

FERNANDO LUÍS DLUGOSZ

**USO DA TÉCNICA DE LEVANTAMENTO AÉREO EXPEDITO
CONVENCIONAL E DIGITAL PARA O MONITORAMENTO DO USO E
COBERTURA DA TERRA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal.

Orientador: **Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot**
Co-Orientadora: **Dra. Maria Augusta Doetzer Rosot**

CURITIBA

2010



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 843

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Fernando Luís Dlugosz* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**USO DA TÉCNICA DE LEVANTAMENTO AÉREO EXPEDITO CONVENCIONAL E DIGITAL PARA O MONITORAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

Dr. Yeda Maria Malheiros de Oliveira
Embrapa-Florestas
Primeiro examinador

Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho
Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO
Segundo examinador

Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador

Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador

Dr. Nelson Carlos Rosót
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 29 de setembro de 2010.

Setsuo Iwakiri
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
João Carlos Garzel Leodoro da Silva
Vice-coordenador do curso

À memória de meus avôs maternos, Aleixo e Rosalina, e
meus avós paternos, Valério e Eva, pessoas que
eternamente viverão em meu coração.

À minha esposa, Mariângela, e ao meu filho, Luís Filipe
Ao meu pai Francisco e à minha mãe Irene

Dedico

AGRADECIMENTOS

Um trabalho só pode ser considerado concluído, a partir do momento que compreendemos a velha máxima de que “ninguém faz nada sozinho”. Então aqui expresso os meus agradecimentos.

A Deus, que sempre me acompanhou, por toda a proteção e amparo nos momentos de dificuldades, e por permitir que pelos caminhos por onde passei sempre encontrasse pessoas de bem.

Ao Professor Dr. Nelson Carlos Rosot, pela orientação, incentivo e interesse em auxiliar na condução do trabalho e, também, por não abandonar o barco e sempre remar junto comigo contra a maré.

À Pesquisadora da Embrapa Florestas Dra. Maria Augusta Doetzer Rosot, pelo aceite de coorientadora, pelo valioso incentivo em todas as etapas do trabalho, principalmente nos momentos finais, além do enorme carinho e afeto.

À Pesquisadora da Embrapa Florestas Dra. Yeda Maria Malheiros de Oliveira, pelas memoráveis sugestões, disponibilidade de tempo e pela verdadeira amizade construída durante todos esses anos.

À Pesquisadora da Embrapa Florestas MSc. Marilice Cordeiro Garrastazu, por todo o seu carinho, paciência, empenho e esforço, além da dedicação para superar as dificuldades na operação do equipamento e ajuste da técnica, que muitas vezes parecia uma grande incógnita indecifrável.

Ao Mestre em Agronomia e Analista da Embrapa Florestas, Joel Penteadó Jr. pelo apoio e repasse de experiências na coleta de dados durante o aerolevanteamento.

Ao Governo do Estado do Paraná, por intermédio do Serviço Autônomo PARANACIDADE, pela cessão das imagens de satélite e dos resultados do mapeamento temático referentes à área de estudo.

À empresa Aerosat, através do Diretor Técnico e Engenheiro Civil Peterson Martinski e ao Engenheiro Cartógrafo Maycon J. Ganassin pelo apoio e orientação no repasse dos dados e informações de base para o trabalho.

Ao Serviço Florestal Americano, pela cessão de equipamentos e pelas valiosas orientações durante a execução do trabalho, especialmente a Erik Johnson, a Rusty Rhea, a Charlie Schrader-Patton e a Bryan Howell.

À Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL e a Companhia Campolarguense de Energia – COCEL pela disponibilização de material complementar da base de dados.

À Engenheira Florestal MSc. Juliana da Luz, pelo repasse de material de grande valia para elaboração da revisão de literatura, mas também pela imensa torcida para o término da tese.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, em especial Dr. Franklin Galvão, Dr. Carlos Vellozo Roderjan, Dra. Yoshiko Saito Kuniyoshi, Dr. Julio Eduardo Arce e Dr. Sebastião do Amaral Machado, pela sua grande dedicação no repasse de conhecimentos e por sua amizade e respeito.

À coordenação do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, por permitir a realização do doutorado.

Aos secretários da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, David Teixeira de Araújo e Reinaldo Mendes de Souza, pela atenção e prontidão no atendimento às minhas solicitações.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por conceder bolsa de estudos que veio a dar suporte financeiro para a realização do curso.

Aos funcionários da Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira Tânia de Barros Baggio e Agrinaldo Rodrigues de Lima pela amizade e bom atendimento oferecido durante todo o tempo de estudos nessa instituição.

Aos membros da banca examinadora: Dra. Yeda Maria Malheiros de Oliveira, Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho, Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano e Dr. Nelson Yoshihiro

Nakajima, por suas sugestões e críticas construtivas, que contribuíram para a melhora do meu trabalho.

À Professora Célia Luzzi, por me receber com grande carinho em minha primeira atuação como docente, e por sua compreensão no momento da finalização deste trabalho.

Ao colega e amigo Professor MSc. Carlos Eduardo Sauer, pelo apoio e agilidade no repasse das atividades aos alunos, mas principalmente pela compreensão e amizade.

Aos colegas professores do Colégio Estadual Paulo Leminski que torceram por mim para a realização desse trabalho.

A todos os meus alunos por compreenderem as minhas ausências na ocasião final da minha tese.

Aos meus amigos Rogério, Vivian e Arthur, por sempre compartilhar os momentos de alegria da nossa vida.

À minha família, por todo apoio e incentivo recebido nas conquistas profissional e pessoal.

Ao meu pai, Francisco Dlugosz e a minha mãe, Irene Dlugosz, por terem me concedido o dom da vida, por toda sua preocupação e dedicação em sempre nos dar o melhor e, também, por terem proporcionado a possibilidade de estudar e de me aprimorar profissionalmente.

À minha querida esposa Mariângela, que passou a fazer parte da minha vida por ocasião do doutorado, por todo amor e carinho recebido, e também por sua dedicação em sempre me ajudar a alcançar meus ideais e vencer as dificuldades.

Ao meu filho Luís Filipe por toda a alegria que tem proporcionado à minha vida, pelas manifestações de satisfação das minhas presenças e iguais manifestações de insatisfação das minhas ausências. Além de ter paciência e aguardar a finalização do trabalho do papai para vir a esse admirável mundo novo.

*Nosso planeta é um espécime solitário na grande e envolvente escuridão cósmica.
Na nossa obscuridade, em toda essa vastidão, não há nenhum indício
que ajuda possa vir de outro lugar para nos salvar de nós mesmos.
A Terra é o único mundo conhecido até agora que sustenta vida.
(...)*

*Por isso temos a responsabilidade de tratarmos melhor uns aos outros e
de preservar e amar o único lar que nós conhecemos... esse pálido ponto azul!*

Carl Edward Sagan

O futuro dependerá daquilo que fazemos no presente.

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DO PARANÁ.....	5
2.1.1 Floresta Ombrófila Mista.....	8
2.1.1.1 Floresta Ombrófila Mista – Formação Aluvial.....	9
2.1.1.2 Floresta Ombrófila Mista – Formações Montana e Alto-montana.....	10
2.1.2 Campos.....	10
2.2 ESTÁGIOS SUCESSIONAIS.....	11
2.3 AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO.....	13
2.3.1 Imageamento Orbital.....	15
2.3.1.1 O Sistema SPOT 5.....	16
2.3.1.2 Dados da <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i> (SRTM).....	21
2.3.2 Aerofotogrametria e Aerolevantamentos.....	21
2.3.2.1 Levantamento Aéreo Expedito – LAE.....	23
2.3.2.1.1 Histórico do LAE.....	24
2.3.2.1.2 Descrição da técnica de LAE.....	24
2.3.2.1.3 Características operacionais da técnica LAE.....	25
2.3.2.1.4 Operações posteriores ao levantamento aéreo.....	26
2.3.2.1.5 O Levantamento Aéreo Expedito na detecção de danos florestais.....	26
2.3.2.1.6 Levantamento Aéreo Expedito para a determinação da acuracidade temática.....	29
2.4 O LEVANTAMENTO AÉREO EXPEDITO DIGITAL – LAED.....	30
2.4.1 Custo <i>versus</i> Benefício da Técnica de LAE e LAED.....	34
2.5 ATUALIZAÇÃO DE BASE TEMÁTICA PARA O MONITORAMENTO.....	36
2.5.1 Nível de Estratificação Temática e Área Mínima de Mapeamento.....	37
2.5.1.1 O sistema de projeção UTM.....	39
2.6 AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE TEMÁTICA.....	41
2.6.1 Fontes de Erro em Cartografia Temática.....	41
2.6.2 Precisão, Exatidão e Avaliação da Acuracidade.....	42
2.6.3 Erro Gráfico.....	44
2.6.4 Determinação da Exatidão Global.....	44

2.6.5	Coeficiente <i>Kappa</i>	46
2.6.6	Coeficiente de Concordância <i>Tau</i>	48
2.7	SISTEMA DE AMOSTRAGEM.....	49
2.7.1	Definição das unidades amostrais.....	50
2.7.2	Fontes de dados de referência.....	52
2.7.3	Processos de amostragem.....	54
2.7.4	Intensidade de amostragem.....	57
2.7.5	Distribuição e alocação das unidades amostrais.....	60
2.8	MAPEAMENTO TEMÁTICO E MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DO PARANÁ.....	61
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	65
3.1.1	Aspectos Históricos.....	66
3.1.2	Fatores Biofísicos.....	67
3.1.3	Importância Ecológica	69
3.2	MATERIAIS.....	70
3.2.1	Imagens e Dados Auxiliares.....	70
3.2.2	Equipamentos e Programas Computacionais.....	71
3.3	METODOLOGIA.....	72
3.3.1	Compilação e Complementação da Base Cartográfica e Temática	73
3.3.1.1	Carta Campo Largo (base cartográfica).....	73
3.3.1.2	Diretrizes e protocolos adotados para a execução do mapeamento temático em escala 1:50.000	74
3.3.1.3	Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE).....	75
3.3.1.3.1	Geração de classes de sombreamento.....	75
3.3.2	Adaptação da Técnica de LAED para o Monitoramento da Cobertura Florestal e Avaliação da Acuracidade de Mapeamento Temático em Escala 1:50.000.....	76
3.3.2.1	Sistema de amostragem	77
3.3.2.2	Equipamentos.....	79
3.3.2.3	Padronização de códigos de anotação para as classes temáticas.....	80
3.3.2.4	Teste do sistema digital em solo.....	82
3.3.2.5	Elaboração do Plano de Vôo.....	82
3.3.2.6	Execução do aerolevanteamento.....	83
3.3.3	Processamento dos Dados do Vôo.....	84
3.3.4	Avaliação da Acuracidade Temática	84
3.3.5	Verificação da Discrepância entre o Mapa Temático e o Terreno.....	85
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.1	ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DO LAED NA ÁREA DE ESTUDO.....	87
4.1.1	Reconhecimento da Área em Campo e por Levantamento Aéreo para a Caracterização da Legenda Adotada no Mapeamento Temático.....	87

4.1.2 Seleção de Faixas de Vôo na Amostragem Sistemática.....	92
4.1.3 Simulação do Sistema LAED Via Terrestre.....	95
4.1.3.1 Conexão do GPS ao <i>tablet</i>	95
4.1.3.2 Configurações de posicionamento do cursor do GPS e atualização de tela.....	95
4.1.3.3 Planos de fundo de tela.....	96
4.1.3.4 Arquivo de coleta de dados e o teclado virtual com as respectivas classes da legenda.....	99
4.1.3.5 Avaliação da performance do sistema LAED em simulação terrestre.....	101
4.1.3.6 Conversão de dados e inserção no Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	102
4.2 EXECUÇÃO DOS VÔOS NO LAED.....	105
4.2.1 Vôo-teste para Avaliação dos Equipamentos e Definição de Parâmetros de Vôo.....	105
4.2.2 Vôo definitivo.....	110
4.2.2.1 Uso do Sistema LAED.....	112
4.2.2.2 Uso do LAE convencional.....	113
4.3 USO DO LAED NA COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE TEMÁTICA.....	115
4.3.1 Cálculo e Análise dos Coeficientes de Acuracidade.....	115
4.3.2 Análise da Viabilidade da Técnica de LAED para a Coleta de Dados de Referência	118
4.4 VERIFICAÇÃO DA DISCREPÂNCIA ENTRE O MAPA TEMÁTICO EXISTENTE E O TERRENO.....	119
4.4.1 Operações pós-vôo no LAE convencional.....	119
4.4.2 Análise dos Fatores de Discrepância entre Mapa e Terreno.....	120
4.4.2.1 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas pelo sombreamento.....	121
4.4.2.2 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas por erro do classificador (analista)..	124
4.4.2.3 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas pela dinâmica de uso da terra.....	128
4.5 ANÁLISE DO USO DO LAE CONVENCIONAL PARA O MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL EM ESCALA 1:50.000.....	129
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	132
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	134
APÊNDICES.....	146

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Principais parâmetros para definição de estágios sucessionais de vegetação secundária, conforme resolução 02/94 do CONAMA.....	13
TABELA 2	– Principais características dos satélites SPOT.....	18
TABELA 3	– Bandas espectrais e resolução espectral dos sensores SPOT.....	20
TABELA 4	– Comparativos entre grandezas envolvidas nos monitoramentos aéreo expedito e terrestre.....	35
TABELA 5	– Qualidade da classificação temática em função do valor do coeficiente <i>Kappa</i>	48
TABELA 6	– Valores de angulação solar para o momento de aquisição das cenas SPOT 5 empregados na geração da imagem-sombra.....	76
TABELA 7	– Códigos de legenda usados no sistema LAED.....	81
TABELA 8	– Camadas de informação armazenadas no sistema LAED.....	81
TABELA 9	– Resultado da simulação correspondente as faixas contempladas para cada valor de intervalo sistemático.....	93
TABELA 10	– Número de observações (pontos e polígonos) obtidos por LAE convencional, de acordo com a situação de concordância entre mapa e terreno.....	114
TABELA 11	– Matriz de erros referentes à avaliação de acuracidade usando dados obtidos do LAED.....	117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Distribuição das unidades fitogeográficas mais representativas do Estado do Paraná.....	6
FIGURA 2	– Perfil em sentido leste-oeste da distribuição das unidades fitogeográfica do Paraná.....	7
FIGURA 3	– Capacidade do SPOT de revisita fora do nadir.....	17
FIGURA 4	– Visada fora do nadir do SPOT.....	19
FIGURA 5	– Sequência esquemática das etapas para realização de uma campanha LAE.....	28
FIGURA 6	– Sistema baseado em um <i>notebook</i> , modelo Dell 8000 PC, com aparelho receptor GPS Garmin 12XL, e <i>tablet touch screen</i> da marca KDS.....	31
FIGURA 7	– <i>Tablet</i> PC adotado para as campanhas aéreas usando a tecnologia LAED.....	31
FIGURA 8	– Resultado do mapeamento digital aéreo expedito com o cursor na tela mostrando a localização e o percurso da aeronave no procedimento LAED.....	32
FIGURA 9	– Exemplo do efeito de uma unidade mínima de mapeamento.....	39
FIGURA 10	– Esquema ilustrativo da Projeção UTM.....	40
FIGURA 11	– Diferença entre precisão e exatidão.....	43
FIGURA 12	– Distribuição da cobertura florestal no Estado do Paraná no período de 1890 a 1990.....	64
FIGURA 13	– Localização da área de estudo.....	65
FIGURA 14	– Articulação das cenas SPOT 5 para o recobrimento da carta Campo Largo.....	71
FIGURA 15	– Conjunto de equipamentos utilizados para adaptação do LAED as condições brasileiras.....	80
FIGURA 16	– Janela ilustrativa do aplicativo <i>GeoLink</i> usado no LAED.....	80
FIGURA 17	– Possíveis causas de não-conformidades no mapa temático da área de estudo.....	86
FIGURA 18	– Classes contempladas no mapeamento para a atualização temática.....	88
FIGURA 19	– Fotos panorâmicas adquiridas no vôo de reconhecimento.....	91
FIGURA 20	– Distribuição das amostras por classe mapeada e suas respectivas áreas....	94
FIGURA 21	– Configurações de posicionamento do cursor do GPS na tela do <i>tablet</i>	96
FIGURA 22	– Janela para importação de mapas no <i>software</i> Geolink e respectivas configurações.....	98
FIGURA 23	– Aspecto da tela do <i>software</i> Geolink mostrando imagem e <i>shapefile</i> do plano de fundo e teclado virtual à direita.....	99
FIGURA 24	– Definição de campos na tabela de atributos de dados coletados no LAED	100

FIGURA 25 – Feições disponíveis no <i>software</i> Geolink (área ou polígono, linhas e pontos).....	101
FIGURA 26 – Tela do programa Geolink mostrando os menus e sub-menus utilizados para o processo de conversão de formatos de arquivos.....	103
FIGURA 27 – Seleção dos arquivos a serem convertidos para shapefile na pasta LOG...	103
FIGURA 28 – Visualização dos arquivos <i>protoshapefiles</i> e dados GPS correspondentes à simulação terrestre do LAED.....	104
FIGURA 29 – Estrutura de armazenamento dos arquivos finais após a conversão.....	104
FIGURA 30 – Relatório do programa Geolink mostrando informações sobre as feições convertidas de <i>protoshapefile</i> para <i>shapefile</i>	105
FIGURA 31 – Avião modelo <i>Citabria</i> usado no vôo teste do sistema LAED.....	106
FIGURA 32 – Equipamento GPS, modelo Garmin 76CSX utilizado na orientação do piloto.....	107
FIGURA 33 – Três polígonos de grandes dimensões, destacados em amarelo no mapa e na tabela de atributos, correspondentes à classe “Floresta em estágio médio ou avançado” para as faixas de vôo 3, 7 e 11, respectivamente.....	109
FIGURA 34 – (a) Equipe de observadores aéreos e (b) o avião modelo <i>Cessna</i> 180 utilizado na campanha de Levantamento Aéreo Exedito (digital e convencional) do estudo.....	111
FIGURA 35 – Situações de ocupação da terra observadas.....	113
FIGURA 36 – Recorte da carta-imagem usada no LAE convencional mostrando as anotações do observador aéreo.....	114
FIGURA 37 – Visualização dos dados convertidos no SIG.....	116
FIGURA 38 – Operações pós-vôo para a técnica de LAE convencional.....	120
FIGURA 39 – Mapa hipsométrico elaborado com base nos dados altimétricos da carta Campo Largo.....	122
FIGURA 40 – Imagens de sombreamento para as três sub-cenas utilizadas na área de estudo.....	123
FIGURA 41 – Imagem SPOT mostrando dois polígonos cuja classificação não foi influenciada negativamente pela presença de sombras.....	123
FIGURA 42 – Recorte da imagem-SPOT sobre a faixa de vôo 7 (a) e a correspondente imagem-sombra (b) mostrando polígono classificado erroneamente em função do sombreamento.....	124
FIGURA 43 – (a) Imagem do <i>Google Earth</i> mostrando reflorestamento maduro em 2006 e (b) a mesma área já com novo plantio, em 2010.....	125
FIGURA 44 – Imagens do <i>Google Earth</i> mostrando reflorestamentos recém-implantados em 2004 (a) e (c) e as mesmas áreas, com povoamentos já mais velhos, em 2010 (b) e (d).....	126
FIGURA 45 – Detalhe ampliado da imagem SPOT mostrando polígono de reflorestamento classificado erroneamente como “campos e pastagens”...	127
FIGURA 46 – Imagens do <i>Google Earth</i> mostrando áreas classificadas como “floresta” no mapa, porém já convertidas para outros usos em 2002 (a) e 2006 (c) e as mesmas áreas, em 2010 (b) e (d).....	128
FIGURA 47 – Exemplos de dinâmica de ocupação da terra.....	129

FIGURA 48 – Imagem do <i>Google Earth</i> sobreposta pelo polígono oriundo do LAE (à direita, em amarelo) e pelo polígono no terreno (à esquerda, em laranja) e a representação da distância entre ambos no terreno (em metros).....	130
FIGURA 49 – Comparação entre o mapa temático (a) , os resultados do LAE e a imagem do <i>Google Earth</i> (b) para polígonos que sofreram alteração de classe e de forma.....	131
ANEXO I – Legenda da carta planialtimétrica Campo Largo.....	147
ANEXO II – Legenda do Mapa Temático referente à carta Campo Largo.....	149

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACS - Amostragem Casual Simples
ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil
APA - Área de Proteção Ambiental
ARARA - Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas
ASI - *Agenzia Spaziale Italiana*
ASM - *Aerial Sketchmapping*
AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*
CIM - Carta Internacional ao Milionésimo
CISMA - *Cooperative Invasive Species Management Area*
CNES - *Centre National D'Études Spatiales*
COCEL - Companhia Campolarguense de Energia
COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPEL - Companhia Paranaense de Energia Elétrica
D-ASM - *Digital Aerial Sketchmapping*
DLR - *Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt*
DOD - *Department of Defense – USA*
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI - *Environment for Visualizing Images*
ERTS - *Earth Resources Technology Satellite*
ESRI - Environmental Systems Research Institute
EUA - Estados Unidos da América
FAO - *Food and Agriculture Organization of The United Nations*
FHTET - *Forest Health Technology Enterprise Team*
FUPEF - Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná
GB - *Gigabyte*
GNSS - *Global Navigation Satellite System*
GOR - *GeoLink Optimized Raster*
GPS - *Global Positioning System*
GRS80 - *Geodetic Reference System 1980*
HRG - *High Resolution Geometric*
HRS - *High Resolution Stereoscopic*
HRV - *High Resolution Visible*
HRVIR - *High Resolution Visible - Infrared*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
ITRS - *International Terrestrial Reference System*

JERS - *Japanese Earth Resources Satellite*
LAE - Levantamento Aéreo Expedito
LAED - Levantamento Aéreo Expedito Digital
LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite*
MDE - Modelo Digital de Elevação
MMU - *Minimum Mapping Unit*
Mph – Milhas por hora
MSS - *Multispectral Scanner System*
NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
NFMA - *National Forest Monitoring and Assessment*
NPS - *National Park Service*
PAN - Pancromática
PC - *Personal Computer*
PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico
RADAM - Radar na Amazônia
RAM - *Random Access Memory*
RGB - *Red Green Blue*
RIPCom - *Remote Internet Protocol Communications System*
RSAC - *Remote Sensing Applications Center*
SAD - *South American Datum*
SAR - *Synthetic-aperture radar*
SEDU - Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano
SEMA - Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SFWMD - *South Florida Water Management District*
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPOT - *Système Probatoire d'Observation de la Terre*
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR - Sensoriamento Remoto
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
SUDERHSA - Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SWIR - *Short-wavelength Infrared*
TM - *Thematic Mapper*
UFPR - Universidade Federal do Paraná
USA - *United States of America*
USDA *United States Department of Agriculture*
USP - Universidade de São Paulo
UTM - Sistema Universal Transverso de Mercator
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

RESUMO

Os mapeamentos temáticos se propõem a representar, com certa precisão, a cobertura real encontrada no terreno. No entanto, devem ter sua acuracidade aferida para o conhecimento do grau de certeza expresso pelas informações contidas no mapa. A técnica de Levantamento Aéreo Expedido (LAE), conhecida nos Estados Unidos como *Aerial Sketchmapping*, é uma ferramenta de sensoriamento remoto usada para a avaliação das condições fitossanitárias das florestas da América do Norte, consistindo na observação e anotação de feições ou fenômenos a partir de sobrevôos sobre a área de interesse. A partir de 2001 foi adaptada às condições brasileiras através de parceria entre a *Embrapa Florestas* e *United States Department of Agriculture – Forest Service*. Mais recentemente, o Levantamento Aéreo Expedido Digital (LAED), que utiliza computadores do tipo “*tablet touch screen*” acoplados a um GPS, vem substituindo os procedimentos que utilizam mapas em meio analógico. O presente trabalho teve por objetivo adaptar a técnica de LAED e sua versão em meio analógico, o LAE, para a observação, detecção e registro de classes de uso e cobertura da terra, visando a coleta de dados de referência para a avaliação da acuracidade temática de mapa em escala 1:50.000, oriundo da classificação digital de imagens SPOT 5. Para tanto, foram definidos o sistema de amostragem, os parâmetros de voo e as configurações de equipamentos do sistema LAED. Adicionalmente, avaliou-se a falta de correspondência (discrepância) entre as classes temáticas observadas no terreno e no mapa oriundo da classificação digital, bem como a viabilidade e o potencial do uso do LAE e LAED na reambulação de informações obtidas por classificação digital de imagens. O sistema de amostragem definido foi o sistemático em faixas, sendo selecionadas três faixas, que corresponderam a 25% da área de estudo. Os polígonos referentes ao uso e cobertura da terra contemplados nestas faixas passaram a compor a base de dados para o levantamento que foi, inicialmente, testado em terra para uma análise da performance do sistema. Em seguida realizou-se um voo teste para verificação do desempenho e ajustes do equipamento no ar, assim como para obter subsídios para a determinação de parâmetros como altura e velocidade de voo. No voo definitivo aplicou-se tanto o método de LAE convencional quanto o LAED como forma de comparar viabilidade e potencialidades, principalmente na coleta de dados referência. O LAED e o LAE convencional foram executados como dois levantamentos independentes, uma vez que cabia a cada observador individualmente, selecionar os polígonos da amostra. Foram coletados, 111 pontos com o método digital, sendo observados polígonos de diferentes classes de uso, distribuídos aleatoriamente dentro das três faixas selecionadas. A aplicação da técnica para a obtenção de dados de monitoramento foi somente realizada pelo método convencional, em virtude de limitações ainda apresentadas pelo conjunto *hardware-software*, como a demora de processamento, comprometendo a captação de muitas alterações na cobertura florestal. Na análise dos fatores de discrepâncias entre o mapa e o terreno, verificou-se que o fator mais influente foi a dinâmica de ocupação da terra, seguida pelos erros do analista. O sombreamento causado pelo relevo não demonstrou afetar negativamente o mapeamento. Pode-se concluir que as técnicas de LAE e LAED são viáveis para a coleta de dados de referência, com um custo efetivo de R\$ 0,07 (US \$ 0.04) por hectare avaliado e uma produtividade de 193 ha/min, ou seja, 11.580 ha/h. O método digital, porém, destacou-se pela facilidade e rapidez no processamento pós-voo e uso dos dados para a análise de acuracidade.

Palavras-chave: imagem SPOT, índice de acuracidade, detecção de mudanças.

ABSTRACT

Thematic mapping aims to represent, with some precision, the real coverage on the ground. However, its accuracy should be assessed for information of the degree of certainty expressed by the information contained on the map. The technique of Aerial Sketchmapping (ASM) is a remote sensing tool used to assess the phytosanitary conditions of the forests of North America and consists of observation and annotation of features or phenomena from overflights of the area of interest. In 2001 it was adapted to the Brazilian conditions through a partnership between Embrapa Forestry and United States Department of Agriculture – Forest Service. More recently, the Digital Aerial Sketch Mapping (D-ASM), which uses a tablet touch screen laptop coupled with a GPS, is replacing the procedures in which paper maps are used. This study aimed to adapt the technique and its analog version, the ASM, for the observation, detection and recording of land use/ land cover classes in order to collect baseline data for assessing the thematic accuracy for 1:50,000-scale maps, derived from the digital classification of SPOT 5 images. For this purpose, it was defined the sampling system, the parameters of flight and the equipment configurations of the D-ASM system. Additionally, we evaluated the discrepancies between the thematic classes observed in the field and those on the map derived from the digital classification, as well as the feasibility and potential use of ASM and D-ASM for the re-assignment of land use/land cover classes to the polygons obtained by digital image classification. We used systematic strip sampling, selecting three strips, which accounted for 25% of the study area. The sampled polygons and their respective labels constituted the database for the survey that was initially tested on the ground for an analysis of system performance. Then it was organized a test flight to check the performance of equipment and its settings in the air, so as to obtain data for determining parameters such as flight height and speed. In the final flight both the conventional method of ASM as D-ASM were applied as a way to compare their feasibility and potential, especially in the collection of reference data. The conventional ASM and D-ASM were performed as two independent surveys, since it was up to each observer individually, select the polygons of the sample. We collected 111 points with the digital method, where the polygons representing different land use/land cover classes were randomly distributed within the three selected strips. The application of the technique to monitor forest cover changes was only performed by the conventional method, due to limitations of hardware-software yet presented by the D-ASM system, mainly those related to the slow screen refreshment rates, thus preventing the recording of many changes in forest cover. In analyzing the factors of discrepancies between the map and the terrain, it was found that the most influent factor was the land use dynamics, followed by the errors of the analyst. The topographic shading showed not to adversely affect the mapping. It can be concluded that the techniques of ASM and D-ASM are feasible to collect baseline data, with an effective cost of US \$ 0.04 per hectare and an estimated productivity of 193 ha overflowed by minute. The digital method, however, stood out for its ease and speed in the processing and use of data for accuracy assessment.

Keywords: SPOT image, index of accuracy, change detection.

1. INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal se constitui no recurso natural mais susceptível às mudanças em forma, área e qualidade, posto que todos os organismos do planeta dependem deste recurso para atender às suas necessidades básicas. O homem usufrui dos recursos naturais e interfere no meio ambiente, ao construir e reordenar os espaços físicos de acordo com seus interesses. Tais alterações podem modificar o equilíbrio de um meio que – por si só – não é estático e que, normalmente, apresentaria evolução estável e contínua, a não ser quando das catástrofes naturais.

A fragmentação é um dos principais processos que afetam a paisagem a nível mundial, podendo ocorrer nas regiões em que houve alterações no uso da terra. A substituição das florestas por culturas agrícolas, por exemplo, modifica a paisagem, anteriormente contínua, para fragmentos de *habitat* alterando, também, a composição de espécies e seus processos ecológicos básicos (SEPÚLVEDA *et al.*, 1997).

No Paraná, o avanço dos desmatamentos ocorreu no sentido leste-oeste, iniciando no litoral e no primeiro planalto vindo, na seqüência, a evoluir de forma rápida e crescente para o segundo e terceiro planalto até encontrar o rio Paraná na divisa oeste do Estado. Conforme MAACK (1968), em 1930, a área coberta por florestas naturais no Estado era de aproximadamente 12,9 milhões de hectares, correspondendo a 64,1% da superfície do Paraná. Mesmo com a importância que os recursos naturais vêm assumindo, não existem números oficiais – que tenham sido disponibilizados mais recentemente - sobre a área dos remanescentes florestais no Paraná. Entretanto, SANQUETTA (2003), analisando e reunindo levantamentos oficiais das principais tipologias florestais do Estado, concluiu que as florestas paranaenses somam uma área de cerca de 3,4 milhões de hectares, ou seja, a cobertura florestal do Estado é de aproximadamente 17%.

Já para a FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, com dados publicados em 2008, o Paraná possuía apenas pouco mais que 2 milhões de hectares (10,53%) de florestas, incluindo manguezais e restingas. Estes números, mesmo que provenientes de datas próximas são muito discordantes, evidenciando a importância das informações com chancela oficial e que possuam participação dos diversos segmentos do poder público. Adicionalmente, demonstram com clareza a necessidade de monitoramento – por parte do Estado – das mudanças no uso da terra e suas conseqüências sobre a cobertura florestal.

A contratação, em 2005, de um projeto de atualização do mapeamento sistemático do Estado do Paraná em escala 1:50.000 revela o interesse e a preocupação do governo em estabelecer uma linha de base relativa à atual situação dos remanescentes florestais e demais usos da terra, para que a partir dela, possa ser desenvolvido um sistema de monitoramento contínuo sobre os recursos naturais e sua dinâmica. O referido mapeamento adotou imagens SPOT 5, um produto do sensoriamento remoto (SR) que, por sua vez, se apresenta como uma técnica extremamente vantajosa para a análise do uso e cobertura da terra, pela sua capacidade de abranger grandes áreas. Proporciona ferramental para o estudo de mudanças e tem grande utilidade no planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico.

É evidente que os mapeamentos se propõem a representar, com certa precisão, a cobertura real encontrada em campo. No entanto, desde a obtenção dos dados até a geração de um mapa, fontes de erros, causadas pelo observador ou pelos equipamentos de medição podem contribuir para sua inadequação, em diferentes níveis e escalas, incluindo-se, no caso, o processo de classificação dos diferentes usos da terra. Por classificação, no caso, entende-se a designação (previamente acordada) de diferentes usos/cobertura da terra a partes definidas do território. Adicionalmente, em casos de avaliação da cobertura natural em nível regional (grandes áreas), os resultados podem apresentar deficiência em função da demora para aquisição do conjunto de imagens, bem como na execução das etapas de preparo e processamento das imagens.

Tais inconsistências podem ser enquadradas como erros posicionais, temáticos ou temporais. Já o processo de determinação da qualidade da classificação em mapeamentos do uso e/ou cobertura da terra é conhecido como acuracidade, acurácia ou exatidão temática, sendo que em tal processo são usados dados de campo, denominados dados de referência ou “verdade terrestre”. Essa etapa consome grande quantidade de tempo e recursos financeiros. É oportuno esclarecer que dois tipos de dados de referência são considerados no processo, sendo os dados coletados para o treinamento dos classificadores e os dados coletados para a verificação da exatidão do mapeamento. Mesmo que estes sejam coletados concomitantemente, devem permanecer como conjuntos separados de informações.

Vários métodos foram desenvolvidos para a determinação da acuracidade, todos dependentes de visitas ao campo. Nos esquemas preconizados, a coleta de um certo número de pontos por classe é desejável, segundo preceitos estatísticos. Entretanto, em função dos altos custos de levantamento de campo, freqüentemente esta é uma etapa pouco valorizada no processo, principalmente em levantamentos de grandes áreas. É comum que sejam reportadas

“visitas ao campo” sem detalhes do número de pontos coletados ou metodologia usada para determinar a exatidão temática, assim como é freqüente que os pontos sejam coletados ao longo das estradas e caminhos principais, trazendo tendenciosidades para o processo. Para LILLESAND e KIEFER (1994), a habilidade de produzir classificações digitais da cobertura da terra em muito excede a habilidade de quantificar significativamente (*meaningfully*) sua acuracidade. Segundo o autor, uma classificação não estará completa até que sua exatidão tenha sido acessada.

O Levantamento Aéreo Expedido (LAE) é a ferramenta de sensoriamento remoto mais antiga e a mais comumente usada para a avaliação das condições fitossanitárias das florestas da América do Norte (CIESLA, 2000). O método – que permite o monitoramento das condições da floresta – é relativamente simples e de baixo custo, tendo sido adaptada às condições brasileiras através de parceria entre a *Embrapa Florestas* e *United States Department of Agriculture – Forest Service (USDA Forest Service)*, com o objetivo inicial de monitorar a vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) em plantações de *Pinus* spp. no sul do país (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Observadores treinados, voando em aviões de baixa altitude entre 300 m e 800 m acima do nível do solo são capazes de discriminar áreas com árvores mortas ou com injúria foliar e “desenhar” esses pontos ou polígonos sobre um mapa-base, identificando-os de acordo com um código pré-estabelecido. Os resultados são usados para: a) monitorar danos causados por pragas; b) iniciar operações de corte preventivo em povoamentos infestados; c) planejar operações de manejo de pragas; e d) estruturar um banco de dados históricos relativos à ocorrência e intensidade de infestações por insetos ou doenças (CIESLA *et al.*, 2002).

Quando a equipe da *Embrapa Florestas* optou por produzir carta-imagens como base para o LAE, constatou-se que os vôos poderiam servir como meio de verificação da acuracidade temática de mapeamentos já existentes, elaborados por meio de outras técnicas. Desta forma, a técnica foi testada com esta nova finalidade, tendo sido aprovada (OLIVEIRA *et al.*, 2004), já que além do custo-benefício favorável, representa uma possibilidade real de integração a um sistema mais amplo de monitoramento ambiental.

Mais recentemente, o Levantamento Aéreo Expedido Digital (LAED), que utiliza computadores do tipo “*tablet touch screen*” acoplados a um GPS vem substituindo os procedimentos que utilizam mapas em meio analógico. Os dados gravados podem ser incorporados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG), sem os passos de digitalização

utilizados no esquema anterior (LAE). O *display* do sistema mostra a localização da aeronave no mapa do levantamento, eliminando as fontes de erros relacionadas à problemas de localização dos observadores (em relação ao mapa) quando em vôo (CIESLA, 2008).

Levantamentos aéreos são reconhecidamente um poderoso aliado do monitoramento, em função da rapidez com que é possível sobrevoar grandes áreas. Este é um dos mais fortes argumentos para a adoção do LAE ou LAED para a verificação da acuracidade temática de mapeamentos, principalmente os que envolvem grandes áreas. O acesso aos dados de referência, quando usada a técnica de LAED, não apresenta restrições no que se refere ao uso de estradas e caminhos, sendo possível acessar áreas longínquas e até mesmo inóspitas facilmente, além do que a técnica permite uma avaliação na mesma perspectiva da imagem de satélite, o que não acontece com as visitas exclusivamente de campo.

Adicionalmente, as técnicas de Levantamento Aéreo Expedito, tanto convencional (LAE) quanto digital (LAED) promovem a integração de ferramentas da geotecnologia como o Sensoriamento Remoto (SR), o *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), necessárias nos levantamentos e estudos dos recursos naturais, que contribuem para a produção de soluções para o acompanhamento das mudanças no uso/cobertura da terra ao longo do tempo.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo adaptar a técnica de Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED) e sua versão em meio analógico, o Levantamento Aéreo Expedito (LAE) para a observação, detecção e registro de classes de uso e cobertura da terra sobre mapa temático em escala 1:50.000. De maneira específica os objetivos do trabalho foram:

- definir sistema de amostragem, parâmetros de vôo e configurações de equipamentos do sistema LAED visando a coleta de dados para avaliação da acuracidade temática de mapa de uso e cobertura da terra oriundo da classificação digital de imagens SPOT 5;
- determinar e analisar a falta de correspondência (discrepância) entre as classes temáticas observadas no terreno e no mapa oriundo da classificação digital de imagens SPOT 5 com resolução espacial de 5 m;
- avaliar a viabilidade e o potencial do uso do LAE e LAED na reambulação de informações obtidas por classificação digital de imagens do SPOT 5.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DO PARANÁ

No período quartenário, as flutuações paleoclimáticas favoreceram ora a expansão das formações vegetais associadas aos climas semi-úmidos e semi-áridos, que se expandiram pelo interior da América do Sul, com retração das florestas e a extinção de outras formações úmidas, ora o contrário, com a expansão das florestas a partir dos vales nas fases úmidas, com retração das Araucárias, muitas vezes ficando restritas aos interflúvios (MAACK, 1968). O clima, juntamente com as condições físicas e químicas do solo, interferiu na manifestação do tipo de vegetação existente ou predominante em determinadas áreas da região (BIGARELLA *et al.*, 1994). AB'SÁBER (1973) ressalta que do médio Terciário para o Quaternário devem ter sido elaborados todos os estoques relacionados aos quadros atuais de vegetação inter e subtropical brasileiras (matas, cerrados, caatingas, araucárias e pradarias).

O Estado do Paraná, com apenas 2,5% da superfície brasileira, detém em seu território algumas das principais unidades fitogeográficas que ocorrem no país. Embora a cobertura vegetal do Estado fosse contínua de leste a oeste, RODERJAN *et al.* (1993) comentam que cinco grandes unidades fitogeográficas destacam-se no Paraná (**Figura 1**). As formações florestais paranaenses podem ser separadas distintamente em três unidades fitogeográficas, em função das características dos ambientes regionais, sendo elas: Floresta Ombrófila Densa (na região litorânea da Serra do Mar), Floresta Ombrófila Mista (entre a Serra do Mar e oeste do Estado), e Floresta Estacional Semidecidual (a norte e oeste do Estado).

Também o Cerrado – nome regional dado às savanas brasileiras – ocorre como ilhas esparsas no segundo e terceiro planalto paranaense, tratando-se de um ecossistema que possui um estrato herbáceo contínuo e uma quantidade variável de árvores e arbustos, porém não formando um dossel contínuo. São consideradas ainda, como unidades fitogeográficas, as extensas regiões campestres, regionalmente conhecidas como Campos Gerais (LEITE e KLEIN, 1990). O restante da superfície do Estado se apresenta ocupado por restingas, manguezais, várzeas, campos alpinos e vegetação das rochas, distribuídos esparsamente devido às condições ambientais, principalmente fatores edáficos (MAACK, 1968).

