

**METODOLOGIA DE MAPEAMENTO AÉREO COM  
FOTOGRAFIAS DE PEQUENO FORMATO APLICADAS NO  
PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE UNIDADES DE  
CONSERVAÇÃO**

**SÉRGIO ARRAES MONTEIRO**

Porto Alegre, RS  
Outubro de 2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E  
METEOROLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**METODOLOGIA DE MAPEAMENTO AÉREO COM  
FOTOGRAFIAS DE PEQUENO FORMATO APLICADAS NO  
PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE UNIDADES DE  
CONSERVAÇÃO**

**SÉRGIO ARRAES MONTEIRO**

Orientador: Dr. Flávio André Cecchini Deppe

Co-orientador: Dr. Pedro Roberto de Azambuja  
Madruga

Dissertação apresentada como requisito parcial à  
obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento  
Remoto.

Porto Alegre, RS  
Outubro de 2000.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de externar meus agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, tornaram possível que este trabalho de quase três anos de pesquisa, com todos os seus altos e baixos de produção, se transformasse na presente dissertação, em especial àqueles que se seguem.

Ao amigo e colega de mestrado, Engenheiro Agrônomo **FIORAVANTE JAEKEL DOS SANTOS**, cujos conhecimentos profundos em diversos softwares, grande criatividade intelectual, ética e, principalmente seu desprendimento em compartilhar conhecimentos, foram fundamentais para que muitos aspectos do presente trabalho funcionassem devidamente na prática.

Ao amigo e colega de trabalho, Geógrafo **TITO DE PAULA COUTO**, pioneiro no aerofoto-reconhecimento no Rio Grande do Sul, que impulsionou minha experiência de monitoramento aéreo em Unidades de Conservação, apontando o caminho de suas possibilidades científicas.

Ao Professor Dr., Engenheiro Florestal **PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA**, que me ensinou através de suas experiências pessoais e suas aulas nas universidades federais de Santa Maria e UFRGS a trilhar esse caminho científico, através da pesquisa e experimentação.

Ao **AEROCLUBE ALBATROZ** da cidade de Osório – RS, verdadeiros pioneiros nos trabalhos de obtenção de aerofotos de pequeno formato para o monitoramento de áreas naturais, pelo incentivo e inestimável auxílio que prestaram na fase inicial desse trabalho, principalmente aos pilotos **HARRISON KLEESTADT** e **VINÍCIUS MAGGI MARQUES**.

Ao Biólogo **JOÃO ROBERTO MEIRA**, ex-diretor da REBIO Lami, atualmente trabalhando na Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, e ao atual diretor daquela unidade de conservação, o Biólogo **RODRIGO CAMBARÁ**, da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, que demonstrando extrema competência e visão técnica “abraçaram” entusiasticamente a idéia de utilizar a área sob suas responsabilidades para a execução deste trabalho de dissertação.

Ao Arquiteto **JOSÉ PAULO FITARELLI**, à época chefe do Núcleo de Unidades de Conservação do IBAMA no Rio Grande do Sul que concedeu a licença para que pudesse me dedicar integralmente às pesquisas cujos resultados fazem parte deste trabalho.

À todos os colegas de minha turma de mestrado (saudades!) e professores do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e

Meteorologia, cujas trocas de idéias e experiências e manifestações acadêmicas podem ser encontradas fragmentadas em meio a tantas frases e palavras desta dissertação.

E por fim, porém não menos importante, todo o meu amor e carinho à minha querida esposa **KATHIA VASCONCELLOS MONTEIRO**. Seus exemplos de luta em favor do meio ambiente foram incentivos em minhas horas de esmorecimento, mas foram principalmente seu carinho e amor que me conduziram e me ergueram, assim como sua paciência, em ceder tantos momentos que deveriam sempre ser somente dela.

À todos o meu muito obrigado e minha singela homenagem, na forma deste trabalho de dissertação.

# **METODOLOGIA DE MAPEAMENTO AÉREO COM FOTOGRAFIAS DE PEQUENO FORMATO APLICADA NO PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO <sup>1</sup>**

**AUTOR: SÉRGIO ARRAES MONTEIRO**

**ORIENTADOR: DR. FLÁVIO ANDRÉ CECCHINI DEPPE**

**CO-ORIENTADOR: DR. PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA**

## **SINOPSE**

Esta dissertação propõe o desenvolvimento de uma metodologia de obtenção de fotografias aéreas, com a finalidade de mapear áreas selvagens amparadas legalmente e administradas pelo governo federal do Brasil. O objetivo final foi o de vir a ser uma ferramenta de mapeamento dessas áreas para o seu planejamento e gerenciamento, com uma metodologia simples e de baixo custo.

O sistema para a obtenção das aerofotos emprega as fotografias obtidas com máquinas de 35 mm e aeronaves de asa alta e ampla visibilidade, próprias para reconhecimento aéreo. Emprega ainda um aparelho, com alguns acessórios, construído especialmente para proporcionar o máximo de verticalidade possível das aerofotos em relação ao solo, além de navegação por GPS, procurando eliminar assim distorções ocasionadas por giros e desvios da aeronave leve e melhorando o desempenho da montagem das aerofotos em um mosaico digital.

O produto final a ser obtido é um mosaico de fotografias aéreas, georreferenciado, e que serve de base para a elaboração de diversos tipos de mapas temáticos da área protegida, contendo elementos que possam satisfazer as exigências técnicas requeridas pelo levantamento. Além disso, ficam disponibilizadas as aerofotos em pares estereoscópicos de altíssima resolução, para observações mais detalhadas dos diversos elementos no solo.

Embora as imprecisões, procurou-se proporcionar uma base de mapeamento georreferenciado através do uso de GPS em pontos de controle no campo, correção destas informações através de técnicas expeditas de DGPS e correção geométrica do mosaico de aerofotos.

O resultado final pode ser considerado bastante satisfatório e a metodologia passível de utilização no cumprimento dos objetivos a que se propõe, para o gerenciamento, planejamento e monitoramento de unidades de conservação de uso indireto federais, estaduais e municipais .

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS (111 p.). Outubro de 2000.

# **AERIAL MAPPING WITH SMALL FORMAT PHOTOGRAPHS APPLIED TO THE PLANNING AND MANAGEMENT OF CONSERVATION UNITS<sup>1</sup>**

**AUTHOR: SÉRGIO ARRAES MONTEIRO**

**ADVISOR: DR. FLÁVIO ANDRÉ CECCHINI DEPPE**

**CO-ADVISOR: DR. PEDRO ROBERTO DE AZAMBUJA MADRUGA**

## **1.1.1 ABSTRACT**

This study proposes a methodology development for wild areas mapping, through the use of small format aerial photographs. Furthermore, the methodology should prove to be simple and with a low cost and become a mapping tool for those areas in order to aid planning and management activities. The wild areas are administered by Brazilian government and are legally protected.

The system for obtaining the small format aerial photographs includes a 35 mm camera, a single engine aircraft with high wings and broad visibility, which is ideal for aerial recognition, a camera mount with some accessories, and a GPS. The camera mount was specially built to provide the maximum verticality of the aerial photographs in relation to the soil. The small format aerial photographs were taken in a way to eliminate or reduce distortions due to aircraft vertical and horizontal axis spins. Therefore, improving the assembly of the small format aerial photographs digital mosaic.

One of the final products obtained was a mosaic of small format aerial photographs geometrically corrected, which was used as a base to build up several types of thematic maps of the protected area. The thematic maps contain information, which satisfy the technical demands required for this type of survey. Furthermore, the high spatial resolution small format aerial photographs can be used through traditional aerial photography interpretation (API) techniques in order to obtain detailed land use and land cover information.

Despite the cartographic errors (imprecisions), the base map produced was geometrically corrected through the use of GPS in the ground control points, and correction through expedite techniques of DGPS and geometric correction of the small format aerial photographs mosaic. The final result can be considered satisfactory and the methodology used reached the study aims, which included management, planning and monitoring conservation units of indirect use at state and municipal level.

---

<sup>1</sup> Master of Science Thesis, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Graduate Course in Remote Sensing, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS (111 p.). October, 2000.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS E TABELAS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE ANEXOS .....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xv
LISTA DE FÓRMULAS .....	xvi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Áreas Silvestres Protegidas no Brasil .....	3
2.1.1. Objetivos Nacionais para as Unidades de Conservação .....	3
2.1.2. Classificação das Áreas Silvestres Brasileiras .....	4
2.1.3. A Problemática das Unidades de Conservação Brasileiras .....	5
2.1.4. As Reservas Biológicas .....	5
2.1.4.1. A Reserva Biológica do Lami .....	6
2.2. O Plano de Manejo para as Unidades de Conservação de Uso Indireto .....	7
2.2.1. Análise da Unidade de Conservação .....	7
2.2.2. Manejo da Unidade de Conservação .....	8
2.2.3. Programas de Manejo .....	9
2.2.4. Programa de Desenvolvimento Integrado .....	9
2.2.5. Condições Relevantes na Elaboração de um Plano de Manejo .....	10
2.2.5.1. Fotografias Aéreas e Mapas Básicos .....	10
2.2.5.2. Análise ou Inventário da Unidade de Conservação .....	11
2.3. Global Positioning System – GPS .....	12
2.3.1. Estrutura dos Sinais GPS .....	12
2.3.1.1. As Frequências Portadoras L1 e L2 .....	12
2.3.1.2. A Mensagem de Navegação .....	13
2.3.1.3. Os Códigos C/A e P(Y) .....	13
2.3.2. Observáveis Básicas .....	14
2.3.2.1. Posicionamento por Pseudo-distâncias .....	14
2.3.2.2. Utilização da “Fase da Portadora” .....	14
2.3.3. Efeitos que Degradam a Precisão do GPS .....	15
2.3.3.1. Imposições dos Gestores do Sistema .....	15
2.3.3.2. Geometria da Constelação de Satélites .....	15
2.3.3.3. Influência Atmosférica .....	16
2.3.3.4. Multicaminhamento .....	16
2.3.3.5. Erro em Função da Distância .....	16
2.3.3.6. Coberturas Florestais .....	16
2.3.4. Modalidades de Posicionamento .....	17
2.3.5. Técnicas de Levantamento com GPS .....	18
2.3.6. Elementos Estatísticos .....	19
2.3.6.1. Indicadores de Precisão .....	19
2.3.7. Obtenção do Melhor Posicionamento Possível .....	22

2.3.8. O GPS Aerotransportado .....	23
2.4. Levantamento Aerofotográfico .....	24
2.4.1. Fotografias Aéreas de Pequeno Formato .....	24
2.4.2. Principais Diferenças Entre FAPFs e FACs .....	24
2.4.3. Fotografias Aéreas Verticais e Inclinadas .....	25
2.4.4. O Sistema Aerofotográfico de Pequeno Formato .....	26
2.4.5. A Câmara Fotográfica de 35 mm .....	26
2.4.5.1. Lentes ou Objetivas .....	27
2.4.5.2. Os Filmes .....	28
2.4.5.3. A Resolução Espacial de uma Fotografia .....	28
2.4.5.4. Acessórios Diversos .....	30
2.4.6. O Recobrimento Aerofotográfico .....	30
2.4.6.1. Considerações Iniciais Sobre o Planejamento de Vôo .....	30
2.4.6.2. Desvios e Rotações do Eixo Ótico da Câmara .....	31
2.4.6.3. O Plano de Vôo .....	33
2.4.6.4. O Avião .....	37
2.4.6.5. O Suporte para o Sistema Fotográfico .....	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
3.1. Materiais Empregados .....	41
3.1.1. Materiais Utilizados na Obtenção das Aerofotos e Trabalho de Campo ..	41
3.1.2. Materiais Utilizados para o Processamento de Dados .....	41
3.1.2.1. Hardware .....	42
3.1.2.2. Software .....	42
3.1.3. O Suporte para o Sistema Fotográfico .....	42
3.1.3.1. Mecanismo de Fixação .....	43
3.1.3.2. Mecanismo de Nivelamento .....	44
3.1.3.3. Mecanismo de Ajuste Vertical .....	44
3.1.3.4. Mecanismo de Suporte do Sistema Fotográfico .....	44
3.1.4. Controle Remoto da Câmara .....	44
3.1.5. Intervalômetro .....	45
3.1.6. Bolha de Nível .....	45
3.2. Metodologia .....	45
3.2.1. Obtenção do Plano de Vôo .....	45
3.2.1.1. Rasterização da Carta Topográfica Básica .....	45
3.2.1.2. Forma Geométrica das Áreas de Aerolevanteamento .....	46
3.2.1.3. Marcação da Área de Levantamento Retangular .....	46
3.2.1.4. Escala dos Negativos e das Aerofotos .....	47
3.2.1.5. Altura e Altitude de Vôo .....	48
3.2.1.6. Base Aérea Estereoscópica .....	48
3.2.1.7. Intervalo Entre Linhas de Vôo .....	48
3.2.1.8. Intervalo de Tempo Entre Duas Exposições .....	49
3.2.1.9. Cálculo das Laterais das Áreas .....	49
3.2.1.10. Número de Aerofotos Necessárias nas Linhas de Vôo .....	50
3.2.1.11. Número de Linhas de Vôo Necessárias .....	51
3.2.1.12. Número de Fotografias .....	51
3.2.2. Marcação das Linhas de Vôo Sobre a Carta Digital .....	51
3.2.3. Preparação do GPS para um Levantamento Aéreo .....	52
3.2.4. Preparação do Suporte Verticalizador de Aerofotos .....	52
3.2.5. Correções de Giros e Desvios da Aeronave .....	53
3.2.5.1. Os Desvios em “bx” .....	54

3.2.5.2. Os Desvios em “by” .....	54
3.2.5.3. Os Desvios em “bz” .....	54
3.2.5.4. Os Giros em “ $\omega$ ” e “ $\varphi$ ” .....	54
3.2.5.5. Os Giros em “ $\kappa$ ” .....	55
3.2.6. Escolha do Aeródromo e da Aeronave .....	55
3.2.7. A Montagem do Mosaico .....	56
3.2.7.1. Rasterização das Aerofotos .....	56
3.2.7.2. Aerofotoíndice .....	56
3.2.7.3. Mosaicagem .....	57
3.2.8. Mapeamento Temático .....	59
3.2.9. Georreferenciamento do Produto Final .....	60
3.2.9.1. Seleção dos Pontos de Controle .....	60
3.2.9.2. Seleção dos Pontos de Medição .....	61
3.2.9.3. Aquisição de Dados GPS para Pós-processamento .....	61
3.2.9.4. N° de Medições por Ponto de Controle e Formulário de Campo .....	62
3.2.9.5. Coleta de Dados GPS em Campo .....	62
3.2.9.6. Correção dos Dados GPS de Campo .....	63
3.2.9.7. Correção Geométrica do Mosaico Base .....	64
3.2.9.8. Determinação da Escala do Mosaico Base .....	64
3.2.9.9. Obtenção da Grade de Coordenadas .....	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	67
4.1. Resultados .....	67
4.1.1. Aerofotoíndice .....	67
4.1.2. Mosaico de Aerofotos .....	67
4.1.3. Mapa Temático .....	68
4.2. Discussões .....	68
4.2.1. A Utilização do Suporte Verticalizador de Aerofotos .....	68
4.2.2. A Utilização do Sistema de Posicionamento Global .....	71
4.2.3. A Obtenção do Plano de Vôo .....	72
4.2.4. Teste de Ortogonalidade do Centro Ótico em Relação ao Solo .....	72
4.2.5. A Obtenção das Aerofotos .....	74
4.2.6. A Obtenção do Mosaico de Aerofotos .....	75
4.2.7. Obtenção das Coordenadas dos Pontos de Controle em Campo .....	75
4.2.8. Correção Geométrica do Mosaico Base .....	78
4.2.9. Determinação da Escala das Aerofotos .....	79
4.2.10. Determinação da Escala do Mosaico Base .....	80
4.2.11. Georreferenciamento do Mosaico Base e Mapa Temático .....	81
4.2.12. Obtenção da Escala Real do Mosaico Base e do Mapa Temático .....	83
4.2.13. Verificações da Escala .....	83
4.2.14. A Resolução Fotográfica .....	86
4.2.15. Custos .....	87
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	89
5.1. Conclusões .....	89
5.2. Recomendações .....	90
5.2.1. Geologia, Geomorfologia e Solos .....	90
5.2.2. Hidrografia e Hidrologia .....	91
5.2.3. Vegetação .....	92
5.2.4. Fauna .....	93
5.2.5. O Uso Atual da Unidade de Conservação .....	93
5.2.6. Sítios Arqueológicos ou Históricos .....	94

5.2.7. Situação Fundiária da Unidade de Conservação .....	94
5.2.8. Análise de Desastres Naturais .....	95
5.2.9. Zoneamento da Unidade de Conservação .....	95
5.2.10. Proteção e Vigilância .....	95
5.2.11. Investigação e Pesquisa .....	96
5.2.12. Monitoramento .....	96
5.2.13. Interpretação Ambiental .....	97
5.2.14. Área de Entorno da Unidade de Conservação .....	97
5.2.15. Programas de Desenvolvimento Integrado .....	97
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
7. ANEXOS .....	102

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1: Quadro sinóptico da classificação das áreas silvestres de acordo com o Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil. ....	4
Tabela 2: Coordenadas dos pontos de controle levantados, após a correção. ....	76
Tabela 3: Parâmetros estatísticos extraídos dos registros de dados GPS coletados a campo e sobre um ponto conhecido, para cada ponto de controle. ....	76
Tabela 4: Resultado da determinação da escala média das aerofotos. ....	79
Tabela 5: Resultado da determinação da escala média do mosaico base. ....	80
Tabela 6: Dados estatísticos envolvendo as distâncias entre os pontos de coordenadas copiados do mosaico base corrigido e sobrepostos ao mosaico base no software de desenho gráfico. ....	81
Tabela 7: Quadro demonstrativo das estatísticas relativas às distâncias medidas entre os pontos georreferenciados e a grade regular. ....	82
Tabela 8: Comparação entre a escala obtida por meio das medições de campo e aquelas conhecidas através do processo de georreferenciamento. ....	84
Tabela 9: Comparação entre distâncias obtidas por mensurações realizadas no mosaico georreferenciado em contraposição àquelas obtidas por medição direta no mosaico impresso .	84
Tabela 10: Quadro comparativo entre posicionamentos obtidos do mosaico georreferenciado e os posicionamentos tomados posteriormente com o auxílio do GPS nos mesmos pontos. ....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do Erro Horizontal de um posicionamento. ....	20
Figura 2: Possíveis desvios e rotações que podem ocorrer no eixo ótico da câmara. ....	31
Figura 3: Representação gráfica de alguns desvios e rotações do centro ótico da câmara fotográfica em relação à situação de vôo ideal. ....	33
Figura 4: Tipos de cobertura ao longo da linha de vôo com câmaras de 35 mm. ....	34
Figura 5: Tipos e locais de instalação do suporte ao sistema fotográfico em um avião. ....	39
Figura 6: O SVA esquematizado em seus componentes principais ....	43
Figura 7: Disposição das linhas de vôo e sua forma de ordenamento ....	47
Figura 8: Esquema e as relações trigonométricas e métricas utilizadas para o cálculo de laterais, área do retângulo e plotagem de coordenadas dos pontos de entrada e saída das linhas. ....	50
Figura 9: Representação dos procedimentos de mosaicagem em um programa de tratamento fotográfico. ....	59
Figura 10: Fotografia tirada após o ajuste do SVA para comprovação da ortogonalidade. ....	73
Figura 11: Gráfico demonstrativo da correlação entre o desvio padrão horizontal dos dados de campo e o desvio padrão horizontal dos dados de controle. ....	77

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Esquema Eletrônico do Intervalômetro Digital. ....	102
Anexo 2: Exemplos de Marcação das Áreas de Interesse para Recobrimento Aéreo. ....	103
Anexo 3: Marcação das Áreas de Recobrimento Após o Cálculo do Plano de Vôo. ....	104
Anexo 4: Representação Gráfica do Plano de Vôo para a Área da REBIO Lami. ....	105
Anexo 5: Representação Gráfica do Plano de Vôo Constando o Número de Aerofotos por Linha de Vôo. ....	106
Anexo 6: Aerofotoíndice. ....	107
Anexo 7: Mosaico das Aerofotos da Totalidade do Levantamento Aéreo da REBIO Lami. ..	108
Anexo 8: Mapa Temático de Ocupação do Solo da REBIO Lami Construído a Partir do Mosaico Base. ....	109
Anexo 9: Mosaico Parcial de Aerofotos Tomadas Sobre a Cidade de Osório. ....	110
Anexo 10: Documento do Arquivo Georreferenciado no Idrisi Mostrando o Erro RMS .....	111

## LISTA DE ABREVIATURAS

AD	- Área de Desenvolvimento
APA	- Área de Proteção Ambiental
ARIE	- Área de Relevante Interesse Ecológico
AS	- Anti-Spoofing
CDI	- Course Deviation Indicator
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAC	- Departamento de Aviação Civil
DGPS	- Diferencial Global Positioning System
dpi	- Dots per inch
ESEC	- Estação Ecológica
FAC(s)	- Fotografia(s) Aérea(s) Tradicional(is)
FAPF(s)	- Fotografia(s) Aérea(s) de Pequeno Formato
FATEC	- Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência
FBCN	- Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza
FLONA	- Floresta Nacional
GHz	- Gigahertz
GPS	- Global Positioning System
GRD	- Ground Resolution Distance
ha	- Hectares
HDOP	- Horizontal - Dilution of Precision
hp	- Horse-power
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUCN	- International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources
NAVSTAR	- Navigation Satellite Timing and Ranging
P(Y)	- Precise
PARNA	- Parque Nacional
PDOP	- Precise - Dilution of Precision
ppm	- Partes-por-milhão
RAM	- Random Access Memory
RBL	- Reserva Biológica do Lami
RBMC	- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
REBIO	- Reserva Biológica
RESEC	- Reserva Ecológica
RESEX	- Reserva Extrativista
RMS	- Root Mean Square
RPPN	- Reserva Particular do Patrimônio Natural
SA	- Selective Availability
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SLR	- Single-lens Reflex
SNUC	- Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SVA	- Suporte Verticalizador de Aerofotos
TDOP	- Time - Dilution of Precision
UC(s)	- Unidade(s) de Conservação
UTM	- Universal Transversa de Mercator
VDOP	- Vertical - Dilution of Precision
WGS84	- World Geodetic System 1984

## LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Média das Posições em Leste. ....	20
Fórmula 2: Média das Posições em Norte. ....	20
Fórmula 3: Desvio Padrão da Componente Leste. ....	21
Fórmula 4: Desvio Padrão da Componente Norte. ....	21
Fórmula 5: Desvio Padrão Horizontal. ....	21
Fórmula 6: Erro Real Leste. ....	21
Fórmula 7: Erro Real Norte. ....	21
Fórmula 8: Erro Horizontal para cada Posição. ....	21
Fórmula 9: Erro horizontal RMS para o conjunto de posições GPS. ....	22
Fórmula 10: Distância de Resolução no Terreno. ....	29
Fórmula 11: Altura de Vôo na Escala Desejada. ....	35
Fórmula 12: Base Aérea Estereoscópica. ....	35
Fórmula 13: Intervalo Entre Linhas de Vôo. ....	35
Fórmula 14: Intervalo de Tempo Entre Duas Exposições Consecutivas ....	36
Fórmula 15: Quantidade de Filmes. ....	36
Fórmula 16: Escala do Negativo. ....	47
Fórmula 17: Teorema de Pitágoras. ....	49
Fórmula 18: Seno do Ângulo “B” do Triângulo Retângulo. ....	49
Fórmula 19: Coseno do Ângulo “B” do Triângulo Retângulo. ....	49
Fórmula 20: Coeficiente de Correlação. ....	77
Fórmula 21: Covariância. ....	77

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades para o gerenciamento adequado de áreas selvagens protegidas por efeito de Lei, seja ela em qualquer nível governamental, é o seu domínio espacial pelo técnico responsável. Este profissional tem geralmente bastante dificuldade em conseguir informações atualizadas sobre o que se passa na área da unidade e nas áreas próximas aos seus limites.

Em geral ele somente pode recorrer às cartas topográficas do DSG ou do IBGE, levantamentos aerofotogramétricos ou imagens de satélite. No caso das cartas, estas, apesar de sua excelência, geralmente apresentam informações extremamente defasadas no tempo. Os levantamentos aerofotogramétricos, quando possíveis de serem adquiridos, o que é raro para áreas selvagens, encontram-se da mesma forma defasados e seu custo de obtenção é caro, considerando as disponibilidades de recursos financeiros dessas unidades.

Já no caso das imagens de satélite, é necessário um estudo de custo / benefício, de acordo com os objetivos que se desejam alcançar para o gerenciamento e/ou manejo da área protegida. Algumas vezes esse estudo indicará um custo demasiado para os objetivos, e outras vezes, as imagens de satélite, mesmo as de alta definição, não possuirão a capacidade de alcançar estes objetivos.

As chamadas Fotografias Aéreas de Pequeno Formato, ou FAPF's, obtidas de aeronaves leves de forma inclinada ou quase vertical, podem ser enquadradas como uma opção a mais para a análise em grande resolução de áreas protegidas, de fácil obtenção e custo bastante reduzido.

Entretanto, se quisermos montar um mosaico com estas aerofotos inclinadas, talvez não possamos utilizar mais do que um par estereoscópico, dependendo da inclinação do eixo ótico em relação ao solo. Para abranger um grande número de aerofotos em um mosaico, teríamos de obter uma inclinação o mais próxima possível de zero, ou seja, a obtenção de aerofotos verticais.

As dificuldades da verticalização são impostas principalmente devido às inclinações e giros da aeronave, e pelo uso manual da câmara fotográfica, restringindo a área abrangida pelo mosaico a poucos pares estereoscópicos, não sendo possível monta-lo sem perdas ou duplicações de áreas. Mesmo com as aerofotos rasterizadas e levadas a um software de manipulação fotográfica, não é possível um adequado encaixe das mesmas em seqüência sem que sejam necessárias a introdução de grandes deformações.

Com a possibilidade da obtenção de uma seqüência de aerofotos de pequeno formato, o mais próximo possível da verticalização e dessa forma podendo serem encaixadas umas nas outras, ao modo das linhas de vôo obtidas na aerofotogrametria, então áreas extensas de grande interesse podem ser registradas e montados mosaicos que servirão de base para mapeamentos temáticos e planejamentos gerenciais e de manejo ambiental. Havendo, além disso, meios de referenciar geograficamente os elementos de campo abrangidos pelo mosaico, podemos localizar com o auxílio de um aparelho GPS aqueles elementos no campo, e vice-versa.

Isso resulta numa imensa gama de possibilidades de análise da área e de seu entorno, envolvendo o trinômio gerenciamento, monitoramento e planejamento, sendo portanto uma ferramenta auxiliar valiosa na administração de áreas como as Unidades de Conservação, principalmente as de uso indireto. Estas unidades compreendem os Parques Nacionais, Reservas Biológicas e as Estações e Reservas Ecológicas, sejam elas a nível federal, estadual ou municipal.

Com isso em mente, o objetivo da pesquisa foi o de estruturar metodologicamente uma ferramenta de controle espacial para as áreas de unidades de conservação brasileiras, resultando em um mosaico de fotografias georreferenciado, como base para o gerenciamento, monitoramento e planejamento destas áreas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Áreas Silvestres Protegidas no Brasil

#### 2.1.1. Objetivos Nacionais para as Unidades de Conservação

No ano de 1990, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA elaborou um anteprojeto de Lei que dispunha sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC, abrangendo, entre outros aspectos, classificações e objetivos das Unidades de Conservação. Até a presente data, este anteprojeto ainda não sofreu sua aprovação por parte do Poder Legislativo (SILVA, *op. cit.*, p. 71; BRASIL, 1992, p. 9).

Mesmo assim, os objetivos propostos no SNUC permitem que sejam norteadas as ações políticas e técnicas capazes de proporcionar à sociedade, bases mais equilibradas para a interação com o ambiente natural em seus diversos níveis, que vão desde a administração ao manejo dos recursos naturais (BRASIL, 1992, p. 9). Tais objetivos são (CONAMA apud SILVA, 1996, *op. cit.*, p. 27):

- a) estimular o desenvolvimento regional integrado, com base nas práticas de conservação;
- b) favorecer condições para a educação ambiental e recreação em contato com a natureza;
- c) incentivar atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento de natureza ambiental, sob todas as formas;
- d) incentivar o uso sustentável dos recursos naturais;
- e) manejar os recursos da flora e fauna;
- f) manter a diversidade biológica no território nacional e águas jurisdicionais;
- g) preservar áreas naturais ou pouco alteradas até que estudos futuros indiquem sua adequada destinação;
- h) preservar e restaurar a diversidade de ecossistemas naturais;
- i) proteger as espécies ameaçadas de extinção a nível regional e nacional;
- j) proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;
- k) proteger paisagens naturais ou pouco alteradas de beleza cênica notável;

- a) resguardar as características excepcionais de natureza geológica, geomorfológica e, quando couber, paleonto-arqueológica e cultural.

### 2.1.2. Classificação das Áreas Silvestres Brasileiras

Como aconteceu com os países que estavam preparando o seu Sistema de Unidades de Conservação, o IBDF, órgão ambiental responsável pelo Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil até 1989, utilizou como base para o Plano o documento redigido pela Comissão Nacional de Parques Nacionais e Áreas Protegidas da União Internacional de Conservação da Natureza e seus Recursos – IUCN, cujo título era “Objectives , Criterias and Categories for Conservation Areas”, basicamente preparado por K. Miller, N. Nunro e K. Thelen. Foram também utilizadas como base para a proposta brasileira publicações de K. Miller e K. Thelen, devidamente adaptadas (BRASIL / FBCN, 1982, p. 19). Com esse estudo o Plano apresentou as propostas de classificação mostradas na Tabela 1.

TABELA 1: Quadro Sinóptico da Classificação das Áreas Silvestres do Brasil de acordo com o Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil.

CATEGORIAS DE MANEJO E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	UNIDADES DE CONSERVAÇÃO
Categorias de Importância Nacional	Monumento Natural Parque Nacional – PARNA (*) Reserva Biológica ou Científica - REBIO Santuário ou Refúgio da Vida Silvestre
Categorias de Manejo Complementares	Estação Ecológica - ESEC Estrada Parque Reserva de Recursos (Reserva Florestal) Rio Cênico
Categorias de Manejo Adicionais	Floresta Nacional – FLONA Monumento Cultural (sítios Históricos) Parque de Caça Parque Natural Reserva de Fauna Reserva Indígena Reserva Extrativista – RESEX
Categorias de Manejo Regionais ou Locais	Parques Estaduais ou Municipais; Reservas Biológicas Estaduais ou Municipais; etc.
Categorias de Manejo de I Mundial	Reserva da Biosfera Reserva do Patrimônio Mundial

(Fontes: BRASIL / FBCN, 1982; SILVA, 1996; CORRÊA, 1996) (\*) As siglas em algumas UC indicam abreviaturas normalmente utilizadas no IBAMA para referência.

Existem ainda áreas silvestres que, embora possuam reconhecimento legal com manejo e administração pelo Poder Público, não estão enquadradas nas categorias mencionadas anteriormente. São elas as Áreas de Preservação Permanente; Áreas de Proteção Ambiental – APA; Áreas de Relevante Interesse Ecológico – ARIE; Áreas Especiais e de Locais de Interesse Turístico; Jardins Botânicos e Zoológicos; Reservas Ecológicas – RESEC e; Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN (SILVA, op. cit., p. 57-71).

### 2.1.3. A Problemática das Unidades de Conservação Brasileiras

A base de todas as dificuldades enfrentadas pelas Unidades de Conservação de uso indireto administradas pelo Poder Público Federal, pode ser condensada na desinformação sobre a importância e significado das questões ambientais, tanto nas esferas oficiais quanto dentro da sociedade. Essa incompreensão leva o setor de preservação da natureza a ocupar sempre uma posição de inferioridade frente às prioridades nacionais (QUINTÃO, 1983, passim). Isso gera um número enorme de carências, principalmente (informações baseadas em BRASIL / FBCN, 1982; QUINTÃO, 1983; FUNÇÃO E PROBLEMÁTICA DOS PARQUES E RESERVAS EQUIVALENTES NO BRASIL E NA ALEMANHA, 1987; BRASIL, 1993):

- a) grande carência de recursos financeiros destinados às Unidades de Conservação, impossibilitado a implantação das existentes e dificultando a criação de novas unidades, tornando insuficientes e despreparados os seus quadros funcionais e inviabilizando os trabalhos de fiscalização e monitoramento ambiental, tanto em seu interior, quanto no entorno e sobre as pressões exercidas pela visitação turística;
- b) não representatividade do Sistema de UCs com relação aos principais ecossistemas existentes no País e, por outro lado, a existência de poucas categorias de UCs, dificultando a representação alguns ecossistemas;
- c) inexistência de Plano de Manejo na grande maioria das UCs, dificultando as ações de gerenciamento do administrador da área, pela ausência de objetivos e diretrizes locais;

### 2.1.4. As Reservas Biológicas

Incluídas no Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil, as Reservas Biológicas englobam áreas que possuem ecossistemas de grande importância científica à nível nacional. Em geral não possuem belezas cênicas ou valores recreativos que comportem acesso público, tendo como objetivos primordiais a proteção e conservação dos recursos genéticos, longe de perturbações e garantindo que o processo natural se desenvolva sem interferência direta do homem.

Existem ainda áreas silvestres que, embora possuam reconhecimento legal com manejo e administração pelo Poder Público, não estão enquadradas nas categorias mencionadas anteriormente. São elas as Áreas de Preservação Permanente; Áreas de Proteção Ambiental – APA; Áreas de Relevante Interesse Ecológico – ARIE; Áreas Especiais e de Locais de Interesse Turístico; Jardins Botânicos e Zoológicos; Reservas Ecológicas – RESEC e; Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPN (SILVA, op. cit., p. 57 -71).

### 2.1.3. A Problemática das Unidades de Conservação Brasileiras

A base de todas as dificuldades enfrentadas pelas Unidades de Conservação de uso indireto administradas pelo Poder Público Federal, pode ser condensada na desinformação sobre a importância e significado das questões ambientais, tanto nas esferas oficiais quanto dentro da sociedade. Essa incompreensão leva o setor de preservação da natureza a ocupar sempre uma posição de inferioridade frente às prioridades nacionais (QUINTÃO, 1983, passim). Isso gera um número enorme de carências, principalmente (informações baseadas em BRASIL / FBCN, 1982; QUINTÃO, 1983; FUNÇÃO E PROBLEMÁTICA DOS PARQUES E RESERVAS EQUIVALENTES NO BRASIL E NA ALEMANHA, 1987; BRASIL, 1993):

- a) grande carência de recursos financeiros destinados às Unidades de Conservação, impossibilitando a implantação das existentes e dificultando a criação de novas unidades, tornando insuficientes e despreparados os seus quadros funcionais e inviabilizando os trabalhos de fiscalização e monitoramento ambiental, tanto em seu interior, quanto no entorno e sobre as pressões exercidas pela visitação turística;
- b) não representatividade do Sistema de UCs com relação aos principais ecossistemas existentes no País e, por outro lado, a existência de poucas categorias de UCs, dificultando a representação alguns ecossistemas;
- c) inexistência de Plano de Manejo na grande maioria das UCs, dificultando as ações de gerenciamento do administrador da área, pela ausência de objetivos e diretrizes locais;

### 2.1.4. As Reservas Biológicas

Incluídas no Plano do Sistema de Unidades de Conservação do Brasil, as Reservas Biológicas englobam áreas que possuem ecossistemas de grande importância científica à nível nacional. Em geral não possuem belezas cênicas ou valores recreativos que comportem acesso público, tendo como objetivos primordiais a proteção e conservação dos recursos genéticos, longe de perturbações e garantindo que o processo natural se desenvolva sem interferência direta do homem.

## 2.2. O Plano de Manejo para as Unidades de Conservação de Uso Indireto

Uma vez expresso o desejo de preservação dos recursos naturais não renováveis de uma determinada região e criada uma categoria unidade de conservação naquele local, é ainda necessária a elaboração de um documento técnico que normatize a forma pela qual aquela unidade deverá ser manipulada ou manejada, afim de que sejam alcançados os objetivos traçados para aquela categoria de unidade de conservação e garantir que não ocorram desequilíbrios entre a administração, a natureza e o uso público (SILVA, 1996, p. 96).

Uma definição oficial pode ser dada pelo IBAMA (BRASIL, 1992, p. 9), órgão do Poder Público responsável pela elaboração dos planos de manejo para as unidades de conservação federais, difusor e regulamentador das técnicas de elaboração dos mesmos.

