

MARINA ALBERTI

**O USO DO *SOFTWARE* "SPRING" NO TRATAMENTO  
DE FOTO DIGITAL E ORTOFOTO DIGITAL PARA  
ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA VETORIAL**

Dissertação apresentada para a obtenção  
do grau de mestre em Ciências no Curso  
de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Quintino Dalmolin

CURITIBA


1996

**O USO DO *SOFTWARE* "SPRING" NO TRATAMENTO DE FOTO DIGITAL E  
ORTOFOTO DIGITAL PARA ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA VETORIAL**

**POR**

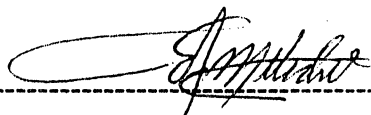
**MARINA ALBERTI**

Dissertação 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 :



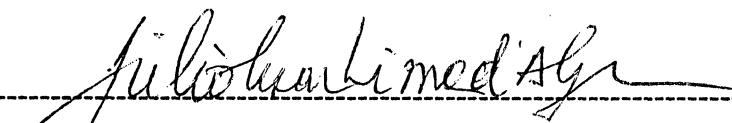
---

Prof. Dr. QUINTINO DALMOLIM - Orientador



---

Prof. Msc. EDSON APARECIDO MITISHITA - Membro



---

Prof. Msc. JÚLIO CESAR LIMA D'ALGE - Membro

## DEDICATÓRIA

À memória de minha mãe Aglacir que me mostrou o caminho do saber.

Ao meu marido Fábio pela dedicação, carinho e paciência dispendida a meu favor.

À meu pai Mário por acreditar no meu potencial.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, porque a vontade de concluir este trabalho foi sempre maior do que as dificuldades encontradas.

Ao meu orientador, Professor Doutor Quintino Dalmolin pela constante discussão de idéias e incentivo.

Ao amigo Hideo Araki e Sérgio Mauri Fabri pela demonstração de amizade verdadeira em qualquer circunstância e ocasião.

Ao Eng. Msc. Júlio Menezes, pelo apoio no desenvolvimento do presente trabalho.

Ao Eng<sup>o</sup> Guaracy Erthal pela elaboração do programa computacional que muito auxiliou na avaliação dos resultados obtidos.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que forneceu suporte técnico durante todo o período de realização da parte prática do presente trabalho, além do constante incentivo e auxílio dispendido por parte dos pesquisadores, funcionários e alunos ali matriculados.

A Empresa ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A, que gentilmente forneceu os produtos fotogramétricos utilizados nos testes.

Ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), pelo fornecimento do arquivo de restituição utilizado como arquivo a ser atualizado.

Ao Centro de Computação Eletrônica (CCE) da Universidade Federal do Paraná pelo auxílio nos problemas enfrentados no que diz respeito à entrada dos dados.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico), pela concessão de bolsa de estudo, durante a realização do curso.

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela oportunidade de realizar este Curso, possibilitando assim meu aperfeiçoamento profissional.

A todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.



## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>04</b>
<b>2.1 Considerações Gerais sobre Atualização Cartográfica.....</b>	<b>04</b>
<b>2.1.1 Procedimentos Utilizados na Atualização Cartográfica.....</b>	<b>07</b>
<b>2.2 Fotogrametria.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1 Considerações Gerais.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2 Geometria das Fotografias.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.3 Deslocamento Devido ao Relevo.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4 Deslocamento Devido à Inclinação.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.5 Combinação do Deslocamento Devido ao Relevo e à             Inclinação.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.6 Imagem Digital.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.7 Retificação Fotogramétrica.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.7.1 Retificação Polinomial.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.7.2 Retificação Projetiva.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.7.3 Retificação Diferencial.....</b>	<b>33</b>

<b>2.2.8 Ortofoto Digital.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.8.1 Método Direto.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.8.2 Método Indireto.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.8.3 Modelo Digital de Terreno.....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.8.4 Transformação Ponto por Ponto.....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.8.5 Transformação Pontos Âncora.....</b>	<b>45</b>
<b>3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO PRÁTICO REALIZADO.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Seleção da Área de Estudo.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Obtenção dos Recursos Necessários.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.1 Acervo Cartográfico.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.2 Produtos Fotogramétricos.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.3 Apoio Terrestre.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.4 Sistema de Processamento.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3 Processamento.....</b>	<b>58</b>
<b>3.3.1 Entrada dos Arquivos Vetoriais.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3.2 Entrada dos Arquivos Raster.....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.3 Registro das Imagens.....</b>	<b>62</b>
<b>3.3.3.1 Registro Imagem - Coordenada.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.3.2 Registro Imagem - Imagem.....</b>	<b>67</b>
<b>3.4 Coleta dos Dados a serem Avaliados.....</b>	<b>71</b>
<b>3.5 Dificuldades Encontradas.....</b>	<b>73</b>
<b>4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 Avaliação quanto à Variação da Escala, Ângulo de Rotação, Translação e Erro Médio Quadrático.....</b>	<b>76</b>
<b>4.2 Avaliação dos Pontos de Verificação em Relação aos Pontos de Teste.....</b>	<b>78</b>

4.2.1 Comparação entre a Restituição e a Fotografia Rasterizada.....	78
4.2.2 Comparação entre a Restituição e a Ortofoto (mosaico).....	80
4.2.3 Comparação entre a Ortofoto (mosaico) e a Ortofoto (registrada)...	82
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>84</b>
5.1 Considerações Gerais.....	84
5.2 Conclusões.....	85
5.3 Recomendações.....	86
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.1</b> - Fluxo de trabalho de atualização.....	<b>08</b>
<b>Figura 2.2.2</b> - Sistema representante da condição de colinearidade e orientação.....	<b>13</b>
<b>Figura 2.2.2.1</b> - Localização do ponto principal e fiducial na fotografia.....	<b>14</b>
<b>Figura 2.2.3</b> - Deslocamento devido ao relevo numa fotografia vertical.....	<b>16</b>
<b>Figura 2.2.3.1</b> - Deslocamento do relevo devido a inclinação da fotografia.....	<b>19</b>
<b>Figura 2.2.4</b> - Deslocamento devido a inclinação da fotografia.....	<b>21</b>
<b>Figura 2.2.5</b> - Combinação dos deslocamentos devido ao relevo e à inclinação da fotografia...	<b>23</b>
<b>Figura 2.2.8</b> - Fluxo de dados na produção de ortofotos digitais.....	<b>35</b>
<b>Figura 2.2.8.3</b> - Estrutura de dados: (a) grade retangular; (b) <i>TIN</i> .....	<b>42</b>
<b>Figura 2.2.8.4</b> - A malha regular - pouco densa - do DTM é ilustrada em (a); e a malha regular densificada - que é a malha regular da ortofoto - é ilustrada em (b).....	<b>43</b>
<b>Figura 2.2.8.4.1</b> - Sequência de transformações geométricas ponto por ponto para obtenção de ortofoto (método indireto).....	<b>44</b>
<b>Figura 2.2.8.5</b> - Sequência de transformações geométricas pontos de âncora para obtenção de ortofoto (método indireto).....	<b>46</b>
<b>Figura 3.</b> - Fluxograma da metodologia empregada para a avaliação dos dados.....	<b>48</b>
<b>Figura 3.1</b> - Localização da área de estudo.....	<b>50</b>
<b>Figura 3.2.2.1</b> - Localização das ortofotos na fotografia.....	<b>53</b>
<b>Figura 3.2.4</b> - Tamanho do retângulo envolvente da área do projeto em relação à imagem a ser importada.....	<b>57</b>
<b>Figura 3.3.1</b> - Retângulo envolvente do arquivo desatualizado.....	<b>60</b>
<b>Figura 3.3.3.1</b> - Localização dos pontos fotogramétricos, determinados pela aerotriangulação, na fotografia (rasterizada).....	<b>65</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.2.5</b> - Combinação dos deslocamentos devido ao relevo e à inclinação da fotografia.....	<b>22</b>
<b>Tabela 3.3.1</b> - Planos de informação, representados no SPRING, referentes a categoria “restituição planimétrica”.....	<b>61</b>
<b>Tabela 3.3.3.2</b> - Valores dos pontos de controle ( <i>em pixels</i> ) utilizados para registrar a fotografia rasterizada.....	<b>68</b>
<b>Tabela 3.3.3.3</b> - Valores dos pontos de controle ( <i>em pixels</i> ) utilizados para registrar a ortofoto (pr2).....	<b>70</b>
<b>Tabela 4.1.1</b> - Resultado das discrepâncias médias dos parâmetros após o <b>ajustamento</b> das observações dos pontos do arquivo de restituição e seus homólogos nos produtos fotogramétricos.....	<b>77</b>
<b>Tabela 4.2.1.1</b> - Tabela de frequência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas do arquivo de restituição e da fotografia rasterizada.....	<b>79</b>
<b>Tabela 4.2.2.1</b> - Tabela de frequência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas do arquivo de restituição e da ortofoto (mosaico).....	<b>81</b>
<b>Tabela 4.2.3.1</b> - Tabela de frequência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas das ortofoto (mosaico) e da ortofoto (registrada).....	<b>83</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 01 - LISTA DE COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE FOTO IDENTIFICÁVEIS.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 02 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE ESCOLHIDOS NA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 03 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA RESTITUIÇÃO E DA FOTOGRAFIA RASTERIZADA.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO 04 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA RESTITUIÇÃO E DA ORTOFOTO (MOSAICO).....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO 05 - COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA ORTOFOTO (MOSAICO) E DA ORTOFOTO (REGISTRADA).....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 06 - VISUALIZAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DE ALGUNS PONTOS DE TESTE DO ARQUIVO DE RESTITUIÇÃO E OS PONTOS HOMÓLOGOS DE CADA PRODUTO FOTOGRAMÉTRICO.....</b>	<b>105</b>

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a realização de testes comparativos entre um arquivo vetorial desatualizado e diferentes produtos fotogramétricos, utilizando-se o *software* SPRING, na versão 2.0. Os testes comparativos foram executados sobrepondo-se um arquivo vetorial desatualizado, representado por uma restituição de 1991, na escala 1:2.000, com 2(dois) produtos fotogramétricos a saber: uma fotografia rasterizada na escala 1:8.500, e duas ortofotos na escala 1:2.000. Os dois produtos foram obtidos a partir de um vôo fotogramétrico realizado em 1995. Utilizou-se como padrão de exatidão planimétrico nas avaliações, as especificações contidas na Legislação de Cartografia e Aerolevantamento de 1986.

## **ABSTRACT**

This paper aims at establishing comparative tests - among old-fashioned vectorial data and different photogrammetric products, by using the SPRING-2.0 software. These comparative tests were held by overlaying on old-fashioned by a restitution in 1991, scale 1:2.000, with two photogrammetric products namely: a scannerized photo at 1:8.500 scale and two ortophotos at scale 1:2.000. The two products were obtained from a photogrammetric flight which occurred in 1995. A pattern of photogrammetric precision was used as a pattern in evaluation, with specification, contained in the Cartography Legislation and Aerial Surveying (1986). Finally the obtained results as well as the comparative analysis of the vector data along with several products are presented.



## 1. INTRODUÇÃO

Para que se obtenha um planejamento eficiente do meio físico, faz-se necessário o conhecimento do espaço que o envolve. A ausência desse conhecimento pode ocasionar tomadas de decisões desastrosas.

O mapa é uma das ferramentas de trabalho que vem sendo utilizada para fornecer informações precisas a respeito do espaço físico. Estas informações permitem ao planejador traçar diretrizes para a ocupação racional do espaço físico.

Entretanto, segundo ROBBI (1990), o mapa é um registro temporal do meio físico e naturalmente não pode acompanhar as mudanças deste. Dessa forma, aquele planejador somente alcançará seus objetivos se as informações contidas no mapa estiverem atualizadas.

A grande maioria dos países, inclusive o Brasil, dispõe de boa quantidade de mapas topográficos e temáticos (VILLAREAL, 1992). Porém, a dinâmica do meio físico muitas vezes é mais rápida do que os métodos de detecção e registro das mudanças ocorridas. A crescente desatualização destes mapas é um problema que tem afetado a cartografia oficial do Brasil e de muitos países (VERGARA, 1992).

Esta desatualização no conteúdo dos mapas é agravada pelo rápido desenvolvimento de algumas regiões em relação à lentidão dos procedimentos tradicionais de atualização.

Com o advento do computador, os mapas passaram a ser produzidos e/ou transformados para o formato digital. Novos procedimentos têm sido desenvolvidos, entre eles os sistemas de processamento de imagens e sua interação entre as áreas de

possibilitaram uma melhor qualidade na produção e, conseqüentemente, no processo de atualização dos mapas e cartas, usando imagens em formato digital.

Por isso, faz-se necessário reavaliar os métodos e procedimentos, buscando a diminuição de tempo e de custo para a atualização de cartas e mapas, sem prejudicar a sua precisão geométrica.

Levando em consideração os antecedentes mencionados, a presente dissertação tem por objetivo analisar diferentes produtos fotogramétricos, em meio digital, para verificar a possibilidade de utilização dos mesmos em atualizações sistemáticas de mapas e cartas (no formato vetorial), utilizando o *software* “SPRING”.

Para se proceder às análises foi utilizado como informação antiga um arquivo vetorial desatualizado, em meio digital, de um bairro de Curitiba e, como produtos fotogramétricos, fotografias aéreas mais recentes da mesma área, também em meio digital, conforme é apresentado a seguir:

- uma fotografia aérea rasterizada, e;
- duas ortofotos.

A fotografia aérea rasterizada apresenta deslocamentos da imagem devido às inclinações da câmera fotogramétrica, no instante da tomada das fotografias, devido à projeção ser central, e também devido ao relevo topográfico. Na ortofoto, a projeção é ortogonal e os deslocamentos devido ao relevo foram removidos através do método de retificação diferencial.

A presente dissertação se apresenta organizada em 5 (cinco) capítulos, da seguinte forma :

O capítulo II revê os conceitos básicos sobre atualização cartográfica e fotogrametria. De acordo com o escopo desta pesquisa, são abordados os deslocamentos

geométricos ocorridos nas fotografias aéreas e o desenvolvimento teórico para a produção da fotografia rasterizada e da ortofoto, em meio digital.

O capítulo III descreve os testes realizados em função das restrições encontradas durante o desenvolvimento do trabalho.

O capítulo IV apresenta os resultados obtidos e uma avaliação dos aspectos considerados de maior interesse referidos a esta aplicação prática.

No capítulo V se comentam as principais conclusões e algumas recomendações para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Considerações Gerais sobre Atualização Cartográfica**

Através dos tempos a cartografia tem acompanhado o homem e contribuído de forma decisiva no seu progresso, planejamento e modernização. Ao percorrer-se a história da humanidade verifica-se que desde o princípio a confecção de documentos cartográficos sempre esteve presente, tanto para solucionar problemas práticos (militares e/ou administrativos) quanto para representar a forma da Terra. Segundo RAIZ (1969), citado por QUEIROZ (1993), a habilidade do traçado de documentos cartográficos precede a fase da escrita.

Os mapas constituem uma representação gráfica de determinado espaço geográfico de interesse que contém as informações de caráter natural e artificial da superfície terrestre num determinado período de tempo. Seu conteúdo varia em função da escala, dos métodos utilizados para a obtenção dos dados, e principalmente da utilização que se pretende dar aos mesmos (TARACIEVICZ, 1991).

O mapa é uma representação gráfica temporal do espaço físico num determinado instante, ou seja, uma representação estática do meio, enquanto que a realidade do espaço físico é dinâmica, ou seja, altera-se continuamente.

Este fato pode parecer de pouca importância, porém há casos em que as alterações do meio são tão rápidas que, uma vez registradas as informações necessárias para se gerar um mapa ou carta, para um certo instante, o fator dinâmico do meio físico já tornou desatualizadas as informações contidas nesse documento antes mesmo de concluído; e conseqüentemente, novos elementos devem ser adicionados e/ou eliminados

do mesmo. Dessa forma, para que os mapas ou cartas representem a verdadeira situação do meio que representam e garantam a utilidade das informações contidas nestes mapas ou cartas, há a necessidade de que sejam atualizados, principalmente onde as alterações ocorrem mais rapidamente. Esse dinamismo do espaço físico exige que a atualização cartográfica seja executada de forma permanente, uma vez que objetiva a manutenção do mapa ou carta (ROBBI, 1991).

Deve-se definir uma política de atualização para que se estabeleça um planejamento adequado e atuante para a atualização das cartas já editadas, com definição de prioridades de acordo com a maior ou menor alteração das cartas com o tempo, propiciando um programa eficaz e ininterrupto de atualização.

Embora presente ao longo da evolução cartográfica, a atualização cartográfica no Brasil não teve o destaque necessário dentro das empresas e órgãos responsáveis pela geração de cartas e mapas. Tais organizações estruturaram-se fundamentalmente para a produção de cartas e mapas (VIADANA, 1995), e não com sua manutenção.

Deve-se enfatizar que a atualização cartográfica é *“uma tarefa inesgotável e que, em muitos casos, tem prioridade sobre a elaboração de novas cartas para regiões ainda não cartografadas”* (LUGNANI, 1985).

Atualmente, o Brasil dispõe de boa quantidade de mapas e cartas que vêm se desatualizando gradativamente. Alguns órgãos têm desenvolvido suas próprias técnicas de atualização, executando apenas alterações esparsas ou em pequenas regiões com precisão inferior ao original cartográfico, enquanto que outros aguardam que o volume de alterações atinjam um certo grau, para refazerem o original integralmente. Assim, com o intuito de se atender demandas urgentes e menos exigentes em termos de qualidade, opta-se por atualizações provisórias e deveras grosseiras. Há, portanto, a necessidade de que se desenvolvam metodologias que conciliem rapidez, economia e qualidade.

Fatores como a falta de recursos financeiros pelos quais vem atravessando o país, aliadas à contratação de profissionais qualificados, o melhoramento e agilização das técnicas já existentes, graças aos recursos computacionais (tanto em *hardware* quanto em *software*) e o surgimento de novas tecnologias (sensores remotos, sistemas de informação geográfica) abrem perspectivas para que se pratique a atualização cartográfica com um mínimo de qualidade.

Muitas vezes, a falta de conhecimento e de capacidade organizacional para o aprimoramento das novas tecnologias, e não apenas a falta de recursos tecnológicos e financeiros, são os responsáveis pela deficiência de atualização cartográfica tanto no âmbito nacional quanto internacional (JACOBSEN, 1991 in VIADANA, 1995).

MÜLLER (1991), citado por VIADANA (1995), afirma que os princípios básicos e a metodologia cartográfica não sofreram alterações, apesar das grandes mudanças tecnológicas.

Com a popularização da tecnologia digital, a tendência em âmbito mundial é de transformar os usuários em produtores. A cartografia ganha muito em flexibilidade e praticidade, mesmo estando sujeita a algumas restrições tais como memória de armazenamento e tempo de processamento. Porém, deve-se tomar alguns cuidados, uma vez que profissionais despreparados ou inabilitados, ao terem acesso a novas informações, novos equipamentos, novos programas, podem acabar produzindo mapas e cartas com apresentação atraente e sofisticada, porém sem a qualidade e exatidão cartográfica exigida (VIADANA, 1995). Dessa forma torna-se importante o treinamento do pessoal operador e a supervisão dos trabalhos por profissionais qualificados na área da cartografia.

### 2.1.1 Procedimentos Utilizados na Atualização Cartográfica

Segundo VIADANA (1993) a atualização cartográfica pode ser executada através de fotografias aéreas, fotografias extraterrestres ou por imagens de satélite; além desses, LOCH (1994), inclui o levantamento topográfico, fotografias aéreas de pequeno formato, e sensor aerotransportável. Dos produtos aqui citados, os principais métodos de atualização cartográfica se utilizam de fotografias aéreas e imagens de satélites.

De acordo com LUGNANI (1985) e VIADANA (1995), três operações principais envolvem o processo de atualização:

1. detecção das mudanças ou alterações ocorridas no espaço objeto (terreno);
2. posicionamento de novas feições no original, remoção das feições não mais existentes e verificação de campo; e,
3. processamento do original.

Tais operações podem ser visualizadas no fluxo de trabalho apresentado na.

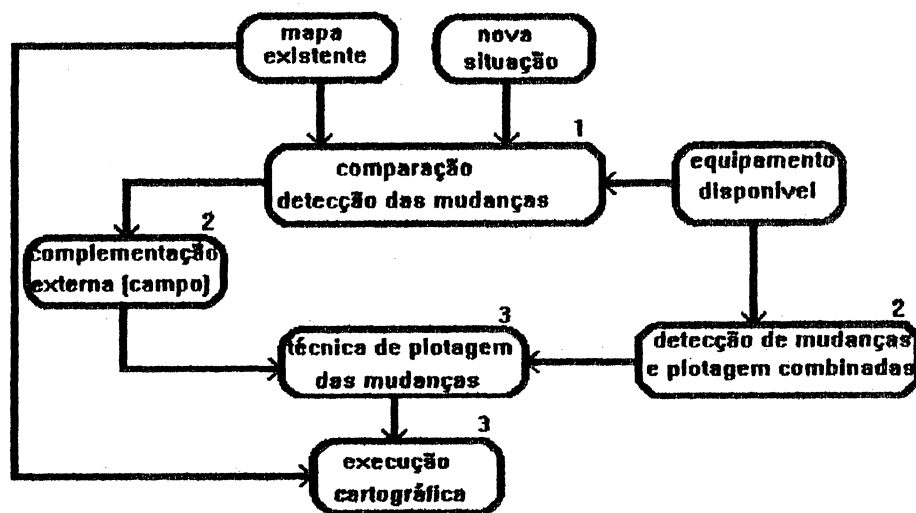
#### Figura 2.1.1.

A distinção entre atualização cartográfica e remapeamento está exatamente nas operações acima citadas (ROBBI, 1990). No remapeamento refaz-se todo o mapa ou carta, ou seja, não são consideradas as mudanças ocorridas no espaço físico, não havendo assim o acréscimo das mesmas sobre os mapas antigos.

Uma das operações consideradas como essencial numa atualização cartográfica é a “*detecção de mudanças*”. Algumas das fontes para a obtenção de detecção de mudanças (LUGNANI, 1995 e ROBBI, 1990) são:

1. informações provenientes de órgãos públicos que manipulem diariamente os dados do meio físico, e conseqüentemente acompanhem suas alterações (companhias de energia elétrica e telefônica, prefeitura, etc.);

2. comparação de um conjunto de fotografias aéreas atuais, ou imagens de satélite atuais, com as antigas ou mapas existentes; e,
3. comparação do mapa existente com a situação local por constatação direta no terreno.



**Figura 2.1.1** - Fluxo de trabalho de atualização

**FONTE:** ROBBI, (1990) p.66

A capacidade de comparação visual para detectar mudanças entre o mapa desatualizado e as fotografias ou imagens está, em grande parte, relacionada à qualidade da atualização. A comparação entre o mapa a ser atualizado e as fotografias ou imagens atuais deve ser executada com a utilização de algum processo ótico ou computacional que permita sobrepôr o mapa a ser atualizado com as imagens atuais. Na maioria dos métodos utilizados, a etapa de detecção de mudanças, além de lenta e cansativa, torna o processo mais susceptível de erros e imperfeições (VIADANA, 1995).



Segundo LUGNANI (1985), existe grande diversidade de procedimentos, desde os convencionais até os modernos, que podem ser utilizados para a atualização cartográfica. Esta diversidade é função de muitos fatores, tais como:

- a. quantidade de variações ocorridas;
- b. qualidade requerida do produto da atualização;
- c. qualidade do mapa original;
- d. recursos de pessoal e instrumental disponíveis; e,
- e. escala do mapa.

A sistemática a ser adotada para executar a atualização cartográfica dependerá, principalmente, da escala da carta a ser atualizada, do *tipo* e do *método* de atualização.

Quanto ao *tipo* de atualização, visando a manutenção dos mapas e cartas, estas podem ser divididas em :

1. *atualização rápida* : a partir de critérios pré-estabelecidos são atualizados os elementos considerados mais importantes;
2. *atualização parcial* : apenas partes pré-selecionadas do mapa ou alguns elementos particulares são atualizados; e,
3. *atualização completa* : como o próprio nome o diz, atualização de todos os elementos modificados. Neste processo a carta é sempre mantida atualizada.

Os três *métodos* principais utilizados para a atualização que consideram o intervalo de tempo entre as atualizações de mapas são:

1. *atualização cíclica* : a atualização é executada a intervalos de tempo pré-determinados (todo ano, cada cinco anos, etc.) e, conseqüentemente, durante o período entre as publicações dos mapas revisados, não são editadas as mudanças do meio;

2. *atualização seletiva* : é aquela determinada por uma ordem de prioridade, que pode estar relacionada à urgência da demanda ou pela quantidade de mudança do meio físico de uma determinada área ou região, e não por um período de tempo fixo; e,
3. *atualização contínua* : o processo de atualização é constante, ou seja, a qualquer mudança ocorrida no meio, a carta ou mapa é atualizado de imediato.

A atualização ideal seria aquela contínua e completa, porém o processo de produção de cartas envolve técnicas muito onerosas e complexas. No entanto, com o crescente desenvolvimento computacional, pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando a criação de novos métodos e equipamentos a serem empregados na atualização cartográfica (VILLAREAL, 1992), inclusive soluções integrando os conhecimentos cartográficos com sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas, visando tornar mais fácil e menos oneroso tal trabalho.

No que se refere a fotografias aéreas, as técnicas utilizadas vão desde as chamadas convencionais até as mais modernas que utilizam fotos e ortofotos digitais.

No caso da utilização de técnicas digitais, os procedimentos transformam a imagem digital para o espaço do mapa, onde a foto atual e o mapa a ser atualizado são transformados em arquivos digitais. Por comparação pode-se detectar as mudanças e efetuar as alterações que se façam necessárias.

Os aspectos mais importantes na criação de arquivos digitais, segundo CALKINS (1990), citado por VIADANA (1995), são :

1. o volume de dados; e,
2. o processo de conversão analógico/digital, ou digitalização.

A característica básica para o tratamento de informações espaciais é a compatibilidade do formato de dados.