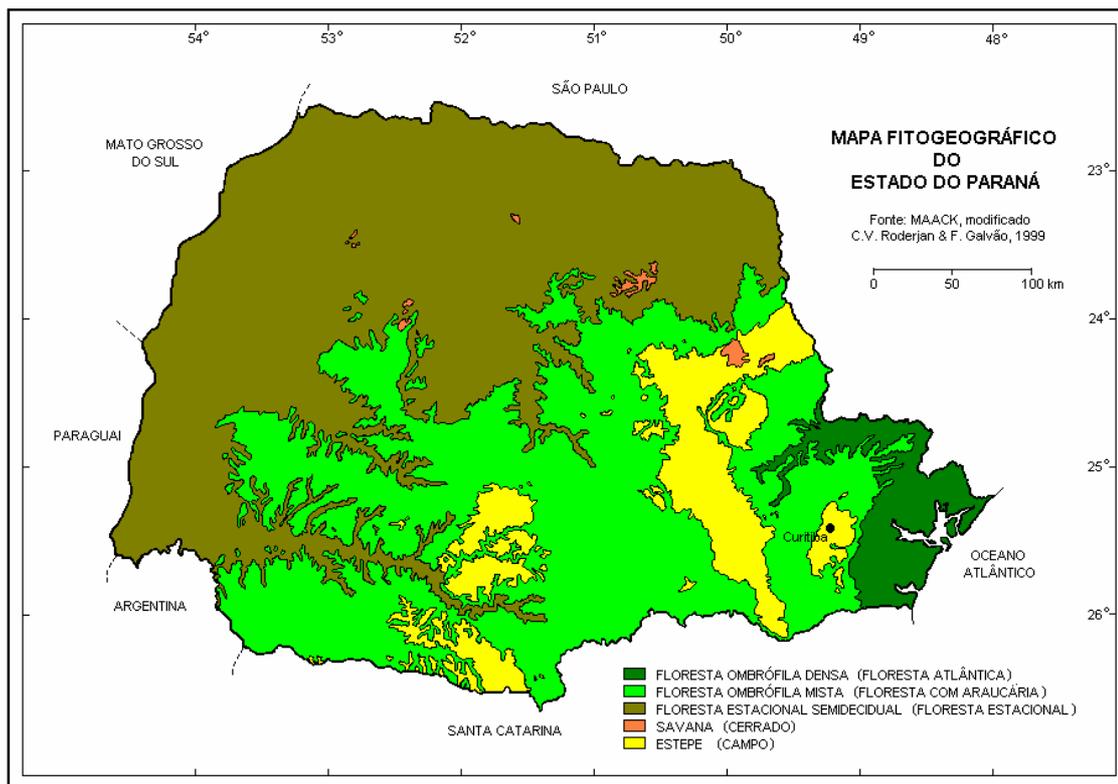


FIGURA 1 – Distribuição das unidades fitogeográficas mais representativas do Estado do Paraná

Fonte: MAACK¹ (1950), modificado por RODERJAN *et al.* (2002).

Em termos de cobertura da terra, LEITE e KLEIN (1990) classificaram preliminarmente a vegetação em florestal e não florestal. Consideraram a vegetação florestal, ombrófila ou estacional, como formações constituídas por comunidades arbóreas em variados graus de estabilidade, compatíveis com o clima atual e demonstrando sinais de antropização acentuados. Foram denominados como vegetação não-florestal todos os demais tipos de formações, que não alcançaram níveis de desenvolvimento e organização em equilíbrio com o clima, incluindo a vegetação xeromorfa e xerofítica e as formações pioneiras. Foi o trabalho de VELOSO *et al.* (1991) que enquadrou as unidades fitogeográficas do Estado do Paraná conforme o Sistema Fisionômico-Ecológico de Classificação da Vegetação Brasileira, adotado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. De acordo com esta classificação, o Paraná encontra-se dividido sob o ponto de vista fitogeográfico em:

¹ MAACK, R. Mapa fitogeográfico do Estado do Paraná. Curitiba: IBPT-SAIC/INP. Mapa 115 x 80 cm. Escala: 1:750.000. 1950.

- a) Região da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) entre 5 m a acima de 1000 m s.n.m.;
- b) Região da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária) entre 500 m a acima de 1000 m s.n.m.;
- c) Região da Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Pluvial) abaixo de 500 m s.n.m.;
- d) Região da Savana (Campos Cerrados);
- e) Região da Estepe (Campos Limpos);
- f) Sistema Edáfico de Primeira Ocupação, subdividido em função da influência do fluxo de água do oceano, dos rios ou de ambos;
- g) Sistema de Transição Ecológica, que corresponde a uma faixa com interpenetração de floras;
- h) Sistemas de Refúgios Vegetacionais (Relíquias) Montano e Alto-montano (Regiões Altas das Serras).

Na **Figura 2** é apresentado um perfil esquemático, em sentido leste-oeste, que permite uma visão sequencial das unidades fitogeográficas do Paraná.

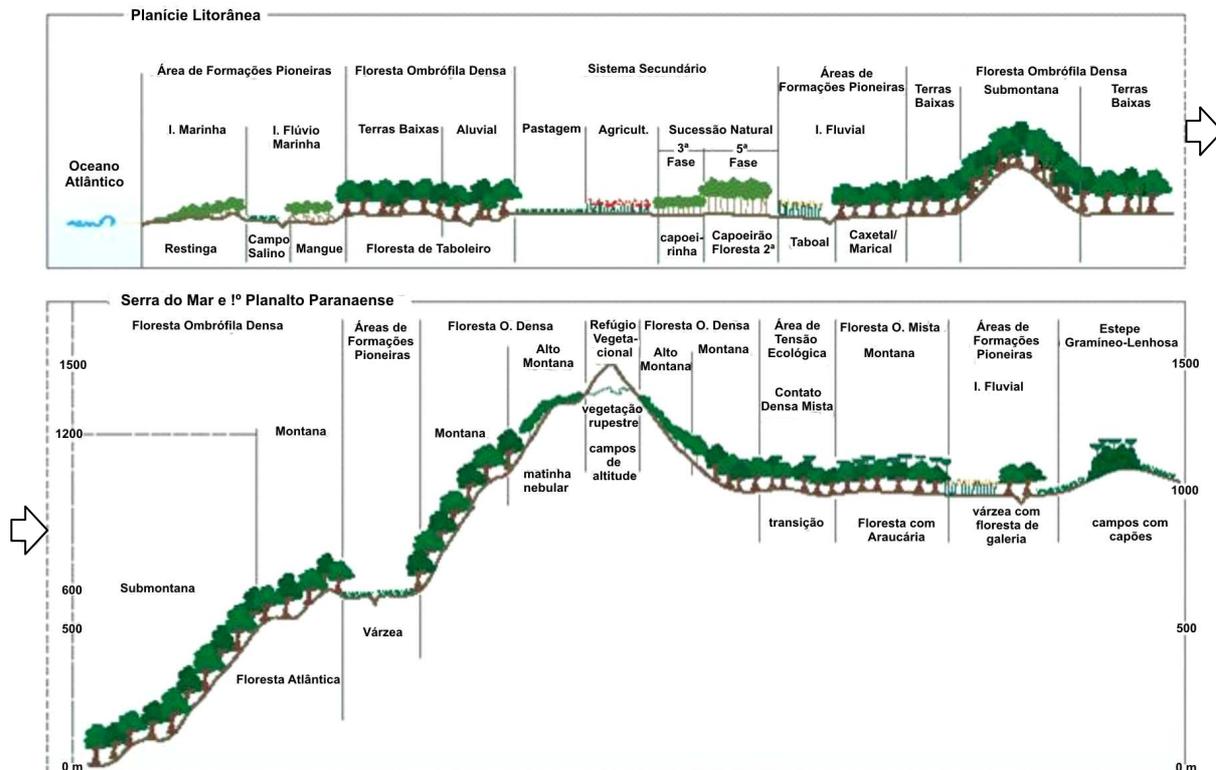


FIGURA 2 – Perfil em sentido leste-oeste da distribuição das unidades fitogeográficas do Paraná

Fonte: SEMA (2002).

2.1.1 Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta com Araucária, foi uma das mais expressivas fontes de recursos madeireiros até meados do século passado na economia dos Estados do Sul do Brasil, com área original de 20 milhões de hectares (REITZ e KLEIN, 1966) e ocorrendo de forma contínua. Ocupava parcialmente o território dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais, com maior abrangência no Paraná. Segundo MAACK (1968), a Floresta com Araucária correspondia a 37% da cobertura do Estado, iniciando sua cobertura imediatamente a oeste da Serra do Mar e estendendo-se pelo segundo e terceiro planalto. Entretanto, conforme FUPEF (2004), poucos são os remanescentes dessa unidade fitoecológica, os quais se apresentam fragmentados, fato que propicia o isolamento das populações e em consequência disso a redução da diversidade biológica e empobrecimento genético. Segundo tal levantamento, em 2004 o Paraná possuía apenas 12,54% de seu território cobertos por esse ecossistema, estando distribuídos nos três estágios de sucessão, mas com maior percentual representado pelo estágio médio (14,47%), encontrado em uma série de situações distintas, desde fragmentos em recuperação até florestas bem desenvolvidas.

Poucas são as formações florestais brasileiras que têm sua fisionomia tão bem caracterizada pela presença de uma espécie vegetal como a Floresta Ombrófila Mista (MAACK, 1968). Neste caso, é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (pinheiro-do-paraná), que em função de seus aspectos morfológicos (copa, folhagem, tronco, etc.) e da posição sociológica ocupada, facilita grandemente a definição da área de ocorrência desta formação. De acordo com LEITE (1994), a ocorrência natural da espécie *Araucaria angustifolia* delimita esse ecossistema e diferentes espécies ocorrem associadas, onde são comuns *Ocotea porosa* (Nees e C. Mart.) Barroso, *O. puberula* (Rich.) Nees, *O. pulchella* (Lauraceae), *Capsicodendron dinisii* (Schwacke) Occhioni (Canellaceae), *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae), *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Eichler (Podocarpaceae), *Ilex paraguariensis*, *Cedrela fissilis*, *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Sapindaceae), *Sloanea lasiocoma* K. Schum. (Elaeocarpaceae), *Luehea divaricata* Mart. (Tiliaceae), *Mimosa scabrella* Benth. (Mimosaceae), *Dalbergia brasiliensis* Vogel (Fabaceae), *Jacaranda puberula* Cham. e *Tabebuia alba* (Cham.) Sandwith (Bignoniaceae). A Floresta Ombrófila Mista apresenta três

formações distintas, de acordo com critérios altitudinais e fisionômicos, sendo elas: Aluvial; Montana; e Alto-Montana.

2.1.1.1 Floresta Ombrófila Mista – Formação Aluvial

A Floresta Ombrófila Mista Aluvial é uma denominação proposta por VELOSO *et al.* (1991) para designar trechos de Floresta Ombrófila Mista que ocupam os terrenos aluvionares situados nos flúvios das serras costeiras voltadas para o interior ou dos planaltos dominados pela *Araucaria angustifolia* associada a ecótipos que variam de acordo com as altitudes dos flúvios, percorrendo terreno de geomorfologia plana até suave ondulado. Segundo a classificação do IBGE (1992) para as florestas nas margens de rios, córregos e outros cursos d'água existentes sobre terraços quaternários, também é acrescentado o termo “aluvial” no final da designação da região fitoecológica. Nesse conceito é considerado que as formações existentes atualmente na condição aluvial apresentam características comuns com a vegetação de origem ou do interflúvio. Constituem-se muitas vezes como relictos atuais dessas formações, mas que apresentam particularidades ambientais e, portanto, vegetacionais, que justificam a necessidade de subdivisão na hierarquia de classificação fitogeográfica.

É uma formação caracterizada por um pequeno número de espécies seletivas, adaptadas a se desenvolver nos solos aluviais altamente higromórficos e sujeitos a periódicas enchentes, existentes ao longo dos rios do planalto sul-brasileiro (KLEIN, 1984). Estes ambientes são representados por dois tipos fundamentais: os não-hidromórficos, com solo melhor estruturado, provido de cobertura florestal; e os ambientes encharcados, colonizados por formações pioneiras (LEITE, 1994). O estrato superior é dominado por *Sebastiania commersoniana*, *Syagrus romanzoffiana*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Erythrina crista-galli*, *Vitex megapotamica*, *Luehea divaricata* e *Salix humboldtiana*. No estrato inferior *Calyptanthes concinna*, *Myrciaria tenella*, *Myrceugenia euosma*, *Gomidesia sellowiana* e *Schinus terebinthifolius*. Ocorrem também indivíduos de *Araucaria angustifolia* isolados ou em pequenos agrupamentos (LEITE, 1994).

Apesar de tais formações serem protegidas por lei, áreas com este tipo de cobertura continuam sendo intensamente devastadas, seja para retirada de madeira, para exploração agropecuária ou simplesmente por ação antrópica indiscriminada (RODRIGUES e GANDOLFI, 2001; AB'SABER, 2001).

2.1.1.2 Floresta Ombrófila Mista – Formações Montana e Alto-montana

Compreendem as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos (Paraguai e Argentina). Podem ser encontradas entre 500 e 1.200 m s.n.m., podendo eventualmente ocorrer acima desses limites. A formação montana ocupa as altitudes de 500 até 1.000 m em relação ao nível do mar e a formação alto-montana encontra-se acima de 1.000 m. Fisionomicamente são similares às montanhas, no entanto, pelo rigor climático, possuem menor diversidade florística. Os solos são igualmente similares, onde se destacam Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos (RODERJAN *et al.*, 2002).

2.1.2 Campos

As regiões de Campos são formas de relictos de um antigo clima semi-árido do Pleistoceno, constituindo a formação mais antiga ou primária do Estado do Paraná. As florestas somente conquistaram os campos a partir de ambientes ciliares, capões, nascentes e florestas de encostas das escarpas, durante um clima constantemente úmido e rico de chuvas do holoceno (MAACK, 1968). Tal região cobria 15% do Estado do Paraná, sendo a maior parte de campos limpos (28.650 km²), ocorrendo ainda os campos cerrados (1.882 km²). Os campos recebem, ainda, uma subdivisão em cinco regiões: campos de Curitiba, de Castro, Campos Gerais, de Guarapuava e de Palmas.

A abundante insolação e ventos frequentes são fatores que selecionam determinadas espécies para estes ecossistemas. LINDMAN (1906) aponta as características mais expressivas da vegetação campestre, sendo: a) um grande número de espécies apresenta denso indumento piloso, enquanto outro tanto apresenta folhas coriáceas, lisas e, com frequência, reflexivas; b) muitas plantas possuem lâminas foliares muito reduzidas, em geral estreitas, ou até ausentes, com espinhos ou não; c) é comum a presença de óleos essenciais, que conferem odor ou sabor fortes, e de tecidos que acumulam água; d) folhas e brotos avermelhados pela antocianina; e) capítulos e glomérulos são as inflorescências mais comuns; f) numerosas plantas campestres são munidas de órgãos subterrâneos espessados, como bulbos, rizomas e xilopódios. Todas estas particularidades – caracterizadas como xerófitas – visam a adaptar a vegetação para ambientes desabrigados, com solos pobres em nutrientes e em água.

Esta cobertura predominantemente herbácea, com elementos arbustivos lenhosos, associa-se a elementos da Floresta Ombrófila (VELOSO e GOES FILHO, 1982), que ocupam posições distintas na paisagem, geralmente nas encostas, vales e florestas aluviais, ou em formações arredondadas (capões).

2.2 ESTÁGIOS SUCESSIONAIS

Sucessão ecológica é a idéia de que o ecossistema, ou a comunidade vegetal, passa por uma série de estágios de desenvolvimento ou *seres*, até atingir um estágio de equilíbrio (PIRES-O'BRIEN e O'BRIEN, 1995). Todas as comunidades vegetais estão sujeitas a mudanças na composição de espécies e na importância relativa de formas de vida vegetal (ervas, arbustos, árvores), através do tempo. Na sucessão, existe alteração progressiva na estrutura da vegetação e nas espécies dominantes (GRIME, 2001). O processo sucessional não é iniciado somente com espécies arbóreas e sim por algumas espécies e formas de vida, que exercem o papel de facilitadoras, melhorando as condições ambientais, para posteriormente criar, gradativamente, o ambiente relacionado com a capacidade suporte do clima e solo local (ROGALSKI *et. al*, 2003).

Conforme BUDOWSKI (1965), no estágio inicial e no inicial secundário de sucessão há um nítido favorecimento para gramíneas, arbustos e cipós, enquanto as árvores são escassas. Com a passagem para o estágio secundário tardio, as gramíneas tornam-se escassas, ocorrem alguns arbustos e espécies arbóreas, os cipós e epífitas (poucas espécies) são abundantes; e, no clímax, as gramíneas permanecem escassas, ocorrem alguns arbustos (muitas espécies), os cipós e as epífitas são muito abundantes (várias espécies e formas de vida) e ocorrem inúmeras espécies arbóreas, exceto as características de associações edáficas específicas. Estas passam a ocorrer, então, apenas em ambientes restritivos. A vegetação secundária pode ser encontrada em qualquer estágio de desenvolvimento sucessional, conforme as condições ambientais e o tempo transcorrido depois da intervenção. A composição florística deste processo é condicionada tanto pelo estágio sucessional, como também pela região biogeográfica (DLUGOSZ, 2005).

A avaliação da vegetação pode ser realizada tanto pela sua fisionomia quanto pela estrutura que apresenta. A fisionomia refere-se à aparência da vegetação, considerando os aspectos altura, cor, exuberância, e no tamanho e forma de suas folhas. A estrutura de uma

comunidade requer o conhecimento de suas espécies, já que se baseia no grau de ocorrência mútua de uma espécie com outra, bem como no grau de relacionamento entre espécies (PIRES-O'BRIEN e O'BRIEN, 1995). Considerando a necessidade de se definir as formações vegetais primárias, bem como os estágios sucessionais de vegetação secundária, com a finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu critérios para caracterização da vegetação nativa de cada Estado brasileiro. Para o Estado do Paraná a resolução do CONAMA nº 2, de 18 de março de 1994, orienta a caracterização dos estágios sucessionais, levando em consideração a presença de espécies vegetais indicadoras, bem como parâmetros dendrométricos dos indivíduos (BRASIL, 1994). Esta resolução, em síntese, é apresentada na **Tabela 1**.

Uma unidade fitogeográfica que exige atenção na avaliação de sua cobertura são os refúgios vegetacionais, definidos por VELOSO *et al.* (1991), como sendo toda e qualquer vegetação floristicamente diferente do contexto geral da flora dominante, como no caso de comunidades localizadas em altitudes acima de 1.800 m s.n.m. São fragmentos isolados localizados em regiões periféricas, com comunidades que persistem em situação especialíssimas como, por exemplo, em clima ou solo totalmente impróprio a seu cultivo. Os refúgios vegetacionais estão sujeitos a condições ambientais peculiares, intrínsecas às regiões de elevada altitude, com temperaturas baixas, ventos fortes, solos rasos e pobres em nutrientes e presença freqüente de nuvens, o que pode acarretar em níveis elevados de endemismo e, ao mesmo tempo, se constituem em ambientes extremamente frágeis (MOCOCHINSKI, 2006).

Estes ambientes encontram-se constantemente saturados de umidade, podendo apresentar médias térmicas inferiores a 15 °C, em locais muito declivosos, que comportam quase sempre solos rasos e com grande quantidade de matéria orgânica (IBGE, 1992; RODERJAN, 1994). As condições ambientais, por serem mais críticas para o desenvolvimento da vegetação, fazem com que as comunidades arbóreas ali existentes sejam estrutural, fisionômica e floristicamente bastante diversas daquelas localizadas em pisos altitudinais inferiores (EWUSIE, 1980).

TABELA 1 – Principais parâmetros para definição de estágios sucessionais de vegetação secundária, conforme resolução 02/94 do CONAMA

Parâmetros	Estágios		
	<i>Inicial</i>	<i>Médio</i>	<i>Avançado</i>
Nº de estratos	1	1 – 2	≥ 2
Nº de espécies lenhosas	1 – 10	5 - 30	≥ 30
Área Basal (m ² /ha)	8 – 20	15 - 35	≥ 30
Altura do dossel (m)	Até 10	8 - 17	> 30
Amplitude de altura	Pequena	Média	Grande
Média da amplitude Diamétrica	10	25	40
Amplitude diamétrica	Pequena	Média	Grande
Crescimento das árvores do dossel	Rápido	Moderado	Lento
Ciclo de vida médio	Curto	Médio	Longo
Epífitas	Raras	Poucas	Abundantes
Lianas herbáceas	Abundantes	Poucas	Raras
Lianas lenhosas	Ausente	Raras	Presentes
Gramíneas	Abundantes	Poucas	Raras
Regeneração das árvores do dossel	Ausente	Pouca	Intensa
Espécies indicadoras na Floresta Ombrófila Mista	<i>Mimosa scabrella</i> ; <i>Vernonia discolor</i> ; <i>Schinus terebinthifolius</i> ; <i>Tibouchina selowiana</i> ; <i>Merostachys</i> spp.	<i>Ilex theezans</i> ; <i>Piptocarpa angustifolia</i> ; <i>Ocotea puberula</i> ; <i>Cedrela fissilis</i>	<i>Araucaria angustifolia</i> ; <i>Ocotea porosa</i> ; <i>Tabebuia alba</i> ; <i>Parapiptadenia rígida</i>

Fonte: DLUGOSZ, 2005.

2.3 AVALIAÇÃO DA VEGETAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO

Conforme PIRES-O'BRIEN e O'BRIEN (1995), a avaliação de comunidades vegetacionais pode ser feita por meio de métodos chamados de: a) proximais, aplicados

diretamente e exercendo contato com a área investigada; e b) métodos remotos, onde não se tem contado direto com a área investigada. Por meio da instalação e acompanhamento em parcelas permanentes, que caracterizam um dos métodos proximais, emergem importantes dados para estudos do processo sucessional, possibilitando a compreensão detalhada do papel dos distúrbios e da biologia de cada espécie vegetal presente em cada estágio sucessional, sobretudo das espécies dominantes ecológicas. Já as avaliações por métodos remotos consideram principalmente as características fitofisionômicas das espécies que compõem o dossel da floresta. LEITE (1994) comenta que as investigações da vegetação em caráter abrangente, sistemático, tanto fisionômico quanto florístico, tiveram avanço nas últimas décadas devido, principalmente, ao advento do sensoriamento remoto, que permitiu uma visualização integral, em escalas pequenas e médias, de todo o território nacional, inclusive da extensão da intervenção humana nos diversos ambientes. CROSTA *et al.* (1995) afirmam que alterações na superfície terrestre, significativas ou não, podem ser detectadas por diversas técnicas, das quais as detecções por meio de técnicas de análises visuais e digitais podem ser citadas.

O processamento digital de imagens envolve a manipulação e a interpretação de imagens digitais com o auxílio de um computador (LILLESAND e KIEFER, 1994), para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens (CRÓSTA, 1992). O objetivo de se utilizar processamento digital de imagens "é melhorar o aspecto visual de certas feições para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser, posteriormente, submetidos a outros processamentos" (SPRING, 1998). A representação digital, de uma forma geral, aumenta significativamente a habilidade de se examinar, visualizar e analisar dados obtidos por sensoriamento remoto (CAMPBELL, 1996).

A análise automática digital ou classificação de imagens é um processo de extração de informações que envolve a aplicação da teoria de reconhecimento de padrões a imagens multiespectrais (AVERY e BERLIN, 1992), por meio da identificação de elementos que exibem características homogêneas, e o agrupamento destes elementos, reduzindo neste processo a variabilidade de valores que estão numa escala numérica (níveis de cinza) para uma escala nominal (CHUVIECO, 1996). As técnicas computacionais tentam simular a capacidade do sistema visual humano em reconhecer padrões espectrais nos dados do sensoriamento remoto. Uma grande vantagem do uso do computador no reconhecimento dos padrões, em relação à interpretação visual em meio analógico, reside na capacidade que estes

têm de processar grande volume de informações presentes na imagem, tarefa esta, limitada anteriormente ao ser humano (MOREIRA, 2001).

Conforme CAMPBELL (1996), a interpretação de imagens na tela do monitor baseia-se nos mesmos princípios da interpretação de fotografias aéreas, que utiliza, geralmente, as propriedades tonalidade, textura e contexto (CRÓSTA, 1992), porém, os dados digitais possuem algumas características que requerem tratamento especial no contexto da interpretação visual (CAMPBELL, 1996). Uma das principais vantagens da análise visual (em tela) sobre a digital é a capacidade de incorporar critérios complexos à interpretação da imagem. A análise digital se baseia, quase exclusivamente, na intensidade radiométrica de cada *pixel* das bandas utilizadas na interpretação (CHUVIECO, 1996). LILLESAND e KIEFER (1994) consideram que as técnicas visuais e numéricas são complementares e que a utilização de uma ou outra (ou ambas conjugadas) depende da aplicação em questão. Técnicas de análise de imagem, combinando processamento digital e análise visual em tela, têm sido empregadas nas mais diversas aplicações biológicas, incluindo-se aquelas ligadas à botânica, agricultura e ciências florestais (ROSOT, 2002).

MOREIRA (2001) salienta que para a obtenção de êxito na análise de imagens de satélite, alguns fatores devem ser observados como época de obtenção da imagem, tipo de produto, bandas espectrais, escala das imagens, assim como a experiência do intérprete contribuem para atender os objetivos do trabalho. A correta interpretação de um objeto requer bom conhecimento de suas características, sendo o conhecimento do comportamento espectral de alvos fundamental para a extração de informações de imagens (NOVO, 1992).

2.3.1. Imageamento Orbital

Quando as respostas espectrais dos vários materiais são conhecidas, as propriedades de alvos desconhecidos podem ser determinadas pela comparação das respostas espectrais desses alvos com dados de referência. A determinação e a diferenciação do tipo de vegetação pelos métodos de sensoriamento remoto são possíveis no intervalo do visível até infravermelho médio, pois neste intervalo as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão (ENVI, 2004).

Conforme MOREIRA (2001), na região do visível, o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila. A maior parte da radiação eletromagnética na faixa do visível, nos

intervalos da luz azul (0,4 - 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 - 0,7 μm) é absorvida, enquanto, no intervalo da luz verde (0,5 - 0,6 μm) é refletida. Na faixa do espectro correspondente à região do infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm), a reflectância espectral da vegetação é dominada pela complexa estrutura interna das folhas, sendo pouco afetada pelos pigmentos e pelo conteúdo de água (RICHARDS, 1986).

Pelo fato de ser a estrutura interna da folha a controladora da reflectância, a energia refletida na região do infravermelho próximo serve de ajuda para a diferenciação de espécies em imagens de satélite (CENTENO, 2003). Segundo VENTURIERI e SANTOS (1998) o uso de imagens de sensores que imageiam na faixa do visível e infravermelho próximo, como Landsat e SPOT, têm proporcionado significativos resultados na caracterização da paisagem agrícola e florestal, ou na análise da dinâmica de ocupação da terra.

Como o mapeamento da cobertura vegetal através de dados coletados por satélites é baseado em características do espectro de reflectância dos objetos e estas variam, em função de diferentes fatores tais como fenologia, fertilidade dos solos, práticas de manejo, condições atmosféricas e situação de relevo, alguns cuidados como a simples observação destas variáveis devem ser tomados, antes da interpretação destes dados, para evitar confusões durante o processo de classificação (SZEKIELDA, 1988).

O mapeamento temático a partir de cada uma das bandas espectrais depende, ainda, das características da área de estudo (região plana ou acidentada); época do ano (inverno ou verão); ou de variações regionais ou biomas (Nordeste, Sudeste, Sul, Amazônia, Pantanal).

Evidentemente, os trabalhos de interpretação das imagens tornam-se fáceis quando o intérprete tem conhecimento de campo (ROCHA, 2000).

2.3.1.1 O sistema SPOT 5

O *Système Probatoire d'Observation de la Terre* (SPOT), foi o primeiro de uma série de satélites SPOT (denominado SPOT 1), lançado pela França (USDA FOREST SERVICE (1995). Desenvolvido pelo *Centre National D'études Spatiales* – CNES, daquele país, em conexão com o Programa de Satélite de Observação militar HELIOS II, foi concebido como um sistema comercial de aquisição de imagens orbitais (CNES, 2009). Este sistema consiste em dois instrumentos distintos, sendo um transmissor telemétrico e um gravador de fita magnética (LIU, 2007). Os objetivos principais são o de permitir um perfeito

levantamento e monitoramento dos recursos naturais, bem como pleno emprego das imagens nas atividades cartográficas de confecção ou de atualização de cartas (EMBRAPA, 2008).

Os cinco satélites da série foram lançados em 1986, 1990, 1993, 1998 e em 2002, respectivamente. Os três primeiros apresentam igualdade de características, carregando a bordo dois sistemas sensores idênticos denominados *High Resolution Visible* (HRV), que podem ser ativados independentemente. Estes sensores operam no modo pancromático (0,51 a 0,73 μm) com 10 x 10 m de resolução espacial e, no modo multiespectral (0,50 a 0,89 μm) com 20 x 20 m de resolução espacial. Estes sistemas sensores representaram um substancial avanço na área do sensoriamento remoto ótico. Em toda a série de satélites o período de revisita é de 26 dias, com horário de passagem no Brasil às 10 horas e 30 minutos, apresentando também similaridade no tipo de órbita, que se caracteriza como circular, heliosíncrona e polar (CNES, 2009).

Segundo JENSEN (2009), um ponto da Terra pode ser observado em sete diferentes passagens se localizado no equador e em 11 ocasiões se posicionado em uma latitude de 45°. Uma dada região pode ser revisitada em datas separadas alternadamente por 1, 4, e ocasionalmente 5 dias (**Figura 3**). Na **Tabela 2** são apresentados mais detalhes sobre as características dos satélites do sistema SPOT.

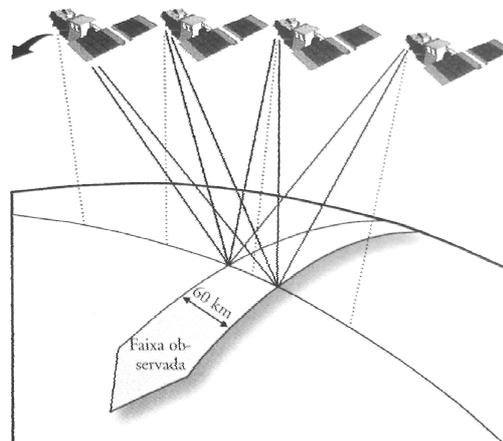


FIGURA 3 – Capacidade do SPOT de revisita fora do nadir
Fonte: JENSEN (2009).

TABELA 2 – Principais características dos satélites SPOT

<i>Satélite</i>	<i>SPOT-1</i>	<i>SPOT-2</i>	<i>SPOT-3</i>	<i>SPOT-4</i>	<i>SPOT-5</i>
<i>Lançamento</i>	22/02/1986	22/01/1990	26/09/1993	24/03/1998	04/05/2002
<i>Situação Atual</i>	Inativo (nov/2003)	Ativo	Inativo (14/11/1996)	Ativo	Ativo
<i>Altitude</i>	823 km	823 km	823 km	832 km	832 km
<i>Inclinação</i>	98°	98°	98°	98°	98°
<i>Tempo de Duração da Órbita</i>	101,4 min	101,4 min	101,4 min	101,4 min	101,4 min
<i>Instrumentos Sensores</i>	HRV	HRV	HRV	HRVIR e VEGETATION	HRG, HRS VEGETATION-2

Fonte: EMBRAPA, 2008.

Os instrumentos HRV podem rastrear no nadir, com plano perpendicular ao plano orbital do satélite, controlado por um espelho móvel comandado para rastrear a superfície com um ângulo desejado, apontando para as áreas de interesse com 27° fora do ângulo do nadir. Isso permite o acesso a uma faixa de 950 quilômetros de largura (LIU, 2007). Esse é um grande avanço em relação aos dados Landsat e do SKYLAB.

O SPOT 4 já passou a carregar a bordo dois instrumentos imageadores, o HRVIR e o VEGETATION. O primeiro tem uma faixa de recobrimento de 120 km de largura, três bandas tradicionais dos satélites antecessores (0,5 a 0,9 μm), com a inserção de uma quarta banda no infravermelho próximo (1,5 a 1,75 μm). Em conjunto com as três bandas já existentes, esta nova banda oferece uma melhor discriminação entre culturas e cobertura de plantas, e entre solos e formações geológicas. Ela é particularmente sensível ao conteúdo de água dos solos, da folhagem e da estrutura da cobertura de plantas (EMBRAPA, 2008).

O sensor VEGETATION, característico do SPOT 5, apresenta campo de visada larga e faixa da cobertura de 2.250 km, que possibilita adquirir imagem do globo inteiro, com uma resolução espacial média de um quilômetro, uma vez a cada 24 horas (JENSEN, 2009). A **Figura 4** ilustra os instrumentos SPOT HRV e HRVIR que podem ser apontados e usados para cobrir áreas que não estão diretamente abaixo do satélite (isto é, áreas fora do nadir). Este sensor imageia nas mesmas bandas espectrais dos principais instrumentos do HRVIR, incluindo a banda no infravermelho próximo, mais uma banda experimental, BO (0,43-0,47 μm) (JENSEN, 2009).



FIGURA 4 – Visada fora do nadir do SPOT

Fonte: JENSEN (2009).

Na **Tabela 3** são apresentadas especificações das bandas espectrais e resolução espectral dos sensores presentes nos satélites da série SPOT. Por causa da definição espacial elevada da SPOT pancromática, a mesma é usada frequentemente em combinação com a imagem multiespectral, para aumentar o detalhe das características do solo, tais como estradas, edifícios, e corredores da linha elétrica (USDA FOREST SERVICE, 1995). A composição colorida clássica ou composição em falsas cores utiliza XS1, XS2 e XS3, respectivamente nas cores azul, verde e vermelho. A vegetação aparece em vermelho, como nas fotos clássicas, utilizando filmes sensíveis ao infravermelho. A composição em cores naturais simuladas utiliza XS1, XS2 e XS3 respectivamente nas cores verde, azul e vermelho (ROCHA, 2000).

Segundo LIU (2007), os produtos SPOT 5 foram concebidos para satisfazer os requisitos do mercado em termos de fornecimento de informação geográfica operacional, na área de aplicações cartográficas, defesa, agricultura, redes de telecomunicações, planejamento urbano e gerenciamento de desastres naturais.

TABELA 3 – Bandas espectrais e resolução espectral dos sensores SPOT

<i>Sensor</i>	<i>Bandas Espectrais</i>	<i>Resolução Espectral</i>	<i>Resolução Espacial</i>	<i>Resolução Temporal</i>	<i>Faixa Imageada</i>
<i>HRV</i> (com opção de visada lateral)	PAN	0,50 - 0,73 μm	10 m		
	XS1	0,50 - 0,59 μm		26 dias	60 x 60 km
	XS2	0,61 - 0,68 μm	20 m		
	XS3	0,78 - 0,89 μm			
<i>HRVIR</i>	Mono espectral	0,61 - 0,68 μm	10 m		
	B1	0,50 - 0,59 μm			
	B2	0,61 - 0,68 μm	20 m	26 dias	60 x 60 km
	B3	0,78 - 0,89 μm			
<i>HRG</i>	MIR	1,58 - 1,75 μm			
	PA E SUPERMODE	0,48 - 0,71 μm	5 m		
	B1	0,50 - 0,59 μm			
	B2	0,61 - 0,68 μm	10 m	26 dias	60 x 60 km
	B3	0,78 - 0,89 μm			
<i>HRS</i> (gera pares estereoscópicos)	SWIR	1,58 - 1,75 μm			
	PA	0,49 - 0,69 μm	10 m	26 dias	120 x 600 km
<i>VEGETATION e VEGETATION-2</i>	B0	0,43 - 0,47 μm			
	B2	0,61 - 0,68 μm			
	B3	0,78 - 0,89 μm	1 km	24 horas	2.250 km
	MIR	1,58 - 1,75 μm			

Fonte: EMBRAPA, 2008.

As atividades de levantamento de sistemas terrestres começam pela interpretação (via aerofotogrametria, imageamento orbital e análise do relevo) das formas de terreno e da vegetação, mapeadas independentemente, em que se procuram as feições características de cada sistema terrestre. O conhecimento de variáveis topográficas apresenta importância na compreensão de um sistema, podendo ser utilizado dados coletados pela *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) para suprir a necessidade deste tipo de informação.

2.3.1.2 Dados da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM)

A sigla SRTM não se refere ao nome de um satélite, mas de uma missão espacial liderada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), juntamente com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e com parceria das agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI). A missão durou 11 dias do mês de fevereiro de 2000, visando gerar um modelo digital de elevação quase-global (BARROS, *et al.*, 2005). Foram percorridas por dia 16 órbitas, totalizando 176 órbitas. Corresponde a um radar (SAR) a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, que adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre, nas bandas C e X e fazendo uso da técnica de interferometria. Nesta técnica a altitude é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens radar sobre um mesmo local na Terra (NASA, 2009).

Os dados SRTM vem sendo usados para suprir a carência geral de dados topográficos, com escalas adequadas, em diversas regiões do mundo. Essas informações podem ser consideradas os melhores elementos topográficos já disponíveis para grande parte do território brasileiro (com resolução espacial de aproximadamente 90 m). Porém, por se tratar de um dado de banda C, o MDE gerado não é fiel à topografia, pois sofre influência da vegetação (KELLNDORFER *et al.*, 2004). Desta forma, em áreas com cobertura florestal, a altura do dossel é um importante fator a ser considerado na modelagem do relevo a partir de dados extraídos do SRTM (VALERIANO *et al.*, 2005).

Há a possibilidade de se adquirir dados com resolução de 30 x 30 m, como o produto de um refinamento, por krigagem, da resolução espacial original de três arco-segundos (aproximadamente 90 m) para um arco-segundo (aproximadamente 30 m) (BARROS, *et al.*, 2005). Por meio do projeto TOPODATA, que traz um banco de dados geomorfométricos para todo o território nacional, os dados SRTM com resolução de 30 m, estão sendo, desde 2003, disponibilizados gratuitamente pela Divisão de Sensoriamento Remoto, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

2.3.2 Aerofotogrametria e Aerolevantamentos

Segundo WOLF (1983), a Aerofotogrametria pode ser definida como sendo a arte, a ciência e a tecnologia de se obter informações confiáveis de objetos físicos e do meio

ambiente, através de fotografias, por medidas e interpretações de imagens e objetos. As imagens fotográficas surgiram em meados do século XIX e a utilização de câmaras a bordo de balões, aviões e satélites permitiram o registro panorâmico da superfície terrestre (WHITMORE, 1952). A representação cartográfica foi desenvolvendo-se e, após a 1ª Guerra Mundial, a utilização de fotografias aéreas permitiu que as cartas fossem atualizadas em menor tempo (BRANCO, 1949). Pelo fato da tecnologia para levantamentos aerofotográficos existir desde o início do século XX, é possível encontrar aerolevantamentos bastante antigos, com mais de setenta anos (RODRIGUES, 2001).

As técnicas tradicionais de mapeamento e o sensoriamento remoto surgiram como consequência natural do desenvolvimento da manipulação desse tipo de imagens (VOLOTÃO, 2001). As fotografias aéreas possibilitam levantamento de informações territoriais sobre redes urbanas, uso da terra rural e urbana, sistema viário, recursos naturais, evidências de degradação ambiental, entre outros inúmeros dados. Além de recobrir extensas áreas no terreno, as fotografias aéreas registram e documentam o local no instante fotografado, tornando-se assim uma excelente ferramenta em estudos de avaliação e de monitoramento ambiental de uma região (DISPERATI *et al.*, 2006). Havendo seqüências de aerolevantamentos, ou ainda vôos antigos, as aerofotos poderão apoiar estudos espaciais evolutivos ou retrospectivos (RODRIGUES, 2001).

O sensoriamento remoto aéreo (fotografias aéreas) ou orbital (imagens de satélite) pode ser usado para registrar e avaliar a condição dos recursos naturais e culturais afetados pela atividade humana. A observação temporal de determinadas características da paisagem é a base para o monitoramento ambiental (MACE, 1997). Um sistema de monitoramento de abrangência regional ou estadual deve prever em sua estruturação alguns componentes estratégicos que aliem a capacidade de verificar grandes áreas à garantia de obtenção do nível de detalhamento desejado para a variável de interesse.

Em especial no que diz respeito aos sistemas de monitoramento da vegetação, acredita-se que as técnicas de levantamento aéreo – quer sejam associadas à aquisição de imagens ou não – podem vir a contribuir no sentido de se estabelecer um compromisso entre área sobrevoada e escala de levantamento, envolvendo para tanto os indicadores para recursos ambientais selecionados para cada processo (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

No início da década de 60, o projeto RADAM tornou-se um marco no uso de aerolevantamentos para monitoramento ambiental. Esse projeto foi realizado com base nos resultados do sobrevôo de toda a região Amazônica, que contava com um elenco de

instrumentos sensores, cujas características permitiram a obtenção de imagens, independente da hora do dia ou da noite, bem como das condições climáticas adversas da região (AZEVEDO *et al.*, 1990).

ARAÚJO e SARTÓRIO (2004) apresentaram o projeto ARARA (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas), que iniciou em 1999 com o objetivo de substituição de aeronaves convencionais utilizadas para o monitoramento por veículos aéreos não tripulados de pequeno porte. Foram avaliadas as possibilidades do uso do equipamento em atividades de monitoramento e mapeamento, no que diz respeito à qualidade do plantio, mato-competição, pragas, sanidade, danos e invasões. Principalmente objetivou na busca de alternativas de imageamento que atendam aos critérios econômicos e técnicos, questões que não estão supridas com as tecnologias comerciais disponíveis.