“Entende-se por Plano de Manejo que seja um instrumento dinâmico que apresenta diretrizes básicas para o manejo de áreas protegidas, mediante a análise dos seus recursos naturais e dos fatores antrópicos que a afetam. Estabelece o zoneamento da área, caracterizando cada uma de suas zonas e propõe o seu desenvolvimento físico de acordo com suas finalidades através de programas de gerenciamento.”

O resumo do conteúdo de um plano de manejo, apresentado a seguir, tem como base o roteiro do IBAMA (BRASIL, 1992) e complementação de informações no trabalho de compilação de SILVA (1996), que foi considerado completo o suficiente para esgotar o assunto. Devido à grande complexidade da estrutura do plano de manejo, mencionamos apenas àqueles itens considerados como de maior importância para a elaboração do plano e ao gerenciamento da unidade.

A estrutura aqui descrita é a utilizada em unidades de conservação de uso indireto e aplicada diretamente aos Parques Nacionais, devendo sofrer adaptações no caso de outras categorias de unidades.

### 2.2.1. Análise da Unidade de Conservação

Esse capítulo abrange uma coleta de informações necessários ao planejamento, manejo e gerenciamento das unidades de conservação. Inclui uma descrição dos fatores abióticos, bióticos, antrópicos, os acessos à unidade e meios de transporte, a análise da paisagem, ocorrência de desastres naturais e suas conseqüências

O estudo dos fatores abióticos incluem, dependendo da localização da área: geologia, geomorfologia, hidrografia, hidrologia e oceanografia. Já no caso dos fatores bióticos,

a preocupação é no sentido de identificação da flora, sua fitofisionomia e fitossociologia, bem como nas diversidade, status e endemismos da fauna ocorrente.

Aos fatores antrópicos importa o conhecimento adequado do uso e ocupação do solo, dentro da UC (se for o caso) e em seu entorno e que podem condicionar a efetiva proteção de seus recursos naturais através de impactos ambientais. O levantamento considera ainda os aspectos sócio-econômicos, caracterizando a população, os impactos decorrentes da criação da UC e caracterização do usuário da unidade.

Outros levantamentos importantes e que consideram aspectos antrópicos, relacionam-se aos imóveis existentes na UC, vias de circulação, trilhas, cercas, redes elétrica e hidráulica, coleta de lixo, tratamento de resíduos sólidos e líquidos, sistema de comunicação e equipamentos disponíveis na área tais como motores e veículos. Devem também serem consideradas a existência de sítios arqueológicos e/ou históricos no local.

Ainda relacionado aos fatores antrópicos, existe a caracterização fundiária da UC, com um levantamento da situação jurídica das terras, indicando-se os percentuais de área regularizada e por regularizar com as limitações ao manejo da unidade. Este levantamento dará indicativos das áreas prioritárias para regularização fundiária.

Os desastres naturais devem ser analisados como fenômenos da natureza que, por sua intensidade, atinjam de maneira especial tanto os recursos naturais quanto ao próprio homem. Enchentes, deslizamentos de encostas e fogo são alguns dos exemplos.

### 2.2.2. Manejo da Unidade de Conservação

Uma vez que a categoria de UC foi proposta e justificada com base nas informações coletadas e analisadas, é possível então definir o melhor direcionamento das ações passivas e ativas a serem exercidas sobre a área, ou seja, o seu manejo.

O primeiro passo será o de estabelecer o zoneamento da futura unidade de conservação, de acordo com sua categoria. Chama-se zoneamento a técnica de planejamento utilizada para resolver problemas de conflitos de usos em um determinado espaço geográfico. Cada uma das zonas em uma UC é capaz de atender a um ou vários objetivos, prescrevendo para isso um número de atividades dirigidas a cada zona em particular.

Em termos gerais, o número de zonas são de sete, utilizadas de acordo com o manejo que se deseja implementar. São elas: a Zona Intangível, a Zona Primitiva, a Zona de Uso Extensivo, a Zona de Uso Intensivo, a Zona Histórico Cultural, a Zona de Recuperação e a Zona de Uso Especial.

A Área de Entorno de uma UC pode ser entendida como sendo uma zona formada pelas áreas circundantes a unidade, em um raio de dez quilômetros a partir de seus limites,

legalmente amparada pelo Decreto nº 99.274/90 e pela resolução CONAMA nº 13 de 1990. O objetivo principal para o manejo dessa zona prevê o estabelecimento de um gradiente de utilização das áreas adjacentes à UC, a fim de que possa ser assegurada uma transição suave entre essas áreas de grande atividade antrópica e uso direto e as áreas preservadas da unidade de conservação de uso indireto.

Em segundo lugar, mas não menos importante, está a participação do órgão gestor da UC, em cooperação com outros órgãos institucionais regionais e locais, no planejamento e desenvolvimento do uso sustentável dos recursos naturais na área de entorno e na melhoria da qualidade de vida das populações residentes.

Em termos mais específicos, se faz necessário identificar as áreas de preservação permanentes, estabelecer corredores de fauna a serem protegidos e que possibilitem a migração, controlar o uso e exploração dos recursos naturais, identificar pontos de atividades conflitantes e outras providências, como por exemplo a conscientização ambiental das comunidades.

Um outro objetivo a ser alcançado pelo manejo da unidade se dá através da Determinação da Capacidade de Suporte. Esta deve ser entendida como o nível máximo de uso por parte de visitantes e/ou pesquisadores que uma determinada área pode receber, sem prejuízo para a satisfação destes mas sem efeitos negativos sobre os recursos por eles freqüentados.

### 2.2.3. Programas de Manejo

São um grupo de atividades afins objetivando a racionalização das ações para o adequado funcionamento de uma UC. Os quatro programas principais indicados para o manejo dos recursos de UC, dentro de seus objetivos, são: o programa de manejo do meio ambiente, que objetiva definir ações diretamente relacionadas aos recursos naturais e culturais da UC; o programa de uso público, que se destina a orientar e direcionar o uso da UC pelo público; o programa de operacionalização, que estabelece as bases administrativas tratando dos procedimentos inerentes ao gerenciamento e das atividades da UC, e; o programa de integração do entorno, que consiste no desenvolvimento de ações e atitudes que visem proteger a UC dos impactos ambientais em seu entorno.

Cada um dos programas acima é subdividido em subprogramas, onde as atividades têm um maior detalhamento.

### 2.2.4. Programa de Desenvolvimento Integrado

Uma vez tendo sido estabelecido o zoneamento e definidas as atividades de manejo, faz-se necessária a indicação das Áreas de Desenvolvimento e organização da circulação interna.

As AD (Área de Desenvolvimento), são locais restritos no interior das zonas que recebem uma infra-estrutura adequada para centralizar e apoiar as atividades previstas segundo os objetivos de cada zona.

Qualquer processo de planejamento que preveja a construção de infra-estruturas é impactante ao meio onde é implantada, e portanto, diversas considerações devem ser feitas na escolha do local e implementação das obras. Assim, deve-se adequar as estruturas de modo a causar o menor impacto possível, tendo em vista fatores como a fragilidade dos ecótopos, características físicas do solo e subsolo, declividade do terreno, escoamento superficial de águas pluviais, níveis e variações do lençol freático, e outros assuntos correlatos.

As vias de circulação interna em uma UC são definidas tendo em vista a racionalização e organização do trânsito de pessoas e veículos. Devem ser tomados todos os cuidados possíveis na implantação destas vias considerando a consequência impactante sobre a fragilidade dos terrenos e seus traçados. É necessário a elaboração de um mapa indicativo destas vias e um texto explicativo desta circulação.

#### 2.2.5. Condições Relevantes na Elaboração de um Plano de Manejo

Algumas condições são relevantes para o trabalho de elaboração do plano de manejo. Na seqüência serão comentadas algumas delas de interesse à metodologia em pauta.

##### 2.2.5.1. Fotografias Aéreas e Mapas Básicos

De acordo com SILVA (1996, p. 109), para o desenvolvimento da elaboração do plano de manejo faz-se necessária a obtenção de mapas e fotografias aéreas da região da UC, sendo que:

- a) devem ser utilizados preferencialmente mapas topográficos numa escala que permita sua utilização em campo, ou seja, que permita o maior detalhamento possível das feições geográficas do local;
- b) no caso da existência de mapas topográficos, pode ser obtido através deles um mapa base, fazendo-se nesse caso a eliminação de informações desnecessárias, possibilitando uma melhor visualização das informações coletadas e plotadas no mapa base;
- c) devido a grande dificuldade na obtenção de mapas topográficos de grande escala, como citado no item “a”, pode-se utilizar o mapa básico a partir de cartas do exército na escala 1:50.000;

por outro lado, mapas básicos não oferecem uma série de informações, como por exemplo a vegetação, e dessa forma, órgãos responsáveis por levantamentos aéreos devem ser

- a) contatados sobre a existência de fotografias aéreas sobre a região, para complementação dos dados que faltam ao mapa base;
- b) a partir das fotografias aéreas, numa escala adequada, faz-se a interpretação dos recursos e posterior restituição, resultando em um mapa básico completo sobre o qual serão tomadas decisões de cunho técnico como o zoneamento construção de infra-estruturas na área.

Com relação ao mapeamento de vegetação SEIBERT ( Estado de São Paulo, 1978) preconiza uma escala de 1:10000 como ideal para este tipo de trabalho em áreas naturais, sendo que a escala menor possível seria a de 1:25000. No caso de áreas específicas pode-se lançar mão de escalas 1:1000 ou até 1:500.

Entretanto dada às dificuldades na obtenção de cartas de tal magnitude de escala, como no caso do Brasil, temos de lançar mão de métodos como os da fotografia aérea, pois representa o estado atual da topografia, acidentes no terreno e os limites de vegetação, além de singularidades não encontradas nas cartas topográficas.

#### 2.2.5.2. Análise ou Inventário da Unidade de Conservação

Conforme já vimos, esta análise da UC constitui-se num capítulo muito importante do plano de manejo, uma vez que é a partir das informações coletadas nesta fase é que são detectadas as limitações, definidos os objetivos da área e justificadas as atividades previstas no manejo e desenvolvimento (SILVA, 1996, p. 111-112).

Ainda de acordo com SILVA (ibid.) o levantamento deve envolver uma equipe multidisciplinar, tendo em vista a imensa quantidade de recursos naturais e informações envolvidas, com cada técnico tendo uma área de atuação definida, submetidos no entanto uma coordenação central e a uma constante troca de informações, através de reuniões periódicas. Cada técnico disporá de uma cópia do mapa base para anotações.

Durante os trabalhos de levantamento os técnicos devem observar o terreno de pontos elevados, de forma a poderem obter uma visão abrangente, entretanto se isto por qualquer motivo não for possível, deve-se lançar mão de sobrevôos, que além de uma clara visão de locais de difícil acesso ou impenetráveis, fornecem indicações sobre a orientação da topografia e informações diversificadas sobre os recursos naturais.

Outros procedimentos essenciais levam em conta a demarcação, através de fotointerpretação, dos principais tipos de ecossistemas, compostos pela subdivisão dos grandes grupos vegetais e ecossistemas aquáticos, bem como a hidrografia e relevo, sobre o mapa base.

### 2.3. Global Positioning System GPS

De acordo com PESSOA (1997a, p. 15), o sistema NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System) teve seu desenvolvimento no início da década de 70 a partir de programas militares americanos e ainda hoje é gerenciado pelo Departamento de Defesa daquele país, embora, atualmente, sejam civis a enorme maioria de usuários em todo o mundo.

O mesmo autor relaciona ainda características e informações importantes sobre o sistema, que resumimos:

- os sinais transmitidos pelo satélite estão disponíveis aos usuários em qualquer posição em torno da Terra, sendo operável 24 horas por dia e disponibilizando durante todo esse período um número de satélites variável, mas que nunca é menor do que quatro acima do horizonte;
- a constelação é composta de um total de 24 satélites, deslocando-se a aproximadamente 20.000 km da superfície terrestre em órbitas circulares, em seis planos orbitais espaçados de 60 graus e com uma inclinação aproximada de 55 graus, sendo que cada plano é composto de 4 que possuem um período orbital de 12 horas siderais;
- o controle da constelação é feita por uma estação central nos EUA, cujas funções principais são as de estimar parâmetros orbitais, corrigir os relógios dos satélites, emitir comandos de manobra, garantir a integridade e o estado de saúde do sistema, sendo que todos esses e outros controles são processados e enviados às antenas das estações monitoras, espalhadas pelo mundo, e que transmitem e recebem dados dos satélites, repassado-os, por sua vez, para a estação central.

#### 2.3.1. Estrutura dos Sinais GPS

Em seu curso sobre GPS, PESSOA (1997a) refere-se aos sinais emitidos pelos satélites especializados já mencionados como “sinal GPS”. A estrutura destes sinais é extremamente complexa, impedindo dessa forma o acesso indevido, já que se trata de um projeto fundamentalmente militar, bem como livre de interferências.

##### 2.3.1.1. As Frequências Portadoras L1 e L2

Basicamente o satélite gera através de quatro osciladores altamente estáveis, também chamados de relógios dos satélites, uma frequência fundamental, que posteriormente é alterada por multiplicação desta por dois números diferentes, resultando em duas frequências de 1,575 GHz e 1,227 GHz, conhecidas como L1 e L2, respectivamente.

De acordo com PESSOA (1997c), a função destas frequências é a de “transportar” pelo espaço as informações nelas contidas ou moduladas, necessárias ao usuário do sistema GPS, sendo por isso chamadas de “frequências portadoras”.

#### 2.3.1.2. A Mensagem de Navegação

Uma das informações moduladas sobre as portadoras é a chamada mensagem de navegação, cuja função é a de informar ao receptor GPS a posição do satélite a cada instante. Portanto, cada satélite transmite sua própria mensagem ou posicionamento e uma vez conhecidas tais posições em função do tempo, além das distâncias entre cada um dos satélites e o receptor, é possível se determinar as coordenadas do usuário (PESSOA, 1997c).

Por outro lado, da mensagem de navegação, também conhecida como efeméride, constam outras informações como: “( ...) correções de ordem meteorológica – influência da ionosfera sobre o sinal, temporal – coeficientes de ajuste do relógio do satélite a um determinado sistema de referência de tempo conhecido como tempo GPS e elementos aproximados indicadores da posição dos demais satélites do sistema GPS” (op. cit., p. 45). A este conjunto de informações dá-se o nome de “almanaque”.

No caso de navegação, o receptor precisa decodificar a mensagem em tempo real, sendo que aplicações que envolvam pós-processamento essa decodificação poderá ser efetuada via software na ocasião em que os dados forem transmitidos ao computador (id., 1997a).

#### 2.3.1.3. Os Códigos C/A e P(Y)

Conforme foi referido por PESSOA (1997c) no item anterior, um dos componentes necessários para o receptor poder estimar as coordenadas de posição, além da mensagem de navegação, é o que informa a distância aproximada entre a antena deste e cada um dos satélites GPS rastreados. Essa informação é prestada por um outro componente do sinal GPS, os códigos.

Estes códigos são frequências binárias “impressas” nas portadoras, possuindo cada satélite seu próprio código, de modo que o receptor pode identifica-lo inequivocamente (op. cit., p. 45).

O código C/A – C - Coarse Aquisition é modulado apenas na portadora L1, sendo de acesso livre aos usuários de receptores GPS, enquanto o código P(Y) Precise é modulado em ambas as portadoras, L1 e L2, sendo de acesso restrito (id., 1997a).

### 2.3.2. Observáveis Básicas

Duas observáveis básicas permitem a medição de distâncias entre o receptor e o satélite. Segundo SANTOS (1997, p. 21) são elas a pseudo-distância (oriunda do código) e a medida de fase de batimento da portadora.

#### 2.3.2.1. Posicionamento por Pseudo-distâncias

De acordo com PESSOA (1997a), o posicionamento por pseudo-distância ou posicionamento por código, possibilita o posicionamento instantâneo, através da determinação do tempo de trânsito entre o sinal emitido pelo satélite e a antena do receptor. Isso é possível através da comparação entre o código recebido (modulado na portadora) e uma réplica deste gerada no receptor.

Decorre então que “a defasagem entre os dois códigos (o recebido e o gerado no receptor), descontando a falta de sincronismo entre os relógios, possibilitam o cálculo da distância satélite/receptor em um determinado instante.” (op. cit., p. 22). Como esta distância é afetada por vários erros, ela é geralmente chamada de pseudo-distância (SANTOS, 1997, p. 21).

Embora a medida de três pseudo-distâncias nos possibilite uma leitura de posicionamento “matematicamente” correta, é necessária a medida de pelo menos quatro satélites, devido a necessidade de obter-se uma estimativa de defasagem entre os osciladores com relação à escala de tempo GPS (PESSOA, 1997a).

#### 2.3.2.2. Utilização da “Fase da Portadora”

Nesse caso, “a distância satélite/receptor passa a não depender diretamente da correlação entre os códigos, mas de uma medida de fase do batimento gerado pela superposição de duas ondas”. (PESSOA, 1997a, p. 26). Apesar de um aumento na precisão das estimativas das distâncias, existe um parâmetro adicional a ser calculado chamado de “ambigüidade”, sempre resolvida no início da seção de observação (id., op. cit. e SANTOS, 1997, p. 27).

A obtenção da fase da portadora é procedida eletronicamente nos equipamentos, utilizando técnicas de resolução de ambigüidades em tempo real. Utiliza para tanto as frequências portadoras L1 e L2, previamente processadas e “limpas” de seus códigos e mensagem (PESSOA, 1997a, passim).

Esse modelo não é geralmente usado nos posicionamentos absolutos e sim em posicionamentos relativos, permitindo posicionamentos com a acurácia mais alta que o GPS pode fornecer.

### 2.3.3. Efeitos que Degradam a Precisão do GPS

#### 2.3.3.1. Imposições dos Gestores do Sistema

PESSOA (1997b) informa que por se tratar de um sistema primordialmente militar, a precisão do sinal GPS sofre degradações impostas para o uso civil, visando com isso impedir sua utilização por militares inimigos do proprietário do sistema. Dessa forma o serviço pode ser endereçado a dois tipos de usuários: civis ou militares. De acordo com SEEBER, citado por PESSOA (op. cit., p. 28), a acurácia esperada para um posicionamento isolado para uso civil é de 100 metros, enquanto que para uso militar este valor está entre 10 e 20 metros.

Existem dois modos de limitação proposital da acurácia do sistema GPS, são elas (op. cit.):

- a) SA – Selective Availability. Dentro desse modo duas técnicas são usadas para falsear a mensagem transmitida. Uma delas é a manipulação das efemérides transmitidas e a outra é a desestabilização do relógio do satélite. Em ambos os casos a deterioração ocorre no cálculo das pseudo-distâncias, e;
- b) AS – Anti-Spoofing. Essa limitação é gerada através da criptografia do código P, que resulta em um novo código chamado de Y. Isso permite que apenas pessoas autorizadas tenham acesso ao código militar, mais preciso que o civil.

#### 2.3.3.2. Geometria da Constelação de Satélites

Segundo SEEBER, citado por PESSOA (1997b, p. 28), outro fator de influência na degradação do sinal de posicionamento relaciona-se com a configuração geométrica dos satélites face à posição do observador.

De um modo geral a quantificação da influência da geometria instantânea dos satélites acima do horizonte livre do observador é dado por um número chamado de “Dilution of Precision (DOP)”. Esse número pode ser dividido em (op. cit.):

- a) PDOP – responsável pela precisão do posicionamento tridimensional;
- b) HDOP – responsável pela precisão do posicionamento horizontal;
- c) VDOP – responsável pela precisão do posicionamento vertical e;
- d) TDOP – responsável pela precisão na determinação do tempo.

Assim, “(...) no posicionamento instantâneo com um único rastreador, a acurácia obtida será tanto pior quanto maior for o valor do DOP no instante da determinação.”(op. cit.).

#### 2.3.3.3. Influência Atmosférica

Os efeitos atmosféricos sobre o GPS são devido principalmente às influências da ionosfera e da troposfera (PESSOA, 1997b).

A ionosfera pode contribuir com uma degradação na pseudo-distância que pode variar entre 1 e 100 metros. A influência troposférica provoca um atraso, devido a refração desta camada, nos sinais GPS, resultando em um “aumento aparente” na distância entre o satélite e o receptor (op. cit., p. 28-29).

#### 2.3.3.4. Multicaminhamento

O efeito de multicaminhamento ou “multipath” é resultado da reflexão indesejada do sinal por obstáculos próximos à antena receptora. Em situações mais desfavoráveis pode gerar perda de sintonia do sinal (PESSOA, 1997b, p. 29).

#### 2.3.3.5. Erro em Função da Distância

Para MARSHALL (1997) a precisão também depende da distância entre o receptor base e o receptor móvel, no caso do posicionamento relativo. Essa precisão é expressa em um erro em fração chamado ppm, ou parte-por-milhão. Se uma indicação é dada para um determinado GPS de uma precisão de, por exemplo, 75 cm mais 1 ppm, a distância de 75 cm indicaria o maior erro a zero metros de distância da base e a medida em ppm o quanto o erro aumenta em função da distância a partir da base.

Como o valor de 1 ppm expressa uma fração como  $1/1.000.000$  (uma parte em um milhão de partes), poderíamos escrevê-la como sendo 1 mm/km ou 10 cm/10 km. Assim, no exemplo, se estivermos distantes 360 km da base com aquele GPS teríamos que adicionar 36 cm de erro ao erro de 75 cm. Se o valor do ppm for 2, 3 ou 5, basta mudar o erro para 2mm/km, 3mm/km ou 5mm/km.

#### 2.3.3.6. Coberturas Florestais

GILBERT (1997a) em seu artigo sobre performance do GPS sob condições de cobertura florestal, informa que nesses casos os sinais vindos dos satélites GPS são de muito baixa potência. Materiais metálicos e de concreto, independente da espessura, impedem a passagem dos sinais GPS até o receptor e não metálicos como o vidro e o plástico, desde que não muito espessos, atenuam levemente o sinal. Uma lâmina d'água de um centímetro de espessura é

suficiente para bloquear o sinal, e assim, materiais com alto conteúdo de água, como as árvores decíduas, podem atenuar o sinal.

#### 2.3.4. Modalidades de Posicionamento

Segundo SANTOS (1997, p. 12) entende-se por posicionamento a “(...) posição de objetos estacionários ou em movimento, dentro de um sistema de coordenadas.”. Isso permite se distinguir duas modalidades de posicionamento GPS, uma com referência ao sistema de coordenadas e outro em termos de movimento da antena.

Quanto ao sistema de coordenadas podemos ter dois tipos de posicionamento, a saber (id., op. cit.):

- a) Posicionamento absoluto ou isolado – é quando o posicionamento se dá com respeito a um sistema de coordenadas definido, usualmente um sistema geocêntrico;
- b) Posicionamento relativo ou diferencial – quando o posicionamento se dá com respeito a outro ponto, tomado como referência ou origem de um sistema de coordenadas.

Com relação ao movimento da antena temos o seguinte (op. cit.):

- a) Posicionamento Estático – quando o objeto a ser posicionado é estacionário;
- b) Posicionamento Cinemático – quando o objeto a ser posicionado está em movimento.

O mesmo autor (op. cit., p. 13) conceitua ainda dois tipos de obtenção de posicionamento GPS derivados do posicionamento relativo, de grande importância, sendo:

- a) Posicionamento em Tempo Real – determina a posição no mesmo instante em que as posições são coletadas, existindo a necessidade de uma ligação entre estações de tal modo que permita que os dados coletados por uma estação sejam transmitidos para outra;
- b) Posicionamento através de Pós-processamento – implica na determinação da posição da antena do receptor através de um processamento posterior a coleta de observações.

É importante nos referirmos ainda a técnica de DGPS ou GPS Diferencial. Segundo SANTOS (op. cit. p. 32) a idéia baseia-se na existência de uma estação fixa localizada sobre um ponto de coordenada conhecida. O GPS sobre esta estação coleta continuamente dados de posição a partir dos satélites e transmite correções, via “link” de rádio, aos equipamentos GPS próximos até uma distância limite.

Ainda segundo o autor é necessário esclarecer que Posicionamento Relativo (ou Diferencial) e DGPS (ou GPS Diferencial) são dois conceitos totalmente diferentes: “(...) o primeiro resulta em um vetor ligando o ponto conhecido ao ponto incógnito, ao passo que o

segundo resulta em correções obtidas a partir do ponto conhecido para serem aplicados ao ponto incógnito.” (op. cit., p. 33)

Outros autores no entanto aplicam estes termos indiferentemente, como por exemplo GILBERT (1997b, p. 62) e MONICO et al. (1997), o que é natural em uma tecnologia ainda muito recente como é o caso do sistema GPS, ainda não ocorrendo a consolidação de termos para descrição de metodologias.

As diversas técnicas de levantamento com o auxílio de GPS englobam essas modalidades sob diversas formas.

### 2.3.5. Técnicas de Levantamento com GPS

PESSOA (1997a, p. 30) propõe uma divisão simplificada das técnicas de levantamento com GPS separando-as em duas: Estáticas e Dinâmicas. Outros autores como SANTOS (1997, p. 28) consideram impróprio a utilização do termo “dinâmico”, para aquelas técnicas que incorporam levantamentos estáticos (receptor parado) e cinemáticos (receptor em movimento), considerando-as como técnicas intermediárias entre estes dois métodos.

Assim sendo, segue-se uma descrição bastante sucinta das técnicas existentes sem preocupação com as divisões, o que não prejudica o entendimento das mesmas. Este resumo está baseado em PESSOA (op. cit.). São as seguintes as técnicas:

- a) Posicionamento Absoluto – Utiliza o código C/A da portadora L1 com um único equipamento de baixo custo e sua acurácia é da ordem de 100 a 150 metros sob SA e praticamente independe do tempo de rastreamento;
- b) Posicionamento Relativo Estático – Utiliza equipamento de alto custo financeiro que processa as frequências portadoras L1 e L2 com um tempo de permanência em cada ponto de várias horas. É a técnica de maior acurácia proporcionada pelo GPS, na ordem de  $1\text{cm} + 0,1 \text{ a } 2 \text{ ppm}$ , segundo PESSOA (op. cit.), ou entre  $1 \text{ ppm a } 0,1 \text{ ppm}$  segundo SANTOS (op. cit.);
- c) Levantamento Cinemático (Stop & Go) – É baseado na fase da portadora e na utilização de uma estação de GPS fixa (referência) num ponto de coordenadas conhecidas e no deslocamento de um ou mais equipamentos de GPS intinerantes (móveis). As coordenadas dos pontos podem ser obtidos em tempo real ou pós-processamento. Implica na permanência de alguns minutos em cada um dos pontos levantados ( $\sim 2 \text{ a } 3 \text{ minutos}$ ). Acurácias na ordem de  $\sim 1 \text{ a } 10 \text{ ppm}$ ;
- d) Levantamento Cinemático Contínuo – Diferencia-se da anterior por determinar as coordenadas continuamente durante o deslocamento.

- a) Levantamento Pseudo-Cinemático – O mesmo que as anteriores, diferenciando-se por ocupar cada estação por aproximadamente 5 minutos e repetir a ocupação no mínimo 1 hora após a ocupação precedente. Durante o trajeto o receptor pode ser desligado. Acurácias na ordem de 2 a 20 ppm;
- b) Levantamento Rápido Estático – Utiliza-se das fases das portadoras L1 e L2. Idêntico ao cinemático, apenas utilizando equipamento GPS específico para este tipo de levantamento, com permanência entre 5 e 20 minutos em cada ponto e possibilidade de deslocamento com o equipamento desligado. Acurácias na ordem de 1 a 10 ppm;
- c) Levantamento Cinemático em Tempo Real – Utiliza a fase da portadora através de DGPS, através de “link” de rádio VHF ou UHF. Possui restrição de distância (máximo de 20 km). Acurácias na ordem de 2 a 10 cm.

### 2.3.6. Elementos Estatísticos

#### 2.3.6.1. Indicadores de Precisão

Segundo SANTOS (1997, p. 13) “toda a determinação de posição tem atrelada a ela uma estimativa de quanto as observações que permitiram o seu cálculo estão dispersas e de quanto a posição em si está próxima do seu valor real.” A estas quantidades dá-se o nome de Indicadores de Precisão, medindo dois tipos de precisão, a saber (op. cit.):

- a) Precisão Interna ou Precisão – é a medida estatística vinculada a dispersão de observações, sendo calculada a partir das próprias observações por meio de expressões matemáticas;
- b) Precisão externa ou Acurácia – fornece uma medida da proximidade de observações com respeito a um valor externo, sendo obtida por comparação do valor da posição determinada através das observações com um outro valor da mesma observação, entendido como sendo de ordem superior.

Tais indicadores são obtidos, principalmente, através de dois recursos matemáticos bastante conhecidos em termos estatísticos: o desvio padrão ( $\sigma$ ) e a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMS, de root mean square) (op. cit., p. 14). Outros indicadores existem, mas para o propósito deste trabalho estes serão suficientes.

MARSHALL (1997) introduz um conceito prático muito importante, chamado “erro horizontal”, que é a medida da distância entre a posição GPS e a verdadeira posição do local, caso este seja conhecido. Conforme podemos observar na Figura 1, supondo o nosso ponto conhecido sobre a origem de um gráfico (0,0) e a posição GPS representada por “x”, podemos definir um erro em norte e em leste, obtendo-se o erro horizontal através da relação do teorema de Pitágoras.

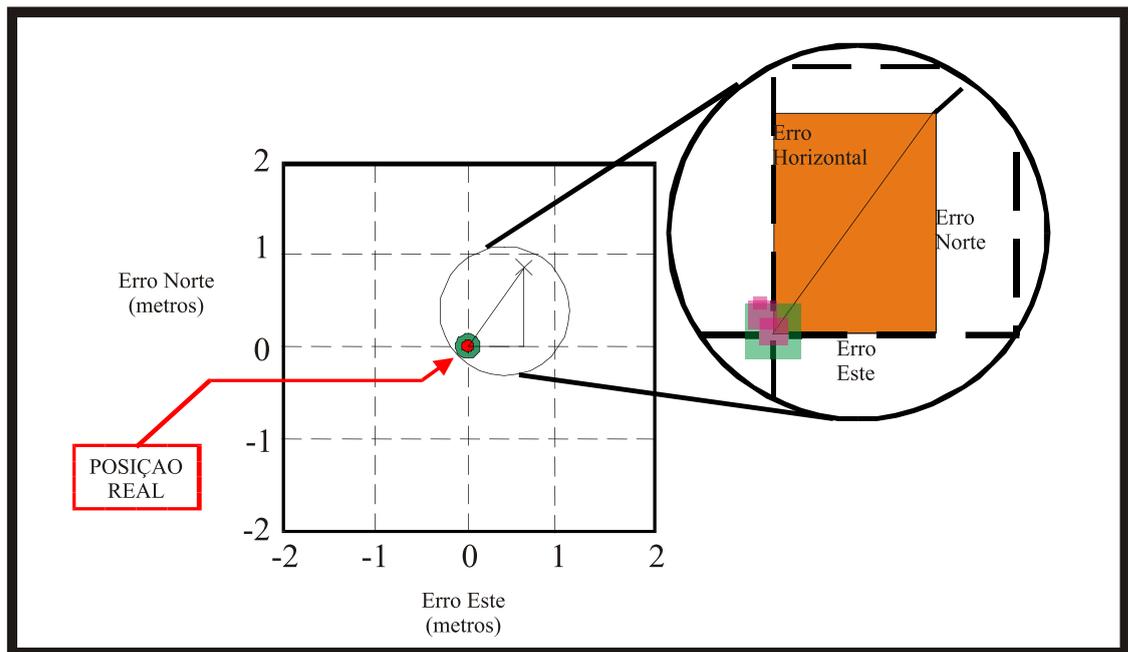


FIGURA 1: Representação do Erro Horizontal de um posicionamento (Fonte: MARSHALL, 1997).

Isto conduz a obtenção de um indicador de precisão que é o desvio padrão horizontal. Ainda de acordo com MARSHALL (op. cit.) para um conjunto de dados GPS em coordenadas norte e leste pode-se calcular a média destes componentes em leste (1) e norte (2), a partir delas o desvio padrão em leste (3) e norte (4) por fim o desvio padrão horizontal (5).

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{leste}_i \quad (1)$$

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{norte}_i \quad (2)$$

onde:

$\bar{l}$  = média das posições em leste

$\bar{n}$  = média das posições em norte

$N$  = número total de posições GPS

$$sd_l = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^N (\hat{l} - \text{leste}_i)^2 \right)} \quad (3)$$

$$sd_n = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^N (\hat{n} - \text{norte}_i)^2 \right)} \quad (4)$$

onde:

$sd_l$  = desvio padrão da componente leste

$sd_n$  = desvio padrão da componente norte

$$sd_h = \sqrt{(sd_l^2 + sd_n^2)} \quad (5)$$

onde:

$sd_h$  = desvio padrão horizontal

Sobre o cálculo do erro real, obtido a partir de posições GPS coletados sobre uma coordenada conhecida para posterior correção diferencial, MARSHALL (op. cit.) propõe as seguintes fórmulas:

$$El_i = \text{leste}_i - l_T \quad (6)$$

$$En_i = \text{norte}_i - n_T \quad (7)$$

onde:

$El_i$  = erro real leste

$En_i$  = erro real norte

$l_T$  = coordenada leste verdadeira

$n_T$  = coordenada norte verdadeira

$$Eh_i = \sqrt{(El_i^2 + En_i^2)} \quad (8)$$

onde:

$Eh_i$  = erro horizontal para cada posição

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N (\text{Eh}_i)^2 \right)} \quad (9)$$

onde:

RMS = erro horizontal RMS para o conjunto de posições GPS

N = número de posições do conjunto

### 2.3.7. Obtenção do Melhor Posicionamento Possível

GILBERT (1997/1998, p. 54) concorda que para os usuários de receptores GPS baseados em código o melhor meio de melhorar o dado de posicionamento absoluto é o uso das técnicas de médias, pois gravar algumas centenas de posições em um mesmo local, durante cerca de 10 a 15 minutos, e posteriormente utilizar a média destas posições produz melhor precisão do que gravar apenas um posicionamento no intervalo de um segundo. O autor afirma ainda que “se alguns pequenos erros persistirem depois do processamento diferencial, eles podem ser rateados desta maneira”.

LUZ et al. citado por VERONESE et al. (1997) em seu trabalho sobre a utilização de GPS de navegação na correção geométrica de imagens de satélite com uso de GPS de navegação, demonstraram que “(...) é possível aumentar substancialmente a precisão de leitura em GPS portáteis mediante a coleta continuada de observações do mesmo ponto”. Nesse caso foram efetuadas “10 leituras em média de cada ponto, espaçadas de 30 segundos”.

Sobre a metodologia de correção por posicionamento relativo, vale citar aqui o interessante trabalho de MONICO et al. (1997), no qual utiliza um GPS de navegação para a medição de uma área previamente conhecida. A correção dos posicionamentos obtidos por pseudo-distância (código C/A) foi realizada através de pós-processamento em softwares não disponíveis comercialmente e fazendo uso de uma estação base de grande acurácia, posicionada sobre um ponto de coordenadas conhecidas de primeira ordem.

Essa estação base é parte de uma rede chamada Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC, mantida e administrada pelo IBGE e conveniados, existindo em diversos lugares no Brasil e cujas estações funcionam 24 horas, podendo seus posicionamentos serem adquiridos para pós-processamento.

Ainda sobre o trabalho de MONICO et al. (op. cit.) foram destacados os seguintes pontos:

- a) Foi bastante frisado que existe a necessidade de que dos dados coletados pelo receptor de campo devem constar o exato momento da coleta de cada posição bem como o registro da identificação dos satélites no instante da aquisição;

- a) As correções somente serão válidas se ambas as estações estiverem rastreado a mesma constelação de satélites, pois em caso contrário as correlações diminuem e as correções não serão válidas para ambas as estações devido ao efeito da SA;
- b) As coordenadas de cada estação foram determinadas um mínimo de sete vezes, dentro de um período máximo de cinco minutos;
- c) O datum a ser utilizado nesse caso, preferencialmente, é o WGS84 (World Geodetic System 1984);
- d) Os resultados do experimento demonstraram que a utilização de correção diferencial, mesmo que baseado em cálculos simplificados, podem resultar em posicionamentos com acuracidade melhor que 8 metros;

#### 2.3.8. O GPS Aerotransportado

Sobre a utilização de receptores GPS na navegação de vôos para fotografias aéreas de pequeno formato, BIGGS et. al. (1989) descrevem um experimento realizado em uma grande área florestal, de aproximadamente 1,2 milhões de hectares, na Austrália.