## 2.2 Fotogrametria

### 2.2.1 Considerações Gerais

A *fotogrametria* é a arte, ciência e tecnologia de obter informações seguras acerca de objetos físicos e do meio. através de processos de registro, medições e interpretações de imagens fotográficas e padrões de energia registrados (ASP, 1980).

De acordo com a posição da câmera, a finalidade e a tecnologia empregada, a fotogrametria pode ser classificada em (ASP, 1980):

a) *Fotogrametria Terrestre* - as fotografias são obtidas a partir de estações fixas, em posições determinadas sobre o terreno, com o eixo óptico da câmera aproximadamente na horizontal ou com a elevação conhecida;

b) *Fotogrametria Aérea* - as fotografias são obtidas a partir de uma câmera montada na plataforma de uma aeronave, com o eixo óptico aproximadamente na vertical ou inclinado; e,

c) *Fotogrametria Extraterrestre* - as fotografias são obtidas a partir de satélites artificiais ou de outros equipamentos que se encontrem localizados no espaço extraterrestre.

O presente trabalho reporta-se apenas à *fotogrametria aérea*, especificamente às fotografias aéreas retificadas e ortofotos, em meio digital.

A fotogrametria tratada em meio digital, e também conhecida como fotogrametria digital, conceitualmente se distingue das fotogrametrias analógica, semi-analítica e analítica, por utilizar como fonte de dados, imagens digitais, provenientes de câmeras digitais (CCD) ou rasterizadas (através de um *scanner*), e emprega técnicas de

processamento digital de imagens, além dos modelos matemáticos desenvolvidos na fotogrametria analítica (FREITAS, 1995).

As fotografias aéreas podem ser classificadas em *verticais* ou *inclinadas*, em função da inclinação do eixo ótico da câmera no momento da tomada da fotografia.

Na prática, é muito difícil a obtenção de fotografias com o eixo da câmera exatamente na vertical devido aos movimentos da plataforma durante o deslocamento para a tomada das fotos. Por esta razão, nas fotografias aéreas verticais tolera-se uma inclinação máxima de  $3^{\circ}$  (três) graus do eixo ótico em relação à vertical.

Para o caso de uma fotografia aérea exatamente vertical, cujo terreno seja exatamente plano, a sua escala é constante em toda a fotografia. Independente da posição dos pontos no terreno, em relação à fotografia, o valor da escala da fotografia será sempre a mesma, nestes pontos considerados (DISPERATI, 1995).

Em contrapartida, devido às variações de altitude de ponto para ponto no terreno, a escala de uma fotografia aérea vertical será uma escala média, referida a um plano médio do terreno, tomada a uma altitude  $H$  da aeronave de vôo.

### **2.2.2 Geometria das Fotografias**

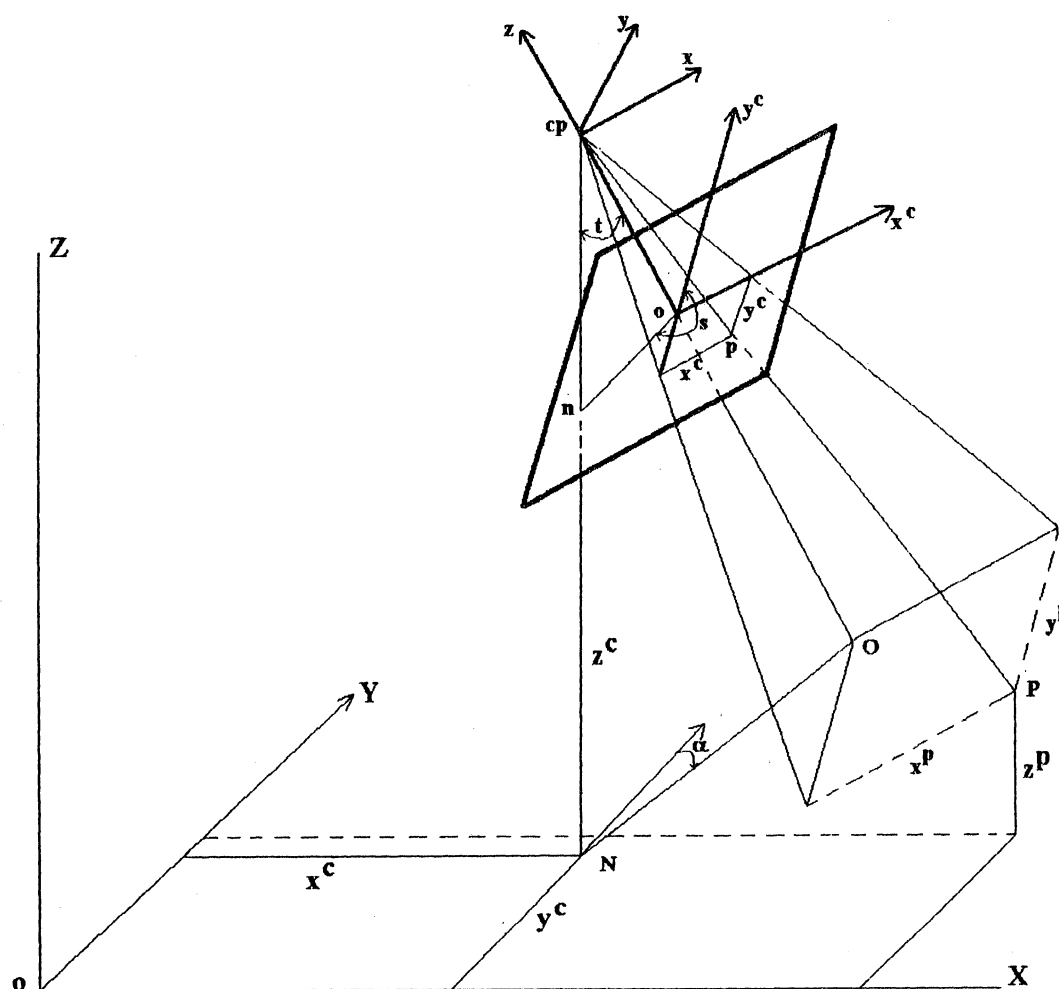
A possibilidade de realizar medidas ou construir mapas a partir de uma fotografia se caracteriza pelas relações geométricas existentes entre as posições de cada ponto do espaço imagem e suas correspondentes posições no espaço objeto. Estas relações podem ser estabelecidas pelas equações de colinearidade (VIEIRA, 1995).

O princípio da condição de colinearidade institui que o ponto objeto ( $P$ ), o ponto imagem ( $p$ ) e o centro perspectivo ( $cp$ ) pertencem a uma mesma reta. Todas as retas que

unem os pontos imagem com os seus respectivos pontos no espaço objeto se cruzam no centro perspectivo formando um cone invertido (para o negativo).

Ao se considerar a condição de colinearidade e o fato do centro perspectivo (cp) ser único para cada fotografia, a geometria que relaciona a imagem ao seu objeto é denominada *perspectiva cônica* (VIEIRA, 1995) ou *projeção central*.

Considere-se que a **Figura 2.2.2** represente dois sistemas de coordenadas, um fotográfico e outro de terreno, transladados, não paralelos e com diferentes escalas.

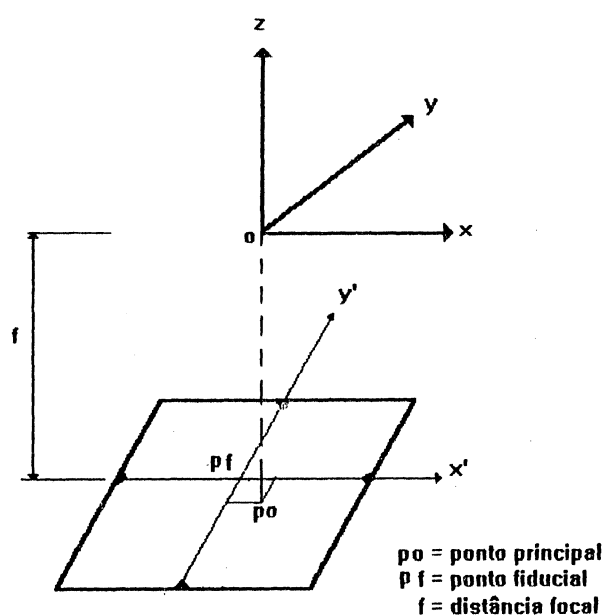


**Figura 2.2.2** - Sistema representante da condição de colinearidade e orientação

**FONTE:** LUGNANI, (1987) p.75

Ao se projetar verticalmente o centro perspectivo sobre os planos da fotografia e do terreno, determinam-se dois pontos  $\underline{n}$  e  $\underline{N}$ , denominados respectivamente de *nadir fotográfico* e *nadir de terreno* (DALMOLIN, 1992).

O *ponto principal* ( $po$ ) é determinado pela interseção da perpendicular baixada do centro perspectivo ao plano fotográfico. Nas fotografias, o *ponto fiducial* ( $pf$ ) é determinado pela interseção das retas que passam pelas marcas fiduciais de lados opostos (Fig. 2.2.2.1).



**Figura 2.2.2.1** - Localização do ponto principal e fiducial na fotografia.

Chama-se de *plano principal* o plano que contém os pontos nadir fotográfico, centro perspectivo e ponto principal da fotografia. Chama-se *linha principal*, à linha **no** determinada no plano da fotografia com projeção no plano do terreno em **NO** (DALMOLIN, 1992).

Ainda da **Figura 2.2.2**, pode-se estabelecer 3 (três) ângulos de rotação, que determinam :

1. *azimute da fotografia* ( $\alpha$ ) - contado a partir do eixo  $y$  do terreno, no sentido horário, até a linha **NO** do plano principal;
2. *inclinação da fotografia* ( $t$ ) - formado pela vertical local da estação de exposição e o eixo da câmera;
3. *balanço da fotografia* ( $s$ ) - medido no plano da fotografia, no sentido horário, desde o eixo  $y$  (positivo) até a linha principal.

Segundo DALMOLIN (1992), o sistema de orientação de uma fotografia é definido pelos parâmetros  $X^c, Y^c, Z^c, w, \varphi$  e  $k$ , e a relação matemática entre as coordenadas dos dois sistemas é representada pelas *equações de colinearidade*, que é dada por:

$$x = \frac{m_{11}(X^c - Y^c) + m_{12}(Y - Y^c) + m_{13}(Z - Z^c)}{m_{31}X(X - X^c) + m_{32}(Y - Y^c) + (Z - Z^c)} \cdot (-f) \quad \text{2.2.2 (a)}$$

$$y = \frac{m_{21}(X^c - Y^c) + m_{22}(Y - Y^c) + m_{23}(Z - Z^c)}{m_{31}X(X - X^c) + m_{32}(Y - Y^c) + (Z - Z^c)} \cdot (-f) \quad \text{2.2.2 (b)}$$

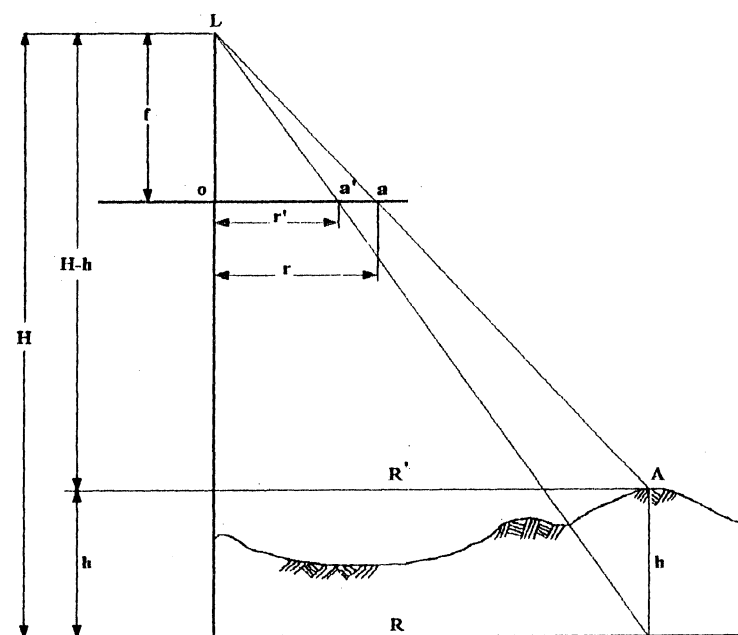
onde:

- $x, y$  - coordenadas do sistema fotográfico (espaço imagem);
- $X, Y, Z$  - coordenadas do sistema local (espaço objeto);
- $X^c, Y^c, Z^c$  - coordenadas do centro perspectivo no sistema local;
- $f$  - distância focal calibrada; e,
- $m_{11} \dots m_{33}$  - elementos da matriz ortogonal de rotação  $M$  do sistema do espaço imagem com respeito ao espaço objeto.

As equações 2.2.2 (a) e 2.2.2 (b) relacionam as fotocoordenadas  $(x, y)$  e as coordenadas de terreno  $(X, Y, Z)$ . Mais detalhes a respeito do assunto podem ser obtidos em MOFFITT (1980), WOLF (1983), LUGNANI (1987) e ALMEIDA (1989).

### 2.2.3 - Deslocamento Devido ao Relevo

Considere-se a **Figura 2.2.3**, uma fotografia perfeitamente vertical, cujo relevo apresente variações em altitude e um ponto  $A$  situado à altitude  $h$ .



**Figura 2.2.3** - Deslocamento devido ao relevo numa fotografia vertical

**FONTE :** MOFFITT (1980), p. 67

A relação do deslocamento devido ao relevo entre pontos situados em uma mesma perpendicular ao plano objeto é dada por:



$$d = (r - r') = \frac{h \cdot r}{H} \quad \text{2.2.3 (a)}$$

onde:

$d = (r - r')$  representa o deslocamento devido ao relevo, medido a partir do ponto principal nas fotografias aéreas verticais;

$r$  é a distância medida radialmente sobre a fotografia a partir do ponto principal à imagem do ponto;

$h$  é a altitude do ponto;

$H$  é a altitude de vôo na tomada da foto.

Segundo GARCIA(1982) e conforme mostra a equação 2.2.3 (a), o deslocamento do relevo nas fotografias aéreas é:

- a) diretamente proporcional à altura da elevação;
- b) diretamente proporcional à distância radial do ponto principal à imagem do ponto; e,
- c) inversamente proporcional à altitude de vôo ( $H$ ) sobre o terreno.

O problema da representação cartográfica estaria resolvido se todas as partes do terreno pudessem ser representadas na mesma escala. A variação do relevo torna tal igualdade impossível e por essa razão utiliza-se uma *escala média*. Essa *escala* é dada pela relação entre a distância focal da lente ( $f$ ) e a altitude de vôo ( $H$ ), admitindo-se que o plano das fotografias está paralelo ao plano de referência.

$$e = \frac{f}{H} \quad \text{2.2.3 (b)}$$

Por se tratar de uma projeção central, ocorrerão deslocamentos a partir do ponto principal da fotografia, uma vez que este é o único ponto onde as imagens são representadas em projeção ortogonal, para fotografias verticais.

A geometria de uma foto inclinada é mais complexa. Nela são consideradas também as variáveis relativas à posição do ponto com respeito à linha principal e o eixo de inclinação, além da distância focal da câmera, da altitude de vôo e da distância radial a partir do ponto nadir fotográfico até a imagem e da diferença de altitude (DALMOLIN, 1992; DISPERATI, 1995).

A **Figura 2.2.3.1** mostra como se comportam as imagens tomadas por uma fotografia inclinada, ou seja, que os pontos nadir fotográfico **n**, isocentro **i** e ponto principal **o** não coincidem. O eixo de inclinação da fotografia é dado pela reta que passa pelo isocentro e é perpendicular à linha **no**. Os pontos do terreno, **A** e **B**, têm suas imagens representadas sobre a fotografia em **a** e **b**; da mesma forma, os mesmos pontos (**A** e **B**) tomados na superfície de referência (datum) e denominados de **A'** e **B'** têm suas imagens representadas por **a'** e **b'**. Os segmentos de reta formados por (**n**, **a'** e **a**) e (**n**, **b'** e **b**) formam planos verticais coincidentes que estão contidos no plano da fotografia.

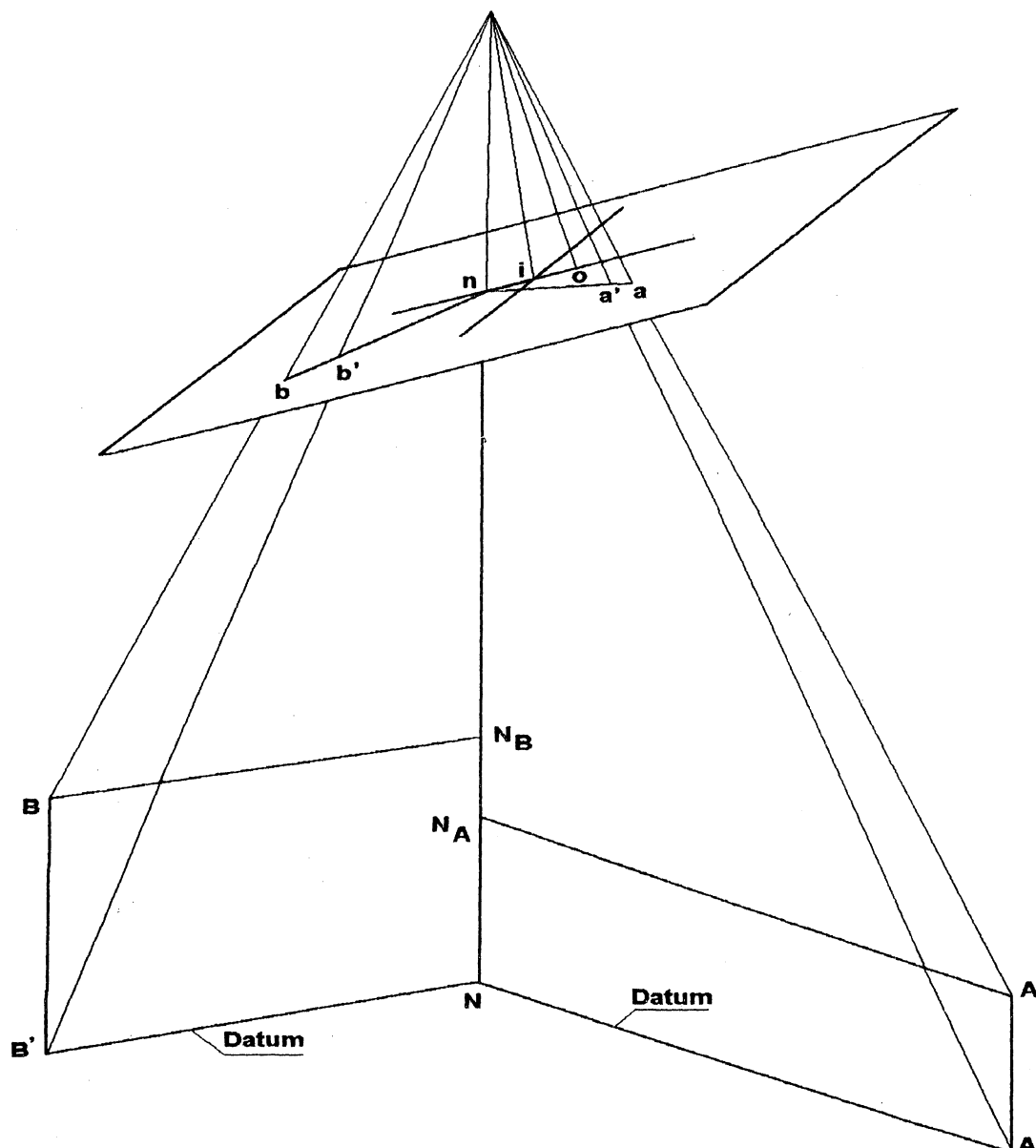
Dessa forma, pode-se afirmar que, numa fotografia inclinada, o deslocamento devido ao relevo não será dado a partir do ponto principal, e sim de forma radial ao longo de uma linha a partir do ponto nadir fotográfico **n** (DALMOLIN, 1992).

A **Figura 2.2.3.1** mostra que o deslocamento devido à variação do relevo é menor na metade da fotografia acima do eixo de inclinação e maior na outra metade (DALMOLIN, 1992).

#### **2.2.4 Deslocamento Devido à Inclinação**

Como mencionado nos itens anteriores, é mera obra do acaso que os pontos nadir fotográfico, isocentro e ponto principal coincidam. Isto significa dizer que o plano da

fotografia não está paralelo ao plano de referência e que o eixo da fotografia em relação ao sistema de coordenadas do objeto tem inclinações. Tal fato se deve às condições atmosféricas que provocam sobre a aeronave movimentos que tornam praticamente impossível a tomada de fotografias estritamente verticais.



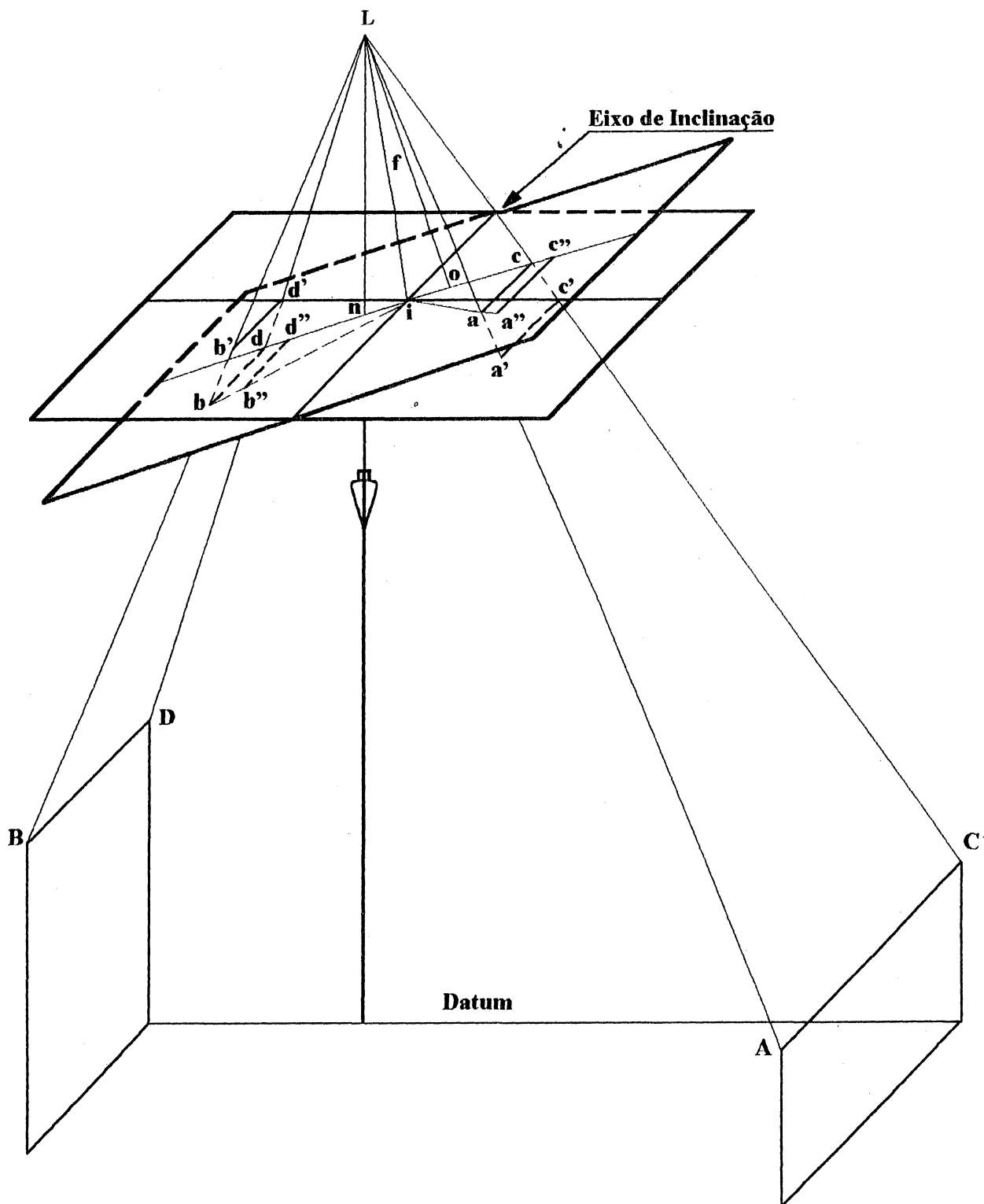
**Figura 2.2.3.1 - Deslocamento do relevo devido a inclinação da fotografia**

**FONTE : DALMOLIN, 1992. p. 13**

Segundo ASP(1980), DALMOLIN(1992) e DISPERATI(1995), o deslocamento da imagem devido à inclinação se dá radialmente a partir do *isocentro*. Isto pode ser comprovado através da **Figura 2.2.4**, que mostra a situação de duas fotografias tomadas a partir de uma mesma posição, porém uma com o eixo ótico perfeitamente na vertical e a outra com uma inclinação qualquer. Os pontos **A**, **B**, **C** e **D** da figura, representam pontos quaisquer sobre o terreno imageado, com altitude determinada a partir de um plano de referência (datum). As imagens destes pontos na fotografia inclinada estão representadas, respectivamente, por **a**, **b**, **c** e **d**, e na fotografia vertical por **a'**, **b'**, **c'** e **d'**. Se a fotografia vertical for rotacionada em torno do eixo de inclinação até o plano de inclinação da fotografia inclinada, as imagens dos pontos **a**, **b**, **c** e **d** serão deslocadas para **a''**, **b''**, **c''** e **d''**, e não para **a'**, **b'**, **c'** e **d'**. Observa-se também que as imagens dos pontos **a'** e **c'**, na fotografia inclinada, representadas pelos pontos **a''** e **c''**, se encontram deslocadas para fora, enquanto que a imagem dos pontos **b'** e **d'**, representadas pelos pontos **b''** e **d''**, estão deslocadas para dentro. Isso mostra que o deslocamento da imagem dos pontos em fotografias inclinadas se dá realmente a partir do isocentro (DALMOLIN, 1992).

As inclinações provocarão deslocamentos dos pontos imagem e os seguintes efeitos:

- a) variações da escala fotográfica (segundo DISPERATI, 1995, a fórmula que permite calcular estes deslocamentos, pode ser encontrada em WOLF, 1988, cap.11);
- b) não conformidade ou seja, a variação do tamanho da área fotografada;
- c) deformação de áreas.