Nos levantamentos aéreos para o monitoramento de áreas florestais vem sendo testado o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Conforme HOSHIGUTI (2009), o projeto de pesquisa, coordenado pelo professor Dr. Dartagnan Baggio Emerenciano, da Universidade Federal do Paraná, com o apoio da Polícia Federal, envolve a utilização de aeromodelos radio-controlados, equipados com câmera fotográfica e de vídeo, piloto automático, GPS, e transmissores de imagens em tempo real. O trabalho mencionado visa a obtenção de fotos aéreas em áreas florestais e o monitoramento de áreas para fins de fiscalização e apoio a órgãos ambientais. Para tanto, está sendo construído um aeromodelo dotado de equipamentos miniaturizados de última geração e com transmissores e receptores de longo alcance, que permitirão abrangência de monitoramento na área de segurança e outros fins.

2.3.2.1 Levantamento Aéreo Expedito – LAE

Nos próximos itens são apresentadas características e estado-da-arte do Levantamento Aéreo Expedito, uma ferramenta em uso para o monitoramento florestal e seu sucessor com tecnologia embarcada, o Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED).

2.3.2.1.1 Histórico do LAE

A técnica de Levantamento Aéreo Expedito, conhecida nos Estados Unidos como *Aerial Sketchmapping*, é uma ferramenta de sensoriamento remoto, usada para a avaliação das condições fitossanitárias das florestas da América do Norte (CIESLA, 2000). A partir de 2001 foi adaptada às condições brasileiras através de parceria entre a *Embrapa Florestas* e *USDA Forest Service*, com o objetivo inicial de monitorar a vespa-da-madeira (*Sirex noctilio*) em plantações de *Pinus* spp. no sul do país (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Um processo de treinamento e várias campanhas de campo e aéreas foram realizadas ao longo dos anos subsequentes, tornando a técnica conhecida e criando possibilidades de sua utilização em distintas ocasiões.

2.3.2.1.2 Descrição da técnica de LAE

A técnica de Levantamento Aéreo Expedito consiste na observação e anotação de feições ou fenômenos a partir de sobrevôos na área de interesse. Para a realização de estudos usando LAE algumas diretrizes técnicas devem ser consideradas, sendo mais relevantes as características da aeronave, o perfil do observador aéreo e a assinatura do dano ou feição.

A aeronave deve possuir janelas grandes, que permitam maior visibilidade, pois o LAE depende basicamente da anotação feita pelos observadores aéreos. A utilização de aviões de asa alta colaboram para esse fator, por não proporcionar o efeito conhecido como “zona cega”, causado em aviões de asa baixa, que pode impedir ou dificultar a observação da feição desejada no momento exato em que a aeronave a sobrevoa. O uso de helicópteros é uma excelente alternativa, porém chegam a serem três vezes mais caros que as aeronaves com asas fixas (CIESLA, 2000).

A velocidade de deslocamento deve ser entre 90-100 Mph (145-160 km/h), sendo que velocidades maiores não são condizentes com o tipo de trabalho por dificultar a anotação das informações observadas. A altura de vôo pode variar de 1.000-1.500 pés (300-450 m) sobre elevação média do terreno. Recomenda-se não realizar levantamentos aéreos por mais de seis horas/dia devido à fadiga e à tensão, tanto do piloto como dos observadores, assim como não iniciar os vôos antes das oito horas da manhã, em função da possível presença de sombras nas

faces oeste e sul das escarpas e pela possibilidade de ocorrência de neblina matinal (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Como o levantamento aéreo envolve o registro da localização de áreas em mapas, o observador aéreo deve conseguir localizar-se exatamente durante todo o tempo de voo para permitir que os dados sejam registrados adequadamente. Esse também deve ter visão normal para identificação de cores, fato que permitirá o reconhecimento da presença de pragas e doenças em áreas florestadas, bem como contribuirá para a correta classificação dos diferentes usos da terra. Além de tudo, o observador não pode ter medo de voar e ter habilidade de resistir ao desconforto de voo. Entretanto, mesmo com treinamento, algumas pessoas certamente serão fisicamente incapazes de participar de estudos de mapeamento aéreo (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

O treinamento do observador é fundamental para a qualidade do levantamento, sendo que ele deve possuir amplo conhecimento do objetivo da missão, das características dos alvos a serem abordados e possíveis variações de aparência dentro da mesma classe, que pode ser influenciada pela sua fenologia, estágio de desenvolvimento ou da época de análise. Essa capacitação permitirá a discriminação de áreas ou feições, para então “desenhar” esses pontos ou polígonos sobre um mapa-base, identificando-os de acordo com um código pré-estabelecido. Ainda, os observadores envolvidos em uma campanha devem apresentar uma sistematização padronizada de avaliação e anotação de maneira a evitar confusão de interpretação e erros nos resultados.

Deve-se enfatizar que o sucesso de uma campanha aérea é alcançado pelo esforço não somente dos observadores aéreos, mas sim de toda a equipe como pilotos, pessoal de apoio terrestre, além de todos os envolvidos no planejamento, digitalização e compilação da base de dados.

2.3.2.1.3 Características operacionais da técnica LAE

Previamente ao voo propriamente dito, dever-se-á preparar o mapa-base, podendo ser um mapa planimétrico ou planialtimétrico (cartas topográficas) ou, ainda, uma carta imagem, devendo-se atentar para o “efeito escala”. A escala deve ser cuidadosamente planejada para que a maior quantidade de informações disponíveis sejam inseridas no sistema, sem comprometer a qualidade visual destas informações. Todos os mapas de estudos aéreos devem

estar vinculados a um sistema de coordenadas conhecido e apresentar apenas aqueles dados temáticos específicos da campanha em questão. A existência de muitos dados temáticos pode dificultar o uso do mapa (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Os mesmos autores comentam que o observador aéreo detecta o “evento” objeto da campanha aérea específica e desenha no mapa-base o tamanho, forma, intensidade do problema (se for o caso) e a sua localização, com a maior precisão possível. Essas informações, depois, passam a compor uma *layer* adicional de dados, e podem ser atualizadas periodicamente.

2.3.2.1.4 Operações posteriores ao levantamento aéreo

Imagens em formato analógico podem ser transformadas em digitais através do processo conhecido por digitalização, com o uso de um *scanner*, que a transforma em uma matriz de linhas e colunas, atribuindo para cada célula um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original. Essa matriz é, então, convertida para um formato digital gráfico, podendo ser lida e manipulada por sistemas de processamento digital (CRÓSTA, 1992). Desta forma as observações e anotações dos observadores aéreos são incorporadas ao material já espacializado anteriormente, atualizando feições pré-definidas.

2.3.2.1.5 O Levantamento Aéreo Expedito na detecção de danos florestais

As “assinaturas de feições” ou “assinaturas de danos” podem ser descritas como uma combinação de características que permitem ao observador aéreo identificar determinados aspectos da variável de interesse ou dos sintomas associados a agentes específicos, causadores de danos florestais, na forma como aparecem a partir de uma perspectiva aérea. Segundo CIESLA (2000), algumas das características que determinam a assinatura de um objeto (planta) observado à distância e que permitem que ele seja identificado são: cor ou coloração, forma, brilho, textura, posição espacial. A realização de missões continuadas para o monitoramento de um mesmo conjunto de variáveis ou eventos permite que os observadores passem a construir e a elaborar padrões para as “assinaturas” necessárias a determinado objetivo.

CIESLA (2008) comenta que apesar da introdução de muitas tecnologias novas de detecção remota, o *Aerial Sketchmapping* é, ainda, o principal na avaliação de danos florestais causados por insetos, doenças e por outros agentes. Os resultados obtidos pela técnica podem ser utilizados para: a) monitorar danos causados por pragas; b) iniciar operações de corte preventivo em povoamentos infestados; c) planejar operações de manejo de pragas; e d) estruturar um banco de dados históricos relativos à ocorrência e intensidade de infestações por insetos ou doenças (CIESLA *et al.*, 2002).

Além destas, o LAE também foi empregado na detecção e mapeamento de incêndios e danos causados por eventos naturais. Também apresenta grande potencial de uso no mapeamento de regiões que sofreram mudanças na cobertura da terra, principalmente por desmatamento, o que vem sendo apontado como um fator de grande influência sobre as mudanças do clima, além de perda da diversidade biológica.

Esta técnica forneceu dados sobre posição e intensidade de manifestações da praga desde o final dos anos 40 do século passado. Atualmente, o LAE é considerado como operação de rotina para a detecção de pragas florestais nos USA e Canadá. Anualmente, são percorridos por meio de LAE uma média de nove milhões de hectares, em aproximadamente 300 horas de voo e em torno de 32 mil hectares sobrevoados por hora (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Também, na Austrália são relatados usos da técnica para detecção e avaliação de ataques de pragas em plantações de espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*.

No Brasil, OLIVEIRA *et al.* (2004) descrevem os procedimentos do uso do LAE para o mapeamento de danos fitossanitários em povoamentos florestais no Estado do Paraná. Os trabalhos foram conduzidos pela *Embrapa Florestas* e *USDA Forest Service* na região de União da Vitória e Pitanga-PR, sendo realizados em três campanhas de vôos operacionais nos anos de 2002, 2003 e 2004, perfazendo mais de um milhão de hectares, que correspondem a aproximadamente 5% da área total do Estado. Todos os levantamentos foram efetuados utilizando o método do voo em grade, com linhas de voo definidas em intervalos de quatro quilômetros, determinando uma faixa de mapeamento de dois quilômetros para cada observador (**Figura 5**). Foram também realizados vôos de treinamento para discriminação de diferentes fases sucessionais em remanescentes de Floresta com Araucária e levantamentos para monitorar desmatamentos nesse ecossistema.

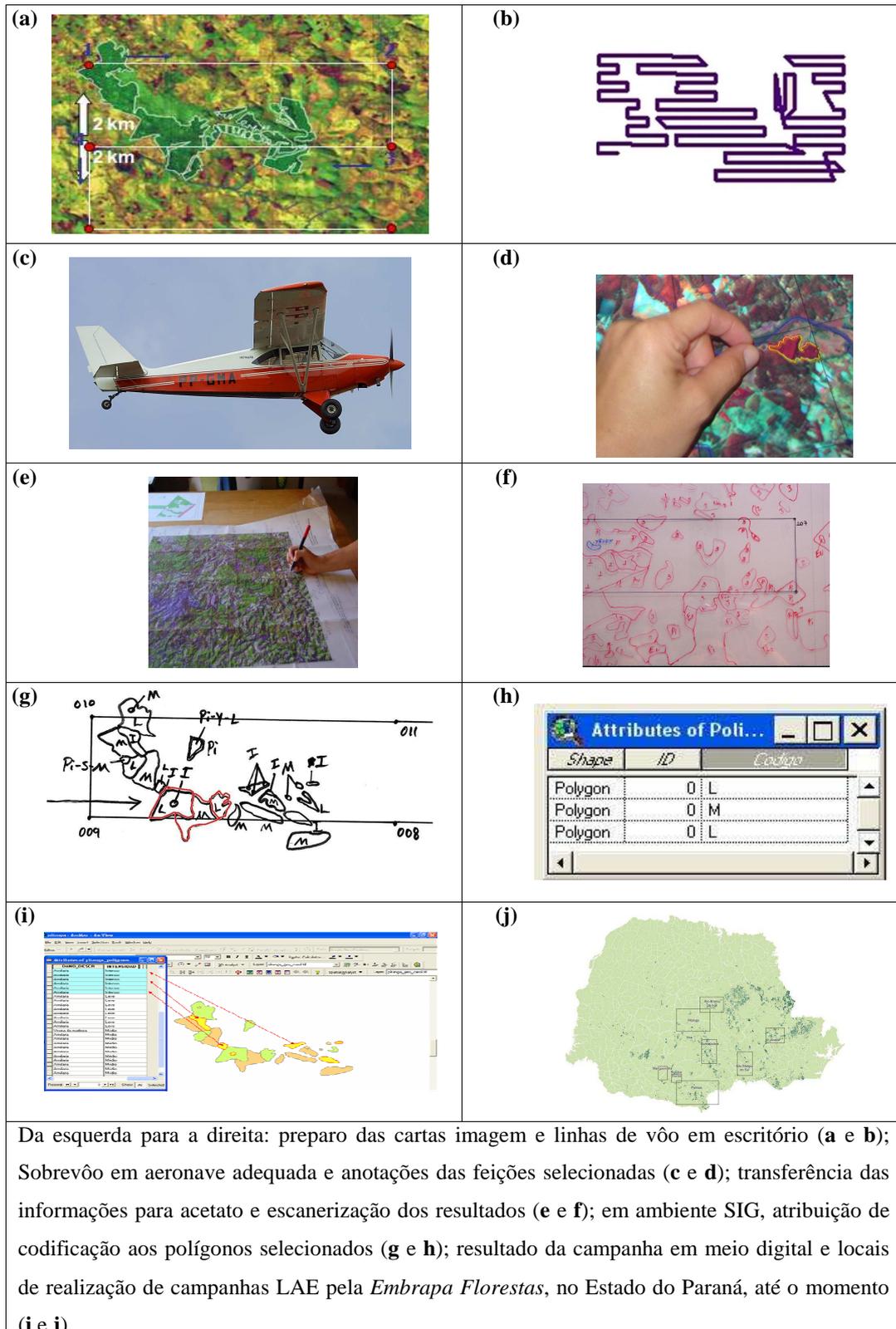


FIGURA 5 – Sequência esquemática das etapas para realização de uma campanha LAE

Além dos trabalhos da equipe da *Embrapa Florestas*, SANTOS e PABIS (2008) utilizaram o Levantamento Aéreo Expedito, associado com a tomada de fotografias aéreas

inclinadas, para o apoio ao desenvolvimento do inventário florestal quali-quantitativo, sendo que 70% das parcelas lançadas em campo foram baseadas nas associações mapas-fotos. Além de contribuir com o inventário florestal, o Levantamento Aéreo Expedido norteou ações de adequação do uso da terra, direcionamento das equipes de proteção florestal e patrimonial, além do planejamento de melhoria das condições silviculturais.

2.3.2.1.6 Levantamento Aéreo Expedido para a determinação da acuracidade temática

Os resultados obtidos com as campanhas realizadas ao longo dos últimos anos e a excelente relação custo-benefício da metodologia LAE levaram à sua proposição – por parte da *Embrapa Florestas* - como alternativa para a avaliação da acuracidade de mapeamentos levados a cabo em nível regional ou nacional, como no caso das unidades amostrais de paisagem do Inventário Florestal Nacional do Brasil, cujo projeto está em execução através de um acordo de cooperação técnica entre o governo brasileiro e a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Tal proposição foi sedimentada em função do seu histórico de uso no Brasil. Já em 2002, campanhas operacionais LAE foram conduzidas pela *Embrapa Florestas* e *USDA Forest Service* na região de União da Vitória e Pitanga-PR, visando quantificar danos fitossanitários em plantações florestais, os quais foram codificados e descritos em CIESLA *et al.* (2002). A avaliação da acuracidade foi executada em ambiente SIG tomando por base os polígonos do mapa, ou seja, os pontos de controle foram representados pelos centróides dos polígonos desenhados pelo observador aéreo, correspondentes à “verdade de campo”. A acuracidade geral para o levantamento foi de 91,43%. Cerca de 40% dos povoamentos danificados por macaco-prego não puderam ser detectados no LAE. O mesmo ocorreu para povoamentos atacados simultaneamente por macaco e vespa, com omissão de 50%. Todos os povoamentos infestados por vespa foram discriminados, enquanto 10,71% dos polígonos identificados como sendo atacados por vespa, pertenciam, na verdade, a outras classes de danos (erro de comissão) (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

2.4 O LEVANTAMENTO AÉREO EXPEDITO DIGITAL - LAED

Conforme salienta publicação do USDA FOREST SERVICE (2005), o Levantamento Aéreo Expedito (LAE), dito convencional, é executado usando mapas impressos em papel. Com os avanços computacionais e da tecnologia de *display touch screen* tornou-se possível capturar as observações aéreas diretamente em formato digital compatível com uma base de dados de Sistema de Informações Geográficas, dinamizando, deste modo, o levantamento, a conversão e o processamento de dados.

Essa evolução tecnológica deu origem a uma nova fase do Levantamento Aéreo Expedito, denominada originalmente *Digital Aerial Sketchmapping* (D-ASM) e traduzida como Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED). Entretanto, os conceitos básicos do LAE convencional aplicam-se igualmente ao digital. Para CIESLA (2008) contribuíram para tal evolução tecnológica: a) os avanços na velocidade dos microprocessadores e nos componentes dos computadores pessoais do tipo PC; b) a melhoria de desempenho dos sistemas operacionais; c) a popularização do uso do GPS; e d) o desenvolvimento de tecnologia envolvendo monitores com luz solar legível do tipo “*touch screen*”, que tornaram possível o uso de *notebooks* para gravação de dados em levantamentos aéreos de fitossanidade florestal.

SCHRADER-PATTON (2003) apresenta uma das primeiras publicações envolvendo o LAED. Nesta foi descrito o projeto do desenvolvimento do sistema, que possuía o objetivo de substituir ou maximizar a eficiência do sistema LAE. Para tanto, vários *hardware* e opções de *software* foram investigados. Este sistema apresentou como indicadores favoráveis o rastreamento automático da posição da aeronave na base cartográfica por meio da conexão a um receptor GPS e a redução do tempo de digitalização de dados em um SIG. O autor previa melhorias futuras para o sistema, incluindo modificações no *software* para a interface do usuário, o desenvolvimento de um sistema de entrada dupla e ampliação dos dados utilizados como mapas de fundo.

Desde o início do século XXI, o USDA *Forest Service*, através de sua Equipe Privada de Tecnologia em Sanidade (*Forest Health Technology Enterprise Team - FHTET*) e do Centro de Aplicações de Sensoriamento Remoto (*Remote Sensing Applications Center - RSAC*), têm trabalhado em conjunto para desenvolver o LAED (CIESLA, 2008). Inicialmente o sistema foi desenvolvido usando *notebooks* comercialmente disponíveis (SCHRADER-PATTON, 2008), sendo que adicionalmente, um segundo monitor era eventualmente

utilizado, para um segundo observador, podendo este, no caso ser um *tablet* PC acoplado ao *notebook* principal. A **Figura 6** apresenta uma das marcas adotada naquele momento e ainda em uso por algumas equipes nos EUA.



FIGURA 6 – Sistema baseado em um *notebook* (1), modelo Dell 8000 PC, com aparelho receptor GPS Garmin 12XL (2), e *tablet touch screen* da marca KDS (3)

Fonte: Adaptado de SCHRADER-PATTON, 2008.

Seguindo o desenvolvimento inicial do sistema, o LAED original foi testado por tripulações americanas no monitoramento da vida selvagem, sendo aprovado o conceito, mas sugeriram a adoção de sistemas fisicamente menores, que pudessem incluir um meio de obtenção da informação e possibilidade de anotação de incidentes em tempo real. Assim, um *tablet* PC foi seleccionado (**Figura 7**), possuindo este uma caneta digital acoplada, desenvolvida pela NASA com tecnologia denominada “*Remote Internet Protocol Communications System*” – RIPCom, que culminou em um sucesso dois anos de colaboração entre a NASA Goddard e a RSAC.



FIGURA 7 – *Tablet* PC adotado para as campanhas aéreas usando a tecnologia LAED

Fonte: SCHRADER-PATTON, 2008.

O núcleo do sistema LAED é o *software* GeoLink, desenvolvido e patenteado pela empresa Michael J. Baker *Incorporation*. O *software* de mapeamento GeoLink foi avaliado juntamente com uma série de outros *softwares*, na busca do melhor sistema a ser adotado, considerando aspectos como qualidade dos programas e integração de sistemas, assim como facilidade de uso em campanha. Outra possibilidade testada foi o uso do ArcPAD, da ESRI. Porém, como resultado das avaliações, e em função das opiniões do pessoal dos grupos RSAC e da Baker Inc, o GeoLink foi selecionado como o *software* a ser utilizado no sistema proposto (MORRIS e BAKER JUNIOR, 2008), embora outras tecnologias possam ser também eficientes.

A vantagem do GeoLink é que o mesmo tem sido extensa e exaustivamente testado e aprimorado, tornando-se hoje bastante eficiente para uso em campanhas aéreas usando LAED (SCHRADER-PATTON, 2008). O GeoLink incorpora um sinal de GPS, mostrado em janela exibida na tela (**Figura 8**) e permite que o observador aéreo desenhe pontos, linhas ou polígonos sobre mapas previamente elaborados e disponibilizados no sistema, acompanhando – durante o vôo planejado – a feição ou evento que acontece em terra.

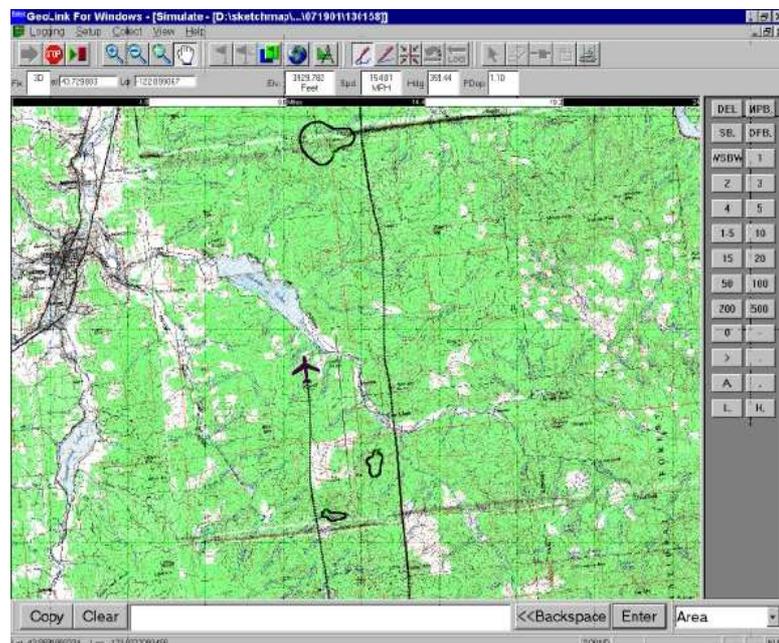


FIGURA 8 – Resultado do mapeamento digital aéreo expedito com o cursor na tela mostrando a localização e o percurso da aeronave no procedimento LAED
Fonte: CIESLA (2008).

O GeoLink, em seguida, traduz esses dados em *shapefile*, um formato comum de GIS. Uma das características mais benéficas do sistema LAED é que a ligação do GPS e do

software GeoLink permite a exibição de um cursor na tela de toque, que mostra a sua localização em tempo real da aeronave. Isso permite a localização mais precisa das áreas em observação, em função de que o “rastreamento da aeronave” em relação às características do terreno é menos difícil. Outra vantagem do LAED é que os dados resultantes são em formato digital, que podem ser facilmente transferidos para um SIG (HINKLEY *et al.*, 2006), sem os passos de digitalização utilizados no esquema anterior (LAE), que consumiam significativo tempo para execução.

Alguns trabalhos já têm sido publicados usando a tecnologia LAED, não somente para a detecção precoce e monitoramento das áreas afetadas por pragas e doenças (CIESLA, 2008; HINKLEY *et al.*, 2006), mas também para o monitoramento de espécies de ervas daninhas invasoras (SCHRADER-PATTON, 2008).

KARL e PORTER (2006) realizaram levantamentos por meio da técnica de LAED na área do Rio das Serpentes do *Hells Canyon*, em Idaho-Oregon (EUA), no ano de 2004. O objetivo do trabalho foi a detecção e mapeamento de plantas invasoras, sendo neste caso realizado por meio de helicóptero que permitia vôos mais lentos e em menores alturas. As campanhas foram realizadas entre maio e outubro (próximo do verão nos EUA), tendo cada campanha foco preliminar em determinada espécie invasora, mas anotando também dados de outras espécies possíveis de ser identificadas. Os autores mencionam que, para melhorar a localização dos alvos e aumentar a eficiência do inventário, foi necessário segmentar a área em sub-unidades, dividindo-a com base em características facilmente reconhecidas do ar. Porém, para cada sub-divisão da área, os mesmos critérios devem ser utilizados nas avaliações subsequentes para evitar inconsistências. Como desvantagem do emprego da técnica apontaram dificuldades na observação de indivíduos pequenos ou isolados.

Conforme apresentado em CISMA (2009), no Estado da Flórida (EUA), em 2005, iniciou-se o projeto piloto desenvolvido através de convênio de cooperação entre o Distrito de Gerenciamento de Água do Sul da Flórida (*South Florida Water Management District – SFWMD*) e o Serviço Nacional de Parques (*National Park Service – NPS*), que tinha por objetivo avaliar, por meio de Levantamento Aéreo Expedido Digital, a distribuição espacial e a abundância de sete espécies invasoras que ocorriam em Unidades de Conservação, sendo elas: *Lygodium microphyllum* R.Br., *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S.T.Blake, *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Pennisetum purpureum* Schumach., *Neyraudia reynaudiana* (Kunth) Keng ex Hitchc., *Casuarina equisetifolia* L., e *Thespesia populnea* (L.) Correa. Foram sobrevoadas a Reserva Natural Nacional de Refúgio da Vida Silvestre de Loxahatchee, as

Áreas de Conservação de Água (WCA-2, WCA-3A e WCA-3B) e o Parque Nacional de Everglades. O projeto apresentou resultados satisfatórios, fato que, em 2008, trouxe a recomendação de avaliações bienais em todas as áreas que estão sob gerência da *Cooperative Invasive Species Management Area* – CISMA, que representa 2,68 milhões de acres (1,09 milhões de hectares). As faixas de vôo foram de um quilômetro de largura, sendo sobrevoadas em sentido leste-oeste, com velocidade de 130 a 160 km/h em altura de aproximadamente 150 m acima do nível do solo. Os polígonos foram gerados por espécie avaliada, agrupando-se em classes conforme as densidades regionais encontradas, sendo: alta densidade (maior que 50%); média densidade (entre 25 e 50%); baixa densidade (menor que 25%).

HINKLEY *et al.* (2006) apresentaram a sistematização desenvolvida pelo Centro de Aplicações de Detecção Remota (RSAC) do Serviço Florestal Americano em parceria com a NASA-Goddard *Space Flight Center* para uso na detecção e registro de incêndios. O sistema, que integra a técnica de LAED a uma fonte de comunicação remota de longo alcance para repasse de dados com alta velocidade, denominado de *Remote Internet Protocol Communications System* (RIPCom), permite aos peritos em combate a incêndios coletar informações pertinentes ao incidente (como perímetro do incêndio, pontos de calor, estruturas existentes e rotas de acesso) e disseminar de forma rápida estas informações ao comando de combate e a outras frentes de operações.

2.4.1 Custo *versus* Benefício da Técnica de LAE e LAED

Levantamentos aéreos são reconhecidamente um poderoso aliado do monitoramento, em função da rapidez na obtenção de dados. Este é um dos mais fortes argumentos para a adoção do LAE ou LAED para o monitoramento, principalmente, os que envolvem grandes áreas. Além disso, o acesso para coleta de dados do objeto de interesse, quando usada a técnica de LAE ou LAED, não apresenta restrições no que se refere ao uso de estradas e caminhos, sendo possível acessar, facilmente, áreas longínquas e até mesmo inóspitas.

O monitoramento aéreo possui uma ótima relação custo-benefício, já que cobre extensas áreas florestais, a maioria delas inacessíveis, em um tempo relativamente curto. Considerando-se o tempo de espera com relação às condições climáticas, pode-se afirmar que 200 mil hectares por dia podem ser monitorados confortavelmente por uma equipe de dois

observadores experientes. Para uma velocidade de 145-190 km/h a capacidade de se observar chega a 256 ha a cada 15 segundos de vôo. Na **Tabela 4** apresenta-se um comparativo entre levantamentos terrestres e o LAE para a detecção de pragas em povoamentos de em *Pinus* spp.

TABELA 4 – Comparativos entre grandezas envolvidas nos monitoramentos aéreo expedito e terrestre

MONITORAMENTO	LAE	TERRESTRE
Custo/ha	de US \$ 0.02 ⁽¹⁾ a US \$ 0.33 ⁽²⁾	US \$ 5.26
Tempo	1 hora	86.400 horas
Equipe	3 pessoas ⁽³⁾	3 pessoas

Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2007).

⁽¹⁾ Para área maior que 300 mil ha; ⁽²⁾ Para área de aproximadamente 4 mil ha; ⁽³⁾ (1 Piloto e dois técnicos).

Outro exemplo apresentado pela CISMA (2009) na avaliação de espécies invasoras, o custo efetivo para a execução do levantamento foi de US \$ 0.09 por hectare. Também, segundo KARL e PORTER (2006), em trabalho similar de inventário de espécies invasoras o custo variou de US \$ 0.27 a US \$ 1.75 por hectare avaliado, sendo, neste caso, utilizado um helicóptero, fato que evidencia o maior custo.

Deve-se prever possíveis variações no custo devido à influência do tempo de vôo do aeroporto até a área de estudo, habilidades do observador aéreo, objetivos da missão, características da região sob análise e da aeronave. Estes fatores podem, separadamente ou em conjunto, exercer considerável alteração nos valores do projeto. Ainda, na fase de planejamento sempre deverá ser considerada a possibilidade de mau tempo, que é um potencial problema causador de atrasos nos aerolevantamentos.

Segundo SCHRADER-PATTON (2008), os custos de aquisição de equipamento como *laptop*, *tablet touch screen*, ou *pen tablet*, GPS e cabos de conexão podem variar de US \$ 8,000.00 a US \$ 10,000.00 dependendo da configuração escolhida. Para aquisição do *software* GeoLink o custo é de aproximadamente US \$ 1,400.00. Também a compra e o processamento dos dados digitais de base ou auxiliares devem ser considerados no orçamento, uma vez que variam em função do objetivo do trabalho e da disponibilidade. Se comparado com metodologias de monitoramento por meio de imagens de alta resolução, que também dependem de *hardware* e *software* para a execução do trabalho, o Levantamento Aéreo Expedito apresenta custos inferiores quanto à aquisição de dados e geração das informações.

2.5 ATUALIZAÇÃO DE BASE TEMÁTICA PARA O MONITORAMENTO

Uma das prioridades na tomada de decisões, em nível governamental, para um adequado processo de fiscalização da vegetação e/ou de planejamento de uma determinada região, diz respeito à disponibilidade de levantamentos temáticos, que mostrem o estado atual dos recursos naturais e seu uso pelo homem. Neste contexto, tornar operacional e de acesso público a cartografia temática das áreas desflorestadas, em uma base de dados, é de suma importância, tanto para os tomadores de decisões, quanto para aqueles interessados em modelar os efeitos dos processos antrópicos (DUARTE *et al.*, 1999).

De acordo com OLIVEIRA *et al.* (2007), considerando-se a importância dos recursos naturais para a regulação da vida no planeta, há a necessidade de aplicação de limites a cada atividade antrópica, visando dirimir resultados negativos sobre a qualidade do meio ambiente. Uma forma de atuação sobre as alterações regionais, possibilitando o acompanhamento de mudanças, é o desenvolvimento e adoção de técnicas de monitoramento do uso da terra, ao nível espacial e temporal.

A Declaração de Santiago define monitoramento como sendo a medição e avaliação periódica e sistemática da mudança em um indicador, mais especificamente, “a aferição regular que tem como objetivo determinar a ocorrência de desvios com relação a uma norma esperada” (ESTRAVIZ-RODRIGUEZ, 1998). MACLEOD e CONGALTON (1998) apresentam alguns aspectos que devem ser considerados no monitoramento ambiental, sendo eles: a origem da alteração da paisagem, a detecção propriamente dita da mudança, a intensidade, a direção e a transformação do uso e cobertura do solo. Segundo OLIVEIRA *et al.* (2007), os sistemas de monitoramento comumente envolvem o uso de imagens (fotografias aéreas ou imagens satelitárias) e o acompanhamento de campo (atualmente também feito com o auxílio de GPS) em um sistema georreferenciado.

Os estudos de mapeamento temático visam caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento de ações e estudos futuros. Exemplos seriam levantamentos temáticos de geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal, dos quais o Brasil ainda é bastante deficiente, especialmente em escalas maiores (MEDEIROS e CÂMARA, 2001). Conforme CÂMARA e MEDEIROS (1998), os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica. Estes dados são obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens.

As imagens de Sensoriamento remoto são obtidas em formato matricial com dimensões limitadas, que variam de acordo com o sistema sensor utilizado (MSS, TM, SPOT, AVHRR, etc). Quando se deseja analisar áreas extensas ou localizadas na vizinhança de duas ou mais imagens, surge a necessidade de juntá-las através de um mosaico. Ao processo de fusão entre imagens consecutivas dá-se o nome de mosaicagem, definida como o processamento que visa unir em um único arquivo de imagem duas ou mais cenas ou extratos de imagem. Este processo não é meramente visual, mas estritamente técnico e leva em consideração parâmetros rígidos em termos cartográficos.

Pode-se mosaicar imagens tomadas em datas distintas, muito embora este procedimento possa causar deformações na intersecção das imagens mosaicadas, devido à eventuais diferenças de ângulo de visada na hora da tomada das imagens brutas. Na montagem de um mosaico digital, a partir de duas ou mais cenas com faixas de superposição, a junção entre as imagens é geralmente aparente (MILGRAM, 1975). As bordas aparentes são resultantes das mudanças ocorridas entre as épocas de aquisição das imagens. Neste intervalo de tempo, as condições atmosféricas podem ter variado, a umidade do solo pode estar diferente, mudanças sazonais podem ter ocorrido na vegetação, problemas de calibração do sensor podem ter acontecido, etc (ELMIRO, 1993). Frequentemente, as bordas criadas artificialmente na região de junção são mais visíveis que a informação verdadeira contida na imagem, e podem provocar erros de interpretação (MILGRAM, 1975).

2.5.1 Nível de Estratificação Temática e Área Mínima de Mapeamento

Um mapa é a representação geométrica, sobre um plano, de uma porção de superfície terrestre. O nível de estratificação temática a ser obtido com produtos orbitais está diretamente relacionado com a complexidade das classes de uso da terra na região de estudo (VENTURIERI e SANTOS, 1998). A definição da imagem a ser utilizada está em função do objetivo do trabalho nível de detalhamento e precisão, e escala do produto a ser elaborado.

A escala é definida como sendo a relação entre as dimensões dos elementos representados em um mapa, carta, fotografia ou imagem e as correspondentes dimensões no terreno (IBGE, 2008). A escala pode ser representada de duas formas: a) escala gráfica – é a representação gráfica da escala numérica sob a forma de uma linha graduada, em que a relação entre as distâncias reais e as representadas nos mapas, cartas ou outros documentos

cartográficos é dada por um segmento de reta, onde uma unidade medida na reta corresponde a uma determinada medida real; b) escala numérica – é a escala de um documento cartográfico (Mapa, Carta ou Planta) expressa por uma fração ou proporção, que correlaciona a unidade de distância do documento à distância medida na mesma unidade no terreno, tendo como exemplo 1:100.000.

Além de influenciar no nível de detalhamentos do trabalho a ser efetuado, a escolha da escala está em função da necessidade ou não de exatidão, principalmente a posicional. De acordo com ROCHA (2000), o olho humano permite distinguir uma medida linear de aproximadamente 0,1 mm. Contudo, um ponto será perceptível com valores em torno de 0,2 mm de diâmetro, sendo este valor adotado pela maioria dos usuários como a precisão gráfica e caracteriza o erro gráfico vinculado à escala de representação.

A Área mínima de mapeamento, definida por CONGALTON e GREEN (2009) como *Minimum Mapping Unit* (MMU), é a menor área de cada classe a ser delineada no mapa. Na **Figura 9** apresenta-se um exemplo de critério para traçar uma floresta, sendo uma área de um acre ou mais, onde mais de 30% do solo esteja coberto por árvores de folhosas ou de coníferas. Neste caso a unidade mínima de mapeamento para florestas é de um acre. Áreas cobertas com 30% de floresta, mas menor do que a unidade de mapeamento mínima de um acre não será considerada como floresta. Adicionalmente, áreas maiores de 1 acre, mas com menos de 30% de floresta, não será classificado igualmente como florestas. Um acre equivale a 0,4 hectare, ou seja uma área equivalente a 64 x 64 metros, se a mesma fosse quadrada.

No Manual da FAO para o levantamento de dados integrados de campo – NFMA foram estabelecidos como parâmetros para conceituar sua Classe Global Florestas, unidades com área mínima de 0,5 ha, predominantemente composta de árvores estabelecidas por meio de regeneração natural, dossel composto por no mínimo de 10% de árvores com altura igual ou superior a 5 m, na fase adulta (FAO, 2008).

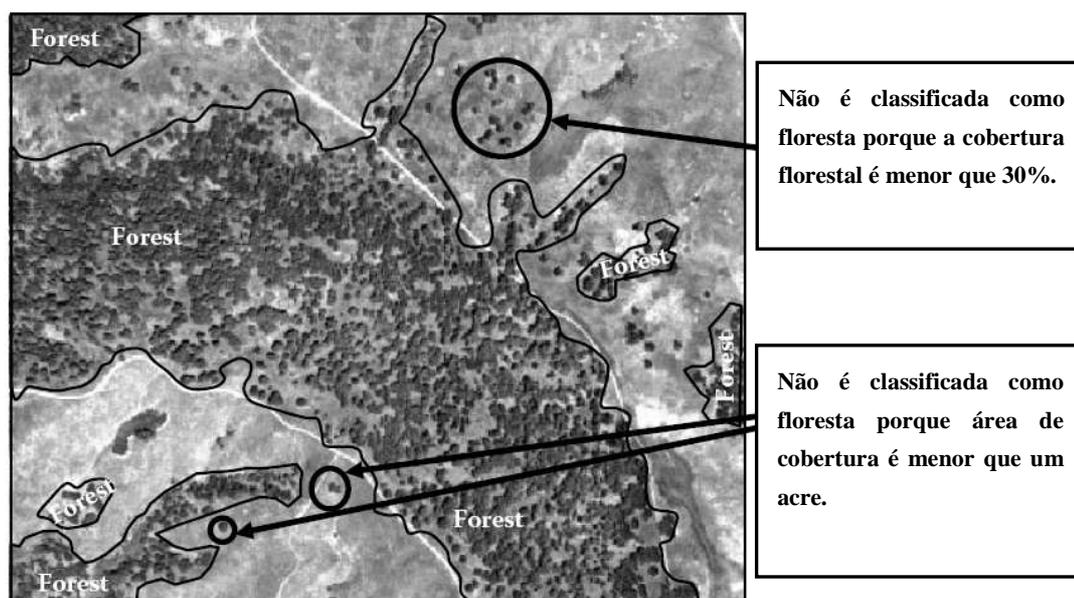


FIGURA 9 – Exemplo do efeito de uma unidade mínima de mapeamento

Fonte: Adaptado de CONGALTON e GREEN (2009).

O mapeamento sistemático de um país consiste na representação plana do seu espaço territorial por meio de séries de cartas em escalas-padrão e sistemas de projeção cartográfica definidos para atender aos requisitos de planejamento voltados para o desenvolvimento socioeconômico, bem como para subsidiar a realização das principais atividades humanas (GUIMARÃES *et al.*, 2003). Por outro lado, os avanços das ciências têm proporcionado, em especial nas últimas quatro décadas, o surgimento de variados recursos tecnológicos que agilizam e automatizam a execução de tarefas. No Brasil a elaboração de produtos cartográficos do território nacional fica a cargo da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército – DSG e do IBGE, que adotam o sistema de projeção cartográfica da Carta Internacional ao Milionésimo (CIM) para o mapeamento na escala 1:1.000.000, enquanto que para as demais escalas utilizam o Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM).

2.5.1.1 O sistema de projeção UTM

O Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) é o sistema de projeção adotado no Mapeamento Sistemático Brasileiro, sendo também um dos mais utilizados no mundo inteiro. A projeção UTM é um caso particular da Projeção Transversa de Mercator, que apresenta as seguintes características:

1) A superfície de projeção é um cilindro cujo eixo é perpendicular ao eixo polar. O cilindro é secante ao elipsóide segundo dois meridianos, ao longo dos quais não ocorrem deformações. As áreas entre os meridianos de secância sofrem reduções e as áreas fora dos meridianos de secância são ampliadas, desta forma permite-se que as distorções de escala sejam distribuídas ao longo do fuso (ver ilustração na **Figura 10**).

2) O elipsóide terrestre é dividido em 60 fusos parciais com seis graus de amplitude cada. O coeficiente de redução máxima ocorre ao longo do meridiano central e tem o valor constante de 0,9996. A origem do sistema cartesiano de coordenadas é formada pelo meridiano central (eixo Y) cujo valor é 500.000,00 metros, e pelo equador (eixo X) que tem valor 0,00 metros, para as coordenadas no hemisfério norte e 10.000.000,00 metros, para coordenadas no hemisfério sul (visando a evitar coordenadas negativas).