Citando diversos autores com trabalhos de levantamento em escalas grandes com fotografias obtidas de máquinas de 35mm e 70mm em áreas de cobertura florestal, os autores levantam duas das principais dificuldades do uso deste tipo de levantamento nessas regiões, quais sejam: a de determinação precisa de localização da cobertura fotográfica e a pequena área coberta pela fotografia. Com isso o acesso ao local de, por exemplo, uma praga localizada, torna-se muito difícil.

Em termos sucintos, o experimento dispunha de um microcomputador do tipo “lap-top” que acionava um par de câmaras de 70mm presas de cada lado de um helicóptero a intervalos de distância preestabelecidos. Um GPS acoplado ao microcomputador é que informava os posicionamentos em cada linha de vôo, a taxa de um por segundo, além de prover indicações visuais de direção ao piloto.

A área descrita foi amostrada por um período de 3 anos, com estereopares fotográficos a cada 500 metros e 1000 metros de intervalo nas linhas de vôo, cobrindo cada par fotográfico uma área de 55 x 55 metros. A localização de cada amostra tinha que ser conhecida com precisão para permitir que o volume de madeira calculado pudesse ser combinado com outra amostra.

Com relação ao desempenho do receptor GPS, os autores concluem que “(...) foram cumpridas todas as exigências para navegação ao longo das linhas de vôo. (...) Usando os indicadores de direção, o piloto foi capaz de voar em linhas precisas, assegurando uma distribuição amostral constante”.

Após a elaboração de um mapa de localização a partir das informações reunidas, as equipes de campo estimaram que 90% das amostras localizaram-se dentro de 100 metros da posição esperada. É preciso considerar ainda que a constelação de satélites GPS naquele ano – 1989 – não continha o mesmo número de satélites de hoje, gerando um PDOP muito alto em determinadas ocasiões.

## 2.4. Levantamento Aerofotográfico

### 2.4.1. Fotografias Aéreas de Pequeno Formato

As fotografias aéreas de pequeno formato, doravante denominadas FAPFs, são assim chamadas por serem obtidas a partir de máquinas fotográficas padrão ou convencionais, ou seja, facilmente adquiridas nas casas comerciais e denominadas de 35 mm ou de 70 mm. Além disso, diferenciam-se das Fotografias Aéreas Convencionais, ou FACs (utilizadas em aerofotogrametria), devido ao tamanho dos negativos, após a revelação, não sendo esta entretanto a única diferença, como será visto adiante (DISPERATI, 1991).

A técnica de FAPFs é uma variante do processo de obtenção de fotografias aéreas, sendo considerada uma técnica suplementar às FACs e sua principal aplicação tem sido na revisão e atualização de mapas e em estudos detalhados de pequenas áreas. Não deve ser considerado uma panacéia para o mapeamento temático e nem como um substituto integral para as FACs, mas como um meio simples, econômico e suplementar para a obtenção de fotografias aéreas pequenas (id., 1992, p. 147-148).

Entretanto, já existem estudos de avaliação quanto a potencialidade dessas fotografias para o mapeamento topográfico, integração com sistemas de informação geográfica e elaboração de modelos digitais do terreno (id., 1992, p. 147).

### 2.4.2. Principais Diferenças Entre FAPFs e FACs

Conforme foi dito no item anterior, a denominação de “pequeno formato” ocorre em função do tamanho do negativo, pois enquanto as FACs possuem negativos de tamanho 230 x 230 mm, as FAPFs apresentam tamanhos de negativo comuns aos filmes adquiridos comercialmente, ou seja, 24 x 36 mm para as câmaras de 35 mm e 60 x 60 mm (de uma forma geral) para as câmaras de 70 mm (DISPERATI, 1991).

As câmaras comerciais ditas de 35 mm ou 70 mm, não possuem a alta qualidade e exatidão exigidas para trabalhos de precisão fotogramétrica, sendo por isso denominadas de

câmaras “não-métricas”. MIKHAIL citado por DISPERATI (op. cit., p. 29) apresenta algumas diferenças entre câmaras métricas e não-métricas, dentre elas destacam-se as seguintes como características usuais mais importantes:

- a) Câmara métrica: orientação interna conhecida e estável; foco fixo; marcas fiduciais; placa de vácuo para manutenção da planura do filme;
- b) Câmara não-métrica: não dispõe de nenhuma das características acima mencionadas.

Com relação ao foco, que nas câmaras apropriadas para as FACs é fixo, nas câmaras não-métricas ele pode variar em função em função de um ajuste que deve ser feito de acordo com a distância entre a câmara e a cena ou objeto a ser fotografado. Nas câmaras métricas o foco é ajustado para o infinito, o que pode ser feito também para as não-métricas quando da realização de vôos (DISPERATI, op. cit.).

Outra diferença estabelecida por DISPERATI (op. cit., p. 30) é quanto ao meio de obtenção das cópias fotográficas a partir dos negativos. As FACs nunca são ampliadas para efeito de elaboração de mapas topográficos, sendo obtidas através de cópias de contato. Já as FAPFs são ampliadas, geralmente entre 4 a 5 vezes, introduzindo erros de deformação no produto final.

SPENCER, citado por DISPERATI (op. cit., p. 37-38), indica como sendo outra diferença fundamental o número, às vezes muito maior, de linhas de vôo e fotografias que as FAPFs necessitam para recobrir uma determinada área, quando comparado às FACs, haja vista a diferença no tamanho dos negativos, anteriormente mencionado.

Em termos práticos, AMARAL et al. (1997) em seu trabalho de monitoramento de falésias através de FAPFs, informa que “as fotografias aéreas tradicionais (FACs), embora forneçam uma boa visão de área, não permitem a determinação clara dos detalhes pretendidos. Já os levantamentos de campo, embora possibilitem o detalhamento de certas feições, são demorados e nem sempre permitem uma boa análise de conjunto de uma área”.

#### 2.4.3. Fotografias Aéreas Verticais e Inclinadas

Uma outra distinção importante deve ser considerada, desta vez dentro da própria obtenção das FAPFs. Esta é, ainda de acordo com DISPERATI (1991), a diferença entre fotografias aéreas verticais e inclinadas (também chamadas oblíquas). Segundo o autor, na obtenção da aerofoto vertical a câmara é instalada na aeronave de forma que seu eixo ótico esteja na posição vertical ou muito próximo desta. No caso da aerofoto inclinada, pelo contrário, seu eixo ótico se encontra, intencionalmente ou não, fora da posição vertical.

PAINE, citado por DISPERATI (op. cit., p. 43), apresenta uma análise comparativa entre estas duas formas de obtenção de FAPFs, apontando vantagens e desvantagens entre uma e outra. Dentre as vantagens das fotografias aéreas verticais é destacado como sendo de grande importância a quase constância da escala, o que torna possível a obtenção de medidas mais exatas e direções (ângulos) quando comparada às FAPFs oblíquas. Cita o autor ainda que, com as devidas limitações, a aerofoto vertical "... pode ser usada em substituição a um mapa, quando se introduz na fotografia uma rede de coordenadas geográficas e informações colocadas às margens" (id., op. cit.).

#### 2.4.4. O Sistema Aerofotográfico de Pequeno Formato

Para PERNÍIA et al. (1994, p. 26) o sistema aerofotográfico de pequeno formato compõe-se, basicamente de:

- a) uma pequena aeronave: monomotor de asa alta, helicóptero ou ultraleve;
- b) uma ou várias câmaras de 35 ou 70 mm e seus acessórios;
- c) um ou vários suportes para colocação da(s) câmara(s);
- d) materiais fotográficos: filmes e filtros;
- e) componentes adicionais: intervalômetro, equipamento de visualização (visores, câmara de vídeo, etc.), equipamento GPS e marcas em terra e;
- f) pessoal: piloto, fotógrafo e ajudante, treinados para o trabalho aerofotográfico.

#### 2.4.5. A Câmara Fotográfica de 35 mm

Segundo DISPERATI (1991), o termo "câmara fotográfica de 35mm" se refere a um tipo particular de câmara que utiliza um filme fotográfico que resulta sempre em negativos individuais de dimensões de 24 mm x 36 mm. As mais utilizadas para aerofotos são as com visor do tipo SLR (Single-lens Reflex), por apresentar a possibilidade de troca de lentes e vários tipos de acessórios, podendo ser para profissional ou amador.

Como desvantagem desse tipo de câmara pode ser citado exatamente o tamanho de seu negativo, pois quanto maior o tamanho do mesmo, maior será a área recoberta do terreno, e assim, menor número de linhas de vôo necessárias ao recobrimento aerofotográfico da totalidade da área. Além disso, quanto maior o tamanho do negativo menor será o fator de ampliação utilizado e, conseqüentemente, menor será o erro de distorções ocasionadas pela lente da máquina ampliadora (DISPERATI, op. cit., p. 89).

Por outro lado, esta tem sido a câmara mais requisitada para a obtenção das FAPFs, segundo DISPERATI (op. cit.) principalmente pelo menor preço e maior acessibilidade, inclusive com relação a filmes e acessórios.

#### 2.4.5.1. Lentes ou Objetivas

O aspecto mais importante com relação à lente de uma câmara – também denominada de objetiva – para a obtenção das FAPFs, é a chamada distância focal. Esta pode ser definida como “... a distância do ponto nodal anterior (quando considerado uma objetiva composta por diversas lentes sobrepostas e como sendo na maioria dos casos práticos) ao plano focal, isto é, ao plano no qual a imagem é formada em foco” (DISPERATI, 1991, p. 92).

De acordo com essa distância focal existem diversos tipos de objetivas, como a grande-angular, a normal, a telefoto, o zoom e a macro. Para efeito de obtenção das FAPFs utilizam-se geralmente a grande-angular e a normal. Destas a normal é a que reúne as melhores condições de uso para a obtenção de aerofotos, pois produz “... a mais perfeita fotografia possível, com poucos erros que afetam a definição (“sharpness”), tamanho e cor na imagem fotográfica” (DISPERATI, 1991, p. 92).

A principal característica da distância focal e que torna extremamente importante o conhecimento de seu valor, geralmente expresso em milímetros, é que dele dependerá a definição da altura de vôo da aeronave durante o levantamento aerofotográfico (id., op. cit., p. 94).

Por outro lado, um problema imposto pelas lentes é o da distorção da posição dos raios da imagem que são gravados sobre o filme (NEEDHAM et al., 1984, p. 1143). Isso acontece porque raios de luz que incidem sobre a lente paralelamente ao eixo principal emergem da mesma passando pelo foco, enquanto que somente aqueles que passam pelo centro ótico emergem sem sofrer desvios (BONJORNIO, 1988, p. 311).

De fato, segundo MARCHETTI et al. (1986, p. 22), referindo-se às FACs, informa que “todas as lentes das câmaras aéreas têm as distorções e defeitos óticos medidos e estudados”, sendo essencial que sejam testadas e calibradas.

NEEDHAM et al. (op. cit.) considera que no caso das fotografias aéreas de 35 mm, cujo tamanho do negativo exige um processo de ampliação, distorções adicionais são impostas à localização dos pontos-imagem das aerofotos ampliadas, pois o sistema de lentes da ampliadora podem compensar ou exagerar as distorções já introduzidas pelas lentes. Continuando, o autor informa ainda que essas distorções serão proporcionalmente maiores quanto maior for o fator de ampliação.

WARNER (1994, p. 983) concorda com a distorção da lente citando-a como uma desvantagem da câmara não métrica, afirmando que “as lentes são desenhadas para altas resoluções em detrimento da qualidade geométrica, como pode ser evidenciado pela geralmente grande e freqüente distorção irregular”. Adiante no entanto ressalva que com o advento do computador, inúmeras técnicas de redução de dados analíticos amenizaram os efeitos desta

desvantagem e outras como a não planura do filme, instabilidade da orientação interior e ausência de marcas fiduciais.

#### 2.4.5.2. Os Filmes

DISPERATI (1991, p. 97) nos informa que a classificação mais elementar e usual para os filmes fotográficos é sua divisão em preto e branco e coloridos. Quanto ao primeiro, este pode ser subdividido em quatro tipos, sendo: sensível ao azul, ortocromático, pancromático e infravermelho. Com relação ao colorido, o colorido reversível e o negativo colorido.

O filme colorido reversível, após o processo de revelação, produz como resultado o próprio filme, que anteriormente havia sido exposto para registrar um assunto, sendo que cada exposição separadamente é denominado vulgarmente como “slide” (id. op. cit., p. 98).

No caso do filme negativo colorido “... o produto final (isto é, a fotografia) é obtida em dois estágios diferentes. O primeiro estágio é a revelação do filme fotográfico e o segundo estágio, a cópia de cada exposição obtida no filme em papel fotográfico, que propicia assim uma ampliação e inversão da imagem e das cores existentes no negativo original” (id. op. cit.).

Ainda segundo o autor (op. cit., p. 101-102), os filmes fotográficos para câmaras de 35 mm são universalmente padronizados, resultando em formatos retangulares, e vendidos com 12, 24 ou 36 exposições.

#### 2.4.5.3. A Resolução Espacial de uma Fotografia

LILLESAND et al. (1987, p. 98) conceitua a resolução espacial como uma expressão da qualidade ótica de uma imagem produzida por um sistema de câmara particular. Informa ainda que a resolução é influenciada por inúmeros parâmetros, como o poder de resolução do filme e das lentes utilizadas para a obtenção da imagem, algum movimento não compensado durante a exposição, condições de processamento do filme, condições atmosféricas existentes no momento da exposição do filme e assim por diante.

Para McKINNEY (1980, p. 312) os elementos quantificáveis mais importantes e mais facilmente obtidos como informação dos fabricantes são a granulação e o poder de resolução do filme. A granulação, na prática classifica o filme de acordo com a impressão do tamanho dos grãos de halogeneto de prata obtido pelo observador, e. g., grão finos, médios ou grossos. A detecção de detalhes pequenos e de baixo contraste é prejudicada pela granulação nos filmes de grãos grossos e proporciona excelente detalhamento quanto mais finos os grãos. Segundo LILLESAND et al. (op. cit., p. 98-99) um dos métodos de estabelecer o poder de resolução de um filme, consiste em fotografar um cartão de teste que apresenta grupos

de três linhas paralelas separadas por espaços iguais e que decrescem sistematicamente de tamanho. O poder de resolução de um filme é o recíproco da distância centro-a-centro (em mm) somente daquelas linhas que são “distinguíveis” na fotografia do cartão de teste quando vista sob um microscópio. Assim, o poder de resolução é expresso em unidades de linha por milímetro.

Existe também uma grande influência da razão de contraste entre as linhas e o fundo do cartão de teste e dessa forma é também grande a influência do contraste entre dois alvos para a resolução. Um filme pancromático pode apresentar para um razão de contraste de 1,6:1 o poder de resolução de 50 linhas/mm, enquanto que para uma taxa de contraste de 1000:1 o mesmo filme pode alcançar o poder de resolução de 100 linhas/mm (id. op. cit., p. 99).

O mesmo autor (op. cit., p. 100) chama a atenção para que o interesse na medição da resolução de sistemas fotográficos ultrapasse a simples determinação da habilidade do sistema em distinguir imagens de objetos pequenos, muito próximos e contíguos, num cartão de teste. O interesse não deveria ser somente na detecção do objeto, mas também no seu reconhecimento e identificação.

LILLESAND et al. (op. cit., p. 100-101) faz uma interessante demonstração da possibilidade de combinação dos efeitos de escala e resolução para exprimir a qualidade da imagem em termos de “distância de resolução no terreno” — ground resolution distance (GRD). Esta distância extrapola o poder de resolução de um filme para uma distância no solo. O GRD é expresso pela fórmula a seguir.

$$\text{GRD (m)} = \frac{\text{módulo da escala da fotografia}}{\text{capacidade de determinação}_{(\text{linhas/mm})} \times 1000 \text{ mm/m}} \quad (10)$$

Onde 1000 é uma unidade de conversão para a obtenção do GRD em metros. Assim, por exemplo, uma fotografia com a escala de 1:50.000 obtida através de um sistema com o poder de resolução de 40 linhas/mm, deverá apresentar a seguinte GRD:

$$\text{GRD} = 50.000 / (40) \times 1000 = 1,25 \text{ m}$$

Para McKINNEY (1980, p. 316) no relacionamento entre velocidade, granulação e resolução, a necessidade por uma melhor definição do alvo fotografado implica necessariamente em granulação mais fina, opondo-se à necessidade por emulsões mais rápidas ou mais sensitivas à radiação, porque esse requisito utiliza grãos de maior tamanho.

#### 2.4.5.4. Acessórios Diversos

A utilização de alguns acessórios, em conjunto com a câmara equipada com lente e filme, proporciona um meio mais adequado e racional de obter as FAPFs com finalidades de mapeamentos temáticos ou topográficos, segundo DISPERATI (1991, p. 104). Para o autor, quanto maior o comprometimento profissional da atividade de recobrimento aéreo, maior deverá ser a disponibilidade de acessórios que facilitem e aperfeiçoem essa tarefa, minimizando os possíveis e eventuais erros que ocorrem mais comumente.

Ainda segundo o autor dois desses acessórios são essenciais e praticamente indispensáveis para a obtenção das FAPFs de forma correta e racional em qualquer tipo de terreno. São eles o motor ou motor-drive e o intervalômetro.

O motor e o motor-drive diferenciam-se em questões de preço, volume, peso e velocidade de disparo do obturador. O segundo permite obter até cinco exposições contínuas por segundo, enquanto o outro permite apenas uma por segundo. Esses motores permitem o acionamento por controle remoto com fio e, em diversas máquinas modernas, o rebobinamento do filme no seu final (id., op. cit., p.105).

O intervalômetro permite, quando acoplado ao motor ou motor-drive, a obtenção de aerofotos sucessivas dentro de um tempo previamente determinado, dessa forma resultando em aerofotos com estereoscopia. Intervalômetros podem ser comprados ou montados. Vários fabricantes de máquinas fotográficas possuem modelos adequados para máquinas que fabricam, entretanto, “... um especialista em eletrônica pode montar facilmente um, para acionar a câmara fotográfica a intervalos maiores que um segundo” (id., op. cit., p.105-106).

#### 2.4.6. O Recobrimento Aerofotográfico

##### 2.4.6.1. Considerações Iniciais Sobre o Planejamento de Vôo

Para DISPERATI (1991, p. 113), é indispensável para um bom planejamento para a execução de um recobrimento aerofotográfico algumas informações básicas, dentre elas destacamos: conhecimento dos objetivos e informações a serem obtidas; a escala requerida; localização, topografia e tamanho da área a ser levantada; conhecimento dos materiais a serem utilizados (câmara, acessórios, aeronave, etc.) e; condições climáticas do local a ser fotografado. No caso de utilização das FAPFs no mapeamento temático de recursos naturais a definição da escala é mais fácil, por não exigir equipamentos de restituição, como acontece nos mapeamentos topográficos. Além disso, as FAPFs serão posteriormente ampliadas para se proceder a análise, aumentando sua escala numa proporção de três a cinco vezes. O tipo de informação associado ao nível de detalhamento que se quer obter é então, nesse caso, o mais

importante para a definição da escala. Vale lembrar também que, de um modo geral no mapeamento temático, a escala do mapa final é igual ao das FAPFs ampliadas (id., op. cit., p. 114).

O conhecimento da posição geográfica e local onde será efetuada a missão fotográfica é fundamental para se obter algumas informações sem as quais não se alguns aspectos que facilitem o planejamento. O número de linhas de vôo e fotografias suficientes para recobrimento de uma determinada área é função de seu tamanho e formato, além, é claro, do tamanho do negativo, assim como a altitude de vôo é função da topografia local e distância focal. Daí a importância de se conhecer igualmente as especificações dos equipamentos e aeronave utilizada. Com relação ao altímetro é bom não esquecer que este marca a altitude de vôo da aeronave e não a altura em relação ao terreno (id., op. cit., p. 115).

#### 2.4.6.2. Desvios e Rotações do Eixo Ótico da Câmara

Conforme DISPERATI (1991, p. 118) a maior parte das dificuldades impostas ao bom desempenho do recobrimento aerofotográfico, provêm de fatores climáticos externos a aeronave, como ventos e alterações de pressão atmosférica, que provocam alterações na rota prevista e mudanças bruscas quanto ao posicionamento do eixo ótico da câmara relativamente àquela que seria considerada ideal.

Para uma melhor compreensão do assunto o autor (op. cit., p. 118-119) propõe uma figura que representa um sistema de eixos cartesianos triortogonais X, Y e Z, onde o ponto de origem coincide com o centro ótico da câmara, o eixo Z coincide com a vertical do local, o plano XY define um plano horizontal e o eixo X a linha de vôo. Para acompanhamento do que se segue ver a Figura 2.

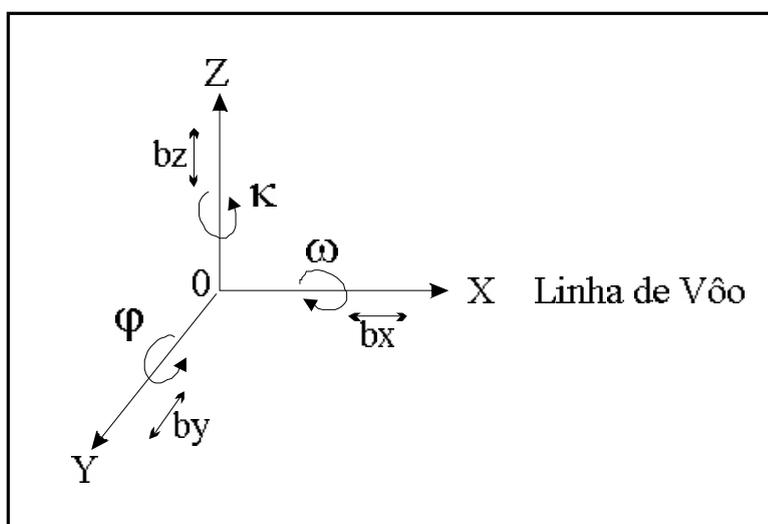


FIGURA 2: Possíveis desvios e rotações que podem ocorrer no eixo ótico da câmara (baseado em DISPERATI, 1991).

Segundo pode ser notado na figura, existe a possibilidade de ocorrerem deslocamentos da câmara no sentido dos desvios  $b_x$ ,  $b_y$  e  $b_z$ , bem como e rotações em torno dos eixos denominadas  $\omega$ ,  $\varphi$  e  $\kappa$ . Estes deslocamentos podem ocorrer durante o recobrimento aerofotográfico em diversas magnitudes e apresentar-se individualmente ou em conjunto em várias possibilidades, a ponto de inviabilizar a missão ou obrigar a renovar o levantamento em outra oportunidade. Dessa forma, os seguintes problemas podem se apresentar (id., op. cit., p. 118-124):

- a) o desvio em  $b_x$  geralmente é ocasionado por ventos de proa ou de popa, que alteram a velocidade do avião e, conseqüentemente, na superposição longitudinal das aerofotos ou base aérea. Esse desvio pode ser sanado com a utilização de um intervalômetro eletrônico acoplado à aeronave e que ajuste o intervalo de tempo entre as exposições de acordo com as alterações na velocidade do avião;
- b) desvios em  $b_y$  ocorrem quando o piloto se desvia para a direita ou esquerda do traçado da linha de vôo, por erro de direção ao entrar no início da linha, ou não-paralelismo com as linhas de vôo anteriores, ocasionando perda ou excesso de recobrimento lateral entre as aerofotos. Pode ocorrer até mesmo perda total deste recobrimento, originando “buracos de vôo”;
- c) deslocamentos em  $b_z$  se dão por diferenças de pressão e/ou ventos que impelem o avião para cima ou para baixo, fazendo-o sair da altura de vôo na qual deveria permanecer. Como conseqüência as escalas das FAPFs ficam alteradas e diferentes daquela prevista no planejamento. O piloto deve prestar a máxima atenção ao altímetro para que não resultem em deslocamentos  $b_z$  muito grandes;
- d) uma instabilidade da aeronave leva o eixo ótico da câmara a se afastar da vertical, o que é representado pelas rotações ao longo dos eixos X e Y, denominadas de  $\omega$  e  $\varphi$ . Para melhor entendimento veja a Figura 3. Na linha de vôo 1 da figura, a aerofoto B possui inclinação em relação ao eixo Y, enquanto a aerofoto A apresenta inclinação em relação ao eixo X. As fotos resultam mais ou menos inclinadas de acordo com o ângulo de rotação da aeronave. DILLEWIJN et al., citado por DISPERATI (op. cit., p. 121-122), informa que “o fotógrafo corrige uma possível inclinação da câmara fotográfica mantendo a bolha do nível esférico da câmara em reparo. Para que o fotógrafo possa corrigir a câmara dos giros  $\kappa$ ,  $\omega$  e  $\varphi$ , a câmara deve ser montada num berço, cujo reparo permita essas correções”;

a existência de vento lateral em relação a aeronave faz com que a mesma se desloque em relação a rota estabelecida para a linha de vôo, sendo que o ângulo formado pela rota prevista e a linha percorrida pela aeronave é denominado “deriva”. Essa situação,

- a) demonstrada na linha de vôo 2 da Figura 3, origina FAPFs com um deslocamento escalonado em  $y$ , podendo chegar a apresentar defeitos de superposição lateral até o aparecimento de “buracos de vôo”. Nesse caso, o piloto e o fotógrafo devem atuar em conjunto para minimizar o efeito do vento, o primeiro manobrando a aeronave de modo que a resultante das forças do avião e da ação do vento coincida com a linha de vôo prevista, o segundo deve corrigir a posição da câmara efetuando um giro em  $\kappa$ .

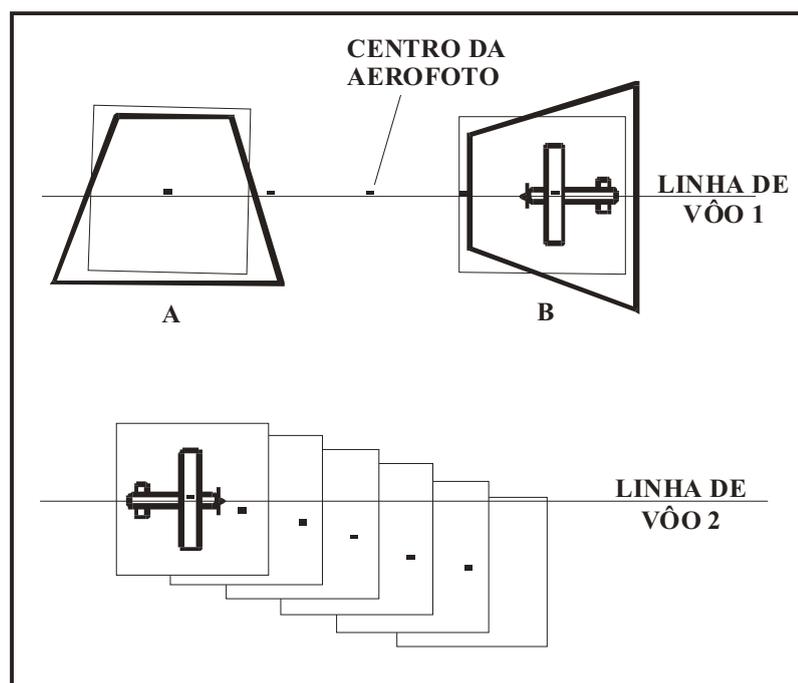


FIGURA 3: Representação gráfica de alguns desvios e rotações do centro ótico da câmara fotográfica em relação à situação de vôo ideal (Baseado em DISPERATI, 1991).

DISPERATI (op. cit., p. 123-124) lembra ainda que mesmo em um recobrimento aerofotogramétrico, apesar de toda a experiência da tripulação e respectivos cuidados na execução, sempre resultam resíduos em  $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$ ,  $\kappa$ ,  $\omega$  e  $\varphi$ . Além disso deverá haver sempre, independente de equipamentos e acessórios utilizados, um excelente entrosamento entre piloto e fotógrafo, para que eventuais erros e falhas que ocorrem rotineiramente neste tipo de trabalho, possam ser minimizados.

#### 2.4.6.3. O Plano de Vôo

A tarefa de recobrimento aerofotográfico, ainda de acordo com DISPERATI (1991, p. 116-117), exige a elaboração de um plano de vôo, no qual deve constar além do traçado de

rotas para se atingir o local da missão e informações meteorológicas das condições de tempo sobre a área, diversas informações técnicas sobre a tarefa a ser executada.

Essas informações técnicas estão, de uma maneira geral, dispostas em um mapa de vôo e um folheto. Os mapas podem ter como base fotografias aéreas ou mapas existentes do local, sobre os quais são traçados os limites da área a ser recoberta, as linhas de vôo e os locais onde cada FAPF deverá ser tomada.

Do folheto constam informações sobre os materiais, equipamentos e procedimentos a serem usados na missão. Alguns exemplos dessas informações são: exigências e tolerâncias técnicas relacionadas com as FAPFs, superposição longitudinal e lateral, deriva e qualidade topográfica, número de linhas de vôo, intervalo de tempo entre as exposições consecutivas, etc.

Uma primeira decisão, no caso das câmaras de 35 mm, é quanto a posição deste tipo de câmara quanto a linha de vôo, pois seu negativo (24 mm x 36 mm) fornece uma foto retangular, podendo ser colocada no sentido longitudinal ou transversal em relação à linha, conforme a Figura 4 (id., op. cit., p. 125).

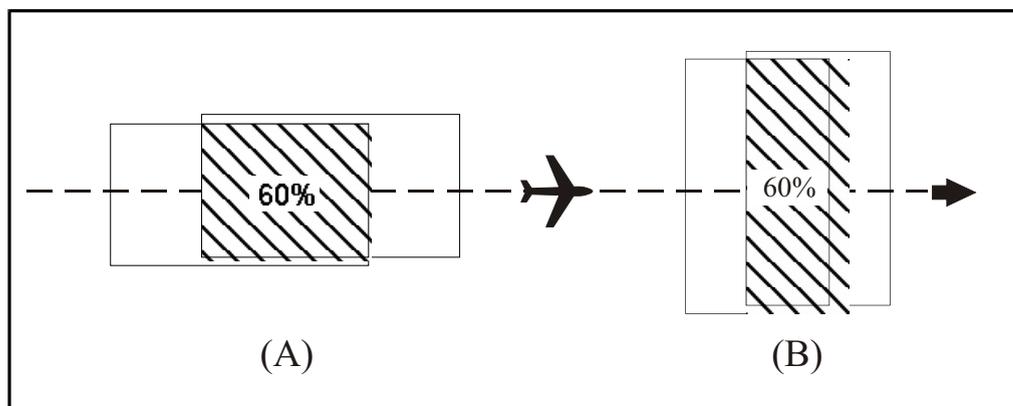


FIGURA 4: Tipos de cobertura ao longo da linha de vôo com câmaras de 35 mm. (A) Posição longitudinal (ou paralela). (B) Posição transversal (ou perpendicular). (Fonte: ZSILINSZKY, 1969, apud DISPERATI, 1991).

Para a missão de recobertura aerofotográfica alguns parâmetros técnicos devem ser conhecidos. A seguir é demonstrada a obtenção de cada um desses dados técnicos.

#### a) Altura de Vôo na Escala Desejada

Uma vez que tenhamos a idéia da escala desejada, a fórmula para se obter a altura de vôo para a obtenção dessa escala no recobrimento aerofotográfico é a seguinte (DISPERATI, 1991, p. 126):

$$H = \frac{f}{E}, \text{ onde} \quad (11)$$

H = altura de vôo

f = distância focal da câmara

E = escala do negativo

#### b) Base Aérea Estereoscópica

A base aérea estereoscópica indica a distância entre duas fotos consecutivas dentro da linha de vôo, de acordo com a superposição longitudinal entre elas. É calculada através da seguinte expressão (DISPERATI, 1991, p. 127):

$$B = 0,40 \times \frac{g}{E}, \text{ onde} \quad (12)$$

g = lado da FAPF em metros

É lembrado pelo autor que no caso da câmara de 35 mm a variável **g** pode assumir tanto o valor de 0,024 como o de 0,036 metros, dependendo da posição da câmara, como já foi visto em 2.2.5.3. Na fórmula acima o valor 0,40 é função de uma superposição longitudinal de 60%, caso se necessite de 70% deve-se usar 0,30.

#### c) Intervalo Entre Linhas de Vôo

O intervalo entre duas linhas de vôo consecutivas é dado pela seguinte expressão (DISPERATI, 1991, p. 127):

$$I = 0,7 \times \frac{g}{E} \quad (13)$$

O valor de 0,7 corresponde a um recobrimento lateral de 30%. Caso seja necessária a utilização de um recobrimento de 40% deve-se utilizar 0,6 na expressão.

#### d) Intervalo de Tempo Entre Duas Exposições Consecutivas

Este intervalo de tempo ocorre em função da velocidade da aeronave em relação ao terreno, da escala da aerofoto, do tamanho do negativo e do recobrimento longitudinal adotado. É dado pela seguinte expressão (DISPERATI, 1991, p. 128):

$$T = \frac{0,40 \times g}{V \times E}, \text{ onde} \quad (14)$$

V = Velocidade da aeronave em metros por segundo

O valor de 0,40 corresponde a uma superposição longitudinal de 60%. Caso seja necessária a utilização de uma superposição de 70% deve-se utilizar 0,30 na expressão.

#### e) Número de Linhas de Vôo

O número de linhas de vôo depende muito do critério utilizado para se estabelecer a direção destas linhas, sendo que no geral se opta pelas direções Norte – Sul ou Leste – Oeste (DISPERATI, 1991, p. 133):

LUGNANI et al., citado por DISPERATI (op. cit.), consideram três fatores para o estabelecimento da direção das linhas de vôo: a forma do local, a disposição do apoio planialtimétrico e natureza da topografia da região. Já SPENCER, citado por DISPERATI, (op. cit.), considera mais um fator além destes, que é a técnica usada para controle da navegação na linha de vôo.

DISPERATI (op. cit.) considera o formato da área como o primeiro fator que define a direção das linhas de vôo. Caso a área tenha formato retangular, o critério é se estabelecer as linhas de vôo paralelas à base maior, diminuindo assim o total de linhas de vôo. Quando o formato é irregular, o critério é aquele que resulte também no menor número de linhas de vôo.

#### f) Quantidade de Filmes

O número total de FAPFs a serem obtidas em vôo aerofotográfico é dado pelo somatório do número de FAPFs em cada linha. Uma aproximação deste número pode ser obtida através da seguinte relação (DISPERATI, 1991, p. 136):

$$N = \frac{S}{s}, \text{ onde} \quad (15)$$

N = número total aproximado de FAPFs

S = área total da superfície do terreno a ser fotografado, em quilômetros quadrados

s = área, em quilômetros quadrados, que uma fotografia aérea recobre, descontados a superposição lateral (e. g. 60%) e longitudinal (e. g. 30%). Desse modo  $s = 0,40 \times 0,70 \times L1 \times L2$ , onde L1 e L2 são os lados da fotografia aérea em quilômetros no terreno (lado da fotografia multiplicado pelo recíproco da escala). Em geral acrescenta-se ao valor resultante de N um fator de segurança de 10% a 20%.

#### 2.4.6.4. O Avião

Embora existam outros tipos de plataforma utilizadas para a obtenção das FAPFs, como os balões, aeromodelos, ultraleves e helicópteros, o avião é considerado por muitos pesquisadores e profissionais como a única opção real para a realização do recobrimento aerofotográfico, quando se trata de áreas extensas a serem recobertas de forma operacional e profissional (DISPERATI, 1991, p. 218).

As vantagens do avião sobre os outros tipos de plataforma são (id., op. cit.):

- a) possibilidade de voar com exatidão em determinada altura de vôo;
- b) vôo mais uniforme e com velocidade rápida e constante;
- c) a estrutura do avião permite diversas opções para a instalação de suporte para a câmara fotográfica;
- d) pode atingir grandes alturas de vôo;
- e) maior capacidade de autonomia de vôo;
- f) maior capacidade operacional para recobrir aerofotograficamente grandes áreas.

Para a obtenção das FAPFs o monomotor de asa alta pode ser mais indicado do que os demais tipos de avião, pois o piloto possui maior visibilidade lateral do terreno. Além disso, por alguns tipos e modelos deles voarem a velocidades baixas, é possível o vôo com a janela aberta ou mesmo sem uma ou duas portas laterais. Por isso diversos tipos de suporte têm sido projetados e desenvolvidos para fixação na janela do avião, permitindo dessa forma a colocação da câmara fotográfica externamente (id., op. cit., p. 220-221).