**Figura 2.2.4 - Deslocamento devido a inclinação da fotografia**

**FONTE :DALMOLIN, 1992. p. 16**

### 2.2.5 Combinação do Deslocamento Devido ao Relevo e à Inclinação

Os efeitos combinados dos deslocamentos devido ao relevo e à inclinação nas fotografias aéreas são bastante complexos e segundo DALMOLIN(1992), “são relevados em Fotogrametria pelo fato de que as quantidades e direções devido à inclinação são randômicas e de difícil determinação”.

A **Figura 2.2.5** ilustra essa complexidade através de 3 (três) posições diferentes relativas à imagem dos pontos **a**, **b**, **c**, **d** e **e**, em uma fotografia inclinada.

As três posições estão assim determinadas:

- a) **posição 1** - representa a posição da imagem do ponto relativo ao datum;
- b) **posição 2** - representa a posição da imagem do ponto após ter sofrido o deslocamento devido ao relevo, e,
- c) **posição 3** - representa a posição da imagem do ponto após ter sofrido o deslocamento devido à inclinação da fotografia.

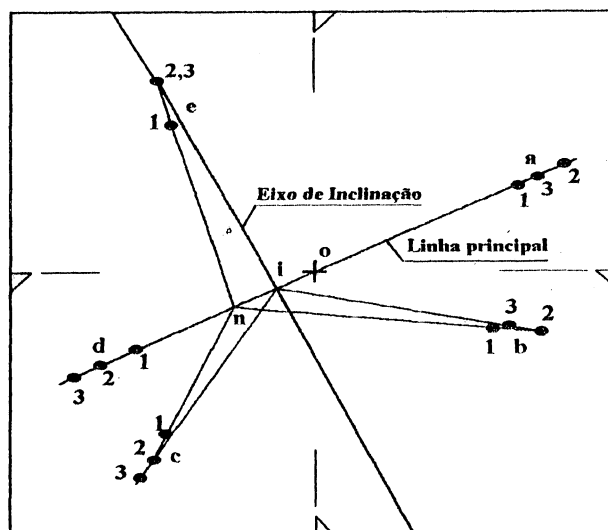
**Tabela 2.2.5** - Combinação dos deslocamentos devido ao relevo e à inclinação da fotografia.

Ponto	Deslocamento
a	$\Delta T_a = \Delta r_{12} - \Delta i_{23}$
b	$\Delta T_b = \Delta r_{12} - \Delta i_{23}$
c	$\Delta T_c = \Delta r_{12} + \Delta i_{23}$
d	$\Delta T_d = \Delta r_{12} + \Delta i_{23}$
e	$\Delta T_e = \Delta r_{12} - \Delta i_{23}$

$\Delta T$  = deslocamento total do ponto;

$\Delta r$  = deslocamento devido ao relevo, e;

$\Delta i$  = deslocamento devido à inclinação da fotografia.



**Figura 2.2.5** - Combinação dos deslocamentos devido ao relevo e à inclinação da fotografia.

**FONTE** :DALMOLIN, 1992. p. 17

Ao se observar o comportamento das 3 (três) posições em cada ponto, pode-se concluir que:

- a) para os pontos **a** e **b** o deslocamento tende a se anular;
- b) para os pontos **c** e **d** o deslocamento tende a ser acumulado; e,
- c) para o ponto **e** não há deslocamento devido à inclinação, uma vez que o ponto está sobre o eixo de inclinação, que é a reta de interseção entre os planos da fotografia inclinada e fotografia vertical.

### 2.2.6 Imagem Digital

Uma superfície é o limite de uma região tridimensional definida por um conjunto infinito de pontos  $(X, Y, Z)$  no espaço (SALAZAR JR, 1995). Uma imagem é o

resultado do registro da energia refletida, emitida e/ou transmitida de diferentes partes do espectro eletromagnético desta superfície (HARADA, 1989). Ao se tentar representar algo contínuo (tal como a superfície terrestre), há a necessidade de se obter os dados de forma contínua..

Uma cena registrada por uma fotografia pode ser representada por uma *função contínua* que de algum modo represente a intensidade de luz refletida em cada ponto ( $x$ ,  $y$ ). Esta função será definida para o domínio  $D$  da imagem, e os valores que ela assume são representados por valores reais inteiros e não negativos, de intensidade  $G$  (HARADA, 1989). Entretanto, no momento de se recuperar a porção do perfil original depara-se com uma inevitável perda de informação.

Uma vez que se torna impraticável descrever tal função de forma contínua, devido a limitação na capacidade de lidar com a grande quantidade de dados a serem armazenados e processados, se faz necessário que a descrição destes valores seja executada através de valores para um conjunto discreto de pontos.

Dessa forma pode-se dizer que as *imagens digitais* são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de malha ou grade retangular igualmente espaçada, onde cada elemento desta malha representa a radiância média de uma parcela do objeto fotografado que é denominado pixel. Sua localização é definida em um sistema de eixos por um par de coordenadas ( $x$ ,  $y$ ) ao qual é associado um valor numérico  $g(x, y)$ , que representa a intensidade da energia eletromagnética (refletida ou emitida) medida pelo sensor, correspondente ao tamanho do pixel (HARADA, 1989; ASP, 1983; GONZALEZ & WOODS, 1992).

Dessa forma, uma imagem digital de uma determinada área do espaço objeto será representada por:

$$G(x, y, g(x, y))$$



onde :

$x, y$  representam a posição de cada elemento; e,

$g(x, y)$  representa o nível de cinza do elemento.

Este valor numérico representado por  $g(x, y)$  é também conhecido pelas denominações: número digital, valor de brilho ou valor de pixel (OLIVAS, 1995). O nível de cinza de cada pixel está contido em uma escala de tons de cinza, que pode variar do preto ao branco, assumindo valores de 0(zero) a 255(duzentos e cinquenta e cinco), respectivamente (HARADA, 1989; OLIVAS, 1995).

Segundo OLIVAS (1995) o valor de  $g(x, y)$  pode ser considerado como função de duas componentes :

- $i(x, y)$ , que representa a quantidade de energia incidente (determinada pela fonte de energia); e,
- $r(x, y)$ , que representa a quantidade de energia refletida (função das características dos objetos da cena imagiada).

Deve-se ressaltar que o valor numérico de um pixel corresponde sempre à média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais nesse pixel. Tanto o número de *pixels* que compõem a imagem como a variação da escala de tons de cinza são variáveis (ASP, 1983; OLIVAS, 1995).

Uma imagem analógica pode ser transformada para o formato digital através do processo de digitalização ou transformação analógico/digital (A/D). A conversão analógico/digital discretiza a função contínua do sinal analógico em dois eixos coplanares,  $x$  e  $y$ , com intervalos fixos.

Segundo OLIVAS (1995), podem ser utilizados dois tipos de equipamentos para a obtenção de uma imagem no formato digital :

1. *câmeras digitais* - estas câmeras obtêm a imagem diretamente no formato digital. Constituem-se de sistemas fotográficos que possuem lentes, para a focalização da imagem, e diafragmas, para o controle da intensidade luminosa, semelhantes aos de uma câmera fotográfica convencional; porém, ao invés de filmes, são utilizados arranjos de elementos fotosensores que captam a luz proveniente do objeto a ser fotografado, transformando-a em sinal elétrico e em seguida convertendo-a em informação digital.

2. *digitalizadores ou scanners* - estes sistemas convertem imagens analógicas em imagens digitais. Para a obtenção de produtos de qualidade, são utilizados os *scanners* de alta precisão. Tais dispositivos apresentam, porém, alto custo. De acordo com DELAZARI(1995), o mercado apresenta atualmente dispositivos com uma resolução que varia de 8 a 165  $\mu m$  e a imagem pode ser capturada com 8 bits (monocromática) ou com 24 bits (colorida). A *rasterização* em cores requer três passos através de filtros vermelho, verde e azul.

Ainda de acordo com OLIVAS (1995), um equipamento de conversão analógico/digital deve satisfazer as exigências da finalidade à que serão destinadas as imagens digitalizadas. Entre outras, pode-se citar a resolução geométrica, a resolução radiométrica, o tamanho da imagem, a precisão geométrica e a possibilidade de uso de imagens coloridas e o formato do arquivo digital resultante.

### **2.2.7 Retificação Fotogramétrica**

Para que seja possível efetuar medições precisas diretamente sobre as fotografias é necessário que as mesmas sejam isentas de inclinações e corrigidas dos deslocamentos do relevo (VIEIRA, 1995).

Segundo TAVARES & FAGUNDES (1991), a retificação é o processo de transformação de uma imagem fotográfica isolada, de eixo ótico inclinado, em projeção central e tomada de uma determinada altura de vôo, para uma outra imagem, de eixo ótico vertical, ainda em projeção central e em escala ajustada à altura de vôo, fixada em função da distância focal da câmera aerofotogramétrica. Tal transformação consiste em determinar a localização e atitude da câmera no instante da tomada da fotografia.

Segundo os mesmos autores, na transformação de uma fotografia de eixo ótico inclinado, em uma fotografia de eixo vertical, eliminam-se os deslocamentos das imagens devido a essa inclinação. Uma vez que a nova imagem permanece em projeção central, mantêm-se os deslocamentos decorrentes do relevo.

Os deslocamentos devido ao relevo topográfico podem ser removidos pela *retificação diferencial* ou *ortoretificação*.

As operações utilizadas para a execução da retificação tem se tornado cada vez mais automatizadas devido ao melhoramento dos equipamentos e ao desenvolvimento de *softwares* de processamento digital de imagens. Estas operações inicialmente mecânicas, foram com o passar do tempo tornando-se analíticas, e hoje são aplicadas a imagens na forma digital, transformando para qualquer projeção o modelamento dos dados.

As denominações de georeferenciamento ou geocodificação, segundo NOVAK (1992), são utilizadas em sistemas de processamento digital de imagens projetados para mapeamento digital e sensoriamento remoto, em rotinas existentes nestes sistemas que realizam procedimentos de retificação.

Segundo o mesmo autor, a retificação digital é um importante módulo das estações de trabalho, uma vez que tais sistemas são, na maioria das vezes, baseados em sistemas comerciais de processamento de imagens, e permitem combinar ortofotos

digitais com arquivos de dados vetoriais de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A retificação é executada basicamente em duas etapas (JANSA, 1980):

1. os cálculos da transformação dos parâmetros entre as coordenadas da imagem distorcida e as coordenadas dos pontos de controle devem ser determinados; e,
2. a retificação propriamente dita executada de acordo com estes parâmetros determinados.

Segundo JANSA (1980) e HÖSSLER(1980), há essencialmente duas maneiras diferentes de se executar a retificação geométrica, que podem ser divididas em dois grupos:

1. *soluções paramétricas* - retificam os dados da imagem através de relações rigorosas entre as coordenadas da imagem e do terreno (equações de colinearidade) (HÖSSLER,1980); e,
2. *soluções não paramétricas* - não se preocupam com as causas das distorções.

Estas soluções utilizam métodos mais simples que determinam um conjunto de parâmetros de transformação para toda a imagem de acordo com um certo modelo de interpolação (transformação de similaridade, afim, etc.) (HÖSSLER,1980). Os pontos de controle são os pontos identificados em uma base considerada geometricamente correta e posicionados sobre a imagem a ser retificada. As distorções geométricas nestes pontos fazem o possível para interpolar os vetores de correção para qualquer outro ponto intermediário (JANSA, 1980).

Maiores esclarecimentos acerca dos conceitos de retificação em meio digital, ou como vem sendo chamados, retificação digital, podem ser obtidos em KONECNY (1979), KEATING (1979), BOSTON (1979), NOVAK (1992) e outros.

Segundo NOVAK (1992), os métodos de retificação mais comumente usados são:

- a) retificação polinomial;
- b) transformação projetiva; e,
- c) retificação diferencial.

### 2.2.7.1 Retificação Polinomial

O modelo polinomial é considerado o mais simples dentre os modelos utilizados para a correção geométrica de imagens, pois não há a necessidade do conhecimentos dos parâmetros do sensor utilizado (câmera fotogramétrica ou do satélite) e da Terra.

Segundo BÄHR (1978) citado por MACHADO E SILVA(1988), as distorções que afetam a posição dos *pixels* são modeladas através de polinômios a partir de pontos de controle. Seu princípio básico é o de relacionar um conjunto de coordenadas de imagem bruta com outro conjunto de coordenadas de terreno (geodésicas ou plano-retangulares referentes a um Sistema de Projeção cartográfica), através de polinômios de grau  $n$ .

De acordo com NOVAK (1992), a transformação entre a imagem retificada e a imagem original é realizada por um polinômio do tipo :

$$x = x'^T Ay' = f_x(x', y') \quad 2.2.7.1 (a)$$

$$y = x'^T By' = f_y(x', y') \quad 2.2.7.1 (b)$$

onde :

$x, y$  são coordenadas da imagem original;

$x', y'$  são coordenadas retificadas; e,

A, B são os coeficientes das matrizes dos polinômios

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & \dots \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{00} & b_{01} & b_{02} & \dots \\ b_{10} & b_{11} & b_{12} & \dots \\ b_{20} & b_{21} & b_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

Segundo Ford e Zanelli (1985) citado por VERGARA (1994), a qualidade da retificação polinomial depende da qualidade, quantidade e distribuição dos pontos de controle utilizados para realizá-la.

A precisão da retificação está diretamente relacionada à precisão com que se conhecem os parâmetros da modelagem (SILVA, 1988 citado por HARADA, 1989).

Quanto maior o número de pontos de controle maior a precisão da retificação. Quanto maior a complexidade das distorções maior será o grau dos polinômios a serem utilizados. Na prática, entretanto, o polinômio está limitado ao grau 5 devido à complexidade de avaliação do mesmo (ASP, 1980). Deve-se tomar muito cuidado com a utilização de polinômios pois, em alguns casos, apesar dos resíduos se apresentarem pequenos, dando a aparência de um perfeito ajuste dos pontos de referência, podem estar na realidade causando problemas e erros na imagem transformada (NOVAK, 1992).

Segundo MACHADO E SILVA(1988), é imprescindível a utilização de sistemas sobredeterminados, ou seja, com número de equações maior que o número de parâmetros a determinar, de tal modo que os pontos mal identificados possam vir a ser eliminados, através de um processo de ajustamento.

Este método pode ser utilizado tanto para imagens de satélite quanto para fotografias aéreas. Porém, segundo MACHADO E SILVA(1988), o modelo polinomial não modela de forma eficiente as distorções devido ao relevo bem como não se presta para a correção de imagens com visadas oblíquas. É utilizado com mais frequência em imagens de satélite, onde os deslocamentos do relevo são relativamente pequenos devido à altitude de vôo do satélite (NOVAK, 1992) e a acurácia dos cálculos são considerados de alta eficiência (BENYI, 1989).

Segundo MACHADO E SILVA(1988), uma análise do modelo polinomial nos revela três vantagens:

- 1. é o modelo de maior simplicidade de execução;*
- 2. não necessita o conhecimento de parâmetros ligados ao sistema, tais como: efemérides, concepção do instrumento, atitude do sensor e modelo de referência para a Terra;*
- 3. evita a fase do mapeamento direto no processo de correção geométrica da imagem. O mapeamento direto é executado para um conjunto de pontos na imagem bruta regularmente espaçados. Já os seus homólogos sobre a imagem corrigida apresentam-se com espaçamento irregular. Assim, quando se utiliza o modelo polinomial, não há a necessidade de relacionar as coordenadas de cada ponto da imagem bruta (L, C) com as coordenadas de cada ponto da imagem corrigida (I, J).*

Ainda segundo MACHADO E SILVA(1988), o modelo polinomial apresenta como desvantagens:

- 1. não acompanha as distorções nas bordas da imagem, ou seja, na região externa ao pontos de controle;*

2. *apresenta melhor comportamento em regiões próximas aos pontos de controle;*
3. *necessita de um número excessivo de pontos de controle, bem identificados e distribuídos ao longo da imagem;*
4. *por não envolver conceito físico fica difícil analisar o resultado para tentar melhorá-lo;*
5. *todos estes fatores tendem a se agravar na razão direta do grau do polinômio utilizado.*

### 2.2.7.2 Retificação Projetiva

Este método se utiliza da transformação projetiva. Esta transformação descreve as relações entre o plano da fotografia e o plano do terreno.

A relação de projetividade entre os dois planos é definida por 8 (oito) parâmetros de transformação, determinados através de no mínimo quatro pontos de controle no plano do terreno e suas respectivas coordenadas da imagem.

As equações que determinam a transformação projetiva, no plano, são :

$$x = \frac{a_1x' + a_2y' + a_3}{c_1x' + c_2y' + 1} = f_x(x', y') \quad 2.2.7.2 \text{ (a)}$$

$$y = \frac{b_1x' + b_2y' + b_3}{c_1x' + c_2y' + 1} = f_y(x', y') \quad 2.2.7.2 \text{ (b)}$$

onde :



$x, y$  = são coordenadas retificadas;

$x', y'$  = são coordenadas da imagem original; e,

$a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$  são os parâmetros da transformação projetiva.

Segundo NOVAK(1992), este método é utilizado para retificar fotografias aéreas de terrenos planos ou fachadas de edifício. Tal método pode também ser utilizado para retificar imagens de satélite, desde as equações da transformação projetiva sejam devidamente modificadas.

### 2.2.7.3 Retificação Diferencial

Este método pode ser aplicado a fotografias aéreas de terrenos planos, ondulados ou montanhosos e a imagens de satélite.

Neste método os deslocamentos do relevo são corrigidos com o auxílio de um DTM (Digital Terrain Model). Em cada *pixel* deste DTM, são transferidos os tons de cinza de cada *pixel* reamostrado da imagem original através das equações de colinearidade. A posição dos valores de cinza da imagem ( $x, y$ ) são interpolados utilizando-se um método de reamostragem (NOVAK, 1992).

A retificação diferencial, em meio digital, pode ser utilizada para produzir ortofotos digitais. Nos próximos itens será melhor detalhada a sua produção.

O termo ortofoto digital, daqui por diante, será utilizado somente quando a imagem for gerada a partir de fotografias aéreas rasterizadas e através da retificação diferencial.

### 2.2.8 Ortofoto Digital

Conforme QUEIROZ(1993), BOSTON (1979), KONECNY (1979), MAYR; HEIPKE (1988), HOOD; LADNE; CHAMPION (1989), WIESEL(1991) e ECKER (1992), a *ortofoto digital* é o produto da retificação diferencial em ambiente magnético, isto é, o processo de transformação da projeção central da imagem (fotografia aérea rasterizada) em projeção ortogonal, mediante meios e métodos essencialmente digitais.

Não levando-se em consideração as distorções inerentes à projeção cartográfica dos mapas convencionais e das ortofotos, pode-se considerar que uma ortofoto é geometricamente equivalente ao mapa. Nela pode-se realizar medições de distâncias, ângulos horizontais e áreas.

A principal diferença entre a ortofoto e o mapa está na representação das feições, onde a ortofoto se faz representar por imagens e o mapa por pontos, linhas e símbolos (ALMEIDA, 1989).

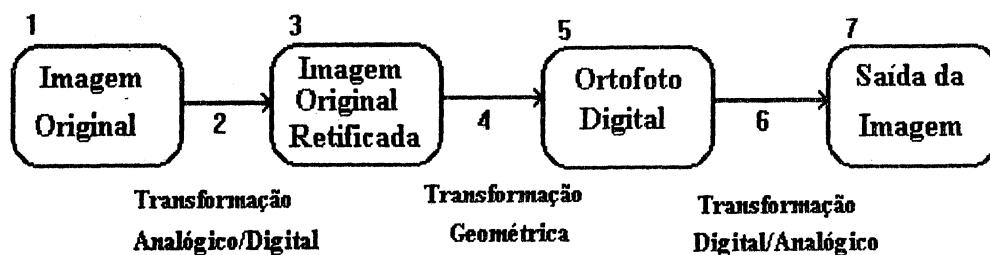
Uma ortofoto digital é uma imagem digital retificada derivada de uma ou mais imagens digitais distorcidas (ECKER, 1992).

Os vários passos necessários à geração de uma ortofoto digital são:

1. scanerização e pré-processamento (caso a imagem não tenha sido obtida na forma digital);
2. geração de um DTM;
3. orientação da imagem;
4. retificação; e,
5. saída.

A **Figura 2.2.8** apresenta o fluxo dos dados na produção das ortofotos digitais. Nele pode-se verificar que apenas os passos 3, 4 e 5 são rigorosamente tratados em meio

digital enquanto que os passos 1 e 7, respectivamente, início e fim da sequência, são produtos analógicos (BÄHR, 1989).



**Figura 2.2.8:** Fluxo de dados na produção de ortofotos digitais.

**FONTE :** BÄHR, 1989.

Inicialmente, se a imagem estiver na forma analógica, terá de ser transformada para o formato digital (raster). Isto pode ser executado por um scanner que registra a imagem linha por linha (ECKER, 1992).

A seleção de um intervalo de amostragem, bem como o tamanho do pixel tem uma grande influência na qualidade da ortofoto. Segundo ECKER (1992), quanto menor o tamanho do pixel melhor será a qualidade da ortofoto, porém deve-se tomar cuidado com esta afirmação uma vez que a medida que se diminui o tamanho do pixel aumentam-se os ruídos.

A seguir são calculados os parâmetros da orientação das imagens através das equações de colinearidade. Os parâmetros desconhecidos a serem determinados são as coordenadas do centro de projeção da fotografia  $O(X_0, Y_0, Z_0)$ , e os ângulos de orientação  $\omega, \varphi, \kappa$  (parâmetros da orientação exterior). A orientação interior é definida pela distância focal  $f$  e pela posição do ponto principal  $H$  (ECKER, 1992, HÖSSLER, 1989). Estes parâmetros desconhecidos podem ser calculados por ajustamento utilizando

pontos de controle medidos num sistema de referência e no sistema de coordenadas da imagem (ECKER, 1992).

A retificação da ortofoto digital pode ser executada a partir de dois métodos, o direto e o indireto. Os dois métodos utilizam como entrada de informações a imagem digital, por meio da qual uma matriz retangular de  $m \times n$  elementos representa a posição dos tons de cinza dos *pixels*. Assim, pode-se afirmar que o número da linha e da coluna define a localização de cada pixel dentro da imagem (HÖSSLER, 1980). Nos **itens 2.2.8.1 e 2.2.8.2** será descrito o processo de execução destes dois métodos.

Segundo BÄHR (1989), as coordenadas calculadas raramente estarão na posição exata à qual o scanner tenha digitalizado os valores de cinza da foto. Ou seja, a matriz regular da ortofoto não apresenta coordenadas de números inteiros e sim valores reais que não correspondem exatamente com o centro de um pixel da imagem distorcida. Por essa razão faz-se necessária a aplicação de algum método de reamostragem a fim de que se obtenha o valor correto de cinza de cada pixel. O princípio consiste em preencher a matriz raster da ortofoto com os valores de cinza corretos, determinados pela matriz raster da imagem distorcida.

O método de reamostragem é escolhido em função da acurácia, contraste e resolução desejada (NOVAK, 1992). Existem diversos métodos de reamostragem. Os métodos mais populares são:

- a interpolação utilizando o vizinho mais próximo;
- a interpolação bilinear; e,
- a convolução bicúbica.

Para aplicações que utilizem grande volume de dados, a reamostragem bilinear produz os melhores resultados. A reamostragem que utiliza a convolução bicúbica produz um contraste melhor se comparado com a reamostragem bilinear, que suaviza os

valores de cinza originais. A reamostragem pelo vizinho mais próximo é o método que exige menor volume de cálculo (NOVAK, 1992) e portanto é o mais utilizado (BÄHR, 1989).

Já que cada pixel deve ser submetido a um tipo de interpolação, esta é considerada a etapa que mais consome tempo de cálculo numérico. Consequentemente o algoritmo de interpolação escolhido é importante não apenas para a qualidade do produto como também em relação à economia de custos operacionais (BÄHR, 1989).

As ortofotos, após terem sido calculadas, podem ser utilizadas para criar um mosaico de fotos, por exemplo. Porém os valores de cinza em torno das bordas serão diferentes. Deverá então ser aplicado algum método que torne iguais estas imagens adjacentes. Entre os métodos utilizados pode-se citar: a igualização de histogramas, a codificação de cores e a detecção de bordas (ECKER, 1992). A esta etapa denomina-se pós-processamento.

#### **2.2.8.1 Método Direto**

O método direto, também chamado de “*top-down*”, segundo MAYR; HEIPKE (1988) in QUEIROZ (1993) parte das coordenadas do *scanner* e reprojeta o tom de cinza, a elas associado, sobre as coordenadas de uma malha regular da ortofoto (DTM).

O processo consiste na transformação das coordenadas do espaço imagem (sistema fotográfico) através de um modelo matemático, como por exemplo, a transformação afim.

A seguir, as coordenadas do espaço imagem são transformadas em coordenadas do espaço objeto (de terreno), através da inversa das equações de colinearidade. A

coordenada  $Z$  relativa a altitude, que será introduzida nas equações de colinearidade inversa, é obtida por iteração (VILLAREAL, 1992).

O número de iterações depende da forma do terreno e o valor de aproximação da altitude a ser calculada.  $Z$ .

As iterações requerem um grande esforço computacional, o que torna este método pouco utilizado.

### 2.2.8.2 Método Indireto

No método indireto, segundo ALMEIDA (1989) e QUEIROZ (1993), parte-se de uma malha regular de DTM, transforma-se as coordenadas do espaço objeto (de terreno) em coordenadas do espaço imagem (da foto), através das equações de colinearidade. A seguir, as coordenadas do espaço imagem são transformadas em coordenadas de máquina (*scanner*) aplicando-se, por exemplo, as equações de transformação afim e, finalmente procura-se o tom de cinza na malha “irregular” dos *pixels* da foto original, aplicando-se uma interpolação.

Estes procedimentos possibilitam que dois tipos básicos de transformações geométricas sejam utilizadas :

- ponto por ponto (*pixel by pixel*), e,
- pontos âncora (*anchor points*).

Ambos os métodos obtêm precisões equivalentes (SCHUR, 1980), porém KONECNY (1979) e ALMEIDA (1989) consideram que a utilização da transformação ponto por ponto seja menos veloz que a transformação pontos âncora.