FIGURA 10 – Esquema ilustrativo da Projeção UTM

Fonte: Adaptado de COLVOCORESSES (1974).

Conforme FITZ (2005), o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS – encontra-se em implantação e está sendo utilizado concomitantemente com o SAD 69. O SIRGAS foi concebido em função das necessidades de adoção de um sistema de referência compatível com as técnicas de posicionamento global, dadas por sistemas desta natureza como o GPS. Este sistema vem sendo discutido no meio cartográfico latino-americano, estando programado para substituir o Datum Horizontal SAD 69 até o ano de 2015. Neste sistema levam-se em consideração os seguintes parâmetros: a) Sistema Internacional de Referência Terrestre – *International Terrestrial Reference System* (ITRS); b) Elipsóide de Referência: Sistema Geodésico de Referência de 1980 – *Geodetic Reference*

System 1980 (GRS80), com: raio equatorial da Terra: $a = 6.378.137$ m; semi-eixo menor (raio polar): $b = 6.356.752,3141$ m; e achatamento = $1/298,257222101$.

O Sistema SAD 69, segundo FITZ (2005), apresenta dois parâmetros principais, a figura geométrica representativa da Terra (o elipsóide de referência) e sua orientação (a localização espacial do ponto de origem – base do sistema): a) Figura da Terra – Elipsóide Internacional de 1967, com: a (semi-eixo maior) = $6.378.160,00$ m; b (semi-eixo menor) = $6.356.774,72$ m; e α (achatamento = $(a-b)/a$) = $1/298,25$; b) Orientação – Geocêntrica: dada pelo eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra e com o plano meridiano de origem paralelo ao plano do meridiano de Greenwich; Topocêntrica: no vértice de Chuá, da cadeia de triangulação do paralelo 20° S, com as coordenadas ϕ (latitude) = $19^\circ 45' 41,6527''$ S; λ (longitude) = $48^\circ 06' 04,0639''$ W; e N (altitude) = $0,0$ m.

2.6 AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE TEMÁTICA

2.6.1 Fontes de Erro em Cartografia Temática

Erros em mapas de uso e cobertura da terra, oriundos de classificação automática, semi-automática ou de interpretação visual de imagens de sensoriamento remoto conferem a estes produtos uma perda de confiabilidade por parte do usuário final, devido ao grau de incerteza para o objetivo a que o produto foi gerado (COSTA e BRITES, 2004). Todo o processo de classificação está sujeito a erros dos mais diversos tipos e fontes (ANTUNES e LINGNAU, 1997).

Apesar da utilização de técnicas sofisticadas para o mapeamento temático, algumas limitações ainda são encontradas, podendo ser citadas a presença de nuvens, a resolução espacial dos sensores, erros de retificação, erro posicional e temático, além dos erros provenientes da própria classificação digital das imagens (CONGALTON, 1991).

CAMPBELL (1996) menciona que nas classificações decorrentes de processamento automatizado, os erros são resultantes de interações complexas entre as estruturas espaciais da paisagem, a resolução do sensor, os algoritmos de pré-processamento e os procedimentos da própria classificação. A mais simples das causas de erro está relacionada ao errôneo assinalamento de categorias informacionais às categorias espectrais.

Dentre os muitos fatores anteriormente apresentados que contribuem para a incerteza da classificação temática, COSTA e BRITES (2004) ainda citam: o sombreamento provocado pelo relevo, que faz com que feições iguais tenham resposta espectral diferente; a unidade imageada no terreno (*pixel*), que no limite entre feições carrega informação de mistura; a superposição entre a reflectância de alvos diferentes para uma mesma faixa espectral; a baixa representatividade das amostras de treinamento; a própria capacidade do classificador em lidar com inconstâncias no processo.

2.6.2 Precisão, Exatidão e Avaliação da Acuracidade

Comumente encontram-se trabalhos que utilizam erroneamente os termos precisão e exatidão, considerando-os como sinônimos. Entretanto, é necessária uma reflexão sobre o sentido de cada termo e suas aplicações. HUSCH *et al.* (1982) definem precisão como o grau de concordância de uma série de observações ou medidas. Desta forma, precisão refere-se ao tamanho dos desvios da amostra em relação a média estimada (\bar{x}), obtido pela repetição do procedimento de amostragem (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997). Portanto, ao avaliar a precisão realiza-se a quantificação de quão reprodutíveis são as medidas, sem importar se estão próximas ou não do valor correto (MAIA *et al.*, 2009). A precisão é afetada por erros aleatórios, que são flutuações nas medidas que ocorrem ao acaso. Este tipo de erro faz com as medidas variarem para mais ou para menos, fazendo com que aproximadamente a metade das medidas realizadas de uma mesma grandeza numa mesma situação experimental esteja desviada para valores maiores, e a outra metade esteja desviada para valores menores. Portanto, para um grande número de medidas, os erros aleatórios tendem a se cancelar (MAIA *et al.*, 2009).

Já a exatidão, acuracidade ou acurácia está relacionada a proximidade do valor médio de uma observação ou medida ao seu valor real ou verdadeiro (HUSCH *et al.*, 1982; MAIA *et al.*, 2009). A acuracidade expressa o tamanho dos desvios da estimativa amostral em relação a média paramétrica da população (\bar{X}), incluindo os erros não-amostrais (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997). A exatidão é influenciada por erros sistemáticos, que são causados por fontes identificáveis e, em princípio, podem ser eliminados ou compensados. Os erros sistemáticos fazem com que as medidas tomadas estejam sempre

acima ou sempre abaixo do valor verdadeiro (MAIA *et al.*, 2009). Na **Figura 11** apresenta-se uma ilustração que permite uma melhor compreensão da definição dos termos precisão e exatidão.

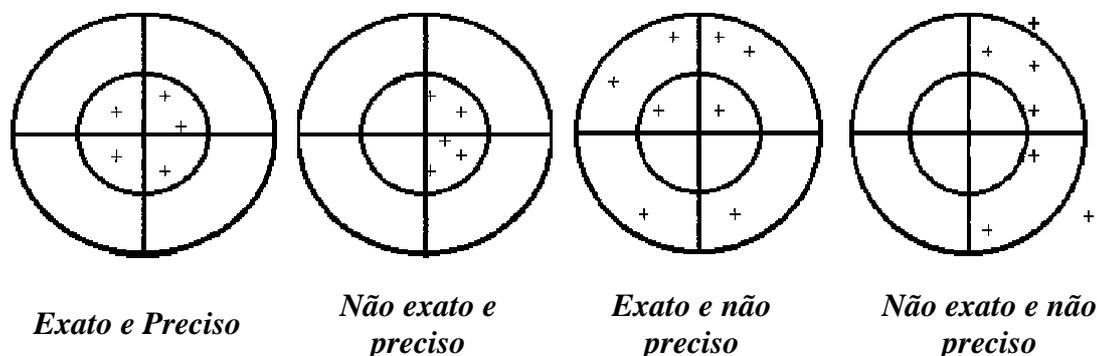


FIGURA 11 – Diferença entre precisão e exatidão

Fonte: adaptado de USP (1997).

A avaliação da acuracidade de dados extraídos das imagens está diretamente relacionada com a qualidade do mapeamento. Todas as classes que compõem a imagem ou o mapa temático devem ser associadas a um controle de qualidade para que estas possam ser validadas (ANTUNES e LINGNAU, 1997). Na confecção de mapas torna-se imprescindível a determinação da sua exatidão (acuracidade), que pode ser medida por meio de dois critérios: exatidão geométrica e temática. A exatidão geométrica refere-se ao grau de ajuste dos objetos no mapa em relação à sua posição no terreno. A exatidão temática refere-se ao grau de associação entre os objetos mapeados e a realidade do terreno (RICHARDS, 1986; CONGALTON e GREEN, 2009).

Para MONTGOMERY e SCHUCH (1993) a acuracidade em mapas temáticos pode ser efetuada analisando os componentes: a) posicional – refere-se à exatidão espacial do mapa, sendo uma variável influenciada pela escala do mapa; b) temático – consiste da exatidão da classificação das diferentes categorias que compõem o mapa, devendo estar de acordo com a escala e o grau de generalização da informação, de forma a refletir no mapa a mesma classe do terreno; c) área Total – também obtida por categoria. Os componentes são interdependentes, no entanto, a avaliação é geralmente realizada de forma independente (MONTGOMERY e SCHUCH, 1993). Para esta avaliação são usados dados de referência coletados em campo (RICHARDS, 1986). CONGALTON e GREEN (2009) comentam que os dados de referência freqüentemente são reportados como “dados da verdade terrestre”. Este termo é considerado impróprio, pois mesmo quando os dados de referência forem corretos

para avaliar um mapa, não são de nenhuma maneira totalmente perfeitos para representarem “a verdade”.

2.6.3 Erro Gráfico

Dentre várias ocorrências possíveis de erro posicional, uma que deve ser respeitada é o erro gráfico, definido como o aparente deslocamento existente entre a posição real teórica de um objeto e sua posição no mapa final. O erro gráfico é aceitável quando seu valor está compreendido entre 0,1 mm e 0,3 mm, reduzindo sua intensidade com o aumento da escala (FITZ, 2005). ROCHA (2000) comenta que o erro gráfico representa a componente final de todos os erros acumulados durante o processo de construção da carta. Quando utilizado um documento cartográfico para construção de outros mapeamentos, normalmente temáticos, independente se por processo convencional ou digital, deve-se levar em consideração os erros inerentes ao documento de partida.

Por meio do Decreto Nº 89.817 de 20 de julho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional, determina que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrico estabelecido (BRASIL, 1984). As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas *Classes A, B e C*, conforme o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), determinando em 0,5 mm na escala da carta para a *Classe A*; 0,8 mm na escala da carta para *Classe B*; e para a *Classe C* 1,0 mm na escala da carta.

De modo geral, aceita-se que uma exatidão posicional de meio *pixel* é suficiente para imagens de sensores temáticos do satélite Landsat e SPOT. Para sensores com maior definição espacial, como, por exemplo, das câmeras digitais transportadas por via aérea e dos satélites de alta resolução, a exatidão posicional torna-se mais importante e novos padrões precisam ser estabelecidos (CONGALTON e GREEN, 2009).

2.6.4 Determinação da Exatidão Global

Segundo CONGALTON (1991), uma matriz de erro pode ser usada como ponto de partida para a aplicação de uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas. A matriz

de erro é a maneira padrão de apresentar resultados de uma avaliação da exatidão (STORY e CONGALTON, 1986). Para apresentar o grau de confiabilidade de uma classificação temática STORY e CONGALTON (1986), LILLESAND e KIEFER (1994), CONGALTON e GREEN (2009), mencionam a construção da matriz de erros como a forma mais comum, analisando, nesta, a distribuição percentual de *pixels* classificados de forma correta e errada, sendo esta declaração da percentagem denominada de Exatidão Global (P_0), que é obtida por:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{N}$$

onde:

N = número total de unidades amostrais considerados pela matriz;

n_{ii} = elementos da diagonal principal (número de *pixels* corretamente classificados);

k = número de categorias presentes na matriz de erros (1....c).

Este índice é derivado de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados e expressa na forma de matriz de erro, também denominada matriz de confusão ou tabela de contingência. Tais matrizes comparam, classe a classe, a relação entre os dados de referência conhecidos (“dados de referência”) e os respectivos resultados de uma classificação automática (LILLESAND e KIEFER, 1994), descrevendo as exatidões individuais de cada categoria do mapa, e em conjunto com os erros de inclusão e de omissão (CONGALTON e GREEN, 2009).

Na matriz, os elementos fora da diagonal principal são analisados para computar os erros de inclusão (erros de comissão) ou erros de exclusão (erros de omissão). Os erros de omissão são mostrados nas células fora da diagonal principal da matriz que formam as linhas da matriz e os erros de inclusão são representados nas células que formam as colunas da matriz (USDA FOREST SERVICE, 1995). O erro de inclusão ocorre quando uma área é abrangida numa classe à que ela não pertence, ao passo que o erro de omissão acontece quando uma área é excluída de uma classe à que pertenceria. Os erros de exclusão ou omissão referem-se à Acuracidade do Produtor, que é obtida por meio da equação (CONGALTON e GREEN, 2009):

$$j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

onde:

j = Acuracidade do Produtor;

n_{jj} = elementos da diagonal principal da matriz de confusão;

n_{+j} = somatório da linha para dada classe temática.

A Acuracidade do Usuário diz respeito aos erros de inclusão ou comissão, calculado pela equação (CONGALTON e GREEN, 2009):

$$i = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

onde:

i = acuracidade do usuário;

n_{ii} = elementos da diagonal principal da matriz de confusão;

n_{i+} = somatório da coluna para dada classe temática.

Com a constatação de elevados valores de erros de omissão/comissão entre duas ou mais classes indicam a confusão espectral entre estas (USDA FOREST SERVICE, 1995).

2.6.5 Coeficiente *Kappa*

Para CONGALTON e GREEN (2009), com os dados da matriz de erros torna-se possível avaliar a concordância entre o levantamento de campo e o mapa obtido pela classificação por meio do Coeficiente *Kappa* (k). Este índice utiliza técnicas de análises multivariadas, incluindo no cálculo desse coeficiente, todos os elementos da matriz de erros e não apenas os elementos da diagonal principal. O coeficiente *Kappa*, definido por COHEN (1960), determina a concordância esperada *a posteriori*, ou seja, a concordância esperada somente poderá ser determinada após a construção da matriz de erros, e esta por sua vez é obtida após a verificação dos resultados obtidos na classificação digital. O coeficiente *Kappa* apresenta uma estatística que atua como indicador da extensão com que os valores percentuais corretos de uma matriz de erros são devidas às concordâncias “reais” *versus*

concordâncias “ao acaso” (LILLESAND e KIEFER, 1994). O cálculo do coeficiente *Kappa* apresentado por CAMPBELL (1996) utiliza a seguinte equação:

$$\hat{k} = \frac{\text{observado} - \text{esperado}}{1 - \text{esperado}}$$

O “observado” compreende o valor global para a percentagem correta dado pelo somatório dos elementos presentes na diagonal da matriz e dividido pelo total de elementos. O termo “esperado” são os valores calculados com o uso dos totais de cada linha e de cada coluna da matriz, designados pelo autor como marginais. Os produtos das linhas e colunas marginais estimam o número de elementos (*pixels*) assinalados para cada célula da matriz, dado que esses *pixels* sejam assinalados por chance a cada categoria.

JENSEN (1996); LILLESAND e KIEFER (1994); MATHER (1999); CONGALTON e GREEN (2009), apresentam uma forma mais complexa da equação para o cálculo do coeficiente *k*, sendo:

$$khat = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

em que:

- r = número de linhas na matriz de erros;
- x_{ii} = número de observações na linha i e coluna i (na diagonal principal);
- x_{i+} = número total de observações na linha i ;
- x_{+i} = número total de observações na coluna i ;
- N = número total de observações incluídas na matriz.

Em função do valor obtido com o coeficiente *Kappa* (k) define-se a qualidade da classificação temática, conforme apresentado na **Tabela 5**.

TABELA 5 – Qualidade da classificação temática em função do valor do coeficiente *Kappa*

Valor do Coeficiente <i>Kappa</i>	Qualidade do Mapa Temático
< 0,00	Péssima
0,00 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de LANDIS e KOCH (1977).

De acordo com CAMPBELL (1996), quando o valor de *k* estiver próximo a 1, indica perfeita efetividade de classificação. Um exemplo citado por este autor apresenta *k*= 0,83, podendo-se concluir que a classificação apresenta uma acuracidade de 83% melhor do que o esperado de uma atribuição aleatória de *pixels* para a categoria. FOODY (1992) ressaltou que o grau de concordância esperado poderia estar sendo superestimado por incluir a concordância real, que por conta deste fato a magnitude de *Kappa* não refletiria a concordância presente na classificação, apenas deduzia a casualidade. Considerando este fato MA e REDMOND (1995) elaborou outro índice para a avaliação da precisão, definido como coeficiente de concordância *Tau* (*T*).

2.6.6 Coeficiente de Concordância *Tau*

O coeficiente de concordância *Tau*, utiliza-se da probabilidade *a priori*, sendo que a probabilidade esperada é obtida antes da elaboração da matriz de confusão. É expresso pela equação:

$$\tau = \frac{P_o - P_{ce}}{1 - P_{ce}}$$

onde:

τ = coeficiente de concordância *Tau*;

P_o = proporção de pontos de verdade terrestre concordantes;

P_{ce} = concordância esperada.

O coeficiente *Tau* também leva em consideração todos os elementos da matriz de erros, porém, sua determinação é menos rigorosa, pois considera a concordância esperada a

mesma para todas as classes temáticas, diferentemente do *Kappa* que utiliza a proporção de concordância depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração (MELLO *et al.*, 2009).

Tanto o coeficiente *Kappa* quanto o *Tau* apresentam valores de -1 a +1, e a interpretação é realizada da seguinte forma: a) se o coeficiente apresentar valor igual a 1, a classificação é totalmente correta, apresentando concordância de 100%; b) caso apresente valor igual a zero, a classificação temática não apresenta melhoramentos em relação a concordância esperada; c) se for menor que zero, significa que não ocorreu discriminação entre as classes, e d) se for maior que zero, a concordância observada foi maior que a esperada (LINGNAU e ANTUNES, 1997).

CENTENO (2003) comenta que, por meio de comparação com um mapa referência, torna-se possível identificar erros e visualizar sua distribuição espacial, permitindo a definição das classes que sofreram maior confusão na classificação. Porém, uma avaliação desse tipo nem sempre é possível devido à falta de atualização nos mapas, visto que um dos principais objetivos da classificação de dados de sensoriamento remoto é obter a atualização da cobertura do terreno.

2.7 SISTEMA DE AMOSTRAGEM

Avaliar a exatidão temática dos mapas ou de outros dados espaciais exige o envolvimento da conceituação de amostragem, pois não é economicamente viável visitar cada lugar no espaço por terra (CONGALTON e GREEN, 2009). No contexto do sensoriamento remoto, a avaliação por meio de censo se torna impraticável, visto que seria necessário conhecer, na realidade, todos os *pixels* (ou conjunto de *pixels*, ou polígonos) da área de estudo. O conhecimento da cobertura verdadeira do solo implicaria em gastos excessivos de tempo e recursos financeiros, tornando-o inviável. Assim, torna-se necessário a utilização de procedimentos de amostragem, que possibilita inferir sobre uma população a partir de amostras (COCHRAN, 1965; GRUIJTER *et al.*, 2006). Um sistema de amostragem exige o conhecimento da distribuição de classes temáticas através da paisagem, da determinação dos tipos e do número de amostras a serem tomadas, e da escolha de um método de amostragem para selecionar as amostras (CONGALTON e GREEN, 2009).

A amostragem é diretamente responsável pela determinação das medidas de acuracidade do mapeamento e define o custo de sua determinação, tendo, portanto, o tamanho das amostras estabelecido em função de critérios estatísticos e econômicos. Uma avaliação de acuracidade estatisticamente rigorosa é aquela que o procedimento de amostragem satisfaz o protocolo de amostragem probabilística e as estimativas são estatisticamente consistentes, além de obter estimadores mais precisos com menor custo possível (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997; MOREIRA, 2001). A informação temática do mapa é discreta, não contínua, e freqüentemente distribuída de forma a não atender a normalidade. Conseqüentemente, as técnicas estatísticas que supõe uma distribuição normal contínua podem ser impróprias para a avaliação da exatidão de mapas. É importante considerar como os dados são distribuídos e que suposições estão sendo feitas antes de executar alguma análise estatística (CONGALTON e GREEN, 2009).

CONGALTON e GREEN (2009) salientam sobre a importância de se conhecer o método de classificação, por se tratar de um fator que afetará na seleção das amostras para a avaliação da exatidão e no resultado da análise. Desta forma é possível entender como as classes do mapa são distribuídas, bem como a existência de interdependência ou a autocorrelação espacial dessa informação.

A autocorrelação espacial é uma das propriedades dos dados espaciais, traduzida pela Primeira Lei da Geografia de TOBLER (1979), que menciona “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes”. Portanto, quando as relações espaciais são medidas, espera-se que as regiões próximas sejam mais parecidas entre si que com as regiões distantes. A autocorrelação espacial ocorre quando a presença, a ausência ou a condição de uma determinada característica afeta a presença, a ausência ou a condição daquelas mesmas características das unidades vizinhas (CLIFF e ORD, 1973), desse modo violando a suposição da independência da amostra que, por sua vez, pode afetar o tamanho e o número de unidades amostrais a serem usadas na avaliação (CONGALTON e GREEN, 2009).

2.7.1 Definição das unidades amostrais

A amostra pode ser definida como uma parte da população constituída de indivíduos, que apresentam características que identificam a população a que pertencem (PÉLLICO-

NETO e BRENA, 1997). Torna-se necessário garantir que a amostra seja representativa da população, abrangendo toda a amplitude de variação existente. A unidade amostral é o espaço físico sobre o qual são observadas e medidas as características quantitativas e qualitativas da população (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997).

Na avaliação da acuracidade, CONGALTON e GREEN (2009) mencionam que as unidades amostrais são as parcelas selecionadas do mapa, que podem ser um único *pixel*, um conjunto de *pixels*, um polígono (ou objeto) ou um conjunto de polígonos. Este mesmo autor apresentou uma síntese para cada caso. Um grande número de avaliações da exatidão foram conduzidas usando o *pixel* como unidade de amostragem. Isto pode acarretar problemas devido ao *pixel* se tratar de uma delimitação retangular arbitrária da paisagem, que pode ter pouca relação à delimitação real da cobertura ou do uso da terra. Existe a possibilidade de o *pixel* ser de uma única cobertura da terra ou categoria da vegetação (*pixel* puro) ou na maior parte dos casos, ser uma mistura de classes da cobertura ou da vegetação. Na maioria dos trabalhos de classificação a unidade mínima de mapeamento é definida com tamanho superior a um *pixel*, sendo, portanto, impróprio considerá-lo como unidade amostral.

Outro problema refere-se a garantia de que a posição do *pixel* da referência é idêntica a posição do *pixel* do mapa. Mesmo com o uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS), esta correspondência não garante uma combinação exata e a acuracidade temática do mapa será afetada pelo erro posicional (CONGALTON e GREEN, 2009).

Em função da necessidade de balancear a exatidão temática com acuracidade posicional, um conjunto de *pixels* (normalmente de 3×3 *pixels*, tem sido recentemente a escolha a mais comum como unidade amostral. Um conjunto minimiza problemas do georreferenciamento por ser mais fácil de localizar nos dados de referência ou no campo. Entretanto, um conjunto de *pixels* tem a possibilidade de ser uma delimitação arbitrária da paisagem, resultando em uma unidade amostral que abrange mais de uma categoria do mapa. Para evitar este problema, muitos analistas selecionam somente conjuntos homogêneos de *pixels*, mas que pode conduzir a uma amostra tendenciosa por evitar as áreas heterogêneas (CONGALTON e GREEN, 2009).

Como a unidade amostral é o nível de detalhe para a avaliação da exatidão, se esta for executada, por exemplo, com um conjunto de 3×3 *pixels*, as análises posteriores não poderão ser realizadas considerando um *pixel* individual (nove amostras), nem serem relacionadas como polígonos. Também, a presença de autocorrelação espacial na maioria de

mapas temáticos deve conduzir a um espaçamento adequado entre as amostras (CONGALTON e GREEN, 2009).

Para imagens de altíssima resolução espacial (com resolução espacial menor que quatro metros), um conjunto de 3×3 *pixels* como unidade amostral não seria apropriado, precisando possuir pelo menos de 5×5 *pixels* para atenuar a possibilidade de erro posicional. Como a maioria dos mapas temáticos delineiam a paisagem em polígonos de classes homogêneas, então a unidade amostral desses mapa deve ser o polígono. Os valores resultantes da avaliação da exatidão informaram ao usuário e ao produtor do mapa sobre o nível de detalhe em que estão interessados, que são os polígonos. Porém, para que não ocorra confusão na análise deve-se evitar o uso dos mesmos polígonos coletados em campo para calibração ou treinamento do classificador (CONGALTON e GREEN, 2009).

O uso de conjunto de polígonos como unidades amostrais pode reduzir custos da avaliação da acuracidade por diminuir no tempo de percurso e/ou o tempo de instalação. Ao contrário do conjunto de *pixels*, cada polígono de um conjunto de polígonos pode representar uma unidade de amostral, devido aos polígonos estarem separados em classes do mapa, que faz com que apresentem mais variação entre polígonos do que dentro deles (CONGALTON e GREEN, 2009).

2.7.2 Fontes de dados de referência

Os dados de referência são coletados freqüentemente em solo, com as visitas de campo, contudo há diversas outras técnicas para coletar estes dados. Por exemplo, interpretação de fotografias aéreas ou a observação e as anotações tomadas de um helicóptero ou de um avião asa alta foram técnicas bem sucedidos para coletar dados de referência. Recentemente, as câmaras de vídeo do *airbone* foram usadas (USDA FOREST SERVICE, 1995). Os dados de referência estabelecem uma ligação entre a variação no solo e a variação na imagem. Esta ligação é necessária para atribuir *pixels* da imagem às classes discretas da cobertura da terra no processo da classificação da imagem. Em segundo lugar, os dados de referência ajudam a avaliar a exatidão de um mapa (USDA FOREST SERVICE, 1995).

O uso de dados de referência existentes é raramente aceito pela possibilidade de conduzir a observação de erros que expressam meramente as diferenças entre os dados de referência e o sistema de classificação do mapa sob análise. Pela diferença temporal se tem a

possibilidade de ocorrência de mudanças na paisagem (por exemplo, fogo, desenvolvimento urbano, etc.) não estarem contempladas nos dados existentes, causando atribuição de erros (CONGALTON e GREEN, 2009). Tais autores evidenciam que os dados de referência devem apresentar confiabilidade, devendo ser em nível superior de exatidão que os dados sob avaliação. Comumente se faz uso de fotografia aérea para avaliar a acuracidade de mapas feitos a partir de imagens de satélite como, por exemplo, SPOT e Landsat. Dados terrestres têm seu uso principalmente para mapas criados a partir de imagens aéreas de alta resolução, e a interpretação visual da imagem é usada frequentemente para avaliar a exatidão de métodos automatizados de classificação.

Para dados de referência novos pode-se optar por coleta em campo ou a utilização da imagem de vídeo, ou do reconhecimento aéreo como fonte dos dados de referência. Os mapas mais simples que apresentam classes gerais podem ser confiavelmente avaliados por reconhecimento aéreo ou por interpretação de imagem ou vídeo aéreo. Contudo, podem ocorrer erros na interpretação da foto e no reconhecimento aéreo devido à habilidade do intérprete da foto e do nível de detalhe exigido pelo sistema de classificação. Para mapas mais detalhados a coleta de dados de referência deverá seguir seu nível de complexidade, restando muitas vezes apenas a opção de coleta por terra (CONGALTON e GREEN, 2009). É ideal que pelo menos um subconjunto dos dados de referência seja coletado por terra e comparado com os dados obtidos por via aérea para a verificação da confiabilidade dos dados de referência interpretadas na imagem aérea (CONGALTON e GREEN, 2009).

A paisagem terrestre altera-se constantemente. Se a mudança ocorre entre a data da captação dos dados por detecção remotamente usados para criar um mapa e a data do levantamento de dados da referência, a avaliação da acuracidade pode ser afetada (CONGALTON e GREEN, 2009). Neste caso, a matriz de erro pode mostrar uma diferença entre o mapa e a referência, que não é causada pelo erro do mapa, mas pela mudança da paisagem. Os dados de referência para a avaliação da acuracidade devem ser coletados em data próxima a data de coleta dos dados remotamente detectados, usados para fazer o mapa.

Se os dados de referência para a avaliação da acuracidade podem ser coletados independentes, mas simultaneamente, durante esta ida em campo, uma segunda visita é eliminada, diminuindo, então, os custos do projeto (CONGALTON e GREEN, 2009). Entretanto, se os dados de referência da avaliação da acuracidade são coletados no início do projeto não é possível estratificar as amostras por classes do mapa antes da finalização do

mapa, bem como a distribuição proporcional das amostras quando a área total de cada classe do mapa é ainda desconhecida (CONGALTON e GREEN, 2009).

2.7.3 Processos de amostragem

Entende-se por processo de amostragem a abordagem da população referente ao conjunto de unidades amostrais (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997). Segundo CONGALTON e GREEN (2009) na avaliação da acuracidade, a seleção de unidades amostrais para a coleta dados de referência pode proceder por meio de cinco processos de amostragem, sendo: a amostragem aleatória simples, a amostragem sistemática, a amostragem estratificada aleatória, a amostragem por agrupamento (*cluster*) e a amostragem sistemática estratificada não-alinhada. Em uma amostragem aleatória simples, cada unidade de amostra na área de estudo tem uma igual possibilidade da seleção (CONGALTON e GREEN, 2009), sendo as unidades amostrais sorteadas de acordo com um critério probabilístico aleatório (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997). Na amostragem aleatória simples não existem garantias da uniformidade na distribuição das amostras por toda a extensão da área de interesse, fazendo com que, na maioria das vezes, partes da área fiquem sub-amostradas e outras super-amostradas (BRITES *et al.*, 1996). A amostragem aleatória também pode ser problemática, devido à dificuldade de localização das unidades amostrais em campo.

A amostragem sistemática é um processo em que as unidades amostrais são selecionados em algum intervalo específico e regular sobre a área de estudo. Na maioria dos casos, a primeira amostra é selecionada de forma aleatória e as amostra sucessiva são tomada respeitando o intervalo a partir da primeira. A vantagem principal da amostragem sistemática é a facilidade na preparação das amostras de maneira uniforme sobre a área de estudo (CONGALTON e GREEN, 2009). O tamanho da população não precisa ser conhecido uma vez que cada unidade, que ocorre dentro do intervalo de amostragem fixado, é selecionada sequencialmente após ser definida a unidade inicial (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997).

O processo de amostragem aleatória estratificada é similar à amostragem aleatória simples, porém, deve-se ter algum conhecimento prévio sobre a área de estudo para, então, dividi-la em grupos ou os estratos (CONGALTON e GREEN, 2009). Posterior a estratificação, as unidades amostrais são selecionadas aleatoriamente em cada estrato (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997). No caso da avaliação da exatidão de mapas a

estratificação será de acordo com as classes do mapa, sendo que todos os estratos (classes do mapa), independente do tamanho, estarão incluídos na amostra.

A amostragem por agrupamento tem seu uso para avaliar a exatidão dos mapas de dados remotamente detectados, nos casos de necessidade de coletar rapidamente a informação em muitas amostras com grande proximidade umas das outras. Entretanto, este processo de amostragem deve ser usado com grande cuidado, visto que simplesmente tomar um grande número de unidades amostrais próximas (sejam *pixels*, um conjunto de *pixels* ou polígono) não é um método válido para a coleta de dados se cada unidade amostrada não for independente das outras, fato que não adicionará informações (CONGALTON e GREEN, 2009).

A amostragem estratificada sistemática não-alinhada tenta combinar as vantagens do acaso e da estratificação com a facilidade de uma amostra sistemática, sem cometer os erros da periodicidade comuns à amostragem sistemática (CONGALTON e GREEN, 2009). De acordo com CAMPBELL (1987), a área de estudo é dividida em células uniformes, geralmente um reticulado quadrado, que representam a porção sistemática do processo. O uso do reticulado de células como base para a estratificação significa que as observações são distribuídas de maneira a contemplar toda a extensão da área. A casualização é proporcionada pela localização das observações dentro de cada parcela (célula), que não permite o rígido alinhamento, característico da amostragem sistemática pura. Desta forma, introduz-se um elemento de chance que aumenta a probabilidade de que as observações venham a contemplar as categorias presentes na região.

A amostragem sistemática pode ser realizada em faixas, sendo estruturada com a divisão da área de estudo em (N) faixas de igual largura, que destas seleciona uma amostra de (n) faixas, com um intervalo de (k) faixas. A primeira faixa pode ser selecionada mediante a aleatorização de um número entre (1) e (N), sendo as demais selecionadas estendendo-se o intervalo (k), em ambas as direções, a partir da faixa inicial. A seleção pode ser feita, também, sorteando uma faixa entre (1) e (k), sendo as demais amostras selecionadas pelo resultado da soma do intervalo (k) ao número da faixa anterior escolhida. Ambos os procedimentos produzem o mesmo número de amostras sistemáticas prováveis, devendo ser preferido o primeiro, quando possível. O segundo método pode ser usado quando o tamanho da população não é conhecido (PÉLLICO-NETO e BRENA, 1997).

CONGALTON (1988) executou simulações de amostragem em três áreas distintas, usando os processo aleatória, aleatória estratificada, sistemática, estratificada sistemática não-

alinhada e em agrupamento. Concluiu que para as três áreas a amostragem aleatória simples e a aleatória estratificada forneceram resultados satisfatórios. COCHRAN (1965) afirma que a amostragem sistemática, em geral, apresenta maior precisão que a aleatória simples e similaridade com a amostragem estratificada.

De acordo com USDA FOREST SERVICE (1995) a amostragem aleatória geralmente não é prática no campo, e a amostragem estratificada exige a seleção dos locais para a avaliação da exatidão depois do término da classificação. Uma atitude razoável seria no início do trabalho coletar dados pelo método sistemático aleatório e para suplementar a quantidade de amostras por meio da amostragem aleatória estratificada após o término atividades de classificação. Segundo BRITES *et al.* (1996), os índices de exatidão podem ser superestimados conforme a estratégia de amostragem empregada na geração dos dados de referência, podendo esta diferença ser determinante na decisão do usuário em aceitar ou não o produto gerado.

BOLFE *et al.* (2004) aferiu a acuracidade temática dos resultados obtidos na classificação digital dos povoamentos florestais por meio de amostragem sistemática, sendo criado um sistema de grade com 2.500 x 2.500 m para povoamentos implantados e de 10.000 x 10.000 m para povoamentos de florestas nativas, com alocação de áreas-controle em cada um dos pontos de cruzamento das linhas da grade. Identificaram-se as coordenadas desses pontos, inserido-as no equipamento GPS para sua localização em campo.

Além da análise da acuracidade torna-se interessante desenvolver uma análise de efeitos que provocam os erros de classificação. Por meio de análise de variância de fator único permite-se realizar uma comparação quantitativa dos efeitos, determinando o percentual de discrepância entre uma classificação obtida e a esperada.

Os experimentos com arranjos fatoriais dos tratamentos são aqueles onde o efeito de dois ou mais fatores são investigados ao mesmo tempo. Este tipo de experimento não constitui um delineamento experimental diferente, se caracteriza pelo modo como o conjunto de tratamentos é arranjado, proporcionando a representação de todas as combinações possíveis de dois ou mais fatores (KOEHLER, 2006). Os arranjos fatoriais são utilizados em qualquer tipo de delineamento experimental. Quando aplicada a análise de fatoriais, a casualização deve ser realizada de acordo com os princípios especificados para o delineamento experimental utilizado para teste do conjunto de tratamentos resultante do arranjo.

MELLO *et al.* (2009) utilizaram para a determinação da acuracidade do mapeamento da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais, o procedimento de amostragem casual simples (ACS), com proporção, definindo o tamanho da amostra de referência através da fixação da acuracidade desejada em 85%, descartando o uso de uma amostra piloto. O erro admissível empregado neste trabalho foi de 5% à probabilidade de 95%. Dessa forma o tamanho da amostra de referência calculado foi de aproximadamente 196 pontos amostrais para todas as classes do mapeamento, para um valor crítico de Z tendendo ao infinito ($Z = 1,96$).

Por meio da base digital de rodovias, foram selecionadas aleatoriamente 50% dessas, independentemente de serem rodovias federais ou estaduais, pavimentadas ou não, alocando nessas os pontos amostrais. As não selecionadas, mas que foram trafegadas para atingir as selecionadas, eram amostradas quando notada qualquer região com concentração de fisionomias que não haviam nas rodovias selecionadas. Obteve-se o na avaliação da acuracidade 87,29%, 81,74%, 86,31% para Exatidão Global, índice *Kappa* e coeficiente de concordância *Tau*, respectivamente.

2.7.4 Intensidade de amostragem

A avaliação da acuracidade exige que um número adequado de amostras por a classe do mapa seja selecionado, de modo que a avaliação da acuracidade do mapa possua validade estatística. Conforme comentado anteriormente, a coleta de dados de referência em cada unidade amostral é muito cara, exigindo que o tamanho da amostra seja o mínimo necessário.

A intensidade de amostragem pode ser determinada em função de dois critérios: da variabilidade da população, considerando um erro de amostragem admitido e probabilidade de confiança fixada; do tempo e recursos disponíveis para execução do trabalho (PÉLLICONETO e BRENA, 1997). O uso da distribuição binomial é estatisticamente apropriada para avaliar a acuracidade geral de uma classificação ou mesmo a acuracidade de categoria individualmente. As equações são baseadas na proporção de unidades de amostra corretamente classificadas, considerando um erro permissível (TORTORA, 1978).

O método mais simples de estimar a exatidão de um mapa é o uso de testes baseados na distribuição binomial, em que p é a probabilidade de sucesso (i.e. a classificação do mapa coincide com a realidade) e q é a probabilidade de insucesso (i.e. a classificação do mapa não

coincide com a realidade), e que tiveram por base uma amostra de pontos do mapa. Os intervalos de confiança podem ser calculados para a precisão de todo o mapa, ou para os diferentes estratos constituídos por diferentes temas (BIGING *et al.*, 1998; CONGALTON e GREEN, 1999). Quando os dados de referência coletados assumem uma distribuição binomial, o cálculo do tamanho da amostra de referência é obtido a partir do erro de amostragem. A equação que pode ser utilizada é apresentada por FITZPATRICK-LINS (1981); COSTA e BRITES (2004):

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2}$$

onde:

- n = tamanho da amostra de referência;
- Z = ponto crítico para um limite de confiança de inclusão para o parâmetro exatidão real, assumindo $Z \sim N(0,1)$;
- p = exatidão desejada;
- $q = 1-p$;
- E = erro de amostragem admitido.

Sendo p a probabilidade de sucesso, ou exatidão, a probabilidade de X *pixels* serem corretamente classificados em uma amostra aleatória de n *pixels* é dada pela função binomial:

$$p(X = x) = C_x^n p^x (1 - p)^{n-x}$$

em que:

- X = variável aleatória (número de *pixels* corretamente classificados na imagem de sensoriamento remoto);
- x = valor atribuído a X , ou número de *pixels* corretamente classificados;
- C_x^n = combinação de n *pixels* da amostra de referência x a x ; e
- p = probabilidade de *pixels* corretamente classificados (exatidão).

Embora a solução analítica para o dimensionamento esteja correta, comete-se, na prática, um erro de aproximação. A estimativa usada para p não é obtida a partir de uma amostra de referência piloto, mas fixada como a exatidão *a priori* de um produto cartográfico

de uma classificação de imagem de sensoriamento remoto “arbitrada”. Tal fato implica que, ao obter uma exatidão estimada para o dimensionamento, distante da exatidão *a priori*, o erro de amostragem desejado (E) não será alcançado (COSTA e BRITES, 2004). No entanto, esta técnica não foi projetada para determinar um tamanho de amostra e gerar uma matriz de erro, sendo recomendado o uso da distribuição multinomial (TORTORA, 1978). Numa matriz de erros, a questão não é apenas saber se o ponto está bem ou mal classificado, pretende-se também distribuir os erros de classificação pelos diferentes temas. Neste pressuposto uma distribuição multinomial adaptar-se-á melhor. Os testes binomiais tratam os erros em todas as classes por igual, e como tal apenas deveriam poder estimar a precisão de um mapa ou de um estrato como um todo (ROSENFELD e FITZPATRICK-LINZ, 1986; CONGALTON e GREEN, 1999).

As matrizes de erros são baseadas na formulação multinomial, em que as colunas representam as classes reais e as linhas as classes atribuídas. Cada célula da matriz contém o número de observações na classe indicada na linha, que na realidade pertence à classe da coluna. Em consequência a diagonal representará a concordância entre o mapa e a realidade (como no teste binomial), e fora da diagonal temos os erros de classificação distribuídos pelas diferentes classes reais.

Da mesma forma que a equação binomial, para determinar o tamanho de amostra com a equação multinomial informa-se a exatidão *a priori*, mas neste caso, específica para cada classe da população CONGALTON e GREEN (2009).

Considerando a experiência, CONGALTON (1988) sugere coletar um mínimo de 50 amostras para cada classe de mapas que representam área menor que um milhão de acres (aproximadamente 405.000 ha) e com menos de 12 classes. Para mapas de área maiores ou mais complexos devem ser selecionados de 75 a 100 amostras por classe para a avaliação da acuracidade. Estas diretrizes foram definidas empiricamente com base em vários projetos, e confirmadas por meio da equação multinomial, que comprovou um bom equilíbrio entre praticidade e validade estatística.