A maioria dos vôos de recobertura aerofotográfica para a obtenção das FAPFs é feita com o avião voando em alturas inferiores a 3.000 metros acima do solo. Acima desta altura de vôo o avião deve ser equipado com cabina pressurizada, o que não é comum nos aviões monomotores de asa alta (id., op. cit.).

#### 2.4.6.5. O Suporte para o Sistema Fotográfico

De acordo com DISPERATI (1991, p. 168), a principal função dos suportes específicos para as câmaras fotográficas na obtenção das FAPFs é a de reduzir parcialmente os efeitos associados ao avanço e funcionamento da aeronave, como a vibração do motor e os movimentos aleatórios que impedem que a câmara permaneça sempre na posição desejada.

LIVINGSTON, citado por DISPERATI (op. cit., p. 169), fez uma classificação dos diversos tipos de suportes usados para a aquisição de fotografias aéreas, sendo: fixos, ajustáveis, isoladores e as plataformas estabilizadoras.

No caso do suporte fixo a câmara tem uma instalação rígida, numa determinada posição, possuindo no máximo algum tipo de material isolante para atenuar as vibrações do motor e proteger dos choques durante a aterrissagem. É o tipo de suporte mais simples e barato e o que apresenta o menor desempenho (op. cit., p. 169).

O suporte ajustável proporciona a correção do posicionamento da câmara devido a deriva da aeronave e/ou sua inclinação em relação aos eixos X e Y. A correção da deriva é feita através da rotação da câmara enquadrando-a no sentido da linha de vôo. Em muitos dos suportes ajustáveis as correções de deriva e da inclinação do eixo ótico da câmara podem ser feitos manualmente pelo fotógrafo (op. cit.).

Os suportes isoladores são mais sofisticados que os dois anteriores, pois além de propiciar os ajustes já mencionados, protegem a câmara de movimentos bruscos e/ou impactos ocorridos durante o vôo ou na aterrissagem, da vibração do motor e conseqüentemente de toda a estrutura da aeronave (op. cit., p. 170).

O tipo de suporte chamado de plataforma estabilizadora é o mais sofisticado de todos, sendo usado para as câmara fotogramétricas. Entretanto é possível montar câmaras de pequeno formato neste suporte (op. cit.).

DISPERATI (op. cit.) informa por fim que “a utilização de um tipo específico de suporte na aeronave é função básica do nível de exatidão desejada no aero recobrimento” e que “... na obtenção de FAPFs para a finalidade temática, pode-se utilizar os suportes mais simples”.

#### a) Tipos de Suporte para o Sistema Fotográfico

DISPERATI (op. cit., p. 225) apresenta também uma classificação segundo os tipos e locais de instalação do suporte no avião, apresentada na Figura 5.

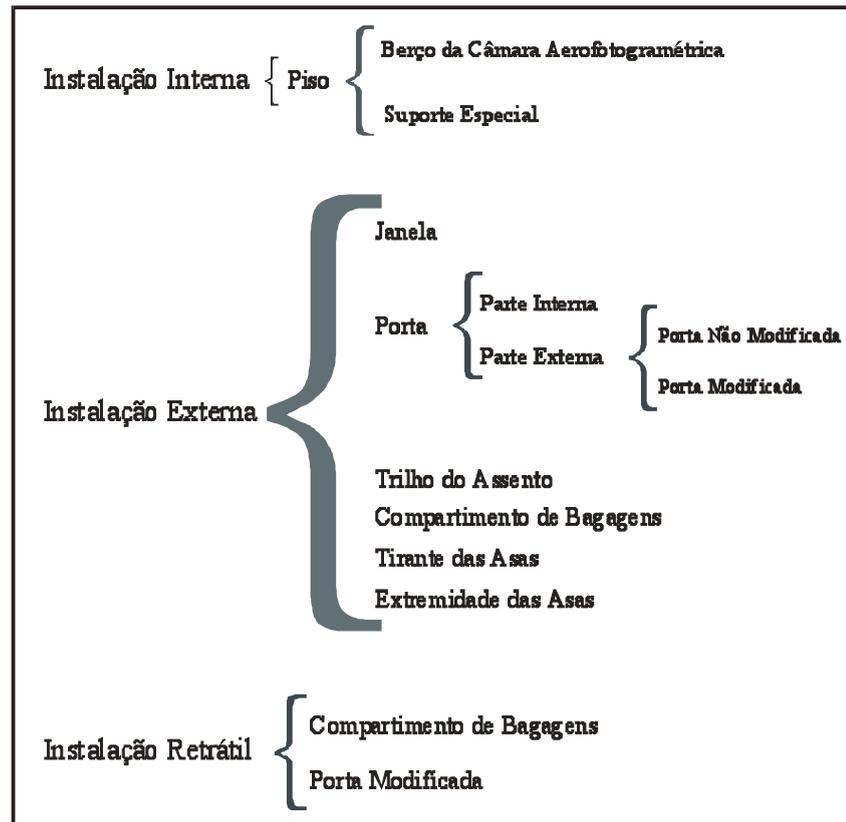


FIGURA 5: Tipos e locais de instalação do suporte ao sistema fotográfico em um avião (Fonte: DISPERATI, 1991).0

#### b) A Instalação Externa do Suporte

É um tipo de suporte utilizado por pessoas e instituições envolvidas não rotineiramente com a tarefa de recobrimento aerofotográfico. A utilização de suporte internamente ao avião é mais adequada para aqueles que exercem atividade profissional diretamente ligada à aerofotografia de áreas (DISPERATI, 1991, p. 231).

Uma das principais vantagens da utilização do suporte externamente é a ampliação da faixa de utilização de pequenos aviões monomotores de asa alta, podendo quase todos os tipos serem usados sem que haja necessidade de modificações na aeronave.

Outras vantagens viriam do menor custo de aquisição ou aluguel de uma aeronave para realização dos trabalhos de recobrimento e da não necessidade da manutenção de uma equipe especializada para a realização das tarefas, bastando um fotógrafo (em geral com conhecimento profundo de FAPFs) e um piloto que pode ser treinado rapidamente para a realização dos vôos de forma adequada (id., op. cit.).

Este tipo de instalação apresenta no entanto algumas desvantagens, como a limitação dos tipos de aviões disponíveis para a tarefa de recobrimento aerofotográfico, a impossibilidade da observação direta para correção de possíveis derivas do avião e o fato do vôo ser geralmente realizado com a janela aberta ou sem uma porta, o que além de causar

desconforto aumenta o ruído interno impedindo a comunicação e prejudicando o desempenho do avião (id., op. cit., p. 232).

#### c) A Instalação na Janela do Avião

Quando se é possível abrir a janela do avião durante o vôo, existe também a possibilidade de se adaptar um suporte fixado na porta do avião. Deve-se tomar cuidado nesse caso para que a câmara fique afasta alguns centímetros da porta, de forma que a fuselagem lateral não seja fotografada. O mesmo cuidado deve se ter com o trem de pouso (DISPERATI, 1991, p. 234).

De acordo com o tipo de avião asa alta poderá ocorrer dois tipos de janela: corrediças ou “maxi ar”. Quando a janela é corrediça, como no caso do “Paulistinha”, existe pouco espaço disponível para a colocação de um suporte, ao contrário da janela do tipo “maxi ar”, existente, por exemplo, no Cessna 172 (id., 1991).

Historicamente é difícil mencionar qual foi o pioneiro na utilização deste tipo de suporte, entretanto DISPERATI (1992, p. 148) cita WILLINGHAM como tendo descrito em 1959 um suporte de câmara fotográfica 35 mm para ser instalada na janela de um avião de asa alta.

SCHURHOLZ, citado por DISPERATI (1991, p. 235), expressou as vantagens desse tipo de suporte através das seguintes considerações: o baixo custo do aluguel do avião de asa alta no qual o suporte pode ser instalado; o baixo custo do material necessário para a construção do mesmo; o uso universal desta técnica em qualquer tipo de avião pequeno de asa alta; disponibilidade de alugar um avião de asa alta, pela facilidade de ser encontrado em qualquer lugar, e; a facilidade de manuseio do suporte e da(s) câmara(s).

DISPERATI (1991, p. 235-236) cita um exemplo deste tipo de suporte, conhecido como “Montana System” e descrito por MEYER & GRUMSTRUP. Tendo como material básico a madeira, possuía quatro partes distintas: unidade de fixação, unidade de nivelamento, unidade móvel e unidade de visualização.

McCARTHY et al. (1982) em seu trabalho sobre a avaliação de uma floresta de abeto-vermelho usando FAPFs, utilizou um suporte de fixação na janela modificado a partir do “Montana”.

PERNÍÁ et al. (1994) apresenta uma outra variação do suporte de MEYER, desenhada para câmaras de 70 mm. Seus elementos mais importantes são os seguintes: uma plataforma com suporte para a fixação da câmara, um mecanismo de fixação do suporte à porta (parte inferior da janela), um mecanismo de nivelamento, elementos anti-vibratórios e defletores de vento.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### 3.1. Materiais Empregados

##### 3.1.1. Materiais Utilizados para a Obtenção das Aerofotos e para o Trabalho de Campo

A seguinte relação compreende os materiais utilizados para a obtenção das aerofotos e para o trabalho de campo:

- a) Suporte para o sistema fotográfico (também denominado Suporte Verticalizador de Aerofotos e descrito mais pormenorizadamente na seção 3.1.3.);
- b) Máquina fotográfica marca Canon EOS-5000;
- c) Objetiva de 50 mm, marca Canon;
- d) Controle remoto eletrônico para a máquina fotográfica, marca Canon, Mod. RS60-E3;
- e) Altímetro, marca Gischar;
- f) Estereoscópio de bolso, marca Opto, Mod.EB1;
- g) Aparelho de sistema de posicionamento global (GPS) de navegação autônomo e levantamento expedito, marca Garmin, Mod. 45-XL;
- h) Cabo extensor para a antena do GPS, marca Commscope Network, tipo CL2;
- i) Intervalômetro digital (descrito mais pormenorizadamente na seção 3.1.5.);
- j) Aeronave CESSNA 305/AOP;
- k) Cartas Topográficas (escala de 1:50.000, folhas SH.22-Y-B-III-4 - Itapuã e SH.22-Y-B-III-2 - Porto Alegre).

##### 3.1.2. Materiais Utilizados para o Processamento de Dados

Os itens seguintes apresentam uma relação dos materiais utilizados para o processamento digital das aerofotos e obtenção dos produtos finais.

#### 3.1.2.1. Hardware

- a) Computador com CPU dotada de um processador Pentium 133 MHz, 64 Mb de memória RAM, dois discos rígidos de 3.2 Gb, 2 Mb de memória de vídeo, drive de 1.4 Mb e drive de CD-ROM;
- b) Monitor colorido SVGA, marca ADD;
- c) Zip Drive de 100 Mb, marca Iomega;
- d) Scanner de mesa, marca Artec, modelo ViewStation AT3;
- e) Impressora matricial, marca Citizen, modelo GSX-190;
- f) Impressora jato de tinta, marca Canon, modelo BJC-4100.

#### 3.1.2.2. Software

- a) Software de sistema operacional Windows 95;
- b) Software de manipulação fotográfica, Aldus PhotoStyler, versão 2.0;
- c) Software de desenho gráfico, CorelDRAW, versão 7.373;
- d) Software de geoprocessamento, Idrisi for Windows, versão 2.002;
- e) Software de planilha eletrônica, Microsoft Excel 97;
- f) Software de processamento de texto, Microsoft Word 97;

#### 3.1.3. O Suporte para o Sistema Fotográfico

Não havendo encontrado em literatura ou obtido informações sobre um tipo de suporte que, como este, realizasse a correção em tempo real, é proposta a denominação de Suporte Verticalizador de Aerofotos, doravante denominado SVA. A Figura 6 mostra o SVA com suas partes componentes abaixo descritas.

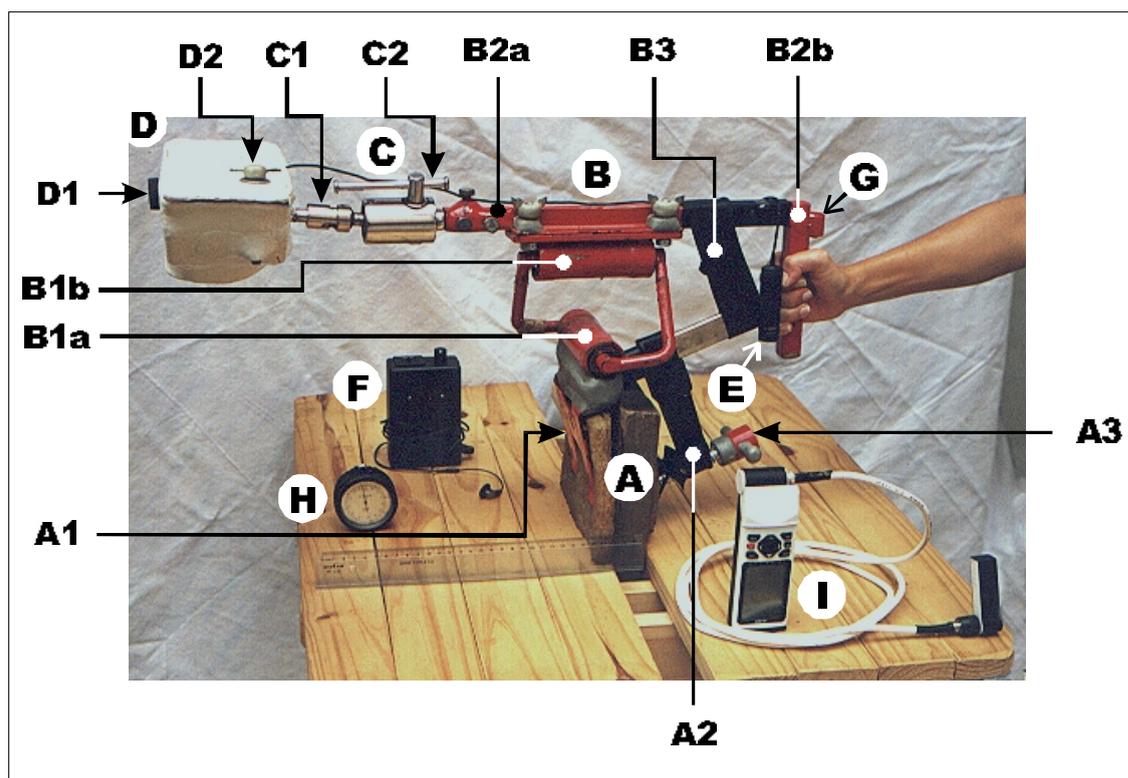


FIGURA 6: Reprodução fotográfica do SVA, esquematizando seus componentes principais, subcomponentes e acessórios. Na figura estão incluídos o altímetro (H) e o GPS (I) com a antena receptora montada no cabo.

O SVA possui aproximadamente 660 mm de comprimento, 240 mm de largura e 390 mm de altura, pesando cerca de 6,5 quilos, com o equipamento fotográfico. Suas partes compõem-se basicamente de (ver Figura 6): um mecanismo de fixação (A); mecanismo de nivelamento (B); mecanismo de ajuste vertical (C); e mecanismo de suporte do sistema fotográfico (D). Além disso possui três acessórios indispensáveis: disparador remoto da câmera (E), intervalômetro (F) e bolha de nível (G).

#### 3.1.3.1. Mecanismo de Fixação

É a parte do SVA que prende todo o conjunto à janela do avião. Esse mecanismo se compõe de uma parte fixa, exterior à janela da aeronave (A1), e uma parte móvel que corre por uma haste de metal (A2) em direção à parte interior da janela, o que permite adaptar-se a qualquer espessura de acordo com o modelo da aeronave. A fixação é proporcionada por um torniquete (A3) cuja ponta gira em falso sobre a base e que entra em contato com o interior da janela, ao mesmo tempo que força a haste de correr para cima, impedindo o retorno.

### 3.1.3.2. Mecanismo de Nivelamento

Este mecanismo se constitui de duas partes: uma fixa (B1) e uma removível (B2). A parte fixa começa logo acima do Mecanismo de Fixação. Essa parte foi construída a partir de dois canos de alumínio (B1a e B1b), sendo que na extremidade de cada um deles foi fixado um rolamento. Esses canos estão ligados entre si por duas hastes de metal. O cano superior (B1b) suporta uma pequena plataforma que recebe a parte removível (B2) e que nela é presa por meio de dois parafusos fixos.

A parte removível possui um formato em “L”, sendo que numa das extremidades do cano de maior comprimento (B2a), existem três parafusos que fixam o mecanismo de ajuste vertical e no outro extremo, um encaixe para fixação do nível de bolha. O cano de menor comprimento (B2b) serve como empunhadura para o manejo do mecanismo de nivelamento.

Um pedaço de borracha (B3), devidamente dimensionado, liga a haste de metal do mecanismo de fixação ao cano B2a. Essa borracha cumpre o efeito de uma mola, aliviando o peso do aparelho na empunhadura (B2b).

### 3.1.3.3. Mecanismo de Ajuste Vertical

Basicamente, constitui-se de um cano de ferro de seção quadrada, na extremidade do qual foi soldada uma peça cilíndrica em metal cromado. Essa peça possui um pino (C1) preso a uma esfera de aço que permite giros completos e deslocamentos para qualquer lado. Na peça existe ainda um torniquete que trava ou destrava o deslocamento da esfera (C2) após realizado o ajuste vertical, conforme descrito em seção mais adiante.

### 3.1.3.4. Mecanismo de Suporte do Sistema Fotográfico

É a parte envolvente à câmara fotográfica, protegendo seus mecanismos e acessórios, da ação danosa do forte deslocamento do ar. Um parafuso lateral (D1) prende a câmara fotográfica ao mecanismo de suporte. A tampa de fechamento desse mecanismo possui também um parafuso (D2), para que possa ser presa com firmeza.

### 3.1.4. Controle Remoto da Câmara

O controle remoto da câmara (E) tem a função de acionar o disparo da câmara de dentro da cabina do avião. Sai do mecanismo de suporte do sistema fotográfico através de um orifício próprio e segue por sobre o mecanismo de nivelamento até próximo da empunhadura.

### 3.1.5. Intervalômetro

O intervalômetro (F) foi construído com a contribuição de um técnico em eletrônica que desenvolveu um esquema de marcação de tempo em segundos que emite um aviso sonoro a intervalos de tempo previamente marcados no aparelho. Um visor digital permite acompanhar a contagem do número de avisos sonoros e assim estabelecer o número de aerofotos tiradas até aquele momento, sem precisar consultar o visor da câmara.

Um botão de “reset” possibilita zerar o mostrador digital, reiniciando a contagem de avisos sonoros. Os avisos emitidos são ouvidos por intermédio de um fone de ouvido.

O esquema eletrônico do intervalômetro pode ser visto no Anexo 1.

### 3.1.6. Bolha de Nível

Acoplado no mecanismo de nivelamento, na parte correspondente à manopla, existe um local para encaixe de um nível de bolha de precisão (G) do tipo cantoneira. Uma presilha própria e parafusos, facilitam a sua retirada durante o transporte do aparelho e permitem a sua recolocação no mesmo local sem que ocorram deslocamentos.

## 3.2. Metodologia

### 3.2.1. Obtenção do Plano de Vôo

#### 3.2.1.1. Rasterização da Carta Topográfica Básica

Como poderá ser constatado adiante, as cartas topográficas do Exército ou do IBGE na escala 1:50.000, possibilitam uma utilização bastante adequada para o planejamento do vôo, uma vez rasterizadas e referenciadas geograficamente em um software de geoprocessamento.

A área das cartas Porto Alegre e Itapuã, que continham os limites da REBIO Lami, a ser recoberto pelo levantamento aéreo, passaram pelo processo de rasterização através de um scanner. Como o sítio encontrava-se em parcialmente nas duas cartas, rasterizaram-se as partes de interesse nelas e, posteriormente, fez-se a junção destas partes num software de tratamento fotográfico

Após importado para um SIG a carta digitalizada sofreu um processo de georreferenciamento através de pontos de amostragem. Nesse caso o processo é muito simples e rápido, uma vez que utiliza-se as interseções das linhas de coordenada UTM como pontos de

amostragem. Portanto, lê-se na própria tela do programa de SIG o valor da coordenada x e y e na carta o valor da coordenada UTM, anotando-os para a formação do arquivo de correspondência necessário ao georreferenciamento.

A função de mapeamento do SIG corrige qualquer distorção que ocorra na fase de digitalização da carta. Aqui foi utilizada uma função linear simples, ou polinômio de primeira ordem, dada a disposição dos pontos de amostragem, que assume a forma de grade. A reamostragem utilizada foi a do vizinho mais próximo, pois não era necessário um resultado de grande qualidade estética, além do processamento ser mais rápido.

Quanto ao número de linhas e colunas da nova imagem foi mantido um número próximo ao da imagem original, e portanto, mantendo-se a mesma resolução e tamanho de pixels.

#### 3.2.1.2. Forma Geométrica das Áreas de Aerolevantamento

Uma vez que o levantamento é realizado com linhas de vôo paralelas, equidistantes e, na maior parte das vezes, de mesma dimensão, a forma geométrica que mais apropriadamente envolve a área a ser recoberta pelo levantamento aerofotográfico é o retângulo, tendo sido aqui adotada para o planejamento.

Estando o mapa geograficamente referenciado, é possível com a passagem do mouse sobre a superfície da carta ler a localização de qualquer ponto através da coordenada UTM. Criou-se então no SIG um arquivo vetorial poligonal, correspondendo a um retângulo, envolvendo a área a ser recoberta. Não é necessária uma grande precisão na disposição dos ângulos retos do retângulo, deve-se traça-lo o mais perfeitamente possível, proporcionando uma melhor precisão na alocação das linhas em relação a área.

#### 3.2.1.3. Marcação da Área de Levantamento Retangular

Após enquadrar a área do levantamento em uma poligonal retangular, decidiu-se sobre qual dos dois lados maiores do retângulo se iniciaria o levantamento, ou seja, sobre qual lado localizar-se-ia a linha inicial, chamada de Linha A.

Cada linha compunha-se de dois pontos, um em cada extremidade: o ponto de entrada da linha e o ponto de chegada. No caso da linha A eles são os pontos 1 e 2, respectivamente. Portanto, decidiu-se também qual o ponto de entrada ou ponto 1, localizado sobre um dos ângulos retos. No Anexo 2 é mostrado de forma mais clara a marcação da área de levantamento. Nesse exemplo, a linha inicial de vôo não está delimitada, mas segue pelo lado maior do retângulo.

A disposição dos pontos iniciais, ou de entrada, e finais, ou de saída, das linhas de vôo. Eles seguiram um ordenamento que poderíamos dizer em “zig-zag”, onde o ponto que se segue ao de saída de uma determinada linha é o ponto de entrada da próxima linha a ser percorrida.

Essas idas e vindas da aeronave sobre a área permitem uma maior economicidade financeira e melhor desempenho de operador e piloto do que manter os pontos de entrada sempre pelo mesmo lado da área, ou retângulo envolvente, caso em que a aeronave teria que fazer vários retornos após percorrida cada linha.

Para melhor descrição destes pontos foi adotada a fórmula de denominação em uma letra e um número para cada ponto. A letra designa a linha e o número o ponto. Assim, a primeira linha é dita “A” e seus pontos de entrada e saída “A1” e “A2”, respectivamente. A Figura 7 exemplifica estas disposições.

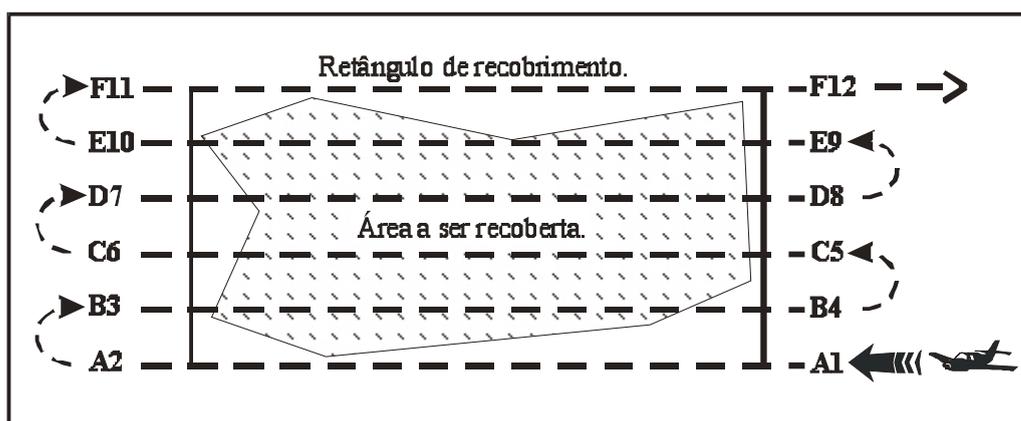


FIGURA 7: Disposição das linhas de vôo e sua forma de ordenamento por letras e números.

#### 3.2.1.4. Escala dos Negativos e das Aerofotos

A escala a ser obtida nos negativos das aerofotos foi calculada com a aplicação da seguinte fórmula:

$$\frac{1}{E} = \frac{d}{D} \quad (16)$$

onde:

E = módulo da escala;

d = distância na carta;

D = distância real no campo.

A eleição da escala 1:24.000 como sendo a do negativo deu-se em função da escolha prévia da escala a ser obtida na aerofoto, que foi de 1:6.000. A definição da escala da aerofoto, por sua vez, foi decidida após vários cálculos experimentais, que consideraram a obtenção de uma alta resolução condicionada a um baixo número de aerofotos e linhas de vôo para recobrimento da área, embora com a utilização de superposições longitudinais e laterais dimensionadas acima do normal para uma região plana. Esse superdimensionamento visava prevenir eventuais erros da inexperiência do piloto na metodologia, que poderiam ocasionar “buracos de vôo”.

Em termos comerciais considera-se que o negativo sofre uma ampliação de 4 vezes o tamanho da fotografia, através de sua projeção sobre o papel fotográfico. Para esse método, fizemos a medição entre 40 fotografias e seus correspondentes negativos (160 medições considerando os dois sentidos em uma e outra) e a média aritmética dos resultados foi algo em torno de 4,5 vezes de ampliação, e esse é o fator que estamos utilizando para o cálculo da escala da fotografia.

Assim, a escala real considerada para utilização nos trabalhos foi de aproximadamente 1:5.333.

#### 3.2.1.5. Altura e Altitude de Vôo

Uma vez estabelecida a escala do negativo e aplicada na fórmula (11), considerando-se ainda uma distância focal de 50 mm, obteve-se que a altura de vôo deveria ser de 1.200 metros ou 3.937 pés. Como a altitude local era muito próxima de zero a altitude de vôo foi mantida a mesma que a altura encontrada.

#### 3.2.1.6. Base Aérea Estereoscópica

Para o cálculo deste parâmetro através da fórmula (12), consideramos uma superposição longitudinal de 70%, de forma a garantir a não ocorrência de qualquer falha de sobreposição. De acordo com o modelo de máquina utilizado e a disposição que esta ocupava no SVA o tamanho do lado do negativo paralelo à linha de vôo era o de 36 mm.

#### 3.2.1.7. Intervalo Entre Linhas de Vôo

Em acordo com a fórmula (13), o lado transversal utilizado no cálculo foi de 24 mm, devido as disposições já comentadas no item anterior. A superposição lateral escolhida foi de 40%, tendo em vista as possibilidades de deriva e erro de 100 metros do GPS.

### 3.2.1.8. Intervalo de Tempo Entre Duas Exposições

O intervalo de tempo necessário, obtido através da fórmula (14) foi de dez segundos, sendo esse, portanto, o ajuste de tempo realizado no intervalômetro. Esse cálculo considerou uma velocidade de cruzeiro de 130 quilômetros por hora.

### 3.2.1.9. Cálculo das Laterais das Áreas

Para prosseguir nos cálculos relativos ao Plano de Vôo, utilizando a carta topográfica rasterizada e georreferenciada, e obter parâmetros como a área superficial do terreno, a possibilidade de plotagem das linhas de vôo e a obtenção das coordenadas de seus pontos de entrada e saída, foram utilizadas as relações métricas do triângulo retângulo, aplicadas aos dados de coordenadas lidas diretamente do arquivo vetorial sobreposto ao raster, na carta georreferenciada.

As relações utilizadas foram as seguintes:

$$a^2 = b^2 + c^2 \quad (17)$$

onde:

a = distância entre dois pontos;

b = diferença entre as coordenadas de tela “x” (entre linhas) ou “y” (entre colunas);

c = diferença entre as coordenadas de tela “x” (entre colunas) ou “y” (entre linhas).

$$\text{SEN } \hat{B} = b/a \Rightarrow b = \text{SEN } \hat{B} * a \quad (18)$$

$$\text{COS } \hat{B} = c/a \Rightarrow c = \text{COS } \hat{B} * a \quad (19)$$

A figura 8 demonstra como essas relações puderam ser aplicadas para a realização destes cálculos.

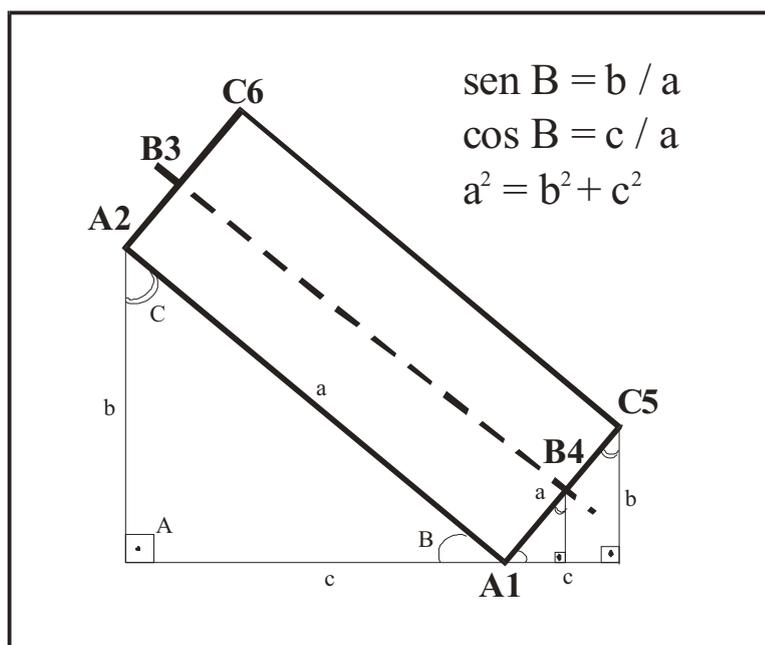


FIGURA 8: Esquema e as relações trigonométricas e métricas utilizadas para o cálculo de laterais, área do retângulo e plotagem de coordenadas dos pontos de entrada e saída das linhas. A denominação de A1 à C6 representa os pontos de entrada e saída das linhas de vôo, sendo que as letras designam as linhas e os números os pontos.

A aplicação do Teorema de Pitágoras (17) permitiu a obtenção do tamanho das laterais do retângulo envolvente. É desnecessário o cálculo dos quatro lados, bastando um lado maior e um menor, considerando-se o traçado do vetor sobre a área como uma figura geométrica regular. O valor do cateto “c” do triângulo é a diferença entre as coordenadas “E” em metros e o valor de “b”, a diferença entre as coordenadas “N”.

A relação de senos (18) e cosenos (19) do ângulo “B”, permite, a partir do cálculo do valor deste ângulo, obter o valor das coordenadas dos pontos de entrada e saída das linhas de vôo, bastando multiplicar o valor do seno ou coseno por “a”, que no caso é o valor já calculado do intervalo entre linhas de vôo (seção 3.2.1.7).

No momento em que os valores de “B” assumem os ângulos de zero ou 90 graus, é desnecessária a utilização das relações acima citadas, bastando ler as distâncias e coordenadas diretamente a partir da tela do computador no SIG.

No caso do plano de vôo da REBIO Lami, o valor do ângulo “B” foi de 90°.

#### 3.2.1.10. Número de Aerofotos Necessárias nas Linhas de Vôo

O número de fotos necessárias em cada linha é obtido pela divisão do comprimento do lado maior do retângulo (considerado como linha de vôo inicial) pela base estereoscópica.

Como essa divisão indica apenas o número de aerobases que são possíveis de caber no comprimento da linha e considerando que cada início e fim da base estereoscópica é na verdade o centro de uma aerofoto, é então adicionada uma aerofoto a mais, ao final do cálculo, para que seja encontrado o número correto. Por fim, como não se pode trabalhar com aerofotos fragmentadas, o número é arredondado para cima.

Ainda com relação às linhas de vôo, estas sofreram uma adaptação em função da obtenção de aerofotos desnecessárias. No caso do levantamento da REBIO Lami (ver Anexo 4) as duas últimas linhas de vôo obtinham várias aerofotos sobre a área do Lago Guaíba. Suas correções de comprimento foram realizadas pela supressão do número de aerofotos numa determinada linha considerando o valor da base estereoscópica em metros.

Para auxiliar a decisão utilizou-se a carta topográfica digitalizada e georreferenciada no software de geoprocessamento. Primeiramente decidiu-se onde seriam localizados os novos pontos de entrada ou saída sobre a linha e de quanto seria o novo comprimento da linha, através da distância calculada com o auxílio das coordenadas UTM. De posse do valor da base estereoscópica calculou-se quantas fotos seriam necessárias para cobrir essa linha, deixando sempre uma margem de segurança de pelo menos uma foto.

#### 3.2.1.11. Número de Linhas de Vôo Necessárias

O número de linhas necessárias para o recobrimento da área, parte do mesmo princípio que o parâmetro anterior, considerando agora o lado menor do retângulo e o intervalo entre as linhas de vôo, acrescida de mais uma linha, e arredondado para cima.

#### 3.2.1.12. Número de Fotografias

Foi obtido simplesmente multiplicando-se o número de aerofotos por linha pelo número de linhas.

#### 3.2.2. Marcação das Linhas de Vôo Sobre a Carta Digital

Uma vez obtidas as coordenadas dos pontos de entrada e saída das linhas de vôo necessárias ao recobrimento da área, marcaram-se estas linhas sobre carta georreferenciada, de forma a verificar se suas disposições atendem aos objetivos propostos para o levantamento fotográfico.

Cada linha foi marcada por meio das coordenadas de seus pontos de entrada e saída, através de arquivo vetorial de linhas e auxílio do mouse, sobre a imagem da carta e o arquivo vetorial poligonal da área.

O Anexo 3 traz as mesmas áreas mostradas como exemplo no Anexo 2, agora com as linhas marcadas sobre o arquivo vetorial retangular que envolve a área a ser recoberta.

### 3.2.3. Preparação do GPS para um Levantamento Aéreo

Após a obtenção das coordenadas dos pontos de entrada e saída das linhas de vôo, foi preparado o GPS para a realização do levantamento.

Foram registradas as coordenadas dos pontos de entrada e saída de cada linha no modo “waypoint”. Esses registros foram incluídos de acordo com a ordem de caminhamento, ou seja, A1, A2, B3, B4, C5, e assim por diante. O nome de cada ponto foi representado pelo sistema de letra e número, descrito no item 3.2.1.3. Posteriormente esses pontos foram lançados no registro de trajetórias, de forma que a navegação pudesse dar-se na seqüência desejada.

Para o ajuste de navegação o formato de posição utilizado foi o UTM (Universal Transversa de Mercator), sob cujo formato foram registradas as coordenadas. Com relação ao datum, foi ajustado para que fosse o mesmo da carta utilizada para a extração das coordenadas do retângulo envolvente.

No campo de definição de escala do indicador de desvio de curso (CDI) foi indicada a menor extensão possível de forma a obter uma maior precisão quanto a desvios de rota durante a navegação sobre as linhas de vôo. A unidade de medida foi a métrica.

Como tratava-se de coordenadas do tipo UTM cujos cálculos foram baseados em pontos fixos na carta de acordo com uma grade que não varia com a declinação magnética polar, foi preciso ajustar a informação de rumo para o norte magnético definido pelo usuário, e definir o grau de variação como sendo de zero graus.

### 3.2.4. Preparação do Suporte Verticalizador de Aerofotos

Foi necessário um acerto do mecanismo de ajuste vertical, de forma a garantir a verticalidade da fotografia quando a bolha estivesse em nível.

Por verticalidade da fotografia aérea entende-se, em teoria, um eixo imaginário, que passando de forma sobreposta e perfeitamente paralela ao eixo ótico de uma câmara fotográfica, e prolongado até o objeto a ser fotografado, forme com o plano deste um ângulo de 90°. Na verdade isso seria uma fotografia ortogonal em qualquer sentido, porém, em se tratando de

fotografias aéreas dizemos vertical, pois o solo, abaixo da aeronave, é o objeto e o objetivo a ser fotografado, estando pois o eixo teórico mencionado, nesta posição.

