iguais à largura da feição. Nas escalas menores a dimensão do pixel variou entre 24 cm e 48 cm, superiores à largura da feição, proporcionando diferenças mais acentuadas nos resíduos, em relação às escalas maiores. Portanto, os pontos de verificação, bem como os que formam o apoio suplementar, devem ser compatíveis com a escala da fotografia.

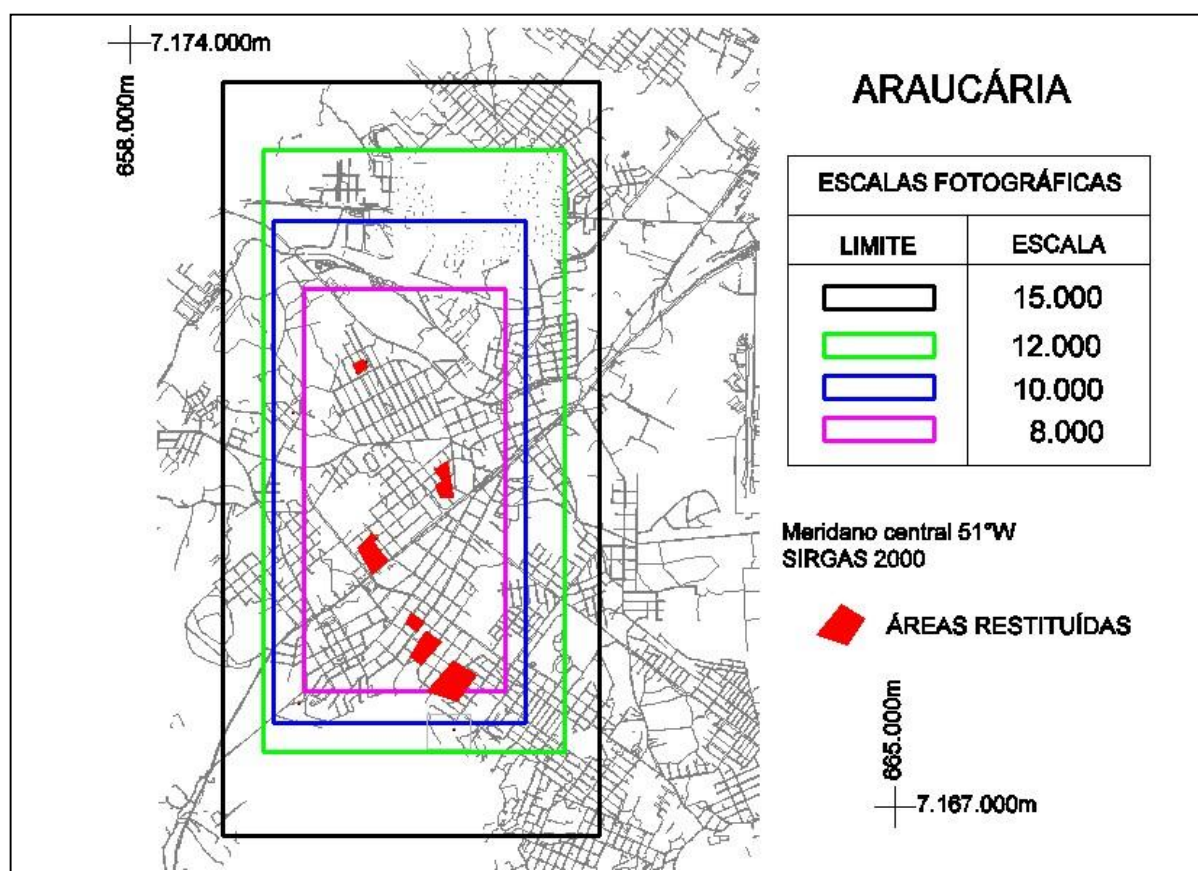
Conforme os valores obtidos na seção 4.4.1 todos os blocos de aerotriangulação foram considerados aprovados, portanto, aptos a gerarem os parâmetros da orientação exterior das fotografias necessárias à fase de restituição fotogramétrica.

#### 4.5 RESTITUIÇÃO ESTEREOFOTOGRAMÉTRICA DIGITAL

Para a realização da restituição estereofotogramétrica digital, foram consideradas as quatro escalas de fotografia do presente trabalho e as respectivas resoluções geométricas de 16  $\mu\text{m}$  e 24  $\mu\text{m}$ .

Foram restituídas quatro quadras da área urbana de Araucária e dois trechos isolados para os testes de verificação. A localização destes locais dentro da área de estudo é mostrada na figura 20. A restituição de uma das quadras é a apresentada na figura 21, a qual mostra as feições cartográficas obtidas na escala fotográfica 1:8.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$ .

**FIGURA 20 – LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS RESTITUÍDAS EM RELAÇÃO ÀS ESCALAS DE FOTOGRAFIAS**



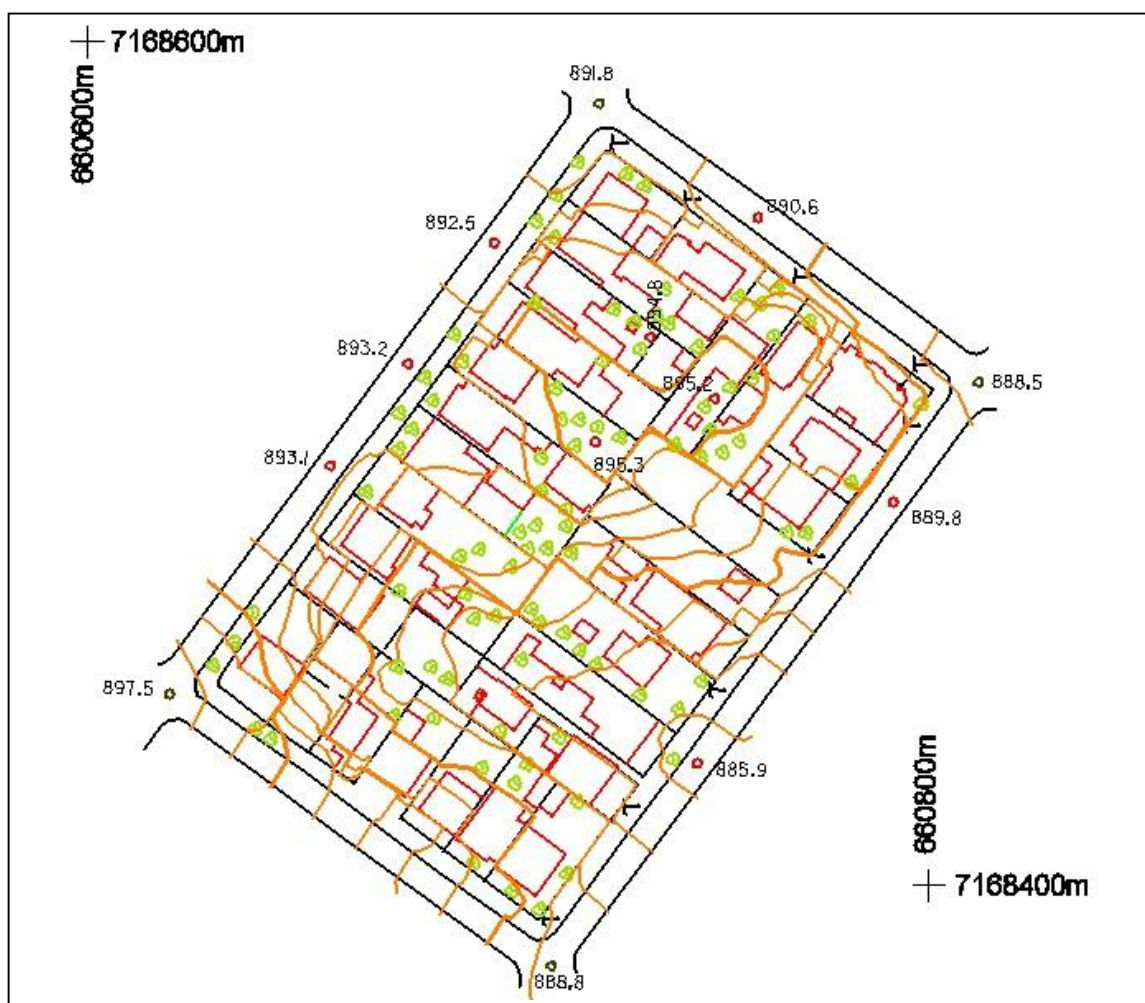
#### 4.6 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL

A verificação da qualidade posicional da restituição fotogramétrica foi executada tendo como base as seguintes metodologias:

- Padrão de Exatidão Cartográfica;
- National Standard for Spatial Data Accuracy – NSSDA

Foi utilizado um conjunto amostral de pontos de verificação, muito bem definidos tanto nos arquivos gráficos gerados pela restituição fotogramétrica digital como em campo. No total foram determinados 21 pontos planialtimétricos e 6 altimétricos.

**FIGURA 21 - RESTITUIÇÃO DIGITAL DE UMA QUADRA DA ÁREA DE ESTUDO**



Os pontos de verificação tiveram suas coordenadas planimétricas e altimétricas extraídas dos arquivos gráficos digitais para a respectiva comparação com as coordenadas determinadas em campo.

No levantamento de campo, os pontos foram rastreados a partir do marco VT-02, com a utilização de equipamentos rastreadores GPS, frequência L1/L2 da marca Leica, modelo SR-9500. A metodologia de rastreamento foi o estático rápido com um tempo mínimo de rastreamento de 15 minutos e intervalo de 10 segundos.

As coordenadas planialtimétricas dos pontos de verificação que compõem a amostra são apresentadas no quadro 20.

**QUADRO 20 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO.**

| PONTO | E(m)        | N(m)          | h(m)    |
|-------|-------------|---------------|---------|
| 1     | 660.771,479 | 7.168.539,240 | 890,582 |
| 2     | 660.742,928 | 7.168.560,482 | 891,441 |
| 3     | 660.699,674 | 7.168.542,965 | 893,120 |
| 4     | 660.647,669 | 7.168.471,708 | 894,446 |
| 04V   | 660.641,556 | 7.168.475,748 | 894,270 |
| 5     | 660.694,260 | 7.168.400,778 | 890,997 |
| 6     | 660.732,195 | 7.168.425,603 | 886,513 |
| 06V   | 660.740,076 | 7.168.419,632 | 886,469 |
| 7     | 660.764,594 | 7.168.468,386 | 888,739 |
| 07V   | 660.797,017 | 7.168.494,027 | 890,001 |
| 8     | 660.201,875 | 7.169.256,853 | 899,416 |
| 9     | 660.231,416 | 7.169.220,682 | 897,235 |
| 09V   | 660.227,888 | 7.169.217,896 | 897,004 |
| 10    | 660.301,170 | 7.169.228,513 | 894,512 |
| 11    | 660.298,882 | 7.169.293,549 | 896,544 |
| 12    | 660.255,941 | 7.169.301,467 | 901,005 |
| 13    | 660.235,136 | 7.169.305,022 | 901,463 |
| 13V   | 660.238,769 | 7.169.300,435 | 901,164 |
| 14    | 660.267,300 | 7.169.331,467 | 901,402 |
| 15    | 660.233,305 | 7.169.372,481 | 908,163 |
| 15V   | 660.217,574 | 7.169.399,211 | 909,177 |
| 16    | 660.129,416 | 7.169.344,446 | 908,341 |
| 17    | 660.166,846 | 7.169.299,285 | 903,949 |
| 3041  | 661.959,952 | 7.167.694,461 | 873,452 |
| 3042  | 660.898,655 | 7.170.002,255 | 909,448 |
| PV-01 | 660.225,256 | 7.169.441,659 | 909,895 |
| PV-02 | 660.125,640 | 7.171.056,188 | 891,172 |

Os pontos PV01 e PV02, que foram utilizados para a verificação de qualidade posicional da aerotriangulação, fizeram parte da amostra de pontos. Os dois pontos não participaram do ajustamento dos blocos aerotriangulados e devido a restituição ter sido executada por um fotogrametrista diferente da fase de aerotriangulação, não existe a possibilidade de tendência por ocasião da restituição das feições cartográficas.