Uma publicação do USDA FOREST SERVICE (1995) menciona que, empiricamente e de modo geral, devem ser selecionados pelo menos 20 amostras para cada categoria da classificação. CONGALTON (1988) sugere que amostras selecionadas para avaliação da exatidão possuam entre 10 a 25 *pixels* de tamanho, pois valores maiores ou menores que este intervalo terão pouca contribuição para representar a variabilidade. Para o caso de uma análise que considera o *pixel* como unidade amostral, CONGALTON (1991)

recomenda que são necessários mais de 250 *pixels* de referência para estimar a acuracidade média de uma classe com 5% de erro. Salienta, também, que os *pixels* de referência devem ser selecionados aleatoriamente na imagem, diminuindo, assim, a possibilidade de erros tendenciosos.

Outras considerações práticas mencionadas por CONGALTON e GREEN (2009) mencionam que o número de amostras para cada classe pode ser ajustado com base na importância relativa dessa classe dentro dos objetivos do projeto de mapeamento ou pela variabilidade própria de cada uma das classes. Portanto, deve-se aumentar o número de amostras nas categorias de interesse e naquelas com maior variação, e selecionar poucas amostras nas categorias que mostram pouca variabilidade.

2.7.5 Distribuição e alocação das unidades amostrais

Na coleta de dados de referência deve-se considerar que a amostra seja encontrada na fonte de referência e no mapa. Em algumas situações pode ser a relativamente simples, como numa área urbana, ou distante e mais difícil em áreas de cobertura natural, que apresentam poucos pontos reconhecíveis. As unidades amostrais devem representar exatamente a mesma área nos dados de referência e no mapa, devendo atribuir para ambos os dados, as mesmas classes do esquema de classificação (CONGALTON e GREEN, 2009).

Com relação ao desenho de amostragem, o único método inadequado para selecionar amostras de referência é a amostragem em blocos, que superestima a exatidão de uma cena, devido ao problema da autocorrelação espacial. Os demais procedimentos, amostragem aleatória, aleatória estratificada, e amostragem sistemática não diferenciaram significativamente em termos de tendência na estimação da exatidão (BRITES, 1996).

COSTA e BRITES (1998) utilizaram na coleta de amostra de referência uma grade sistemática de 163 pontos com distância de 28 *pixels* (alcance determinado por geoestatística), mais 146 pontos aleatoriamente lançados (total de 309 pontos independentes), que foi sistematicamente reduzida, resultando nos tamanhos de 309, 292, 282, 272, 262, ..., 12 pontos.

No mesmo trabalho, COSTA e BRITES (1998) relatam que se o tamanho da amostra de referência para a determinação da acuracidade for obtido através da fixação da acuracidade desejada e não de uma amostra piloto, comete-se um erro de aproximação no dimensionamento da amostra necessária para representar corretamente o parâmetro desejado.

Porém, os mesmos autores concluem que o dimensionamento com exatidão pré-fixada não provoca grandes tendências no erro de amostragem quando a exatidão *a priori* não se afasta muito da exatidão estimada pela amostragem piloto.

O procedimento de amostragem piloto apresenta maior custo quando comparado ao dimensionamento através da exatidão fixada *a priori* (COSTA e BRITES, 2004). Tais autores recomendam optar pelo uso da exatidão *a priori* para cálculo do dimensionamento, por questões de praticidade e custo, em alternativa a amostragem piloto, o uso de exatidão *a priori* não otimista, da ordem de 0,70 a 0,80, que são os resultados comumente encontrados em interpretações de imagens de média resolução (Landsat, SPOT, JERS, RadarSat, etc.). Uma correta distribuição das amostras, de maneira a garantir a ausência de tendenciosidade, torna-se possível com a definição do processo de amostragem adequado.

2.8 MAPEAMENTO TEMÁTICO E MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DO PARANÁ

ANDRADE e MACHADO (1994) realizaram uma descrição sobre os marcos históricos no mapeamento florestal do Paraná. Estes autores comentam que a primeira cobertura aerofotogramétrica completa do Estado do Paraná aconteceu em 1953, em escala 1:25.000. Este trabalho permitiu a confecção do primeiro mapa geral do Estado, em escala 1:600.000, disponibilizando uma representação confiável, embora apresentasse distorções do ponto de vista geométrico. As fotografias aéreas e os mosaicos foram utilizados no planejamento e estabelecimento de glebas para a distribuição de terras, bem como para os estudos preliminares de traçados de rodovias e planejamento de novas cidades.

Em 1964, realizou-se um novo aerolevanteamento, em 1:70.000, utilizado no inventário do pinheiro-do-paraná, numa área de 67.000 km², que abrangeu todo o sul, sudoeste e parte da região central do Paraná. Verificou-se nesse trabalho que a área total da Floresta com Araucária era de 1.567.759,9 ha e, que da área total mapeada 39% apresentava coberta por algum tipo de formação florestal. Além de saber o percentual e a distribuição da cobertura florestal para a área do inventário, tinha-se o interesse do conhecimento para todo o Estado. Por meio da interpretação visual em foto-índices, delimitaram-se as áreas que aparentemente eram cobertas por florestas, concluindo que 6.500.000 ha, aproximadamente 32% da área total do Estado, apresentavam esse tipo de cobertura.

As folhas de papel vegetal, correspondentes a cada foto-índice, foram coloridas (parte florestal), reduzidas fotograficamente e montadas, dando origem ao primeiro mapa de distribuição de cobertura florestal no Paraná baseado em fotografias aéreas. Em 1973, utilizando 14 cenas imagens do satélite ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), as áreas cobertas por florestas foram avaliadas em um trabalho executado em escala 1:250.000, concluindo que a cobertura florestal para esta data era de 2.379.547 ha, que corresponde a 11,8% do total do Estado, contrastando com os 32% existentes em 1964 (ANDRADE e MACHADO, 1994).

COLLARES (2004) menciona o projeto RADAM, que teve início em na região da Amazônia brasileira e em 1975 estendeu-se para todo país, passando a ser denominado de RADAMBRASIL. Dentre os vários objetivos, a realizou-se o mapeamento da vegetação por meio de interpretação visual elaborada sobre mosaicos semi-controlados de imagens de RADAR, obtidos por sensor aerotransportado, montados na escala 1:250.000, e apoiado em intenso levantamento de campo. As folhas 1:250.000 não foram disponibilizadas ao público, mas por redução fotográfica davam origem aos mapas publicados na escala 1: 1.000.000. No final de 1985 todo o acervo do projeto RADAMBRASIL foi incorporado ao IBGE.

Em 1991, o IBGE iniciou a sistematização das informações dos recursos naturais, com um programa permanente de compatibilização e atualização dos mapas temáticos na escala 1:250.000, visando a preparação para armazenamento em banco de dados digitais com estrutura compatível para uso em Sistema de Informações Geográficas. A segunda edição do mapa da vegetação do Brasil foi divulgada em 1993 e, em 2004, foi lançada a terceira edição impressa e em meio digital, incorporando atualizações na nomenclatura da legenda de classificação, assim como das áreas antropizadas. Baseado nesta versão foi elaborado o mapa de Biomas do Brasil, em escala 1:5.000.000 (COLLARES, 2004).

LANGE JR (1994) comenta que em função da falta de informação segura sobre as atuais condições de ocupação dos solos no território paranaense e de sua cobertura florestal remanescente, efetuou-se uma avaliação de forma qualitativa, assim como da distribuição espacial, por meio de imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 TM, em escala 1:250.000, obtidas em 1989 e 1990. Foram reconhecidas neste trabalho 44 diferentes classes de uso da terra. Como produto foram elaborados 21 mapas na mesma escala mencionada, obedecendo a articulação das cartas planialtimétricas do DSG/IBGE e uma carta-resumo, na escala 1:750.000, de todo o território do Paraná.

GUBERT FILHO (1990) apresentou um retrato genérico da evolução do desflorestamento no Paraná ocorrido no período de 1890 a 1990, bem como a distribuição da cobertura florestal (**Fig. 12**).

De acordo com SEMA (2002), o Programa de Proteção da Floresta Atlântica – Paraná (Pró-Atlântica) realizou o mapeamento temático na área de ocorrência fitogeográfica da Floresta Ombrófila Densa e de seus ecossistemas associados no Estado do Paraná, contemplando mais especificamente a Serra do Mar, toda planície litorânea e parte do Vale do Rio Ribeira. O trabalho teve por objetivo gerar subsídios às ações de monitoramento ambiental, planejamento de unidades de conservação e controle ambiental. Ao todo foram geradas 24 cartas de vegetação em escala 1:50.000, obtidas por meio de interpretação de fotografias aéreas em escala que variaram de 1:60.000 a 1:25.000, e processamento digital de imagens Landsat 7 ETM. Foram mapeadas as áreas que se referiam aos estágios inicial e intermediário de sucessão.

Muitos outros trabalhos sobre o mapeamento da cobertura florestal podem ser citados para estudos regionais do Estado como de ANTUNES (1996) que utilizou imagens Landsat 5 TM para identificar diferentes classes de vegetação na APA de Guaraqueçaba – PR. SILVEIRA (1997) utilizou imagens Landsat 5 TM para detectar alterações na cobertura vegetal no litoral do Paraná. Identificou e mapeou áreas de reflorestamentos de *Pinus* spp. e outros tipos florestais com a composição colorida 4,5,7 (RGB) através do *software* IDRISI.

Cobertura original (1890) – 83%



1930 – 64,12%



1937 – 58,65%



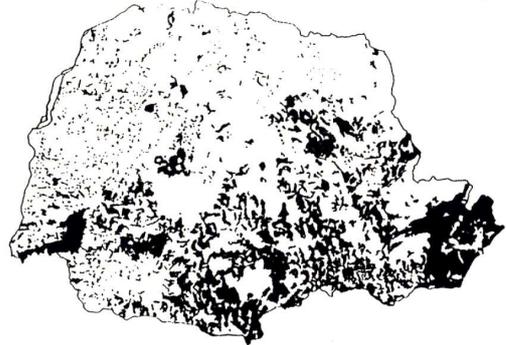
1950 – 39,67%



1965 – 23,92%



1980 – 11,90%



1990 – 5,20%

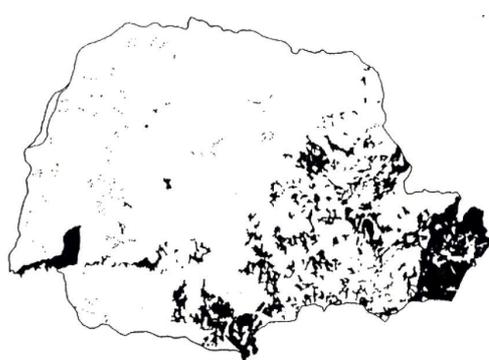


FIGURA 12 – Distribuição da cobertura florestal no Estado do Paraná no período de 1890 a 1990

Fonte: GUBERT FILHO (1990).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a abrangência da carta planialtimétrica denominada Campo Largo, elaborada pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), identificada pela nomenclatura de articulação sistemática Folha SG-22-X-C-III-4 e pelo código de Mapa Índice MI 2841-4. Estão inseridos nesta, dados e informações terrestres mapeados entre as coordenadas 25°00' e 25°15' de latitude sul, e 49°30' e 49°45' de longitude oeste, correspondendo a extensão de 25,20 km na latitude e 27,64 km na longitude, que totalizam 696,58 km². Parcialmente envolve-se o território dos Municípios de Campo Largo, Campo Magro e Balsa Nova (**Figura 13**).

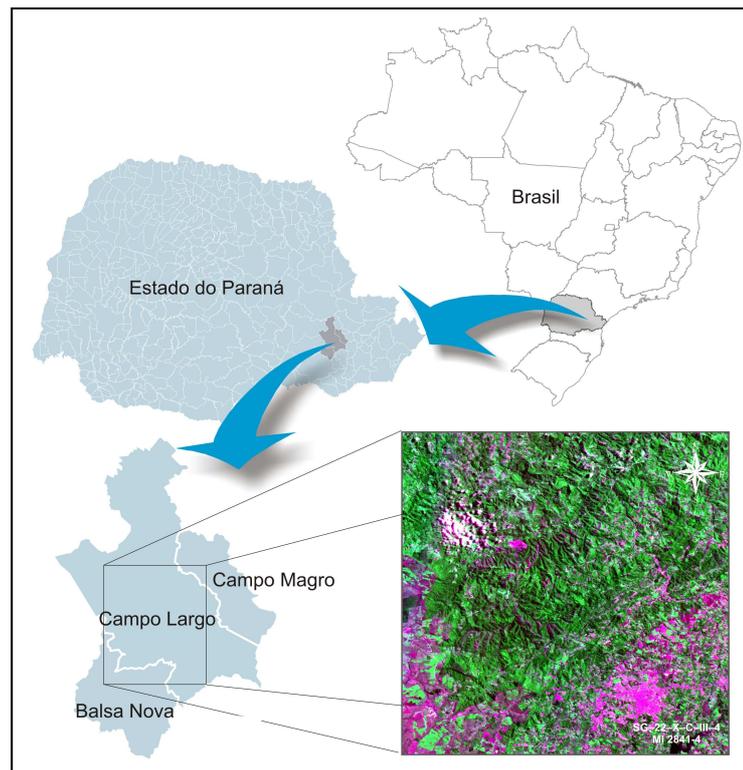


FIGURA 13 – Localização da área de estudo

A área envolve parte da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana e seu entorno, que exigem o controle de atividades antrópicas sujeitas ao cumprimento de determinadas restrições legais. A necessidade de monitoramento associada à existência de

locais de difícil acesso, que dificultam o controle via terrestre, foram tomadas como relevantes para a escolha da área.

A APA da Escarpa Devoniana, criada através do Decreto Estadual nº 1.231, de 27 de março de 1992 (PARANÁ, 1992), compreende a região da formação de relevo de *cuesta*, sendo assim denominada por ser sustentada pelo Arenito Furnas, de idade devoniana. A escarpa se estende por cerca de 260 km, entre os Estados de São Paulo e Paraná e separa o primeiro e o segundo planalto paranaense. A sua formação está associada a uma série de processos geodinâmicos, relacionados com a separação do antigo continente, conhecido como *Gondwana* e a origem do Atlântico Sul. Apresenta estruturas bem visíveis geradas durante a sedimentação, como estratificações plano-paralelo-cruzadas e marcas de ondas. Quanto ao ambiente de formação dessas rochas, existe controvérsia, sendo que muitos autores sugerem um ambiente marinho, enquanto outros um ambiente fluvial, mas estudos recentes relacionam a uma passagem do ambiente marinho para fluvial devido à regressão do nível do mar.

Conforme o seu ato legal de criação a APA da Escarpa Devoniana tem por objetivo *“assegurar a proteção do limite natural entre o primeiro e o segundo planalto paranaense, inclusive a faixa de Campos Gerais, que se constituem em ecossistema peculiar que alterna capões da Floresta de Araucária, matas de galerias e afloramentos rochosos, além de locais de beleza cênica como os canyons e de vestígios arqueológicos e pré-históricos”* (PARANÁ, 1992).

3.1.1 Aspectos Históricos

Em estudos realizados foram levantadas informações secundárias etno-históricas e arqueológicas que caracterizam o alto potencial da região para a ocorrência de vestígios e sítios arqueológicos. Este fato aponta para uma grande diversidade cultural e ampla variabilidade temporal-espacial de registros na APA de Escarpa Devoniana.

Dentre os inúmeros vestígios, merece destaque a ocorrência da presença de aldeamentos indígenas das famílias lingüísticas Tupi-Guarani e Jê nos Campos Gerais, bem como de elementos associados às entradas e a miscigenação européia/indígenas.

Também a presença de africanos para mão-de-obra escrava, associados aos relatos de fugas, proporcionam expectativas de estudos sobre o papel econômico-social desses grupos étnicos na sociedade paranaense e indicam prováveis áreas de quilombos nos recônditos da

Escarpa Devoniana. Outros aportes referem-se aos vestígios de combates, como da Revolução de 1930, e às fazendas, povoados e caminhos relacionados ao deslocamento de tropas que conduziam o gado. No Município de Campo Largo encontra-se um trecho do Caminho de Viamão, aberto no ano de 1731, que ligava o Rio Grande do Sul a São Paulo, sendo definido esse período como o da inauguração de um novo ciclo econômico da região, denominado tropeirismo.

Os vestígios ligados ao tropeirismo ou às antigas atividades extrativistas não receberam até o momento, uma abordagem arqueológica sistemática. Inúmeros são os caminhos existentes nos séculos XVIII e XIX, que foram utilizados pelos tropeiros para o escoamento da produção pastoril e para a comunicação dos núcleos populacionais. Alguns destes caminhos, como os existentes no leste paranaense parecem coincidir com alguns trechos do antigo sistema de caminhos indígenas do Peabiru. Junto a estes caminhos de tropas já foram encontradas ruínas e inscrições, sendo que muitos outros registros ainda devem existir (SEMA, 2004).

3.1.2 Fatores Biofísicos

O clima regional é o subtropical úmido mesotérmico, classificado segundo Köppen como *Cfb*, sendo caracterizado como temperado úmido, com verões frescos e ausência de estações secas. No verão apresenta temperaturas médias acima de 22°C e os invernos com temperatura média abaixo de 18°C, com ocorrência de geadas noturnas severas e frequentes (MAACK, 1981), contabilizando de 400 a 500 horas de frio por ano.

As precipitações pluviométricas ocorrem em todos os meses do ano, sendo janeiro o mês mais chuvoso e agosto o mais seco, demonstrando uma razoável disponibilidade hídrica (COMEC, 1984). No Município de Balsa Nova localiza-se a estação pluviométrica denominada Itaqui, mantida pela então Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, recentemente extinta e substituída pelo Instituto das Águas do Paraná. Conforme dados registrados pela estação Itaqui, a precipitação média anual é de 1.400 à 1.500 mm, registrando na primavera 400 mm, no verão de 450 à 500 mm, no outono de 300 à 350 mm e no inverno de 200 à 300 mm (SUDERHSA, 1998).

Segundo EMBRAPA (1984) a geologia condiciona a formação de solos do tipo podzólico e cambissolos, predominando os solos podzólicos associados a latossolos, com textura argilosa e bem drenados.

Nas áreas de relevo mais movimentado ocorrem solos do tipo Cambissolo, especialmente nas nascentes. São solos com certo grau de evolução, porém, não o suficiente para meteorizar completamente minerais primários de fácil intemperização, como feldspatos, micas, hornblendas, augitas e outros. Não possuem acumulação significativa de óxidos de ferro, húmus e argilas, que permitam identificá-los como B textural ou B podzol.

Muitas vezes apresentam características similares aos solos com horizonte B latossólico, mas diferenciam-se por serem menos evoluídos, menos profundos, ainda com minerais primários de fácil intemperização, ou pela atividade da argila, que apesar de variar de alta a baixa, geralmente é superior a dos Latossolos, ou pela presença de minerais amorfos, como alofana e outros na fração argila, ou pelos teores de silte mais elevados, relação silte/argila mais elevada e coloração mais pálida ou pela distribuição da argila ao longo do perfil. Dentro da classe dos Latossolos, estão compreendidos os solos não hidromórficos, que apresentam B latossólico, da classificação americana atual.

O relevo nas proximidades da *cuesta* da escarpa possui superfície acidentada, apresentando encostas abruptas com inclinações de até 90°, e afastando-se da escarpa, no sentido oeste e noroeste, passa a predominar a paisagem de topografia suavemente ondulada de configuração muito uniforme. As altitudes variam de 613 m a 1.218 m s.n.m., encontrando-se pequenos *canyons* e trechos de rios encaixados com cachoeiras e corredeiras sobre leito rochoso nas porções com grande amplitude altitudinal. No Rio Açungui, que é o principal rio da área de estudo cortando-a no sentido sudoeste – nordeste, realiza-se a prática de *rafting*, sendo um dos atrativos do ecoturismo.

Ainda com relação à hidrografia, a região contempla parte dos divisores topográficos de águas, que orientam a rede de drenagem para três importantes bacias hidrográficas paranaenses, sendo: Bacia do Iguaçu (ao sul), Bacia do Ribeira (a nordeste) e Bacia do Tibagi (a noroeste). As diferentes formas de vertentes, sobre as quais ocorrem os campos, estão relacionadas com a presença dos arenitos da Formação Furnas.

A vegetação é constituída fito-fisionomicamente por formação arbórea, classificada pelo IBGE (1992) como Floresta Ombrófila Mista Montana e Alto-montana. Apresenta também a tipologia de vegetação denominada de Estepe Gramíneo-Lenhosa (IBGE, 1992), conhecida como campos (MAACK, 1981) ou campos naturais (LEITE e KLEIN, 1990), que

se caracteriza por uma cobertura predominantemente herbácea contínua, constituída principalmente por espécies graminóides que podem estar entremeadas por subarbustos isolados ou em pequenos agrupamentos (ALONSO, 1977). Esta tipologia associa-se a elementos da Floresta Ombrófila (VELOSO e GOES FILHO, 1982) que ocupam posições distintas na paisagem, geralmente nas encostas, vales e florestas de galeria, ou em formações arredondadas (capões).

3.1.3 Importância Ecológica

A região apresenta multiplicidade de situações ambientais, possuindo também locais com afloramentos rochosos, beleza cênica como os *canyons* e com vestígios arqueológicos e pré-históricos. Aliado ao pouco conhecimento da dinâmica ambiental, o uso da terra vem ocasionando processos de degradação, devido à queima do campo, a implantação de pastagem artificial em substituição aos campos naturais, o reflorestamento com espécies exóticas, a agricultura inadequada, a exploração mineral, a especulação imobiliária e o turismo desordenado (SEMA, 2004).

Observa-se na área alguns pontos de extração de matéria-prima para a fabricação de cerâmica e de cimento *Portland*. Segundo IPARDES (2006), o local possui um solo rico em caulim e argila, próprio para a fabricação de porcelanas, louças e outros artefatos de cerâmica. Porém, a atividade mineraria na área da APA constitui no conflito maior sobre os objetivos principais de proteção para o arenito furnas.

As atividades antrópicas causam um drástico efeito na biodiversidade, quer vegetal (incluindo a Araucária), quer animal de grande porte que, além da caça indiscriminada, são afugentados pelas queimadas e pela diminuição da oferta de alimentos na base da cadeia trófica (SEMA, 2004). Verifica-se a inadequada distribuição espacial das atividades econômicas que fazem uso dos recursos naturais da APA e a evidente falta de sistemas de manejo baseados em princípios sustentáveis, o que promoveu um contra-senso entre questões econômicas e ambientais.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Imagens e Dados Auxiliares

Durante a fase de reconhecimento da área de estudo foram adquiridas fotografias panorâmicas terrestres e com a técnica do *Global Positioning System* (GPS) obteve-se as coordenadas reais de posicionamento em cada ponto considerado relevante para subsidiar o planejamento dos trabalhos de aerolevantamento e demais coletas de dados (pontos de referência).

Foram empregadas sub-cenas SPOT 5 referentes ao recorte de três cenas que recobriam as coordenadas de abrangência da área de estudo, correspondentes às órbitas-ponto 710-400, 710-401 e 711-401, de 14/11/2005, 30/04/2006 e 28/08/2005, respectivamente (**Figura 14**). As sub-cenas foram previamente fusionadas (PAN + Multiespectral) e a partir destas elaborou-se um mosaico que resultou na imagem em composição colorida RGB formada pelas bandas do infravermelho de ondas curtas (*short-wavelength infrared*), infravermelho próximo (*near infrared*) e vermelho (*red*), com resolução espacial de cinco metros. As referidas imagens foram cedidas pelo Governo do Estado do Paraná, por intermédio de convênio estabelecido entre a Universidade Federal do Paraná – UFPR e a Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano – SEDU, através do Serviço Social Autônomo PARANACIDADE.

Ainda por intermédio deste convênio foram recebidos, para a área de interesse, os resultados do trabalho de mapeamento temático desenvolvido para todo o Estado, na escala 1:50.000, bem como da atualização da base cartográfica referente aos temas hidrografia e rede de transportes, realizada a partir da imagem SPOT 5.

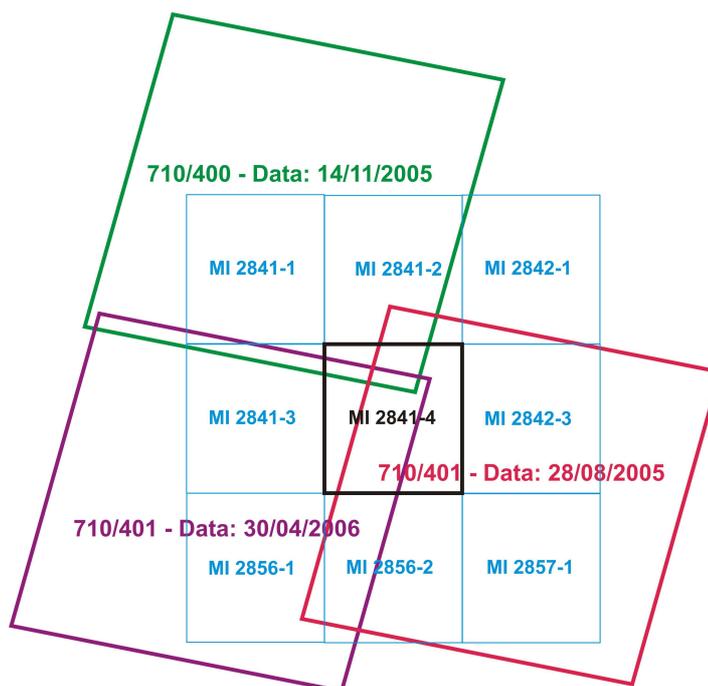


FIGURA 14 – Articulação das cenas SPOT 5 para o recobrimento da carta Campo Largo

Adquiriu-se da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército – DSG a base planialtimétrica em formato vetorial (*shapefile*) referente à carta Campo Largo. Também, foram obtidos os dados topográficos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por meio do projeto TOPODATA.

3.2.2 Equipamentos e Programas Computacionais

A discriminação dos equipamentos e programas computacionais utilizados compreende duas categorias. Na primeira, que envolveu as etapas de reconhecimento da área de estudo, compilação, processamento e análise dos dados, foram utilizados equipamentos convencionais, como micro computador, câmara fotográfica e receptor GPS. Para o processamento utilizou-se os *softwares* ArcGis (ESRI), gvSIG (Generalitat Valenciana), Statistica (StatSoft) e ENVI (RSI).

A segunda categoria compreendeu o aerolevanteamento, utilizando-se equipamentos e *software* específicos, sendo:

- 1) Aeronave com asa alta, modelos *Citabria* e *Cessna* 180, com 2 lugares e 4 lugares, respectivamente;
- 2) Micro-computador *Tablet* PC, marca *Motion Computing*, modelo LE1700, com tela especial *touch screen*, processador Intel Core Duo 1.5 Ghz, memória RAM de 2 GB, capacidade de armazenamento em disco rígido de 160 GB, sistema operacional *Windows XP*;
- 3) *Software* GeoLink (by Michael Baker Jr.), versão 6.2.11.15;
- 4) Equipamento Receptor GPS Marca Garmin, modelo GPS 10, com *Bluetooth* e tecnologia *wireless*.
- 5) Equipamento Receptor GPS Marca Garmin, modelo 76CSX.

3.3 METODOLOGIA

A tese foi estruturada em duas vertentes principais, sendo uma de natureza técnico-operacional e outra de cunho analítico.

A primeira referiu-se ao desenvolvimento, adaptação e uso da técnica de Levantamento Aéreo Expedido Digital (LAED) para o monitoramento de mudanças de uso da terra e para a avaliação da acuracidade do mapa temático em escala 1:50.000, relativo à Carta de Campo Largo, oriundo da classificação de imagens SPOT 5. Portanto, ainda nesta fase, definiu-se um sistema de amostragem e de coleta de dados por meio da técnica do LAED específico para a avaliação da acuracidade temática. Na mesma oportunidade empregou-se, também, o LAE convencional com a finalidade de prover uma base de comparação em relação às potencialidades e limitações da nova técnica.

A realização da segunda fase foi apoiada em Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando também métodos de estatística experimental. Além da obtenção e análise de parâmetros e índices de acuracidade, buscou-se apontar as possíveis fontes de discrepância (ou não-conformidade) entre o mapa temático e a “referência”.

O desenvolvimento da primeira fase realizou-se em etapas que compreenderam: compilação da base cartográfica e temática, análise do material-base produzido, teste dos equipamentos no sistema digital, elaboração do plano de vôo, definição dos parâmetros utilizados no levantamento e execução dos vôos propriamente ditos.

3.3.1 Compilação e Complementação da Base Cartográfica e Temática

Antecedendo a compilação da base cartográfica e temática efetuou-se o inventário de dados necessários, verificando sua disponibilidade. Também foram levantados os metadados referentes ao imageamento das cenas utilizadas, incluindo formas de tratamento e processamento digital de imagens, além de informações de procedimentos metodológicos de análise e elaboração da carta temática como: técnicas de classificação e mapeamento, definição de escala, área mínima de mapeamento e legenda, trabalho de apoio de campo e reambulação.

No presente estudo adotaram-se as definições estabelecidas no trabalho de atualização temática para o Estado do Paraná, tais como o sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e o Datum horizontal *South American Datum of 1969* específico para o Brasil (SAD 69 Brazil), sendo estas similares às adotadas na Carta Planialtimétrica.

3.3.1.1 Carta Campo Largo (base cartográfica)

A Carta Campo Largo correspondente à área de estudo, disponível em formato vetorial (arquivos do tipo *shapefile*), foi a primeira base de dados a ser utilizada no estudo, sendo executada sobre esta as etapas iniciais de reconhecimento da área de estudo e preparação dos dados complementares para a realização do aerolevanteamento, servindo principalmente para:

- a) gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE);
- b) fornecer elementos de localização no terreno tais como rios, estradas, linhas de transmissão e distribuição de energia.

A referida carta contém legenda de uso da terra conforme apresentada no **Anexo 1**, contemplando temas relacionados a sistema de transporte, infra-estrutura, edificações, limites territoriais, hidrografia, altimetria e vegetação. Descartaram-se os temas relacionados a hidrografia e malha viária da carta planialtimétrica, passando-se a utilizar os contidos no resultado do mapeamento temático contratado pelo Estado do Paraná, em função dos mesmos terem sido atualizados por meio daquele contrato.

Partindo da premissa de que a técnica do LAED se beneficia grandemente da correspondência entre elementos notáveis no material cartográfico disponível e facilmente observáveis no terreno, foi necessário complementar as informações sobre a rede viária através da interpretação visual em escala 1:10.000 da imagem base, considerando pequenos acessos e estradas vicinais (categorias não contempladas na carta planialtimétrica e no trabalho de mapeamento temático).

Da mesma forma buscaram-se vetores adicionais para complementar os dados sobre linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo este material cedido pela empresa Companhia Campolarguense de Energia – COCEL e pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL. O Município de Campo Largo é um dos poucos do Paraná que não possui o abastecimento de energia elétrica administrado pela COPEL.

3.3.1.2 Diretrizes e protocolos adotados para a execução do mapeamento temático em escala 1:50.000

O projeto contratado pelo Governo do Estado do Paraná consistiu na atualização temática das 326 Cartas Topográficas Planialtimétricas Digitais, na escala 1:50.000, em uma área aproximada de 235.000 km², que corresponde ao território do Paraná com as suas áreas de divisas.

A atualização do mapeamento temático foi realizada a partir de imagens satelitárias do SPOT 5 obtidas a partir do ano de 2005, que apresentassem uma cobertura por nuvens igual ou inferior a 10%.

As cenas foram ortorretificadas e posteriormente submetidas à fusão das bandas pancromática e multiespectrais. Em seguida as imagens fusionadas foram segmentadas e, por fim, submetidas à classificação digital. A classificação preliminar do uso da terra foi realizada por cena inteira, sendo efetuada com algoritmo de classificação supervisionada que empregou no treinamento as informações de amostras coletadas em campo para cada classe a ser mapeada.

Na classificação adotou-se, ao todo, 12 classes temáticas, sendo: agricultura anual, agricultura perene, área urbanizada e construída, corpos d'água, floresta aluvial, floresta estágio inicial, floresta estágio médio ou avançado, mangues e restingas, pastagens e campos, reflorestamento, solo exposto ou mineração e vegetação de várzea. No caso da área de estudo

não foram contempladas as classes: agricultura perene, floresta aluvial, mangue e restinga. A legenda adotada nas cartas temáticas é apresentada no **Anexo 2**.

Nas regiões de mosaicagem de cenas foram sobrepostos os resultados da classificação, editando-se as informações que apresentaram erros. Após a classificação realizou-se o recorte das cenas, bem como do resultado da classificação obedecendo aos dimensionamentos do mapeamento sistemático brasileiro para a escala 1:50.000.

A análise da classificação e verificação de erros foi realizada por carta, seguindo as especificações para atender o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) categoria “A” para escala 1:50.000. Os resultados finais do mapeamento temático foram cedidos para uso no presente estudo em agosto de 2009.

3.3.1.3 Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Em determinadas situações em que a área é muito acidentada, a informação de altitude pode vir a ser um importante elemento na discriminação da composição local. Por meio da elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) torna-se possível representar a superfície topográfica em uma grade regular, dada por uma matriz de *pixels* com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do *pixel*, correspondente à elevação.

Para a geração do MDE para a área de estudo digitalizou-se as curvas de nível (representadas em equidistância de 20 m) e os pontos cotados existentes na Carta Planialtimétrica Campo Largo, discriminando, para cada feição, os respectivos valores de altitude. Estas feições constituíram as amostras para gerar as interpolações (grades), que seguiram a regra de triangulação por *soft lines* e *mass points*. O resultado da geração do MDE foi submetido a reclassificação para definição de classes de elevação com um intervalo de 100 m de altitude. Com base no MDE derivou-se um modelo de sombreamento relativo ao momento da passagem do satélite quando da aquisição das imagens.

3.3.1.3.1 Geração de classes de sombreamento

A função de sombreamento gera a iluminação hipotética de uma superfície determinando os valores de iluminação para cada célula de uma imagem *raster*, o que

melhora sua visualização tanto para representação gráfica como para outros tipos de análise (JOHNSTON e MCCOY, 2001).

Na presente pesquisa a geração da imagem sombra foi utilizada na análise das discrepâncias existentes entre o mapa temático e os resultados do LAED, considerando-se que áreas sombreadas podem ser mais susceptíveis a erros de classificação. O MDE da área de estudo e os dados de azimute e elevação solar constantes do cabeçalho de cada uma das três cenas SPOT 5 serviram como base, respectivamente, para a geração de três imagens-sombra. O azimute é a direção angular do sol medida a partir do Norte em sentido horário, podendo variar, portanto, de 0° a 360°. Já a elevação solar diz respeito ao ângulo do sol em relação ao horizonte no momento da tomada da cena, podendo oscilar entre 0° e 90°. Na **Tabela 6** encontram-se relacionados os parâmetros utilizados no cálculo da imagem-sombra.

TABELA 6 – Valores de angulação solar para o momento de aquisição das cenas SPOT 5 empregados na geração da imagem-sombra

Id. Cena	Banda Espectral	Data e Hora	Ângulo Solar (graus)	
			Azimute	Elevação
710-400	PAN	14/11/2005 – 13:34:53	75.584197	68.187194
	Multiespec.	14/11/2005 – 13:34:56	75.571778	68.198011
710-401	PAN	30/04/2006 – 13:23:58	37.687333	41.432834
	Multiespec.	30/04/2006 – 13:24:01	37.674015	41.438673
711-401	PAN	28/08/2005 – 13:36:24	38.289742	46.440725
	Multiespec.	28/08/2005 – 13:36:27	38.275569	46.448067

3.3.2 Adaptação da Técnica de LAED para o Monitoramento da Cobertura Florestal e de Mudanças no Uso da Terra e Avaliação da Acuracidade de Mapeamento Temático em Escala 1:50.000

A adaptação da técnica de Levantamento Aéreo Expedido Digital (LAED) para o monitoramento da cobertura florestal e para a avaliação da acuracidade do mapeamento temático em escala 1:50.000 consistiu em usar os princípios básicos do método, tal como a execução do sobrevôo em grade regular, a utilização de camadas de informação em formato matricial e vetorial no sistema digital, a construção de uma assinatura de reconhecimento para as diferentes classes de uso da terra e o estabelecimento de um conjunto de códigos de legenda (v. item 3.3.2.3).

No entanto, as especificidades do novo equipamento a ser utilizado e a própria operacionalização do sistema digital exigiram a estruturação de um conjunto de procedimentos, com ênfase na definição de parâmetros e análise de performance. Assim, a adaptação do novo sistema (digital) para um novo objetivo ou uma finalidade para a qual a técnica não é utilizada tradicionalmente (monitoramento da cobertura florestal e verificação da acuracidade temática) envolveu as seguintes etapas:

- a) definição de um sistema de amostragem considerando a proporção das diferentes classes de uso;
- b) estabelecimento de um sistema de anotação capaz de captar o nível de correspondência entre as classes do mapa e o observado no terreno a partir da perspectiva aérea;
- c) teste do sistema digital como um todo, ainda em solo, para a configuração de parâmetros e análise de performance;
- d) reconhecimento terrestre e aéreo da área de estudo;
- e) planejamento e execução do aerolevanteamento propriamente dito;
- f) processamento e análise dos dados coletados, considerando potencialidades e limitações em relação ao LAE;
- g) sistematização e registro dos procedimentos adotados e recomendados para a utilização da técnica.

A operacionalização da metodologia ocorreu inicialmente em vôo-teste, sendo observado o comportamento do equipamento, bem como o subsídio proporcionado pela base de dados e considerações escala (altura de vôo ideal), adequando-se as ressalvas para a execução do vôo-definitivo.

3.3.2.1 Sistema de amostragem

Como unidade amostral assumiu-se o polígono, que segundo CONGALTON e GREEN (2009), é a unidade ideal para que tanto produtor quanto usuário consigam obter informações de um mapa temático no nível de detalhe em que estão interessados.

A primeira abordagem para a definição do número de pontos amostrais por classe a serem observados no sobrevôo consistiu em dividir a área em uma grade regular com

intervalo de 1.000 m, armazenada em formato vetorial no SIG criado para este estudo. Em seguida foi efetuada uma filtragem sobre os polígonos do mapa de uso da terra, excluindo-se aqueles com área inferior a 1 ha e 6 ha conforme pertencessem à classe “floresta” ou a outras classes de cobertura, respectivamente. Tal procedimento segue os mesmos critérios com relação à área mínima de mapeamento adotados no mapeamento temático para o Estado do Paraná (SEDU-PARANACIDADE, 2005). Dessa forma os polígonos da *layer* de uso da terra passaram a receber um atributo adicional (elegível ou não para a amostragem).

Foram pré-estabelecidos alguns valores *a priori* para os parâmetros dos vôos, fazendo parte dos objetivos deste estudo a sua implementação, operacionalização e análise durante e depois dos sobrevôos propriamente ditos. São eles:

- largura das faixas de vôo: 2.000 m, com a aeronave deslocando-se no centro da faixa, no sentido Norte-Sul ao longo dos 27 km representados na carta, sendo ambos os observadores aéreos (LAED e LAE convencional) responsáveis pela observação dos polígonos localizados primeiramente nas faixas de 1.000 m à direita e depois à esquerda da aeronave;
- número de faixas a serem sobrevoadas: definidas por simulação.

Para a simulação foram gerados vetores (no SIG) representando as 12 faixas de vôo potenciais (N) para a área de estudo e efetuadas operações de sobreposição (recorte) de cada faixa sobre o mapa de uso da terra para avaliar de forma preliminar o total em termos de número e área de polígonos sendo amostrados por classe. Na primeira simulação selecionou-se um intervalo $k = 2$, o que representaria sobrevoar uma faixa, ignorar a seguinte, sobrevoar a terceira faixa na seqüência, ignorar a quarta e assim por diante, perfazendo um total de $n = 6$ faixas amostradas. Na segunda simulação alterou-se o intervalo para $k = 3$, totalizando $n = 4$ faixas amostradas e, finalmente, usando $k = 4$, gerando $n = 3$ faixas amostradas.

O número de polígonos e a área total por classe de uso da legenda obtido nessas abordagens foi comparado com a intensidade amostral mínima determinada anteriormente, permitindo, assim, definir o esquema amostral e o intervalo definitivo a ser adotado entre as linhas de vôo.