### 2.2.8.3 Modelo Digital de Terreno

Segundo STEFANOVIC citado por MENEZES (1992), o DTM é definido como “uma representação digital do relevo do terreno aceitável para o processamento em computador”.

Para ANTUNES (1987), o DTM representa digitalmente um conjunto de pontos que mais fielmente se aproxima da forma real da superfície a ser representada.

Em WIESEL & HELLER (1991), O DTM pode ser compreendido como uma representação digital de uma porção da superfície da terra.

Atualmente, deve-se enfatizar que um DTM pode ser usado como um modelo digital de qualquer superfície de valores únicos suficientes para a modelagem, e não apenas da feição altimétrica de uma região.

WEIBEL & HELLER (1991) citam que alguns autores usam o termo DEM (*Digital Elevation Model*) para representar feições altimétricas uma vez que, o termo “terreno” implica freqüentemente em atributos diversos de um meio, e não somente na altitude de uma superfície terrestre.

Na comunidade cartográfica brasileira é popular a terminologia original do Prof. Müller, sintetizada pela sigla DTM, que será também utilizada no presente trabalho.

Os DTMs fornecem uma base para um grande número de aplicações, nas mais variadas áreas. Para tanto utiliza-se de diversas técnicas e “*softwares*”. Cada tipo de aplicação deve considerar critérios de coleta e tratamento de dados de forma diferenciada.

Para a produção de uma ortofoto digital pelo método indireto, há a necessidade da geração de um DTM. Este DTM deve ser configurado por uma malha regular de pontos com altitudes de terreno (ALMEIDA, 1989).

A aquisição de dados para a geração do DTM deve levar em consideração a densidade e distribuição dos mesmos em função das características do terreno para que se obtenha uma ortofoto ou outro produto qualquer com boa precisão. A densidade e distribuição destes pontos está diretamente relacionada ao método de coleta de dados e do instrumental disponível. A acurácia dos dados determinará a qualidade do DTM resultante (ECKER, 1992).

Segundo KENNIE, PETRIE (1990) citado por QUEIROZ (1993), os dados podem ser obtidos de 3 (três) fontes básicas:

1. **Levantamentos Topográficos** - a amostragem é obtida por equipamentos topográficos e geodésicos. Este tipo de levantamento possibilita uma produção de dados bastante acurada por coletarem a amostra de forma direta e tenderem a se adaptar às características do terreno. A escolha dos pontos a serem amostrados é subjetiva, exigindo uma análise para se verificar a necessidade de reamostragem. Porém, seu emprego é limitado a projetos específicos de áreas pequenas ou para complementar informações de outras formas de obtenção de dados, tal como a captura de dados fotogramétricos. Seu emprego é limitado por se uma técnica que, em relação às outras técnicas existentes demanda maior tempo de execução e custo elevado.
2. **Dados Fotogramétricos**- está baseada na interpretação estereoscópica de fotografias aéreas ou imagens de satélite usando equipamentos fotogramétricos tais como restituidores analíticos e não analíticos. Uma das maiores vantagens do uso de restituidores para a aquisição de dados é que se



pode programar a partir do estéreo modelo a obtenção dos pontos do DTM e a densidade da malha do mesmo. Pode-se distinguir vários métodos de amostragem fotogramétrica. Entre eles, tem-se: amostragem regular, amostragem progressiva, amostragem seletiva, amostragem composta e imagem de correlação estéreo digital. Cada um destes métodos tenta minimizar a tarefa de coleta de dados e ao mesmo tempo maximizar a acurácia do DTM.

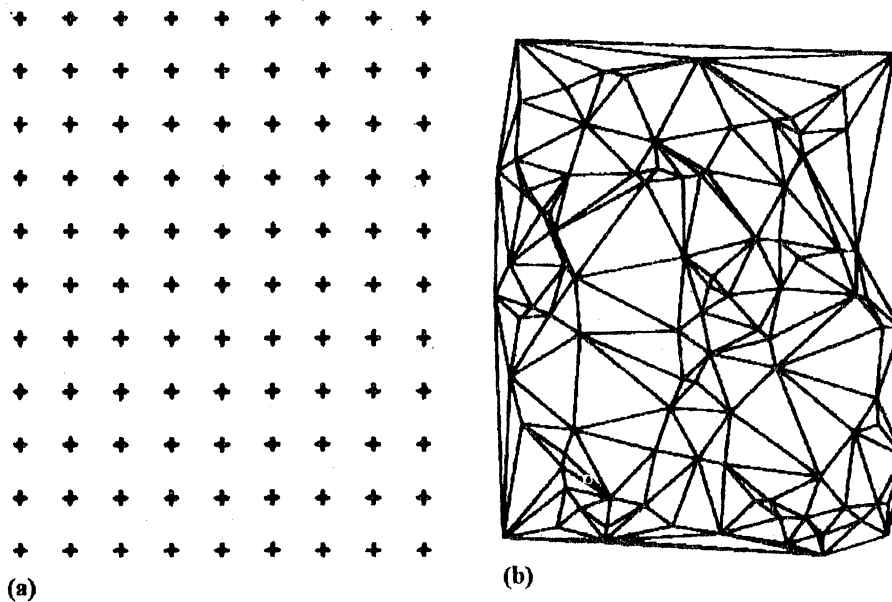
**3. Dados Cartográficos Digitalizados** - o volume de cartas topográficas existentes, sem dúvida se caracteriza como uma fonte de dados importante para a geração de DTM. Procuraram-se métodos que possibilitassem armazenar e processar uma grande quantidade de dados para este propósito. Os dados podem ser coletados por digitalização (manual ou semi-automatizada) e por scanerização automática (raster ou vetorial). Os dados coletados por estes processos apresentam alguns problemas que acabam por produzir DTMs de acurácia limitada. Alguns destes problemas são a superamostragem ao longo das curvas de nível e subamostragem entre as mesmas, a parte da informação original perdida no processo de execução do mapa, a introdução de erros de generalização de linhas, desenho, reprodução, etc.

O processo de coleta gera um conjunto de dados relativamente desordenado e geralmente numa forma que não permite sua aplicação imediata para a formação do DTM. Portanto estes dados devem ser estruturados. Vários tipos de estrutura de dados podem ser citados; porém, WEIBEL & HELLER (1991) citam que, hoje, a maioria de DTMs usa uma das duas estruturas abaixo:

- a) grade regular ou matriz de altitudes - é armazenado computacionalmente como uma matriz bidimensional, onde os valores das coordenadas "x" e "y" de

cada nó da matriz estão implícitos na posição (i, j) de cada elemento da matriz, armazenando-se apenas o atributo “z” de cada nó.

b) *TIN (Triangulated Irregular Network)*, ou seja rede de triangulação irregular - são baseados em elementos triangulares com vértices nos pontos amostrais, como mostra a **Figura 2.2.8.3**.



**Figura 2.2.8.3:** Estrutura de dados: (a) grade retangular; (b) *TIN*.

**FONTE :** WEIBEL & HELLER ,1991

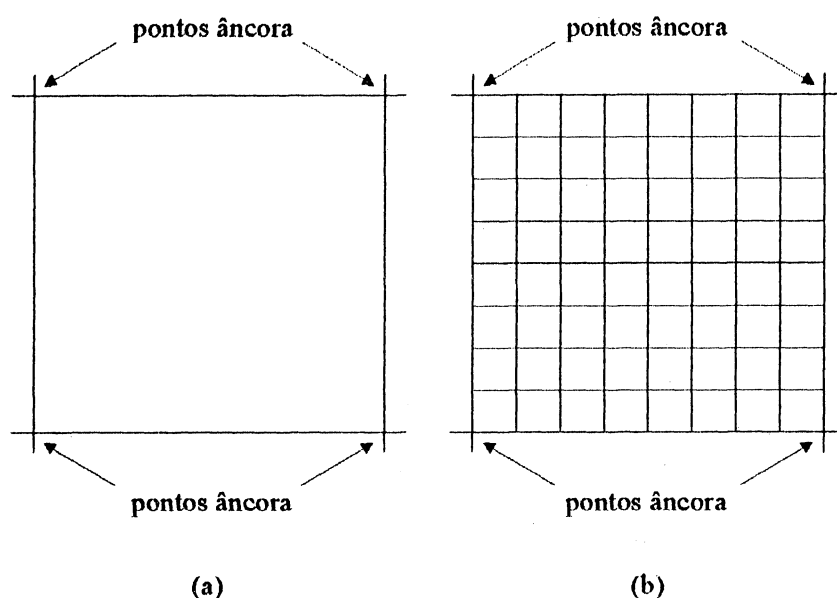
Utiliza-se um método de interpolação para determinar os valores da superfície em pontos não amostrados a fim de que se obtenha o DTM desejado para a confecção de uma ortofoto.

De acordo com WEIBEL & HELLER (1991), a qualidade de um DTM estará condicionada a escolha do método de interpolação e ao processo de amostragem (isto é, a densidade, distribuição e acurácia dos pontos de dados amostrados).

### 2.2.8.4 Transformação Ponto por Ponto

De acordo com ALMEIDA (1989) esta transformação, no método indireto para obtenção de ortofotos (**Figura 2.2.8.4**), consiste em:

a) interpolar a coordenada  $z$  (altitude), no interior da malha do DTM, utilizando para tanto um algoritmo que calcule  $z = f(x, y)$ , de tal forma que se obtenha o tamanho das células desejadas para a ortofoto. Segundo ALMEIDA (1989), pode-se utilizar a interpolação bilinear.

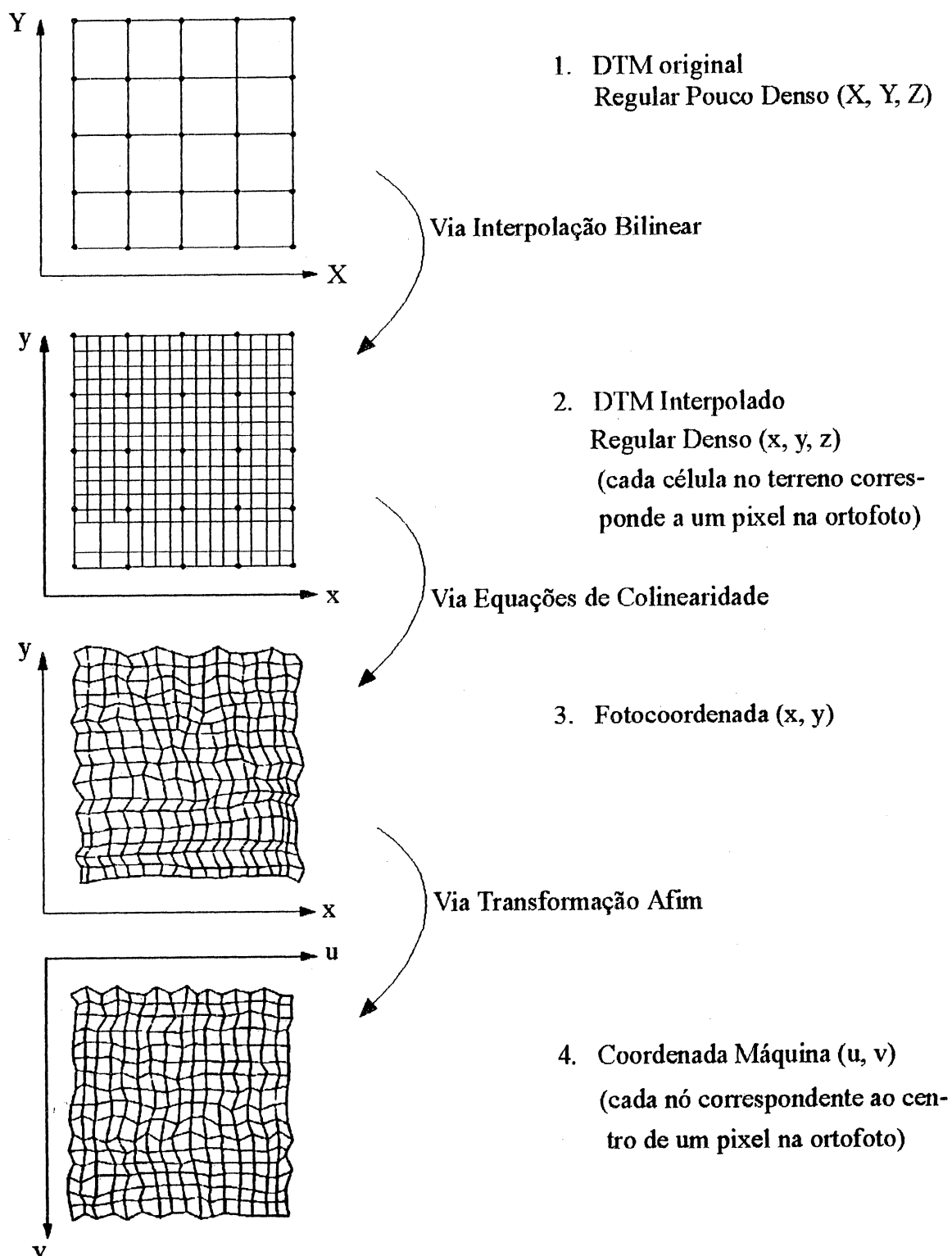


**Figura 2.2.8.4** : A malha regular - pouco densa - do DTM é ilustrada em (a); e a malha regular densificada - que é a malha regular da ortofoto - é ilustrada em (b)

FONTE : ALMEIDA (1989), p 11.

b) projetar, utilizando as equações de colinearidade, as coordenadas densificadas de terreno  $(X, Y, Z)$  para o sistema fotogramétrico  $(x, y)$ , sendo que  $z$  é uma constante.

c) transformar as coordenadas de foto  $(x, y, z)$  para o sistema de coordenadas de máquina (scanner), pela aplicação da transformação afim.



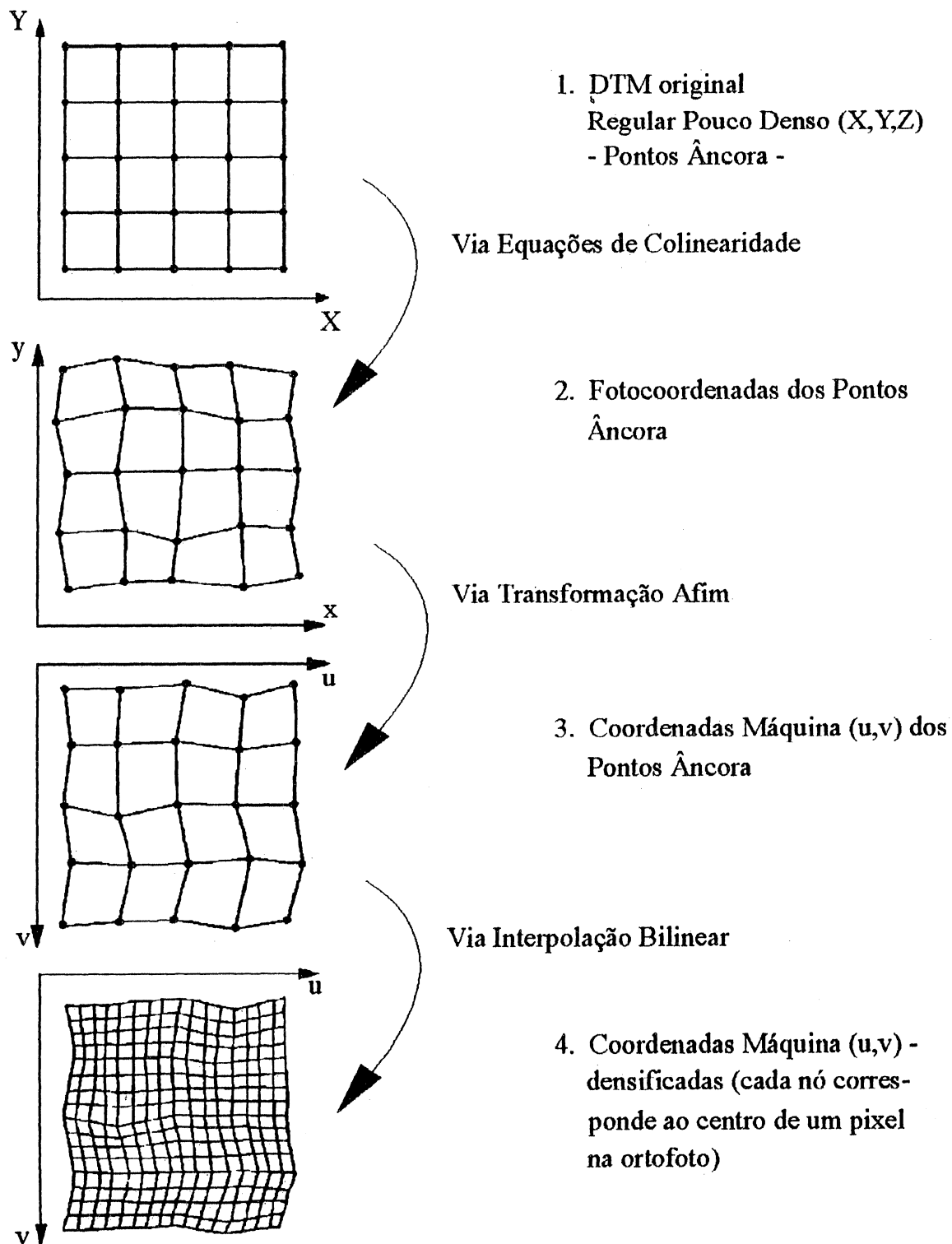
**Figura 2.2.8.4.1:** Seqüência de transformações geométricas ponto por ponto para obtenção de ortofoto (método indireto).

FONTE : ALMEIDA (1989),p.12.

### 2.2.8.5 Transformação Pontos Âncora

Esta transformação, no método indireto, para obtenção de ortofotos, é utilizada para diminuir o volume de cálculos e em consequência o tempo de processamento computacional.

Os pontos âncora são os pontos que delimitam uma célula da malha regular pouco densa do DTM. Através das equações de colinearidade, os pontos âncora são transformados de coordenadas de terreno  $(X, Y, Z)$  para coordenadas do espaço imagem  $(x, y)$ , ou seja para o sistema fotogramétrico. Posteriormente, estas fotocoordenadas são transformadas para coordenadas de máquina  $(u, v)$ , ou seja, coordenadas de *scanner*. Estas coordenadas de máquina  $(u, v)$  são então densificadas, ou interpoladas, de tal forma que cada ponto da malha gerada corresponda ao centro de cada “pixel” da ortofoto desejada (ALMEIDA, 1989, QUEIROZ, 1993).



**Figura 2.2.8.5:** Sequência de transformações geométricas pontos de âncora para obtenção de ortofoto (método indireto).

FONTE : ALMEIDA (1989),p.14

### 3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO PRÁTICO REALIZADO

Tendo em vista as distintas tarefas envolvidas desde a obtenção dos dados até a avaliação dos produtos gerados, com vistas à atualização cartográfica, dividiu-se o trabalho nas seguintes etapas:

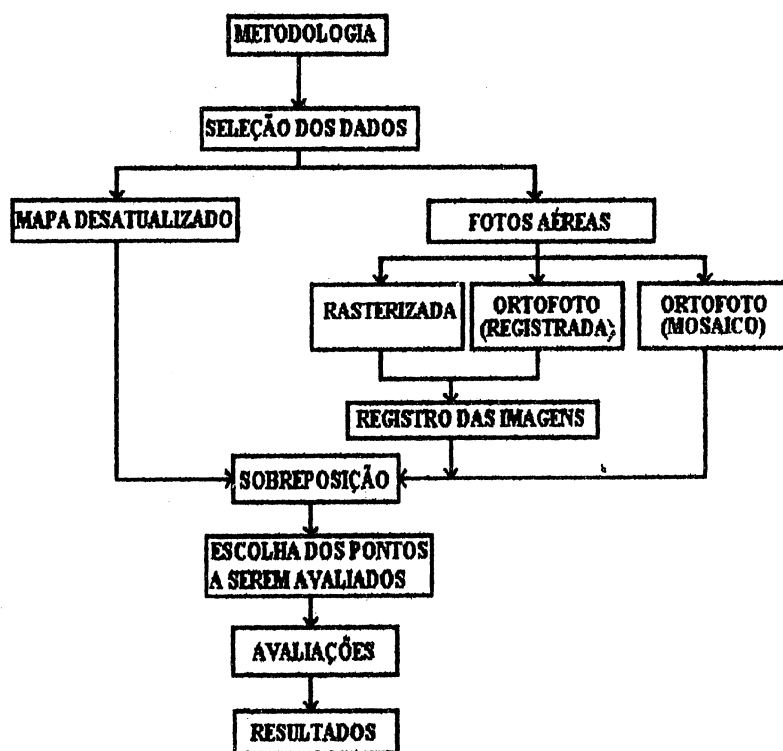
- a. escolha e obtenção do acervo cartográfico;
- b. escolha do *software* para manipulação dos dados;
- c. armazenamento da informação antiga;
- d. geocodificação da informação antiga;
- e. armazenamento das imagens a serem avaliadas;
- f. registro das imagens a serem avaliadas, quando necessário;
- g. sobreposição da informação antiga com cada imagem;
- h. escolha e extração de pontos na informação antiga e em todos os pontos homólogos a cada imagem a ser avaliada; e,
- i. avaliação dos resultados obtidos.

A metodologia utilizada para a execução do presente trabalho é apresentada na **Figura 3.**

#### 3.1 Seleção da Área de Estudo

Para que fosse possível a execução das análises propostas na presente dissertação, os seguintes requisitos tiveram de ser satisfeitos:

- a. acesso a uma área cujo acervo cartográfico se encontrasse desatualizado e em meio magnético;
- b. acesso a produtos fotogramétricos em escala compatível e com data mais recente em relação ao arquivo vetorial escolhido para a atualização;
- c. acesso a pontos de apoio que o georeferenciamento das imagens, quando se fizessem necessário; e,
- d. acesso a um sistema de processamento que possibilitasse realizar a inserção dos produtos fotogramétricos e a atualização do arquivo desatualizado.



**Figura 3.** - Fluxograma da metodologia empregada para a avaliação dos dados.



A escolha e a seleção da área teste foi realizada principalmente em função do acesso aos produtos do aerolevanteamento.

A partir dos produtos fotogramétricos disponíveis, outro elemento foi levado em consideração no momento da escolha da área teste: procurou-se uma área sem edificações muito elevadas, tendo em vista que este fator poderia provocar sombras sobre elementos considerados relevantes à posterior atualização e prejudicar a confecção e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos fotogramétricos a serem utilizados nos testes.

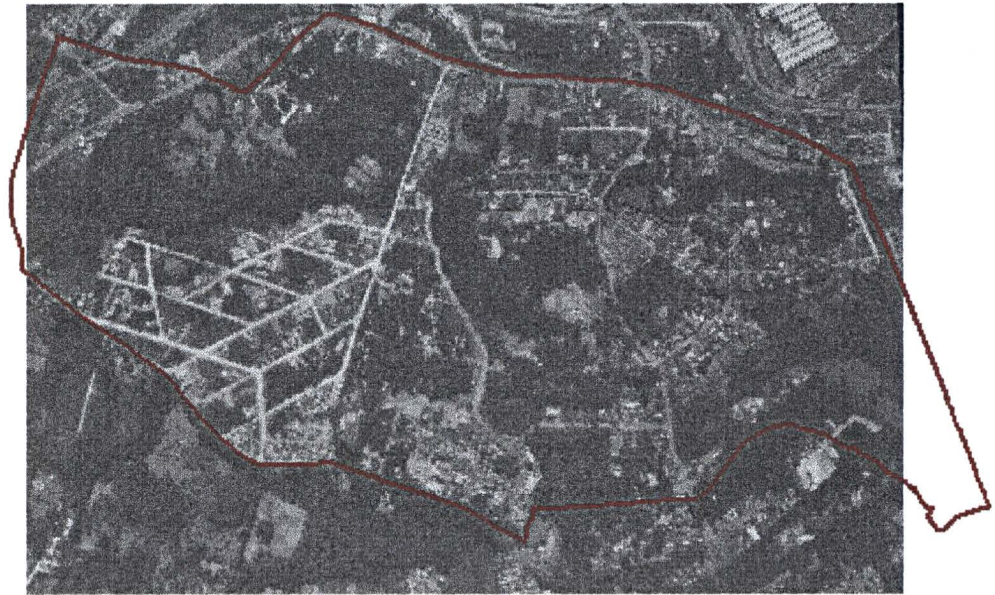
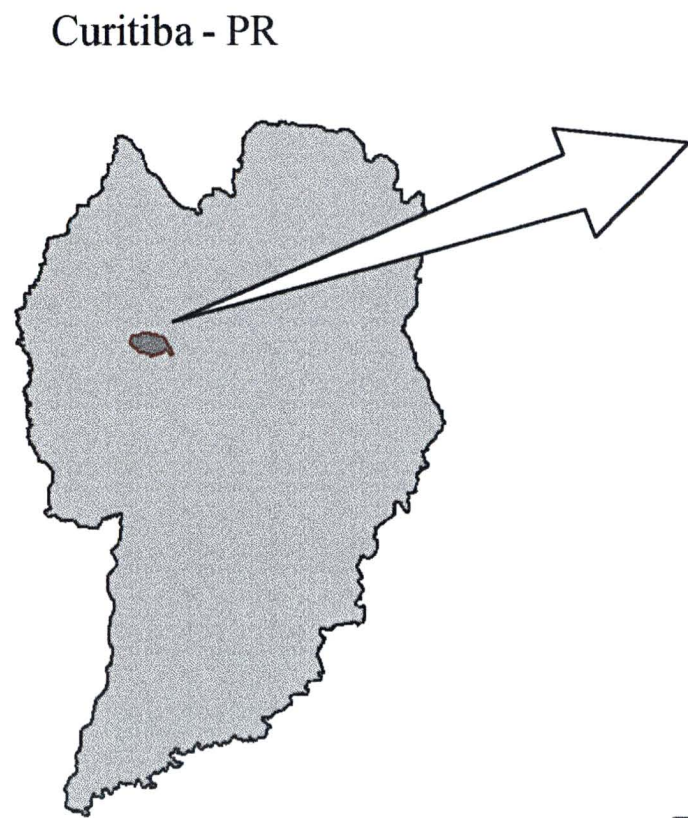
Estes recursos foram fornecidos gentilmente pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), pela Empresa ESTEIO Engenharia e Aerolevanteamentos S.A e pelos acadêmicos do Projeto Final do Curso de Engenharia Cartográfica do ano de 1995 da Universidade Federal do Paraná.