Compõe a amostra quatro pontos determinados no projeto de mapeamento da cidade de Araucária - Paraná Urbano, no ano de 1998. Na época, as coordenadas planimétricas foram determinadas no sistema de referência geodésico SAD-69, ajustamento de 1996. Para a sua utilização nesta pesquisa, foram transformadas para o SIRGAS-2000.



Os resultados obtidos foram analisados primeiramente dentro de cada escala compilada e suas respectivas resoluções geométricas. Foram avaliados e validados conforme as diferenças encontradas entre as coordenadas obtidas pela compilação cartográfica e as de campo.

São apresentados a seguir os valores obtidos quanto à acurácia posicional e à classificação quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC. Fazem parte da verificação testes estatísticos de confiança T-Student (nível de probabilidade de 90%) para verificar tendências para os resíduos nas direções das coordenadas E, N e H e de Qui-Quadrado (nível de probabilidade de 90%) para verificar a precisão da acurácia posicional nas direções das coordenadas E, N e H.

#### 4.6.1 Comparação das discrepâncias planimétricas e altimétricas dos conjuntos

Para as análises de todos os conjuntos de escalas fotográficas e resoluções geométricas foi considerada a seguinte situação:

- Compilação de uma carta na escala 1:2.000, utilizando o processo fotogramétrico, com equidistância vertical entre as curvas de nível de 1m.

Para a determinação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica segundo o NSSDA (1998, p. 11), foram empregadas as seguintes fórmulas:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N) \quad (13)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v) \quad (14)$$

Onde,

- $\text{Acurácia}_H$  é a acurácia planimétrica;
- $\text{Acurácia}_v$  é a acurácia altimétrica;
- $\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N$  são os erros médios quadráticos planimétricos nos eixos E e N respectivamente e
- $\text{EMQ}_v$  é o erro médio quadrático altimétrico.

## 4.6.1.1 Conjunto 1

O conjunto 1 é formado pelas fotografias na escala 1:8.000 e resolução geométrica da imagem 24  $\mu$ m ou 19,2cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (quadro 21)

**QUADRO 21 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 1 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |               | Diferenças    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)          | DE(m)         | DN(m)         |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,670                | 7.168.539,220 | -0,192        | 0,020         |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.743,040                | 7.168.560,400 | -0,112        | 0,082         |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.700,080                | 7.168.542,830 | -0,406        | 0,135         |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,920                | 7.168.471,720 | -0,251        | -0,012        |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,500                | 7.168.400,840 | -0,240        | -0,062        |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,260                | 7.168.425,720 | -0,065        | -0,117        |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,590                | 7.168.468,530 | 0,004         | -0,144        |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.201,960                | 7.169.256,920 | -0,085        | -0,067        |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,410                | 7.169.220,930 | 0,006         | -0,248        |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.301,100                | 7.169.228,550 | 0,070         | -0,037        |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,670                | 7.169.293,690 | 0,212         | -0,141        |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.256,120                | 7.169.301,360 | -0,179        | 0,107         |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.235,090                | 7.169.305,430 | 0,046         | -0,408        |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,220                | 7.169.331,590 | 0,080         | -0,123        |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.233,290                | 7.169.372,450 | 0,015         | 0,031         |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,470                | 7.169.344,650 | -0,054        | -0,204        |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.166,900                | 7.169.299,270 | -0,054        | 0,015         |
| 18                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.960,330                | 7.167.694,580 | -0,378        | -0,119        |
| 19                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,660                | 7.170.002,540 | -0,005        | -0,285        |
| 20                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,050                | 7.169.441,240 | 0,206         | 0,419         |
| 21                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,390                | 7.171.056,350 | 0,250         | -0,162        |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |               | <b>-0,054</b> | <b>-0,063</b> |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |               | <b>0,177</b>  | <b>0,173</b>  |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |               | <b>1,359</b>  | <b>1,620</b>  |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |               | <b>1,725</b>  | <b>1,725</b>  |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |               | <b>2,520</b>  | <b>2,404</b>  |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |               | <b>31,410</b> | <b>31,410</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |               | <b>0,170</b>  | <b>0,169</b>  |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |               | <b>0,120</b>  |               |

Conforme os valores acima, não existe tendência nas direções E e N, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o Quadro 21, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,170 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,169 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,170 + 0,169)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,414 \text{ m}$$

Apenas o ponto PV-01 ou 4,7% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia planimétrica calculada. O restante da amostra ou 95,3% dos pontos apresentaram discrepâncias abaixo da acurácia calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto obteve-se os limites:

$$\text{PEC} = 0,5\text{mm} \times 2.000 = 1000\text{mm} = 1,00\text{m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3\text{mm} \times 2.000 = 600\text{mm} = 0,60\text{m}$$

Do total dos 21 pontos testados chegou-se à situação:

- Diferenças inferiores a 0,30m = 17 ou 80,9%
- Diferenças entre 0,30m e 0,40m = 1 ou 4,7%
- Diferenças entre 0,40m e 0,50m = 3 ou 14,2%
- Diferenças entre 0,50m e 1,00m = 0
- Diferenças acima de 1,00m = 0

Em função das tolerâncias e dos valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0 m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,177 m e 0,173 m para as coordenadas E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas planimétricas e para a precisão da acuracidade posicional, foram aceitos;
- Considerando-se os três itens anteriores, a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:8.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$  ou 19,2 cm no terreno, está aprovada e considerada como pertencente ao grupo Carta - classe "A", conforme o item 2.10.1;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias planimétricas foi de 0,120 m;
- A acurácia posicional planimétrica da cartografia segundo o NSSDA, foi de 0,414 m e 95,3% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 26 (quadro 22)

**QUADRO 22 - PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 1 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença    |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|--------------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)        |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 890,90        | -0,318       |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 891,80        | -0,359       |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 892,90        | 0,220        |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 894,10        | 0,346        |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 894,20        | 0,070        |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 890,60        | 0,397        |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,30        | 0,213        |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,30        | 0,169        |
| 9                                                                    | 7     | 888,739 | 889,00        | -0,261       |
| 10                                                                   | 07V   | 890,001 | 889,80        | 0,201        |
| 11                                                                   | 8     | 899,416 | 899,20        | 0,216        |
| 12                                                                   | 9     | 897,235 | 897,60        | -0,365       |
| 13                                                                   | 09V   | 897,004 | 896,90        | 0,104        |
| 14                                                                   | 10    | 894,512 | 894,50        | 0,012        |
| 15                                                                   | 11    | 896,544 | 896,40        | 0,144        |
| 16                                                                   | 12    | 901,005 | 900,70        | 0,304        |
| 17                                                                   | 13    | 901,463 | 901,10        | 0,363        |
| 18                                                                   | 13V   | 901,164 | 900,90        | 0,264        |
| 19                                                                   | 14    | 901,402 | 901,10        | 0,302        |
| 20                                                                   | 15V   | 909,177 | 908,90        | 0,277        |
| 21                                                                   | 16    | 908,341 | 908,10        | 0,241        |
| 22                                                                   | 17    | 903,949 | 903,80        | 0,149        |
| 23                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,20        | 0,252        |
| 24                                                                   | 3042  | 909,448 | 909,80        | -0,352       |
| 25                                                                   | V-01  | 909,895 | 909,90        | -0,005       |
| 26                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,60        | -0,448       |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | <b>0,082</b> |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | <b>0,261</b> |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | <b>1,571</b> |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | <b>1,708</b> |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | <b>3,138</b> |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | <b>37,65</b> |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | <b>0,256</b> |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | <b>0,256</b> |

Conforme os valores acima, não existe tendência na direção vertical, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

a) Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o quadro 22, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,256 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,256$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,501 \text{ m}$$

Nenhum ponto apresentou discrepâncias acima da acurácia altimétrica calculada.

b) Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC:

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 26 pontos testados tem-se a seguinte situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 16 ou 61,6%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 9 ou 34,6%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 1 ou 3,8%
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 0
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepância altimétrica superior a 0,50 m, limite do PEC;

- O desvio-padrão da amostra no valor de 0,261 m foi menor que o Erro Padrão esperado;

- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas altimétricas e para a precisão da acuracidade posicional vertical, foram aceitos;

- Considerando-se os três itens anteriores, a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:8.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 19,2cm no terreno, está aprovada e pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1.

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,256 m;

- Conforme o NSSDA, a precisão da acurácia posicional vertical da cartografia gerada foi de 0,501 m e 100% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## 4.6.1.2 Conjunto 2

O conjunto 2 é formado por fotografias na escala 1:10.000, e resolução geométrica da imagem 16  $\mu$ m ou 16cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (Quadro 23)

**QUADRO 23 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 2 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |              | Diferenças    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)         | DE(m)         | DN(m)         |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,53                 | 7.168.539,17 | -0,052        | 0,070         |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,95                 | 7.168.560,26 | -0,022        | 0,222         |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.699,89                 | 7.168.542,90 | -0,216        | 0,065         |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,88                 | 7.168.471,72 | -0,211        | -0,012        |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,35                 | 7.168.400,90 | -0,090        | -0,122        |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,12                 | 7.168.425,67 | 0,075         | -0,067        |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,60                 | 7.168.468,47 | -0,006        | -0,084        |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.202,08                 | 7.169.256,81 | -0,205        | 0,043         |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,53                 | 7.169.220,77 | -0,114        | -0,088        |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.301,25                 | 7.169.228,47 | -0,080        | 0,043         |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,78                 | 7.169.293,40 | 0,102         | 0,149         |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.256,17                 | 7.169.301,33 | -0,229        | 0,137         |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.235,23                 | 7.169.305,07 | -0,094        | -0,048        |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,09                 | 7.169.331,40 | 0,210         | 0,067         |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.233,26                 | 7.169.372,32 | 0,045         | 0,161         |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,67                 | 7.169.344,00 | -0,254        | 0,446         |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.167,00                 | 7.169.299,10 | -0,154        | 0,185         |
| 18                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.959,76                 | 7.167.694,67 | 0,193         | -0,210        |
| 19                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,59                 | 7.170.002,19 | 0,065         | 0,065         |
| 20                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,23                 | 7.169.441,63 | 0,027         | 0,029         |
| 21                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,57                 | 7.171.056,15 | 0,070         | 0,038         |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |              | <b>-0,045</b> | <b>0,052</b>  |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |              | <b>0,138</b>  | <b>0,141</b>  |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |              | <b>1,451</b>  | <b>1,647</b>  |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |              | <b>1,725</b>  | <b>1,725</b>  |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |              | <b>1,524</b>  | <b>1,588</b>  |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |              | <b>31,410</b> | <b>31,410</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |              | <b>0,135</b>  | <b>0,138</b>  |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |              | <b>0,102</b>  |               |



Conforme os valores acima, não existe tendência nas direções E e N, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o quadro 23, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,135 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,138 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,135 + 0,138)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,334 \text{ m}$$