3.3.2.2 Equipamentos

A forma operacional do LAE no Brasil até então tem se restringido ao método tradicional, anotando-se as observações sobre um mapa ou carta-imagem durante o vôo e depois, em terra, digitalizando e vetorizando os dados espaciais associados aos atributos dos alvos ou fenômenos observados. O Centro de Aplicações de Sensoriamento Remoto do Serviço Florestal Americano, juntamente com a equipe de Sanidade e Tecnologia Florestal, desenvolveu, em 2003, um projeto para a implantação de um sistema LAE digital com a finalidade de substituir ou aumentar as potencialidades do sistema atual. Em SCHRADER-PATTON (2003) estão descritas as principais características do LAED:

“ As vantagens do LAED incluem o rastreamento automático da posição da aeronave sobre o mapa-base através de um link com o receptor GPS, além da posterior redução do tempo usado para a digitalização dos dados no Sistema de Informações Geográficas (SIG). [...] Ao se coletar os dados usando o software denominado GeoLink², a posição do avião é mostrada como um ícone sobre o mapa na tela do “tablet PC” que contém teclas com os tipos de feições (ponto, linha, polígono) e um teclado virtual, também apresentado na tela e pré-definido pelo usuário para a inserção de atributos das feições. O observador seleciona o tipo de feição a ser desenhado, faz o desenho sobre a tela e, então, insere os atributos correspondentes usando o teclado. A tela permanece “congelada” enquanto a feição está sendo desenhada e é atualizada depois de se pressionar a tecla ENTER. Quando o ícone da aeronave avança para a borda da tela, a janela do mapa é atualizada e o ícone é centralizado. Depois de completada a missão aérea, um módulo converte os arquivos gravados para formato shapefile, incluindo os atributos das feições.”

Tanto *hardware* (**Figura 15**) como *software* (**Figura 16**) foram gentilmente cedidos pelo Serviço Florestal Americano para a realização dessa pesquisa, sendo necessário, apenas, modificar os códigos de legenda e o teclado virtual para as anotações.

² GeoLink PowerMap by Michael Baker, Jr., Inc.



FIGURA 15 – Conjunto de equipamentos utilizados para adaptação do LAED às condições brasileiras: *tablet PC* (1); caneta óptica (2); alimentador via tomada 12V (3); GPS Garmin 10 com transmissão de dados por sistema *Bluetooth* (4)



FIGURA 16 – Janela ilustrativa do aplicativo *GeoLink* usado no LAED

3.3.2.3 Padronização de códigos de anotação para as classes temáticas

A codificação para a anotação rápida do nível de correspondência entre as classes do mapa e o observado no terreno durante o sobrevôo foi definida com base nos critérios a serem utilizados posteriormente para a avaliação da acuracidade. Foram contempladas três situações possíveis:

- a) Forma e classe do polígono iguais no mapa e no terreno – anotação de concordância total;

- b) Forma igual, mas classe diferente no mapa e no terreno – anotação da classe de uso observada no terreno para o polígono;
- c) Forma e classe diferentes no mapa e no terreno – desenho do novo formato sobre a tela do computador e anotação das classes correspondentes.

Na **Tabela 7** são mostrados os códigos atribuídos a cada classe de uso da terra usados no levantamento. Para todo polígono observado foi inserido o código correspondente à classe verificada.

TABELA 7 – Códigos de legenda usados no sistema LAED

CLASSE DA LEGENDA	CÓDIGO
Agricultura anual	AG
Floresta estágio inicial	FI
Floresta estágio médio ou avançado	FA
Pastagens e campos	PA
Reflorestamento	RF
Corpos d'água	CH
Área urbanizada e construções	UR
Solo exposto/mineração	SO
Vegetação de várzea	VA

Foram definidas e incorporadas no sistema LAED as camadas de informação necessárias nos sobrevôos (**Tabela 8**). O sistema permite a ativação de camadas conforme a conveniência durante as diversas fases do levantamento aéreo, podendo visualizá-las em diversos fatores de *zoom* pré-definidos antes do vôo.

TABELA 8 – Camadas de informação armazenadas no sistema LAED

CAMADA	FORMATO
Malha viária	Vetorial (linha)
Hidrografia	Vetorial (linha)
Linha de transmissão e distribuição de energia	Vetorial (linha)
Linhas de vôo	Vetorial (linha)
Classes de uso e cobertura da terra	Vetorial (polígono)
Faixas de amostragem	Vetorial (polígono)
Imagem colorida SPOT 5 m – fusionada	Matricial

3.3.2.4 Teste do sistema digital em solo

Visando otimizar as operações a serem executadas durante o levantamento aéreo e ajustar os equipamentos, procedeu-se a um teste do Sistema LAED, simulando a coleta de dados via terrestre. Assim, ainda no escritório, foram definidos e analisados:

- a) a sequência de procedimentos para efetuar a conexão do equipamento GPS ao *tablet* via dispositivo *Bluetooth*;
- b) as configurações de posicionamento do cursor do GPS e atualização de tela;
- c) os formatos e tamanhos dos arquivos de imagens e vetores carregados no projeto como plano de fundo e respectiva visualização;
- d) o arquivo de coleta de dados e o teclado virtual com as respectivas classes da legenda;
- e) a forma de operação da caneta óptica.

Em uma segunda etapa foram efetuadas duas incursões à área de estudo para verificar a performance do sistema, incluindo-se também o monitoramento do tempo de duração das baterias dos equipamentos.

De volta ao escritório os dados coletados na simulação foram convertidos a formato adequado para inserção no SIG.

3.3.2.5 Elaboração do Plano de Vôo

O planejamento do vôo foi uma das etapas de maior importância por ser fundamental na descrição das metas da campanha, seus objetivos e as atividades realizadas. O plano de vôo permite que qualquer pessoa, mesmo iniciante no assunto, possa captar rapidamente seus objetivos, compreender as suas intenções e conhecer a realidade do programa. São componentes do plano de vôo: listagem de objetivos da campanha; mapas e GPS de navegação aérea; listagem do pessoal envolvido e suas respectivas responsabilidades; normas e procedimentos.

Como primeira etapa do planejamento definiu-se de forma clara e concisa os objetivos do levantamento aéreo, repassando-os a todos os envolvidos no trabalho juntamente com as orientações do que seria possível obter como resultado e as ações para seu êxito. Com

a definição dos objetivos inseriu-se a base de dados no *tablet* (imagens de apoio e dados vetoriais), que foram estruturados de acordo com as necessidades impostas pelos objetivos e vinculados a um mesmo sistema de coordenadas. No equipamento GPS usado para a navegação aérea, adotou-se o sistema de coordenadas análogo à base de dados, sendo inseridas neste equipamento as coordenadas dos vértices das linhas de vôo que auxiliaram a orientação do piloto da aeronave quanto à rota a seguir e às faixas a serem sobrevoadas.

Como segundo passo, organizou-se a listagem das pessoas envolvidas e suas respectivas responsabilidades, tanto do apoio terrestre quanto da tripulação. A equipe envolvida no aerolevanteamento propriamente dito foi constituída pelo piloto, dois observadores e um treinando. Para toda a tripulação foram repassadas, ainda em terra, as informações sobre normas e procedimentos de segurança, além da orientação sobre a localização e uso de equipamentos de emergência.

As condições meteorológicas, decisivas para a segurança do vôo, bem como a visibilidade que afeta diretamente o êxito do trabalho, foram verificadas para os dias de vôo. Planejou-se realizar os vôos no período da manhã, no intervalo entre 10 horas e meio dia, não apenas pelo fato de haver menor turbulência nesse período, mas, também, pela proximidade do horário de passagem do satélite SPOT, o que permitiu analisar possíveis fatores de influência na interpretação da imagem e ocorrência de discrepâncias no mapa temático elaborado.

O vôo foi estabelecido em *grid*, orientado segundo o sistema de coordenadas UTM, sendo as faixas de vôo definidas como múltiplos do *grid*. Com relação aos parâmetros do vôo, propriamente dito, definiu-se a altura e velocidade para o aerolevanteamento em função da largura da faixa de avaliação e do número de classes avaliadas.

3.3.2.6 Execução do aerolevanteamento

Uma vez definido o plano de vôo e obtidas as permissões necessárias junto às autoridades da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC foram executados os sobrevôos com a finalidade de detectar discrepâncias entre as classes do mapa e do terreno, bem como de anotar possíveis alterações na forma e nas classes de cobertura da terra referentes aos polígonos selecionados para a amostragem.

Foram empregados ambos os sistemas (digital e convencional), de forma a possibilitar comparações posteriores. Cartas-imagem em papel, elaboradas à semelhança dos mapas e imagens de apoio inseridos no *tablet*, foram utilizadas no levantamento convencional.

Cada polígono foi enquadrado em uma das três situações descritas no item 3.3.2.3, anotando-se o código correspondente a esse critério (nível de concordância). Em havendo discrepância de classe, a classe observada no terreno era anotada usando o código correspondente. No caso de diferenças de forma, os novos limites eram vetorizados diretamente em tela além de se anotar as respectivas classes.

A necessidade de repetições de sobrevôo para uma mesma linha foi avaliada durante o levantamento em função das particularidades da área e dos objetivos diferenciados desse estudo em relação às aplicações usuais do método.

3.3.3 Processamento dos Dados do Vôo

Os procedimentos relatados na sequência foram executados como operações pós-vôo, visando preparar os dados coletados para as análises posteriores em ambiente SIG:

- a) conversão dos arquivos gerados no levantamento (*proto-shapefiles*) em *shapefiles* verdadeiros, usando para isso ferramentas inseridas no próprio *software GeoLink*. Os *shapefiles* foram convertidos para o sistema de coordenadas definido para o SIG;
- b) estruturação do projeto no SIG, com a inserção de todas as camadas de informação necessárias, incluindo os arquivos *shapefile* oriundos do levantamento;
- c) verificação preliminar, edição e adequação de dados de atributo. Em segundo lugar foram verificados os códigos de legenda quanto aos caracteres digitados;
- d) operações de geoprocessamento visando a geração de dados para as análises de acuracidade.

3.3.4 Avaliação da Acuracidade Temática

A verificação da acuracidade temática do mapa de uso da terra referente à área da Carta de Campo Largo em escala 1:50.000 baseou-se no conceito de acuracidade geral,

índices *Kappa* e *Tau* e matriz de confusão (erros de omissão e comissão). Assim, com base nos valores constantes da tabela de atributos das *layers* resultantes dos vôos, foram calculados os índices propostos e construída a matriz de erros.

3.3.5 Verificação da Discrepância entre o Mapa Temático e o Terreno

Além de verificar a acuracidade temática, desejou-se, também, elencar e comparar analiticamente os possíveis fatores de discrepância entre as classes de uso da terra constantes no mapa e as efetivamente observadas no terreno através da técnica de LAE Convencional e Digital (**Figura 17**).

A avaliação de discrepância entre o mapa temático e o terreno consistiu no reconhecimento de quais fatores ocasionam erros na elaboração de mapas para a discriminação de usos e cobertura do solo. Nesta etapa realizou-se uma análise aprofundada das possíveis causas de erros ou discrepâncias, qualificando-os.

Para tanto, produziu-se um novo *shape*, oriundo do levantamento aéreo, que serviu de referência para os polígonos amostrados nas três faixas de vôo. A comparação entre as bases de dados “mapa temático” – “referência”, levou em consideração, *a priori*, as características do momento de tomada das imagens associadas à topografia do local (efeito do sombreamento), as técnicas de processamento da imagem (mosaicagem), bem como o tempo decorrido desde a aquisição das imagens e a execução do Levantamento Aéreo Expedito (dinâmica de uso da terra).

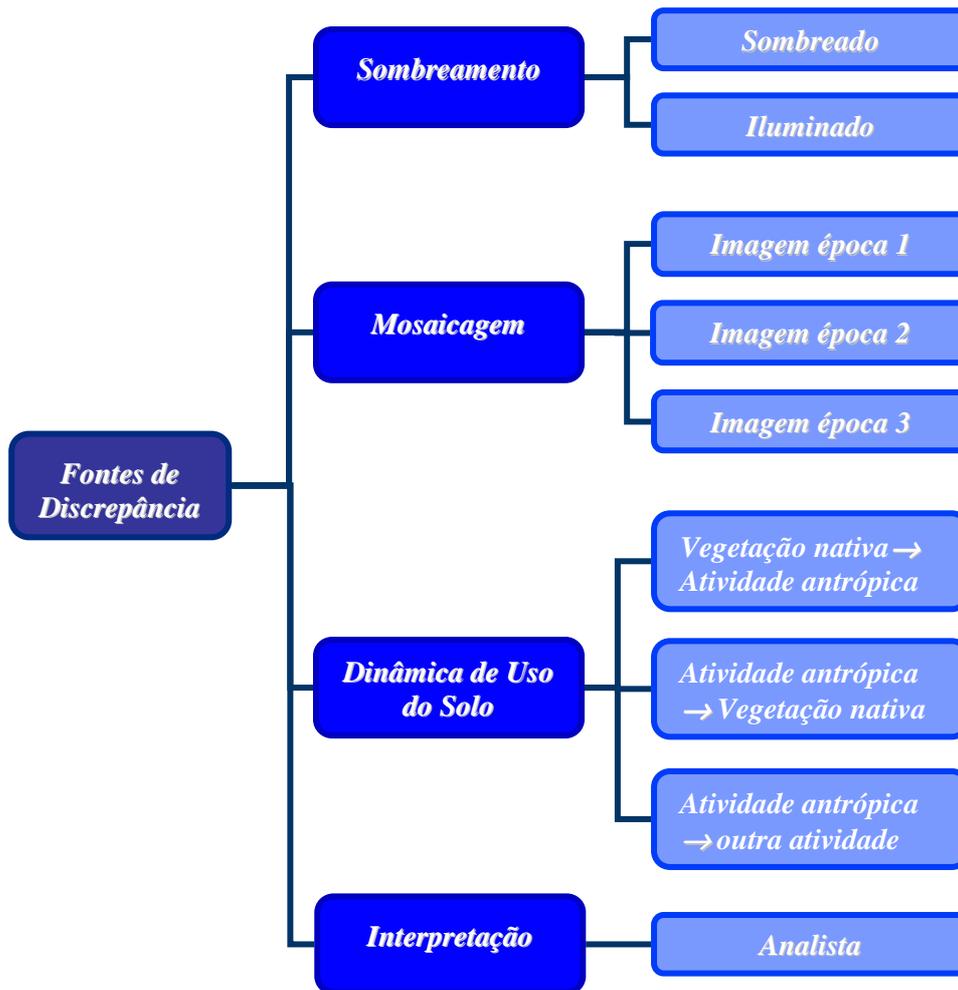


FIGURA 17 – Possíveis causas de não-conformidades no mapa temático da área de estudo

A avaliação da mudança na cobertura do solo contemplou três situações, sendo:

- 1) floresta e outras formas de vegetação nativa convertidas para áreas cultivadas (reflorestamentos/agricultura/pecuária/outros usos antrópicos);
- 2) Áreas abandonadas de reflorestamentos / agricultura / pecuária / outros usos antrópicos e sua transição para floresta e outras formas de vegetação nativa;
- 3) Alteração de atividade antrópicas em ambientes já antropizados anteriormente.

As discrepâncias foram avaliadas com base na análise dos resultados do LAE sobrepostos ao mapa original e às imagens de relevo. Além disso, como dados auxiliares, foram utilizadas imagens históricas do aplicativo *Google Earth* (GOOGLE, 2010), desenvolvido e distribuído pela empresa americana Google, que tem a função de apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélites, fotografias aéreas e SIG 3D.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

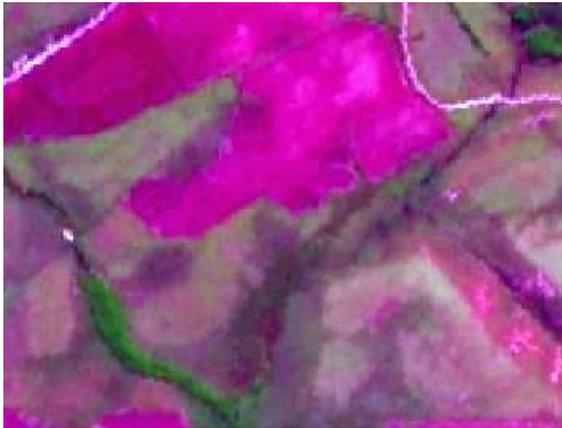
4.1 ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DO LAED NA ÁREA DE ESTUDO

Considerando que a aplicação da técnica de Levantamento Aéreo Expedito Digital (LAED) para os objetivos deste trabalho dependia da pré-definição de inúmeras variáveis e do ajuste de equipamentos e *software* até então utilizados somente no Hemisfério Norte, foi necessário adaptar a metodologia antes da execução dos vôos propriamente ditos. Para tanto foram efetuados levantamentos prévios via terrestre, simulando-se os procedimentos do LAED, além de um reconhecimento aéreo da área de estudo.

4.1.1 Reconhecimento da Área em Campo e por Levantamento Aéreo para a Caracterização da Legenda Adotada no Mapeamento Temático

Para subsidiar o planejamento do aerolevanteamento, bem como conhecer as características das classes do levantamento de uso e cobertura da terra para o Estado do Paraná, contempladas na área de estudo, foi efetuado o reconhecimento em campo e a coleta de informações sobre as classes: agricultura anual, área urbanizada e construída, corpos d'água, floresta estágio inicial, floresta estágio médio ou avançado, pastagens e campos, reflorestamento, solo exposto ou mineração e vegetação de várzea. Na **Figura 18** apresentam-se as fotos panorâmicas terrestres e as respectivas respostas espectrais na imagem SPOT 5 para cada classe contemplada no mapeamento para a atualização temática. Esse material foi incluído como parte do treinamento do observador aéreo na fase de construção da assinatura das feições a serem mapeadas.

(a)



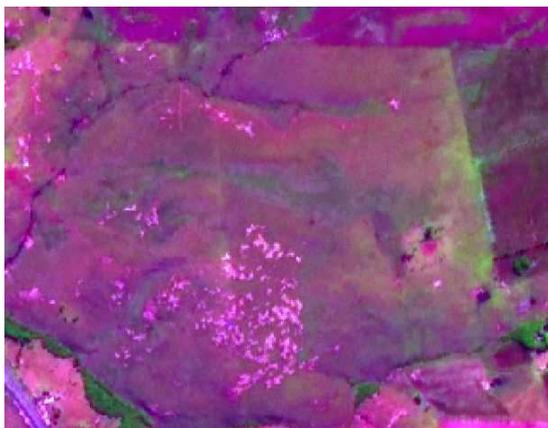
(b)



Agricultura anual



Área urbanizada e construída

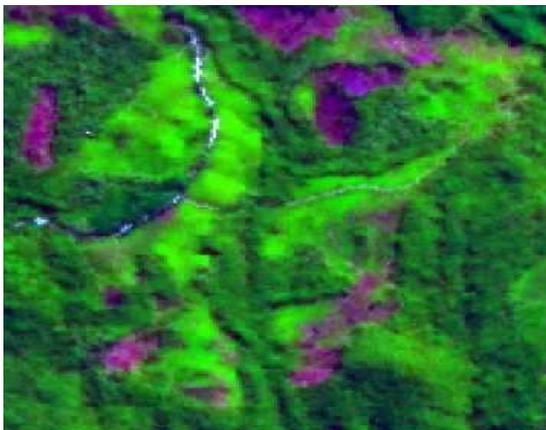


Pastagens e campos

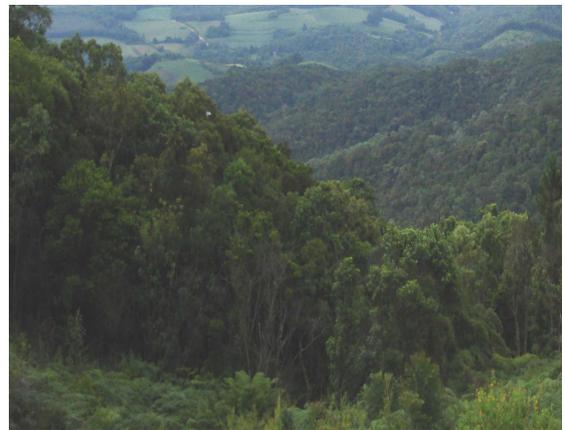
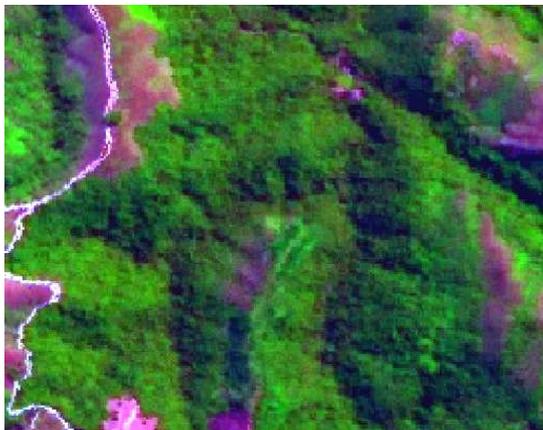
FIGURA 18 – Continua...



Corpos d'água



Floresta Estágio Inicial

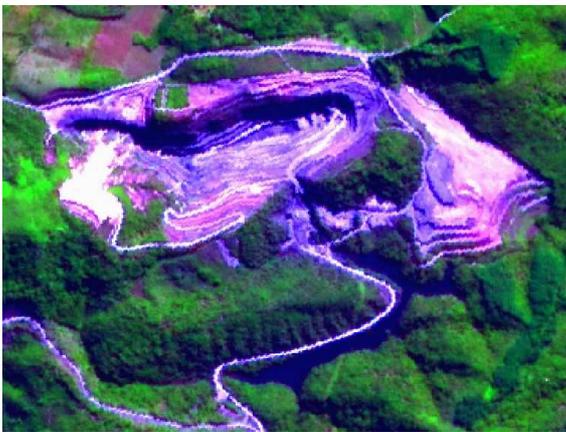


Floresta Estágio Médio ou Avançado

FIGURA 18 – Continua...



Reflorestamento



Solo exposto ou mineração



Vegetação de Várzea

FIGURA 18 – Classes contempladas no mapeamento para a atualização temática:
(a) resposta espectral na imagem SPOT 5; (b) foto panorâmica terrestre

Além dos dados coletados via terrestre, realizou-se um vôo de reconhecimento com aquisição de fotos panorâmicas de perspectiva aérea para também auxiliar na compreensão das classes do mapeamento. Observou-se, ainda, a influência da presença de sombreamento causada por efeitos topográficos (**Figura 19**).



Mosaico retratando uso da terra, com destaque para a agricultura entremeada por cobertura florestal nativa



Plantação florestal



Área de exploração por mineração



Sombreamento por efeitos topográficos



Registro de desmatamento

FIGURA 19 – Fotos panorâmicas adquiridas no vôo de reconhecimento

A área de estudo não apresenta um padrão uniforme de ocupação espacial, demonstrado pela fragmentação da cobertura da terra, que contempla as diversas atividades antrópicas exercidas nas pequenas e médias propriedades agrícolas existentes. Verifica-se a maior existência de cobertura vegetal natural nas porções de topografia acidentada.

4.1.2 Seleção de Faixas de Vão na Amostragem Sistemática

Na amostragem em dois estágios, as faixas foram selecionadas de forma sistemática, com exceção da primeira, a faixa 11, definida por sorteio e, a partir desta, as demais pela aplicação de distintos valores de k para definir o intervalo sistemático entre faixas. O resultado da simulação correspondente às faixas contempladas para cada valor de intervalo sistemático em termos de número de polígonos total e por classe temática é apresentado na **Tabela 9**. Na **Figura 20** é mostrada a distribuição das amostras por classe mapeada e as respectivas áreas.

Pode-se observar que as classes que aparecem naturalmente com menor frequência no mapeamento temático – área urbanizada, corpos d’água, solo exposto ou mineração e vegetação de várzea - mantêm essa tendência nas diversas intensidades simuladas para a amostragem sistemática, o que pode ser verificado pela representação percentual do número de polígonos em relação ao total existente, tanto no mapeamento como na simulação das faixas. Portanto, a recomendação feita por CONGALTON (1988), que define um mínimo de 50 amostras por classe mapeada, torna-se inaplicável para essas classes em função de sua baixa representatividade total na área de estudo. Por outro lado, as classes predominantes – as duas categorias de floresta natural, pastagens e campos – estão com representação bastante acima do número de amostras preconizado (50), mesmo na menor intensidade amostral ($k = 4$). Por meio do Teste t , comparando o valor obtido $t_{calc.} = 0,6404$ aos valores tabelares $t_{8;0,05} = 2,306$ e $t_{8;0,01} = 3,355$, verificou-se com 99% de confiança que não ocorre diferença significativa entre as médias de número de polígonos de toda população e da amostragem com intensidade de 25% em relação à área total do mapa. Assim, em função do binômio custo-precisão, optou-se por esta intensidade de amostragem que considera a observação em três faixas.

TABELA 9 - Resultado da simulação correspondente às faixas contempladas para cada valor de intervalo sistemático

Classes Temáticas	Mapeamento Temático		Simulação 50% <i>K</i> = 2		Simulação 33% <i>K</i> = 3		Simulação 25% <i>K</i> = 4	
	NP	%	NP	%	NP	%	NP	%
Agricultura anual	628	19,26	357	18,01	227	18,71	178	18,11
Área urbanizada e construções	40	1,23	27	1,36	17	1,40	13	1,32
Corpos d'água	18	0,55	11	0,55	4	0,33	3	0,31
Floresta estágio inicial	833	25,54	494	24,92	315	25,97	254	25,84
Floresta estágio médio ou avançado	315	9,66	189	9,54	108	8,90	86	8,75
Pastagens e campos	1.314	40,29	830	41,88	499	41,14	413	42,01
Reflorestamento	87	2,67	61	3,08	33	2,72	28	2,85
Solo exposto ou mineração	21	0,64	10	0,50	9	0,74	6	0,61
Vegetação de várzea	5	0,15	3	0,15	1	0,08	2	0,20
<i>Total</i>	3.261	100,00	1.982	100,00	1.213	100,00	983	100,00
<i>Percentual avaliado</i>	100%	-	60,7%	-	37,2%	-	30,1%	-

NP – número de polígonos por classe de mapeamento

% - percentual de polígonos por classe de mapeamento

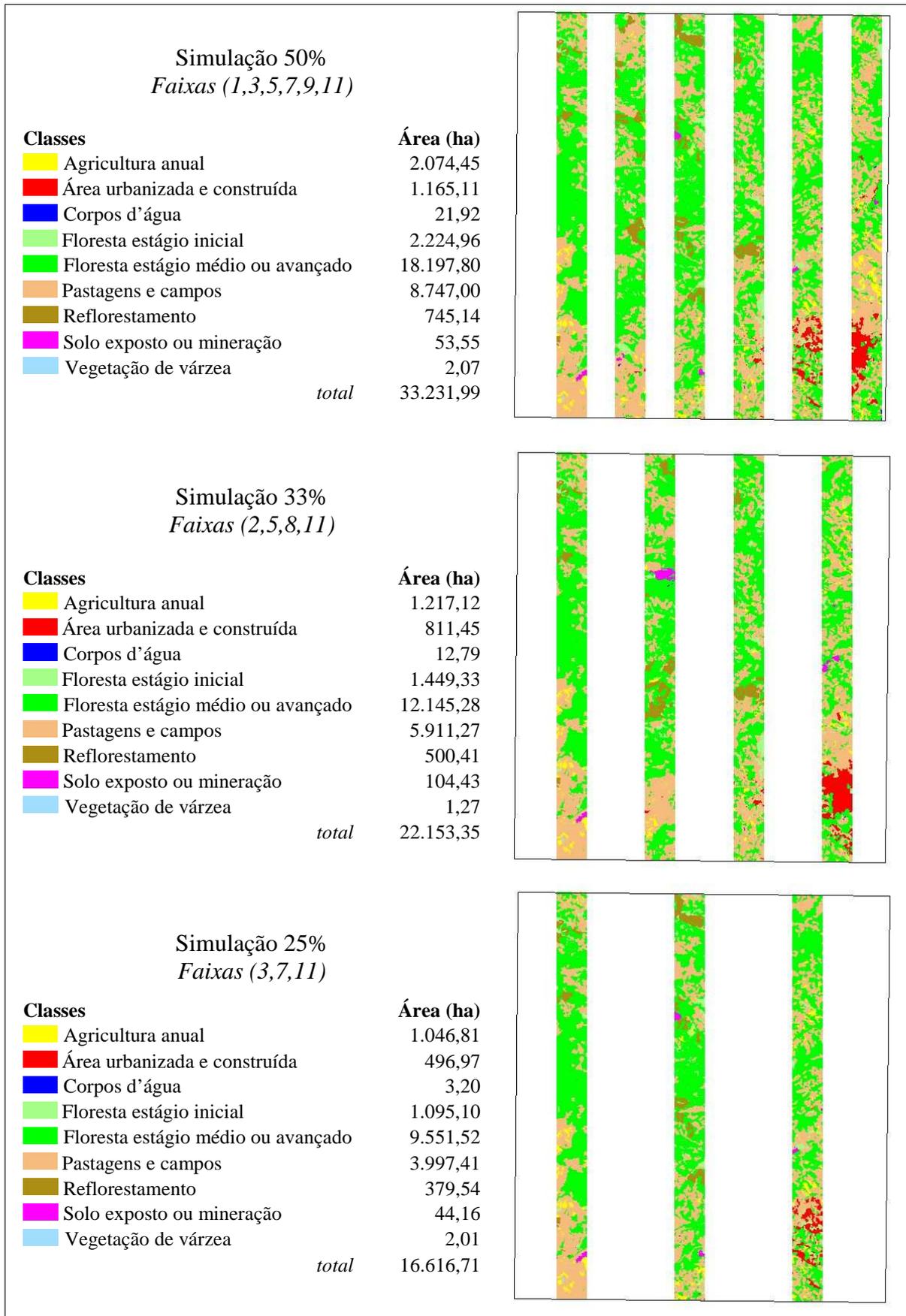


FIGURA 20 – Distribuição das amostras por classe mapeada e suas respectivas áreas

4.1.3 Simulação do Sistema LAED Via Terrestre

Os resultados dos processos de simulação realizados por terra foram decisivos para o estabelecimento dos padrões de configuração de *hardware* e *software* para os vôos. Nos itens seguintes são comentados os principais aspectos avaliados.

4.1.3.1 Conexão do GPS ao *tablet*

Primeiramente foi necessário configurar a porta de comunicação do *tablet*, estabelecendo-se o objeto da conexão *Bluetooth* e definindo-se a porta COM8 para a conexão. Antes de executar o *software* Geolink deve-se ativar a conexão e, somente então, configurar a coleta de dados via GPS no *software*. O programa suporta vários protocolos de GPS, entre eles o NMEA 0183, mais genérico, adotado em função do modelo de GPS disponível (Garmin 10).

4.1.3.2 Configurações de posicionamento do cursor do GPS e atualização de tela

As opções relativas ao posicionamento do cursor do GPS (com ícone em formato de avião – apresentado na **Figura 21a**) foram as do modo “*rotate*”, em que o cursor acompanha a direção de deslocamento real da aeronave (ou veículo), fazendo o mapa de fundo girar na tela (**Fig. 21b**). Ainda com relação à posição do cursor a cada atualização da tela devida à movimentação, adotou-se o canto inferior esquerdo (**Fig. 21b**) para garantir uma área máxima disponível para as anotações sobre a tela.

Outra opção interessante é a que diz respeito ao *zoom* máximo permitido para os mapas ou imagens de fundo (*Super zoom*). Para o presente estudo selecionou-se uma ampliação máxima equivalente a 2 km no terreno, ou seja, exatamente a largura da faixa de vôo. Com essa opção o *zoom* máximo é atingido com apenas um toque sobre o ícone (em realce na **Figura 21(a)**), voltando ao nível anterior com um segundo toque. Considerando-se a movimentação rápida do avião, um mínimo de movimentos e toques no *tablet* são desejáveis.

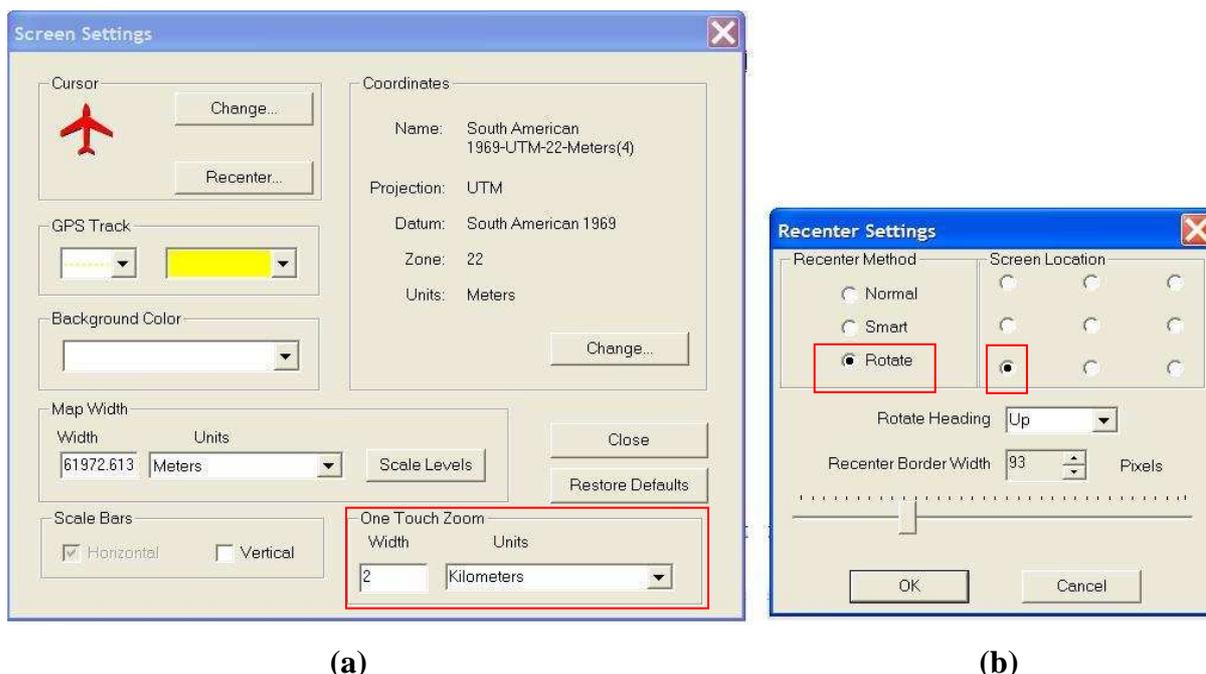


FIGURA 21 – Configurações de posicionamento do cursor do GPS na tela do *tablet*:
 (a) tela para a escolha do ícone que demonstra o deslocamento do cursor e para definição do valor de *zoom* máximo;
 (b) definição da direção de deslocamento do mapa de fundo e posição do cursor a cada atualização da tela

4.1.3.3 Planos de fundo de tela

Nas simulações em terra foram importados os arquivos vetoriais e matriciais disponíveis para a área de estudo usando a opção *Add Map* na janela *Map List* do *software* Geolink (Fig. 22). Devido ao grande tamanho do arquivo *raster* (cerca de 83 MB para a imagem SPOT 5), o programa automaticamente acionou uma opção de conversão de arquivos usando um algoritmo denominado *Split-tiff*. Arquivos menores ajudam a diminuir o tempo de atualização da tela durante a movimentação da aeronave.

Usando o algoritmo *Split-tiff* o arquivo em formato TIFF foi convertido para formato GOR (*Geolink Optimized Raster*) empregando-se o método de eliminação de *pixels* para a amostragem. Apenas podem ser submetidos à conversão arquivos TIFF que possuem o arquivo de referência TFW correspondente. Após a conversão a imagem SPOT passou a um tamanho de 36 MB.

Uma das primeiras questões observadas com relação aos arquivos do plano de fundo foi a dificuldade na definição do seu sistema de projeção e Datum. Mesmo tendo-se definido e

armazenado no sistema a projeção UTM, fuso 22 J, Hemisfério Sul, Datum SAD69, para todos os mapas utilizados, o sistema mudava por si só essa projeção como sendo Hemisfério Norte. O problema é recorrente, ou seja, a cada vez que se executa o programa abrindo-se um projeto gravado anteriormente já com essas definições, os hemisférios e, às vezes, até os Datum são alterados para Norte e NAD27, respectivamente, sendo necessário alterá-los novamente durante a sessão.

Além da imagem SPOT importou-se o *shapefile* de uso e cobertura da terra para as três faixas consideradas para o voo. Por meio do menu *Display settings* o programa Geolink permite que se definam opções de visualização para arquivos vetoriais (**Fig. 22**). Assim, elegeu-se o modo de polígonos sem preenchimento com contorno amarelo, sem diferenciação de cores conforme atributos da tabela. Também selecionou-se a visualização dos códigos das classes da legenda conforme apareciam no campo correspondente na tabela de atributos (opção *Display attributes*).

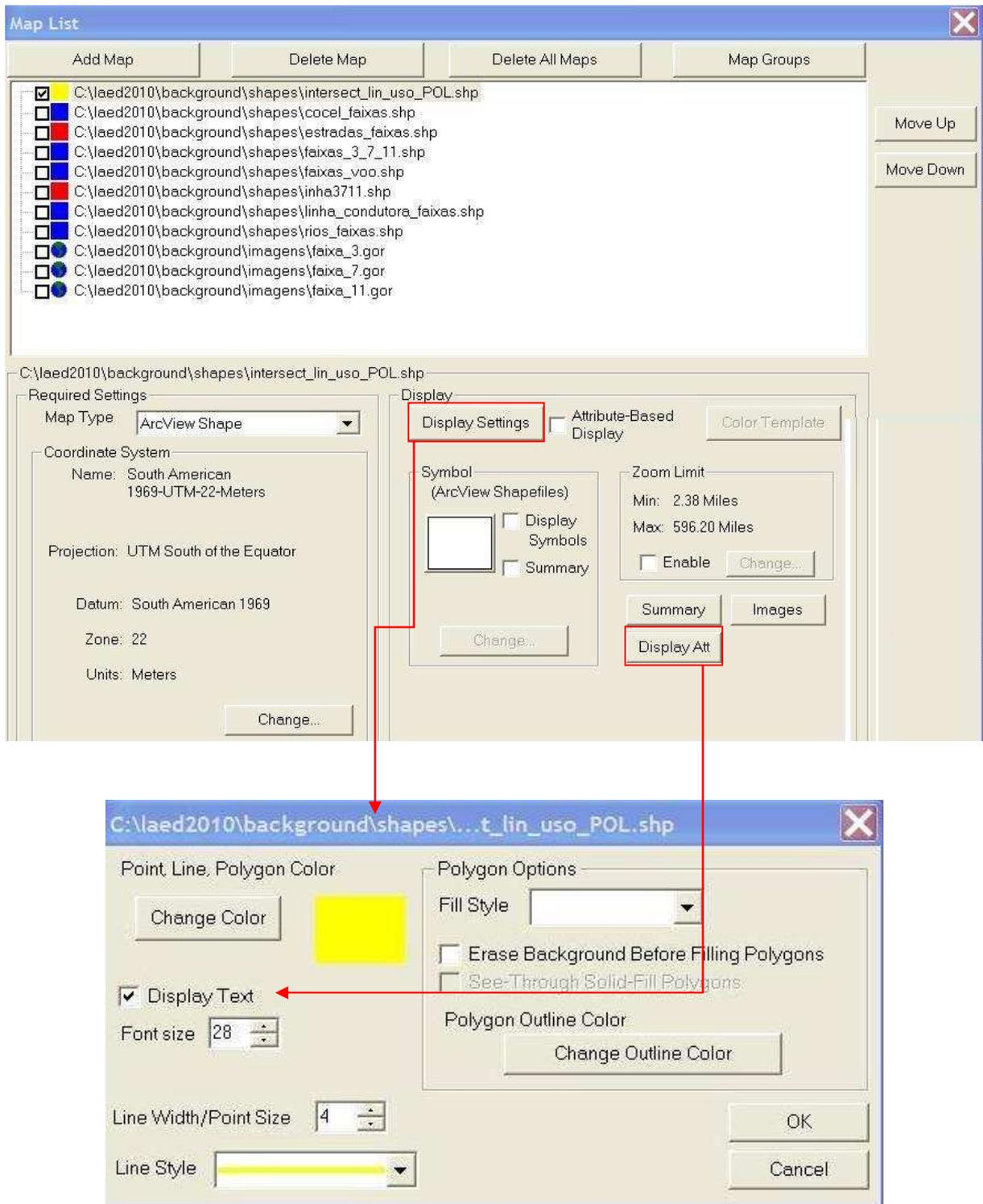


FIGURA 22 – Janela para importação de mapas no *software* Geolink e respectivas configurações

Na **Figura 23** é mostrado um detalhe da tela do *tablet* representando uma das faixas de vôo com os polígonos de uso da terra e respectivas legendas sobre a imagem SPOT.