A área teste escolhida para os estudos está localizada no Bairro Mossunguê, da cidade de Curitiba, no Estado do Paraná (**Figura 3.1**).

### **3.2 Obtenção dos Recursos Necessários**

Para a execução do presente trabalho fez-se necessário a obtenção dos seguintes recursos:

- acervo cartográfico;
- produtos fotogramétricos;
- apoio terrestre; e,
- sistema de processamento.



Bairro Mossunguê

**Figura 3.1** - Localização da Área Teste

### 3.2.1 Acervo Cartográfico

O acervo cartográfico está representado por um arquivo de restituição aerofotogramétrica, fornecido pelo IPPUC, e tem por características ter sido executado pelo processo de restituição, em meio magnético, na escala 1:2.000.

A restituição foi realizada a partir de um vôo fotogramétrico executado em dezembro de 1990, pelo Consórcio Conspar. A área teste pode ser encontrada na planta cadastral imobiliária de Curitiba, número 45.1, do Bairro Mossunguê, pertencente ao Departamento de Fazenda, Diretoria de Cadastro Técnico Fiscal.

### 3.2.2 Produtos Fotogramétricos

A Empresa ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A forneceu os produtos fotogramétricos abaixo relacionados, em fita cassete de 8(oito) mm, provenientes do vôo fotogramétrico executado em julho de 1995, com uma câmera tipo RMKA2, de distância focal 153,419 mm.

Os produtos fotogramétricos utilizados para a execução dos testes foram:

a) *uma fotografia rasterizada (pf50)* - utilizou-se a fotografia aérea número 50 da faixa 04, na escala 1:8.500, rasterizada através da Digital Scanning Workstation (DSW100) Leica-Helava. Os procedimentos utilizados para a rasterização podem ser encontrados em TAVARES *et al* (1995), p.39-41. A dimensão da imagem rasterizada foi de 8568 linhas por 8568 colunas e ocupou aproximadamente 74 Mbytes de memória. Para facilitar a visualização dos pontos de controle, a imagem foi rasterizada com uma

resolução de 1000 dpi (pontos por polegada), com o tamanho do *pixel* de 0.21 metros no terreno.

As coordenadas que definiram os cantos da fotografia foram:

<i>N (m)</i>	<i>E(m)</i>
7.184.338,592	669.325,380
7.184.248,617	667.466,798
7.186.269,781	667.407,069
7.186.167,922	669.257,313

Para a determinação destas coordenadas que representaram os cantos da fotografia rasterizada utilizou-se a tela de visualização do *software* SPRING, versão 2.0. Efetuou-se, na tela de visualização, a leitura das coordenadas N e E, correspondentes ao posicionamento do cursor sobre cada um dos quatro *pixels* que representavam os cantos da fotografia.

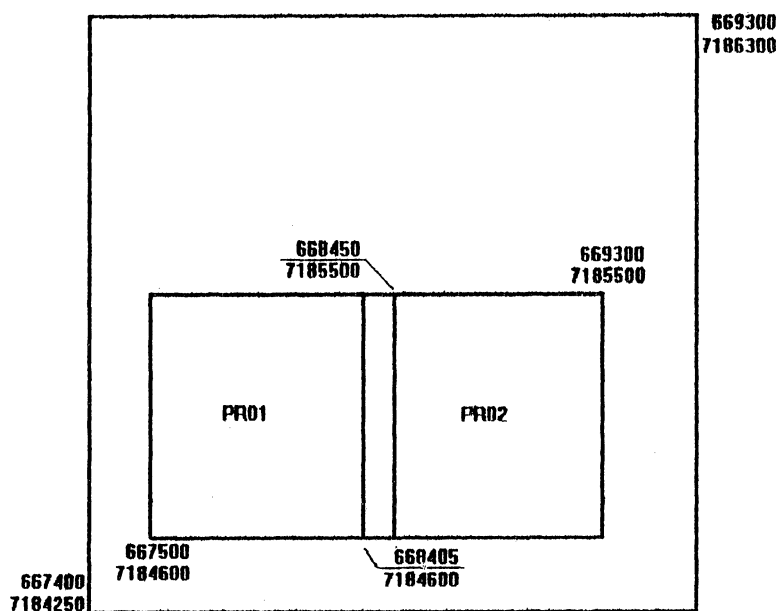
b) *duas ortofotos* (pr1 e pr2) - as duas ortofotos estão contidas na fotografia rasterizada, na escala 1:2.000, conforme mostra a **Figura 3.2.2.1**, e foram produzidas na Digital Photogrammetric Workstation (DPW770) Leica-Helava.

Para a execução da retificação diferencial utilizaram-se as seguintes informações:

- o arquivo da imagem rasterizada;
- o arquivo suporte da imagem que contém os elementos da orientação interior ;
- os valores aproximados dos parâmetros de orientação exterior

$$(\kappa, \varphi, \omega, X_0, Y_0, Z_0);$$

- as coordenadas das marcas fiduciais calibradas, a distância focal calibrada e as coordenadas do ponto principal obtidos do certificado de calibração da câmera; e,
- o arquivo com o modelo digital de terreno (DTM) correspondente à área representada na imagem, na forma de uma malha regular.



**Figura 3.2.2.1 - Localização das ortofotos na fotografia.**

A dimensão de cada ortofoto gerada foi de 5315 linhas por 5285 colunas. O tamanho do pixel de cada ortofoto utilizada é de 0,17 metros no terreno, que equivale a 300 dpi e ocupa aproximadamente 28 Mbytes de memória.

As ortofotos foram geradas pelo método indireto, a transformação geométrica utilizada foi a dos pontos âncora (ver item 2.2.8.5) e o método de interpolação utilizado o bilinear.

O DTM das ortofotos foi definido com espaçamento de 10 em 10 metros. Para a confecção do DTM utilizou-se a altimetria do arquivo de restituição aerofotogramétrico (1990), na escala 1:2.000, com equidistância de 1(um) metro.

É importante ressaltar que não se elaborou um planejamento de vôo dentro dos padrões recomendáveis para a confecção das ortofotos aqui utilizadas.

O vôo foi executado com uma câmera fotogramétrica de 153mm (grande angular), ao invés de uma câmera de 300 mm (ângulo normal). A utilização da câmera de 300 mm ocasiona menores distorções nas laterais das fotografias e é considerada o tipo de câmera ideal para tomadas de fotografias em escalas grandes e em regiões urbanas. A hora da tomada das fotografias também não seguiu o período ideal, compreendido entre 11:00 hs. e 14:00 hs., que minimizaria os efeitos de sombreamento nas fotografias.

Como obteve-se, nas fotografias utilizadas para a confecção das ortofotos, boa qualidade visual com sombreamento escasso devido a ausência de edificações muito elevadas, considerou-se aceitável a sua utilização.

### **3.2.3 Apoio Terrestre**

Utilizaram-se os pontos fotogramétricos cujas coordenadas foram determinadas por aerotriangulação. Estes pontos foram utilizados tanto na confecção das ortofotos (pr1) e (pr2) como no processo de registro de imagens, da fotografia (rasterizada) e ortofoto (registrada).

O levantamento do apoio terrestre, para a execução da aerotriangulação, foi realizado com o uso de rastreadores de satélite do sistema NAVSTAR-GPS, cuja lista de coordenadas, no sistema UTM, encontra-se no **ANEXO 01** .

### 3.2.4 Sistema de Processamento

Para a realização do trabalho em questão, necessitava-se de uma tecnologia que possibilitasse a integração de dados de diversas fontes, com potencial para armazenamento de grandes volumes de dados.

O *software* escolhido foi o Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Este sistema tem por característica combinar em um único ambiente interativo funções de processamento de imagens, análise espacial e modelagem numérica de terreno. Foi desenvolvido inicialmente para ser utilizado em ambiente *UNIX*, em estações de trabalho (*workstation*). Atualmente este sistema trabalha em *PC* (Personal Computer) com os sistemas operacionais *SOLARIS* e *LINUX*, e encontra-se em desenvolvimento para ser utilizado também em ambiente *WINDOWS*.

Escolheu-se este *software* tendo em vista que ele permite:

- a) a aquisição de dados (vetorial e raster) de várias fontes e em vários formatos;
- b) o armazenamento de grande volume de dados;
- c) o armazenamento de representações matriciais e vetoriais de dados geográficos (mapas temáticos, imagens aéreas, imagens de satélite e imagens de radar);
- d) a integração dos dados (sensoriamento remoto, mapas temáticos e cadastrais e modelos numéricos de terreno);
- e) a importação e exportação dos dados em diversos formatos (DXF, ARC/INFO, SGI/INPE, ASCII, MaxiCAD, RAW e TIFF).

A versão 1.0 do SPRING, segundo CÂMARA (1996), foi lançada em 1993 e teve por motivação básica integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas utilizando o modelo de dados orientado a objetos e fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar dados geográficos.

A versão 2.0 do SPRING, ainda segundo CÂMARA (1996), foi concebida para ser um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que trabalha em um ambiente cliente-servidor.

Por ser um *software* nacional, desenvolvido inteiramente no INPE, e se encontrar em fase de aperfeiçoamento, possibilita a implementação de módulos específicos para o desenvolvimento de certos trabalhos.

Para a execução do presente trabalho tentou-se inicialmente utilizar a versão 1.0 do referido sistema, porém por problemas de ordem técnica, passou-se a utilizar a versão 1.1, que também não atendeu às necessidades do projeto, e finalmente passou-se a versão 2.0.

Os projetos desenvolvidos no *software* SPRING, até a presente data, não haviam ainda se preocupado com a utilização de imagens menores que a definição dada ao tamanho do retângulo envolvente do projeto e com precisão métrica melhor do que o metro. O presente trabalho serviu de teste ao *software*, e prestou-se para que fossem alterados dois procedimentos no mesmo.

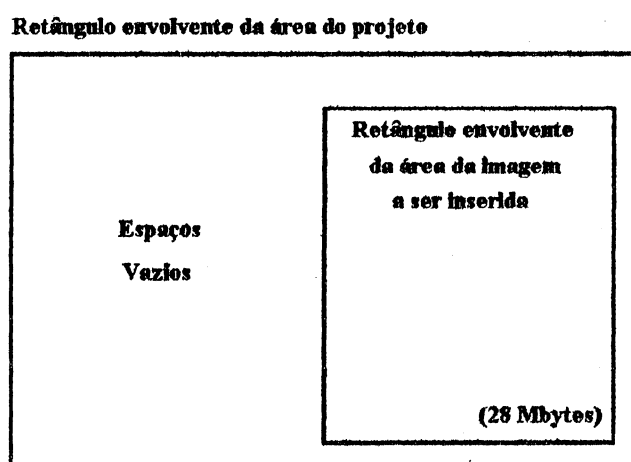
A primeira alteração se refere ao tamanho do retângulo envolvente da área do projeto em relação ao tamanho do retângulo envolvente de entrada de cada imagem a ser inserida neste projeto.

Nas versões 1.0 e 1.1 do referido *software*, ao se introduzir uma imagem no projeto pelo processo de importação, utilizava-se o tamanho do retângulo envolvente da área do projeto, partindo-se do pressuposto que a imagem teria o tamanho sempre maior



ou igual ao tamanho do retângulo envolvente da área do projeto. Porém, no presente trabalho, o retângulo envolvente da área do projeto é maior que as imagens a serem inseridas. Como o tamanho do retângulo envolvente da área utilizada era o do projeto, formavam-se espaços vazios, onde não havia imagem. Estes espaços vazios eram preenchidos com zeros pelo próprio sistema, o que ocasionava um aumento significativo no tamanho do arquivo de armazenamento de tais imagens. Como exemplo, pode-se citar: um arquivo com uma imagem de 28 Mbytes era transformada em outro arquivo de aproximadamente 300 Mbytes, conforme mostra a **Figura 3.2.4**.

O *software* foi então alterado, passando a solicitar um tamanho de retângulo envolvente da área específico para o projeto e outro tamanho específico de retângulo envolvente da área para a entrada de cada imagem que se fizesse necessária no projeto.



**Figura 3.2.4** - Tamanho do retângulo envolvente da área do projeto em relação à imagem a ser importada.

A segunda alteração diz respeito à precisão com que o *software* procedia às leituras dentro do sistema. Nas versões 1.0 e 1.1, o sistema foi projetado para ler o decâmetro (dam) e estimar o metro (m). Uma vez que este trabalho necessita leituras com precisões superiores àquelas fornecidas pelo sistema, tornou-se necessário que o mesmo fosse alterado. Alterou-se então, na versão 2.0, a precisão para a manipulação dos dados. Nesta versão, os dados passaram a ser lidos em metros e estimados os decímetros. Ao considerar-se as especificações contidas na Legislação de Cartografia e Aerolevantamento (1986), que estabelece o valor de 0,5 mm da escala da carta, como padrão de exatidão planimétrico para a execução de cartas (Classe tipo A), pode-se afirmar que o *software* SPRING, na versão 2.0, possibilita que sejam manipulados dados até a escala de 1:200. Dessa forma, a alteração executada no *software* é suficiente para a execução do presente trabalho, tendo em vista que a manipulação dos dados foi executada na escala 1:2.000.

### 3.3 Processamento

Inicialmente criou-se um banco de dados<sup>1</sup>, com a denominação “Curitiba1”, e em seguida um projeto<sup>2</sup> denominado “mossungue”, que caracterizou a região a ser atualizada.

No projeto “mossungue” foram definidas :

- a projeção cartográfica adotada

---

<sup>1</sup> “o banco de dados é o repositório de dados de um SIG, que armazena e recupera dados geográficos em suas diferentes geometrias (imagens, vetores), bem como as informações descritivas (atributos não espaciais).” (Manual do Usuário - SPRING).

<sup>2</sup> “O projeto corresponde a um conjunto de dados de interesse em uma área geográfica e projeção cartográfica específicas.”(Manual do Usuário - SPRING).

UTM (Universal Transverse Mercator);

- o datum geodésico horizontal

Datum CHUÁ - Sistema SAD-69 (South American Datum 1969);

- o meridiano central da projeção

w 51° 00' 00" ; e,

- os valores das coordenadas que limitam a área de estudo (retângulo envolvente)

x1 = 666.800,000

y1 = 7.184.400,000

x2 = 670.000,000

y2 = 7.185.800,000.

Iniciou-se então, as etapas de entrada dos arquivos vetorial e raster através da criação das categorias<sup>3</sup>. As categorias têm por finalidade distinguir os diversos tipos de dados geográficos a serem manipulados.

Criaram-se as categorias “restituição planimétrica” e “imagens”, para caracterizar a incorporação, respectivamente, do arquivo vetorial que representa as informações desatualizadas e das imagens que representam os produtos a serem avaliados.

### 3.3.1 Entrada dos Arquivos Vetoriais

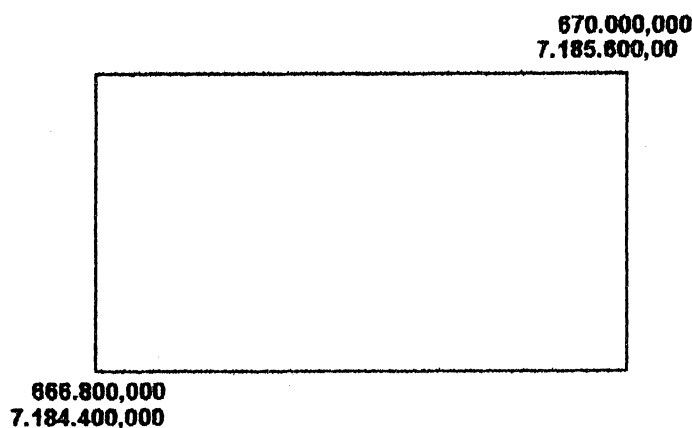
A categoria “restituição planimétrica” recebeu o arquivo vetorial 45-1, com as informações desatualizadas, adquiridas no formato dxf (Drawing Exchange Format).

---

<sup>3</sup> “Uma categoria agrupa grandezas geográficas semelhantes, como por exemplo: categoria 1 = imagem (raster), categoria 2 = restituição (vector). “(Manual do Usuário - SPRING).

Nesta categoria foram criados os planos de informação correspondentes a cada grupo de dados desatualizados. Para isso foram definidos:

- o modelo de dados tipo temático; e,
- os valores que correspondem ao retângulo envolvente da área de estudo, como mostra a **Figura 3.3.1**.



**Figura 3.3.1** - Retângulo envolvente do arquivo desatualizado.

Posteriormente, foram criados os planos de informação correspondentes a cada grupo de dados desatualizados

De todos os níveis de representação existentes no arquivo vetorial 45-1, foram escolhidos 14(quatorze), que são apresentados na **Tabela 3.3.1**.

### **3.3.2 Entrada dos Arquivos Raster**

Os arquivos com as imagens fotogramétricas foram fornecidas no formato .TIFF (Tagged Image File Format).

Da mesma forma que para os arquivos vetoriais, inicialmente criou-se a categoria “imagem”, cujo modelo de dados que a representa é o tipo imagem.

Criaram-se em seguida os planos de informação “fotografia (rasterizada)” e “ortofoto (mosaico)” e “ortofoto (registrada)” que receberam, respectivamente, os arquivos referentes à fotografia (pf50), ortofotos (pr1 e pr2) e ortofoto (pr2).

**Tabela 3.3.1** - Planos de informação, representados no SPRING, referentes a categoria “restituição planimétrica”.

Nível de representação no arquivo 45-1 (IPPUC)	Nível de representação no SPRING	Cor do nível representada no SPRING
26	26.nascentes, fontes, fontes d'água	azul
28	28.arborização de vias e lotes	verde
30	30.mata, bosque, pomar, campo	verde
32	32.reflorestamento, pastagem artificial	verde
29	29.arauária e palmeira	verde
35	35.movimento de terra	marrom
36	36.caixa d'água	preto
41	41.arruamento pavimentado	preto
48	48.caminhos, trilhas	preto
54	54.edificações comuns	vermelho
55	55.fundações	vermelho
56	56.construções, ruínas	vermelho
60	60.quadras de esporte, piscinas	marrom
111	111.limite de bairro	preto

Para a importação de tais arquivos fez-se necessário fornecer os dados referentes ao datum geodésico horizontal, retângulo envolvente e resolução para cada imagem inserida no projeto.

Esta foi a primeira limitação encontrada no *software* para a execução do presente trabalho. O *software*, na versão 2.0, foi então alterado, conforme explanado no **item 3.2.4**, possibilitando assim a continuação do trabalho.

### **3.3.3 Registro das Imagens**

O registro é a transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linhas e colunas) com suas coordenadas geodésicas homólogas fornecidas através de pontos de controle. Deve ser destacado que esta etapa é de especial importância para se obter o nível de exatidão geométrica necessário a atualização.

A operação de registro consiste na sobreposição de duas imagens da mesma área, de modo que os pontos homólogos existentes, entre as duas imagens, coincidam no espaço.

Segundo o Manual do Usuário do SPRING (1995), a versão 2.0 do *software* utiliza, para o registro das imagens, uma função de transformação de 1° ou de 2° grau, e como método de reamostragem, para os valores de nível de cinza, a interpolação bilinear.

A fotografia (rasterizada) e ortofoto (registrada), utilizadas neste trabalho foram georeferenciadas mediante o seu registro utilizando pares de pontos fotogramétricos, cujas coordenadas foram determinadas por aerotriangulação, e seus homólogos do arquivo de restituição, que representa a área de estudo.

No *software* SPRING são 3(três) as possibilidades de se executar o registro:

1. *registro imagem-mapa*, que utiliza a mesa digitalizadora para associar pontos de controle à imagem;
2. *registro imagem-coordenadas*, que realiza a correção geométrica da imagem a partir de coordenadas geográficas conhecidas, fornecidas através do teclado;  
e,
3. *registro imagem-imagem*, que permite realizar a correção geométrica de uma imagem utilizando outra imagem previamente corrigida. No presente trabalho, esta operação de registro será utilizada para registrar a fotografia (rasterizada) e ortofoto (registrada) em relação ao arquivo vetorial de restituição.

Uma vez que as ortofotos já vêm georeferenciadas do fornecedor, no sistema UTM, as ortofotos pr1 e pr2 foram inseridas diretamente no plano de informação denominado “ortofotos (mosaico)”, no projeto “mossungue”, ou seja, sem sofrerem o processo de registro.

Uma vez que nas versões 1.0 e 1.1 do SPRING as ortofotos deveriam necessariamente serem registradas, optou-se por registrar a ortofoto (pr2), na versão 2.0 do referido *software*, no plano de informação denominado “ortofoto (registrada)”, a fim de verificar a interferência do registro de imagens na qualidade dos resultados sobre ortofotos. A imagem ortofoto (pr2) foi registrada pelo mesmo procedimento utilizado para a fotografia (rasterizada). Deve-se salientar que a ortofoto (pr2) não necessitava ser registrada, tendo-se em vista que a mesma já se apresenta georeferenciada.

A fotografia (rasterizada) é uma imagem que não possui georeferenciamento compatível com o armazenamento dos dados no projeto “mossungue”. Portanto, necessitou-se registrá-la utilizando-se de um artifício, que será explanado nos itens seguintes, para que a mesma pudesse ser entendida pelo sistema.

O artifício utilizado para que as imagens fossem entendidas pelo sistema foi o de criarem-se 2(dois) novos projetos denominados “generico1” e “genérico 2” ,que receberam, respectivamente, a imagem da fotografia (rasterizada) e a imagem da ortofoto (pr2).

Em tais projetos, foram fornecidas as seguintes informações:

- a projeção cartográfica adotada

sem projeção; e,

- os valores das coordenadas que limitam a área da imagem

$x1 = 0.00$

$y1 = 0.00$  (canto inferior esquerdo)

$x2 = n^{\circ}$  de colunas

$y2 = n^{\circ}$  de linhas (canto superior direito).

Na operação de registro foram então fornecidas as seguintes informações no projeto:

- a projeção cartográfica adotada

UTM (Universal Transverse Mercator);

- o datum geodésico horizontal

Datum CHUÁ - Sistema SAD-69 (South American Datum 1969); e,

- o meridiano central da projeção

w 51° 00' 00”.

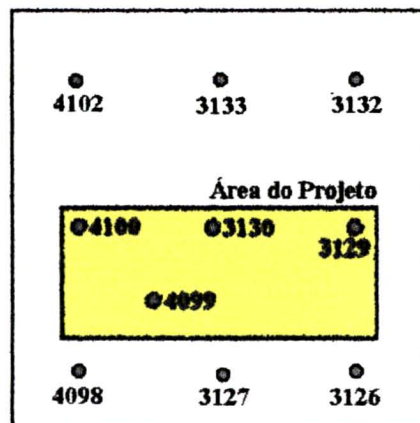
Para a execução do presente trabalho utilizou-se os seguintes procedimentos para o registro das imagens :

- registro imagem-coordenada e imagem-mapa - na fotografia (rasterizada) e ortofoto (pr2); e,
- nenhuma utilização de registro - no mosaicamento das ortofotos pr1 e pr2, tendo-se em vista que as imagens já estão registradas.



### 3.3.3.1 Registro Imagem-Coordenada

O registro na fotografia (rasterizada) foi executado utilizando-se inicialmente os 10 (dez) pares de pontos fotogramétricos determinados por aerotriangulação, conforme mostra a **Figura 3.3.3.1**.



**Figura 3.3.3.1** - Localização dos pontos fotogramétricos, determinados pela aerotriangulação, na fotografia (rasterizada).

Os pontos fotogramétricos encontram-se “pugados”<sup>4</sup> na fotografia. Ocorre que, cada ponto fotogramétrico fica representado por um conjunto de *pixels*, ao invés de apenas um *pixel*, dificultando a determinação exata do mesmo, durante a operação de registro. Deve-se salientar que, dependendo da resolução do *pixel*, o fato acima citado, sempre ocorre para qualquer ponto fotogramétrico determinado por aerotriangulação.

Para a imagem da fotografia (rasterizada) apresentada na tela, foi então identificado e posicionado cada ponto fotogramétrico usando-se o recurso de ampliação (*zoom*) para a obtenção de um melhor posicionamento. As coordenadas dos pontos fotogramétricos foram inseridas por digitação via teclado.

<sup>4</sup> “pugados” = marcados com uma agulha.

O *software* possibilita que sejam selecionados os pontos fotogramétricos e o grau de polinômio que será utilizado para registrar uma imagem. Portanto, após terem sido inseridos todos os 10 (dez) pontos fotogramétricos, passou-se a etapa de seleção dos pontos fotogramétricos que realmente seriam utilizados na operação de registro.

Os pontos fotogramétricos que foram utilizados na operação de registro são denominados pelo *software* como *pontos de controle*, e os pontos não utilizados são considerados *pontos de teste*. Tem-se a possibilidade de escolher na aplicação da equação de mapeamento sobre os pontos o grau de polinômio de primeiro ou de segundo grau.

A medida que os pontos de controle vão sendo selecionados, é apresentado, na tela de vídeo, de forma automática, ao lado do nome de cada ponto inserido, o valor do erro planimétrico cometido. Este valor é fornecido em *pixels*. Aplicou-se a função do polinômio de transformação de 1° grau. Cada ponto observado nos dois espaços dá origem a 2(duas) equações de transformação, que possibilitam translação, rotação, eixos de coordenadas não ortogonais e diferentes escalas em x e y. Assim, a utilização de 3(três) pontos dariam solução única ao sistema. Porém, na prática necessita-se de superabundância de observações. De acordo com o Manual do Usuário do SPRING - 2.0 (1996), recomenda-se que sejam adquiridos no mínimo 6(seis) pontos de controle para a utilização deste polinômio de 1° grau. Após a aplicação do polinômio, escolheu-se a distribuição de pontos fotogramétricos que seria utilizada para registrar a fotografia (rasterizada).

O *software* SPRING calculou e forneceu, automaticamente, o valor do erro planimétrico de cada ponto, selecionado ou não, e o valor médio do erro planimétrico (x, y), resultante da aplicação da equação de mapeamento sobre os pontos.