Nenhum ponto da amostra apresentou discrepâncias acima da acurácia planimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados tem-se a situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 20 ou 95,3%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 0
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 1 ou 4,7%
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 0
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,138 m e 0,141 m para as coordenadas E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas planimétricas e para a precisão da acuracidade posicional, foram aceitos;
- Considerando-se os três itens anteriores a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:10.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu$ m ou 16,0 cm no terreno, está aprovada e pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,102 m;
- A acurácia posicional planimétrica da cartografia conforme o NSSDA, foi de 0,334 m e 100% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 25 (quadro 24)

**QUADRO 24 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 2 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença     |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|---------------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)         |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 890,80        | -0,218        |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 891,20        | 0,241         |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 893,00        | 0,120         |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 894,20        | 0,246         |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 894,20        | 0,070         |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 891,05        | -0,053        |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,80        | -0,287        |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,55        | -0,081        |
| 9                                                                    | 07V   | 890,001 | 889,80        | 0,201         |
| 10                                                                   | 8     | 899,416 | 899,40        | 0,016         |
| 11                                                                   | 9     | 897,235 | 897,20        | 0,035         |
| 12                                                                   | 09V   | 897,004 | 897,20        | -0,196        |
| 13                                                                   | 10    | 894,512 | 894,80        | -0,288        |
| 14                                                                   | 12    | 901,005 | 901,20        | -0,196        |
| 15                                                                   | 13    | 901,463 | 901,50        | -0,037        |
| 16                                                                   | 13V   | 901,164 | 901,30        | -0,136        |
| 17                                                                   | 14    | 901,402 | 901,60        | -0,198        |
| 18                                                                   | 15    | 908,163 | 908,00        | 0,163         |
| 19                                                                   | 15V   | 909,177 | 909,30        | -0,123        |
| 20                                                                   | 16    | 908,341 | 908,30        | 0,041         |
| 21                                                                   | 17    | 903,949 | 904,05        | -0,101        |
| 22                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,64        | -0,183        |
| 23                                                                   | 3042  | 909,448 | 909,80        | -0,352        |
| 24                                                                   | V-01  | 909,895 | 910,10        | -0,205        |
| 25                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,10        | 0,052         |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | <b>-0,059</b> |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | <b>0,172</b>  |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | <b>1,678</b>  |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | <b>1,711</b>  |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | <b>1,325</b>  |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | <b>36,42</b>  |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | <b>0,168</b>  |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | <b>0,168</b>  |

Conforme os valores acima, não existe tendência na direção vertical, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o quadro 24, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,168 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,168$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,329 \text{ m}$$

Apenas o ponto 3042 ou 4,0% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia altimétrica calculada. O restante dos pontos ou 96% da amostra ficou abaixo do valor calculado.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados obteve-se a situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 24 ou 96,0%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 1 ou 4,0%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 0
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 0
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepância altimétrica superior a 0,50 m, limite do PEC;
- O desvio-padrão da amostra no valor de 0,172 m foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas altimétricas e para a precisão da acuracidade posicional vertical, foram aceitos;
- Considerando-se os três itens anteriores a cartografia altimétrica, gerada a partir de fotografias na escala 1:10.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu$ m ou 16 cm no terreno, está aprovada e pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,168 m e
- A acurácia posicional vertical da cartografia conforme o NSSDA, foi de 0,329 m e 96% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## 4.6.1.3 Conjunto 3

O conjunto 3 é formado por fotografias na escala 1:12.000, e resolução geométrica da imagem 16  $\mu$ m ou 19,2cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (quadro 25)

**QUADRO 25 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 3 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |              | Diferenças   |              |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)         | DE(m)        | DN(m)        |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,56                 | 7.168.539,17 | -0,082       | 0,070        |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,94                 | 7.168.560,15 | -0,012       | 0,332        |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.700,07                 | 7.168.542,64 | -0,396       | 0,325        |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,75                 | 7.168.471,19 | -0,081       | 0,518        |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,37                 | 7.168.400,70 | -0,110       | 0,078        |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,16                 | 7.168.425,63 | 0,035        | -0,027       |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,68                 | 7.168.468,28 | -0,086       | 0,106        |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.201,95                 | 7.169.256,79 | -0,075       | 0,063        |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,37                 | 7.169.220,76 | 0,046        | -0,078       |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.300,91                 | 7.169.228,52 | 0,260        | -0,007       |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,72                 | 7.169.293,33 | 0,162        | 0,219        |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.255,96                 | 7.169.301,32 | -0,019       | 0,147        |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.234,91                 | 7.169.305,04 | 0,226        | -0,018       |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,03                 | 7.169.331,36 | 0,270        | 0,107        |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.233,16                 | 7.169.372,18 | 0,145        | 0,301        |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,31                 | 7.169.344,54 | 0,106        | -0,094       |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.166,86                 | 7.169.299,16 | -0,014       | 0,125        |
| 18                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.960,27                 | 7.167.694,81 | -0,318       | -0,349       |
| 19                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,56                 | 7.170.002,54 | 0,095        | -0,285       |
| 20                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,30                 | 7.169.441,54 | -0,044       | 0,119        |
| 21                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,67                 | 7.171.056,16 | -0,030       | 0,028        |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |              | <b>0,004</b> | <b>0,080</b> |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |              | <b>0,168</b> | <b>0,200</b> |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |              | <b>0,099</b> | <b>1,793</b> |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |              | <b>1,725</b> | <b>1,725</b> |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |              | <b>2,250</b> | <b>3,190</b> |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |              | <b>31,41</b> | <b>31,41</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |              | <b>0,164</b> | <b>0,195</b> |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |              | <b>0,144</b> |              |

Conforme os valores acima, não existe tendência na direção E, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para a direção E.}$$

Para a direção N existe uma pequena tendência conforme pode ser observado no quadro 25, cujo parâmetro calculado  $t_x$  da amostra ficou acima do valor tabelado.

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o Quadro 26, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,164 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,195 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,164 + 0,195)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,439 \text{ m}$$

Nenhum ponto da amostra apresentou discrepâncias acima da acurácia planimétrica calculada.

### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados obteve-se:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 17 ou 73,9%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 4 ou 17,4%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 2 ou 8,7%
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 0
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0 m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,168 m e 0,200 m para as coordenadas E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- O teste de hipótese apontou uma leve tendência de erro para as coordenadas N. O teste de precisão da acuracidade foi aceito;
- Considerando-se os três itens anteriores, a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:12.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu\text{m}$  ou 19,2 cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe “A”, conforme o item 2.10.1;
- Devido a tendência no eixo N, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas N, seria a adoção da média das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas deste eixo;



- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,144 m;

- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional planimétrica da cartografia gerada foi de 0,439 m e 100% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 27 (quadro 26)

**QUADRO 26 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 3 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença     |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|---------------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)         |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 890,90        | -0,318        |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 891,40        | 0,041         |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 893,10        | 0,020         |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 894,50        | -0,054        |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 894,60        | -0,330        |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 891,10        | -0,103        |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,80        | -0,287        |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,60        | -0,131        |
| 9                                                                    | 7     | 888,739 | 889,00        | -0,261        |
| 10                                                                   | 07V   | 890,001 | 890,20        | -0,200        |
| 11                                                                   | 8     | 899,416 | 899,20        | 0,216         |
| 12                                                                   | 9     | 897,235 | 897,30        | -0,065        |
| 13                                                                   | 09V   | 897,004 | 897,10        | -0,096        |
| 14                                                                   | 10    | 894,512 | 894,80        | -0,288        |
| 15                                                                   | 11    | 896,544 | 896,80        | -0,256        |
| 16                                                                   | 12    | 901,005 | 901,10        | -0,096        |
| 17                                                                   | 13    | 901,463 | 901,60        | -0,137        |
| 18                                                                   | 13V   | 901,164 | 901,20        | -0,036        |
| 19                                                                   | 14    | 901,402 | 901,40        | 0,002         |
| 20                                                                   | 15    | 908,163 | 907,80        | 0,363         |
| 21                                                                   | 15V   | 909,177 | 909,40        | -0,223        |
| 22                                                                   | 16    | 908,341 | 908,30        | 0,041         |
| 23                                                                   | 17    | 903,949 | 904,30        | -0,351        |
| 24                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,20        | 0,252         |
| 25                                                                   | 3042  | 909,448 | 910,10        | -0,652        |
| 26                                                                   | V-01  | 909,895 | 909,95        | -0,055        |
| 27                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,50        | -0,348        |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | <b>-0,124</b> |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | <b>0,212</b>  |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | <b>2,979</b>  |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | <b>1,706</b>  |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | <b>2,113</b>  |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | <b>38,89</b>  |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | <b>0,208</b>  |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | <b>0,208</b>  |

Conforme o quadro acima, existe tendência na direção vertical, pois a amostra não atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia vertical posicional segundo o NSSDA

Conforme o quadro 26, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,208 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,208$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,408 \text{ m}$$

Apenas o ponto 3042 ou 3,7% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia altimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 27 pontos testados obteve-se:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 23 ou 79,4%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 5 ou 17,2%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 0
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 1 ou 3,4%
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- O ponto 3042 representando 3,7% da amostra apresentou discrepância altimétrica acima da tolerância de 0,50 m. Os demais pontos ou 96,6% da amostra ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão da amostra de 0,212 m foi menor que o Erro Padrão esperado;

- O teste de hipótese apontou tendência de erro na direção altimétrica. O teste de precisão da acuracidade foi aceito;

- Devido a tendência vertical no teste t-Student, a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:12.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu$ m ou 19,2 cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;

- Devido a tendência no eixo vertical, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas altimétricas, seria a adoção da média das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas deste eixo;

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,208 m;

- A acurácia posicional vertical da cartografia é de 0,408 m conforme o NSSDA, foi 96,3% dos pontos apresentaram discrepâncias abaixo deste limite;

- As discrepâncias altimétricas são similares às obtidas para os conjuntos 1 e 2, porém o teste de tendência T-Student indicou tendência nesta direção. A altura de vôo para a escala 1:12.000 (ver Quadro 5) é 607m ou 50%

maior que a da escala 1:8.000, tornando a sensibilidade altimétrica menor para a restituição de curvas de nível com eqüidistância vertical de 1 m.

## 4.6.1.4 Conjunto 4

O conjunto 4 é formado por fotografias na escala 1:15.000, e resolução geométrica da imagem 16 µm ou 24cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (quadro 27)

**QUADRO 27 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 4 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |               | Diferenças    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)          | DE(m)         | DN(m)         |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,650                | 7.168.539,030 | -0,172        | 0,210         |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,860                | 7.168.560,090 | 0,068         | 0,392         |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.700,050                | 7.168.542,420 | -0,376        | 0,545         |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,850                | 7.168.471,440 | -0,181        | 0,268         |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,620                | 7.168.400,650 | -0,360        | 0,128         |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,220                | 7.168.425,210 | -0,025        | 0,393         |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,770                | 7.168.468,160 | -0,176        | 0,226         |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.201,940                | 7.169.256,760 | -0,065        | 0,093         |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,530                | 7.169.220,870 | -0,114        | -0,188        |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.301,260                | 7.169.228,670 | -0,090        | -0,157        |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,550                | 7.169.293,640 | 0,332         | -0,091        |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.256,140                | 7.169.300,970 | -0,199        | 0,497         |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.235,210                | 7.169.305,010 | -0,074        | 0,012         |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,060                | 7.169.331,170 | 0,240         | 0,297         |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.232,970                | 7.169.372,250 | 0,335         | 0,231         |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,660                | 7.169.344,320 | -0,244        | 0,126         |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.166,790                | 7.169.299,240 | 0,056         | 0,045         |
| 18                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.960,46                 | 7.167.693,82  | -0,508        | 0,641         |
| 19                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,69                 | 7.170.002,38  | -0,035        | -0,125        |
| 20                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,210                | 7.169.441,750 | 0,046         | -0,091        |
| 21                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,500                | 7.171.056,020 | 0,140         | 0,168         |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |               | <b>-0,067</b> | <b>0,172</b>  |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |               | <b>0,220</b>  | <b>0,236</b>  |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |               | <b>1,356</b>  | <b>3,270</b>  |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |               | <b>1,725</b>  | <b>1,725</b>  |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |               | <b>3,882</b>  | <b>4,448</b>  |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |               | <b>31,410</b> | <b>31,410</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |               | <b>0,215</b>  | <b>0,230</b>  |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |               | <b>0,187</b>  |               |

Conforme os valores acima, existe tendência ou influências sistemáticas na direção N, pois a amostra não atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1,\alpha} \text{ para a direção N.}$$

Não existe tendência para a direção E.