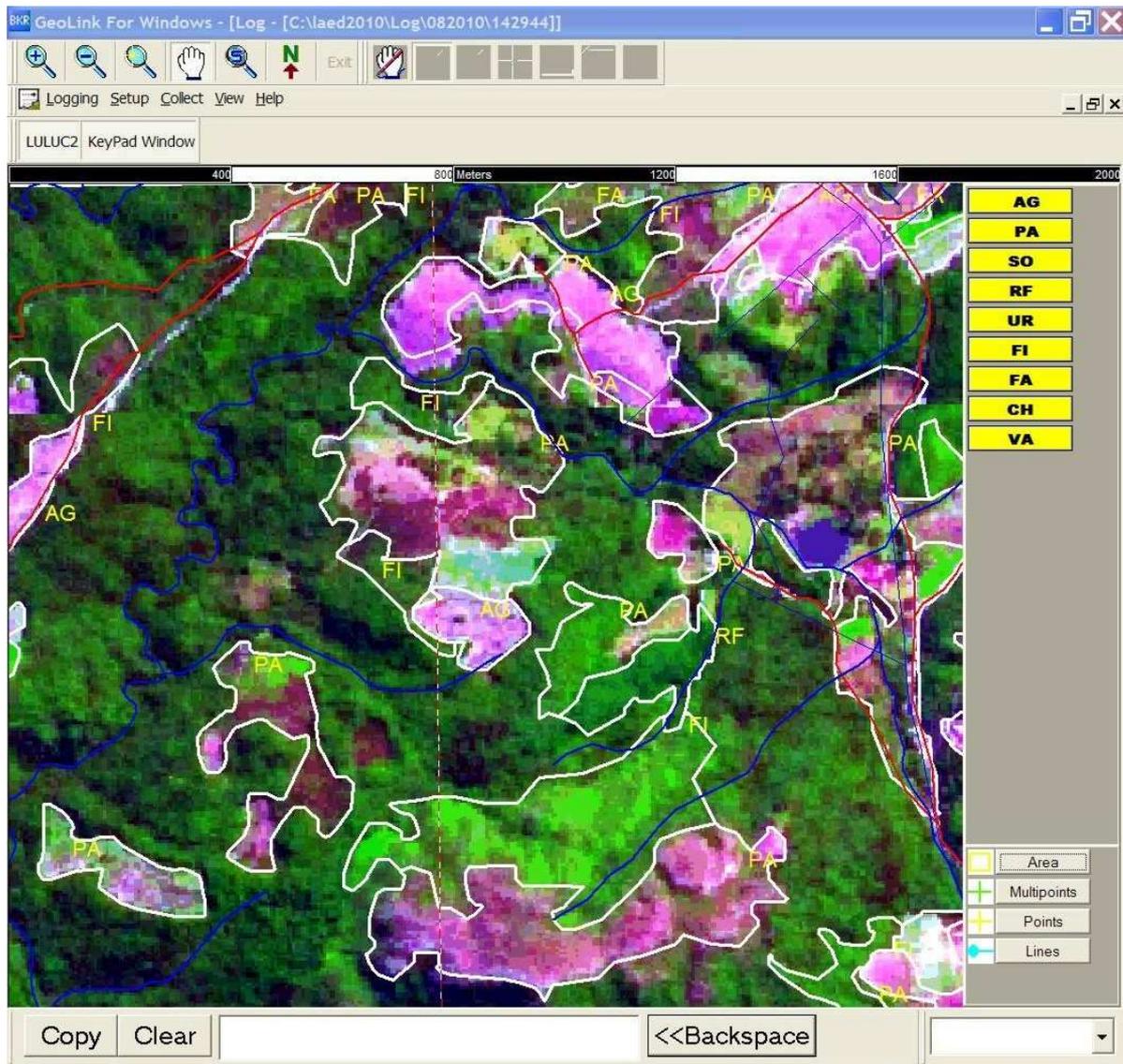


FIGURA 23 – Aspecto da tela do *software* Geolink mostrando imagem e *shapefile* do plano de fundo e teclado virtual à direita

4.1.3.4 Arquivo de coleta de dados e o teclado virtual com as respectivas classes da legenda

Embora a atividade de reambulação – tida como um dos objetivos deste trabalho – pressuponha verificação, conferência e eventual alteração das classes de legenda atribuídas aos polígonos do mapa, o programa Geolink não permite operações de edição sobre os *shapefiles* adicionados como mapas de fundo. Assim, as edições devem ser trabalhadas *a posteriori*, em ambiente de SIG, usando-se o arquivo de dados gerado durante o Levantamento Aéreo Expedido Digital.

Na simulação do LAED foi definida uma tabela de atributos correspondente ao arquivo de coleta de dados. O primeiro campo dessa tabela deve ser necessariamente do tipo texto, pois será preenchido com registros referentes aos códigos das classes da legenda atribuídos a cada feição sendo observada e registrada no mapa. Os demais são preenchidos de forma automática (latitude, longitude, data e hora), conforme se observa na **Figura 24**.

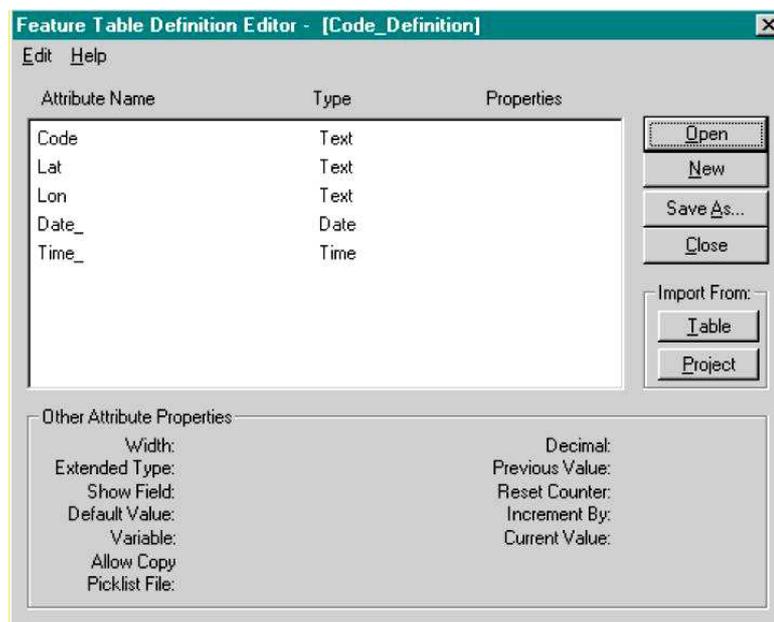


FIGURA 24 – Definição de campos na tabela de atributos de dados coletados no LAED

O registro dos códigos das classes é efetuado por meio da utilização de um teclado virtual (ver **Fig. 23**), criado com o intuito de facilitar a entrada de dados de atributos. Para a simulação foram gerados nove botões no teclado virtual, representando códigos descritos na **Tabela 8**, apresentada no item 3.3.2.3.

O programa Geolink possibilita a vetorização de pontos, linhas e polígonos. Deve-se selecionar a opção desejada clicando com a caneta óptica sobre um dos ícones mostrados na **Figura 25** Após desenhar-se a feição sobre a tela, deve-se clicar sobre o botão do teclado virtual que corresponde ao código que se deseja inserir e, em seguida, na tecla ENTER. Pode-se, também, determinar que esse código apareça sobre cada nova feição gerada.

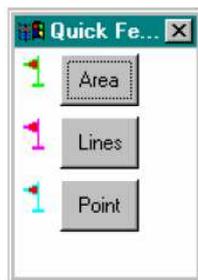


Figura 25 – Feições disponíveis no *software* Geolink (área ou polígono, linhas e pontos)

4.1.3.5 Avaliação da performance do sistema LAED em simulação terrestre

Na primeira incursão a campo usando o *tablet* foram selecionados como plano de fundo a imagem SPOT transformada para arquivo GOR e o *shapefile* do uso da terra correspondente à Carta de Campo Largo.

Foram percorridas (de carro) algumas estradas secundárias, além do acesso feito via Rodovia Federal (BR 277), visando, principalmente, determinar a precisão do posicionamento do cursor GPS sobre o plano de fundo da tela. Observou-se um deslocamento sistemático do cursor à esquerda em relação ao trajeto percorrido no terreno (independentemente do sentido do deslocamento do veículo) e perdas freqüentes de sinal atribuídas às condições do relevo local (acidentado).

Adicionalmente foi testado e aprovado o sistema de recarregamento das baterias tanto do *tablet* como do GPS usando a tomada 12 volts do veículo (local de conexão do dispositivo acendedor de cigarros) e cabos apropriados. Verificou-se que o *tablet* possui uma autonomia de cerca de duas horas de bateria e o GPS, de aproximadamente 12 horas. Durante o deslocamento sobre a porção mais plana do terreno, que ocorre após a subida da Serra de São Luiz do Purunã em direção ao segundo planalto paranaense, observou-se uma maior estabilidade na recepção do sinal. Também foram desenhadas algumas feições sobre a tela, atribuindo-lhes os códigos definidos no teclado virtual.

Na segunda visita de simulação o deslocamento restringiu-se à BR 277, que corta a área de estudo aproximadamente no sentido leste-oeste. Procurou-se, sempre que possível, manter uma velocidade de 100 km/h para avaliar não só o posicionamento do cursor como também a capacidade de atualização da tela (plano de fundo). O erro sistemático de posição continuou ocorrendo, observando-se, na tela, um deslocamento do cursor do GPS à esquerda

do trajeto real sendo percorrido, independentemente do sentido. Estimou-se a magnitude desse erro em cerca de 60 metros.

Outro problema encontrado foi o tempo de atualização da tela e retomada das funções do sistema após desenhar-se uma feição e entrar-se com o código da legenda. Uma equipe de usuários frequentes do sistema (USDA *Forest Service*) informou que, em seus levantamentos, essa atualização não demora mais que um segundo, enquanto que, na simulação realizada, esse tempo foi de cinco segundos. Além disso, sempre que se alterou o tipo de feição a ser desenhada (de polígono para ponto, por exemplo), o programa não mais respondeu aos comandos solicitados. Foi necessária a reinicialização, que demorou cerca de cinco minutos, em média.

Nas discussões posteriores ao trabalho de campo aventou-se a hipótese de os problemas estarem ocorrendo, principalmente, em função do tamanho das imagens de fundo inseridas no programa (36 MB quando em formato .GOR, específico do Geolink), talvez incompatíveis com a capacidade de processamento do *tablet*. Para evitar a sobrecarga do sistema decidiu-se, para o vôle, recortar as imagens apenas para a região das faixas a serem sobrevoadas, com 2 km de largura cada, acrescidas de uma borda de 200 m de cada lado para não prejudicar a visualização de polígonos maiores.

4.1.3.6 Conversão de dados e inserção no Sistema de Informações Geográficas – SIG

Posteriormente ao levantamento simulado em campo, procedeu-se ao tratamento dos dados coletados que consistiu, basicamente, na conversão dos arquivos denominados “*protoshapefiles*” a formato *shapefile*, adequado para inserção no SIG, usando um algoritmo disponível no programa Geolink. O acesso a esse algoritmo se dá pelo menu >process>translate (**Figura 26**), ou na barra de ferramentas *Translate*, através *Select files*, onde devem ser selecionados os arquivos para conversão.

Estes arquivos são armazenados por *default* na pasta LOG e dentro desta pasta é criada uma pasta correspondente ao dia em que a missão foi realizada, usando formato DDMMYY (**Fig. 27**)



Figura 26 – Tela do programa Geolink mostrando os menus e sub-menus utilizados para o processo de conversão de formatos de arquivos

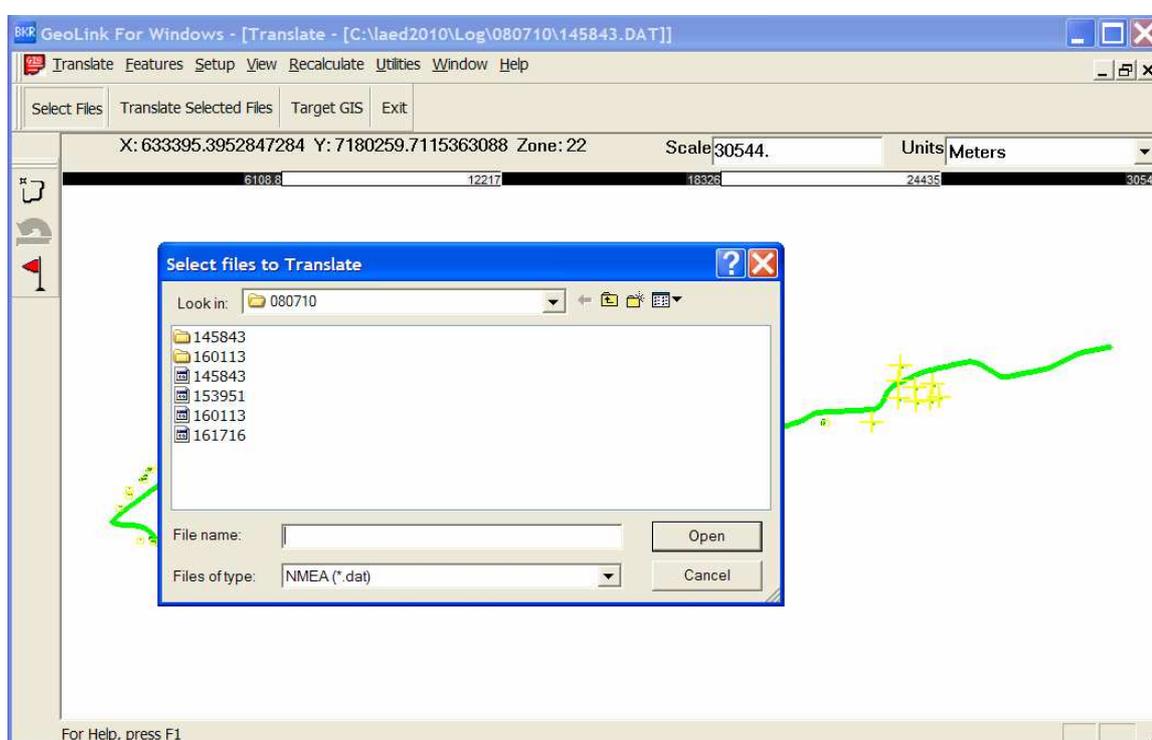


Figura 27: Seleção dos arquivos a serem convertidos para shapefile na pasta LOG

Na pasta DDMMYY deve ser selecionado o arquivo gerado pelo GPS em formato .DAT. Os arquivos gerados pelo GPS são nomeados também por *default* utilizando o formato HHMMSS (hora, minuto e segundo) correspondentes ao início da navegação. Este arquivo é associado aos dados do *protoshapefile* que são automaticamente visualizados na área de trabalho (**Figura 28**).

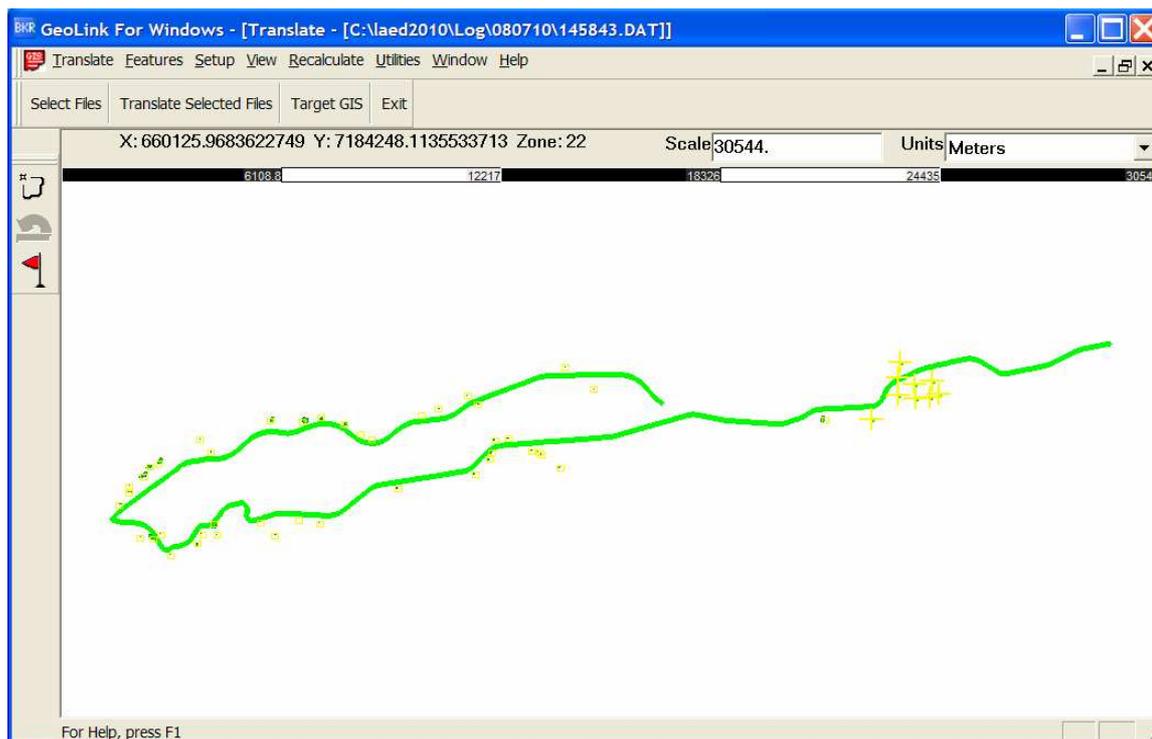


FIGURA 28 – Visualização dos arquivos *protoshapefiles* e dados GPS correspondentes à simulação terrestre do LAED

Os arquivos convertidos em formato *shapefile* são automaticamente armazenados na pasta *Translate* do projeto criado. Nessa pasta foram convertidos os arquivos das feições do tipo polígono e ponto criados na missão simulada em terra (*point.shp* e *area.shp*). Foram também convertidos (em formato ponto) o trajeto realizado pelo GPS (*gpsfixes.shp*); formato linha do trajeto realizado pelo GPS (*hmmss.shp*) e o relatório do processo de conversão das feições (**Figura 29**).

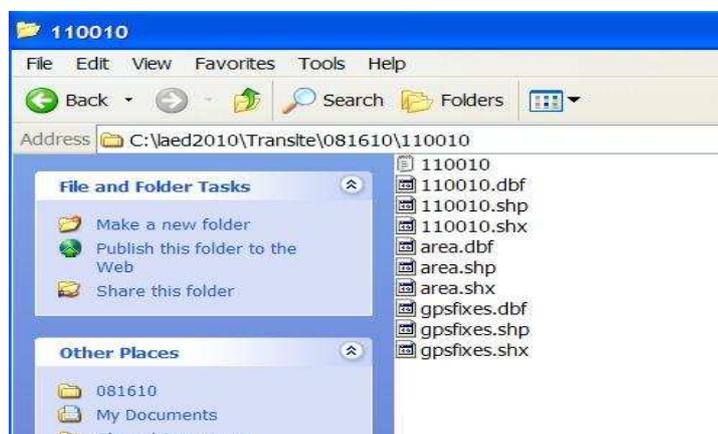


Figura 29: Estrutura de armazenamento dos arquivos finais após a conversão

O relatório do processo de conversão apresenta estatística e informações sobre o número de feições convertidas (**Fig. 30**).

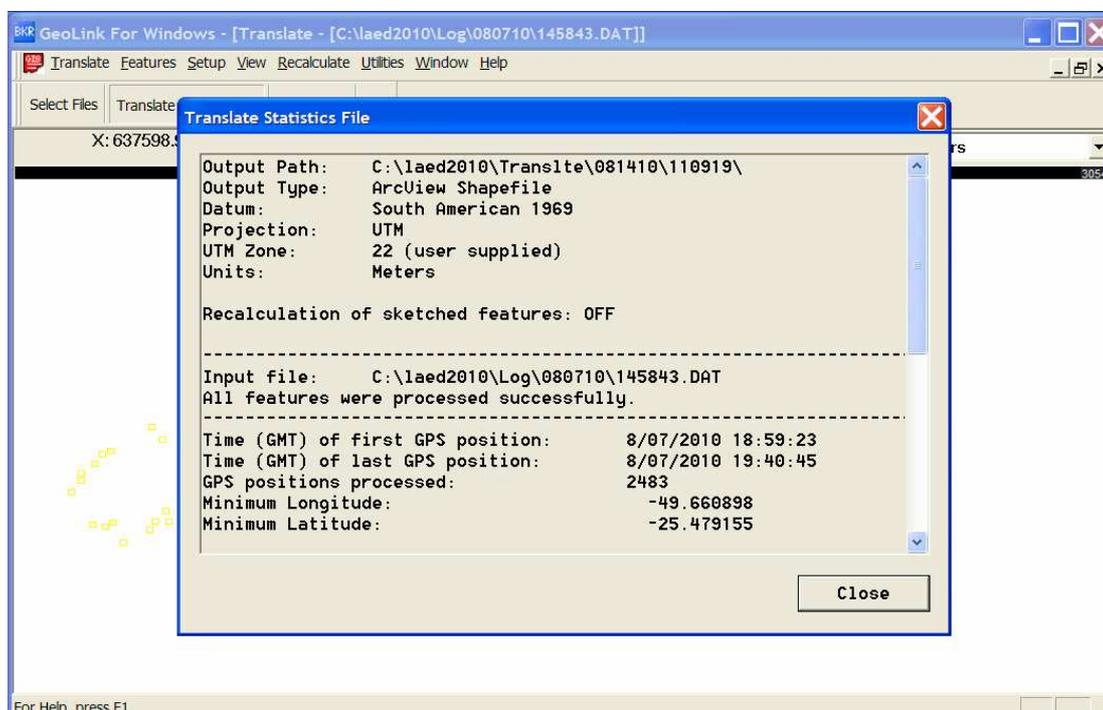


FIGURA 30 – Relatório do programa Geolink mostrando informações sobre as feições convertidas de *protoshapefile* para *shapefile*

4.2 EXECUÇÃO DOS VÔOS NO LAED

4.2.1 Vôo-teste para Avaliação dos Equipamentos e Definição de Parâmetros de Vôo

O primeiro teste aéreo com os equipamentos do sistema LAED a bordo foi efetuado em um avião *Citabria* de dois lugares, asa alta (**Fig. 31**) durante o período da tarde, às 15:00 horas. A temperatura atmosférica registrada no Aeroclube do Bacacheri (Curitiba-PR) no momento do vôo foi de 13° C. A velocidade média dos ventos era de 16,7 km/h, soprando de Sul-Sudeste. O tempo estava bom, com sol e nuvens esparsas, visibilidade de 10 km, apresentando condições próximas às ideais (FAO, 1998). O objetivo foi testar o desempenho dos equipamentos usados no LAED no ar e analisar a qualidade dos dados coletados, além de avaliar os parâmetros do vôo propriamente dito.



FIGURA 31 – Avião modelo *Citabria* usado no vôo teste do sistema LAED

O projeto inserido no programa Geolink continha as seguintes imagens e vetores como plano de fundo:

- a) recorte da imagem SPOT correspondente às três faixas de vôo (v. item 4.1.3.5);
- b) *shapefile* do uso e cobertura da terra, recortado para a área das três faixas de vôo;
- c) *shapefile* das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, recortado para a área das três faixas;
- d) *shapefile* da hidrografia, recortado para a área das três faixas de vôo;
- e) *shapefile* das estradas e caminhos, recortado para a área das três faixas de vôo;
- f) *shapefile* dos limites laterais e da linha central das três faixas de vôo.

As demais configurações do *software* foram as mesmas utilizadas nas simulações no solo, assim como o GPS conectado ao *tablet*. As rotas de vôo entre o aeroporto, em Curitiba, e a área de estudo, no Município de Campo Largo-PR, bem como a do deslocamento ao longo das faixas amostradas, foram inseridas em outro GPS, modelo Garmin 76CSX (**Fig. 32**).

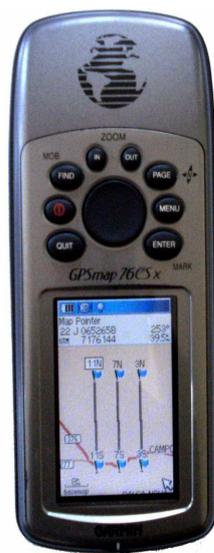


FIGURA 32 – Equipamento GPS, modelo Garmin 76CSX utilizado na orientação do piloto

Nessa ocasião, em virtude de impedimentos técnicos da aeronave, foi possível apenas coletar observações sobre a porção leste da faixa 3 e sobre toda a faixa 7, não sendo sobrevoada a faixa 11. Entre os vários aspectos observados nesse vôo-teste, ressaltam-se os seguintes:

- a) a velocidade de atualização da tela após realizar cada *sketch* (desenho sobre a tela com a caneta óptica) com feições do tipo PONTO foi maior do que a observada em solo (três segundos contra cinco segundos, respectivamente), o que denota uma melhor performance de *software e hardware* quando no ar;
- b) os desenhos relativos a feições do tipo polígono não sofreram melhoria significativa no que se refere à velocidade de atualização, o que dificultou e até mesmo impossibilitou a coleta de dados;
- c) o deslocamento do cursor do GPS em relação ao observado nos mapas de fundo foi desprezível em termos visuais e não afetou a capacidade do observador em efetuar a correspondência entre a posição do cursor na tela e a posição do avião em relação ao terreno;
- d) a velocidade do avião (136 km/h) foi considerada adequada aos propósitos do levantamento;
- e) a capacidade de visualização das feições em tela não foi prejudicada pelas condições de luminosidade dentro do avião (vôo em dia ensolarado), denotando a adequação do *tablet* com relação a essa característica;

- f) o programa não apresentou problema de funcionamento como aconteceu nos testes em terra, o que pode ser atribuído à menor trepidação em função da ausência de atrito com o solo, melhorando, assim, a performance da caneta óptica que é bastante sensível;
- g) durante o tempo efetivo de voo sobre as faixas (40 minutos aproximadamente) não foi necessário recarregar a bateria do GPS nem do *tablet*, visto que a autonomia de bateria do *tablet* é de cerca de uma hora e quarenta minutos;
- h) devido às condições climáticas desfavoráveis observadas durante o período da manhã, o voo foi realizado às 15 horas, que, mesmo não sendo o horário ideal (próximo ao meio-dia e com menos probabilidade de turbulência), não afetou negativamente o levantamento.

Três aspectos, entre os vários avaliados no voo-teste, foram decisivos para a adaptação da metodologia LAED aos objetivos propostos. O primeiro diz respeito à altura de voo (300 metros acima do nível do solo na faixa 3) em relação à largura da faixa a ser avaliada por observador no terreno (1 km). Essa combinação de parâmetros dificultou a percepção e correspondência entre os polígonos do mapa e as feições no terreno por parte do operador. Por isso, na faixa 7 a altura de voo foi aumentada para 500 m, melhorando a visualização e discriminação dos polígonos. No entanto, acredita-se ser necessário, ainda, testar alturas de voo maiores.

O segundo aspecto tem a ver com a dificuldade do observador aéreo em identificar, em tela, a classe correspondente a cada polígono e, como consequência, de determinar se esta coincidia ou não com o polígono observado no terreno. Isso se deve ao padrão aleatório de colocação dos *labels* de legenda (nomes das classes de uso) pelo *software* Geolink, dificultando sua associação a determinado polígono. Como o *software* não possui opções de configuração para essa característica, não foi possível alterá-la.

O terceiro aspecto se refere a uma característica bastante comum em mapas de uso e cobertura da terra, que é o número elevado de classes de legenda (nove, para o presente estudo), e a respectiva incapacidade de se efetuar, ao mesmo tempo, a conferência dos polígonos quanto à sua legenda e edições quanto à sua forma. Verificou-se que a execução concomitante dessas tarefas não seria viável. Adicionalmente, a classe de legenda predominante no mapa (“floresta em estágio médio/avançado”), embora distribuída em 86 polígonos nas três faixas amostradas, corresponde a 9.551,52 ha de superfície, caracterizando

a existência de polígonos de grandes dimensões. Efetivamente, na camada de uso da terra e tabela de atributos para as faixas 3, 7 e 11, conforme aparecem no SIG (**Fig. 33**), em cada faixa a área destacada em amarelo representa um único polígono.



FIGURA 33 – Três polígonos de grandes dimensões, destacados em amarelo no mapa e na tabela de atributos, correspondentes à classe “Floresta em estágio médio ou avançado” para as faixas de vôo 3, 7 e 11, respectivamente

De posse dessas análises, estabeleceu-se a seguinte estratégia alternativa à metodologia proposta anteriormente:

- testar alturas de vôo maiores, superior a 300 m;
- remover todos os *labels* do mapa de uso da terra, mostrado como plano de fundo em tela, deixando-se visíveis apenas os polígonos, que foram mostrados em tela com borda em cor amarela e sem preenchimento;
- atribuir uma classe de uso a cada polígono identificado no terreno, registrando-o como uma feição do tipo “ponto”, desenhada dentro do polígono correspondente na tela do *tablet*. Não mais verificar e anotar a coincidência de classes quando esta existir;
- efetuar um vôo (ou sobrevoar cada faixa) especificamente com a finalidade de avaliar a acuracidade temática empregando a técnica sugerida no item (b), porém excluindo da matriz a classe “Floresta em estágio médio ou avançado” pela impossibilidade de se avaliar polígonos de tão grandes dimensões.

Durante o vôo teste trabalhou-se intensivamente com a ferramenta de *sketch* de polígonos disponível no *software* Geolink. No entanto, pela própria limitação do equipamento

em atualizar a tela após cada desenho e registro para este tipo de feição, muitas alterações na cobertura florestal deixaram de ser captadas. Assim, em função dos resultados insatisfatórios obtidos, decidiu-se não considerar o monitoramento da cobertura florestal como um produto da técnica LAED durante a fase de adaptação da metodologia, como é o caso do presente estudo. Acredita-se, no entanto, que a aquisição de um *tablet* mais moderno, com maior capacidade de processamento, equipado com placa de vídeo e a utilização de uma versão mais atual do *software* Geolink permitam superar facilmente as limitações técnicas atuais com relação ao uso do LAED para o objetivo de monitoramento.

Para completar as avaliações relativas ao vôo-teste, os dados coletados e armazenados sob a forma de *protoshapefiles*, foram convertidos para *shapefiles* e inseridos no SIG estruturado para esse estudo.

4.2.2 Vôo definitivo

O vôo definitivo para execução do Levantamento Aéreo Expedito foi efetuado seguindo os parâmetros recomendados pelas simulações e vôos executados anteriormente. Participaram da missão, além do piloto e de um observador aéreo operando o sistema digital, mais dois observadores (**Fig. 34a**), com cartas-imagem em papel para anotação das observações segundo o LAE convencional.

Devido aos problemas comentados no item de resultados sobre o vôo-teste, o uso do sistema digital não foi testado para a finalidade de monitoramento, obtendo-se esses resultados apenas com o LAE convencional, a partir das anotações em papel.

A campanha de vôo foi realizada no mês de agosto usando um avião *Cessna* 180, de quatro lugares, asa alta (**Fig. 34b**). A decolagem em direção à área de estudo ocorreu às 12:07 h e aterrissagem de volta ao aeroporto às 13:58 h, perfazendo um tempo total de vôo de uma hora e 51 minutos. Deste período, uma hora e 10 minutos corresponderam ao sobrevôo da área de estudo propriamente dita e, os 41 minutos restantes, ao tempo de viagem de ida e volta entre o aeroporto e Campo Largo - PR.

No dia do vôo o tempo estava bom, ensolarado, com temperatura atmosférica registrada no Aeroclube do Bacacheri (Curitiba-PR) no momento da decolagem de 28°C. A velocidade média dos ventos era de 22,2 km/h, soprando do Norte e, a visibilidade, de 7 a 8 km.



FIGURA 34 – (a) Equipe de observadores aéreos e (b) o avião modelo *Cessna* 180 utilizado na campanha de Levantamento Aéreo Expedito (digital e convencional) do estudo

Para a avaliação da acuracidade foram sobrevoadas duas faixas e meia, sendo as faixas 3 e 7 de forma completa e a faixa 11 apenas na sua porção leste. Em média, o tempo de deslocamento efetivo, no sentido Norte, sobre a faixa, foi de 12 minutos (contra o vento) e de 10 minutos no sentido Sul (a favor do vento). Para as manobras de mudança de sentido para retornar sobre a mesma faixa gastou-se, em média, dois minutos. Já para o deslocamento entre faixas espaçadas de quatro quilômetros entre si, o tempo gasto foi de quatro a cinco minutos.

Considerando-se a largura de cada faixa e seu comprimento, estimou-se que o levantamento de 135 km² ou 13.500 ha, considerada como amostra de uma área de 675 km², demorou uma hora e 10 minutos, ou 70 minutos. Assim, pode-se estimar uma média de produtividade de 193 ha/min.

Com relação a custos – considerando o preço da hora voada³ igual a R\$ 800,00 ou cerca de US \$ 450.00 - pode-se afirmar que o custo de levantamento efetivo de um hectare é de R\$ 0,07 (US \$ 0.04). Para a presente pesquisa, o custo total estimado da campanha seria de R\$ 1.480,00 (US \$ 832.50), sendo R\$ 933,33 (US \$ 525.00) referentes ao levantamento e R\$ 546,67 (US \$ 307.50) correspondentes à viagem de ida e volta⁴. Vale ressaltar que além dos custos apresentados neste trabalho, devem ser considerados a remuneração da equipe, bem como os custos de treinamento e formação de observadores.

³ Valores cotados em agosto de 2010 em Curitiba-Paraná, para aviões pequenos até 4 lugares, de asa alta, todas as despesas incluídas (aluguel, piloto, combustível, taxas de aeroporto)

⁴ Distância em linha reta entre Campo Largo e Curitiba igual a 26 km

Para o objetivo de avaliação da acuracidade temática foram observados os polígonos de diferentes classes de uso, distribuídos aleatoriamente dentro das três faixas selecionadas, ou seja, de acordo com a possibilidade e oportunidade de visualização e discriminação dos observadores aéreos.

Nas faixas 3 e 7, ainda no primeiro planalto paranaense (região da Campo Largo), testou-se uma altura de vôo de 1.200 pés ou 396 m acima do nível do solo, julgada adequada para a visualização dos polígonos no mapa e no terreno. Para o platô, acima da Serra de São Luiz do Purunã, passou-se a uma altura de vôo de 1.500 pés ou 495 m acima do nível do solo, também com o objetivo de evitar turbulências e garantir a segurança do vôo. Sugere-se que essa seja recomendada como a altura ideal de vôo, considerando as condições específicas da área de estudo, o esquema de amostragem utilizado e as classes de uso a serem observadas.

A velocidade da aeronave foi mantida dentro dos limites mínimos possíveis preconizados pelas regras de segurança de vôo. De qualquer forma, variações ocorreram devido à intensidade e direção do vento. Assim, deslocando-se no sentido Sul-Norte, a velocidade foi de aproximadamente 60 nós (120 km/h), enquanto que no sentido Norte-Sul, a favor do vento, a velocidade aumentou para 80 a 90 nós (160 a 180 km/h).

Outra questão fundamental foi o fato de a aeronave possuir um dispositivo para recarregamento da bateria do *tablet*, sem o qual não teria sido possível completar o levantamento previsto em cada vôo. É importante, ainda, ressaltar que o LAED e o LAE convencional foram executados como dois levantamentos independentes, uma vez que cabia a cada observador individualmente, selecionar os polígonos da amostra.

4.2.2.1 Uso do Sistema LAED

A estratégia adotada para o LAED, em que não se utilizou a legenda do mapa sobreposta aos polígonos, mostrou-se bastante eficaz para o levantamento de dados de acuracidade e garantiu a não-tendenciosidade da amostra. Atribuíram-se classes de uso a 111 polígonos no total, observando-se sua correspondência no mapa em tela e no terreno. A somatória das áreas dos 111 polígonos amostrados foi igual a 3.300 ha, o que equivale a 4,74% da superfície total da área de estudo (69.658,74 ha) e a 3,40% do número total de polígonos do mapa (3.261 polígonos).

O nível máximo de *zoom* empregado foi o equivalente a 2 km no terreno, o que

melhorou a capacidade de discriminação dos polígonos em relação ao vôo-teste. Ainda assim, acredita-se que a habilidade em examinar um grande número de polígonos, fazer a correspondência entre o terreno e a tela do *tablet* e determinar as respectivas classes de uso usando a técnica digital dependa, em grande parte, do nível de experiência e treinamento do observador aéreo.

Polígonos pequenos, contíguos, correspondentes a diferentes classes de uso, caracterizando feições em mosaico (**Fig. 35a**), foram mais difíceis de discriminar e registrar, enquanto que polígonos representando feições isoladas em meio a uma classe predominante no entorno (**Fig. 35b**), foram facilmente avaliados.



FIGURA 35 – Situações de ocupação da terra observadas:
(a) polígonos pequenos caracterizando feições em mosaico
(b) polígonos em meio a uma classe predominante

Devido a região apresentar grande heterogeneidade e fragmentação na cobertura da terra, verificou-se a necessidade de repetir o levantamento de uma mesma faixa para alcançar uma melhor eficiência na observação e registro dos polígonos, sendo importante, ainda, direcionar o enfoque para determinadas classes em cada sobrevôo.

4.2.2.2 Uso do LAE convencional

Nesse vôo, o LAE convencional foi aplicado para a detecção e registro de discrepâncias entre o mapa e o terreno, sendo executado por um observador aéreo já experiente.

Das cerca de 200 observações efetuadas nas duas faixas e meia amostradas durante o LAE (**Tabela 10**), praticamente a metade é representada por uma condição de mudança de classe de uso, porém mantendo a mesma forma. As concordâncias entre mapa e terreno constituíram aproximadamente 20% dos casos observados. No entanto esses resultados, especificamente, não devem ser extrapolados para o restante da área porque o levantamento foi orientado mais à busca das discrepâncias do que a uma amostragem aleatória, onde todos os casos teriam igual chance de ser escolhidos.

TABELA 10 – Número de observações (pontos e polígonos) obtidos por LAE convencional, de acordo com a situação de concordância entre mapa e terreno

Relação mapa x terreno	Número de observações		Tipo de feição anotado
	absoluto	%	
Mesma forma, mesma classe	42	20	Ponto
Mesma forma, classe diferente	99	47	
Forma e classe diferentes	70	33	Polígono
Total	211	100	

Na última situação considerada (mudança de classe e de forma), o observador responsável pelo LAE convencional desenhou as feições observadas sobre a carta-imagem em papel usando caneta apropriada para tal fim (**Fig. 36**). Procurou-se estabelecer um padrão de escala equivalente ao do mapa temático, ou seja, não foram consideradas aptas para registro aquelas áreas de tamanho inferior ao menor polígono da camada de uso e cobertura conforme visualizado em tela. Cada polígono desenhado recebeu seu respectivo código de classe, de acordo com o observado no terreno.

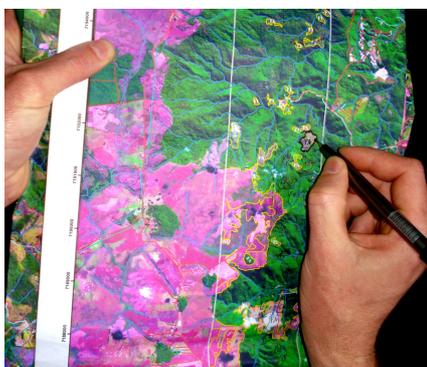


FIGURA 36 – Recorte da carta-imagem usada no LAE convencional mostrando as anotações do observador aéreo

4.3 USO DO LAED NA COLETA DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE TEMÁTICA

Embora avaliar acuracidade do mapa temático em escala 1:50.000 não fosse o objetivo da presente pesquisa, e sim testar a coleta de dados de referência por meio de LAED, realizou-se a construção da matriz de erros e o cálculo dos índices de acurácia com base nos dados coletados com a técnica. Cabe ressaltar que não houve preocupação em atender o suprimento completo de unidades amostrais necessários para a determinação da acuracidade do mapa.

4.3.1 Cálculo e Análise dos Coeficientes de Acuracidade

Para o cálculo da acurácia do mapeamento temático relativo à Carta Campo Largo foram utilizados os resultados do LAED, cujos dados espaciais foram convertidos para formato *shapefile* usando os procedimentos descritos anteriormente (item 4.1.3.6).

Após a inserção no SIG do projeto, o trajeto percorrido pelo avião pôde ser visualizado sobre a imagem das faixas sobrevoadas e os demais dados puderam ser editados e, em seguida, utilizados nas análises (**Fig. 37**).

A análise dos pontos coletados revelou, porém, que no caso de polígonos contíguos muito pequenos ou cortados por rios, estradas ou linhas de transmissão de energia, a anotação digital por vezes foi imprecisa, observando-se o ponto posicionado sobre o limite ou externamente ao polígono correspondente. Como a avaliação da acuracidade envolve operações de geoprocessamento entre as camadas de pontos e polígonos usando expressões do tipo “contem” ou “contido”, foi necessário editá-los, reposicionando-os antes de efetuar esses procedimentos.