A forma encontrada para tornar parcialmente real a existência do eixo imaginário foi através da figura do fio de prumo, tornado vertical pela força da gravidade.

Dois operadores foram necessários para o acerto do mecanismo de ajuste vertical, enquanto um deles fez o acerto, conforme explicado adiante, o outro teve a função de manter a bolha de nível na posição o mais nivelada possível.

Um disco em papelão grosso, feito com a utilização de um compasso, foi encaixado nas bordas da parte interna da lente, no local de rosqueamento do filtro. Havia no centro desse disco uma linha, de comprimento suficiente para quase tocar o solo, tendo numa das pontas um pequeno peso.

Marcou-se o exato local onde o peso do fio de prumo quase tocava o solo e se procedeu a uma avaliação, procurando saber se o eixo ótico da lente coincidia ou não com o local marcado no solo. Isso era realizado olhando-se pelo visor da câmara e verificando se o quadrante de focagem estava perfeitamente centralizado com o local de marcação ou apontado para outro lugar.

Em geral nas primeiras tentativas o quadrante de focagem não estava alinhado com a marcação. Utilizava-se neste ponto o mecanismo de ajuste vertical. Olhando pelo visor da câmara ajustava-se o mecanismo de suporte, levando-o até uma posição em que o local de marcação estivesse localizado bem no centro do quadrante de focagem.

Após haver localizado adequadamente o objeto de marcação no centro do quadrante de focagem, apertava-se o torniquete do mecanismo de ajuste, prendendo-o naquela posição, sendo considerada como muito próxima da verticalidade do eixo ótico.

### 3.2.5. Correções de Giros e Desvios da Aeronave

A introdução do SVA e do GPS na missão de recobrimento fotográfico foi a utilizar esses acessórios como meios de corrigir aquelas variações que normalmente ocorrem com aeronaves leves, como os monomotores de asa alta e que, ao final, prejudicam a ortogonalidade das aerofotos em relação ao plano médio do solo.

Para melhor entendimento desta necessidade, deve-se reportar ao capítulo referente à Revisão Bibliográfica na parte concernente à seção 2.4.6.2., com atenção especial à Figura 2, cuja simbologia de desvios e rotações do eixo ótico da câmara, como consequência das variações da aeronave, serão aqui consideradas.

#### 3.2.5.1. Os Desvios em “bx”

Durante a ida ao local de recobrimento e próximo ao local, o piloto pode sentir a intensidade e direção do vento. Se este for bastante forte de forma a sobrepujar a eficiência de controle da aeronave, considera-se a reprogramação do intervalômetro. Para isso, é necessário fazer o reconhecimento do local percorrendo duas das linhas — planejadas em direções opostas — e recalcular, aproximadamente, com base na ação dos ventos de proa ou de cauda na velocidade do avião, um aumento ou diminuição do tempo de exposição entre as aerofotos nas linhas, reprogramando o intervalômetro.

No caso de ventos fracos a moderados, pode-se utilizar a reserva de potência do motor para vencer os ventos de proa e diminuir a potência nos ventos de cauda, proporcionando em termos aproximados uma velocidade constante, controlada pelo piloto.

#### 3.2.5.2. Os Desvios em “by”

As variações em “by”, ocasionadas por correções de pilotagem ou ventos laterais à aeronave, são corrigidas pelo GPS. Nesse caso ocorre um deslocamento lateral do avião, fazendo-o sair do alinhamento adequado entre os pontos de entrada e saída da linha.

O GPS, navegando de acordo com a coordenada do ponto de saída, leva a aeronave a se deslocar sem grandes desvios ao longo da linha de vôo, uma vez que haja atingido e ultrapassado a coordenada do ponto de entrada. Sua limitação é o erro SA — Selective Availability — que pode chegar a algo em torno de 100 metros. Daí nossa opção por um recobrimento lateral de 40% num terreno plano.

#### 3.2.5.3. Os Desvios em “bz”

A variação em “bz” se dá mais comumente pela ação de bolsões de ar, de temperaturas maiores ou menores, na trajetória do avião, ou correntes de ar ascendentes e descendentes. Isso ocasiona mudanças bruscas de altitude, mormente em aeronaves leves. O controle se faz a partir da atenção do piloto voltada para o altímetro, corrigindo o máximo possível as variações.

#### 3.2.5.4. Os Giros em “ $\omega$ ” e “ $\varphi$ ”

Os giros em torno dos eixos “x” e “y”, correspondentes às letras gregas “ $\omega$ ” (Ômega) e “ $\varphi$ ” (Fi), são normalmente aqueles resultantes das correções de “by” e “bz” a serem efetuadas pelo piloto da aeronave. Ou seja, ao variar em “by”, por indicação do GPS, ele corrige

fazendo uma pequeníssima “curva”, inclinando por conseqüência as asas à direita ou esquerda, provocando o giro em “ $\omega$ ”. Por outro lado as variações de altitude “bz” provocam reações de “subida” e “descida” por parte do piloto, por indicação do altímetro, provocando o giro em “ $\phi$ ”.

Essas são as variações previstas para serem corrigidas pelo SVA. Seu mecanismo de nivelamento comporta reações a estes dois tipos de giros como resposta às reações do piloto/aeronave, por indicação das variações na bolha de nível.

#### 3.2.5.5. Os Giros em “ $\kappa$ ”

Uma variação muito comum é o giro em torno do eixo “z”, representado pela letra grega “ $\kappa$ ” (Capa). Ela é resultante, entre outras coisas, da correção de desvios em “by”, sendo a sensibilidade do piloto no controle da aeronave que informa a ocorrência do giro.

Geralmente na influência de forte vento lateral e havendo a necessidade da aeronave percorrer uma linha reta entre dois pontos, a opção de pilotagem deve ser a de inclinar a asa e forçar o avião contra o sentido da corrente de ar, como em uma curva constante. Isso implica em um giro “ $\omega$ ” controlado.

Essa é a opção de pilotagem adequada, pois o SVA não possui condições de corrigir um giro do tipo “ $\kappa$ ”. Aliás, estando com a atenção presa às alterações da bolha, o operador nem se apercebe deste giro, o que só seria possível se ele pudesse visualizar o objetivo no solo, obtendo assim um referencial. Entretanto um giro “ $\omega$ ” é prontamente indicado pela bolha de nível e facilmente corrigido.

#### 3.2.6. Escolha do Aeródromo e da Aeronave

Foi selecionado um aeródromo próximo da REBIO Lami. Essa maior proximidade implicaria num menor dispêndio de tempo de vôo para se chegar ao local visado e, portanto, num menor custo no aluguel da aeronave. Além disso, esse aeródromo possuía aeronaves adequadas para a obtenção das aerofotos de pequeno formato.

As referências para que uma aeronave fosse considerada adequada incluíam o posicionamento da asa sobre a cabina de comando e vão livre sob a janela na qual será instalado o SVA, ou sejam, “monomotores” de “asa alta” e “ampla visibilidade”. Nesses modelos de avião o posicionamento da asa permite visão livre diretamente para baixo, e o fato de ter apenas um motor, permite-lhe atingir baixas velocidades de vôo, não sendo dessa forma o deslocamento de ar tão forte que impeça a abertura da janela lateral.

Foi considerada também a possibilidade da existência de comunicação interna através de fones entre o piloto e o aerofoto-operador, visando minimizar o excessivo ruído do vento e do motor, ampliado pela necessidade de abertura da janela.

No trabalho de levantamento da REBIO Lami foi obtida a locação de um Cessna 305/AOP (Aerial Observation Post). Esta aeronave possuía todos os requisitos necessários citados acima, porém, com a desvantagem de seu preço de hora/vôo ser mais caro que as demais aeronaves do gênero, principalmente pela grande potência do motor, de cerca de 213 hp.

### 3.2.7. A Montagem do Mosaico

#### 3.2.7.1. Rasterização das Aerofotos

Na revelação das aerofotos foram solicitadas as “provas de contato”, que serviram de base para localizar rapidamente aerofotos e facilitar a montagem do mosaico.

Um teste de verificação para a rasterização destas provas de contato no scanner de mesa foi realizado, uma vez que estas não sofrem deformações por ampliação, sendo obtidas pela impressão da luz sobre o papel fotográfico após a passagem dela pelo negativo posto em contato com o citado papel. Os resultados não foram bons, ocorrendo grande perda de detalhamento e nitidez, mesmo com a utilização de resoluções na ordem de 900 a 1000 dpi.

O primeiro passo foi o de rasterizar as aerofotos, utilizando-se um “scanner” colorido. O modelo comum de mesa pode ser utilizado, porém tendo em mente que introduz deformações. O “scanner” publicitário ou de rolo, que não possibilita a introdução de deformações indesejadas, sendo usado também em aerofotogrametria, não foi utilizado, desejando-se testar as possibilidades do mais comum e barato. A resolução utilizada na rasterização foi de 100 “dpi”, resultando num menor tamanho do arquivo final do mosaico.

Não foram realizadas correções de contraste, brilho e saturação em cada aerofoto durante o processo de digitalização de cada aerofoto. As devidas tonais tiveram lugar no programa de tratamento de fotografias, de forma que as aerofotos seqüenciais pudessem ter suas tonalidades equalizadas, tornando possível a minimização da quebra de tonalidade, comum entre aerofotos seqüenciais em um mosaico.

#### 3.2.7.2. Aerofotoíndice

Foi realizada a montagem de um mosaico com as fotografias aéreas, etiquetadas com números de referência, para o levantamento efetuado na REBIO Lami, de forma a se obter

um índice para a localização rápida de uma determinada aerofoto ou pares estereoscópicos. Esse mosaico foi chamado de Aerofotoíndice.

Sua montagem foi realizada no software de manipulação fotográfica, simplesmente girando as aerofotos até que se encaixem o mais perfeitamente possível, sem a necessidade de correções de deformações, pois o objetivo é apenas de ordenamento.

Após essa montagem o aerofotoíndice foi levado para o software de desenho gráfico, recebendo uma tarjeta de numeração em cada aerofoto bem como um destaque em suas bordas, diferenciando-as umas das outras. O resultado pode ser visto no Anexo 6.

A numeração que foi estabelecida para cada aerofoto incluía em primeiro lugar uma letra, representando a linha de vôo, seguida de um número, a sua posição dentro da linha. A seqüência dos números indica a direção do vôo naquela linha.

### 3.2.7.3. Mosaicagem

A ocorrência de alterações de escala entre pares estereoscópicos, assim como entre linhas de vôo sucessivas, ocasionadas pelas oscilações mínimas da altitude de vôo de uma aeronave leve durante a tomada das aerofotos é um fato corriqueiro. Assim, as aerofotos obtidas possuíam escalas próximas mas variáveis, o que podia ser comprovado visualmente.

Tendo conhecimento disso, tomou-se uma das aerofotos como referência de escala para a montagem do mosaico, tornando-se um “modelo de escala” para o mosaico a ser montado no computador. A opção recaiu sobre a aerofoto mais centralizada em relação ao aerofotoíndice, sendo então a partir dela que iniciou-se a montagem do mosaico no software de processamento de fotografias. A escolha da aerofoto mais central se deu simplesmente pela facilidade de compor o mosaico a seu redor, ou seja, juntando-lhe as aerofotos seqüenciais imediatamente à direita, à esquerda, acima e abaixo, uma por vez. Repetiu-se a operação em torno de cada uma das últimas aerofotos dispostas, e assim por diante, numa montagem concêntrica, até completar-se o mosaico (Anexo 7).

A junção das aerofotos seqüenciais obedeceu a um roteiro, como indicamos abaixo, exemplificando com a aerofoto central e uma seqüencial à sua direita (ver Figura 9):

- a) Escolhem-se dois pontos quaisquer na aerofoto central localizados na extrema direita, onde deverá ser encaixada aquela aerofoto que lhe faz seqüência e o máximo possível distantes entre si. Por sua vez, a aerofoto a ser trazida para sobrepor-se, deve apresentar os mesmos pontos. O objetivo é o de sobrepor estes pontos de forma a se obter um perfeito encaixe das aerofotos na formação do mosaico (Figura 9A). Caso as aerofotos fossem perfeitamente verticais e as escalas totalmente coincidentes, poderíamos parar por aqui, mas na prática isso não acontece e então temos que prosseguir com alguns outros passos;

- a) A aerofoto a ser trazida para encaixe deve ser “cortada” com recursos do “software”, na parte mais próxima aos pontos escolhidos, eliminando dessa forma uma sobreposição de áreas comuns às duas aerofotos, o que além de inútil pode vir a prejudicar o perfeito encaixe entre as duas aerofotos, caso tenhamos que considerar uma opção de correção de escala ou inclinação, vistos à seguir (Figura 9A);
- b) Ao trazer a aerofoto cortada para encaixe e tentarmos fazer coincidir os quatro pontos, pode acontecer de obtermos a sobreposição de dois deles, enquanto os outros dois se posicionam acima e abaixo relativamente um ao outro. Isso indica uma alteração de escala entre as aerofotos seqüenciais, ocasionado, como já dissemos, por uma ascensão ou queda abrupta da aeronave entre o tempo de tomada das duas aerofotos (variação em “bz”). Nesse caso a correção é realizada com o recurso do software com a ampliação/redução da aerofoto rasterizada, através de um acréscimo/retirada igual de linhas e colunas da aerofoto de encaixe, evitando-se dessa forma qualquer tipo de deformações introduzidas por recursos como o de arrastar apenas um dos lados da aerofoto, o que altera o seu formato original. Essa ampliação/redução é feita até que os dois pontos não coincidentes estejam sobrepostos, ou coincidentes numa mesma linha (Figura 9B);
- c) Outra ocorrência seria a possibilidade de coincidir dois pontos enquanto os outros dois se posicionam à esquerda e à direita, relativamente um ao outro. Isso indica uma deformação introduzida por inclinação da aeronave (variação em “ $\omega$ ” e “ $\varphi$ ”), não totalmente solucionada pelo SVA. No entanto, devido a esse aparelho de nivelamento, essas correções são geralmente muito pequenas. A correção implica em nova deformação, através de recursos do software de arrastar o canto da aerofoto de encaixe mais próximo ao ponto até que este coincida com o outro, na aerofoto de referência (Figura 9C). Quanto mais próximo este ponto estiver do canto a ser arrastado menor será a deformação necessária, daí também a importância do “corte” na aerofoto de encaixe, da eliminação das áreas coincidentes e da seleção dos pontos em locais próximos às bordas;
- d) De uma forma geral, essas necessidades de correções ocorrem simultaneamente, e assim, deve-se proceder primeiramente a correção de escala, até que os pontos estejam sobre a mesma linha, e depois, proceder a correção de inclinação, coincidindo então os pontos. Proceder-se com o mesmo raciocínio para as aerofotos à esquerda, acima e abaixo, e assim adiante até a montagem total do mosaico.

É importante saber que todas as representações gráficas resultantes da ampliação e distorção mostradas na Figura 9 foram propositadamente exageradas para efeito de visualização e não condizem com a realidade do processo, cujos resultados, desde que obedecidas as determinações metodológicas, são na maioria das vezes menos perceptíveis.

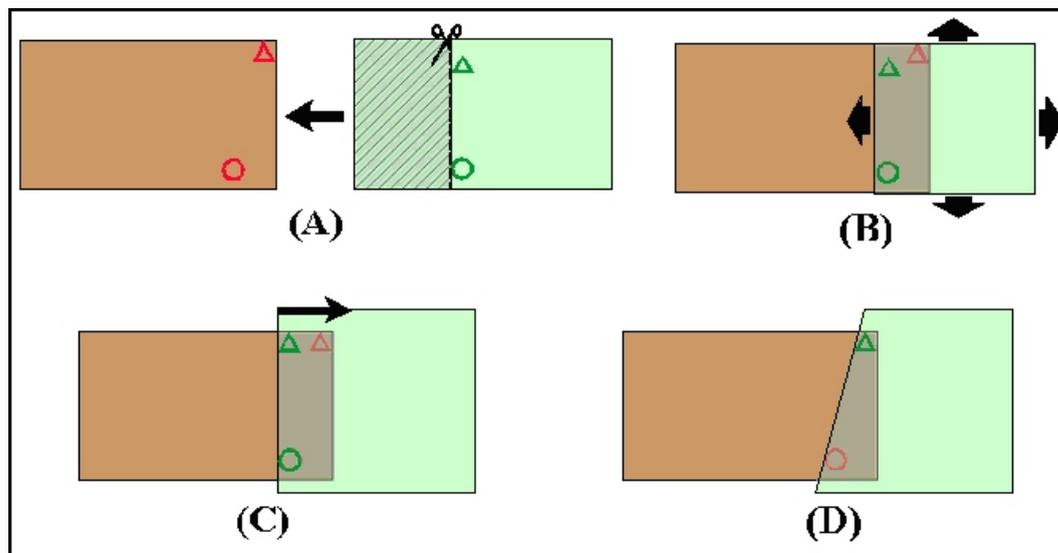


FIGURA 9: Representação dos procedimentos de mosaicagem em um programa de tratamento fotográfico, sendo: (A) opção adequada dos locais de escolha de pontos e realização de “corte” de área duplicada; (B) ampliação por igual para correção de escala; (C) distorção para correção de inclinação da aeronave e; (D) resultado final da mosaicagem de duas aerofotos.

### 3.2.8. Mapeamento Temático

Uma vez pronto o mosaico de aerofotos, procedeu-se a um mapeamento temático tendo como base parte do referido mosaico.

No software de desenho gráfico — nesse caso o Corel Draw — que possuía a possibilidade de trabalhar em camadas ou “layers”, foram desenhados os detalhes do mapa sobre o mosaico, obtendo-se dessa forma uma mesma dimensão, ou escala, tanto para o mosaico quanto para o mapa temático, o que será importante mais adiante no georreferenciamento.

Os diversos temas foram analisados diretamente nos pares estereoscópicos com o auxílio do estereoscópio de bolso, o que aumentava muito o poder de percepção dos detalhes sobre o solo, após o que, eram então representados em desenho na tela do computador diretamente sobre o mosaico. Assim era porque o mosaico digital não possuía a mesma resolução da fotografia, e portanto, detalhes importantes poderiam ser perdidos, como por exemplo a existência de trilhas em clareiras nas florestas ou numa área de campo, ou ainda a visualização de detalhes em áreas sombreadas.

Poderiam ser obtidos mosaicos digitais com quase a mesma resolução das aerofotos, entretanto isso exigiria a utilização de grandes resoluções para a rasterização, resultando em arquivos digitais de dezenas de megabytes para cada aerofoto que compunha esse mosaico.

O modo de composição do mapa temático não será aqui detalhado, pois disso dependem muitos fatores diferentes, como por exemplo o fator de escala do mosaico, o que implica em variação no nível de detalhamento ou conhecimento técnico do aerofoto-intérprete e sua formação profissional, que influencia na sensibilidade de interpretação. No caso da tematização de mosaicos obtidos de fotografias aéreas de pequeno formato, é necessário inclusive uma certa “sensibilidade artística” para a montagem da carta temática, uma vez que inexiste na literatura convenções de cores e símbolos para o enorme número de informações que podem ser extraídas, tendo em vista a escala e o nível de detalhamento obtido neste tipo de aerofoto.

Para a dissertação optou-se, como exemplificação de produto final possível de ser obtido para a área da REBIO Municipal do Lami, a elaboração de um “Mapa Temático de Ocupação do Solo”.

### 3.2.9. Georreferenciamento do Produto Final

A construção de um mosaico a partir de fotografias aéreas de pequeno formato verticais, traz a possibilidade de seu georreferenciamento, pois não possui as variações de escala ocorrentes dentro das aerofotos inclinadas. A partir disso a experimentação foi conduzida da forma como se segue.

A metodologia utilizada era análoga ao do georreferenciamento de imagens de satélite, utilizando-se um software de geoprocessamento. A diferença residiria no fato de não ter sido utilizadas cartas topográficas para a definição de pontos de controle no terreno, devido ao baixíssimo nível de detalhamento e diferença de escala entre as cartas e o mosaico aerofotográficos de pequeno formato.

Utilizou-se dessa forma o GPS, de modo a se obter os pontos de controle diretamente no campo, tendo sempre em mente a grande possibilidade de erros a serem admitidos por esse aparelho, por tratar-se de um modelo de navegação expedita e, por outro lado, por se lidar com escalas tão grandes como as que são proporcionadas pelo levantamento aéreo de pequeno formato.

#### 3.2.9.1. Seleção dos Pontos de Controle

Utilizando os pares estereoscópicos das aerofotos que originaram o mosaico e com o uso do estereoscópio de bolso, procedeu-se a uma seleção de marcos físicos e geográficos que pudessem ser o mais facilmente possível localizados em campo, considerando-se também a facilidade de acesso até eles e seu reconhecimento ao nível do solo. Nas áreas naturais trabalha-

se, na maior parte das vezes, com cruzamento de trilhas, pequenas clareiras em meio a vegetação, árvores e arbustos isolados, formações rochosas, e outros pontos possíveis de serem encontrados.

Como na presente metodologia não ocorrem custos de trabalho de campo, devido a utilização de pessoal e material do órgão gerenciador da unidade de conservação, o número de pontos escolhidos pode ser o maior possível. Isso era desejável, pois poderiam ocorrer modificações de diversas ordens na paisagem, impedindo que alguns pontos viessem a ser localizados.

Conseguiu-se a localização de 17 pontos de controle bem reconhecíveis e de fácil localização, todos em torno da unidade de conservação. Esse número foi considerado inicialmente como suficiente, podendo-se, em caso de necessidade, retornar-se ao local para a obtenção de novos pontos.

No caso da REBIO não foi possível selecionar-se pontos nas áreas mais centrais da unidade, devido a inacessibilidade das áreas pantanosas e rusticidade da vegetação. Essa deficiência poderia, em caso de necessidade, ser compensada pelo aumento de pontos de controle no entorno.

#### 3.2.9.2. Seleção dos Pontos de Medição

Foram também selecionados alguns locais onde existiam elementos geográficos que poderiam ser mensurados com o auxílio de uma trena. Estes elementos, da mesma forma que os pontos de controle, foram bem definidos e de fácil localização, preferencialmente próximos aos pontos de controle já selecionados, de modo a se evitar um duplo trabalho de deslocamento e localização.

Essas medições serviriam posteriormente para se estabelecer escalas aproximadas para as aerofotos e permitir o controle dos erros ocorridos nos produtos finais após o georreferenciamento destes, e assim, sua confiabilidade.

#### 3.2.9.3. Aquisição de Dados GPS para Pós-processamento

Os dados para correção diferencial foram cedidos em colaboração com o trabalho pela firma SPG – Soluções em Posicionamento Global Ltda., a qual possui um GPS fixo com as seguintes características:

Tipo de receptor: Trimble Pathfinder Community Base Station 12 Canais L1 e código C/A;

Máscara de elevação: 10°;

Máscara de PDOP: 6;

Intervalo entre registro de posições: 5 segundos;

Posição determinada pela média aproximada de 14.000.000 de medidas:

Latitude: 30°03'09.7170" S; Longitude: 51°13'18.7439" W; Altitude: 51.151 (HAE);

Datum: WGS-84

Antena: Compacta L1 com plano de terra;

Período de registro de dados: (intervalo) 0h00min. – 23h59min. – 7 dias da semana.

Como o modelo de GPS de navegação utilizado no trabalho de campo possuía o atributo de recepção da “hora GPS”, os dois GPS trabalhavam sincronizados, na captação dos dados.

Foram igualados antes da medição a campo os sistemas geodésicos ou datum geodésico, a partir do acerto do GPS de campo. O aparelho estacionário trabalhava com o sistema WGS-84 e assim o GPS de campo foi compatibilizado para o mesmo datum.

Os parâmetros de tipo de coordenada geográfica (Projeção Universal de Mercator) e unidade métrica (metros) foram compatibilizados posteriormente a coleta de dados no campo, por opção do software do GPS estacionário, quando da obtenção dos registros coletados.

#### 3.2.9.4. Número de Posicionamentos por Ponto de Controle e Formulário de Campo

Havendo o conhecimento prévio de que diversos posicionamentos deveriam ser tomados em cada ponto de controle, de modo a se obter uma melhor precisão por meios estatísticos e consultando-se trabalhos de metodologia correlata a esta, optou-se por 05 (cinco) minutos de tomada de posições. Como a estação fixa registrava as posições a cada 05 segundos, teríamos exatos 60 posicionamentos para cada ponto de controle.

De um modo geral, os aparelhos GPS de navegação não têm memória para armazenamento de um grande número de coordenadas ou “waypoints”. No caso do aparelho utilizado, o seu limite era de 768 waypoints. Foi necessário que imediatamente ao finalizar a tarefa de captura de cada série de 60 coordenadas, esses dados fossem transferidos para um formulário, caso contrário, após 12 pontos de controle levantados, teriam de ser transferidos para o papel os 720 pontos coletados.

#### 3.2.9.5. Coleta de Dados GPS em Campo

Foi necessária a utilização de uma segunda pessoa — um auxiliar de campo — para as anotações no formulário. Após a localização de cada ponto de controle, era repassada ao auxiliar a hora inicial da coleta. A partir daquela hora os 60 registros eram memorizados no

aparelho e posteriormente trazidos da memória e ditados ao auxiliar, que os copiava em formulário apropriado. Feito isso a memória era esvaziada para o levantamento do próximo ponto de controle.

Caso houvesse no local um ponto de medição, este era então mensurado com a trena de 30 metros e a ajuda do auxiliar de campo, anotando-se o resultado.

#### 3.2.9.6. Correção dos Dados GPS de Campo

A metodologia utilizada para a correção dos dados GPS obtidos nos pontos de controle, não foi o de um GPS diferencial, ou DGPS, que é uma técnica bastante apurada e complexa, assim como não se enquadra como pós-processamento, pela simples inexistência de um software apropriado. No entanto se baseia nos fundamentos destas técnicas de correção, que asseveram serem os erros de posicionamento de um GPS itinerante, iguais aos erros obtidos por um GPS estacionário sobre um ponto conhecido, desde que tomados na mesma fração de tempo e sob uma mesma constelação de satélites.

Tanto os dados de campo quanto os dados coletados pelo aparelho GPS de referência, foram digitalizados para uma planilha eletrônica — uma para cada ponto de controle — tendo-se o cuidado de acrescentar os respectivos horários de registro ao lado das coordenadas leste e norte, para os dados dos dois GPS, de forma a que não houvessem dúvidas quanto aos emparelhamentos.

Das 60 coordenadas do GPS de campo, em cada ponto de controle, foram extraídas as estatísticas correspondentes às médias das posições leste e norte — fórmulas (1) e (2) — ao desvio padrão das componentes leste e norte — fórmulas (3) e (4) — e o desvio padrão horizontal — fórmula (5). Foram observados os mesmos cálculos estatísticos para as 60 coordenadas do GPS fixo. As médias correspondem a um melhoramento em termos de precisão. Estes parâmetros serviriam mais tarde para efeitos comparativos.

Ainda com relação às coordenadas do GPS fixo, calcularam-se também o erro real leste e norte — fórmulas (6) e (7) — para cada um dos 60 registros, o erro horizontal para cada posição — fórmula (8) — e o erro horizontal RMS para o conjunto de posições — fórmulas (9) — já que se tratam de dados GPS coletados sobre uma coordenada conhecida. Seriam utilizados também mais tarde para cálculos estatísticos comparativos.

Esses erros reais, dados por (6) e (7) foram considerados os mesmos erros registrados nas 60 tomadas de posicionamento em campo, e assim, corrigiu-se cada um desses posicionamentos com os valores de erro leste e norte que lhes são correspondentes na mesma fração de tempo.

Isso criou uma nova lista de registros de campo, corrigidas — em termos teóricos — dos erros introduzidos pelas “SA” e que foram indicados pela estação de GPS fixo. As médias (1) e (2) destes novos 60 registros é que proporcionaria uma coordenada final com reais possibilidades de melhoramento na acurácia. Foram também extraídos novos valores de desvio padrão das componentes leste (3) e norte (4) e de desvio padrão horizontal (5), para comprovação da melhoria da precisão em relação aos valores antigos.

Esse método foi repetido para cada um dos outros pontos de controle até que se obteve uma coordenada final para cada um.

#### 3.2.9.7. Correção Geométrica do Mosaico Base

Chamou-se de mosaico base a parte recortada do mosaico principal e que serviu como base para o desenho do mapa temático. Como a proposta aqui é a obtenção do mapa temático como o produto final, é o mosaico base que será corrigido geograficamente, e não o principal, pois é a partir do primeiro que o mapa terá seus elementos georreferenciados, tendo em vista suas igualdades de escala.

O arquivo do mosaico base foi importado para o programa de geoprocessamento e ali submetido a um tratamento de correção geométrica e interpolação por reamostragem.

Na correção geométrica foram utilizados todos os pontos de controle que foram possíveis de se obter em campo. Como opção de cálculo no programa de geoprocessamento, foi considerado o uso da função linear, pois apresentou um erro de RMS de 5,4, enquanto que na função quadrática esse erro foi de 124,7. A utilização da função cúbica não foi cogitada devido ao número de pontos de controle obtidos, que era igual ao número mínimo de pontos para esta função. Quanto a reamostragem dos pixels, optamos pela função bilinear, na tentativa de se obter uma melhor qualidade de definição na nova imagem processada.

Após o tratamento, tendo o mosaico base todos os seus elementos georreferenciados, procedeu-se a elaboração de uma grade vetorial das coordenadas com espaçamento regular entre suas linhas de 200 metros, formando quadrículas de 4 hectares.

#### 3.2.9.8. Determinação da Escala do Mosaico Base

De posse dos dados das medições realizadas, foi estabelecida a escala das aerofotos, através da correspondência de medição entre o valor de distância real — obtida à campo — e aquele medido na aerofoto, aplicando-se a fórmula (16).

Como as escalas encontradas eram diferentes, embora muito próximas, nas aerofotos mensuradas, obteve-se uma média entre elas, que passou a ser a escala das aerofotos.

Para a obtenção do mosaico base foi necessário, além do giro e dos cortes realizados, uma redução de tamanho, aleatória, de forma a enquadrar o mosaico base na folha de papel de formato A3. Houve portanto uma alteração de escala que precisou ser encontrada.

A obtenção dessa escala baseou-se por um lado nas medições de campo e por outro em medições realizadas sobre o mosaico base impresso a laser, que apresentava ótima resolução. Os procedimentos são os mesmos que aqueles utilizados para a determinação da escala nas aerofotos, sendo o resultado, portanto, uma escala média.

#### 3.2.9.9. Obtenção da Grade de Coordenadas

A partir da grade de coordenadas construída no software de geoprocessamento, os pontos de interseção formados pelo encontro das linhas verticais e horizontais foram copiadas da tela do computador para a impressão à laser do mosaico base utilizada para determinação da escala. Em outras palavras, procurou-se alocar com a maior precisão possível cada ponto de cruzamento das linhas encontradas na tela, no mesmo local correspondente no mosaico impresso em papel, tendo como referência os elementos geográficos distinguíveis dispostos sobre o terreno.

Posteriormente essas informações foram transpostas do mosaico base impresso para a tela do computador no programa de desenho, como uma nova camada ou “layer”, de forma que pudesse ser disposta tanto sobre o mosaico base como sobre o mapa temático.

Como a correção geométrica introduziu algumas correções mínimas no plano do mosaico base, a simples transposição dos pontos e traçado da grade sobre o mosaico sem a devida correção, não podia ser considerado um procedimento adequado. Assim, tivemos que trabalhar com uma nova grade, baseada nos pontos obtidos no processo de correção geométrica e numa média considerada entre o distanciamento destes pontos. Como a grade ocorreria inclinada, devido ao posicionamento do mosaico base no software de desenho, todas distâncias tiveram que considerar cálculos com base em triângulos retângulos, através do Teorema de Pitágoras (17).

Na tela do programa de desenho, trabalhou-se com coordenadas de tela em milímetros, com precisão decimal de milésimos de milímetro. Foram tomadas como base as três primeiras linhas de pontos, na parte superior do mosaico. As distâncias entre cada ponto e seus vizinhos — à direita e abaixo — foram encontradas e anotadas. Foi a média entre estas distâncias que estabeleceu um valor para a distância entre linhas e colunas, tornando a grade regular.

A linha inicial, assim como a coluna, a partir das quais foi dada origem às demais, foram calculadas com início no ponto situado na extremidade superior esquerda do mosaico,

considerado assim como ponto de origem da grade. De posse das médias já mencionadas foram estabelecidas as distâncias entre linhas e colunas, obtendo-se dessa forma a grade de coordenadas final.

Uma vez pronta a grade de coordenadas, procedeu-se a uma impressão em papel do resultado sobre o mapa temático. A partir disso, foram obtidas a escala do produto final por uma nova mensuração das distâncias dos pontos, desta vez com o auxílio de uma régua sobre a impressão, e a partir dessas medições estabelecida uma escala média a ser utilizada para cálculos de distâncias no produto final.

Feito isso, inclui-se os números das coordenadas UTM relacionadas a cada linha ou coluna e procede-se aos demais acabamentos que se fizeram necessários, técnicos ou estéticos. O resultado final alcançado pode ser apreciado no Anexo 8.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Aerofotoíndice

O primeiro produto a ser considerado é o aerofotoíndice, que pode ser visto no Anexo 6. A metodologia de montagem pode ser apreciada na seção 3.2.7.2 e as conclusões que foram extraídas a partir de sua análise estão na seção 4.2.5.

Sua utilização nos trabalhos de análise das aerofotos e preparação do mapa temático foi fundamental, assim como na manipulação dessas aerofotos, que foi extremamente facilitada. A obtenção deste índice aerofotográfico, antes de qualquer outro produto é muito importante, principalmente quando se trabalha com áreas extensas que comportem um número muito grande de fotografias aéreas.

#### 4.1.2. Mosaico de Aerofotos

O mosaico montado a partir das aerofotos obtidas, cujo resultado pode ser visualizado no Anexo 7, e que foi construído com a aplicação da metodologia descrita na seção 3.2.7.3, é o mesmo que, após ser “recortado”, foi georreferenciado e utilizado como base para a construção do mapa temático, recebendo o nome de Mosaico Base, assim chamado por ser ele a base para o mapeamento temático.

Este produto é mostrado sob duas formas diferenciadas. Aquela que pode ser apreciada no Anexo 7 é uma delas. Sendo um produto do software de manipulação fotográfica ele pode ser ampliado ou reduzido, impresso no todo ou em partes ou ainda ser produzido para impressão com maior ou menor resolução.

O outro produto não é menos importante e permanece na forma virtual, como arquivo no software de geoprocessamento. A sua consulta informa a localização geográfica dos pontos encontrados nas aerofotos.

#### 4.1.3. Mapa Temático

O produto obtido com a tematização das informações sobre o mosaico base e obtidas através da análise acurada realizada diretamente nas aerofotos com auxílio de estereoscópio, pode ser apreciada no Anexo 8, tendo sua metodologia de montagem discutida na seção 3.2.8. Representa uma exemplificação de produto que pode ser obtido a partir do Mosaico de Aerofotos.

### 4.2. Discussões

#### 4.2.1. A Utilização do Suporte Verticalizador de Aerofotos

Quando se pensa em mapeamento dos elementos geográficos de uma determinada área ou mesmo em trabalhos de atualização cartográfica de uma região, através de fotografias aéreas, recorre-se sempre à fotogrametria. Esta técnica tem como uma de suas características principais, dentre muitas outras que permitem seu uso adequado em mapeamentos, a verticalidade.

Por verticalidade da fotografia aérea entendemos, em teoria, um eixo imaginário, que passando de forma sobreposta e perfeitamente paralela ao eixo ótico de uma câmara fotográfica, e prolongado até o objeto a ser fotografado, forme com o plano deste um ângulo de 90°. Na verdade isso seria uma fotografia ortogonal em qualquer sentido, porém, em se tratando de fotografias aéreas dizemos vertical, pois o solo, abaixo da aeronave, é o objeto e o objetivo a ser fotografado, estando pois o eixo teórico mencionado, nesta posição.

A fotografia vertical permite uma uniformidade de escalas ao longo de todo um objeto plano abrangido pela aerofoto. Esse fato permite uma montagem facilitada de mosaicos fotográficos, primeiro passo para o mapeamento temático.