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1,\alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o quadro 27, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,215 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,230 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,215 + 0,230)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,544 \text{ m}$$

Os pontos 3 e 3041 ou 9,5% da amostra apresentaram discrepâncias acima da acurácia planimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados obteve-se a situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 15 ou 65,4%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 4 ou 17,4%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 1 ou 4,3%
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 2 ou 8,6%
- Diferenças acima de 1,00 m = 1 ou 4,3%

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- O ponto (3033) ou 4,7% da amostra apresentou discrepância horizontal acima do limite de 1,0 m. Os demais pontos ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão de 0,220 m e 0,236 m para as coordenadas dos eixos E e N respectivamente foram menores que o Erro Padrão esperado;

- Devido a tendência de erros na direção do eixo de coordenadas N apontada no teste t-Student, a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:15.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu$ m ou 24cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A" ;

- Devido a tendência no eixo N, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas N, seria a adoção da média das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas deste eixo;

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,187 m;

- A acurácia posicional planimétrica da cartografia gerada foi de 0,544 m conforme o NSSDA e 90,5% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.



## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 27 (quadro 28)

**QUADRO 28 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 4 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença     |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|---------------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)         |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 891,60        | -1,019        |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 891,90        | -0,459        |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 892,90        | 0,220         |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 893,90        | 0,546         |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 893,90        | 0,370         |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 890,95        | 0,047         |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,80        | -0,287        |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,40        | 0,069         |
| 9                                                                    | 7     | 888,739 | 889,10        | -0,361        |
| 10                                                                   | 07V   | 890,001 | 889,70        | 0,300         |
| 11                                                                   | 8     | 899,416 | 899,30        | 0,116         |
| 12                                                                   | 9     | 897,235 | 898,00        | -0,765        |
| 13                                                                   | 09V   | 897,004 | 896,95        | 0,054         |
| 14                                                                   | 10    | 894,512 | 894,80        | -0,288        |
| 15                                                                   | 11    | 896,544 | 896,70        | -0,156        |
| 16                                                                   | 12    | 901,005 | 901,10        | -0,096        |
| 17                                                                   | 13    | 901,463 | 901,50        | -0,037        |
| 18                                                                   | 13V   | 901,164 | 901,60        | -0,436        |
| 19                                                                   | 14    | 901,402 | 901,30        | 0,102         |
| 20                                                                   | 15    | 908,163 | 907,90        | 0,263         |
| 21                                                                   | 15V   | 909,177 | 909,05        | 0,127         |
| 22                                                                   | 16    | 908,341 | 908,10        | 0,241         |
| 23                                                                   | 17    | 903,949 | 904,10        | -0,151        |
| 24                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,50        | -0,048        |
| 25                                                                   | 3042  | 909,448 | 908,80        | 0,648         |
| 26                                                                   | V-01  | 909,895 | 909,90        | -0,005        |
| 27                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,00        | 0,152         |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | <b>-0,032</b> |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | <b>0,369</b>  |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | <b>0,436</b>  |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | <b>1,706</b>  |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | <b>6,384</b>  |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | <b>38,89</b>  |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | <b>0,362</b>  |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | <b>0,362</b>  |

Conforme os valores acima, não existe tendência na direção vertical, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o quadro 28, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,362 \text{ m}$$

A acurácia altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,362$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,709 \text{ m}$$

Os pontos 1 e 9 ou 7,45% da amostra apresentaram discrepâncias acima da acurácia altimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 27 pontos testados tem-se a seguinte situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 18 ou 79,4%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 4 ou 13,8%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 2 ou 6,9%
- Diferenças acima de 0,50 m = 5 ou 17,2%

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Cinco pontos (1, 4, 9, 3033 e 3042) representando 18,5% da amostra apresentaram discrepâncias altimétricas acima da tolerância de 0,50 m. Os demais pontos ou 81,5% da amostra ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão da amostra no valor de 0,369 m de foi maior que o Erro Padrão esperado;

- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas altimétricas e para a precisão da acuracidade posicional vertical, foram aceitos;

- Considerando os dois primeiros itens a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:15.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 16  $\mu$ m ou 24 cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,362 m;

- Considerando-se a classificação das cartas, conforme o quadro 1, os resultados alcançados por este conjunto amostral, atenderia a classificação de Carta classe "C", pois apenas dois pontos ou 7,4% da amostra, apresentaram discrepâncias acima do PEC altimétrico e

- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional vertical da cartografia gerada foi de 0,709 m e 92,5% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## 4.6.1.5 Conjunto 5

O conjunto 5 é formado por fotografias na escala 1:10.000, e resolução geométrica da imagem 24  $\mu$ m ou 24cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (quadro 29)

**QUADRO 29 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 5 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |               | Diferenças    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)          | DE(m)         | DN(m)         |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,660                | 7.168.539,260 | -0,182        | -0,020        |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,760                | 7.168.560,620 | 0,168         | -0,138        |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.700,110                | 7.168.542,760 | -0,436        | 0,205         |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,930                | 7.168.471,630 | -0,261        | 0,078         |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,530                | 7.168.400,800 | -0,270        | -0,022        |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,190                | 7.168.425,700 | 0,005         | -0,097        |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,720                | 7.168.468,500 | -0,126        | -0,114        |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.202,380                | 7.169.256,810 | -0,505        | 0,043         |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,280                | 7.169.220,820 | 0,136         | -0,138        |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.301,110                | 7.169.228,540 | 0,060         | -0,027        |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,650                | 7.169.293,510 | 0,232         | 0,039         |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.255,930                | 7.169.301,310 | 0,011         | 0,157         |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.235,040                | 7.169.305,120 | 0,096         | -0,098        |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.266,880                | 7.169.331,550 | 0,420         | -0,083        |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.233,070                | 7.169.372,300 | 0,235         | 0,181         |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,460                | 7.169.344,120 | -0,044        | 0,326         |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.167,080                | 7.169.299,320 | -0,234        | -0,035        |
| 18                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 659.959,880                | 7.167.694,280 | 0,073         | 0,180         |
| 19                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,590                | 7.170.002,330 | 0,065         | -0,075        |
| 20                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,050                | 7.169.441,660 | 0,206         | -0,001        |
| 21                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,390                | 7.171.056,350 | 0,250         | -0,162        |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |               | <b>-0,005</b> | <b>0,010</b>  |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |               | <b>0,240</b>  | <b>0,134</b>  |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |               | <b>0,090</b>  | <b>0,318</b>  |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |               | <b>1,725</b>  | <b>1,725</b>  |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |               | <b>4,605</b>  | <b>1,432</b>  |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |               | <b>31,410</b> | <b>31,410</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |               | <b>0,234</b>  | <b>0,131</b>  |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |               | <b>0,116</b>  |               |

Conforme os valores acima, não existe tendência nas direções E e N, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o quadro 29, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,234 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,131 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,234 + 0,131)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,447 \text{ m}$$

O ponto 8 ou 4,7% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia planimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados tem-se a seguinte situação:

- Diferenças inferiores a 0,30 m = 17 ou 80,8%
- Diferenças entre 0,30 m e 0,40 m = 1 ou 4,8%
- Diferenças entre 0,40 m e 0,50 m = 2 ou 9,6%
- Diferenças entre 0,50 m e 1,00 m = 1 ou 4,8%
- Diferenças acima de 1,00 m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,240 m e 0,134 m para as coordenadas dos eixos E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas planimétricas e para a precisão da acuracidade posicional, foram aceitos;
- Considerando-se os três itens anteriores a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:10.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 24cm no terreno, está aprovada e considerada como pertencente ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,116 m;
- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional planimétrica da cartografia gerada foi de 0,447 m e 95,3% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 25 (quadro 30)

**QUADRO 30 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 5 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença     |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|---------------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)         |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 890,90        | -0,318        |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 892,05        | -0,609        |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 893,20        | -0,080        |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 894,55        | -0,104        |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 894,60        | -0,330        |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 891,30        | -0,303        |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,80        | -0,287        |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,60        | -0,131        |
| 9                                                                    | 07V   | 890,001 | 890,20        | -0,200        |
| 10                                                                   | 8     | 899,416 | 899,45        | -0,034        |
| 11                                                                   | 9     | 897,235 | 897,30        | -0,065        |
| 12                                                                   | 09V   | 897,004 | 897,20        | -0,196        |
| 13                                                                   | 10    | 894,512 | 894,80        | -0,288        |
| 14                                                                   | 12    | 901,005 | 901,10        | -0,096        |
| 15                                                                   | 13    | 901,463 | 901,80        | -0,337        |
| 16                                                                   | 13V   | 901,164 | 901,40        | -0,236        |
| 17                                                                   | 14    | 901,402 | 901,40        | 0,002         |
| 18                                                                   | 15    | 908,163 | 908,05        | 0,113         |
| 19                                                                   | 15V   | 909,177 | 909,20        | -0,023        |
| 20                                                                   | 16    | 908,341 | 908,20        | 0,141         |
| 21                                                                   | 17    | 903,949 | 904,40        | -0,451        |
| 22                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,55        | 0,097         |
| 23                                                                   | 3042  | 909,448 | 909,90        | -0,452        |
| 24                                                                   | V-01  | 909,895 | 910,05        | -0,155        |
| 25                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,05        | 0,102         |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | <b>-0,177</b> |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | <b>0,186</b>  |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | <b>4,665</b>  |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | <b>1,711</b>  |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | <b>1,560</b>  |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | <b>36,42</b>  |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | <b>0,182</b>  |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | <b>0,182</b>  |

Conforme os valores acima, existe tendência na direção vertical, pois a amostra não atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o quadro 30, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,182 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,182$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,357 \text{ m}$$

Os pontos 2, 17 e 3042 ou 12,0% da amostra apresentaram discrepâncias acima da acurácia altimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$



Do total dos 25 pontos testados tem-se a seguinte situação:

- Diferenças inferiores a 0,30m = 18 ou 72,0%
- Diferenças entre 0,30m e 0,40m = 4 ou 16,0%
- Diferenças entre 0,40m e 0,50m = 2 ou 8,0%
- Diferenças entre 0,50m e 1,00m = 1 ou 4,0%
- Diferenças acima de 1,00m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Apenas o ponto 2 representando 4,0% da amostra apresentou uma discrepância altimétrica acima da tolerância de 0,50 m. Os demais pontos ou 96,6% da amostra ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão da amostra de 0,186 m foi menor que o Erro Padrão esperado;

- Devido a tendência na direção do eixo de coordenadas N apontada no teste T-Student, a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:10.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 24cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;

- Devido a tendência no eixo vertical, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas altimétricas, seria a adoção da média das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas deste eixo;

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,182 m e

- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional vertical da cartografia gerada foi de 0,357 m e 88,0% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## 4.6.1.6 Conjunto 6

O conjunto 6 é formado por fotografias na escala 1:12.000, e resolução geométrica da imagem 24  $\mu$ m ou 28,8cm no terreno.