Em uma primeira análise, optou-se por utilizar apenas os 4(quatro) pontos fotogramétricos que se encontram dentro da área do projeto (ver **fig. 3.3.3.1**) pois estes pontos perfaziam os melhores resultados em termos de ajustamento.

A distribuição dos pontos escolhida para o registro, teve como valor médio de erro planimétrico (x, y), para a fotografia (rasterizada), o valor de a 3,07 *pixels*, que equivalem a 0,64m no terreno.

No registro da ortofoto (pr2) não foi possível utilizar todos os pontos de controle da aerotriangulação uma vez que apenas o ponto 3129 pertence à área em questão.

### **3.3.3.2 Registro Imagem-Imagem**

Na etapa do registro de imagens é interessante ressaltar que não existe um critério formalmente estabelecido que indique qual o número de pontos de controle, nem como os mesmos devem estar distribuídos espacialmente (VERGARA, 1994). Tais critérios devem ser estabelecidos nas especificações básicas para a realização do projeto que se deseja executar.

Segundo d'ALGE e FERREIRA (1988) citado por VERGARA (1994), os pontos de controle devem ser obtidos de cartas numa escala maior daquela a ser atualizada. Isto se faz necessário a fim de assegurar a qualidade geométrica do registro. Porém, devido a não se ter acesso a uma carta numa escala maior e haver a necessidade da obtenção de cerca de 6(seis) pontos de controle para a utilização do polinômio de transformação, os demais pontos de controle foram adquiridos através do arquivo vetorial desatualizado para o registro da fotografia (rasterizada) e ortofoto (registrada). Deve-se enfatizar que para imagens fotogramétricas, não é recomendável utilizar-se o ajustamento dos pontos de controle através de um polinômio de 1º grau, porém esta é a

única opção oferecida pelo *software*, que segue a tendência dos demais SIGs comerciais no que se refere a modelos matemáticos para georeferenciamento.

Após a operação de registro Imagem-Coordenada, partiu-se para a segunda etapa da operação de registro, onde a imagem digital, representada pela fotografia (rasterizada) foi georeferenciada mediante o seu registro com a carta da área do projeto (restituição planimétrica). Nesta etapa foram escolhidos pontos, em feições identificadas com segurança, tanto na imagem a ser registrada como na “carta” (arquivo vetorial desatualizado).

Adquiridos todos os pontos a serem determinados, aplicou-se a função do polinômio de transformação de 1º grau, e escolheu-se o ajustamento dos pontos de controle com menor erro médio planimétrico (x, y), conforme apresentado na **Tabela 3.3.3.2**.

**Tabela 3.3.3.2** - Valores dos pontos de controle (*em pixels*) utilizados para registrar a fotografia rasterizada.

Nº do Ponto de Controle	Fotografia Rasterizada	
	Coordenada x	Coordenada y
4099	2.60	2.19
3130	2.41	0.54
3129	4.53	1.95
4100	0.49	1.21
04	1.39	4.91
06	5.38	1.44
10	0.67	1.01
<b>Erro ptos de Controle</b>	<b>5.31 pixels = 1.11 metros</b>	

Observe-se que :

1. os valores dos pontos são apresentados em *pixels*; e,
2. o erro dos pontos de controle é o erro de posicionamento dos pontos fotogramétricos que foram utilizados no registro.

Para a ortofoto (pr2), não foi possível a utilização dos mesmos pontos utilizados na fotografia (rasterizada), uma vez que a área ocupada pela ortofoto (pr2) é menor em relação a área ocupada pela fotografia (rasterizada) e inclusive a área do projeto ( ver **Figuras 3.2.2.1 e 3.3.3.1**). Dessa forma, se fez necessário escolher pontos diferentes para a ortofoto (pr2).

Adquiridos todos os pontos a serem determinados, aplicou-se a função do polinômio de transformação de 1º grau, e escolheu-se o ajustamento dos pontos de controle com menor erro médio planimétrico (x, y), conforme apresentado na **Tabela 3.3.3.3**.

Nos resultados obtidos na operação de registro para a fotografia (rasterizada) estão inseridos erros de pontaria, em cada ponto, devido:

1. à dificuldade do operador identificar o *pixel* que melhor representa o objeto, uma vez que tais pontos se encontram “pugados”;
2. o erro devido a inclinação da imagem relativa ao instante da tomada da fotografia;
3. à posição relativa do ponto na fotografia, por se tratar de projeção central; e,
4. ao deslocamento do relevo.

No registro da ortofoto (pr2) estão inseridos erros de posicionamento, em cada ponto, relativos à dificuldade do operador identificar o *pixel* que melhor representa o objeto.

Além dos fatores acima citados, deve-se levar em consideração que, por haver muitos espaços vazios no arquivo vetorial desatualizado, tornou-se tarefa complicada a escolha de pontos de controle que possibilitassem uma distribuição satisfatória para o registro.

**Tabela 3.3.3.3** - Valores dos pontos de controle (*em pixels*) utilizados para registrar a ortofoto (pr2).

Nº do Ponto de Controle	Ortofoto pr2	
	Coordenada x	Coordenada y
3129	0.73	1.94
02	0.15	1.38
03	0.57	1.53
04	3.29	0.21
05	2.04	6.21
06	1.95	1.04
08	6.16	0.87
09	0.15	2.17
11	0.49	0.22
12	0.16	1.09
13	1.64	1.29
14	0.09	2.52
16	1.29	1.54
17	1.15	0.43
23	3.34	6.42
24	4.50	4.82
26	1.27	1.27
27	1.28	2.84
28	3.14	2.52
<b>Erro pto de Controle</b>	<b>4.03 pixels = 0.84 metros</b>	

Observe-se que :

1. os valores dos pontos são apresentados em *pixels*;
2. o erro dos pontos de controle é o erro dos pontos que foram utilizados para o registro

Os Manuais do Usuário do SPRING (1995) e (1996) apenas mencionam que a escolha dos pontos de controle, no registro de imagens, devem ser distribuídos espacialmente de forma uniforme dentro da área, porém não fornecem subsídios em relação a utilização de imagens fotogramétricas, em escala topográfica.

Após o registro, todas as imagens foram importadas para a área do projeto “mossungue”, para os seus respectivos planos de informação: “fotografia (rasterizada)”, ortofoto (registrada) e ortofoto (mosaico).

Assim, todos os dados já se encontravam em condições para que se procedesse a sobreposição da informação antiga com cada imagem a ser avaliada.

### **3.4 Coleta dos Dados a serem Avaliados**

Pode-se definir, de forma resumida, que a atualização cartográfica é a tarefa de sobrepor a informação nova obtida de uma determinada fonte de dados sobre os dados antigos contidos numa carta ou mapa, representando as mudanças enquanto se conserva o que não foi alterado (VERGARA, 1994).

Através da visualização dos arquivos de referência, sobrepostos com cada um dos arquivos que contém as imagens a serem avaliadas, observaram-se as modificações ocorridas ao longo do período. Constatou-se que seria impraticável, em alguns casos, proceder-se à atualização do arquivo de referência com determinado produto fotogramétrico devido ao grau de alterações ocorridas no panorama local durante o período observado.

Como o objetivo deste trabalho é o de avaliar o potencial dos produtos fotogramétricos com fins a atualização cartográfica, optou-se por aplicar o seguinte procedimento:

- considerou-se como referência, o arquivo vetorial contido no plano de informação “restituição planimétrica”. Neste plano de informação foram escolhidos pontos bem definidos (cantos de casas e de muros, base de postes,

etc.) em torno de toda a área do projeto de forma aleatória (ver ANEXO 02).

Tais pontos foram considerados como pontos de teste;

- considerou-se como arquivos a serem avaliados, os planos de informação “fotografia (rasterizada)”, ortofoto (registrada) e “ortofoto (mosaico)”;
- foi realizada então a sobreposição do plano de informação “restituição planimétrica” com cada um dos planos de informação que continham as imagens a serem avaliadas. A seguir foram localizados, em cada imagem, os pontos homólogos àqueles escolhidos na “restituição planimétrica”; e,
- foram extraídos os valores das coordenadas de cada ponto de teste, tanto no plano de informação “restituição planimétrica” quanto nos demais planos de informação a serem avaliados. Para tanto procedeu-se à leitura das coordenadas de pontos escolhidos no plano de informação “restituição planimétrica” e dos pontos homólogos em cada um dos planos de informação referentes à “fotografia (rasterizada)”, ortofoto (registrada) e “ortofoto (mosaico)”.

Nesta etapa do trabalho detectou-se que o *software* SPRING, na versão 1.0 e 1.1, apenas possibilitava que os pontos fossem lidos em decâmetro, estimando-se o metro. O *software* foi então alterado, conforme exposto no item 3.2.4, do presente trabalho.

O presente trabalho foi inteiramente desenvolvido no *software* SPRING, versão 2.0, onde o registro e os dados passaram a ser lidos em metros e estimados os decímetros.



### 3.5 Dificuldades Encontradas

Pode-se considerar como as maiores dificuldades encontradas para a execução do presente trabalho:

1. o tempo de processamento na operação de importação.
  - quando da utilização das versões 1.0 e 1.1, o tempo de importação de cada arquivo fotogramétrico variou em torno de 3(três) horas. Na versão 2.0 este período diminuiu para cerca de 15(quinze) minutos;
2. dificuldade do posicionamento correto dos elementos a serem atualizados.
  - dificuldade em definir na imagem, via tela de vídeo, o *pixel* que melhor representa o vértice do objeto a ser identificado;
  - os pontos e linhas que definem o contorno dos objetos (p.ex. edificações) a serem atualizados são definidos visualmente pelo operador. O posicionamento destes pontos e linhas é executado manualmente, com o cursor do *mouse*, na tela de vídeo. Dessa forma, cada operador define diferentemente a posição desses contornos ocasionando diferenças da localização efetiva do objeto a ser atualizado; e,
3. dificuldade na escolha e pontaria dos pontos de controle, na operação de registro.
  - *no arquivo de restituição*. Por se tratar de um arquivo no formato vetorial, desatualizado em relação às imagens, ao visualizar-se este arquivo, na tela de vídeo, a procura de pontos de controle homólogos àqueles escolhidos na imagem a ser registrada, aparecerão locais sem

informação cartográfica. Essa falta de informação no arquivo vetorial dificulta a escolha de pontos de controle;

- *provenientes da aerotriangulação*. Os pontos fotogramétricos determinados por aerotriangulação foram *pugados* na fotografia. Na fotografia rasterizada, estes pontos fotogramétricos se apresentam, na tela de vídeo, como um conjunto de *pixels* geralmente em formato de círculo. Por essa razão tem-se a dificuldade de escolher o *pixel* que representa a posição correta do ponto de controle a ser determinado.

4. dificuldade de manipulação em relação ao *software* SPRING, por se tratar de um *software* em fase de aperfeiçoamento.

#### 4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir dos materiais e das metodologias utilizadas são apresentados neste capítulo os resultados dos testes efetuados e a análise dos resultados obtidos, buscando-se avaliar o desempenho dos produtos fotogramétricos testados para a atualização do arquivo vetorial de restituição na escala 1:2.000.

O procedimento adotado para executar as avaliações são as comparações realizadas sobre os pontos de teste, medidos sobre o arquivo vetorial de restituição e nas imagens fotogramétricas: fotografia (rasterizada), ortofoto (mosaico) e ortofoto (registrada).

Diante da impossibilidade de se avaliar a precisão das diversas etapas do processo de produção de cada produto fotogramétrico e até mesmo do arquivo vetorial de restituição, aqui serão abordadas considerações sobre as discrepâncias decorrentes do processo utilizado para a obtenção das coordenadas dos pontos de teste no arquivo vetorial de restituição e nos produtos fotogramétricos a serem avaliados.

Para avaliar a exatidão geométrica dos produtos fotogramétricos em relação ao arquivo vetorial de restituição utilizou-se como padrão de exatidão cartográfica, as especificações contidas na Legislação de Cartografia e Aerolevanteamento (1986). Assim, utilizou-se como padrão de exatidão, em todas as avaliações aqui apresentadas, o valor de 0.5 mm da escala da carta, que equivale, na escala 1:2.000, a 1.0 metro no terreno. O critério adotado é que 90% dos pontos determinados na carta, quando testados, não deverão apresentar erro superior ao padrão de exatidão planimétrico estabelecido.

A comparação entre as coordenadas dos pontos de teste foi efetuada sobre os resultados planimétricos obtidos em cada produto fotogramétrico. Para tanto, foram escolhidos pontos em cada produto, de forma aleatória, que foram medidos e que são

aqui avaliados. Foram escolhidos 86 (oitenta e seis) pontos no arquivo de restituição, na fotografia (rasterizada) e na ortofoto (mosaico). Na ortofoto (registrada), onde utilizou-se apenas a ortofoto pr2, foram escolhidos 52 (cinquenta e dois) pontos homólogos aos escolhidos no arquivo de restituição.

#### **4.1 Avaliação quanto à Variação da Escala, Ângulo de Rotação, Translação e Erro Médio Quadrático**

A fim de estimar as discrepâncias médias, relativas a variação de escala ( $k$ ), ângulo de rotação ( $\theta$ ), translação ( $X_0, Y_0$ ) e valor médio quadrático nos eixos ( $x, y$ ), utilizou-se um programa de computação, considerando como arquivo de referência, o arquivo de restituição e como arquivos a serem avaliados, os arquivos com os pontos dos produtos fotogramétricos.

Este programa calcula os parâmetros acima citados, através do ajustamento por mínimos quadrados, pelo método paramétrico, a partir das observações sobre um arquivo considerado como referência e outro a ser avaliado, utilizando as equações de similaridade. Os resultados são apresentados na **Tabela 4.1.1**.

Observa-se, na **Tabela 4.1.1**, que os resultados referentes à escala e ângulo de rotação podem ser considerados equivalentes, uma vez que a sua variação é praticamente nula. Pode-se entretanto verificar que em relação ao arquivo de restituição a menor variação se deu na ortofoto (mosaico).

Com respeito à translação, verifica-se que na ortofoto(mosaico) as discrepâncias são mínimas, porém na fotografia (rasterizada) os valores são significativos no eixo das abcissas ( $x$ ). Tais deslocamentos ocorreram com significância apenas neste eixo e num

mesmo sentido (negativo), caracterizando assim, um erro sistemático. A presença destas discrepâncias também está evidente no erro médio quadrático (x, y). O fator que pode ter contribuído para tais variações foram os parâmetros da transformação polinomial utilizada no processo de registro de imagens. Outros fatores ainda que podem ter contribuído para tais variações, de forma menos acentuada, estão relacionados ao erro de posicionamento na pontaria dos pontos de controle durante o processo de registro e o deslocamento devido ao relevo.

Observa-se que, os erros médios quadráticos (x, y) para a ortofoto(mosaico) e ortofoto (registrada) estão dentro dos padrões de exatidão planimétrico estabelecidos.

**Tabela 4.1.1** - Resultado das discrepâncias médias dos parâmetros após o **ajustamento** das observações dos pontos do arquivo de restituição e seus homólogos nos produtos fotogramétricos.

<b>Produtos/ Variáveis</b>	<b>Fotografia Rasterizada<sup>o</sup></b>	<b>Ortofoto (mosaico)</b>	<b>Ortofoto (registrada)</b>
<b>Nº de pontos avaliados</b>	86	86	52
<b>Fator de escala - k</b>	1.0022	1.0000	0.9991
<b>Ângulo rotação - <math>\theta</math> (graus decimais)</b>	-0.0001	0.0000	-0.0007
<b>Translação eixo x - X<sub>o</sub> (metros)</b>	-2.4298	0.2076	1.7333
<b>Translação eixo y - Y<sub>o</sub> (metros)</b>	-0.3409	-0.1766	-1.1558
<b>Erro Médio Quadrático<sup>1</sup>-x, y (metros)</b>	3.488	1.027	0.9386

<sup>1</sup> De acordo com GEMAEL (1994), p.88.

## 4.2 Avaliação dos Pontos de Verificação em Relação aos Pontos de Teste

Neste item são avaliadas, através de comparação:

1. as leituras das coordenadas dos pontos efetuadas no arquivo de restituição e nos pontos homólogos a estes, na fotografia (rasterizada) e ortofoto (mosaico); e,
2. entre a ortofoto (mosaico) e ortofoto (registrada).

Deve ser ressaltado que a fotografia (rasterizada) e as ortofotos (pr1) e (pr2) são consideradas, no presente trabalho, equivalentes em precisão devido à precisão com que o *software* SPRING manipula com os dados. O *software* SPRING permite leituras com precisão de 0,1 metros enquanto que as ortofotos e a fotografia rasterizada apresentam, respectivamente, o tamanho de *pixel* de 0,17 metros e 0,21 metros, que por arredondamento do sistema equivalem a 0,2 metros.

### 4.2.1 Comparação entre a Restituição e a Fotografia Rasterizada

Foram medidos 86(oitenta e seis) pontos na fotografia (rasterizada) e seus homólogos no arquivo de restituição fotogramétrica, que representa o arquivo desatualizado e padrão de comparação entre os produtos.

No ANEXO 03 encontra-se a Tabela 4.2.1, que contém a relação dos pontos medidos na restituição e na fotografia (rasterizada), suas diferenças em relação aos eixos x e y, o cálculo do erro planimétrico resultante das diferenças entre as coordenadas em X e Y e a altitude média de cada ponto.

Obteve-se um erro planimétrico médio 2.77 metros e desvio padrão de 2.23 metros entre os pontos medidos.

A partir da Tabela 4.2.1 - ANEXO 03 pode-se estabelecer a Tabela 4.2.1.1, de freqüências relativas aos erros planimétricos existentes entre as coordenadas:

**Tabela 4.2.1.1** - Tabela de freqüência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas do arquivo de restituição e da fotografia rasterizada.

Freqüência (m)	Nº Ptos	Nº Ptos Acumulados	Percentual de Ptos	% Acumulada dos Ptos	% do Total de Casos
0.0000 $\leq$ x < 1.0000	8	8	9.30233	9.3023	9.30233
1.0000 $\leq$ x < 2.0000	30	38	34.88372	44.1860	34.88372
2.0000 $\leq$ x < 3.0000	23	61	26.74419	70.9302	26.74419
3.0000 $\leq$ x < 4.0000	13	74	15.11628	86.0465	15.11628
4.0000 $\leq$ x < 5.0000	6	80	6.97674	93.0233	6.97674
5.0000 $\leq$ x < 6.0000	1	81	1.16279	94.1860	1.16279
6.0000 $\leq$ x < 7.0000	2	83	2.32558	96.5116	2.32558
7.0000 $\leq$ x < 8.0000	0	83	0.00000	96.5116	0.00000
8.0000 $\leq$ x < 9.0000	0	83	0.00000	96.5116	0.00000
9.0000 $\leq$ x < 10.0000	0	83	0.00000	96.5116	0.00000
10.0000 $\leq$ x < 11.0000	0	83	0.00000	96.5116	0.00000
11.0000 $\leq$ x < 12.0000	0	83	0.00000	96.5116	0.00000
12.0000 $\leq$ x < 13.0000	3	86	3.48837	100.0000	3.48837

Verificou-se que os pontos que apresentam maior discrepância estão localizados na bordas leste, oeste e sul da imagem, o que caracteriza que os deslocamentos ocorreram em função da projeção ser central; e,

A tais resultados podem ainda estar relacionados a inclinação da imagem relativa ao instante da tomada da fotografia e ao deslocamento do relevo, cuja variação, neste caso, é de aproximadamente 70 metros.

Porém a principal causa das discrepâncias está relacionada ao modelo matemático utilizado no registro de imagens. Este modelo é inadequado para a manipulação de fotografias aéreas.

Analisando tais resultados e considerando que 90% dos pontos devem possuir erros menores que 0.5 mm na escala da carta e que apenas 9.30% dos pontos se encontram dentro deste padrão, conclui-se que a presente metodologia aplicada com a fotografia rasterizada não está dentro dos padrões de exatidão para atualizar mapas planimétricos na escala 1:2.000, porém pode atender a atualizações na escala 1:8.000.

#### **4.2.2 Comparação entre a Restituição e a Ortofoto (mosaico)**

Conforme explicado no item 3.3.3, as imagens das ortofotos pr1 e pr2 foram importadas diretamente para a área do projeto, sem necessidade de se proceder ao registro das mesmas. Dessa forma, as discrepâncias encontradas estão diretamente relacionadas à confecção da ortofoto, a habilidade do operador não posicionamento dos pontos e altura de cada ponto escolhido.

No ANEXO 04 encontra-se a Tabela 4.2.2, que contém a relação dos pontos medidos na restituição e na ortofoto (mosaico), suas diferenças em relação aos eixos x e y, o cálculo dos erros planimétricos entre as coordenadas e a altitude média de cada ponto.



A partir da **Tabela 4.2.2 - ANEXO 04** pode-se estabelecer a **Tabela 4.2.2.1**, de freqüências relativa aos erros planimétricos existentes entre as coordenadas.

**Tabela 4.2.2.1** - Tabela de freqüência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas do arquivo de restituição e da ortofoto (mosaico).

<b>Freqüência (m)</b>	<b>NºPtos</b>	<b>NºPtos Acumulad os</b>	<b>Percentual de Ptos</b>	<b>% Acumulada dos Ptos</b>	<b>% do Total de Casos</b>
<b>-0.5000 &lt;= x &lt; 0.0000</b>	0	0	0.00000	0.0000	0.00000
<b>0.0000 &lt;= x &lt; .50000</b>	27	27	31.39535	31.3953	31.39535
<b>.50000 &lt;= x &lt; 1.0000</b>	40	67	46.51163	77.9070	46.51163
<b>1.0000 &lt;= x &lt; 1.5000</b>	14	81	16.27907	94.1860	16.27907
<b>1.5000 &lt;= x &lt; 2.0000</b>	5	86	5.81395	100.0000	5.81395

Obteve-se um erro planimétrico médio de 0.69 metros e desvio padrão de 0.47 metros entre os pontos medidos.

Uma vez que o vôo utilizado para a confecção de tais ortofotos não seguiu os padrões recomendáveis, pode ter influenciado na qualidade dos resultados.

Considerando-se que 90% dos pontos devem possuir erros menores que 0.5 mm na escala da carta e que apenas 79.91% dos pontos se encontram dentro deste padrão, conclui-se que a presente ortofoto (mosaico) não está dentro dos padrões de exatidão para atualizar mapas planimétricos na escala 1:2.000, porém pode atender a atualizações na escala 1:3.000.

### 4.2.3 Comparação entre a Ortofoto (mosaico) e a Ortofoto (registrada)

Nas versões 1.0 e 1.1 do *software* SPRING, as ortofotos devem necessariamente passar pelo processo do registro de imagens.

Conforme citado no **item 3.3.3**, o registro utiliza transformações geométricas para relacionar as coordenadas da imagem com as coordenadas geodésicas homólogas fornecidas através de pontos de controle, para eliminar as distorções existentes na imagem. O SPRING utiliza, no registro de imagens, as transformações polinomiais.

Contudo, as ortofotos são imagens que estão georeferenciadas e corrigidas de suas distorções geométricas a partir da retificação diferencial considerada mais adequada do que as retificações polinomiais.

A fim de avaliar a interferência do registro de imagens neste produto, optou-se por registrar a ortofoto pr2, que não tinha a necessidade de ser registrada, e verificar a qualidade dos resultados. Assim, no presente item será apresentada a comparação entre as leituras efetuadas sobre a ortofoto (mosaico) e suas homólogas na ortofoto (registrada), tendo por objetivo mostrar, quantitativamente, a percentagem média, da influência da transformação polinomial na qualidade dos dados coletados.

No **ANEXO 5**, encontra-se a **Tabela 4.2.3**, que contém a relação dos pontos medidos na ortofoto (mosaico) e na ortofoto (registrada), suas diferenças em relação aos eixos x e y, o cálculo dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas e a altitude média de cada ponto.

A partir da **Tabela 4.2.3 - ANEXO 5** podemos estabelecer a **Tabela 4.2.3.1** de freqüências relativa às distâncias existentes entre as coordenadas.

**Tabela 4.2.3.1** - Tabela de frequência dos erros planimétricos existentes entre as coordenadas da ortofoto (mosaico) e da ortofoto (registrada).

Frequência (m)	Nº Ptos	Nº Ptos Acumula dos	Percentual de Ptos	% Acumulada dos Ptos	% do Total de Casos
0.0000 <= x < .50000	4	4	8.00000	8.0000	8.00000
.50000 <= x < 1.0000	19	23	38.00000	46.0000	38.00000
1.0000 <= x < 1.5000	17	40	34.00000	80.0000	34.00000
1.5000 <= x < 2.0000	7	47	14.00000	94.0000	14.00000
2.0000 <= x < 2.5000	2	49	4.00000	98.0000	4.00000
2.5000 <= x < 3.0000	1	50	2.00000	100.0000	2.00000

Obteve-se um erro planimétrico médio de 1.10 metros e desvio padrão de 0.52 metros entre os pontos medidos, com uma variação máxima de 2.55 metros.

Da **Tabela 4.2.3.1**, verifica-se que 46% dos pontos da ortofoto (registrada), homólogos à ortofoto (mosaico) estão dentro do padrão de exatidão-planimétrico estabelecido. As discrepâncias dos demais pontos, possivelmente estão relacionadas ao número, distribuição dos pontos de controle e a utilização da transformação polinomial no registro da imagem. Dessa forma, podemos afirmar que os fatores acima citados influenciaram em média, cerca de 54% na perda de exatidão das leituras dos pontos na ortofoto (registrada).

Considerando-se os resultados acima, pode-se afirmar que as atualizações de mapas utilizando ortofotos não devem ser executadas nas versões 1.0 e 1.1 do *software* SPRING pois nestas versões as ortofotos devem ser necessariamente registradas ocasionado deformações geométricas em um produto considerado acurado.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Considerações Gerais

No presente trabalho foram realizados testes utilizando diferentes produtos fotogramétricos, em meio digital, para verificar a possibilidade de utilização dos mesmos em atualizações sistemáticas de mapas e cartas, no formato vetorial, utilizando o *software* “SPRING”. As avaliações foram efetuadas, através de comparações executadas sobre os pontos lidos em um arquivo vetorial desatualizado e nos pontos homólogos a estes, nos produtos fotogramétricos.