A experiência de montagem de mosaicos de aerofotos de pequeno formato digitalizadas em softwares de tratamento fotográfico, demonstra a possibilidade sempre presente da perda de pequenas áreas das aerofotos, encobertas por outras, ou de pequenas duplicações de áreas, por falta de recobrimento. Isso devido exatamente a ausência de verticalidade, mormente quando se trabalha sem suporte para o equipamento fotográfico, procurando uma verticalidade que dificilmente é obtida na plenitude, devido aos giros e inclinações quase imperceptíveis da

aeronave, bem como a força que a ação do vento exerce sobre as partes expostas do operador para fora da janela.

Um suporte fixo para o equipamento fotográfico, adaptado no interior e no piso da aeronave, dotado de capacidade giroscópica para a posição vertical, eliminaria o desconforto e o fator desestabilizante do vento assim como uma parte das variações de posição da aeronave. No entanto, isso não é possível no Brasil, uma vez que o Departamento de Aviação Civil – DAC, rejeita a homologação de qualquer tipo de modificações nas aeronaves de pequeno porte, exceto nos casos em que a modificação seja de fábrica ou a aeronave seja considerada experimental.

Assim sendo, a solução encontrada foi a construção de um suporte adaptado à aeronave que pudesse ser colocado e removido sem ocasionar alterações na estrutura da mesma. Um rápido estudo de viabilidades mostrou que a melhor possibilidade era a adaptação do suporte na janela do avião. Esse aparelho deveria oferecer condições de correção de uma parte da instabilidade da aeronave e, o que é mais importante, em tempo real, ou seja, enquanto essas instabilidades estivessem ocorrendo.

Por outro lado, tal suporte deveria primar não apenas pela operacionalidade, mas também pela simplicidade e baixo custo de construção, pois o principal objetivo aqui era o de estabelecer se a correção em tempo real poderia resultar em benefícios à obtenção da verticalidade e, como consequência, de uma maior facilidade na montagem do mosaico. Esses foram objetivos que nortearam a construção do suporte descrito em detalhes no capítulo anterior.

O aparelho foi concebido originalmente para adaptação na janela de uma aeronave Cessna 170, que seria utilizada para o presente trabalho. Infelizmente, por problemas mecânicos, essa aeronave não pode ser utilizada. Uma vez pronto o aparelho, a alternativa foi adapta-lo da melhor forma possível às aeronaves que fossem utilizadas no futuro, como foram um Neiva P-56 (Paulistinha) e um Cessna 305/AOP.

Como protótipo seu uso pode ser considerado pouco prático para ser recomendado como modelo a ser tomado literalmente para a reprodução de outros suportes, exceto no que se refere a algumas de suas partes componentes ou mecanismos. Seu peso, por exemplo, era elevado tanto para o manejo em terra quanto para a sua utilização durante o trabalho de obtenção das aerofotos, principalmente devido aos materiais empregados que, embora resistentes, baratos e fáceis de encontrar no mercado e de trabalhar na fase de corte e montagem, eram muito pesados.

Seu pior desempenho se dá certamente no momento da troca de filme em vôo, quando tem-se de desmontar parte do aparelho e trazê-lo para dentro da cabina e posteriormente remonta-lo, o que significa travar uma luta com um vento de mais de 100 quilômetros horários cada vez que se fazia uma troca de filmes.

O mecanismo de fixação também não se mostrou desprovido de problemas. Desde a sua primeira utilização houve um rompimento em uma das peças, demandando uma improvisação que durou todo o tempo da realização dos testes de verticalidade.

A adaptação na janela do Cessna 305 tornou a operacionalização problemática, devido tanto a excessiva altura da parte fixa do mecanismo de nivelamento quanto da altura da janela da aeronave, o levou a bolha quase à altura dos olhos, obrigando o aerofoto-operador ao uso de almofadas no assento para aumentar sua altura relativamente ao SVA.

Quanto aos acessórios, o cabo do controle remoto da câmara mostrou-se muito curto para que pudéssemos utiliza-lo numa plataforma onde ele seria montado ao lado do intervalômetro, de forma que um e outro pudessem ser acionados com mais facilidade, conforme era nossa intenção. Assim, o acionamento do intervalômetro e, imediatamente após deste, o do controle remoto no início de cada linha (ver metodologia) demorava entre um a dois segundos. Outra desvantagem foi o acesso visual ao contador eletrônico do intervalômetro, fazendo com que a contagem dos filmes se processasse mentalmente. Por outro lado é preciso considerar que mesmo que esse acesso fosse possível, percebemos que a tela digital iluminada, como a que usada no modelo, não se presta para ambientes tão intensamente iluminados como a cabina do aeroplano, onde quase não é possível se distinguir os números. É preferível utilizar, embora mais caro, a tela digital de cristal líquido.

No entanto, acreditamos que como protótipo tenha atingido plenamente os objetivos para ele previstos, ou seja, comprovou na prática ser factível a obtenção de fotografias aéreas de 35 mm quase perfeitamente verticais para a montagem de mosaicos, desde seu primeiro teste de campo. Esse primeiro teste foi realizado, conforme a metodologia, sobre a cidade de Osório, a partir do Aeroclube de Planadores Albatroz, daquela cidade, numa aeronave Neiva P-56.

Esse sobrevôo considerou o levantamento de oito linhas de vôo, sendo que nas primeiras quatro linhas os pontos de entrada situavam-se sempre do mesmo lado, obrigando o piloto a uma grande volta para entrar na próxima linha. Nas outras quatro linhas o procedimento era o mesmo descrito para a metodologia da dissertação, ou seja, pontos de entrada alternados. O objetivo era exatamente o de testar uma possibilidade contra a outra. Uma vez que ambas produziram bons resultados, optou-se pelo segundo método, pela sua economicidade.

O mosaico resultante pode ser visualizado no Anexo 9, onde são apresentadas apenas as quatro últimas linhas de vôo. As aerofotos estão marcadas por uma linha vermelha que delimita as suas bordas e o mosaico não apresenta correções, conforme descritas na metodologia. Sua construção deu-se sem nenhum tipo de deformação somente por giro da aerofoto e busca do melhor encaixe possível.

Esse mosaico é a melhor comprovação da possibilidade de obtenção de aerofotos verticalizadas por meio de um recursos como o do SVA. A escolha de uma área urbana plana foi

proposital, pois a verticalidade, trazendo uma uniformização de escala, tornaria possível a junção das ruas e avenidas naturalmente, sem necessidade de correções. Isso é perceptível em muitas das aerofotos obtidas, podendo-se contar até seis delas justapostas lateralmente sem que ocorra quebra do alinhamento de uma rua.

As incorreções que ocorrem em outras partes do mosaico, mais acentuadamente na parte esquerda, se dão mais em função na variação da escala das aerofoto — variação uniforme — em função de uma grande variação de altitude do piloto ao percorrer uma ou duas linhas. A montagem do mosaico foi feita primeiramente linha a linha e posteriormente sobrepostas as linhas, através de pontos comuns nas extremidades das mesmas. Isso somente dificulta ainda mais o encaixe quando há deformações, sendo um rigorismo por nós imposto para comprovar os efeitos do SVA na verticalização.

#### 4.2.2. A Utilização do Sistema de Posicionamento Global

Com a introdução de um suporte verticalizador de aerofotos com correção em tempo real o aerofoto-operador deveria concentrar-se tão somente em três operações, as quais eram: correção da verticalidade do sistema fotográfico a cada segundo durante o recobrimento; tempo decorrido entre as aerofotos na linha de vôo e; troca de filmes entre uma e outra linha de vôo. Portanto, a questão da navegação com relação aos objetivos no solo não poderia ser por ele considerada, o que criava um problema adicional.

Com a equipe restrita a duas pessoas – capacidade de lotação de uma parte das aeronaves monomotoras de asa alta de custo de hora/vôo mais baixo – a navegação deveria recair sobre o piloto. Entretanto, era nossa intenção que este se concentrasse ao máximo na manutenção da altitude requerida, rumo e estabilização máxima possível da aeronave, evitando com isso mudanças de escala entre aerofotos, “buracos de vôo”, derivações, alterações de velocidade e desestabilizações ocasionadas por ventos de altitude, buscando com isso obter o melhor recobrimento possível.

À nos restava portanto utilizar os recursos dos sistemas de posicionamento global, o GPS, em seu modelo mais simples, próprio para navegação. Com isso o piloto poderia visualizar na tela a navegação pela linha, sem que nem ele nem o operador da câmara tivessem de se preocupar com navegação através de pontos no terreno.

O único problema foi ocasionado pela limitação desse modelo quanto a aquisição de dados dos satélites acima de 160 km/h. A partir dessa velocidade o GPS apresenta um aviso de captação muito pobre dos sinais. Porém, essa velocidade não é geralmente a velocidade de cruzeiro das aeronaves utilizadas, quando em vôo normal sobre as linhas.

#### 4.2.3. A Obtenção do Plano de Vôo

Conforme pode ser observado no Anexo 4, houve a necessidade de adaptação do retângulo para o plano de vôo no que concerne às linhas D e E, uma vez que seria desnecessária a obtenção de várias aerofotos sobre a área do Lago Guaíba. O que deveria ser buscado então eram novas posições para o ponto de entrada 7D, e para o ponto de saída 10E.

Para isso foi utilizada a carta topográfica digitalizada e georreferenciada no software de geoprocessamento, para decidir onde seriam localizados esses novos pontos e de quanto seria o novo tamanho de cada uma das novas linhas, através da distância calculada com o auxílio das coordenadas UTM. Nesse caso em particular o cálculo foi direto, devido ao fato das linhas estarem posicionadas em alinhamento Norte-Sul, e assim, de posse do valor da base estereoscópica calculou-se (ver seção 3.2.1.10) quantas fotos seriam necessárias para cobrir a área de interesse, deixando, como se pode perceber, uma margem de segurança para dentro do lago. O resultado em quantidade de aerofotos para cada linha pode ser visto no Anexo 5, na cópia utilizada pelo aerofoto-operador.

#### 4.2.4. Teste de Ortogonalidade do Centro Ótico em Relação ao Solo

Com o objetivo de comprovar a verticalidade das fotografias obtidas pelo conjunto do SVA, antes que fosse testado pela primeira vez em vôo aplicamos um teste de “laboratório”. Este consistiu em posicionar o SVA a uma distância aproximada de 1,5 metro do solo, após realizado o ajuste descrito na seção 3.2.4. Durante todo o tempo do teste a bolha de nível esteve nivelada e não houve novos ajustes na posição da câmara, reproduzindo as condições de vôo.

Sobre o chão colocou-se uma cartolina branca, de forma a ser abrangida totalmente pelo campo de visão da câmara, fixada para que não se movesse. Olhando pelo visor da câmara marcamos na cartolina os quatro cantos do retângulo formado pelo visor, da forma a mais precisa possível. Ligando com uma linha as marcações realizadas, de forma diagonal entre os cantos opostos, com as linhas cruzavam-se exatamente no centro do quadrante de focagem, fizemos quatro medições, uma para cada segmento entre o centro encontrado e o canto do retângulo. Caso houvesse uma ortogonalidade perfeita entre o eixo ótico da câmara e a cartolina o retângulo seria todo proporcional e os segmentos medidos teriam que ter a mesma medida. Na ocasião foi encontrada uma diferença entre a maior e a menor medição de cerca de 8 milímetros, o que não indica uma ortogonalidade não perfeita, porém, muito próximo disto.

Restava saber se a fotografia assim obtida possibilitaria a obtenção da mesma ortogonalidade, pela coincidência do centro formado pela união de seus cantos com o centro fotografado. Alguns fatores internos poderiam contribuir para que isso não ocorresse, como um

não alinhamento da objetiva da câmara com o filme, deformações impostas pelas lentes da objetiva e influência da não planura do negativo exposto à impressão luminosa. Assim, utilizando o controle remoto e marcando melhor o centro desenhado na cartolina com uma arruela de metal, fizemos uma fotografia, cujo resultado pode ser visto na Figura 10.

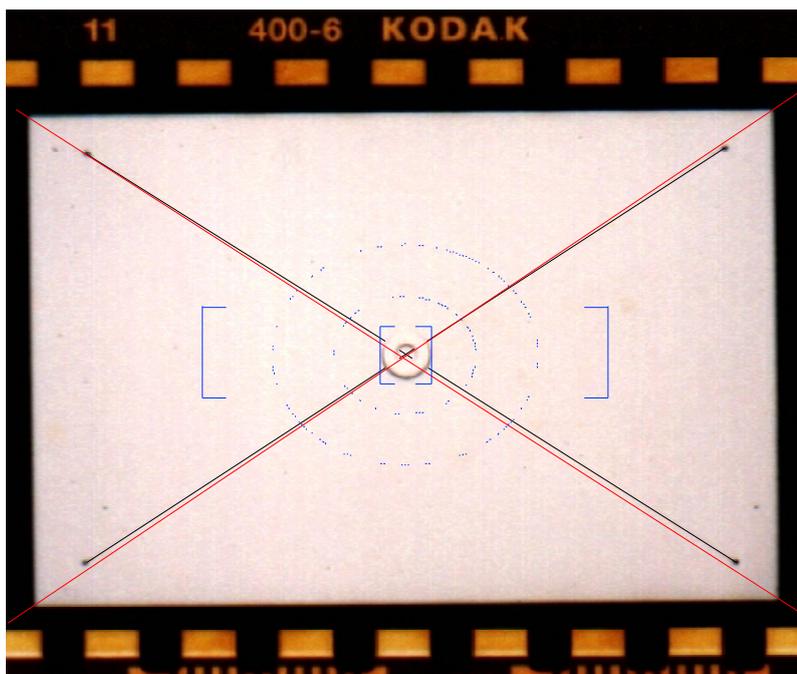


FIGURA 10: Fotografia tirada após o ajuste do SVA para comprovação da ortogonalidade.

Aqui não poderíamos pensar em utilizar a fotografia ampliada, após a revelação comercial, pois o ampliador elimina parte da fotografia durante o processo e dessa forma não teríamos como estabelecer corretamente o centro. Utilizamos então a prova de contato do negativo, que se apresenta ali de forma integral, embora sem grande resolução.

Na figura podemos perceber na cor preta os pontos marcados na cartolina, correspondendo aos cantos do visor da câmara, bem como as linhas traçadas a partir deles, cruzando no centro ótico. As linhas vermelhas foram feitas com software de desenho, unindo os cantos opostos da foto. As linhas azuis, também desenhadas, procuram representar as marcas de informação no visor da câmara, conforme vistas no processo de ajuste. O quadrado mais central é o quadrante de focagem.

Como pode ser percebido, a diferença entre o centro ajustado do SVA e o centro da fotografia deixam de coincidir por apenas dois ou três milímetros. Isso gera uma inclinação de

menos de 1 grau. Dessa forma obtivemos certeza quanto à ortogonalidade do centro ótico, ou se preferirmos, do paralelismo do plano focal com relação ao solo.

#### 4.2.5. A Obtenção das Aerofotos

Novamente é o aerofotoíndice (Anexo 6) que permite ter-se uma idéia razoável das manobras realizadas pelo piloto. Como regra geral o piloto oscilou à direita e à esquerda de cada uma das linhas de vôo buscando posicionar-se sobre elas. Não foi possível concluir se essas manobras aconteciam devido a uma dificuldade maior de pilotagem entre o Cessna, utilizado aqui, e o Neiva utilizado em Osório, uma vez que essas oscilações não eram tão acentuadas.

Isso afetou o recobrimento lateral, previsto no plano de vôo para 40%. Na verdade a média de recobrimento ficou em 33%, porém com uma grande amplitude de variação, felizmente não ocasionando nenhum “buraco de vôo”.

A média do recobrimento longitudinal das aerofotos ficou estabelecida em 53%, próximo portanto dos 60% previstos no Plano de Vôo. Normalmente utilizamos 70% de recobrimento, entretanto, como essa região é extremamente plana, resolvemos economizar no número de aerofotos por linha. Uma vez que estávamos utilizando um intervalômetro, essa variação deveu-se a uma informação equivocada por parte do piloto quanto à velocidade média da aeronave, ou a uma variação de aceleração e desaceleração nas linhas. O intervalo de tempo entre duas exposições foi de 10 segundos, entretanto temos razões para supor que a velocidade estava na verdade entre 140 e 150 km/h, e assim, deveria ser utilizado o tempo de 9 segundos.

Felizmente essa variação longitudinal prejudicou a estereoscopia apenas na aerofoto C-4, que apresentou um trecho não recoberto pela estereoscopia tanto em relação a C-5 quanto a C-3. Infelizmente, um dos pontos escolhidos para ser um ponto de controle para o georreferenciamento estava nesse local prejudicando sua análise.

O maior erro ficou por conta da entrada na linha “B”, quando o piloto deve ter confundido no visor do GPS esta com a linha “A”, somente percebendo o erro muito próximo do local. Podemos notar pelas aerofotos B-1 a B-5 a curva acentuada efetivada pelo piloto à última hora para poder corrigir o equívoco. Além disso, havia uma grande variação de altitude da aeronave em relação aquela utilizada quando foi percorrida a linha “A”. Isso é perfeitamente perceptível se observarmos a diferença de escala do par B-5/B-4, em relação ao par A-6/A-7. No caso, ele estava em maior altitude quando chegou na linha “B”, tendo corrigido esse problema durante o percurso da referida linha.

#### 4.2.6. A Obtenção do Mosaico de Aerofotos

Muito embora as incorreções analisadas na seção anterior, com relação à obtenção das aerofotos, a montagem do mosaico se processou sem que houvesse a necessidade de grandes deformações ou alterações de escala, no entanto, nas ocasiões em que foram necessárias as maiores correções, elas se processaram sem que isso introduzisse novas deformações — como sempre ocorria nas aerofotos inclinadas — e portanto sem prejudicar a montagem das fotos subseqüentes.

Esse mosaico, portanto, sofreu correções, que trouxeram as aerofotos ao nível de verticalidade uma em relação às outras, diferente do mosaico do Anexo 9, que não sofreu nenhuma correção. Disso podemos concluir que, em termos de fotografias aéreas de pequeno formato, se pudéssemos simplesmente eliminar todas as derivações e giros da aeronave, teríamos mosaicos perfeitos.

#### 4.2.7. Obtenção das Coordenadas dos Pontos de Controle em Campo

Para o trabalho de levantamento das coordenadas dos pontos de controle à campo, foram selecionados 17 pontos e calculou-se que uma manhã e uma tarde seriam suficientes para o levantamento destes pontos. No entanto, os trabalhos de campo não ocorreram conforme o planejado. Os levantamentos dos pontos 12, 13 e 14, bem como uma mensuração, foram impedidos pelo alto nível da água da lagoa naquele dia.

A localização dos pontos 15, 16 e 17 foi dificultada pela alteração da vegetação, ocorrida principalmente em função das cheias e não foi possível a identificação dos locais de mensuração programados, havendo então a escolha de um local alternativo, entre duas grandes árvores, próximo ao ponto 16.

Devido a exiguidade de tempo restante, pela série de demoras na localização das áreas, optou-se por deixar de levantar o posicionamento dos pontos de controle 5, 7, 8 e 9. Foram mantidos os locais de mensuração m1, m2, m3 e m5, acrescentando-se um local junto ao ponto 9, com relação à largura da estrada.

Assim, fechou-se o dia, próximo do anoitecer, com 10 pontos levantados de acordo com a metodologia e 5 locais medidos. Somente pretendia-se retornar para novos pontos e medições caso os resultados do georreferenciamento não fossem satisfatórios por falta de novos levantamentos.

Após os procedimentos de correção descritos na metodologia, as coordenadas dos pontos de controle obtidas apresentaram os resultados mostrados na Tabela 2.

TABELA 2: Coordenadas dos pontos de controle levantados, após a correção.

PONTOS DE CONTROLE	COORDENADAS UTM	
	E	N
1	489890	6655083
2	490072	6655057
3	490228	6655100
4	490484	6655085
6	490810	6655031
10	490989	6654539
11	490812	6654498
15	489718	6654279
16	489747	6654504
17	489838	6654707

Foram estabelecidos alguns parâmetros estatísticos para comprovação, ao menos, da teoria básica envolvida. Assim na Tabela 3, apresentamos alguns parâmetros que ajudaram nessa verificação.

TABELA 3: Parâmetros estatísticos extraídos dos registros de dados GPS coletados a campo e sobre um ponto conhecido, para cada ponto de controle.

Pontos de Controle	Desvio Padrão Horizontal dos Dados do GPS de Campo	Desvio Padrão Horizontal dos Dados do GPS Fixo	Erro Horizontal RMS para os Dados do GPS Fixo	Desvio Padrão Horizontal dos Dados de Campo
1	21,8	24,7	45,3	11,6
2	18,8	19,5	31,5	6,0
3	10,0	9,9	14,8	3,8
4	13,3	15,0	16,4	7,6
6	5,5	6,1	10,5	3,1
10	21,4	20,9	21,6	5,2
11	10,1	11,0	17,7	3,8
15	22,1	22,0	23,8	5,8
16	11,6	12,2	26,2	3,9
17	9,8	11,8	39,2	4,5

Como já foi mencionado, a premissa básica é a de que um GPS de campo estaria submetido aos mesmos erros de “SA” que um outro GPS, fixo sobre um ponto conhecido, na mesma fração de tempo e sob a mesma constelação de satélites.

Observando-se os valores da Tabela 3, dos desvios padrão horizontais obtidos para um e outro aparelho GPS, verificou-se que eram muito parecidos. Sabe-se, por óbvio, que uma série de grandes erros introduzidos gera um desvio padrão alto e uma série mínima, um desvio

padrão baixo. Era preciso portanto estabelecer estatisticamente, se o resultado do cálculo dos desvios padrão horizontais dos dois GPS, funcionando de acordo com a premissa básica, guardariam alguma correlação ente si.

Foi utilizado, então, o cálculo estatístico do coeficiente de correlação, através do software da planilha eletrônica nos dados de desvio padrão horizontal dos dois GPS, que se baseava nas seguintes fórmulas:

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (20)$$

onde:

$$-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$$

e:

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y) \quad (21)$$

O resultado do coeficiente de correlação obtido foi igual a 0,985, ou seja, entre os resultados dos desvios padrão horizontais dos dois GPS existe uma altíssima correlação ou correspondência. Dessa forma acredita-se que a premissa básica é confiável e o erro encontrado no GPS fixo poderia ser aplicado na correção dos dados do GPS de campo. A Figura 11 mostra um gráfico que torna melhor a visualização dessa correlação.

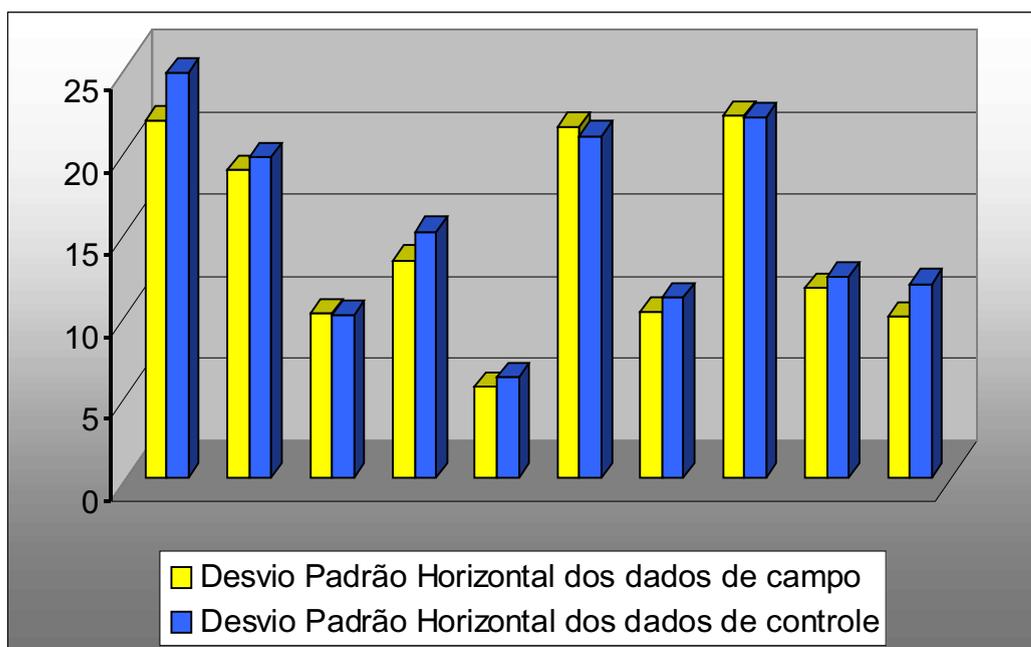


FIGURA 11: Gráfico demonstrativo da correlação entre o desvio padrão horizontal dos dados de campo e o desvio padrão horizontal dos dados de controle.

Aplicou-se novamente o coeficiente de correlação na comparação dos dados de Erro Horizontal RMS para os Dados do GPS Fixo e Desvio Padrão Horizontal dos Dados de Campo Após a Correção (Tabela 3). A idéia era confirmar se os desvios padrão altos encontrados após a correção dos dados de campo foram influenciados pelo maior erro introduzido pela “SA”, uma vez que o erro RMS é o melhor indicador desses desvios propositais de precisão. O coeficiente de correlação nesse caso foi de 0,627. Esse resultado foi considerado significativo apenas à nível de 90% de probabilidade, mas não de 95%, para a hipótese de nulidade (nenhuma correspondência), e assim, embora a correlação seja menor, ainda podemos aceitar a dependência dos dados de campo e da estação fixa.

Numa última aplicação deste coeficiente de correlação, analisamos a correspondência entre o Desvio Padrão Horizontal dos Dados do GPS de Campo e o Desvio Padrão Horizontal dos Dados de Campo Após a Correção (Tabela 3). Pretendia-se com isso verificar uma possível “desvinculação” dos dados após a correção, o que poderia indicar falhas na premissa básica quanto a uma melhoria de acurácia. O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,662, sendo um resultado significativo à nível de 95% de probabilidade, para a hipótese de nulidade.

A simples observação dos desvios padrão horizontais do GPS de campo antes e após as correções, mostra que uma melhoria na precisão do posicionamento foi alcançada. Nada porém pode-se afirmar sobre as condições de acurácia, por não haver parâmetros para isso. Contudo, sabe-se que uma melhoria de precisão em geral “traz” as coordenadas corrigidas para um posicionamento mais próximo da “coordenada verdadeira” do que antes de sua correção.

A precisão obtida na correção aqui realizada somente poderia ser testada após o georreferenciamento dos produtos finais, confrontando-os com os valores das mensurações obtidas à campo e consequentes valores de escala.

#### 4.2.8. Correção Geométrica do Mosaico Base

O resumo da correção geométrica, fornecida pelo software de geoprocessamento, pode ser visto no Anexo 10. O erro RMS obtido foi de aproximadamente 5,4. Como o número de coordenadas X e Y coincide com o número de linhas e colunas, tendo sido utilizada a resolução de 1 metro, o erro provável de localização de um ponto de sua verdadeira posição poderá ser algo em torno de 5,4 metros.

Os erros residuais de cada um dos dez pontos variaram de um mínimo de 0,5 até um máximo de 9,2. Essa amplitude é explicada por deformações inerentes ao processo de montagem do mosaico de aerofotos, uma vez que cada aerofoto apresenta erros particularizados

que exigem correções também particularizadas, surgem portanto diferentes áreas de deformação num mesmo mosaico.

Outro fator de contribuição para a obtenção de erros é a utilização de um modelo de GPS que admite leituras bastante influenciadas pelas “SA”, conforme já mencionado, muito embora as correções realizadas.

Não foram eliminados os pontos com altos erros residuais, em primeiro lugar devido a que esses fatores contribuintes por deformações e erros “SA” não serem passíveis de controle; em segundo lugar pelo fato do baixo número de pontos de controle existentes e; em terceiro lugar pela baixíssima contribuição que a eliminação de pontos traria para melhorar o erro RMS.

Durante o processo de correção geométrica ocorreu uma rotação do mosaico devido ao ajuste para a nova projeção. Esse ajuste não foi previsto com antecedência e como o mapa temático já estava pronto, com base na interpretação dos pares estereoscópicos sobre o mosaico sem correção geométrica, optou-se pela representação das linhas das coordenadas UTM inclinadas, em relação ao padrão geométrico retangular da folha de impressão.

A escolha para a dimensão da grade de coordenadas UTM nessa escala, não considerou apenas a necessidade estética e prática, que previu um gradeamento que permitisse uma medição com menores distâncias e equidistância entre linhas horizontais e verticais, sem que houvesse prejuízos de visualização do mosaico e do mapa por excesso dessas linhas. Por outro lado, considerou-se que uma grade com intervalos de 200 metros tanto no sentido vertical quanto horizontal, incluiria áreas retangulares de 40.000 m<sup>2</sup> ou 4 hectares. Nesse caso, fica fácil traçar visualmente sua subdivisão em quatro retângulos de 1 ha e assim calcular rapidamente e de modo aproximado o tamanho de determinadas áreas.

#### 4.2.9. Determinação da Escala das Aerofotos

O resultado da determinação da escala das aerofotos é mostrada na Tabela 4.

TABELA 4: Resultado da determinação da escala média das aerofotos.

Número- índice da Aerofoto	Mensurações Realizadas à Campo (m)	Mensurações nas Aerofotos (m)	Módulo da Escala
B6	36,70	0,0068	5397
C2	14,70	0,0027	5444
D3	6,10	0,0012	5083
D2	36,70	0,007	5243
A4	13,00	0,0025	5200
ESCALA MÉDIA DAS AEROFOTOS			1 : 5274

As escalas de cada aerofoto foram obtidas de acordo com a fórmula (16). Embora as mensurações precisas à campo, as que foram realizadas sobre as aerofotos são estimadas, no que se refere aos décimos de milímetros, uma vez que inexistente régua graduada para tal precisão.

Na escala média encontrada, cada milímetro equivale a 5 metros e 30 centímetros, aproximadamente, e cada décimo de milímetro a 53 centímetros.

Quanto às escalas encontradas, a diferença do maior para o menor módulo escalar, considerando a mesma medição de 1 milímetro, equivaleria a 40 centímetros. A nosso ver isso coloca a escala média encontrada como representativa para o conjunto de aerofotos obtidas.

É interessante lembrar que a escala prevista para ser atingida no plano de vôo (seção 3.2.1.4.) era de aproximadamente 1:5.333.

#### 4.2.10. Determinação da Escala do Mosaico Base

Os parâmetros e os resultados obtidos para a determinação da escala do mosaico base podem ser vistos na Tabela 5.

TABELA 5: Resultado da determinação da escala média do mosaico base.

Número da Mensuração	Mensurações Realizadas à Campo (m)	Mensurações no Mosaico Base (m)	Módulo da Escala
1	36,70	0,0052	7058
2	14,70	0,0022	6682
3	6,10	0,0010	6100
4	36,70	0,0054	6796
5	13,00	0,0020	6500
ESCALA MÉDIA DO MOSAICO BASE			1 : 6627

Aqui, mais do que no caso das aerofotos, a estimativa dos décimos de milímetro é a grande dificuldade, pois o mosaico possui escala menor e menos resolução para os detalhes.

Assim como no caso da determinação da escala das aerofotos, entende-se ser este resultado bastante representativo para o mosaico, pois na média encontrada, cada milímetro equivale a 6 metros e 60 centímetros de erro, aproximadamente, e cada décimo de milímetro a 66 centímetros. A diferença das escalas de maior e menor módulo encontradas, é de aproximadamente 1 metro, considerada a medição de 1 milímetro.

#### 4.2.11. Georreferenciamento do Mosaico Base e Mapa Temático

A qualidade de definição final dos arquivos gerados pelo software de geoprocessamento é insatisfatória, impedindo a utilização do mosaico resultante da correção geométrica como base para o mapeamento, uma vez que torna-se impossível reconhecer alguns pequenos pontos de interesse no terreno (arroios, pequenos banhados, trilhas, construções, etc.) a partir da tela de vídeo do computador. Isso acontece porque, em primeiro lugar, o software somente aceitava trabalhar com arquivos gerados em 256 cores e, em segundo lugar, os processos de reamostragem que geram o arquivo georreferenciado acabam por gerar uma menor definição de aspectos mínimos da paisagem. No caso do software de geoprocessamento na versão utilizada, as opções de obtenção de um arquivo para exportação com características raster + vector (composição) era ainda mais restritiva, em se tratando da qualidade da definição final, devido a uma nova redefinição de um tipo de arquivo para outro tipo.

Portanto, não sendo possível exportar diretamente para o software de desenho gráfico as informações georreferenciadas que o mosaico base possuía no software de geoprocessamento, a solução foi a de sinalizar previamente as posições geográficas com uma grade de coordenadas e, posteriormente, copiar os pontos de interseção das linhas de coordenadas para uma cópia impressa à laser do mosaico base, transferindo então essa informação para o mosaico base existente no software de desenho gráfico.

Após a transferência destes pontos para o mosaico no programa de desenho, dentro da maior precisão visual possível, estabeleceu-se um cálculo na planilha eletrônica considerando as distâncias entre cada ponto e seu correspondente vizinho na linha e na coluna, sempre à direita e abaixo. Essas distâncias em milímetros, com precisão em milésimos de milímetro, geraram as estatísticas descritas na Tabela 6.

TABELA 6: Dados estatísticos envolvendo as distâncias em milímetros entre os pontos de coordenadas copiados do mosaico base corrigido geometricamente e sobrepostos ao mosaico base no software de desenho gráfico.

Número de Medições	84
Distância Máxima Entre os Pontos (mm)	29,573
Distância Mínima Entre os Pontos (mm)	27,790
Amplitude Total das Distâncias (mm)	1,783
Média das Distâncias(mm)	28,579
Desvio Padrão das Distâncias(mm)	0,353
Intervalo de Confiança com 99% de Probabilidade (mm)	0,099 Entre 28,479 e 28,678

Assim, a grade resultante mostrava diferenças entre linhas e colunas que variavam até 1,8 milímetros. Estas diferenças na grade, embora de pouca monta, não poderiam ser aceitáveis, pois somadas, ocasionariam erros grandes de leitura para tomada de distâncias e cálculo de áreas, além de tornar as leituras confusas. Entendeu-se que seria preferível os erros ocasionados por uma grade posicionada medianamente aos pontos, porém de feições regulares, pois assim ao menos não acumularia erros imprevisivelmente, dependendo do sentido analisado, optando por um erro regular e previsível.

Os erros a que nos referimos aqui foram ocasionados muito menos pela transferência manual dos pontos de um software para outro do que pelas distorções introduzidas pela correção geométrica. Isso já era esperado, porém, observou-se que elas foram muito menores do que o previsto. Esse fato comprova a boa verticalidade das aerofotos obtidas e, por tabela, a excelência da metodologia de correção dos “resíduos” de inclinação na fase de montagem do mosaico.

Após a obtenção da grade regular — conforme procedimentos já referenciados no capítulo sobre a metodologia empregada — utilizou-se o software de planilha eletrônica para estabelecer a distância entre e as coordenadas de tela dos pontos trazidos do software de geoprocessamento e as coordenadas de tela dos pontos formados pelo encontro das linhas e colunas da grade regular, lançando mão para isso, como já foi dito, do teorema de Pitágoras. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7: Quadro demonstrativo das estatísticas relativas às distâncias medidas entre os pontos georreferenciados e a grade regular.

Número de Medições	49
Distância Máxima Entre os Pontos (mm)	0,862
Distância Mínima Entre os Pontos (mm)	0,03
Amplitude Total das Distâncias (mm) (mm)	0,832
Média das Distâncias(mm)	0,386
Desvio Padrão das Distâncias(mm)	0,236
Intervalo de Confiança com 99% de Probabilidade (mm)	0,087 Entre 0,299 e 0,473

O ponto situado na extremidade superior esquerda não foi considerado para efeitos estatísticos, pois sendo o ponto tomado como o inicial para a conformação da grade, tem obrigatoriamente distância em relação a grade igual a zero. Foi também desconsiderado um ponto que apresentava grande discrepância em relação a totalidade das medições, cujos valores não ultrapassaram o máximo de 0,862 mm, sendo que este apresentava o valor de 1,27 mm. Esse

resultado deveu-se a um mau posicionamento do ponto georreferenciado durante o processo de cópia, pois constatou-se a péssima qualidade de definição naquele local, tanto no produto da correção geométrica quanto na impressão à laser do mosaico.

De acordo com as estatísticas pode-se afirmar que a grade regular construída com base nos pontos georreferenciados, pode ser aceita como ferramenta gráfica adequada para o desenvolvimento de cálculos de distâncias, pois, além de estar posicionada a uma distância média muito pequena da grade irregular formada pelos pontos, ela se posiciona medianamente a esta última grade, e não apenas de um ou dois lados dela.