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 23 (quadro 31)

**QUADRO 31 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 6 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                             | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |               | Diferenças    |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                                               |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)          | DE(m)         | DN(m)         |
| 1                                                                             | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,760                | 7.168.539,300 | -0,282        | -0,060        |
| 2                                                                             | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,190                | 7.168.559,740 | 0,738         | 0,742         |
| 3                                                                             | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.699,930                | 7.168.542,940 | -0,256        | 0,025         |
| 4                                                                             | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,840                | 7.168.471,690 | -0,171        | 0,018         |
| 5                                                                             | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,290                | 7.168.400,930 | -0,030        | -0,152        |
| 6                                                                             | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.732,280                | 7.168.425,660 | -0,085        | -0,057        |
| 7                                                                             | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,590                | 7.168.468,520 | 0,004         | -0,134        |
| 8                                                                             | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.202,480                | 7.169.256,250 | -0,605        | 0,603         |
| 9                                                                             | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,240                | 7.169.221,000 | 0,176         | -0,318        |
| 10                                                                            | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.301,050                | 7.169.228,730 | 0,120         | -0,217        |
| 11                                                                            | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,880                | 7.169.293,290 | 0,002         | 0,259         |
| 12                                                                            | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.255,860                | 7.169.301,440 | 0,081         | 0,027         |
| 13                                                                            | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.234,980                | 7.169.305,160 | 0,156         | -0,138        |
| 14                                                                            | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,010                | 7.169.331,510 | 0,290         | -0,043        |
| 15                                                                            | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.232,880                | 7.169.372,140 | 0,425         | 0,341         |
| 16                                                                            | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,560                | 7.169.344,380 | -0,144        | 0,066         |
| 17                                                                            | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.166,770                | 7.169.299,370 | 0,076         | -0,085        |
| 20                                                                            | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.960,310                | 7.167.694,680 | -0,358        | -0,219        |
| 21                                                                            | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,610                | 7.170.002,290 | 0,045         | -0,035        |
| 22                                                                            | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.225,140                | 7.169.441,670 | 0,116         | -0,011        |
| 23                                                                            | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,000                | 7.171.055,630 | 0,640         | 0,558         |
| <b>Valor médio (m)</b>                                                        |       |                      |               |                            |               | <b>0,045</b>  | <b>0,056</b>  |
| <b>Desvio-padrão (m)</b>                                                      |       |                      |               |                            |               | <b>0,314</b>  | <b>0,285</b>  |
| <b>tx calculado para a amostra</b>                                            |       |                      |               |                            |               | <b>0,636</b>  | <b>0,875</b>  |
| <b>tx tabelado para a amostra (90%)</b>                                       |       |                      |               |                            |               | <b>1,717</b>  | <b>1,717</b>  |
| <b>qui-quadrado calculado para a amostra</b>                                  |       |                      |               |                            |               | <b>7,890</b>  | <b>6,489</b>  |
| <b>qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)</b>                             |       |                      |               |                            |               | <b>31,410</b> | <b>31,410</b> |
| <b>EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo</b> |       |                      |               |                            |               | <b>0,306</b>  | <b>0,278</b>  |
| <b>EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica</b>                |       |                      |               |                            |               | <b>0,271</b>  |               |

Conforme os valores acima, não existe tendência nas direções E e N, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, também atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o quadro 31, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,306 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,278 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,306 + 0,278)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,715 \text{ m}$$

O ponto 2 ou 4,7% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia planimétrica calculada.

#### b) Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados obteve-se a situação:

- Diferenças inferiores a 0,30m = 17 ou 74,0%
- Diferenças entre 0,30m e 0,40m = 2 ou 8,6%
- Diferenças entre 0,40m e 0,50m = 1 ou 4,3%
- Diferenças entre 0,50m e 1,00m = 3 ou 13,1%
- Diferenças acima de 1,00m = 0

Em função das tolerâncias e valores obtidos os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0 m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,300 m e 0,281 m para as coordenadas dos eixos E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas planimétricas e para a precisão da acuracidade posicional, foram aceitos;
- Considerando-se os três itens anteriores a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:12.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 28,8 cm no terreno, está aprovada e considerada como pertencente ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,271 m;
- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional planimétrica da cartografia gerada foi de 0,715 m e 95,3% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 27 (quadro 32).

**QUADRO 32 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 6 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo | H Cartografia | Diferença |
|----------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------|-----------|
|                                                                      |       | (m)     | (m)           | dh(m)     |
| 1                                                                    | 1     | 890,582 | 890,40        | 0,182     |
| 2                                                                    | 2     | 891,441 | 891,30        | 0,141     |
| 3                                                                    | 3     | 893,120 | 893,10        | 0,020     |
| 4                                                                    | 4     | 894,446 | 894,30        | 0,146     |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270 | 894,20        | 0,070     |
| 6                                                                    | 5     | 890,997 | 890,80        | 0,197     |
| 7                                                                    | 6     | 886,513 | 886,80        | -0,287    |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469 | 886,20        | 0,269     |
| 9                                                                    | 7     | 888,739 | 888,90        | -0,161    |
| 10                                                                   | 07V   | 890,001 | 889,90        | 0,101     |
| 11                                                                   | 8     | 899,416 | 899,20        | 0,216     |
| 12                                                                   | 9     | 897,235 | 897,30        | -0,065    |
| 13                                                                   | 09V   | 897,004 | 897,20        | -0,196    |
| 14                                                                   | 10    | 894,512 | 894,80        | -0,288    |
| 15                                                                   | 11    | 896,544 | 896,80        | -0,256    |
| 16                                                                   | 12    | 901,005 | 901,20        | -0,196    |
| 17                                                                   | 13    | 901,463 | 901,70        | -0,237    |
| 18                                                                   | 13V   | 901,164 | 901,40        | -0,236    |
| 19                                                                   | 14    | 901,402 | 901,80        | -0,398    |
| 20                                                                   | 15    | 908,163 | 907,90        | 0,263     |
| 21                                                                   | 15V   | 909,177 | 909,40        | -0,223    |
| 22                                                                   | 16    | 908,341 | 908,20        | 0,141     |
| 23                                                                   | 17    | 903,949 | 904,10        | -0,151    |
| 24                                                                   | 3041  | 873,452 | 873,30        | 0,152     |
| 25                                                                   | 3042  | 909,448 | 910,05        | -0,602    |
| 26                                                                   | V-01  | 909,895 | 910,00        | -0,105    |
| 27                                                                   | V-02  | 891,152 | 891,20        | -0,048    |
| Valor médio (m)                                                      |       |         |               | -0,057    |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |         |               | 0,226     |
| tx calculado para a amostra                                          |       |         |               | 1,298     |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |         |               | 1,706     |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |         |               | 2,389     |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |         |               | 38,89     |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |         |               | 0,222     |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |         |               | 0,222     |

Conforme os valores acima, não existe tendência na direção vertical, pois a amostra atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o Quadro 34, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,222 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,222$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,435 \text{ m}$$

Apenas o ponto 3042 ou 3,7% da amostra apresentou uma discrepância acima da acurácia planimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 27 pontos testados obteve-se a situação:

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| - Diferenças inferiores a 0,30m  | = 26 ou 89,8% |
| - Diferenças entre 0,30m e 0,40m | = 1 ou 3,4%   |
| - Diferenças entre 0,40m e 0,50m | = 1 ou 3,4%   |
| - Diferenças entre 0,50m e 1,00m | = 1 ou 3,4%   |
| - Diferenças acima de 1,00m      | = 0           |

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Apenas o ponto 3042 representando 3,7% da amostra apresentou uma discrepância altimétrica acima da tolerância de 0,50 m. Os demais pontos ou 96,3% da amostra ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão da amostra de 0,226 m foi menor que o Erro Padrão esperado;

- Os testes de hipótese para a verificação de tendência de erros nas coordenadas altimétricas e para a precisão da acuracidade posicional vertical, foram aceitos;

- Considerando-se os três itens anteriores a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:12.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 28,8 cm no terreno, está aprovada e pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1.

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,222 m;

- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional vertical da cartografia gerada foi de 0,435 m e 96,3% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## 4.6.1.7 Conjunto 7

O conjunto 7 é formado por fotografias na escala 1:15.000, e resolução geométrica da imagem 24  $\mu$ m ou 36cm no terreno

## a) Análise planimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 21 (quadro 33)

**QUADRO 33 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL PLANIMÉTRICO PARA O CONJUNTO 7 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS**

| #                                                                      | PONTO | Coordenadas de Campo |               | Coordenadas da Cartografia |               | Diferenças |        |
|------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------|---------------|----------------------------|---------------|------------|--------|
|                                                                        |       | E(m)                 | N(m)          | E(m)                       | N(m)          | DE(m)      | DN(m)  |
| 1                                                                      | 1     | 660.771,479          | 7.168.539,240 | 660.771,310                | 7.168.538,880 | 0,168      | 0,360  |
| 2                                                                      | 2     | 660.742,928          | 7.168.560,482 | 660.742,540                | 7.168.560,020 | 0,388      | 0,462  |
| 3                                                                      | 3     | 660.699,674          | 7.168.542,965 | 660.699,690                | 7.168.542,520 | -0,016     | 0,445  |
| 4                                                                      | 4     | 660.647,669          | 7.168.471,708 | 660.647,440                | 7.168.471,310 | 0,229      | 0,398  |
| 5                                                                      | 5     | 660.694,260          | 7.168.400,778 | 660.694,150                | 7.168.400,750 | 0,110      | 0,028  |
| 6                                                                      | 6     | 660.732,195          | 7.168.425,603 | 660.731,660                | 7.168.425,480 | 0,535      | 0,123  |
| 7                                                                      | 7     | 660.764,594          | 7.168.468,386 | 660.764,070                | 7.168.468,140 | 0,524      | 0,246  |
| 8                                                                      | 8     | 660.201,875          | 7.169.256,853 | 660.201,790                | 7.169.256,550 | 0,085      | 0,303  |
| 9                                                                      | 9     | 660.231,416          | 7.169.220,682 | 660.231,170                | 7.169.220,470 | 0,246      | 0,212  |
| 10                                                                     | 10    | 660.301,170          | 7.169.228,513 | 660.300,730                | 7.169.228,270 | 0,440      | 0,243  |
| 11                                                                     | 11    | 660.298,882          | 7.169.293,549 | 660.298,290                | 7.169.293,460 | 0,592      | 0,089  |
| 12                                                                     | 12    | 660.255,941          | 7.169.301,467 | 660.255,940                | 7.169.301,090 | 0,001      | 0,377  |
| 13                                                                     | 13    | 660.235,136          | 7.169.305,022 | 660.234,940                | 7.169.304,760 | 0,196      | 0,262  |
| 14                                                                     | 14    | 660.267,300          | 7.169.331,467 | 660.267,040                | 7.169.331,140 | 0,260      | 0,327  |
| 15                                                                     | 15    | 660.233,305          | 7.169.372,481 | 660.232,760                | 7.169.371,750 | 0,545      | 0,731  |
| 16                                                                     | 16    | 660.129,416          | 7.169.344,446 | 660.129,210                | 7.169.344,260 | 0,206      | 0,186  |
| 17                                                                     | 17    | 660.166,846          | 7.169.299,285 | 660.166,700                | 7.169.298,950 | 0,146      | 0,335  |
| 18                                                                     | 3041  | 660.959,952          | 7.167.694,461 | 660.959,724                | 7.167.694,323 | 0,228      | 0,138  |
| 19                                                                     | 3042  | 660.898,655          | 7.170.002,255 | 660.898,350                | 7.170.002,170 | 0,305      | 0,085  |
| 20                                                                     | PV-01 | 660.225,256          | 7.169.441,659 | 660.224,890                | 7.169.441,280 | 0,366      | 0,379  |
| 21                                                                     | PV-02 | 660.125,640          | 7.171.056,188 | 660.125,480                | 7.171.055,860 | 0,160      | 0,328  |
| Valor médio (m)                                                        |       |                      |               |                            |               | 0,272      | 0,288  |
| Desvio-padrão (m)                                                      |       |                      |               |                            |               | 0,178      | 0,160  |
| tx calculado para a amostra                                            |       |                      |               |                            |               | 6,841      | 8,087  |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                       |       |                      |               |                            |               | 1,725      | 1,725  |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                  |       |                      |               |                            |               | 2,531      | 2,036  |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                             |       |                      |               |                            |               | 31,410     | 31,410 |
| EMQ - Erro médio quadrático das discrepâncias da amostra (m) – no eixo |       |                      |               |                            |               | 0,174      | 0,174  |
| EMQ horizontal da amostra (m) – resultante planimétrica                |       |                      |               |                            |               | 0,162      |        |