Como produtos fotogramétricos, em meio digital, utilizou-se :

- um fotografia rasterizada; e,
- duas ortofotos.

Como sistema de processamento inicialmente tentou-se utilizar as versões 1.0 e 1.1 do *software* SPRING, porém devido a problemas de ordem técnica, utilizou-se a versão 2.0 do referido *software*. Deve ser ressaltado que, o presente trabalho serviu de teste a este *software* e prestou-se para que fossem alterados dois procedimentos internos do mesmo, conforme apresentado no item 3.2.4 deste trabalho.

Realizou-se avaliações acerca dos resultados dos testes efetuados sobre o desempenho dos produtos fotogramétricos e do arquivo de restituição, para a atualização cartográfica.

## 5.2 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e levando-se em consideração as restrições encontradas, tanto no que diz respeito ao *software* como aos dados utilizados, conclui-se que:

- o presente trabalho somente pode ser executado após terem sido realizadas alterações no *software* SPRING, versão 2.0, pelos técnicos responsáveis pelo mesmo;
- a fotografia rasterizada têm por desvantagem necessitar, na operação de registro, a utilização de artifícios (ver itens 3.3.3 e 3.3.3.2) para que possa ser inserida num projeto com projeção cartográfica definida. Este fator implica em um número maior de procedimentos se comparado com a inserção da ortofoto no projeto;
- a fotografia rasterizada quando comparada com o arquivo vetorial de restituição desatualizado teve por resultado valores inferiores ao padrão de exatidão planimétrico estabelecido;
- dentre os produtos fotogramétricos utilizados, a ortofoto (mosaico) apresentou os melhores resultados, tendo por vantagem não necessitar da etapa de registro;
- apesar dos resultados obtidos através das diversas experiências não terem sido satisfatórias para quaisquer dos produtos fotogramétricos na escala proposta, a priori, considerando-se a exatidão planimétrica contida na Legislação de Cartografia e Aerolevanteamento (1986), pode-se afirmar que a ortofoto (mosaico) pode atender a atualizações na escala 1:3.000 e a fotografia (rasterizada) a atualizações na escala 1:8.000,

- a atualizações de cartas utilizando ortofotos não devem ser executadas nas versões 1.0 e 1.1 do *software* SPRING. Nestas versões as ortofotos devem ser necessariamente registradas. Assim, o número, a distribuição dos pontos de controle e principalmente a transformação matemática utilizada durante as operações do registro deformará a imagem e diminuirá a qualidade da ortofoto a ser utilizada.

### 5.3 RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os resultados obtidos, recomenda-se que, antes de se iniciar, trabalhos de atualização cartográfica, utilizando produtos fotogramétricos, sejam considerados os seguintes fatores:

1. as características da área a ser utilizada, tais como o grau de desatualização e declividade do terreno;
2. os produtos fotogramétricos, como por exemplo em relação ao afastamento da área de trabalho do centro da cena (para fotografias rasterizadas), ao tamanho do *pixel* em relação ao padrão de exatidão desejado e à precisão de leitura do sistema de processamento utilizado;
3. a quantidade, qualidade e distribuição dos pontos de controle utilizados para o registro, quando necessário, com os produtos fotogramétricos testados; e,
4. os sistemas de processamento e equipamentos utilizados que podem limitar a obtenção de bons resultados.

Quando necessária a utilização do registro de imagens, considera-se de fundamental importância a seleção dos pontos de controle. Estes pontos de controle devem estar distribuídos espacialmente, sempre que possível, de forma uniforme dentro

da área a ser atualizada. No presente trabalho o arquivo de restituição fotogramétrica (arquivo desatualizado) apresentava regiões desprovidas de informação cartográfica (i.e., edificações, postes, arruamento, etc.), o que impossibilitou um registro adequado. Em se tratando de atualização cartográfica é de se esperar que sempre ocorram estas regiões desprovidas de informação cartográfica. Deve-se buscar procedimentos que minimizem esta deficiência.

Convém lembrar que na operação de registro de imagens utiliza-se uma transformação polinomial para estimar os resíduos. Este modelo matemático é inadequado para ser utilizado em fotografias aéreas. O *software* SPRING deveria permitir a introdução de outros modelos matemáticos e/ou dos coeficientes dos parâmetros das transformações utilizadas.

Tendo em vista as dificuldades encontradas a nível de *software* e a obtenção de produtos com especificações semelhantes para a execução dos testes executados no presente trabalho, considera-se de suma importância a execução de novos experimentos, com produtos fotogramétricos semelhantes para viabilizar uma metodologia própria para cada caso, que reduza a um mínimo as limitações técnicas e práticas encontradas neste trabalho.

## **LISTA DE ANEXOS**



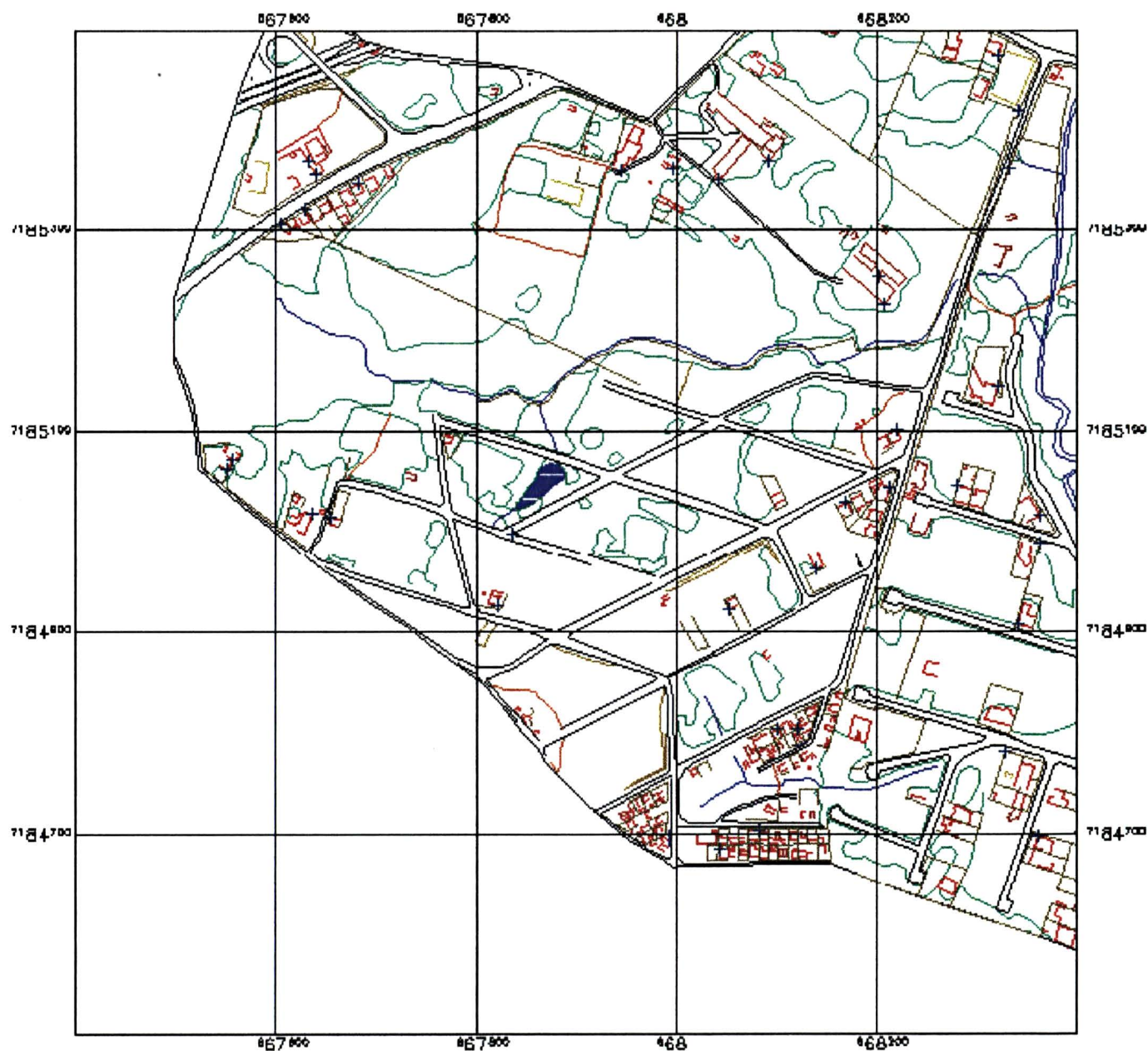
**ANEXO 01****LISTA DE COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE  
FOTO IDENTIFICÁVEIS**

**LISTA DE COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE  
FOTO IDENTIFICÁVEIS**

<b>N° do Ponto</b>	<b>Coordenada Este - E (m)</b>	<b>Coordenada Norte - N (m)</b>	<b>Altitude - H (m)</b>
<b>3126</b>	669019.401	7184364.598	921.963
<b>3127</b>	668386.150	7184362.198	898.578
<b>3129</b>	668918.453	7185269.203	920.532
<b>3130</b>	668319.939	7185188.722	907.429
<b>3132</b>	668929.287	7185971.356	913.910
<b>3133</b>	668330.681	7185992.748	940.878
<b>4098</b>	667642.011	7184517.736	715.379
<b>4099</b>	667843.138	7184899.494	945.630
<b>4100</b>	667617.559	7185309.811	948.096
<b>4102</b>	667894.137	7186038.148	916.182

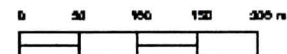
## **ANEXO 02**

### **LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE ESCOLHIDOS NA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA**



## Restituição Aerofotogramétrica

(Localização dos Pontos de Controle)



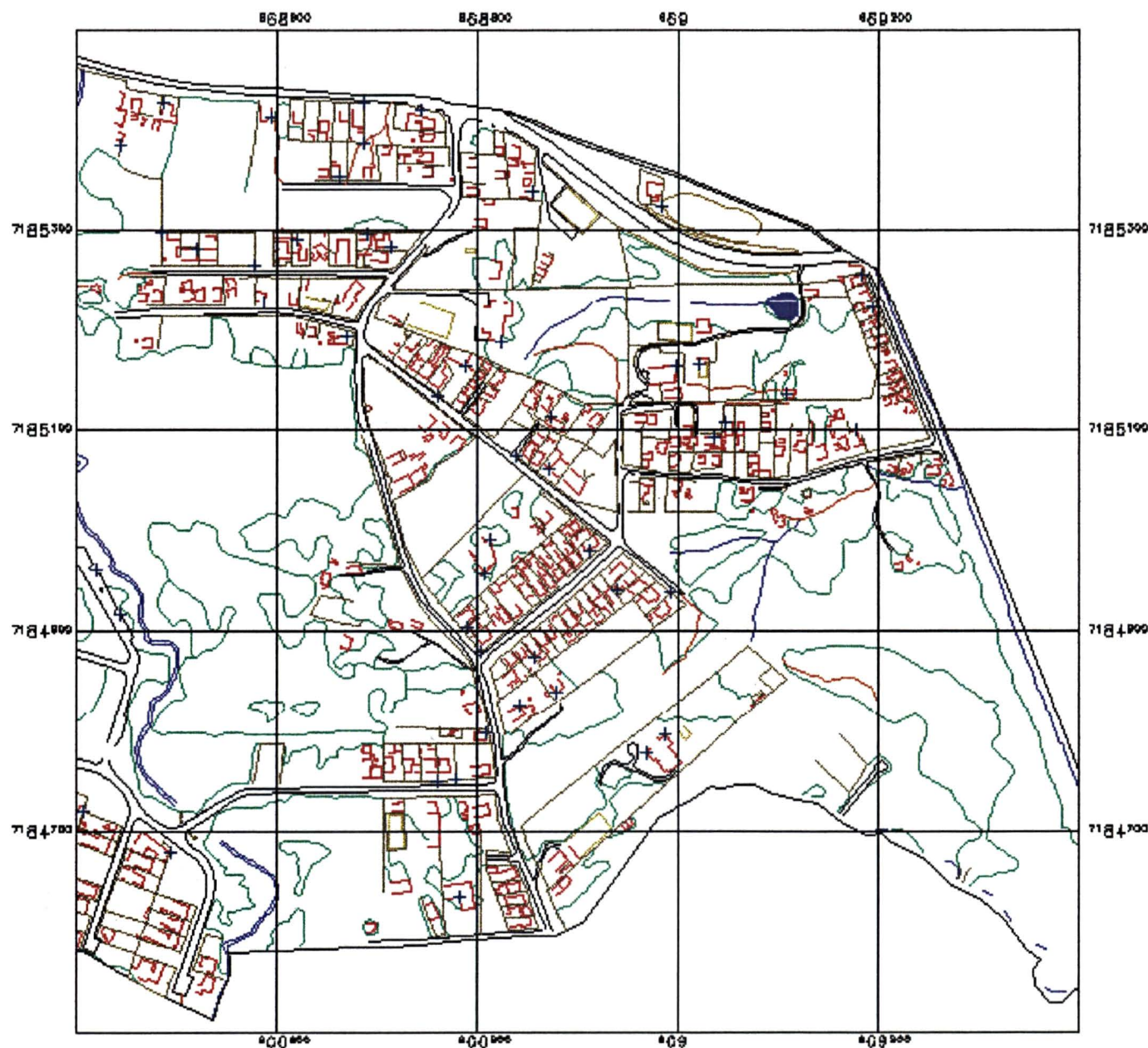
### LEGENDA

#### Pontos de Controle

- ▣ restituição
- ▣ fotografia (scannerizada)
- ▣ fotografia (retificada)
- ▣ artfoto

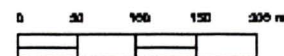
#### Restituição

- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reflorestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro



## Restituição Aerofotogramétrica

(Localização dos Pontos de Controle)



### LEGENDA

#### Pontos de Controle

- restituição
- fotografia (scannerizada)
- fotografia (retificada)
- artefoto

#### Restituição

- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reflorestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro

### **ANEXO 03**

#### **COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA RESTITUIÇÃO E DA FOTOGRAFIA RASTERIZADA**



**Tabela 4.2.1 Comparação entre as coordenadas da Restituição e da Fotografia Rasterizada.**

Pto	REST_X	REST_Y	SCAN_X	SCAN_Y	DIFX	DIFY	Erro Plan.	ALT.
1	667631.7	7185369.5	667630.9	7185371.0	.8	-1.5	1.70	950.0
2	667639.8	7185356.5	667637.9	7185357.0	1.9	-.5	1.96	949.0
3	667604.3	7185306.5	667605.0	7185306.0	-.7	.5	.86	947.0
4	667628.3	7185321.9	667628.0	7185321.5	.3	.4	.50	948.0
5	667551.9	7185062.5	667549.4	7185060.0	2.5	2.5	3.54	952.0
6	667557.4	7185072.5	667556.1	7185071.0	1.3	1.5	1.98	952.0
7	667636.1	7185017.5	667634.8	7185016.0	1.3	1.5	1.98	950.0
8	667654.0	7185015.1	667652.1	7185015.1	1.9	0.0	1.90	950.0
10	667944.9	7185360.7	667948.7	7185359.6	-3.8	1.1	3.96	932.0
11	667996.7	7185363.1	667999.6	7185362.0	-2.9	1.1	3.10	930.0
12	668042.3	7185351.6	668044.7	7185351.1	-2.4	.5	2.45	928.0
13	668091.2	7185370.6	668093.7	7185370.1	-2.5	.5	2.55	928.0
14	668321.2	7185476.5	668322.2	7185474.0	-1.0	2.5	2.69	909.0
15	668341.1	7185420.1	668342.4	7185417.6	-1.3	2.5	2.82	907.0
16	668331.9	7185363.1	668333.9	7185360.7	-2.0	2.4	3.12	906.0
17	668202.6	7185253.5	668205.5	7185253.1	-2.9	.4	2.93	917.0
18	668207.6	7185226.5	668210.5	7185226.5	-2.9	0.0	2.90	917.0
20	667842.0	7184998.6	667845.6	7184999.8	-3.6	-1.2	3.79	930.0
22	667821.2	7184926.4	667821.6	7184925.6	-.4	.8	.89	941.0
23	668053.1	7184921.5	668052.9	7184920.7	.2	.8	.82	943.0
25	668138.8	7184963.0	668140.4	7184964.6	-1.6	-1.6	2.26	932.0
26	668169.9	7185029.7	668171.6	7185030.6	-1.7	-.9	1.92	929.0
27	668213.5	7185045.2	668214.5	7185046.1	-1.0	-.9	1.35	925.0
28	668220.3	7185101.1	668221.4	7185101.6	-1.1	-.5	1.21	923.0
29	668100.0	7184803.0	668103.6	7184804.0	-3.6	-1.0	3.74	927.0
30	668121.4	7184804.0	668124.2	7184806.5	-2.8	-2.5	3.75	924.0
31	668043.5	7184684.1	668045.3	7184686.0	-1.8	-1.9	2.62	933.0
32	668081.9	7184702.6	668084.9	7184705.6	-3.0	-3.0	4.24	928.0
33	668320.4	7185143.6	668321.8	7185144.5	-1.4	-.9	1.66	911.0
34	668280.6	7185046.5	668284.1	7185048.6	-3.5	-2.1	4.08	921.0
35	668363.4	7185015.5	668364.1	7185017.6	-.7	-2.1	2.21	910.0
36	668363.0	7184989.0	668362.7	7184991.1	.3	-2.1	2.12	909.0
37	668340.8	7184907.6	668341.8	7184910.0	-1.0	-2.4	2.60	908.0
38	668328.4	7184780.6	668329.7	7184784.6	-1.3	-4.0	4.21	906.0

39	668361.6	7184697.6	668363.0	7184701.8	-1.4	-4.2	4.43	914.0
40	668406.0	7184719.6	668405.9	7184725.6	.1	-6.0	6.00	907.0
42	668493.0	7184680.2	668491.1	7184686.6	1.9	-6.4	6.68	905.0
43	668340.7	7184907.6	668341.8	7184909.1	-1.1	-1.5	1.86	916.0
45	668443.0	7184917.1	668442.5	7184921.3	.5	-4.2	4.23	904.0
46	668419.6	7184960.1	668418.5	7184963.7	1.1	-3.6	3.76	906.0
47	668444.3	7185385.1	668444.5	7185383.2	-.2	1.9	1.91	913.0
48	668486.7	7185427.0	668486.3	7185425.2	.4	1.8	1.84	913.0
49	668593.0	7185413.0	668593.0	7185412.0	0.0	1.0	1.00	922.0
50	668484.3	7185298.0	668484.3	7185297.1	0.0	.9	.90	915.0
51	668519.3	7185281.2	668520.0	7185280.0	-.7	1.2	1.39	919.0
52	668576.7	7185264.6	668577.4	7185264.6	-.7	0.0	.70	925.0
53	668586.5	7185228.6	668585.8	7185227.0	.7	1.6	1.75	924.0
54	668620.0	7185290.1	668621.5	7185290.1	-1.5	0.0	1.50	931.0
55	668690.7	7185297.1	668692.9	7185297.6	-2.2	-.5	2.26	938.0
56	668670.0	7185192.6	668671.7	7185193.6	-1.7	-1.0	1.97	933.0
57	668662.4	7185354.5	668664.6	7185355.1	-2.2	-6	2.28	934.0
58	668687.1	7185427.0	668688.1	7185426.6	-1.0	.4	1.08	927.0
59	668743.5	7185421.2	668745.4	7185421.6	-1.9	-.4	1.94	930.0
60	668685.4	7185387.1	668687.2	7185387.1	-1.8	0.0	1.80	930.0
61	668854.5	7185338.1	668858.1	7185338.7	-3.6	-6	3.65	928.0
62	668984.1	7185324.6	668981.9	7185324.0	2.2	.6	2.28	914.0
63	669184.3	7185255.0	669171.7	7185254.1	12.6	.9	12.63	892.0
64	669195.6	7185223.0	669183.3	7185223.5	12.3	-.5	12.31	891.0
65	668823.7	7185187.6	668826.0	7185187.6	-2.3	0.0	2.30	927.0
66	668787.5	7185163.0	668789.6	7185162.7	-2.1	.3	2.12	927.0
67	668759.9	7185134.0	668761.1	7185133.7	-1.2	.3	1.24	926.0
68	668998.4	7185162.5	668999.8	7185162.5	-1.4	0.0	1.40	920.0
69	669020.6	7185165.5	669018.1	7185165.5	2.5	0.0	2.50	916.0
70	669108.9	7185134.5	669103.8	7185134.5	5.1	0.0	5.10	909.0
71	669035.9	7185093.2	669037.0	7185093.9	-1.1	-.7	1.30	918.0
72	669047.6	7185108.1	669046.8	7185108.1	.8	0.0	.80	916.0
73	669178.4	7185100.2	669166.1	7185103.5	12.3	-3.3	12.73	892.0
74	668872.2	7185113.1	668875.7	7185112.6	-3.5	.5	3.54	932.0
75	668838.6	7185073.0	668841.7	7185072.1	-3.1	.9	3.23	936.0
76	668871.9	7185060.6	668874.6	7185059.9	-2.7	.7	2.79	937.0
77	668812.1	7184991.1	668814.5	7184990.0	-2.4	1.1	2.64	934.0
78	668806.2	7184958.0	668808.3	7184956.2	-2.1	1.8	2.77	929.0
79	668912.0	7184978.6	668914.6	7184977.1	-2.6	1.5	3.00	931.0
80	668940.1	7184940.0	668941.0	7184938.6	-.9	1.4	1.66	928.0
81	668993.1	7184939.2	668994.5	7184937.7	-1.4	1.5	2.05	925.0
82	668789.4	7184904.0	668789.4	7184905.2	0.0	-1.2	1.20	925.0



83	668802.4	7184878.5	668802.4	7184879.5	0.0	-1.0	1.00	924.0
84	668857.0	7184873.0	668859.5	7184869.6	-2.5	3.4	4.22	932.0
85	668842.3	7184825.6	668843.5	7184824.4	-1.2	1.2	1.70	929.0
86	668878.6	7184838.1	668880.8	7184836.2	-2.2	1.9	2.91	928.0
87	668969.1	7184778.2	668970.0	7184777.7	-.9	.5	1.03	924.0
88	668988.0	7184796.0	668989.5	7184795.5	-1.5	.5	1.58	923.0
89	668808.9	7184798.1	668808.8	7184797.7	.1	.4	.41	925.0
90	668779.1	7184751.2	668777.5	7184753.6	1.6	-2.4	2.88	922.0
91	668760.4	7184750.6	668759.1	7184754.1	1.3	-3.5	3.73	920.0
92	668783.0	7184634.1	668782.4	7184633.0	.6	1.1	1.25	927.0
Erro Médio Planimétrico					- 0.46	-0.26	2.77	
Desvio Médio Padrão					2.98	1.88	2.23	
Total de pontos					86			

## **ANEXO 04**

### **COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA RESTITUIÇÃO E DA ORTOFOTO (MOSAICO)**

**Tabela 4.2.2 Comparação entre as coordenadas da Restituição e da Ortofoto (mosaico)**

No Pto	RESTX	RESTY	ORTX	ORTY	DIFX	DIFY	Erro Plan.	ALT.
1	667631.7	7185369.5	667631.6	7185370.1	.100	-.600	.608	950.0
2	667639.8	7185356.5	667639.0	7185357.0	.800	-.500	.943	949.0
3	667604.3	7185306.5	667605.1	7185306.5	-.800	0.000	.800	947.0
4	667628.3	7185321.9	667628.4	7185322.5	-.100	-.600	.608	948.0
5	667551.9	7185062.5	667551.7	7185062.0	.200	.500	.539	952.0
6	667557.4	7185072.5	667557.6	7185072.5	-.200	0.000	.200	952.0
7	667636.1	7185017.5	667635.2	7185018.0	.900	-.500	1.030	950.0
8	667654.0	7185015.1	667653.0	7185016.0	1.000	-.900	1.345	950.0
10	667944.9	7185360.7	667944.7	7185361.0	.200	-.300	.361	932.0
11	667996.7	7185363.1	667996.0	7185363.6	.700	-.500	.860	930.0
12	668042.3	7185351.6	668041.9	7185352.6	.400	-1.000	1.077	928.0
13	668091.2	7185370.6	668090.5	7185371.1	.700	-.500	.860	928.0
14	668321.2	7185476.5	668320.6	7185476.5	.600	0.000	.600	909.0
15	668341.1	7185420.1	668340.3	7185420.1	.800	0.000	.800	907.0
16	668331.9	7185363.1	668332.0	7185363.1	-.100	0.000	.100	906.0
17	668202.6	7185253.5	668201.9	7185254.0	.700	-.500	.860	917.0
18	668207.6	7185226.5	668207.2	7185226.5	.400	0.000	.400	917.0
20	667842.0	7184998.6	667842.0	7184999.0	0.000	-.400	.400	930.0
22	667821.2	7184926.4	667820.0	7184926.4	1.200	0.000	1.200	941.0
23	668053.1	7184921.5	668053.4	7184921.5	-.300	0.000	.300	943.0
25	668138.8	7184963.0	668138.8	7184964.1	0.000	-1.100	1.100	932.0
26	668169.9	7185029.7	668168.8	7185030.6	1.100	-.900	1.421	929.0
27	668213.5	7185045.2	668212.2	7185045.2	1.300	0.000	1.300	925.0
28	668220.3	7185101.1	668220.3	7185101.1	0.000	0.000	0.000	923.0
29	668100.0	7184803.0	668100.3	7184802.0	-.300	1.000	1.044	927.0
30	668121.4	7184804.0	668121.4	7184804.0	0.000	0.000	0.000	924.0
31	668043.5	7184684.1	668043.2	7184684.1	.300	0.000	.300	933.0
32	668081.9	7184702.6	668081.6	7184702.0	.300	.600	.671	928.0
33	668320.4	7185143.6	668319.9	7185143.6	.500	0.000	.500	911.0
34	668280.6	7185046.5	668280.9	7185046.9	-.300	-.400	.500	921.0
35	668363.4	7185015.5	668363.9	7185015.5	-.500	0.000	.500	910.0
36	668363.0	7184989.0	668362.4	7184989.0	.600	0.000	.600	909.0
37	668340.8	7184907.6	668340.8	7184907.0	0.000	.600	.600	908.0
38	668328.4	7184780.6	668327.0	7184781.1	1.400	-.500	1.487	906.0