#### 4.2.12. Obtenção da Escala Real do Mosaico Base e do Mapa Temático

Já havia sido estabelecida uma escala para o mosaico base, como sendo de 1: 6.627, considerando as cinco medições realizadas à campo. Todavia, a verdadeira escala a ser considerada tanto para o mosaico quanto para o mapa temático dele resultante, teria de ser fornecida, obrigatoriamente, pela grade regular, pois seria por intermédio desta que as mensurações no mapa haveriam de ser realizadas.

Embora elaborada com uma distância entre linhas de 28,7 milímetros, variando apenas nos centésimos e milésimos de milímetro, seria de supor que bastaria a utilização deste número, em função da distância prevista de 200 metros, para a obtenção da escala real. No entanto, ao se medir o mapa impresso com a grade constatou-se a variação da linha dentro dos 28 mm de distância. Essa variação nos décimos de milímetros talvez se dê em função de uma distorção qualquer de lentes na máquina de xerox à laser.

Em todo o caso foram realizadas 114 medições entre as linhas com a régua comum sobre o mapa temático impresso — com todas as dificuldades inerentes para se “ler” os décimos de milímetros — e concluiu-se uma média de 28,6 mm de distância entre as linhas horizontais e de 28,8 mm entre as linhas verticais. Assim, pode-se estabelecer uma média entre essas duas de 28,7 mm e dessa forma, mesmo com a variação que será verificada sempre que faz-se uma medição, o valor previsto na construção da grade pode ser mantido.

Portanto, considerando uma distância entre linhas na grade regular de 28,7 mm e uma distância real de 200 metros, baseado no georreferenciamento, tem-se para o mosaico base, e conseqüentemente, para o mapa temático uma escala de 1: 6969, aproximadamente.

#### 4.2.13. Verificações da Escala

Uma primeira verificação da validade da escala encontrada para o mapa temático é sua comparação com aquela obtida primeiramente no mosaico base com a ajuda das medições de

campo, já visto resumidamente na Tabela 5. Essa comparação está por sua vez mostrada na Tabela 8, abaixo:

TABELA 8: Comparação entre a escala obtida por meio das medições de campo e aquelas conhecidas através do processo de georreferenciamento.

Medida no Mosaico (m)	Medida Real (m)	Medida na Escala 1: 6627 (m)	Medida na Escala 1: 6969 (m)	Erro na Escala 1: 6627 ( m)	Erro na Escala 1: 6969 ( m)
0,0052	36,70	34,5	36,2	2,2	0,5
0,0022	14,70	14,6	15,3	0,1	- 0,6
0,0010	6,10	6,6	7,0	- 0,5	- 0,9
0,0054	36,70	35,8	37,6	0,9	- 0,9
0,0020	13,00	13,3	13,9	- 0,3	- 0,9
ERRO MÉDIO				0,48	- 0,56

Os cálculos da Tabela 8 demonstram que de qualquer forma os erros são menores do que 1 metro, e assim a escala tem possibilidade de ser aceita como sendo a escala real tanto para o mosaico como para o mapa temático.

Outra forma de verificação foi realizada considerando uma série de mensurações para a obtenção de distâncias entre dois pontos. Algumas distâncias foram tomadas com base no mosaico georreferenciado a partir da tela do computador, no próprio software de geoprocessamento, a partir das coordenadas UTM e cálculo através do Teorema de Pitágoras. Os mesmos pontos foram utilizados para medição de distâncias no mosaico impresso, com base na escala real encontrada. Os pontos mencionados foram aqueles mesmos previstos para serem pontos de controle de campo. Os resultados comparados podem ser vistos na Tabela 9, abaixo:

TABELA 9: Comparação entre distâncias obtidas por mensurações entre diversos pontos realizadas no mosaico georreferenciado, no programa de geoprocessamento, em contraposição àquelas obtidas por medição direta no mosaico impresso.

Número dos Pontos	Distância Através das Coordenadas UTM (m)	Distância Através da Escala 1: 6969 (m)	Diferença Entre as Mensurações (m)
1 e 2	176,4	176,3	0,1
1 e 4	589,0	585,4	3,6
1 e 6	894,6	903,2	8,6
1 e 11	1091,8	1087,2	4,6
1 e 15	820,4	812,6	7,8
6 e 4	317,0	322,0	5,0
6 e 9	409,9	411,9	2,0
6 e 17	1014,8	1015,4	0,6
6 e 14	1277,8	1277,4	0,4

As distâncias obtidas de uma e outra forma são perfeitamente correlacionáveis, tendo em vista a obtenção da grade regular a partir da grade georreferenciada. Entretanto, lembramos: que essas mesmas informações foram copiadas da tela para um mosaico impresso e daí recopiadas para o mosaico no programa de desenho; que não foram considerados nesse transporte as deformações decorrentes da correção geométrica; e que as mensurações se deram em dois substratos totalmente diferenciados, virtual e em papel. Como a correlação manteve-se em ambas as medições, pode-se uma vez mais ponderar favoravelmente sobre a precisão da metodologia adotada desde a obtenção das aerofotos até o produto final.

Uma última verificação foi adotada testando-se a possibilidade de encontrar alguns pontos em campo a partir de informações obtidas no mosaico georreferenciado.

Assim, no dia anterior a ida para a REBIO, coletou-se diretamente da tela do computador, do mosaico georreferenciado, as coordenadas UTM de três pontos. Uma vez na unidade de conservação, buscou-se com o auxílio do GPS localizar estes pontos, como se não fossem conhecidos.

É preciso entender que a localização de um ponto através do recurso de um GPS de navegação jamais poderá ser precisa a ponto do operador ser colocado exatamente sobre ele. Acima de todas as imprecisões inerentes aos GPS, citadas na revisão bibliográfica, está a alteração constante do erro “SA”, de modo que, virtualmente falando, o ponto a ser localizado muda constantemente de posição, dentro de um círculo de erro que pode chegar a 100 metros. Assim, o GPS nos leva até próximo ao local, necessitando de aerofotos ou base cartográfica impressa que nos dê indicações corretas do ponto.

Portanto, para que se dispusesse de um parâmetro concreto que relacionasse a distância de precisão entre o GPS e o ponto, optou-se pela escolha de três pontos em locais diferentes ao lado da trilha de interpretação e após a indicação de proximidade do ponto, dada pelo aparelho, prosseguia-se pela trilha até que a seta indicadora da tela do GPS mostrasse o ponto direita ou esquerda, o que poderia acontecer antes ou depois que se houvesse ultrapassado o ponto, ou até mesmo muito próximo dele. A partir do momento em que isso ocorresse, fazia-se um cálculo aproximado da distância até o ponto real. O resultado, calculado dentro do método acima descrito, variou entre 20 e 30 metros.

Resolveu-se por fim, fazer uma única tomada de coordenadas com o GPS — desta feita sem correção — naqueles mesmos pontos escolhidos, como teste da possibilidade de coletas de pontos de interesse no solo e posterior marcação da existência e posicionamento dos mesmos sobre o mapa temático. A Tabela 10, mostrada abaixo, apresenta os resultados comparativos destes posicionamentos.

TABELA 10: Quadro comparativo entre o posicionamento obtido do mosaico georreferenciado para três pontos no solo e os posicionamentos tomados posteriormente com o auxílio do GPS em uma única medição, nesses mesmos três pontos.

Pontos	Coordenadas UTM Obtidas do Mosaico Georreferenciado		Coordenadas UTM Obtidas em Campo com o GPS		Distância Entre as Duas Coordenadas (m)
	E	N	E	N	
1	489896	6655073	489889	6655081	10,6
2	490069	6655056	490056	6655058	13,2
3	490797	6655033	490795	6655033	2,0

#### 4.2.14. A Resolução Fotográfica

Os avanços tecnológicos para a produção de emulsões para os filmes fotográficos amadores, segundo pode-se constatar junto a firma fabricante do filme utilizado nos levantamentos aéreos realizados, igualam-se aos filmes de reconhecimento aéreo usados em fotogrametria há pelo menos vinte anos atrás. Isso permite utilizar com tranqüilidade os filmes amadores mais comuns encontrados no mercado.

No caso do filme de 35 mm utilizado, o chamado “RMS Difuso de Granulação” era 4, o que se traduz numa granulação considerada extremamente fina e era utilizada no início da década de 80, em fotogrametria, para a obtenção de grande detalhamento. Para se ter uma idéia, um filme dessa época, de RMS igual a 9, era comercializado como “High Definition Aerial” e usado para reconhecimento de alta altitude.

Ainda segundo o fabricante, seu “Poder de Resolução” sob baixo contraste (1,6:1) resulta numa leitura de 63 linhas/mm, enquanto que sob um alto contraste (1000:1) a leitura é de 125 linhas/mm. Ainda lançando mão da comparação com os antigos filmes utilizados em fotogrametria, seu desempenho é melhor do que a grande maioria daqueles que eram comercializados.

Com esses dados e a utilização da fórmula (10), pode-se estabelecer a GRD (“ground resolution distance”) para as aerofotos obtidas no levantamento da REBIO Lami, utilizando ainda a escala encontrada de 1:5.274 para esse levantamento. Os resultados para ambos os contrastes resultaram em uma resolução teórica de 4 a 8 centímetros de distância no solo. Isso pode ser parcialmente comprovado pela observação das aerofotos C1 e C2, onde é possível se distinguir com o uso do estereoscópio, uma pessoa se deslocando por uma rua de chão batido e o sol à pino, ocasionando um excelente contraste entre sua sombra e a reflectância do solo.

#### 4.2.15. Custos

Nesta seção a presente metodologia será analisada com relação aos seus custos, de forma a avaliar seu desempenho nesta área. Em primeiro lugar, consideram-se duas hipóteses: a primeira é a de que o órgão gerenciador da unidade de conservação não possua nenhum dos materiais necessários para a aplicação da metodologia, e a segunda é a de que ele possua os materiais necessários.

Não serão computados aqui os valores de horas/homens no trabalho de computação e nem nos trabalhos de campo, pois considera-se que o órgão gerenciador dessas unidades de conservação, seja federal, estadual ou municipal, possa disponibilizar funcionários e capacitá-los a aplicação dessa metodologia, sem custos, portanto, de terceirização dos serviços.

No caso de uma implantação a partir do zero, necessita-se adquirir todos os equipamentos e softwares previstos nas seções 3.1.1 e 3.1.2, com exceção da aeronave, que será alugada e do SVA. Para os equipamentos de obtenção das aerofotos e trabalhos de campo pode-se estipular em cerca de R\$2.200,00 (dois mil e duzentos Reais) o custo de aquisição. Para a parte de hardware e software, considerando equipamentos e programas mais atuais do que aqueles apresentados nas relações, podemos orçar sua aquisição como algo em torno de R\$8.080,00 (oito mil e oitenta Reais).

Para o cálculo do custo do SVA existe um complicador, qual seja, o custo de mão-de-obra para a sua confecção e planejamento, uma vez que ele não foi construído por terceiros. Porém, podemos considerar nesse caso a possibilidade do órgão estipular um convênio de cooperação com alguma universidade que possua um centro de tecnologia para planejar e executar a construção de um SVA baseado no protótipo aqui apresentado. É do interesse de ambos o desenvolvimento e experimentação do aparelho e o órgão poderia entrar com o financiamento ou a aquisição somente do material. O valor que gasto para a confecção do protótipo, foi cerca de R\$700,00 (setecentos Reais). O preço dos materiais para a construção de um SVA em convênio não deverá exceder muito esse valor.

No cálculo do custo da missão aérea incluiu-se o preço da hora-vôo da aeronave utilizada para o levantamento da REBIO Lami, uma das mais caras aeronaves para este tipo de serviço. São computados no custo também os preços do filme e revelações utilizados para a missão de aerofotolevanteamento da REBIO, bem como a inclusão de algum recurso financeiro para gastos relativos a impressão à laser. Com o preço atualizado em relação à época do levantamento, chegamos a um orçamento de R\$420,00 (quatrocentos e vinte Reais).

Portanto, para o levantamento aéreo da REBIO Lami, por exemplo, teríamos entre investimento inicial em equipamentos e missão aérea um gasto orçado em cerca de R\$11.400,00 (onze mil e quatrocentos Reais). Considerando-se uma área aproximada de 5 km<sup>2</sup>, para essa

unidade de conservação, teríamos o valor de R\$2.280,00 / km<sup>2</sup> (dois mil duzentos e oitenta reais por quilometro quadrado).

Caso o órgão gestor já possuísse o equipamento necessário, então seus gastos se limitariam àqueles com as missões de levantamento aéreo e a construção do SVA, o que significa inicialmente cerca de 10% a 16% (R\$1.140,00 a R\$1.824,00) do total que seria investido, ou R\$228,00 a R\$365,00 / km<sup>2</sup>, e posteriormente de 4% a 11% (R\$456,00 a 1.254,00) desse total, ou R\$91,00 a R\$251,00 / km<sup>2</sup>, por missão aérea, considerando um avião de hora-vôo menos cara e outro mais cara e suas autonomias de vôo e acrescentando-se um custo médio de filmes e revelações.

O valor médio dos custos, informados pelas empresas de aerofotogrametria, para a obtenção de um recobrimento na REBIO Lami com FACs coloridas e na escala de 1:5.000, foi de R\$1.980,00 / km<sup>2</sup> (mil novecentos e oitenta reais por quilometro quadrado).

Desse modo, embora o valor inicial de investimentos necessários seja alto em relação à aerofotogrametria, ele se justifica pelo barateamento dos custos e economia realizada posteriormente.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. Conclusões

A metodologia, proposta nos objetivos desse trabalho de dissertação, pode ser considerada em seu todo perfeitamente factível e de fácil implantação pelos órgãos gerenciadores de unidades de conservação que se dispuserem a criar esta ferramenta de trabalho em seu quadro funcional.

Analisados por partes, seus elementos componentes demonstraram perfeita adequação ao método de trabalho para a obtenção das aerofotos e mapeamento temático das áreas protegidas. Algumas dessas partes, como o aparelho verticalizador, a utilização do GPS em vôo e suas correções à campo, o georreferenciamento e a obtenção do mapa temático puderam ser baseadas em experiências encontradas na literatura científica. Entretanto, sua equiparação, como um todo, com outras metodologias, para comprovação de suas possibilidades e demais contribuições de caráter científico, ficou prejudicada pela ausência de literatura que se dedique especificamente à aplicação das FAPFs em unidades de conservação, com as finalidades aqui propostas. O mesmo deu-se com a mosaicagem, que baseou-se exclusivamente na experiência de trabalho.

O Suporte Verticalizador de Aerofotos, ou SVA, embora na condição de protótipo, teve o mérito de estabelecer a possibilidade de se obter bons resultados na construção dos mosaicos e, posteriormente, o uso dos mesmos como base georreferenciada para a obtenção de mapas temáticos. Esse sucesso deveu-se em grande parte a correção de giros e desvios da aeronave em tempo real, durante a obtenção das aerofotos.

Também o GPS se apresentou como uma grande solução tecnológica nas fotografias aéreas de pequeno formato, permitindo o planejamento dos vôos com segurança e máximo aproveitamento, exigindo apenas modelos de aparelho que permitam posicionamentos mais precisos e captura dos sinais dos satélites em maiores velocidades de vôo.

Os levantamentos aéreos, realizados dentro de uma metodologia proposta, ocorreram com erros dentro daqueles esperados, porém seus resultados podem ser considerados

ótimos e acima das expectativas. Se melhoras devam ser consideradas, estas limitam-se principalmente aos aparelhos e acessórios utilizados.

A exemplo da montagem do mosaico cujos procedimentos procurou-se facilitar ao máximo explicando o mais detalhadamente possível a sua montagem, todos os procedimentos que envolvem os softwares utilizados, pressupõem um aprendizado anterior ou um conhecimento de suas operacionalizações por mínimo que seja, de forma que possa ser reproduzida esta metodologia. E assim, conclui-se que a aplicação da mesma envolve uma dose de preparação teórica específica como pré-requisito.

O conjunto final de produtos oriundos da metodologia, e em particular o mapa temático georreferenciado, possui uma precisão, demonstrada a partir dos resultados estatísticos obtidos, que pode ser considerada suficiente para o planejamento e gerenciamento de uma unidade de conservação, ou em outras palavras, permite a obtenção de um controle espacial adequado às finalidades propostas neste trabalho.

Considera-se importante a abordagem da metodologia com relação aos custos financeiros a serem empregados na sua consecução, que muito embora tenha elevado orçamento inicial, pode a partir de sua implantação, gerar benefícios consideráveis com baixa remuneração, desde que o órgão gerenciador utilize os serviços de seu próprio pessoal, qualificando-o para os trabalhos de sobrevôo ou de campo, sem que se recorra a contratações externas.

## 5.2. Recomendações

Sem a pretensão, de detalhar tecnicamente todos os tipos possíveis de aplicabilidade dentro de cada área de levantamento e/ou monitoramento dos recursos naturais, pois a elaboração e implementação, de um plano de manejo é complexo e multidisciplinar, seguem-se algumas recomendações para a utilização da metodologia, deixando a cada profissional dentro de sua área específica, a tarefa de descobrir novos meios de aplicação.

Essas aplicações acontecem na maioria das vezes a partir do mapeamento temático, englobando informações essenciais para a compreensão e o reconhecimento da área em estudo. Sua composição pode variar, não somente em função da estrutura da paisagem existente sobre a superfície, mas também em relação aos objetivos que se pretende atingir com a utilização do mapa. De qualquer forma, as informações sobre uso da terra, vegetação, vias de comunicação e hidrografia são fundamentais e devem ser a base do mapeamento.

### 5.2.1 Geologia, Geomorfologia e Solos

Algumas possibilidades de aplicação da metodologia:

- a) mapeamento de ocorrência de erosões;
- b) mapeamento de solos;
- c) mapeamento de áreas de exploração mineral e com potencial de exploração;
- d) mapeamento da localização de lapas, grutas e cavernas;
- e) mapa de geologia.

As áreas representando a ocorrência de erosões são plotadas sobre o mosaico base, através de coordenadas colhidas no local com GPS ou visualmente, a partir da observação do par estereoscópico.

Pode ser então formado um banco de dados que envolva informações como época de ocorrência, o tipo da erosão, suas causas prováveis, declividade, geologia local, tipos de solos e outros dados julgados de interesse. Os cruzamentos dessas informações pode resultar em um mapa de áreas com um alto potencial de erosão. Esse mapa pode auxiliar muito no planejamento da unidade, em decisões quanto a construção e localização de infra-estruturas diversas, abertura de trilhas interpretativas e estradas, locais de visitação, mirantes, estudo da capacidade de carga, etc.

Caso se preveja a necessidade de recuperação planejada das áreas de erosão, ou mesmo o acompanhamento da evolução da regeneração natural da vegetação, vôos de baixa altitude, i. e. grande escala, podem ser realizados sobre o local utilizando aerofotos verticais ou inclinadas, dependendo dos objetivos finais.

A existência de áreas com jazidas minerais em unidades de conservação a serem implantadas, constitui-se num elemento importante de mapeamento, devido às intervenções antrópicas e alterações que envolvem os ecossistemas a serem protegidos, inclusive no planejamento de proteção da unidade, prevenindo invasões. A recuperação de áreas mineradas pode ser acompanhada da mesma forma que foi descrita no caso das erosões.

Com relação a localização de lapas, grutas e cavernas, pela importância que assumem como ponto de atração turística, e por outro lado, por apresentarem-se algumas vezes como local de relevância arqueológica/histórica, é importante o mapeamento dos locais de ocorrência destas formações. Os objetivos finais são a proteção integral, pela sua inclusão em zonas intangíveis ou a adequação à visitação, através de melhoramentos de acesso.

### 5.2.2. Hidrografia e Hidrologia

Algumas possibilidades de aplicação:

- a) mapa de hidrografia;
- b) mapeamento hidrológico.

Diversos temas abrangendo estudos hidrológicos de uma determinada bacia ou parcela de uma bacia hidrográfica, podem ser reunidos em um mapa temático, sempre que houver interesse da UC. Nesse caso, mais que em qualquer outro, a abrangência da área se dá em função das limitações de altura de vôo da aeronave, bem como a quantidade de aerofotos necessárias para se abranger grandes bacias.

De qualquer modo, no estudo de zonas limitadas, principalmente no entorno da UC, onde a variação da qualidade hídrica melhor justifica o emprego da metodologia, podem ser mapeadas informações tais como: situação da vegetação ao longo de corpos d'água; poluição hídrica e fontes poluidoras; vazão; áreas inundáveis; ocorrência de erosões (barrancos, falésias, etc.); direção de drenagem; batimetria; estudo de estuários e deltas; evolução de linhas de dunas móveis; plotagem de nascentes, saltos, corredeiras, cachoeiras, lajeados, bancos de areia, balneários, etc.

### 5.2.3. Vegetação

Possibilidades de aplicação:

- a) mapa de unidades fisionômicas e suas zonas de transição;
- b) mapeamento da ocorrência de espécies específicas nativas ou exóticas;
- c) mapeamento de alterações na cobertura vegetal original;
- d) mapeamentos diversos com finalidades de pesquisa.

As alterações na cobertura vegetal podem ser ocasionadas por desastres naturais ou pelo homem. Essas alterações são importantes de serem registradas, seja na área ou no entorno da unidade. No caso das ações antrópicas ela propõe meios para se chegar a soluções de contenção das pressões pelo uso da terra sobre os ecossistemas, no caso de queimadas, desmatamentos, agricultura, criação de animais, etc.

Em alterações naturais, possibilita-se o acompanhamento periódico da regeneração ou, quando se fizer necessário, de programas de recuperação através de replantios ou eliminação gradativa, como no caso de reflorestamentos em UC.

Alguns exemplos das diversas possibilidades de uso da metodologia em pesquisas, sempre acompanhada de trabalhos de campo, são: dimensionamento aproximado de copas por indivíduo florestal passível de identificação em grandes escalas; ferramenta auxiliar em estudos de fitossociologia; porcentagem de cobertura do dossel florestal; interação vegetação versus geomorfologia (ou tipos de solos); etc.

#### 5.2.4. Fauna

Nesse caso, as possibilidades de aplicação estão restritas ao uso dos mosaicos como suporte para a marcação de observações e avistamentos de fauna realizados à campo por funcionários da unidade, pesquisadores ou colaboradores, como é geralmente previsto nos planos de manejo.

As observações feitas ao longo dos anos gerarão um banco de dados importante para nortear decisões de planejamento e gerenciamento da unidade, como, por exemplo, proporcionar educação ambiental aos visitantes pela observação de habitats, planejamento de trilhas interpretativas, orientação de pesquisas, estabelecimento de rotas migratórias dentro da área e entorno, ou mesmo evitar o fluxo de pessoas em áreas habitadas por espécies da fauna de alguma forma sensíveis ou em períodos de acasalamento ou procriação.

Além disso, é possível se prever a localização de uma espécie da fauna pela sua interação com determinadas espécies vegetais previamente mapeadas, ou pela localização de habitats preferenciais à uma determinada espécie, como por exemplo furnas, grutas e cavernas.

Um outro potencial, desta vez sem o uso da presente metodologia e com aerofotos inclinadas ou semi-verticais, seria o censo populacional. Esse método é usado atualmente pelo CEMAVE para o controle de populações de aves de banhados e zonas costeiras, utilizando um observador em um avião monomotor que realiza uma contagem expedita de um bando de aves, tendo sido previamente treinado para esse tipo de estimativa estatística.

#### 5.2.5. O Uso Atual da Unidade de Conservação

Aqui será produzido, basicamente, um ou vários mapas – dependendo do uso atual da terra no local – destacando as ações antrópicas conflitantes com o manejo da área ou que necessitem de uma normatização de uso. Alguns exemplos de usos da terra passíveis de serem mapeados são:

- a) obras e construções existentes, como casas, estradas, trilhas, esgotos, fossas, poços, depósitos de lixo, barragens artificiais, gasodutos, linhas de transmissão elétrica, etc.;
- b) áreas agro-silvo-pastoris, como agriculturas intensivas ou extensivas, pomares, reflorestamentos, criação de animais diversos, áreas com utilização de defensivos químicos, viveiros, introdução de espécies exóticas, etc.;
- c) locais de grande procura para visitação, assim como áreas com paisagens relevantes, balneários, “camping” selvagem, estacionamentos não regulamentados de veículos e “trailers”, áreas de reuniões e encontros de grandes grupos de pessoas com diversas finalidades, esportes diversos, recreação, etc.;

- a) zonas de observação e autuação de irregularidades, como mineração, extrativismo, caça, pesca, etc. com a mesma forma de mapeamento já especificado anteriormente para a fauna, gerando graficamente uma ferramenta de orientação para decisões à nível de fiscalização e proteção da área da unidade.

#### 5.2.6. Sítios Arqueológicos ou Históricos

O mosaico obtido com as aerofotos pode permitir a obtenção de um mapa temático da localização de sítios arqueológicos e antropológicos a medida que vão sendo descobertos, mais uma vez utilizando o mesmo tipo de mapeamento de fauna. Assim, podem ser gravadas no mapa as áreas de ocorrência de cerâmicas e outros utensílios, pinturas rupestres, cavernas, sambaquis, fósseis de animais pré-históricos, etc.

O mesmo se dá para no caso de sítios de importância histórica, em sua delimitação e na plotagem de ruínas e restos de construções.

O mapeamento nesse caso também é importante para se estabelecer os acessos até estes locais, evitando a abertura de um sem número de trilhas. Os locais citados são referenciados com auxílio de um GPS e suas localizações transpostos para o mapa base, podendo ser estabelecida uma ligação entre os diversos locais e um banco de dados.

#### 5.2.7. Situação Fundiária da Unidade de Conservação

Embora a utilização de uma carta topográfica digitalizada e georreferenciada sirva como base para a confecção de um mapa da situação fundiária da UC, com os cantos das propriedades marcados com GPS de precisão e/ou informações cadastrais, uma vez que o mosaico da unidade tenha sido montado para todas as outras possibilidade já apresentadas, não vemos por que não utiliza-lo.

De todo modo, o mapa base é indiscutivelmente mais atualizado do que a carta topográfica, desde que recente, e permite reatualizações temporais para controle de ações antrópicas e benfeitorias em geral.

Aqui é imprescindível a utilização de um banco de dados aliado ao mapa de propriedades, facilitando o acesso imediato a informações completas a respeito da área a partir do próprio mapa.

As informações necessárias à confecção do mapa de situação fundiária e banco de dados, considera todas aquelas obtidas de cartórios, levantamentos cartográficos contratados, informações locais, conhecimentos de funcionários e colaboradores e outras.

#### 5.2.8. Análise de Desastres Naturais

De um modo geral, as maiores incidências de desastres naturais nas UC e entorno se dão em função do fogo, através de combustão espontânea ou provocados por raios em tempestades elétricas e, por outro lado, a água, através de inundações periódicas.

Um mapeamento de ocorrência de fogos naturais, entretanto, é possível de ser feito apenas com finalidades históricas e de pesquisa para a UC, pois é difícil sua prevenção através de locais de maior ocorrência, visto que não se restringe a apenas uma determinada zona dentro de uma região e muitas das vezes é parte integrante dos ecossistemas locais.

Já no caso das inundações periódicas, o mapeamento de suas ocorrências pode influenciar sobremaneira no planejamento da UC, principalmente no que se refere a localização de infra-estruturas e direcionamento da visitação, entre outras providências.

#### 5.2.9. Zoneamento da Unidade de Conservação

Os mapas temáticos relacionados até o momento formam uma base muito eficaz para que, somadas as idas à campo, a equipe multidisciplinar planejadora da unidade, em conjunto com sua coordenação, possam tomar decisões no intuito de justificar o zoneamento da UC.

As informações trazidas pelos diversos mapas gerados podem ser transpostos para uma base cartográfica em um programa de SIG e tratados sob a forma de “layers” ou planos de informação, cujos cruzamentos ou operações algébricas entre si fornecem novos mapas contendo informações específicas sobre uma conjunção de características de uma determinada área. Por exemplo, o cruzamento de planos de informação sobre declividades, inundações, hidrografia, solos, visitação, qualidade paisagística, vegetação, fauna, situação fundiária, áreas arqueológicas ou históricas, alterações antrópicas e outros, pode ajudar na seleção de áreas a serem introduzidas em uma ou outra zona.

#### 5.2.10. Proteção e Vigilância

É um tipo de trabalho que envolve uma grande gama de utilizações das fotografias aéreas de pequeno formato, desde a presente metodologia até aquelas passíveis de serem realizadas com aerofotos semi-verticais ou inclinadas.

Uma primeira utilização de trabalho envolvendo as aerofotos verticais, seria com relação a existência de estradas, linhas de colonização, vilas, balneários e similares, localizados próximos aos limites da unidade. A idéia é a de fazer um primeiro mapeamento e

posteriormente, em prazos preestabelecidos, renova-lo periodicamente, constatando a tempo qualquer expansão indevida para dentro da unidade.

Outra função seria a de utilizar tanto a estereoscopia das fotos quanto módulos do programa de SIG para analisar e localizar pontos de construção de torres de incêndio. Esses módulos indicam graficamente qual a extensão visível de uma paisagem a partir de determinado ponto de altitude elevada predeterminado.

De maneira similar ao que foi dito sobre cruzamento de planos de informação no item anterior, isto também pode ser empregado para a localização de áreas com maior necessidade de implantação de postos de vigilância. Para isso, informações gráficas sobre fauna e flora, ocorrência de irregularidades e penetração humana na área devem ser utilizadas. Pode-se também selecionar e marcar locais para a colocação de placas de aviso.

Com relação às aerofotografias semi-verticais ou inclinadas, suas aplicações possibilitam uma resolução temporal muito menor, pois além de envolverem ações de vigilância aérea onde a utilização de aerofotos verticais é prescindível, é um trabalho de fiscalização preventivo ou ao menos de grande agilidade na constatação de irregularidades. Alguns exemplos podem ser citados, como: ações de desmatamento; queimadas; extração de areia; penetração de animais domésticos na área; vigilância dos limites da unidade, principalmente quando constituídos por linhas secas; vigilância de barcos pesqueiros; etc.

#### 5.2.11. Investigação e Pesquisa

Outro grande campo de utilização das fotografias aéreas de pequeno formato. Cada profissional, em sua área de atuação, por certo terá muitas idéias próprias de suas aplicabilidades à medida em que for ganhando mais experiências com as técnicas envolvidas. Muitas das aplicações descritas até o momento podem se encaixar na idéia de pesquisa e investigação, ou ao menos, servir como ferramenta auxiliar na obtenção de respostas ou na consecução de objetivos.

#### 5.2.12. Monitoramento

Aqui a resolução temporal pequena é imprescindível. É uma atividade cujo conteúdo se faz muito próximo ao da proteção e vigilância da unidade, na realidade sobrepondo-se algumas vezes. Por exemplo, enquanto a vigilância constata a existência de desmatamentos, degradação ambiental por força da visitação ou ocorrência de incêndios provocados, o monitoramento se preocupará em acompanhar a recuperação das áreas, a evolução da vegetação cessadas as atividades antrópicas e proporcionar conhecimentos sobre a capacidade de suporte de uma área.

#### 5.2.13. Interpretação Ambiental

Por interpretação ambiental entenda-se todas as ações que pretendam introduzir ao visitante da unidade noções da importância dos ecossistemas locais e de sua preservação, através de atividades que traduzam de forma simples e inteligível seu funcionamento.

Nesse aspecto, muitas das aerofotos, ou mosaicos, utilizados para os mapeamentos da área podem ser selecionadas, ampliadas e apresentadas em exposições ou no centro de visitantes como ferramenta auxiliar no processo de interpretação ambiental.

Outra possibilidade seria o procedimento de utilização de planos de informação cruzados no SIG para seleção de locais e planejamento de traçados de trilhas de interpretação.

A utilização do processo citado no item de vigilância para a localização de pontos de instalação de torres de incêndio, pode ser aqui utilizado para a construção de mirantes e análise paisagística.

#### 5.2.14. Área de Entorno da Unidade de Conservação

Muitos dos possíveis tipos de mapeamentos temáticos citados até o momento podem ser repetidos para utilização na área de entorno da unidade, buscando-se atingir os objetivos de manejo previstos para ela.

Em termos gerais podemos citar como exemplo as atividades de mapeamentos de fatores abióticos e bióticos, o uso atual da terra, fiscalização e monitoramento. Nesta última atividade, principalmente no caso de áreas de preservação permanente e corredores de fauna.

A metodologia é muito importante no caso de grandes obras próximas aos limites da unidade e que de alguma maneira possam afetar os seus ecossistemas, mesmo que indiretamente, no monitoramento de fontes poluidoras e queimadas, bem como no licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, conforme previsto por Lei.

#### 5.2.15. Programas de Desenvolvimento Integrado

Esse programa do plano de manejo da UC lida com os problemas relativos a sua implantação e, dentre outras coisas, das instalações e edificações a serem feitas. Para a realização dessas obras uma série de cuidados devem ser tomados de forma a se obter o menor impacto possível nos ecossistemas com a implantação das mesmas.

Devem ser estabelecidos inicialmente os locais para a implantação das obras, utilizando-se dos mapas temáticos já mencionados, tais como abertura de estradas de acesso,

trilhas, torres de incêndio, mirantes, postos de vigilância e controle, estacionamentos, áreas de piquenique, poteiros, estrebarias, portões de acesso, locais de recreação, atracadouros, sistemas de captação de água, campos de pouso, sanitários, postos de coleta de lixo, garagem, depósito de combustível, habitações, alojamentos, laboratórios, pontes, etc.

Feito isso detalha-se o local de edificação através de aerofotos verticalizadas na maior escala possível e compatível com o planejamento do tipo de obra que irá ser implantada. O resultado normalmente deverá ser a obtenção de um pequeno mosaico de alta definição da área que servirá como mapa base para o planejamento da obra por profissionais capacitados. Assim, nesse novo mapa base da área a ser desenvolvida poderão ser lançados temas úteis como declividades, geologia, profundidade e características físicas de solos, vegetação (detalhada), direção de escoamento superficial de águas pluviais, pontos de captação de água e outros aspectos correlatos que proporcionarão o planejamento de localização adequada de obra e processo de integração paisagística.