Conforme os valores acima, existe tendência nas direções E e N, pois a amostra não atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

A precisão das coordenadas para os eixos E e N, atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1, \alpha} \text{ para as duas direções.}$$

#### Determinação da acurácia posicional planimétrica segundo o NSSDA

Conforme o quadro 33, os valores do EMQ para as componentes planimétricas são:

$$\text{Valor do EMQ}_E = 0,174 \text{ m}$$

$$\text{Valor do EMQ}_N = 0,156 \text{ m}$$

A acurácia posicional planimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (13) é de:

$$\text{Acurácia}_H = 2,4477 \times 0,5 \times (\text{EMQ}_E + \text{EMQ}_N)$$

$$\text{Acurácia}_H = 1,2238 \times (0,174 + 0,156)$$

$$\text{Acurácia}_H = 0,404 \text{ m}$$

Os pontos 2, 3, 6, 7, 10, 11 e 15 ou 33,3% da amostra apresentaram discrepâncias acima da acurácia planimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = 0,5 \text{ mm} \times 2.000 = 1000 \text{ mm} = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = 0,3 \text{ mm} \times 2.000 = 600 \text{ mm} = 0,60 \text{ m}$$

Do total dos 21 pontos testados obteve-se:

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| - Diferenças inferiores a 0,30m  | = 5 ou 23,8% |
| - Diferenças entre 0,30m e 0,40m | = 9 ou 42,8% |
| - Diferenças entre 0,40m e 0,50m | = 3 ou 14,3% |
| - Diferenças entre 0,50m e 1,00m | = 4 ou 19,1% |
| - Diferenças acima de 1,00m      | = 0          |

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Nenhum ponto apresentou discrepâncias planimétricas individuais em E e N superiores a 1,0 m, limite do PEC;
- O desvio-padrão de 0,178 m e 0,160 m para as coordenadas dos eixos E e N respectivamente foi menor que o Erro Padrão esperado;
- Devido a tendência nas direções dos eixos de coordenadas E e N apontadas no teste T-Student, a cartografia planimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:15.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 36 cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;
- Devido a tendência nos eixos E e N, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas, seria a adoção das médias das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas dos dois eixos;
- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,162 m;
- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional planimétrica da cartografia gerada foi de 0,404 m e 66,7% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

## b) Análise altimétrica

Número de pontos que formam a amostra: 27 (quadro 34)

**QUADRO 34 – PONTOS QUE FORMAM O CONJUNTO AMOSTRAL VERTICAL PARA O CONJUNTO 7 E RESPECTIVAS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICAS**

| #                                                                    | PONTO | H Campo<br>(m) | H Cartografia<br>(m) | Diferença<br>dh(m) |
|----------------------------------------------------------------------|-------|----------------|----------------------|--------------------|
| 1                                                                    | 1     | 890,582        | 890,40               | 0,182              |
| 2                                                                    | 2     | 891,441        | 892,00               | -0,559             |
| 3                                                                    | 3     | 893,120        | 893,30               | -0,180             |
| 4                                                                    | 4     | 894,446        | 894,60               | -0,154             |
| 5                                                                    | 04V   | 894,270        | 894,30               | -0,030             |
| 6                                                                    | 5     | 890,997        | 891,00               | -0,003             |
| 7                                                                    | 6     | 886,513        | 886,90               | -0,387             |
| 8                                                                    | 06V   | 886,469        | 886,90               | -0,431             |
| 9                                                                    | 7     | 888,739        | 889,20               | -0,461             |
| 10                                                                   | 07V   | 890,001        | 890,20               | -0,200             |
| 11                                                                   | 8     | 899,416        | 899,60               | -0,184             |
| 12                                                                   | 9     | 897,235        | 898,00               | -0,765             |
| 13                                                                   | 09V   | 897,004        | 897,30               | -0,296             |
| 14                                                                   | 10    | 894,512        | 894,90               | -0,388             |
| 15                                                                   | 11    | 896,544        | 896,90               | -0,356             |
| 16                                                                   | 12    | 901,005        | 901,20               | -0,196             |
| 17                                                                   | 13    | 901,463        | 901,90               | -0,437             |
| 18                                                                   | 13V   | 901,164        | 901,40               | -0,236             |
| 19                                                                   | 14    | 901,402        | 901,80               | -0,398             |
| 20                                                                   | 15    | 908,163        | 908,10               | 0,063              |
| 21                                                                   | 15V   | 909,177        | 909,40               | -0,223             |
| 22                                                                   | 16    | 908,341        | 908,30               | 0,041              |
| 23                                                                   | 17    | 903,949        | 905,00               | -1,051             |
| 24                                                                   | 3041  | 873,452        | 873,77               | -0,316             |
| 25                                                                   | 3042  | 909,448        | 908,80               | 0,648              |
| 26                                                                   | V-01  | 909,895        | 910,20               | -0,305             |
| 27                                                                   | V-02  | 891,152        | 891,00               | 0,152              |
| Valor médio (m)                                                      |       |                |                      | <b>-0,240</b>      |
| Desvio-padrão (m)                                                    |       |                |                      | <b>0,320</b>       |
| tx calculado para a amostra                                          |       |                |                      | <b>3,817</b>       |
| tx tabelado para a amostra (90%)                                     |       |                |                      | <b>1,706</b>       |
| qui-quadrado calculado para a amostra                                |       |                |                      | <b>4,797</b>       |
| qui-quadrado tabelado para a amostra (90%)                           |       |                |                      | <b>38,89</b>       |
| EMQ - Erro médio quadrático da discrepância da amostra (m) – no eixo |       |                |                      | <b>0,314</b>       |
| EMQ vertical da amostra (m)                                          |       |                |                      | <b>0,314</b>       |

Conforme os valores acima, existe tendência na direção vertical, pois a amostra não atende a condição:

$$|t_x| \leq t_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

A precisão da altimetria da carta atende a condição:

$$|\chi^2_x| \leq \chi^2_{n-1,\alpha} \text{ para a direção vertical.}$$

#### Determinação da acurácia posicional vertical segundo o NSSDA

Conforme o Quadro 35, o valor do EMQ para a componente altimétrica é:

$$\text{Valor do EMQ}_v = 0,314 \text{ m}$$

A acurácia posicional altimétrica para o conjunto, segundo a fórmula (14) é de:

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times (\text{EMQ}_v)$$

$$\text{Acurácia}_v = 1,9600 \times 0,314$$

$$\text{Acurácia}_v = 0,615 \text{ m}$$

Os pontos 9, 17 e 3042 ou 11,1% da amostra apresentaram discrepâncias acima da acurácia altimétrica calculada.

#### Valores limites segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

Aplicando as condições definidas na seção 2.10.1 para o conjunto tem-se:

$$\text{PEC} = \frac{1}{2} \text{ equidistância} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Erro-Padrão} = \frac{1}{3} \text{ equidistância} = 0,33 \text{ m}$$

Do total dos 27 pontos testados obteve-se:

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| - Diferenças inferiores a 0,30m  | = 15 ou 55,5% |
| - Diferenças entre 0,30m e 0,40m | = 5 ou 18,5%  |
| - Diferenças entre 0,40m e 0,50m | = 3 ou 11,1%  |
| - Diferenças entre 0,50m e 1,00m | = 3 ou 11,1%  |
| - Diferenças acima de 1,00m      | = 1 ou 3,8%   |

Em função das tolerâncias e valores obtidos, os seguintes resultados foram apresentados:

- Os pontos 2, 9, 17 e 3042 representando 14,9% da amostra apresentaram discrepâncias altimétricas acima da tolerância de 0,50 m. Os demais pontos ou 85,1% da amostra ficaram abaixo do limite estabelecido pelo PEC;

- O desvio-padrão da amostra de 0,320 m foi menor que o Erro Padrão esperado;

- O teste de hipótese T-Student indicou tendência na direção vertical;

- Considerando-se os itens anteriores a cartografia altimétrica gerada a partir de fotografias na escala 1:15.000 e digitalização dos negativos fotográficos com a resolução geométrica de 24  $\mu$ m ou 36cm no terreno, está reprovada e não pertence ao grupo Carta - classe "A", segundo o item 2.10.1;

- Devido a tendência no eixo vertical, uma forma de diminuir as discrepâncias nas coordenadas altimétricas, seria a adoção da média das discrepâncias das mesmas com sinal invertido, e adiciona-la às coordenadas deste eixo;

- O erro médio quadrático dos resíduos das discrepâncias foi de 0,314 m;

- Considerando-se a classificação das cartas, conforme o quadro 1, os resultados alcançados por este conjunto amostral, atenderia a classificação de Carta classe "C", pois apenas dois pontos ou 7,4% da amostra, apresentaram discrepâncias acima do PEC altimétrico e

- Conforme o NSSDA, a acurácia posicional vertical da cartografia gerada foi de 0,615 m e 88,9% dos pontos testados apresentaram discrepâncias abaixo deste valor.

#### 4.6.2 Resumo da avaliação segundo o PEC

O quadro 35 apresenta os sete conjuntos estudados e respectivos resultados quanto à avaliação posicional segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, carta classe “A” para mapeamento urbano escala 1:2.000.

**QUADRO 35 – AVALIAÇÃO DOS CONJUNTOS SEGUNDO O PEC**

| # | Conjunto | Planimetria | Altimetria |
|---|----------|-------------|------------|
| 1 | 8-24     | Aprovado    | Aprovado   |
| 2 | 10-16    | Aprovado    | Aprovado   |
| 3 | 12-16    | Reprovado   | Reprovado  |
| 4 | 15-16    | Reprovado   | Reprovado  |
| 5 | 10-24    | Aprovado    | Reprovado  |
| 6 | 12-24    | Aprovado    | Aprovado   |
| 7 | 15-24    | Reprovado   | Reprovado  |

#### 4.6.3 Resumo da avaliação segundo o NSSDA

O quadro 36 apresenta os resultados quanto à avaliação da acurácia posicional mapeamento urbano escala 1:2.000 conforme o NSSDA.

**QUADRO 36 – AVALIAÇÃO DOS CONJUNTOS SEGUNDO A ACURÁCIA POSICIONAL**

| # | Conjunto | Planimetria | Altimetria |
|---|----------|-------------|------------|
| 1 | 8-24     | Aprovado    | Aprovado   |
| 2 | 10-16    | Aprovado    | Aprovado   |
| 3 | 12-16    | Aprovado    | Aprovado   |
| 4 | 15-16    | Reprovado   | Reprovado  |
| 5 | 10-24    | Aprovado    | Reprovado  |
| 6 | 12-24    | Aprovado    | Aprovado   |
| 7 | 15-24    | Reprovado   | Reprovado  |

O quadro 37 mostra o resumo dos valores das discrepâncias dos pontos de verificação para os diferentes conjuntos de amostras obtidas.