39	668361.6	7184697.6	668361.6	7184697.6	0.000	0.000	0.000	914.0
40	668406.0	7184719.6	668405.2	7184720.1	.800	-.500	.943	907.0
42	668493.0	7184680.2	668491.7	7184678.9	1.300	1.300	1.838	905.0
43	668340.7	7184907.6	668340.7	7184907.1	0.000	.500	.500	916.0
45	668443.0	7184917.1	668442.5	7184918.2	.500	-1.100	1.208	904.0
46	668419.6	7184960.1	668418.5	7184961.2	1.100	-1.100	1.556	906.0
47	668444.3	7185385.1	668443.5	7185385.1	.800	0.000	.800	913.0
48	668486.7	7185427.0	668485.7	7185427.6	1.000	-.600	1.166	913.0
49	668593.0	7185413.0	668592.6	7185413.0	.400	0.000	.400	922.0
50	668484.3	7185298.0	668483.7	7185298.0	.600	0.000	.600	915.0
51	668519.3	7185281.2	668519.1	7185280.6	.200	.600	.632	919.0
52	668576.7	7185264.6	668575.9	7185264.6	.800	0.000	.800	925.0
53	668586.5	7185228.6	668586.5	7185227.8	0.000	.800	.800	924.0
54	668620.0	7185290.1	668619.8	7185290.1	.200	0.000	.200	931.0
55	668690.7	7185297.1	668690.7	7185297.6	0.000	-.500	.500	938.0
56	668670.0	7185192.6	668670.0	7185192.6	0.000	0.000	0.000	933.0
57	668662.4	7185354.5	668661.8	7185354.5	.600	0.000	.600	934.0
58	668687.1	7185427.0	668687.1	7185427.0	0.000	0.000	0.000	927.0
59	668743.5	7185421.2	668741.6	7185420.6	1.900	.600	1.992	930.0
60	668685.4	7185387.1	668684.2	7185386.5	1.200	-.600	1.342	930.0
61	668854.5	7185338.1	668854.7	7185338.1	-.200	0.000	.200	928.0
62	668984.1	7185324.6	668984.1	7185324.6	0.000	0.000	0.000	914.0
63	669184.3	7185255.0	669184.4	7185254.6	-.100	.400	.412	892.0
64	669195.6	7185223.0	669195.9	7185223.0	-.300	0.000	.300	891.0
65	668823.7	7185187.6	668823.8	7185187.6	-.100	0.000	.100	927.0
66	668787.5	7185163.0	668787.5	7185163.0	0.000	0.000	0.000	927.0
67	668759.9	7185134.0	668759.2	7185134.5	.700	-.500	.860	926.0
68	668998.4	7185162.5	668998.7	7185162.5	-.300	0.000	.300	920.0
69	669020.6	7185165.5	669020.2	7185165.7	.400	-.200	.447	916.0
70	669108.9	7185134.5	669108.8	7185134.5	.100	0.000	.100	909.0
71	669035.9	7185093.2	669036.6	7185093.7	-.700	-.500	.860	918.0
72	669047.6	7185108.1	669048.3	7185108.4	-.700	-.300	.762	916.0
73	669178.4	7185100.2	669178.9	7185101.0	-.500	-.800	.943	892.0
74	668872.2	7185113.1	668872.8	7185113.5	-.600	-.400	.721	932.0
75	668838.6	7185073.0	668838.0	7185073.8	.600	-.800	1.000	936.0
76	668871.9	7185060.6	668872.8	7185061.5	-.900	-.900	1.273	937.0
77	668812.1	7184991.1	668811.9	7184991.5	.200	-.400	.447	934.0
78	668806.2	7184958.0	668807.1	7184957.6	-.900	.400	.985	929.0
79	668912.0	7184978.6	668912.0	7184978.6	0.000	0.000	0.000	931.0
80	668940.1	7184940.0	668940.5	7184939.6	-.400	.400	.566	928.0
81	668993.1	7184939.2	668992.9	7184939.7	.200	-.500	.539	925.0
82	668789.4	7184904.0	668788.9	7184904.5	.500	-.500	.707	925.0

83	668802.4	7184878.5	668801.2	7184879.0	1.200	-.500	1.300	924.0
84	668857.0	7184873.0	668857.2	7184873.0	-.200	0.000	.200	932.0
85	668842.3	7184825.6	668842.3	7184825.6	0.000	0.000	0.000	929.0
86	668878.6	7184838.1	668878.6	7184837.6	0.000	.500	.500	928.0
87	668969.1	7184778.2	668968.3	7184778.7	.800	-.500	.943	924.0
88	668988.0	7184796.0	668988.0	7184796.7	0.000	-.700	.700	923.0
89	668808.9	7184798.1	668808.9	7184798.7	0.000	-.600	.600	925.0
90	668779.1	7184751.2	668777.8	7184752.2	1.300	-1.000	1.640	922.0
91	668760.4	7184750.6	668759.7	7184752.2	.700	-1.600	1.746	920.0
92	668783.0	7184634.1	668782.1	7184634.1	.900	0.000	.900	927.0
Erro Médio Planimétrico					0.29	-0.17	0.69	
Desvio Médio Padrão					0.58	0.51	0.47	
Total de pontos					86			

## **ANEXO 05**

**COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS DA ORTOFOTO (MOSAICO) E  
DA ORTOFOTO (REGISTRADA)**

**Tabela 4.2.3 Comparação entre as coordenadas da Ortofoto (mosaico) e da Ortofoto (registrada)**

No Pto	ORTX	ORTY	PR2X	PR2Y	DIFX	DIFY	Erro Plan.	ALT.
40	668405.2	7184720.1	668405.9	7184721.1	-.7	-1.0	1.221	907.0
42	668491.7	7184678.9	668492.8	7184680.6	-1.1	-1.7	2.025	905.0
45	668442.5	7184918.2	668443.0	7184919.2	-.5	-1.0	1.118	904.0
46	668418.5	7184961.2	668418.5	7184962.2	0.0	-1.0	1.000	906.0
47	668443.5	7185385.1	668444.3	7185385.1	-.8	0.0	.800	913.0
48	668485.7	7185427.6	668486.5	7185427.0	-.8	.6	1.000	913.0
49	668592.6	7185413.0	668592.6	7185413.0	0.0	0.0	0.000	922.0
50	668483.7	7185298.0	668484.8	7185298.0	-1.1	0.0	1.100	915.0
51	668519.1	7185280.6	668519.3	7185281.6	-.2	-1.0	1.020	919.0
52	668575.9	7185264.6	668576.3	7185265.1	-.4	-.5	.640	925.0
53	668586.5	7185227.8	668586.3	7185228.6	.2	-.8	.825	924.0
54	668619.8	7185290.1	668619.6	7185290.1	.2	0.0	.200	931.0
55	668690.7	7185297.6	668690.0	7185297.1	.7	.5	.860	938.0
56	668670.0	7185192.6	668669.7	7185193.2	.3	-.6	.671	933.0
57	668661.8	7185354.5	668661.5	7185354.5	.3	0.0	.300	934.0
58	668687.1	7185427.0	668685.9	7185426.6	1.2	.4	1.265	927.0
59	668741.6	7185420.6	668741.3	7185420.1	.3	.5	.583	930.0
60	668684.2	7185386.5	668684.4	7185387.1	-.2	-.6	.632	930.0
61	668854.7	7185338.1	668853.9	7185338.1	.8	0.0	.800	928.0
62	668984.1	7185324.6	668982.7	7185325.2	1.4	-.6	1.523	914.0
63	669184.4	7185254.6	669183.0	7185254.6	1.4	0.0	1.400	892.0
64	669195.9	7185223.0	669194.8	7185223.5	1.1	-.5	1.208	891.0
65	668823.8	7185187.6	668822.8	7185187.6	1.0	0.0	1.000	927.0
66	668787.5	7185163.0	668786.6	7185163.0	.9	0.0	.900	927.0
67	668759.2	7185134.5	668759.3	7185134.5	-.1	0.0	.100	926.0
68	668998.7	7185162.5	668997.4	7185163.1	1.3	-.6	1.432	920.0
69	669020.1	7185165.7	669019.4	7185165.5	.7	.2	.728	916.0
70	669108.8	7185134.5	669109.6	7185132.5	-.8	2.0	2.154	909.0
71	669036.6	7185093.7	669035.7	7185094.5	.9	-.8	1.204	918.0
72	669048.3	7185108.4	669047.4	7185108.7	.9	-.3	.949	916.0
73	669178.9	7185101.0	669177.6	7185101.6	1.3	-.6	1.432	892.0
74	668872.8	7185113.5	668871.9	7185114.6	.9	-1.1	1.421	932.0
75	668838.0	7185073.8	668837.1	7185074.5	.9	-.7	1.140	936.0
76	668872.7	7185061.5	668871.9	7185062.1	.8	-.6	1.000	937.0
77	668811.9	7184991.5	668811.2	7184991.9	.7	-.4	.806	934.0
78	668807.1	7184957.6	668806.2	7184958.7	.9	-1.1	1.421	929.0
79	668912.0	7184978.6	668911.6	7184979.2	.4	-.6	.721	931.0

80	668940.5	7184939.6	668938.8	7184941.5	1.7	-1.9	2.550	928.0
81	668992.9	7184939.7	668991.2	7184940.1	1.7	-.4	1.746	925.0
82	668788.9	7184904.5	668788.7	7184905.0	.2	-.5	.539	925.0
83	668801.2	7184879.0	668801.0	7184879.6	.2	-.6	.632	924.0
84	668857.2	7184873.0	668856.5	7184873.7	.7	-.7	.990	932.0
85	668842.3	7184825.6	668841.1	7184827.0	1.2	-1.4	1.844	929.0
86	668878.6	7184837.6	668877.9	7184839.1	.7	-1.5	1.655	928.0
87	668968.3	7184778.7	668967.4	7184780.1	.9	-1.4	1.664	924.0
88	668988.0	7184796.7	668986.8	7184797.7	1.2	-1.0	1.562	923.0
89	668808.9	7184798.7	668808.1	7184797.2	.8	1.5	1.700	925.0
90	668777.8	7184752.2	668778.9	7184753.1	-1.1	-.9	1.421	922.0
91	668759.7	7184752.2	668760.0	7184753.0	-.3	-.8	.854	920.0
92	668782.1	7184634.1	668781.3	7184635.2	.8	-1.1	1.360	927.0
Erro Médio Planimétrico					0.29	-0.17	0.69	
Desvio Médio Padrão					0.58	0.51	0.47	
Total de pontos					86			



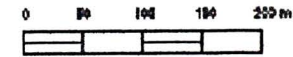
## **ANEXO 6**

**VISUALIZAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DE ALGUNS PONTOS DE TESTE  
DO ARQUIVO DE RESTITUIÇÃO E OS PONTOS HOMÓLOGOS DE CADA  
PRODUTO FOTOGRAMÉTRICO**

67700





## Restituição Aerofotogramétrica e Fotografia (Scannerizada)

(Localização dos Pontos de Controle)



### LEGENDA

Pontos de Controle

-  restituição
-  fotografia (scannerizada)
-  fotografia (retificada)
-  ortofoto

Restituição

- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reflorestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro

7185400

7185400

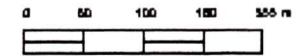
67700



669200

# Restituição Aerofotogramétrica e Fotografia (Scannerizada)

(Localização dos Pontos de Controle)



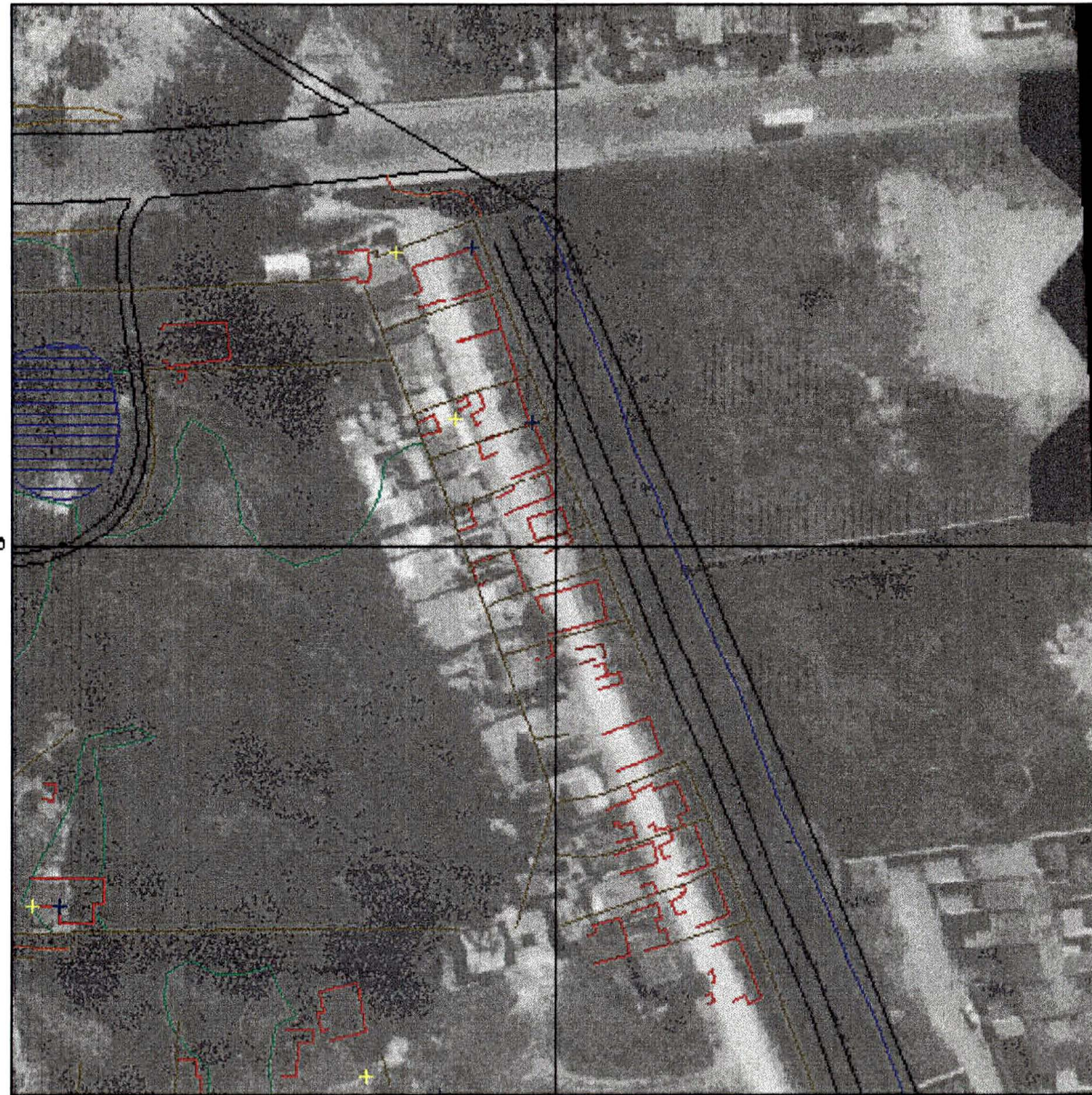
## LEGENDA

### Pontos de Controle

- restituição
- fotografia (scannerizada)
- fotografia (retificada)
- ortofoto

### Restituição

- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reforestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro



7185200

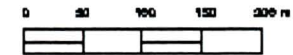
7185200

669200







# Restituição Aerofotogramétrica e Ortofoto (masaica)

(Localização dos Pontos de Controle)



## LEGENDA

### Pontos de Controle

-  restituição
-  fotografia (scannerizada)
-  fotografia (retificada)
-  ortofoto

### Restituição

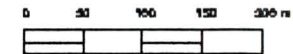
- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reflorestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro









# Restituição Aerofotogramétrica e Ortofoto (masaica)

(Localização dos Pontos de Controle)



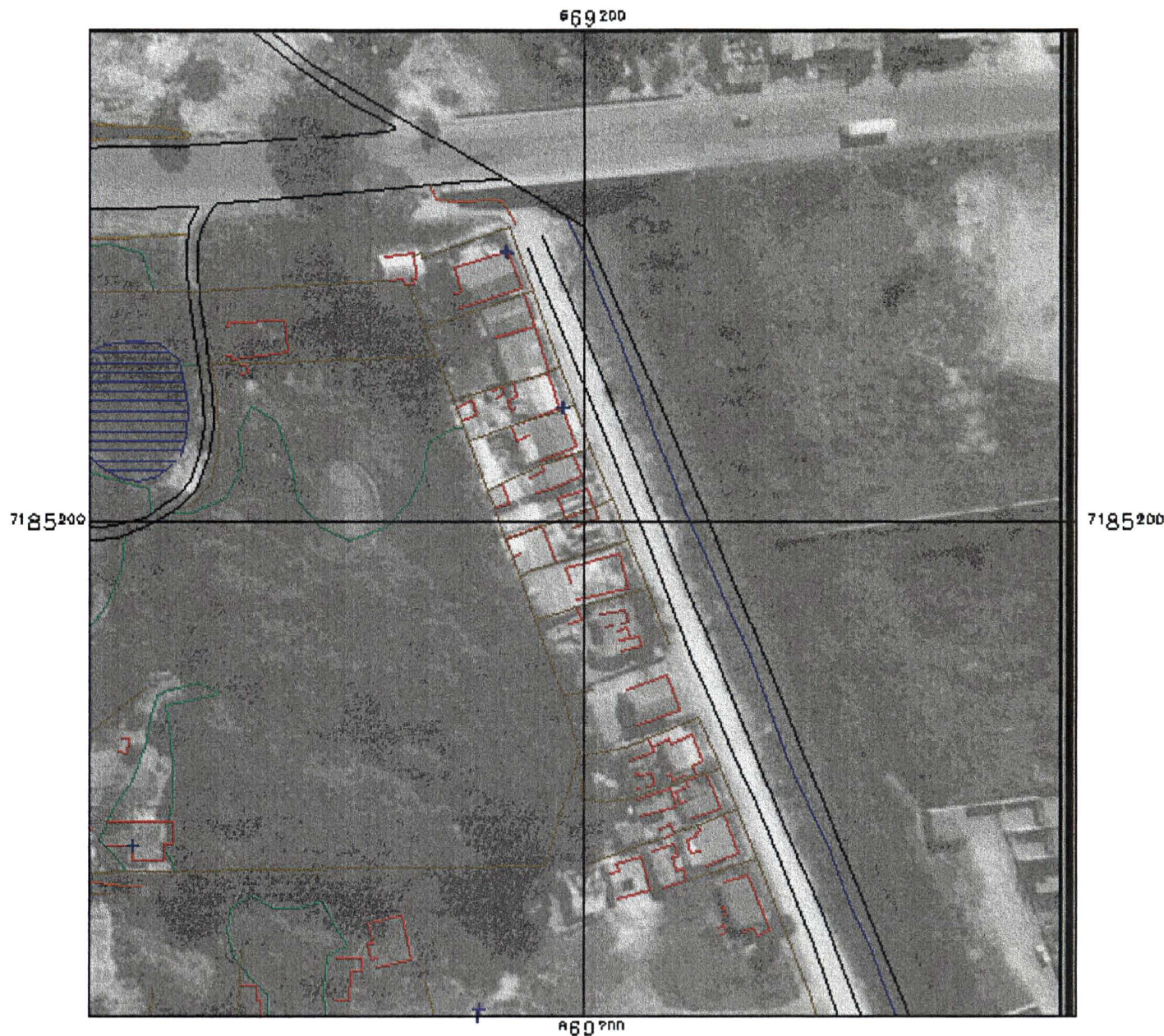
## LEGENDA

### Pontos de Controle

-  restituição
-  fotografia (scannerizada)
-  fotografia (retificada)
-  ortofoto

### Restituição

- nascentes, fontes, cursos d'água
- mata, bosque, pomar, campo
- reflorestamento, pastagem artificial
- araucária e palmeira
- arruamento pavimentado
- caminhos, trilhas
- edificações comuns
- construções, ruínas
- fundações
- quadras de esporte, piscinas
- muros
- movimento de terra
- caixa d'água
- limite de bairro



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, J. F. **Ortofoto Digital**. Curitiba, 1989. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 100p.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). **Manual of Photogrammetry**. 4<sup>a</sup>.ed. Wisconsin, 1980. 1056 p.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). **Manual of Remote Sensing**. 2<sup>a</sup>.ed. Wisconsin, 1983. 1232 p.

ANTUNES, A. F. B. **Aplicação do Modelo Digital do Terreno em Cartografia**. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, anais 3., Rio de Janeiro, outubro 1987, p.610. Sociedade Brasileira de Cartografia.

BÄHR, H.P. **Retificação de Imagens - Métodos Analógicos, Analíticos e Digitais**. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF), Universität Karlsruhe / RFA. Curitiba, PR. 1989. 12p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia. **Cartografia e Aerolevanteamento - Legislação**. Brasília, 1986. Cap. II, p.26-27.

DALMOLIN, Q. **Topogrametria: Uma Nova Técnica para a Determinação de Pontos Planimétricos através da Fotogrametria Analítica**. Curitiba, 1992. Tese (Concurso de Professor Titular) - Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná. 60p.

DISPERATI, A. A. **Fotografias Aéreas Inclinadas**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1995, 113p. (série didática n. 26).

ECKER, R. Digital Orthophoto Generation Based on a High-Quality. **Bulletin de L'ITC - Journal**, ISSUE 1, p.59-64, 1992-1.

FREITAS, A.C. **Interação do Sensoriamento Remoto, Fotogrametria Digital e Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. Curitiba, 1995. Seminário - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 29p.

HARADA, H. **Considerações Sobre os Sistemas Físicos Lineares e o Imageamento**. Curitiba, 1989. Seminário - Curso de pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 45p.

HÖSSLER, R. Differential Rectification of Digital or Digitalized Imageries. **Congress of the International Society for Photogrammetry**, Hamburg, 1980. p. 294-303.

KONECNY, G. Methods and Possibilities for Digital Differential Rectification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.45, n. 6, p.727-734, 1979.

JANSA, J. Geometric Rectification of Blocks of Multispectral Scanner Images.

**Kongreb der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie**, Hamburg,

1980. p.330-339.

LOCH, C. & outros. **Métodos de atualização Cadastral** 1º Congresso Brasileiro de

Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994.

LUGNANI, J.B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba, 1987. Universidade Federal

do Paraná. 134p.

LUGNANI, J.B. **Aprimoramentos para a Atualização Cartográfica**. Curitiba, 1985.

Tese (Concurso de Professor Titular) - Departamento de Geociências, UFPR. 84p.

MACHADO E SILVA, A. J. **Modelos de Correção Geométrica para Imagens HRV-**

**SPOT**. São José dos Campos, 1988. Dissertação (Mestrado em Computação

Aplicada) - Instituto de Pesquisas Espaciais. 219p.

Manual do Usuário Workstation - DPW770

Manual do Usuário SPRING - versão 1.1 - abril, 1995

Manual do Usuário SPRING - versão 2.0 - jul, 1996.



MENEZES, J. C. **Interpolação de Modelos Digitais do Terreno a Partir de Isolinhas**. Curitiba, 1992 Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 170 p.

MOFFITT, F. H. & MIKHAIL, E. M. **Photogrammetry**. 3. ed., New York, Harper & Row, Publishers, 1980. 648p.

NOVAK, K. Rectification of Digital Imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.58, n.3, p.339-344, mar 1992.

OLIVAS, M.A.de A. **Imagens Digitais**. UFPR. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 1993. 44p.

PAREDES, E. A. **Introdução à Aerofotogrametria para Engenheiros** vol.1- CONCITEC, Maringá, 1986. 627 p.

QUEIROZ *F<sup>o</sup>*, A. P. de **Ortofoto Digital para Atualização Cartográfica em um Sistema de Informações Geográficas**. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 133p.

ROBBI, C. Planejamento da Atualização Cartográfica: Algumas Questões. **Segundo Seminário Paranaense de Cadastro Técnico e Planejamento Municipal**. Curitiba, p.8-16, set 1991.

SALAZAR JR. , O. **Modelos Digitais do Terreno - Introdução ao Arc/INFO-TIN.**

In: Curso de Especialização em Geoprocessamento do Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, março, 1995, 20p.

SILVA, E. F. & DALMOLIN, Q. **Domínio de Atuação de Correlação Digital.** UFPR.

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, 1993. 75p.

TARACIEVICZ, M.C.S. Alternativas para os Municípios para o Uso/Elaboração/Atualização de Mapas Base. **Segundo Seminário Paranaense de Cadastro Técnico e Planejamento Municipal.** Curitiba, p.129-134, set 1991.

TAVARES, M.M.; FURQUIM, M.P.de O.; LUZ, R.R.da, SALVADOR, T.S. **Proposta de Atualização Cartográfica com Utilização de Ortofotos Digitais.** Curitiba, 1995.. Trabalho acadêmico (conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica) Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 118p.

VERGARA, O. R. **Avaliação de Produtos de Sensoriamento Remoto para fins de Atualização Cartográfica.** São José dos Campos, 1994. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 141 p.

VERGARA, O. R. **Actualizacion de Cartas Topográficas Através de Imágenes Orbitales.** Servicio Aerofotogramétrico - Casila 67, Los Cerrillos, Maipú, Santiago, Chile. 1992. 33p.

VIADANA, M.I.C. de F. **Algumas Metodologias de Atualização Cartográfica.** VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO. Curitiba, Paraná. 1993. vol. 4, p.400 a 409.

VIADANA, M.I.C. de F. **Atualização de Cartas Topográficas Utilizando Imagens Orbitais - Metodologia Alternativa para Microcomputares.** São Paulo, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo. 133p.

VILLARREAL, P. E. G. **Atualização de Mapas Digitais com Fotografias aéreas singulares.** Curitiba, 1992. Dissertação (mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 91p.

VIEIRA, P. R. **Tópicos sobre Fotogrametria Digital.** São José dos Campos, 1995. Seminário - Curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto. INPE. 61p.

WEIBEL, R. & HELLER, M. **Digital Terrain Modelling.** In: Geographical Information Systems. New York : Jhon Wiley, 1991. vol. 1, p. 269-297.

WOLF, P. R.. **Elements of Photogrammetry.** Second ed., New York, MacGraw-Hill Book Company, 1983. 627 p.