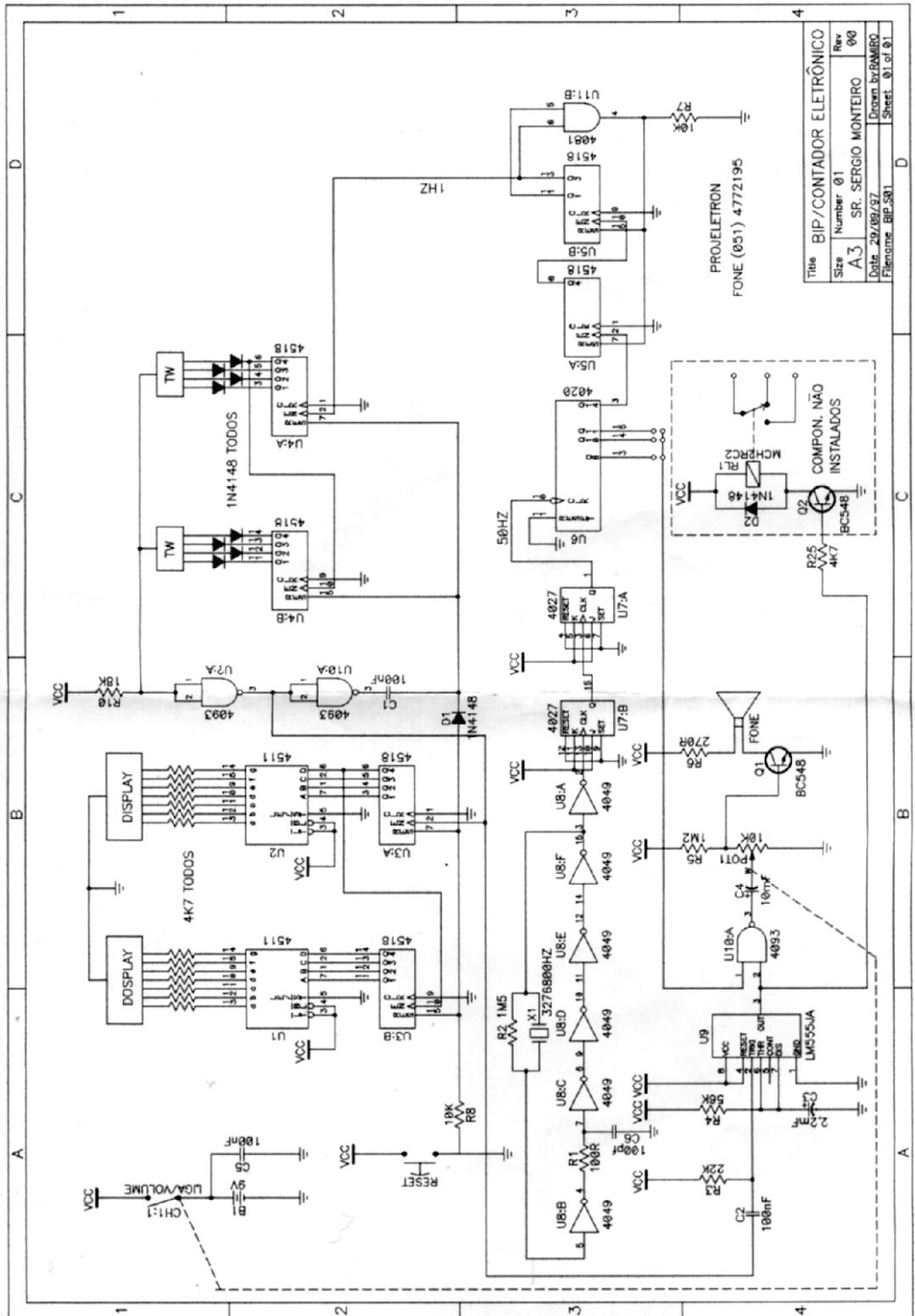
## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. AMARAL, Ricardo F. do; SANTOS JR., Olavo; MENDONÇA, Francisco J. B.; et al. A Utilização de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato no Monitoramento da Falésia de Tabatinga, na Costa do Rio Grande do Norte. In: GIS BRASIL 97 – III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO (1997: Curitiba). **GIS Brasil 97 em CD-ROM**. Curitiba: Sagres, 1997. CD-ROM.
02. BIGGS, P. H.; PEARCE, C. J.; WESTCOTT, T. J. GPS Navigation for Large-Scale Photography. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v. 55, n. 12, p. 1737-1741, Dec. 1989.
03. BONJORNO, Regina A.; BONJORNO, José R.; BONJORNO, Valter; RAMOS, Clinton M. **Física, 2º grau: mecânica, eletricidade, termologia, ondulatória, óptica geométrica**. São Paulo: FTD, 1988.
04. BRASIL; Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. **Roteiro Técnico para a elaboração de Planos de Manejo em Áreas Protegidas de Uso Indireto**. Brasília: 1992.
05. \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Diretoria de Ecossistemas. Departamento de Unidades de Conservação. **Critérios de Seleção e de Priorização de Unidades de Conservação a Serem Contempladas pelo Programa Nacional de Meio Ambiente**. Brasília: 1993.
06. CORRÊA, Fredmar. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica – Roteiro para o entendimento de seus objetivos e seu Sistema de Gestão – Caderno nº 2**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1996.
07. DISPERATI, Attilio Antonio. **Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná – UFPR, Fundação de Pesquisas Florestais – FUPEF, 1991.
08. FUNÇÃO E PROBLEMÁTICA DOS PARQUES E RESERVAS EQUIVALENTES NO BRASIL E NA ALEMANHA, 1986, Porto Alegre. **Seminário**. Porto Alegre: AEB; Instituto Goethe / ICBA, 1987.
09. GILBERT, Chuck . Performance Sob Coberturas Florestais. Traduzido por Suely B. Laskowski. **Fator GIS**, Curitiba, a. 5, n. 18, p. 52-53, mar./abr. 1997a.
10. \_\_\_\_\_. Erros em GPS – O Que Você Pode e o Que Não Pode Corrigir. Traduzido por Suely B. Laskowski. **Fator GIS**, Curitiba, a. 5, n. 19, p. 62-63, mai./jun. 1997b.

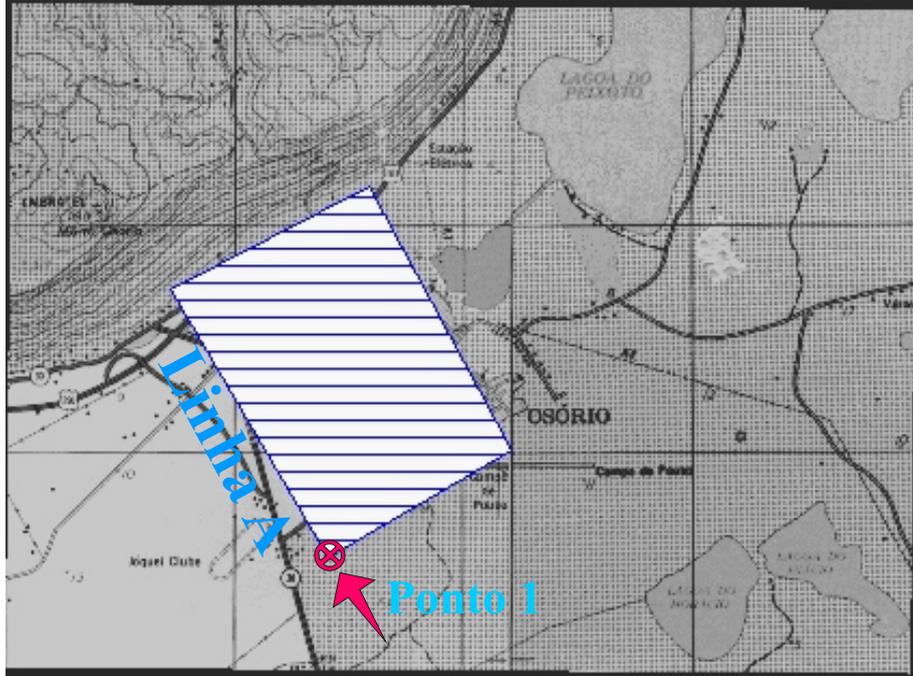
11. \_\_\_\_\_. O Melhor Tipo de Dado GPS. Traduzido por Suely B. Laskowski. **Fator GIS**, Curitiba, a. 5, n. 21, p. 54-55, nov./dez./jan./97-98.
12. LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralf W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2. ed. Canada: John Wiley & Sons, 1987.
13. MARCHETTI, Delmar A. B.; GARCIA, Gilberto J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Livraria Nobel, 1986.
14. MARSHALL, Grant. Caracterizando a Precisão dos Receptores de Mapeamento Pathfinder da Trimble. In: GIS BRASIL 97 – III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO (1997: Curitiba). **GIS Brasil 97 em CD-ROM**. Curitiba: Sagres, 1997. CD-ROM.
15. McCARTHY, Jack; OLSON JR., Charles E.; WITTER, John A. Evaluation of Spruce-Fir Forests Using Small-Format Photographs. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v. 48, n. 5, p. 771-778, May. 1982.
16. McKINNEY, R. G. Photographic Materials and Processing. In: **Manual of Photogrammetry**. 4<sup>th</sup> ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980. p. 305 – 366.
17. MONICO, João Francisco Galera; CAMARGO, Paulo de Oliveira; SILVA, Élcia Ferreira da. Integração GPS de Navegação e RBMC no Posicionamento e Cálculo de Áreas: Análise dos Resultados. In: GIS BRASIL 97 – III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO (1997: Curitiba). **GIS Brasil 97 em CD-ROM**. Curitiba: Sagres, 1997. CD-ROM.
18. NEEDHAM, Ted D.; SMITH James L. Consequences of Enlarging 35-mm Aerial Photography. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v. 50, n. 8, p. 1143-1144, Aug. 1984.
19. PERNÍA, Elvecio; JURGENSON, Otto; OSORIO, Arturo. Sistemas Aerofotográficos de Pequeno Formato en Aplicaciones Forestales. **Revista Forestal Venezolana**, [s.l.], n. 38, p. 25-42, 1994.
20. PESSOA, Luciano Montenegro da Cunha. **GPS – Fundamentos**. Curitiba: Sagres, 1997a. Apostila de curso – GIS Brasil 97 – III Congresso e feira para usuários de geoprocessamento.
21. \_\_\_\_\_. Efeitos que Degradam a Precisão do GPS. **Fator GIS**, Curitiba, a. 5, n. 17, p. 28-29, jan./fev. 1997b.
22. \_\_\_\_\_. Desvendando o Sinal GPS. **Fator GIS**, Curitiba, a. 5, n. 18, p. 44-45, mar./abr. 1997c.
23. PORTO ALEGRE. Lei nº 4097 de 31 de dezembro de 1975. Autoriza o Departamento Municipal de Habitação a transferir ao Município de Porto Alegre, e este a receber, o domínio de uma área de terras localizada no lugar denominado Lami e dá outras providências. In: Cópia xerográfica do Processo nº 40916/74 da Prefeitura Municipal de Porto Alegre – Secretaria do Governo Municipal, folhas 264 e 265.

24. PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, Secretaria Municipal do Meio Ambiente – SMAM. **Reserva Biológica do Lami**. Porto Alegre: [s.d.]. Folheto.
25. QUINTÃO, Ângela Tresinari Bernardes. **O Patrimônio Natural nas Relações do Homem com a Natureza**. Brasília: DN/IBDF, 1983.
26. SANTOS, Marcelo Carvalho dos. **Integração GPS / GIS**. Curitiba: Sagres, 1997. Apostila de curso – GIS Brasil 97 – III Congresso e feira para usuários de geoprocessamento.
27. SILVA, Lauro Leal da, **Ecologia: Manejo de Áreas Silvestres**. Santa Maria: MMA, FNMA, FATEC, 1996.
28. VERONESE, Valdir Francisco; LINS, Hildeberto Biserra; FERREIRA, Maria Clara. O Uso de GPS para Correção Geométrica de Imagens de Satélite: Análise Comparativa. In: GIS BRASIL 97 – III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO (1997: Curitiba). **GIS Brasil 97 em CD-ROM**. Curitiba: Sagres, 1997. CD-ROM.
29. WARNER, William S. Evaluating a Low-Cost, Non-Metric Aerial Mapping System for Waste Site Investigators. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v. 60, n. 8, p. 983-988, Aug. 1994.

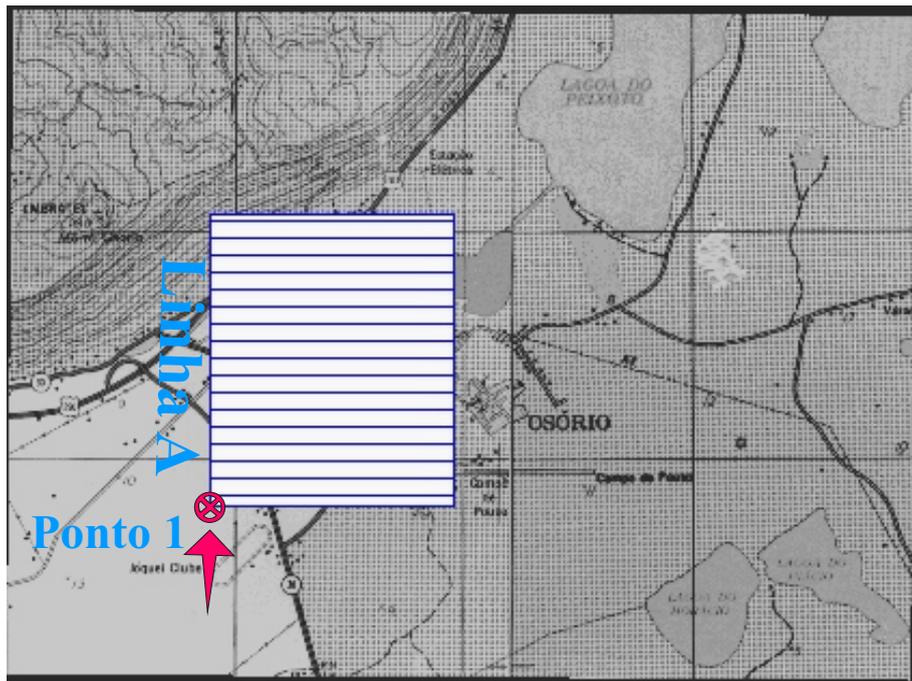
# ANEXO 1



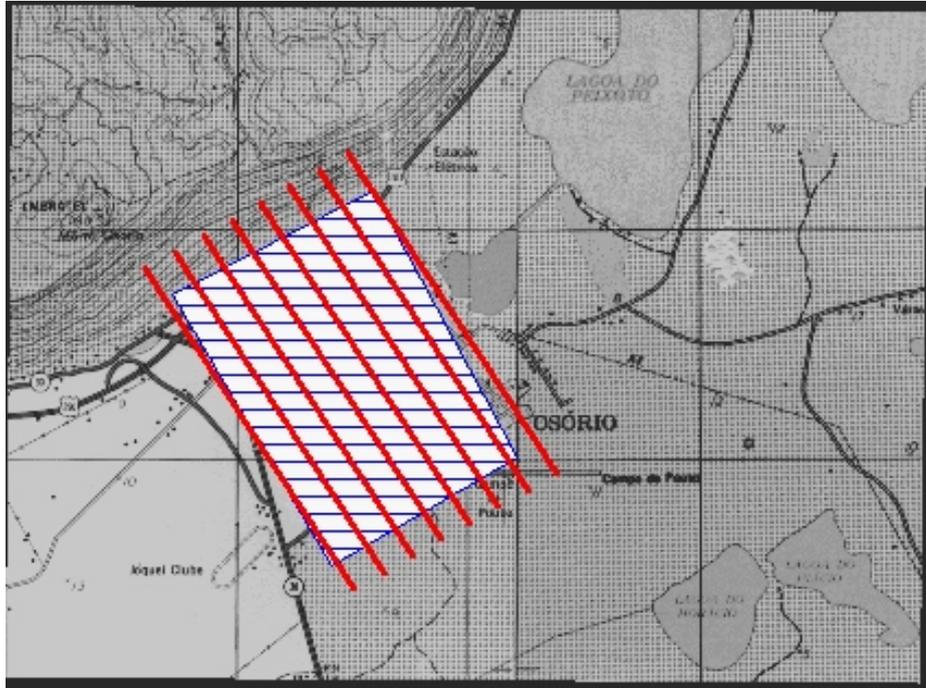
## ANEXO 2



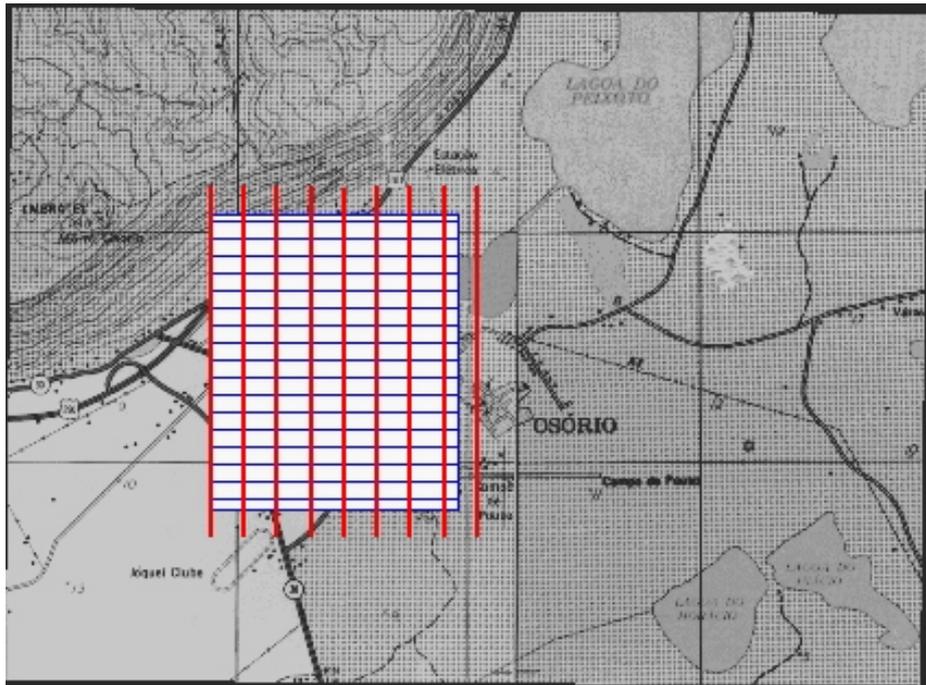
Exemplo de duas áreas de interesse para recobrimento aéreo, sendo na figura acima com orientação "inclinada" e abaixo com orientação "vertical", marcadas por meio de arquivos vetoriais em um SIG, sobre uma parte de uma carta topográfica previamente georreferenciada. Estão marcadas também as opções do ponto 1e, portanto, a posição de entrada e localização da primeira linha de voo.



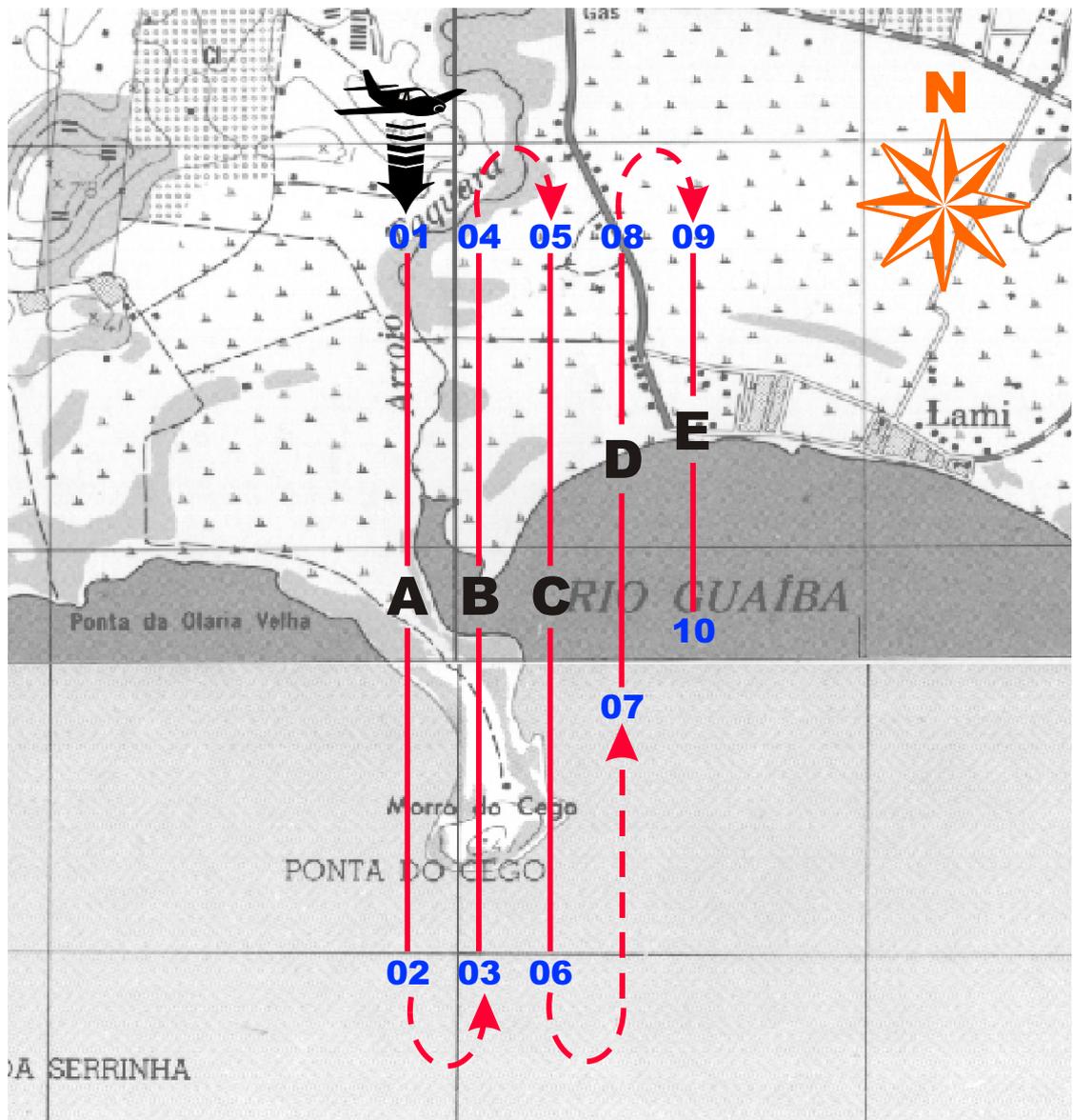
## ANEXO 3



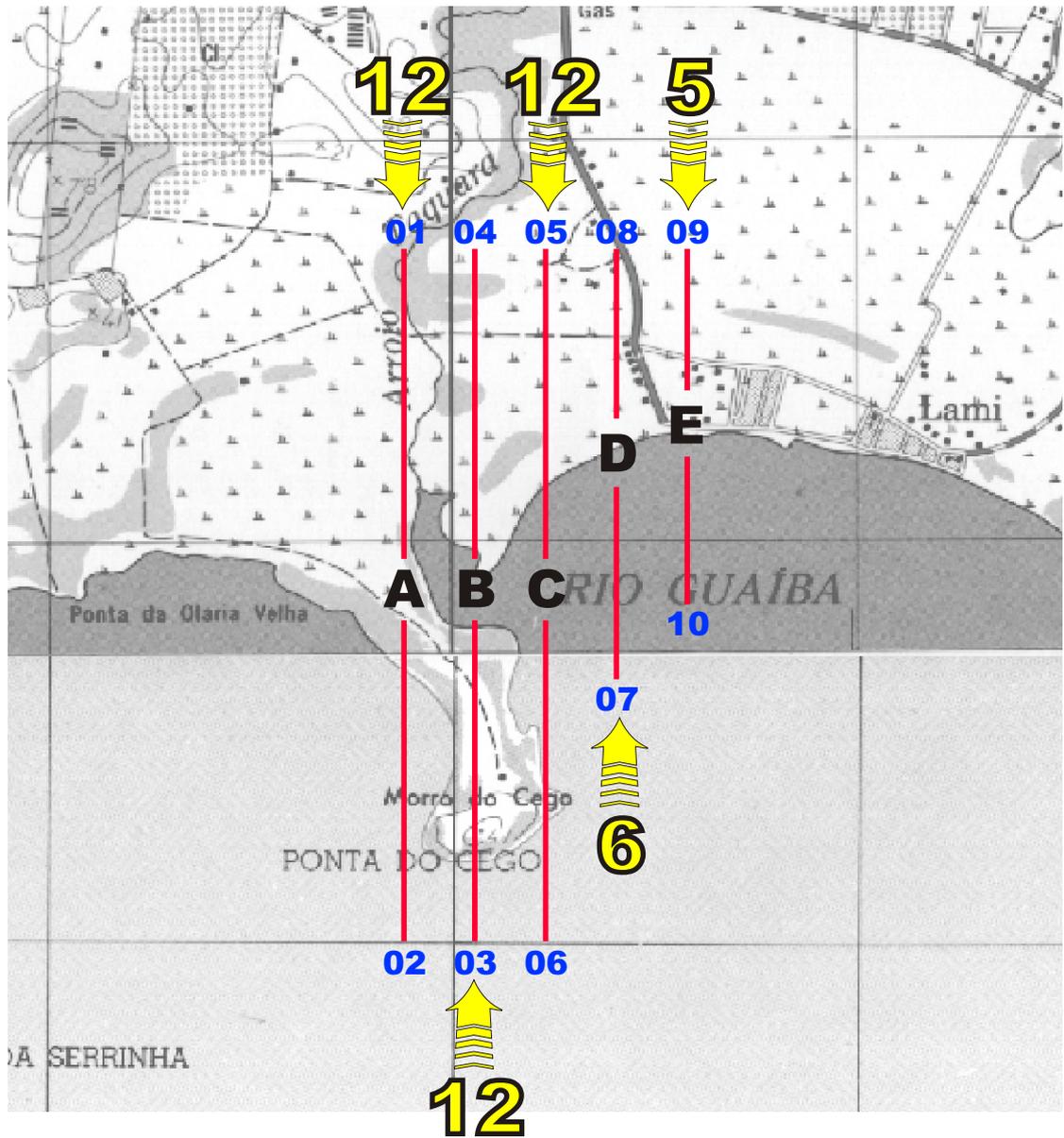
As mesmas áreas previstas no Anexo 2, após a determinação das coordenadas dos pontos iniciais e finais das linhas no Plano de Vôo e sua marcação através de arquivo vetorial linear em um SIG.



# ANEXO 4



# ANEXO 5



## ANEXO 6



## AEROFOTOÍNDICE

## RESERVA BIOLÓGICA DO LAMI

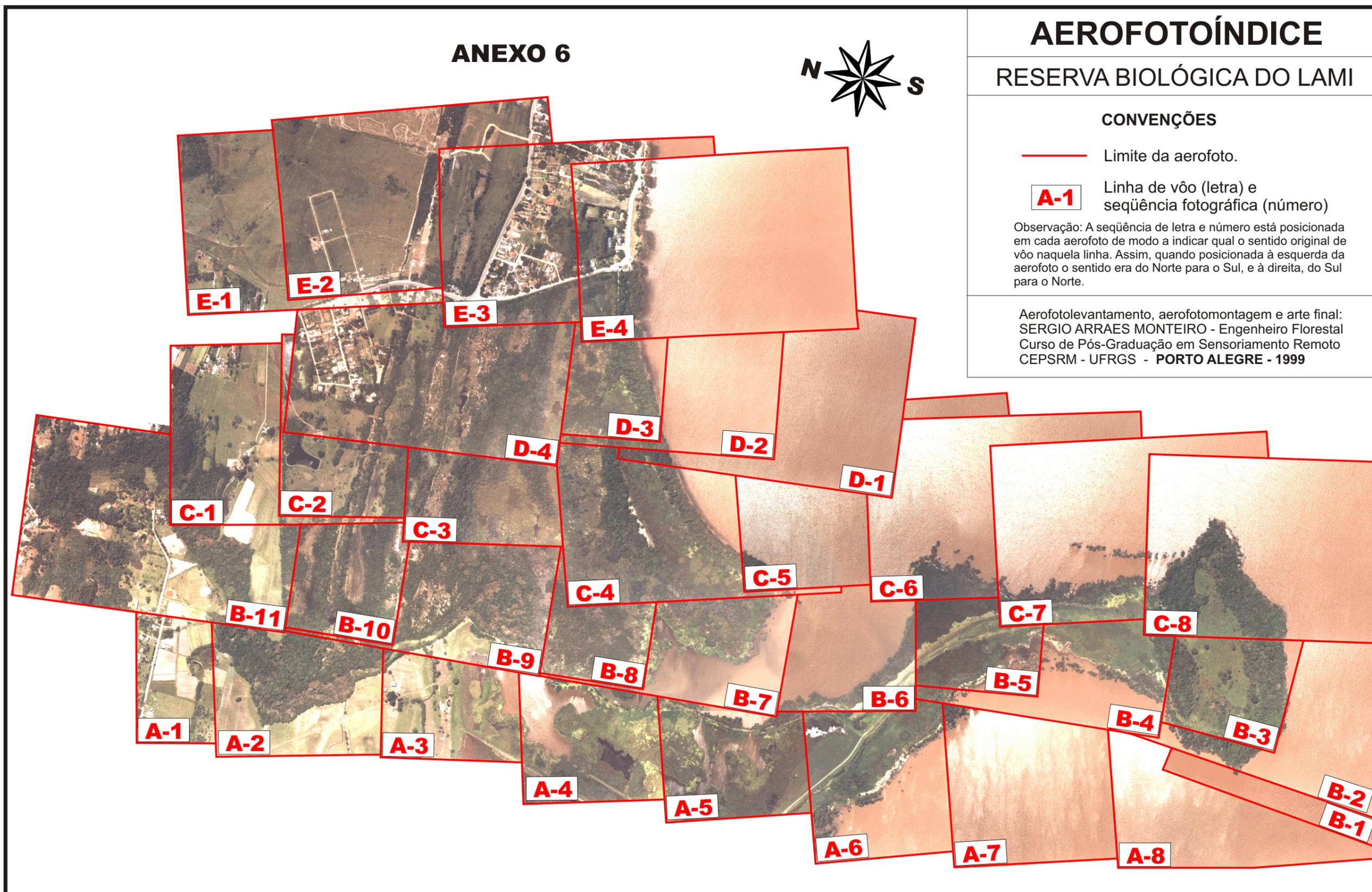
## CONVENÇÕES

— Limite da aerofoto.

**A-1** Linha de vôo (letra) e seqüência fotográfica (número)

Observação: A seqüência de letra e número está posicionada em cada aerofoto de modo a indicar qual o sentido original de vôo naquela linha. Assim, quando posicionada à esquerda da aerofoto o sentido era do Norte para o Sul, e à direita, do Sul para o Norte.

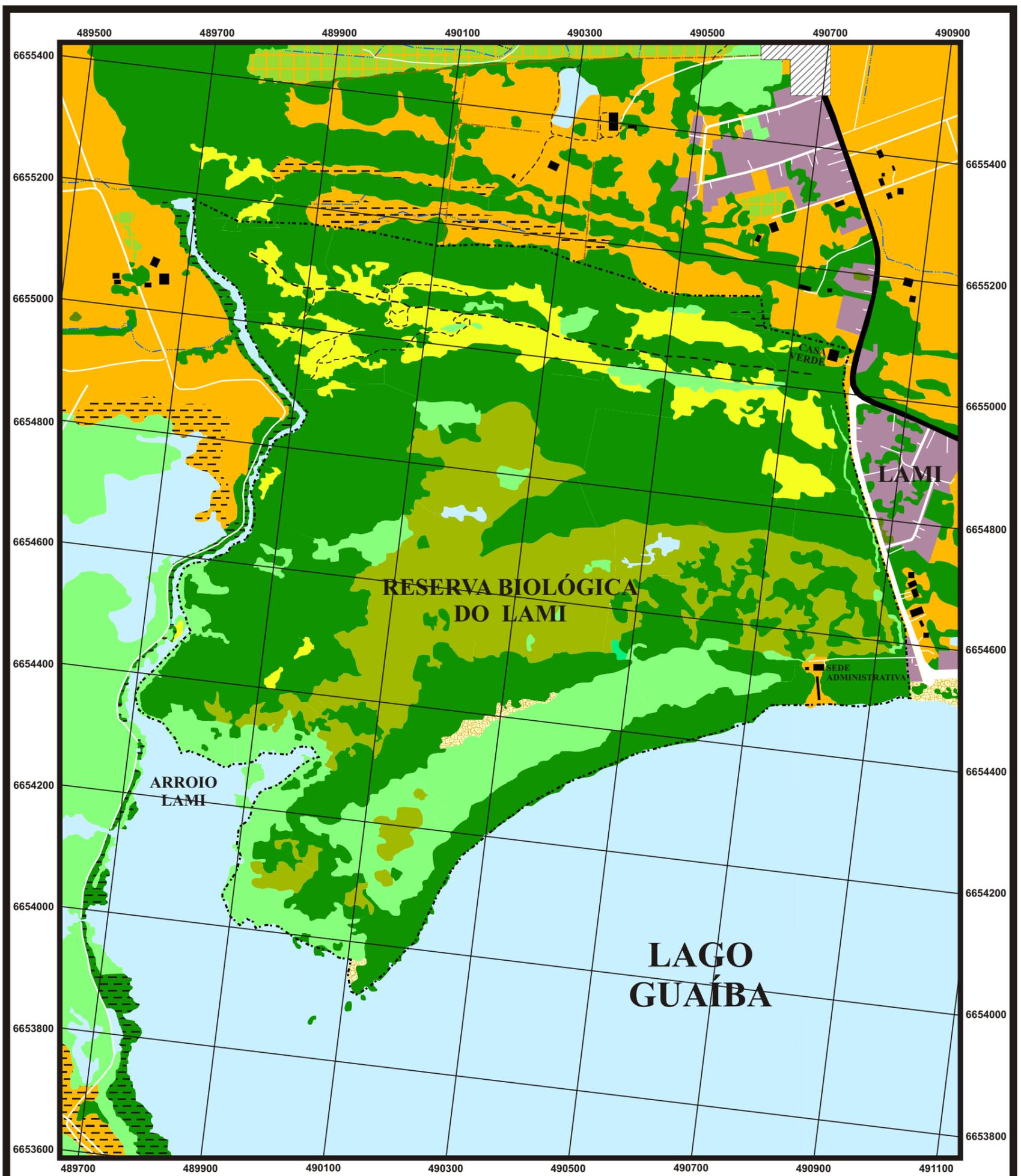
Aerofotolevantamento, aerofotomontagem e arte final:  
SERGIO ARRAES MONTEIRO - Engenheiro Florestal  
Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
CEPSRM - UFRGS - PORTO ALEGRE - 1999



**ANEXO 7****MOSAICO DE AEROFOTOS****RESERVA BIOLÓGICA DO LAMI**

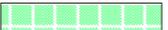
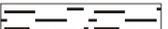
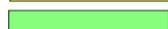
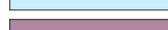
Mosaico montado a partir de fotografias aéreas de pequeno formato obtidas no dia 30 de outubro de 1998. Aerofoto-levantamento e aerofoto-montagem por SÉRGIO ARRAES MONTEIRO - Engenheiro Florestal Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto CEP SRM - UFRGS - Porto Alegre - 1999

ESCALA APROXIMADA: 1:9.150



**RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DO LAMI  
MAPA TEMÁTICO DE OCUPAÇÃO DO SOLO**

CONVENÇÕES DE CORES E SÍMBOLOS

	Formação Florestal		Lavora ou Pomar
	Campo com Predomínio de Ações Antrópicas		Áreas Inundáveis
	Campo com Predomínio de Formações Naturais		Rodovia sem Revestimento
	Banhado		Rodovia com Revestimento Asfáltico
	Banhado Arbustivo		Área sem Recobrimento Aerofotográfico
	Areia		Caminho / Trilha
	Água		Construções Isoladas
	Aglomerado Urbano		Limite da REBIO
			Drenagem Artificial
			Cercas

Projeção Universal de Mercator - Datum Horizontal: Córrego Alegre - MG  
 Origem da quilometragem UTM "Equador e Meridiano 51° W Gr." acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.  
 Levantamento realizado à partir do mosaico de fotografias aéreas de pequeno formato obtido em 30 de novembro de 1998.  
 Aerofotolevantamento, aerofotomontagem, aerofotointerpretação e arte final :  
 SÉRGIO ARRAES MONTEIRO - Engenheiro Florestal - Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - CEPSRM - UFRGS  
 PORTO ALEGRE - 1999

ESCALA APROXIMADA  
 1 : 6969

**ANEXO 9****MOSAICO DE AEROFOTOS**

Vista Aérea Parcial da Cidade de Osório - RS

Mosaico montado a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. Aerofoto-levantamento e aerofoto-montagem por SÉRGIO ARRAES MONTEIRO - Engenheiro Florestal  
Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto  
CEPSRM - UFRGS - Porto Alegre - 1997.

Mosaico utilizado apenas para teste do SVA. Sem determinação de escala.



## ANEXO 10

```

file title   : mosageo resampled
data type    : byte
file type    : binary
columns      : 1771
rows         : 2321
ref. system  : utm-22s
ref. units   : m
unit dist.   : 1.0000000
min. X       : 489418.0000000
max. X       : 491189.0000000
min. Y       : 6653379.0000000
max. Y       : 6655700.0000000
pos'n error  : 5.3599067
resolution   : 1.0000000
min. value   : -34
max. value   : 249
value units  : unspecified
value error  : unknown
flag value   : 0
flag def'n   : no data
legend cats  : 0
Lineage      : File resampled from mosageo
Lineage      : Control points used in the transformation :
Lineage      :
Lineage      :           Old X           Old Y           New X           New Y
Residual
Lineage      : -----
-----
Lineage      :   363.425900  1282.265000  489890.000000  6655083.000000
5.993549
Lineage      :   511.463600  1239.589000  490072.000000  6655057.000000
1.490227
Lineage      :   653.833200  1262.594000  490228.000000  6655100.000000
2.002360
Lineage      :   875.556300  1218.585000  490484.000000  6655085.000000
2.781619
Lineage      :  1142.937000  1142.854000  490810.000000  6655031.000000
9.186355
Lineage      :  1258.481000   696.715900  490989.000000  6654539.000000
3.820652
Lineage      :  1099.280000   675.472900  490812.000000  6654498.000000
4.147519
Lineage      :   120.030100   610.792900  489718.000000  6654279.000000
7.416664
Lineage      :   169.032300   787.622100  489747.000000  6654504.000000
8.123895
Lineage      :   272.604100   961.298000  489838.000000  6654707.000000
0.450296
Lineage      :
Lineage      : Overall RMS =      5.359907
Lineage      :
Lineage      : RMS Error is expressed in input image units. With low RMS
errors, be
Lineage      : careful that an adequate sample exists (eg. 2-3 times the
mathematical min).

```