**QUADRO 37 – DISCREPÂNCIAS ENTRE OS CONJUNTOS FOTOGRAMÉTRICOS SEGUNDO O NSSDA**

| # | Conjunto | Numero de pontos |       | Horizontal (m) |       | Vertical (m) |       |
|---|----------|------------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
|   |          | Horiz            | Vert. | Acurácia       | EMQ   | Acurácia     | EMQ   |
| 1 | 8-24     | 21               | 26    | 0,414          | 0,120 | 0,501        | 0,256 |
| 2 | 10-16    | 21               | 25    | 0,334          | 0,102 | 0,329        | 0,168 |
| 3 | 12-16    | 21               | 29    | 0,439          | 0,144 | 0,408        | 0,208 |
| 4 | 15-16    | 21               | 29    | 0,544          | 0,187 | 0,709        | 0,362 |
| 5 | 10-24    | 21               | 25    | 0,447          | 0,116 | 0,357        | 0,182 |
| 6 | 12-24    | 21               | 29    | 0,715          | 0,271 | 0,435        | 0,222 |
| 7 | 15-24    | 21               | 27    | 0,404          | 0,162 | 0,615        | 0,314 |

Conforme análise dos valores do quadro acima, chegou-se às seguintes constatações em, todas em relação ao conjunto 1:

- a) Os valores obtidos no conjunto 2 (10-16) são melhores que os do conjunto padrão 1 (8-24), mostrando que a viabilidade de uso do mesmo, para o mapeamento urbano escala 1:2.000. A acurácia planimétrica é 19,3% maior e a altimétrica 34,3%;
- b) O conjunto 3 (12-16) apresentou uma acurácia planimétrica 6% menor que o conjunto 1. A acurácia altimétrica foi 18,5% maior que a do conjunto 1;
- c) O conjunto 4 (15-16) chegou a uma acurácia planimétrica 31,4% menor que o conjunto 1. Na altimetria o conjunto foi reprovado conforme análise do PEC;
- d) O conjunto 5 (10-24) obteve uma acurácia planimétrica 7,9% menor que a do conjunto 1. A acurácia altimétrica foi 28,7% melhor;
- e) O conjunto 6 (12-24) apresentou uma acurácia planimétrica 72,7% menor que o conjunto 1. A acurácia altimétrica foi 13,1% maior que a do conjunto 1;
- f) O conjunto 7 (15-24) de mesma escala que o conjunto 4 e resolução de 24  $\mu$ m obteve uma acurácia horizontal 2,4% maior que o conjunto 1. Na altimetria o conjunto foi reprovado conforme análise do PEC;



- g) Os resultados obtidos pelos conjuntos de maior resolução geométrica ou 16  $\mu\text{m}$  são melhores, quando comparados dentro da mesma escala fotográfica, comprovando que a utilização desta resolução aumenta a acurácia posicional dos produtos fotogramétricos;
- h) Na análise planimétrica os conjuntos formados pelas escalas fotográficas 1:12.000 e 1:15.000 atenderam a classificação quanto ao PEC, porém os valores dos desvios padrões das discrepâncias são em média 44% superiores ao da escala 1:10.000 e
- i) Os conjuntos 4 e 7 foram reprovados pela análise vertical segundo o PEC.

#### 4.6.4 Comparação entre as avaliações segundo o PEC e o NSSDA

O quadro 38 compara as avaliações obtidas pelos dois processos de validação da acurácia posicional para o mapeamento urbano escala 1:2.000.

Os conjuntos 1 e 2 foram aprovados pelos dois processos, indicando que nesta pesquisa, a substituição da fotografia escala 1:8.000 pela escala 1:10.000 foi válida, atendendo as acurácias posicionais planimétrica e altimétrica, para a carta classe “A”, segundo o item 2.10.1.

O conjunto 6 cuja escala da fotografia é 1:12.000 com resolução de 24  $\mu\text{m}$  também foi aprovado pelos dois processos. As acurácias planimétrica e altimétrica deste conjunto são altas e somadas aos seus respectivos valores do EMQ, podem alcançar valores acima dos limites estabelecidos pelo PEC (1,0 m e 0,50 m respectivamente). Não se recomenda portanto a utilização desta formação para o mapeamento urbano escala 1:2.000, para cartas classe “A”.

O conjunto 5 formado por fotografias escala 1:10.000 e resolução de 24  $\mu\text{m}$  foi aprovado pelos dois processos apenas na planimetria. Na altimetria foi reprovado pelas duas metodologias de avaliação da acurácia, inviabilizando a sua utilização para a geração de cartas escala 1:2.000 classe “A”.

**QUADRO 38 – COMPARAÇÃO ENTRE AS AVALIAÇÕES SEGUNDO O PEC E O NSSDA**

| # | Conjunto | Planimetria |           | Altimetria |           |
|---|----------|-------------|-----------|------------|-----------|
|   |          | PEC         | NSSDA     | PEC        | NSSDA     |
| 1 | 8-24     | Aprovado    | Aprovado  | Aprovado   | Aprovado  |
| 2 | 10-16    | Aprovado    | Aprovado  | Aprovado   | Aprovado  |
| 3 | 12-16    | Reprovado   | Aprovado  | Reprovado  | Aprovado  |
| 4 | 15-16    | Reprovado   | Reprovado | Reprovado  | Reprovado |
| 5 | 10-24    | Aprovado    | Aprovado  | Reprovado  | Reprovado |
| 6 | 12-24    | Aprovado    | Aprovado  | Aprovado   | Aprovado  |
| 7 | 15-24    | Reprovado   | Reprovado | Reprovado  | Reprovado |

Os demais conjuntos foram reprovados pelas duas metodologias pois não atenderam plenamente os valores limites impostos pelos testes de acurácia posicional.

Conforme as constatações anteriores, obtidas pelas circunstâncias deste trabalho, verificou-se que a substituição da escala da fotografia 1:8.000 pela 1:10.000 atendeu as acurácias posicionais horizontal e vertical para a geração de cartas classe “A” – PEC. Para tanto, faz-se necessária a utilização de imagens digitais com resolução geométrica 16 µm no lugar de 24 µm.

As feições cartográficas descritas na seção 3.5 são identificáveis em todas as escalas de fotografias e resoluções geométricas, porém para as escalas menores (1:12.000 e 1:15.000) não atendem as exigências estabelecidas pelo PEC – Classe “A”.

#### 4.7 APROPRIAÇÃO DE TEMPOS

Os trabalhos de mapeamento fotogramétricos atuais são direcionados basicamente à finalidade a que se destinam. As prefeituras, por exemplo, contratam serviços com o objetivo de melhorar o cadastro físico-imobiliário. Em muitos casos apenas o sistema viário, o alinhamento predial, as divisas de lotes e edificações são especificados e feições como postes e vegetação não são levadas em consideração. Outras especificam apenas os

sistema viário e alinhamento predial, para a confecção de plantas cadastrais simples.

Conseqüentemente, os tempos de produção da fase de restituição estereofotogramétrica variam principalmente em relação à escala da fotografia, da escala do produto final e da finalidade a que se destina a cartografia. A finalidade interfere consideravelmente no tempo de produção, pois define quais as feições cartográficas que serão restituídas.

Os tempos da fase de restituição fotogramétrica no decorrer da pesquisa foram monitorados com o propósito de se chegar a uma relação entre a escala da fotografia e a escala do produto final.

A área de testes como já descrito na seção 4.6, foi composta por quatro quadras da cidade de Araucária-PR. A ocupação urbana da área de teste foi considerada média-alta (ver quadro 39), pois abrange parte da área central da cidade e bairros imediatos à mesma.

#### **QUADRO 39 – CLASSIFICAÇÃO DA DENSIDADE URBANA ESCALA 1:2.000**

| Classe*    | Horas/km <sup>2</sup> |
|------------|-----------------------|
| Baixa      | 10                    |
| Média      | 40                    |
| Média alta | 60                    |
| Alta       | 80                    |
| Super      | 150                   |

Fonte – Aeroimagem Aerofotogrametria S.A.

\* - Não consideradas as áreas de altíssima densidade urbana tais como favelas e invasões.

A restituição fotogramétrica é uma fase do trabalho que apropria um tempo elevado para a sua execução, equipamentos caros e exige fotogrametristas com experiência para a sua execução. Nesta pesquisa, devido os dez conjuntos de escalas de fotografia e resolução geométrica da imagem, não foi possível a compilação de todas as feições cartográficas que compõe uma cartografia urbana, conforme a seção 3.5.

Os tempos apropriados englobaram a restituição dos níveis sistema viário, divisas (cercas e muros), postes e altimetria (curvas de nível e pontos cotados).

A figura 21 apresenta o que seria a cartografia urbana completa em um trabalho de fotogrametria gerada a partir das fotografias escalas 1:8.000 e resolução geométrica de 24  $\mu\text{m}$ .

Em função destes tempos e dos demais são apresentadas no quadro 40 as diversas escalas de fotografia e os respectivos tempos para a execução de cada uma.

A resolução geométrica da imagem entre escalas de fotografias próximas (1:8.000 e 1:10.000 ou 1:12.000 e 1:15.000) não influenciou no tempo de execução da restituição, uma vez que as feições cartográficas presentes nos negativos das fotografias são capturadas pela digitalização dos mesmos e estão presentes nas respectivas escalas consideradas.

**QUADRO 40 – APROPRIAÇÃO DE TEMPO NA FASE DE RESTITUIÇÃO DIGITAL**

|                                        |              |               |               |               |
|----------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Escala da fotografia</b>            | <b>8.000</b> | <b>10.000</b> | <b>12.000</b> | <b>15.000</b> |
| <b>Escala da carta</b>                 | <b>2.000</b> | <b>2.000</b>  | <b>2.000</b>  | <b>2.000</b>  |
| <b>Lado da foto (m)</b>                | 1.840        | 2.300         | 2.760         | 3.450         |
| <b>Área do modelo (km<sup>2</sup>)</b> | 1,18         | 1,85          | 2,67          | 4,17          |
| <b>Sistema viário (h)</b>              | 3,3          | 3,1           | 2,8           | 2,8           |
| <b>Divisas (h)</b>                     | 9            | 9             | 9             | 9             |
| <b>Edificações (h)</b>                 | 23           | 23            | 2             | 2             |
| <b>Postes (h)</b>                      | 2            | 2             | 0             | 0             |
| <b>Vegetação (h)</b>                   | 1,4          | 1,4           | 1             | 1             |
| <b>Hidrografia (h)</b>                 | 0,2          | 0,2           | 0,2           | 0,2           |
| <b>Altimetria (h)</b>                  | 5            | 5             | 4             | 4             |
| <b>Total (h)</b>                       | <b>43,9</b>  | <b>43,7</b>   | <b>19</b>     | <b>19</b>     |
| <b>Horas / km<sup>2</sup></b>          | <b>37,05</b> | <b>23,60</b>  | <b>7,13</b>   | <b>4,56</b>   |

A vantagem da substituição da escala 1:8.000 pela 1:10.000 reside na economia a ser feita com os tempos despendidos com mão-de-obra, equipamentos e insumos como o filme aéreo. As fases de trabalho de fotogrametria afetadas pela substituição são:

- Cobertura aérea;
- Digitalização do filme aéreo;

- Apoio Terrestre e
- Aerotriangulação.

A fase de restituição estereofotogramétrica apresentou ganhos indiretos, como a utilização de um menor número de modelos fotogramétricos a ser gerenciado, com um menor número de arquivos digitais e conseqüente espaço de armazenamento em disco.

Com uma escala menor para a fotografia aérea, o número de fotografias diminuiu, proporcionando um gasto menor com filme aéreo, além da diminuição do número de faixas de vôo. Conseqüentemente o tempo de digitalização do filme aéreo também decresceu.

O apoio terrestre teve um ganho no tempo de execução, pois com um número menor de fotografias por faixa de vôo, a quantidade de pontos de apoio também foi menor.

O tempo gasto com as medidas fotogramétricas no processo de aerotriangulação, diminuiu com a redução do número de fotografias que formaram o bloco a ser processado.

Para a quantificação da economia obtida pela troca de escalas fotográficas, foi simulada uma área de testes compreendendo a área urbanizada da cidade de Araucária –PR, cobrindo 87 km<sup>2</sup> e apresentados o resultados a seguir.

#### 4.7.1 Cobertura Aérea

Para a escala 1:8.000, conforme o quadro 41, foram planejadas oito faixas de vôo e para a 10.000 sete, porém devido ao formato da área, o ganho neste quesito foi apenas satisfatório, pois o tempo total de vôo diferiu de uma escala para outra em apenas 10%. Quanto ao número total de fotografias, para a escala 1:10.000 foram planejadas 107 fotografias e 150 para a escala 1:8.000, resultando numa economia de 28,6% na quantidade total.

Considerando o alto custo do filme aéreo, uma economia de 28,6% é considerada excelente. A redução em 10% no tempo útil de vôo foto também deve ser levada em conta no custo total da fase Cobertura Aérea.

**QUADRO 41 – COMPARAÇÃO ENTRE ESCALAS FOTOGRÁFICAS NA COBERTURA AÉREA**

| Descrição               | Escala 1:8.000 | Escala 1:10.000 | Ganho (%) |
|-------------------------|----------------|-----------------|-----------|
| Número de faixas        | 8              | 7               | 12,5      |
| Número de fotos         | 150            | 107             | 28,6      |
| Quantidade de filme (m) | 37,5           | 26,8            | 28,6      |
| Tempo útil de voo (h)   | 0,37           | 0,33            | 10,8      |

#### 4.7.2 Apoio Terrestre

No planejamento do apoio suplementar para a aerotriangulação, foram necessários 63 pontos para a escala 1:8.000 e apenas 48 para a escala 1:10.000, ou seja, uma economia de 23,8%. Economia esta, que deve ser considerada para as operações topográficas, e torna-se um forte motivo para a adoção da redução na escala da fotografia aérea.

#### 4.7.3 Digitalização e Aerotriangulação

Os números apresentados no quadro 41, são considerados os mesmos para as fases de digitalização do filme aéreo e aerotriangulação. A redução percentual do número de fotografias é a mesma na apropriação de mão-de-obra do fotogrametrista que executa as leituras fotogramétricas. O mesmo pode-se afirmar para o tempo previsto para a digitalização do negativo do filme.

Além da economia de mão-de-obra de aproximadamente 28%, outro fator deve ser considerado: - normalmente em uma empresa, existe apenas uma EFD equipada com o sistema de aerotriangulação, tornando-se um ponto de estrangulamento no cronograma de execução de um projeto. Qualquer redução no tempo final do processo torna-se importante.



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 COBERTURA AÉREA

As condições meteorológicas para a execução do voo devem ser as melhores possíveis, para produzir fotografias com imagens nítidas e com um contraste que não prejudique a qualidade visual.

O contraste e densidade do filme fotográfico deve ser o suficiente, para a melhor definição das feições do terreno que farão parte do mapeamento.

A substituição da escala 1:10.000 pela 1:8.000 pode gerar uma economia de 28,6% na fase de Cobertura Aérea.

### 5.2 DIGITALIZAÇÃO DO FILME

A resolução geométrica de 32  $\mu\text{m}$  não apresentou boa nitidez para a identificação das feições envolvidas no mapeamento escala 1:2.000;

O poder de resolução do sistema de lentes da câmera aérea foi compatível com o pesquisado e aplicado nesta pesquisa.

A resolução geométrica de 8  $\mu\text{m}$  em relação à resolução de 16  $\mu\text{m}$  não apresentou ganho considerável na identificação das feições cartográficas representadas na escala 1:2.000.

As imagens digitais devem apresentar um contraste que permita a boa visualização dos detalhes a serem restituídos;

A substituição da escala 1:10.000 pela 1:8.000 pode gerar uma economia de 28,6% na fase Digitalização do filme.

### 5.3 AEROTRIANGULAÇÃO

A distribuição dos pontos do apoio suplementar no bloco de fotografias deverá ser elaborada conforme os critérios descritos neste trabalho.



O espaçamento entre os pontos de apoio suplementar seja de no máximo 3 bases, tanto na periferia do bloco quanto no interior do mesmo.

A verificação da precisão dos resultados do processamento da aerotriangulação deverá ser feita com o máximo de rigor, conforme já descrito.

Deverá ser feita a avaliação da acurácia posicional do bloco aerotriangulado, através da utilização de pontos de verificação, cujas coordenadas de campo devem ter a mesma precisão ou melhor que as do apoio suplementar. Os limites de tolerância deverão ser seguidos conforme o definido na seção 4.4.2.

Nesta pesquisa, todos os blocos de aerotriangulação em suas respectivas escalas fotográficas e resoluções geométricas foram aprovados quanto à precisão e acurácia posicional.

A substituição da escala 1:10.000 pela 1:8.000 pode gerar uma economia de 28,6% na fase de Aerotriangulação.

## 5.4 RESTITUIÇÃO

Considerando-se a escala da fotografia adequada para o mapeamento qualquer a resolução geométrica da imagem no valor de 24  $\mu\text{m}$  é suficiente para atender os limites estabelecidos pelo PEC, cartas classe “A”.

A substituição da escala da fotografia 1:8.000 pela 1:10.000 atendeu as acurácias posicionais horizontal e vertical para a geração de cartas classe “A” – PEC. Para tanto, faz-se necessária a utilização de imagens digitais com resolução geométrica 16  $\mu\text{m}$  no lugar de 24  $\mu\text{m}$ .

O uso de fotografias aéreas escala 1:12.000 com resolução geométrica de 16  $\mu\text{m}$ , atendeu com restrições os limites de acurácia posicional planimétrica impostos pelos testes. Foi reprovado pelos testes de acurácia posicional altimétrica.

A escala fotográfica 1:15.000 não atendeu os limites de acurácia do mapeamento urbano escala 1:2.000.

De forma geral, com a utilização da resolução geométrica da imagem no valor de 16  $\mu\text{m}$  é possível a utilização de fotografias aéreas com

uma escala menor que a usual (em torno de 25%) , para atingir a mesma acurácia posicional da carta topográfica.

## 5.5 RECOMENDAÇÕES

Os testes podem ser realizados com câmeras aéreas convencionais mais recentes (fabricação após 1980), cujos sistemas de lentes possuem uma resolução geométrica ou parâmetro AWAR maior.

Sugere-se que sejam feitas análises com outras escalas de fotografias aéreas para a geração de outras escalas dos produtos fotogramétricos. Por exemplo: mapeamento escala 1:5.000 com fotografias escala 1:20.000, 25.000 e 30.000.

As câmeras digitais de pequeno formato deverão ser submetidas aos testes comparativos de resolução geométrica versus acurácia do mapeamento gerado.

Resoluções geométricas menores como a de 8  $\mu\text{m}$ , poderão ser testadas com a utilização de processos de automação cartográfica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**, 2003, Curitiba-PR, 198 páginas.

BURTCH, R. **Cameras and Other Imaging Devices**. Center for Photogrammetric Training, Ferris State University, Michigan, USA. <http://www.ferris.edu/faculty/burtchr/sure340/notes>. Acesso em 05/10/2005.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**, 2003, Editora UFPR, Curitiba-PR, 210 páginas.

COLOMER, L.C. **First Experiences Using Digital Photogrammetric Stereo Workstations at the ICC**. 1993, Photogrammetrische Woche 1993, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo93/Colomer.pdf>. Acesso em 23/09/2005.

DECRETO LEI 89.817. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. 20 de junho de 1984, Publicação da Marinha do Brasil, Hidrografia e Navegação, 1ed, 1995, 51 páginas.

FEDERAL GEOGRAPHIC COMMITTEE. **National Standard for Spatial Data Accuracy**. 1998, Geospatial Positioning Accuracy Standards, <http://www.fgdc.gov/standards/geospatial/chapter3.pdf>, Part 3, 25 páginas.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**, 1994, Editora UFPR, Curitiba-PR, 319 páginas.

HEIPKE, C. **State-of-theArt of Digital Photogrammetric Workstations for Topographic Applications**. 1995, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61, Nº 01, pp.49-56.

HEIPKE, C. **Automatic Aerial Triangulation: Results of the OEEPE-IPRS Test and Current Developments**. 1999, Photogrammetric Week, D. Fritsch & R. Spiller, Eds.. pp.177-191.

JACOBSEN, K. **Pc-Based Digital Photogrammetry**, Workshop on data Analysis and Image Processing Techniques, 2001, Damasco. 11 páginas

JACOBSEN, K. **Photogrammetry and Geoinformation Trends for Large Scale Mapping**, 2005, Map Middle East. Dubai. 9 páginas, <http://ipi216.ipi.uni-hannover.de/index1.htm>, Acesso em 15/10/2005.

KNUDSEN, T., OLSEN, B. P. **Automated Change Detection for Updates of Digital Map Databases**. 2003, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, Nº 11, pp.1289-1296.

LEBERL, F. W. **Practical Concerns in Softcopy Photogrammetry Processing Systems**, Digital Photogrammetry – An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 1996, ASPRS, USA, pp. 230-238.

LIGHT, D. L. **The National Aerial Photography Program as a Geographic Information System Resource**. 2003, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59, Nº 01, pp.61-65.

.

LIGHT, D. L. **Film Cameras or Digital Sensors? The Challenge Ahead for Aerial Imaging**. 1996, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 62, Nº 03, pp.285-291.

LILLESAND, T. M. & KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**, 1994, 3ed., John Wiley & Sons, Inc, USA, 750 páginas.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**, 1987, Editora UFPR, Curitiba-PR, 134 páginas.

MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 1980, 4ed., American Society of Photogrammetry, USA, 1056 páginas.

MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 2005, 5ed., American Society of Photogrammetry, USA, 1100 páginas.

MAYR, W. **Aspects of Automatic Aerotriangulation**. 1995, Photogrammetric Week, D. Fritsch & R. Spiller, Eds.. pp.225-234.

MIHAJLOVIC. D., MITROVIC M., VOJINOVIC M., SOSKIC M. **Status of Orthophoto Production an Applications in Serbia**. 2004, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, C. IV, pp. 4

PATIKOVA. A. **Digital Photogrammetry in the Practice of Open Mining**. 2004, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, C. IV, pp. 4

SCHENK, T. **Fotogrametría Digital, Vol. 1**, 2002, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, Espanha, 479 páginas.

SCHOWENGERDT, R. A. **Thechniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**, 1983, Academic Press, Inc, London, England, 249 páginas.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry**, 1983, McGraw-Hill, Inc, USA, 410 páginas.

THE COMMITTEE FOR SPECIFICATIONS AND STANDARDS. **Accuracy Specification for Large-Scale Line Maps**. 1985, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, Nº 02, pp.195-199.