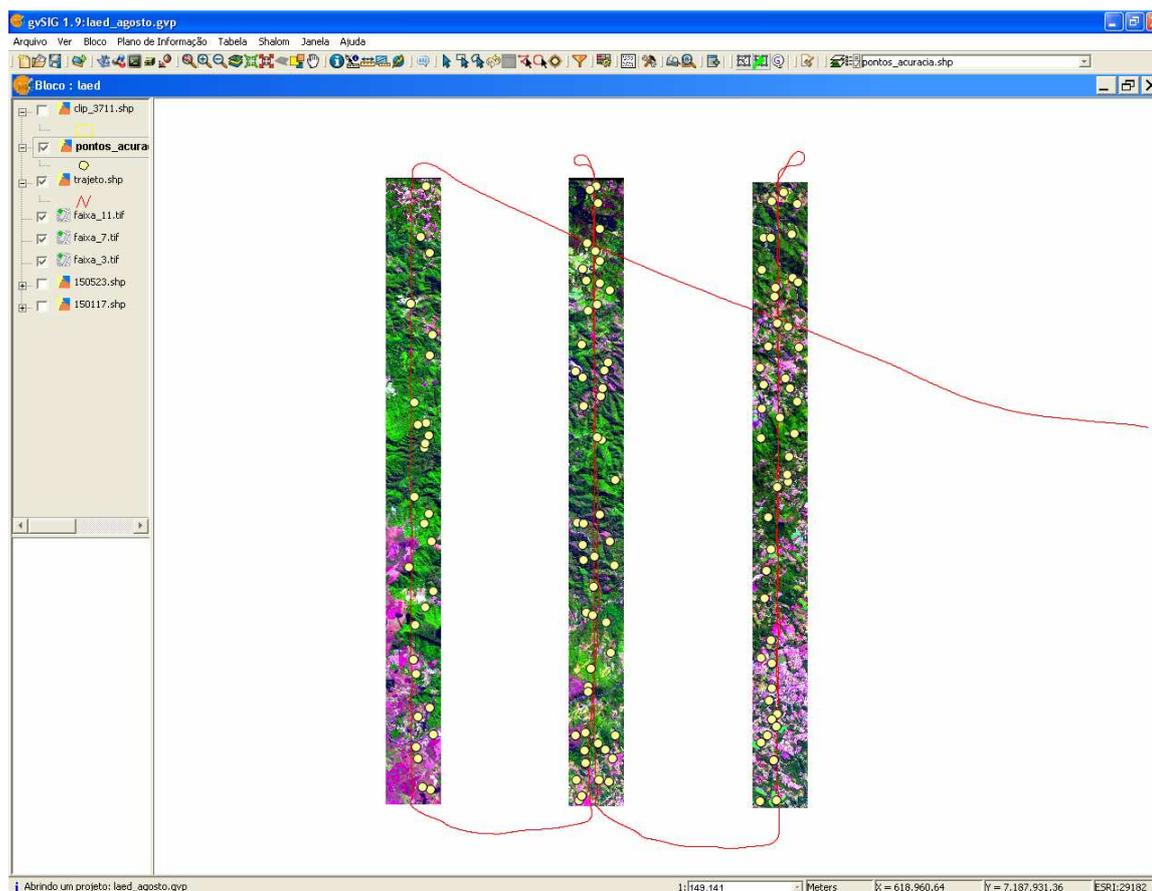


FIGURA 37 - Visualização dos dados convertidos no SIG

O tempo necessário para as operações pós-vôo referentes à preparação, conversão e inserção de dados no SIG foi de apenas uma (1) hora, incluindo a edição dos pontos. O fato de se dispor de dados praticamente prontos para as análises subsequentes logo após a realização dos vôos é uma das vantagens intrínsecas da técnica de LAED.

Com base no *shape* de uso da terra das faixas amostradas (polígonos) e no *shape* de pontos de referência (pontos) e usando as operações de seleção espacial, gerou-se uma nova camada contendo apenas os polígonos de uso da terra que foram considerados no levantamento. Em seguida, por meio da função de junção espacial, as classes do mapa correspondentes aos polígonos amostrados foram colocadas na mesma tabela que continha os pontos de referência do LAED e as respectivas classes observadas no terreno. Usando as funções de filtro em planilha eletrônica, obteve-se facilmente o número de pontos concordantes/discordantes entre o mapa e a “referência” por classe.

Esse conjunto de dados possibilitou a construção da matriz de confusão ou matriz de erros mostrada na **Tabela 11**.

TABELA 11 – Matriz de erros referentes à avaliação de acuracidade usando dados obtidos do LAED

Classes Temáticas	PONTOS DE REFERÊNCIA (dados LAED - "verdade terrestre")									Acurácia do usuário (%)	Erro comissão (%)	
	Agricult. anual	Área urbaniz. e construções	Corpos d'água	Floresta estágio inicial	Pastagem e campos	Reflorest.	Solo exposto ou mineração	Veget. de várzea	somatória			
Agricult. anual	25				8	4	1			38	65,79	34,21
Área urbaniz. e construções		2								2	100,00	0,00
Corpos d'água			0							0	0,00	100,00
Floresta estágio inicial				1			2			3	33,33	66,67
Pastagem e campos	4		1	2	35	18				60	58,33	41,67
Reflorest.	1					4				5	80,00	20,00
Solo exposto ou mineração							3			3	100,00	0,00
Veget. de várzea								0		0	-	-
somatória	30	2	1	3	43	28	4	0		111		
Acurácia do produtor (%)	83,33	100,00	0,00	33,33	81,40	14,29	75,00	-			Acurácia geral (%) 63,06	
Erro omissão (%)	16,67	0,00	100,00	66,67	18,60	85,71	25,00	-				

A classificação digital apresentou uma exatidão global de 63,06%, sendo inferior ao mínimo indicado como satisfatório por JENSEN (1996), que é de 85%. Com o resultado do coeficiente *kappa* (0,46) foi possível inferir que a classificação digital gerou resultados 46% melhores do que aqueles que seriam obtidos com uma classificação aleatória, ou seja, uma hipótese de nulidade H_0 , de que $k = 0$ (JENSEN, 1996). Conforme o coeficiente *Tau* verifica-se uma concordância entre o mapa e o terreno de 50,7%.

Considerando as classes com maior número de unidades amostrais observadas pode-se dizer que dos 30 polígonos observados do avião e reconhecidos como sendo agricultura, apenas 25 aparecem no mapa como pertencentes a esta classe. Os outros cinco polígonos aparecem no mapa como sendo pertencente às classes “pastagens e campos” (quatro polígonos) e “reflorestamento” (um polígono). Isso significa que a classificação da SPOT para a classe agricultura foi acertada em 83,3% dos casos, ou, de forma equivalente, o produtor do mapa omitiu 16,7% dos polígonos existentes de agricultura. Por outro lado, oito polígonos da classe pastagens e campos, quatro da classe reflorestamento e um da classe solo exposto ou mineração foram erroneamente classificados como agricultura, resultando em 65,8% de acurácia do usuário, ou seja, o usuário do mapa em campo pode ter certeza de que 38 polígonos que aparecem no mapa como agricultura realmente o serão no terreno (34,2% de erro de comissão).

Para os 43 polígonos observados do avião e reconhecidos como da classe pastagens e campos, 35 realmente são representados no mapa como pertencentes a esta classe e 18 considerados como reflorestamento, expressando a maior confusão entre as classes. A classe denominada vegetação de várzea não foi contemplada nas observações, sendo, portanto excluída da análise de acuracidade

4.3.2 Análise da Viabilidade da Técnica de LAED para a Coleta de Dados de Referência

A execução do Levantamento Aéreo Expedito Digital apresentou-se como uma ferramenta potencial para a coleta de dados para a avaliação da acuracidade de mapa temático em escala 1:50.000. Conforme comentado no item 4.2.2 o custo de levantamento efetivo foi baixo se comparado a coleta de dados de referência por via terrestre em condições ideais de acesso. Deve ser considerado, ainda, que o trabalho proporcionou rapidez na execução, não apresentando as dificuldades de acesso às unidades amostrais encontradas quando feito por

terra em ambiente com cobertura florestal. Ainda, se considerar fatores meteorológicos, o uso de LAED apresentou menos restrições que por via terrestre. Estes fatos contribuíram na agilidade de submissão dos dados para o trabalho de avaliação da acuracidade em escritório.

Pode-se afirmar também que quando analisada a acuracidade com coleta de dados de referência por meio da técnica de LAED, a observação e registro dos dados de referência acontecem na mesma perspectiva de visão tida em uma imagem de satélite, ou seja, avaliação da cobertura da terra de cima para baixo

4.4 ANÁLISE DAS FONTES DE DISCREPÂNCIA ENTRE O MAPA TEMÁTICO E OS RESULTADOS DO LEVANTAMENTO AÉREO (DIGITAL E CONVENCIONAL)

Os resultados obtidos nos levantamentos aéreos representam uma amostra da “verdade de campo” referente ao mapeamento temático da área relativa à Carta de Campo Largo. Assim, por meio do SIG, é possível visualizar quais os polígonos cujas classes de uso coincidiram no mapa e no terreno. De posse dessa informação e usando as próprias funcionalidades disponíveis no SIG, efetuou-se uma análise das discrepâncias encontradas, buscando-se ao mesmo tempo, identificar suas prováveis causas. Para tanto foram empregados exemplos de situações detectadas durante os levantamentos aéreos, tanto o digital como o convencional.

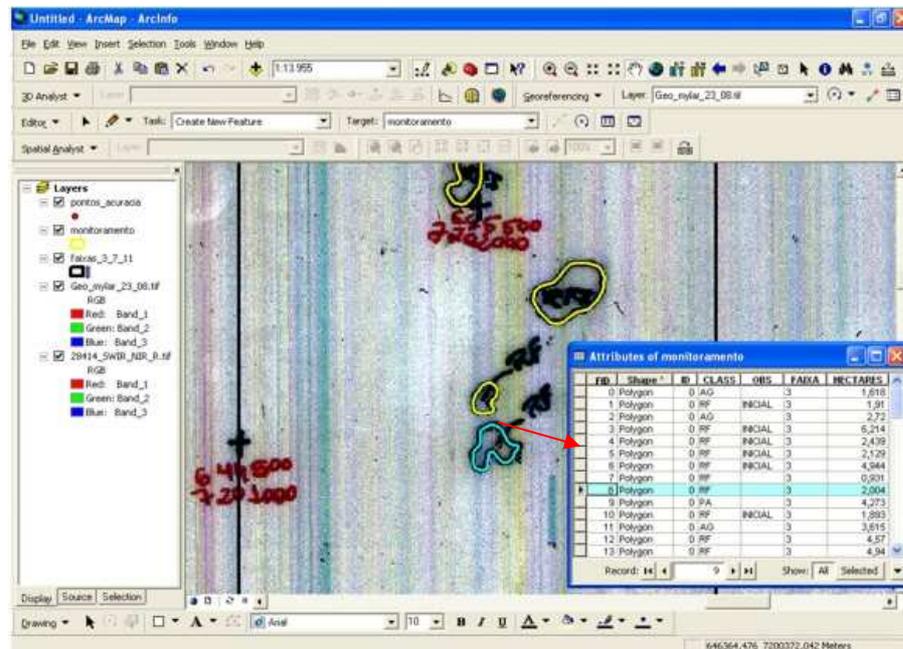
Os dados LAED – conforme descrito no item 4.3 – foram facilmente inseridos no SIG, estando disponíveis para as análises posteriores. No entanto, os dados do LAE convencional necessitaram ser transformados por meio de conversão analógico-digital e outros procedimentos, que constituem as operações pós-vôo.

4.4.1 Operações pós-vôo no LAE convencional

As operações pós-vôo no LAE convencional foram mais demoradas e trabalhosas quando comparadas às efetuadas no LAED. Estima-se que, para transferir as anotações do mapa para o *mylar* (**Fig. 38a**), escaneriá-lo, georreferenciar o arquivo TIF correspondente, vetorizar os pontos e polígonos, e preencher as respectivas tabelas de atributos (**Fig. 38b**), tenham sido gastos cerca de 6 horas e 15 minutos.



(a)



(b)

FIGURA 38 – Operações pós-vôo para a técnica de LAE convencional: (a) transferência das informações da carta-imagem para o *mylar*; (b) vetorização de feições com a imagem do *mylar* ao fundo e preenchimento da tabela de atributos com os dados do levantamento

4.4.2 Análise dos Fatores de Discrepância entre Mapa e Terreno

Entre as hipóteses aventadas previamente à execução do LAED para as não-conformidades estavam o sombreamento causado pela topografia, a influência da mosaicagem das três cenas usadas para a classificação e a própria dinâmica de uso da terra, considerando o

tempo decorrido desde a aquisição da imagem até o presente momento (cinco anos). Por exclusão, as discrepâncias cuja origem não se enquadrasse em nenhuma das categorias acima, poderiam ser atribuídas ao classificador (ou analista).

Embora o sistema de amostragem utilizado (em faixas) não seja o ideal para a análise da influência da mosaicagem sobre a acuracidade do mapeamento, ainda assim não se detectou uma tendência de classificação incorreta referente aos polígonos amostrados dentro da imagem 1, 2 ou 3 em particular. Tampouco foi possível determinar uma maior frequência de polígonos classificados incorretamente na região de sobreposição das imagens mosaicadas. Assim, esse fator de discrepância foi descartado da presente análise.

4.4.2.1 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas pelo sombreamento

Considerando que o sombreamento em imagens de sensoriamento remoto é causado por efeitos da topografia associados ao ângulo solar no momento da aquisição das imagens, foi necessário utilizar dados auxiliares na avaliação dessa fonte de discrepância. Assim, construiu-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), apresentado na **Figura 39**, que serviu de base para gerar imagens representativa das regiões de sombreamento (**Figura 40**) para as três sub-cenas utilizadas na cobertura da área de estudo.

O MDE gerado com base nos dados altimétricos da Carta Campo Largo apresentou superioridade em detalhes quando comparado ao disponibilizado pelo INPE gerado a partir de dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

A imagem-sombra simulou os parâmetros do satélite no momento da tomada da cena, permitindo, desta forma, realçar as regiões com maior influência de sombreamento. A imagem sombreamento representa em níveis de cinza (0 a 255) as condições de iluminação recebida nas regiões que compõem a área de estudo.

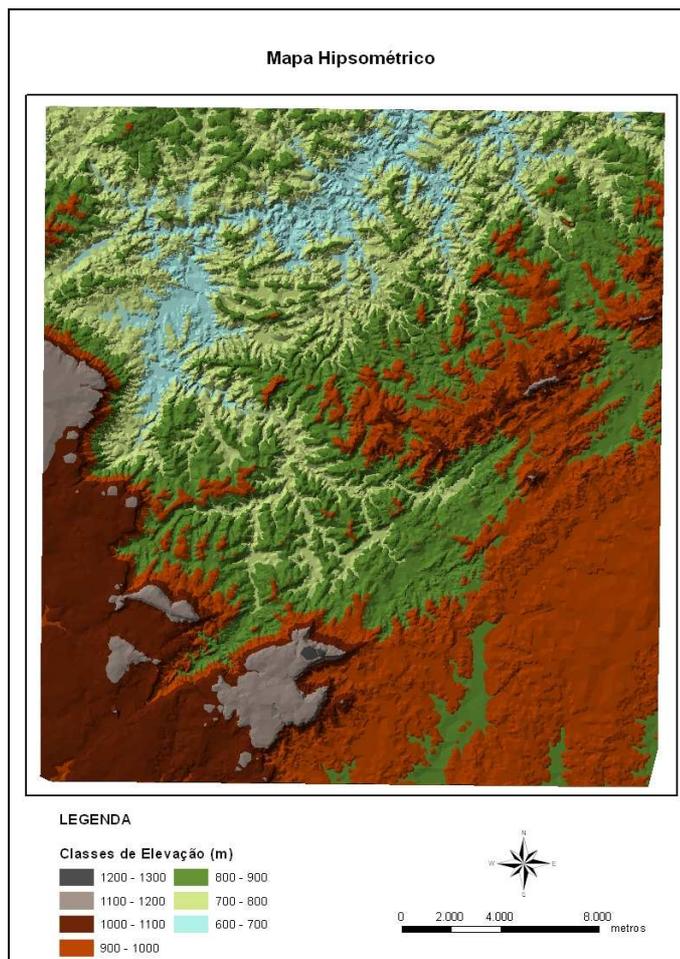


FIGURA 39 – Mapa hipsométrico elaborado com base nos dados altimétricos da carta Campo Largo

Sobrepondo-se a essa imagem a camada dos polígonos classificados incorretamente no mapa, observou-se que, nas faixas amostradas, o fator sombra não foi determinante para as discrepâncias encontradas, ou seja, de uma maneira geral tais polígonos não interceptavam a região de sombras. A **Figura 41** exemplifica tal afirmação, podendo-se observar duas regiões sombreadas em função do relevo, que, no entanto, foram corretamente classificadas no mapa temático.

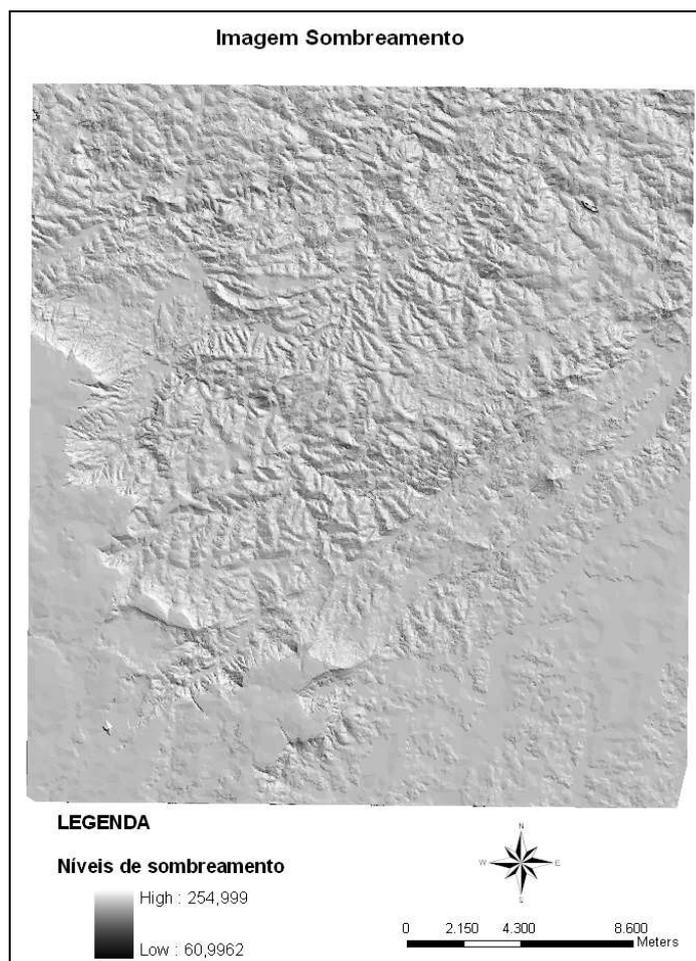


FIGURA 40 – Imagens sombreamento para as três sub-cenas utilizadas na área de estudo

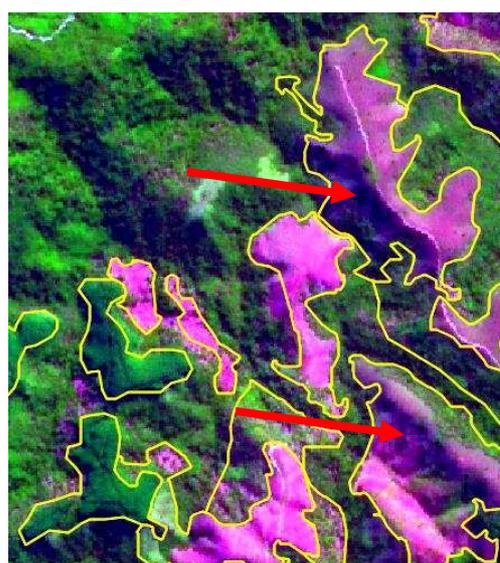


FIGURA 41 – Imagem SPOT mostrando dois polígonos cuja classificação não foi influenciada negativamente pela presença de sombras

Acredita-se que a pouca influência do sombreamento sobre a correta discriminação das classes de uso na área de estudo se deva, principalmente, à metodologia adotada para a elaboração do mapa temático – que envolveu segmentação de imagens associada a edições por interpretação visual apoiada por trabalhos de campo – que tende a produzir uma classificação mais acurada e menos sujeita a erros ocasionados por sombras.

Um dos poucos locais onde se percebeu a influência do sombreamento na classificação é mostrado na **Figura 42(a)**; nela percebe-se que o polígono indicado pela seta (classe “pastagens e campos”) deveria ter seus limites estendidos mais a oeste de forma a abranger a área contígua, ainda pertencente a esta mesma classe. No entanto tal região foi erroneamente classificada como “floresta natural em estágio inicial”, sendo agregada a um polígono maior. Nesse caso em particular, a delimitação do polígono correspondente à classe “pastagens e campos” pode ter sido influenciada pelo sombreamento presente na face oeste do morro, conforme se verifica na **Figura 42(b)**.

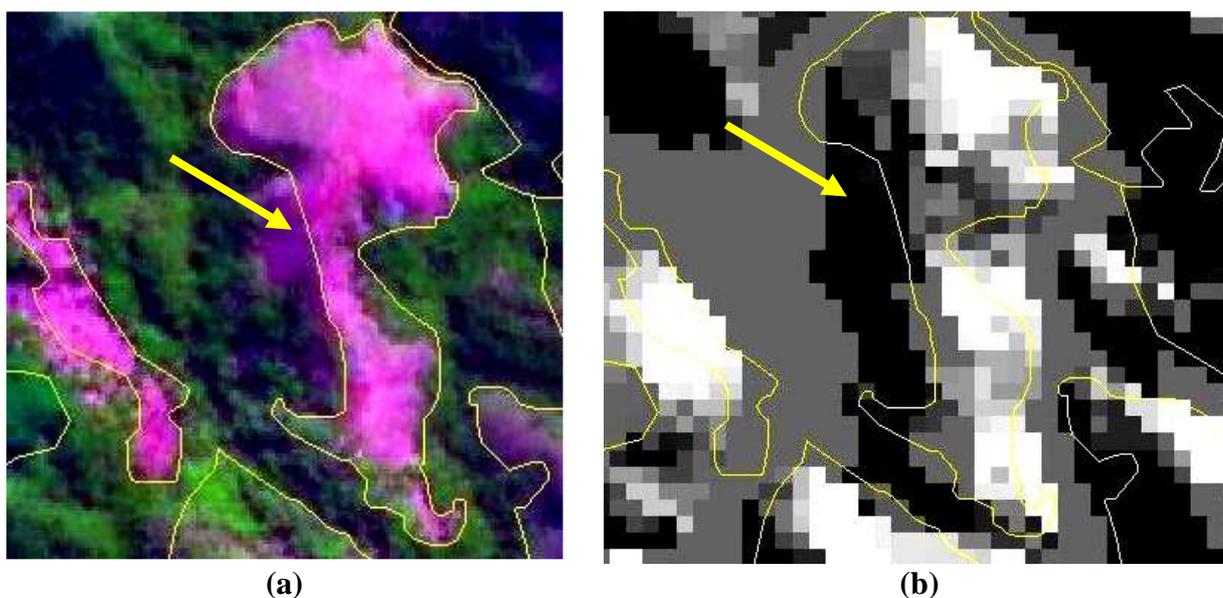


FIGURA 42 – Recorte da imagem-SPOT sobre a faixa de vôo 7 **(a)** e a correspondente imagem-sombra **(b)** mostrando polígono classificado erroneamente em função do sombreamento

4.4.2.2 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas por erro do classificador (analista)

A análise da acuracidade temática revelou discrepâncias frequentes entre mapa e terreno para as classes “pastagens e campos” e “reflorestamento”, respectivamente. Pela

própria natureza da resposta espectral de reflorestamentos jovens que é bastante semelhante à de solo exposto e de agricultura (OLIVEIRA *et al.*, 2004), é possível que essas classes tenham sido confundidas com pastagens e campos em função de sua pouca idade à época da aquisição da imagem. No entanto, como não havia registros disponíveis para comprovar tal suposição, recorreu-se a dados auxiliares provenientes da ferramenta *Google Earth* empregando-se o recurso “imagens históricas”. Nas regiões onde há imagens de duas ou mais datas disponíveis, o programa permite visualizá-las, fornecendo a data de sua aquisição.

Selecionando-se polígonos de reflorestamento nas faixas amostradas e exportando-os em formato *kml* para visualização no *Google Earth*, buscou-se regiões que dispusessem de imagens históricas, preferencialmente com datas próximas a 2005. A **Figura 43(a)** mostra uma área com reflorestamento já maduro, datada de 2006. A imagem de 2010, observada na **Figura 43(b)**, mostra a mesma área, que continua ocupada por reflorestamento, porém recém implantado, caracterizando a ocorrência de corte raso seguido por plantio de um novo reflorestamento.

Este exemplo mostra a alteração da cobertura ao longo do tempo, representada por povoamentos adultos e jovens, sem que, no entanto, ocorra uma mudança na classe de uso. É o caso típico dos plantios florestais, que se caracterizam pela manutenção da classe de uso por longos períodos com reforma dos talhões entre os ciclos de produção. Assim, na avaliação da acuracidade do mapa temático, esse polígono apareceu como classificado corretamente (classe “reflorestamento”).



FIGURA 43 – (a) Imagem do *Google Earth* mostrando reflorestamento maduro em 2006 e (b) a mesma área já com novo plantio, em 2010

Fonte: GOOGLE, 2010.

Em outros exemplos extraídos das faixas de vôo, pode-se visualizar nas **Figuras 44(a)** e **44(c)** duas áreas ocupadas por reflorestamentos recém implantados, cujas imagens foram adquiridas em 2004, portanto antes da imagem SPOT usada na classificação. Segundo os dados coletados no LAED e também como aparecem nas imagens de 2010 do *Google Earth*, apresentadas nas **Figuras 44(b)** e **44(d)**, esses polígonos mostram os mesmos reflorestamentos, porém já mais velhos, com cerca de seis ou sete anos. No mapa temático, entretanto, ambos os polígonos foram classificados como “pastagens e campos”.

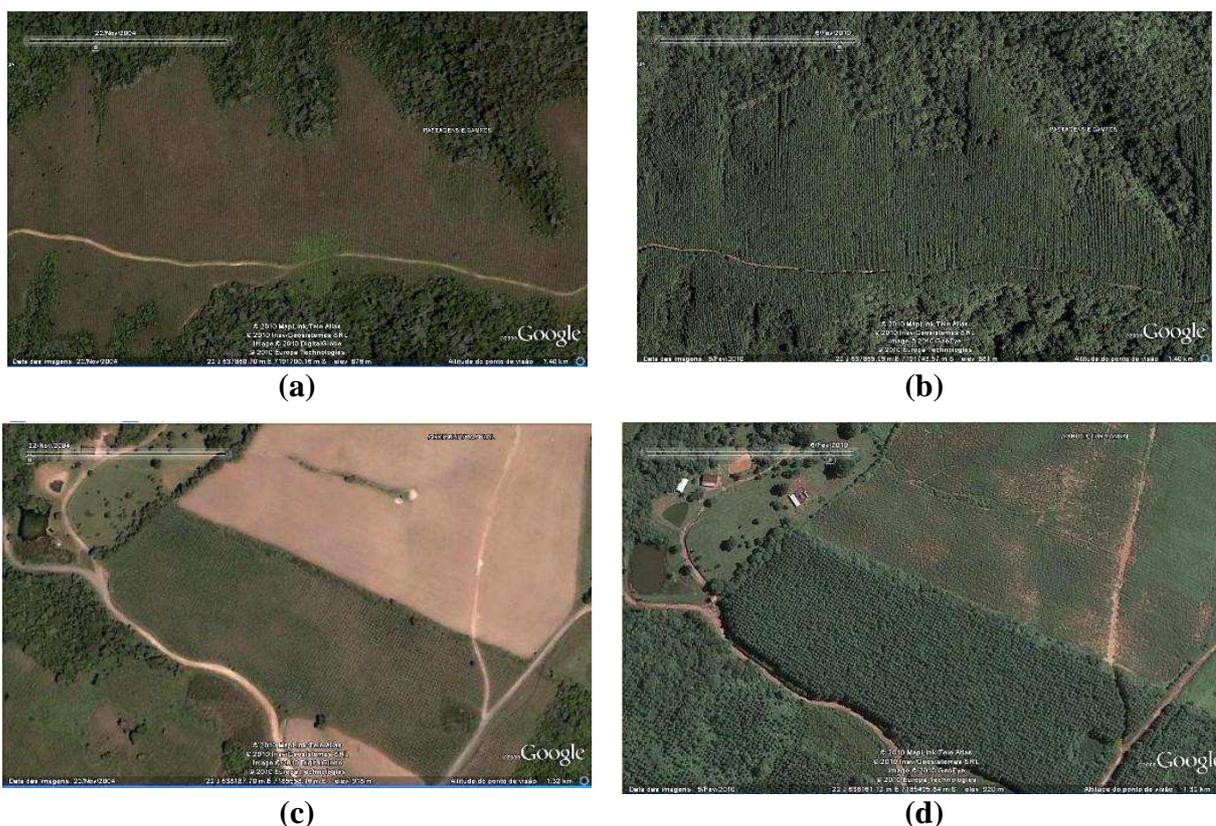


FIGURA 44 – Imagens do *Google Earth* mostrando reflorestamentos recém-implantados em 2004 (a) e (c) e as mesmas áreas, com povoamentos já mais velhos, em 2010 (b) e (d)

Fonte: GOOGLE, 2010.

Esse foi um tipo de discrepância freqüente observado nas faixas amostradas, o que comprova que reflorestamentos jovens são feições potencialmente geradoras de erros em classificações, devido à resposta espectral bastante influenciada pela reflectância do solo além de gramíneas e vegetação rasteira.

A **Figura 45** mostra um detalhe ampliado da imagem SPOT correspondente ao mesmo polígono das **Figuras 44(c)** e **44(d)**. Pode-se constatar que o aspecto do polígono em

nada sugere a existência de reflorestamento no local, tornando uma correta atribuição de classe de uso bastante improvável.

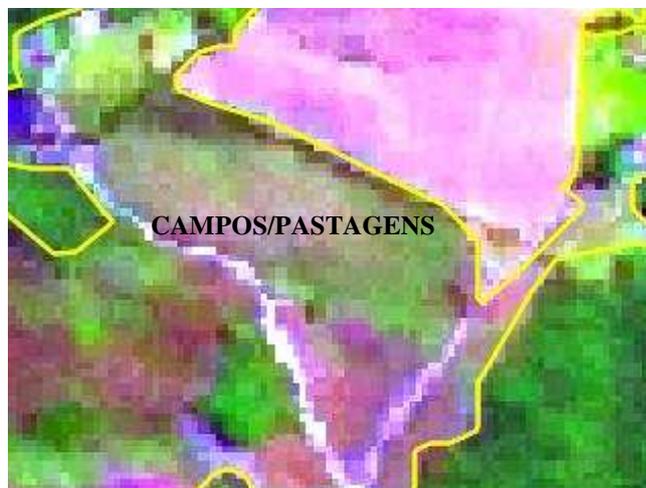


FIGURA 45 – Detalhe ampliado da imagem SPOT mostrando polígono de reflorestamento classificado erroneamente como “pastagens e campos”

Evidentemente, há outros erros de classificação que não podem ser atribuídos à confusão da resposta espectral entre as classes, como, por exemplo, os que são mostrados na **Figura 46**. Áreas que nos anos de 2002 e 2006, indicadas pelas setas na **Figura 46(a)** e **46(c)**, respectivamente, já pertenciam claramente a outras classes de uso, sem cobertura florestal, foram erroneamente incluídas no polígono “floresta”. Os resultados do LAED são coerentes com as imagens 2010 do *Google Earth* referentes às duas áreas mostradas na **Figura 46(b)** e **46(d)**.

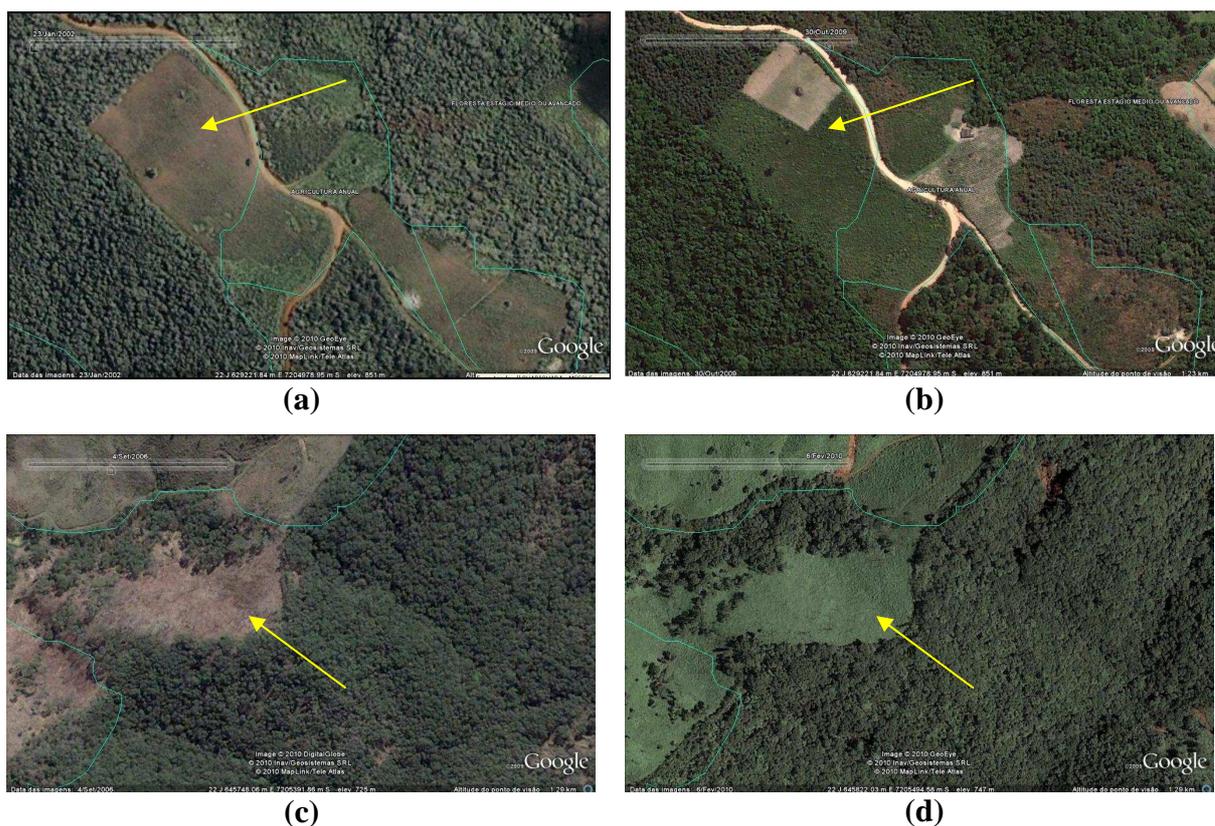


FIGURA 46 – Imagens do *Google Earth* mostrando áreas classificadas como “floresta” no mapa, porém já convertidas para outros usos em 2002 (a) e 2006 (c) e as mesmas áreas, em 2010 (b) e (d)

Fonte: GOOGLE, 2010.

4.4.2.3 Discrepâncias entre mapa e terreno causadas pela dinâmica de uso da terra

A maioria das discrepâncias entre mapa e terreno causadas pela dinâmica de uso da terra se verificou nas classes de cobertura florestal, ou seja, constatou-se, durante o aerolevanteamento, que polígonos que no mapeamento temático aparecem como “floresta” pertencem, na verdade, a outras classes de uso. A ferramenta de imagens históricas do *Google Earth* foi utilizada para verificar a condição desses polígonos à época da aquisição das imagens usadas na classificação e na elaboração do mapa.

Na **Figura 47** apresenta-se um exemplo de dinâmica de ocupação da terra ocorrente na área de estudo, demonstrando a alteração de floresta natural em estágio médio/avançado que foi convertida para solo exposto (a) e para agricultura (b), respectivamente.

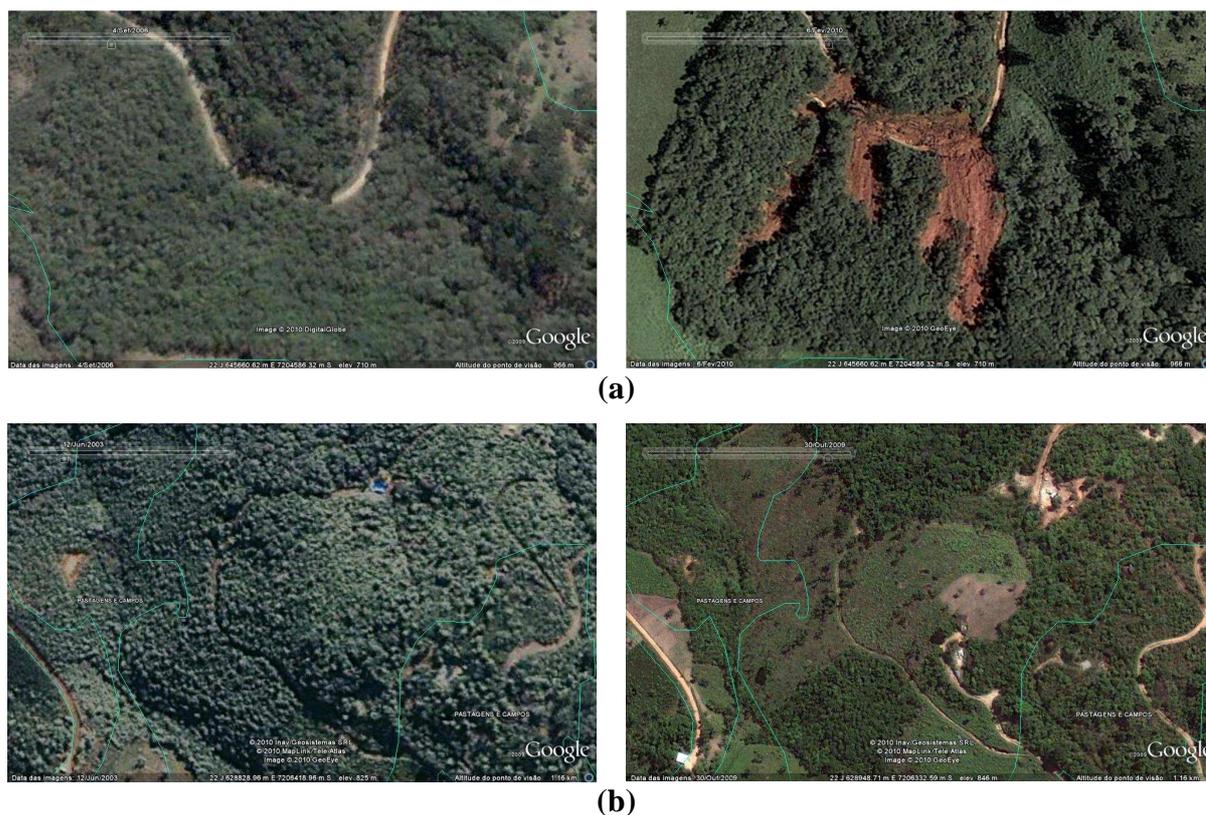


FIGURA 47 – Exemplos de dinâmica de ocupação da terra:

(a) floresta em estágio médio/avançado → solo exposto (09/2005 – 02/2010)

(b) floresta em estágio médio/avançado → agricultura (06/2003 – 10/2009)

Fonte: GOOGLE, 2010.

4.5 ANÁLISE DO USO DO LAE CONVENCIONAL PARA O MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL EM ESCALA 1:50.000

A característica do tipo de levantamento aéreo empregado – como o próprio nome já diz, “expedito” – é um fator limitante quanto à exatidão cartográfica que se pode esperar de seus produtos, tanto por problemas de escala quanto pela subjetividade na anotação digital. Assim, deve-se considerar os polígonos resultantes do *sketch* efetuado sobre a tela mais como um indicativo de alterações observadas na cobertura florestal do que como uma atualização temática sobre um mapa pré-existente.

Assume-se que a técnica embute erros posicionais causados, em parte, pela capacidade de percepção espacial e habilidade do observador aéreo e, também, pela escala do mapa impresso, no caso do LAE convencional. É necessário ressaltar que, historicamente, o objetivo principal do LAE era detectar e espacializar focos de pragas florestais no EUA,

possibilitando a geração de mapas precisos apenas o suficiente para facilitar a orientação das equipes de campo (JOHNSON e ROSS, 2008). Entretanto, com as novas aplicações da técnica, passou a se esperar uma acuracidade posicional e de forma não condizentes com a natureza dos dados coletados por meio do LAE que é, basicamente, qualitativa.

Para os sobrevôos realizados neste estudo, o mapa foi impresso em 1:30.000, o que significa que erros ou desvios de 2 mm no desenho representam cerca de 60 m no terreno, se considerada apenas a questão da escala. Some-se a isso o erro do operador e pode-se chegar a situações como a observada na **Figura 48**, em que a diferença de posição entre o polígono desenhado pelo observador sobre o mapa e a correspondente feição no terreno chega a ser de mais de 200 m.



FIGURA 48 – Imagem do *Google Earth* sobreposta pelo polígono oriundo do LAE (à direita, em amarelo) e pelo polígono no terreno (à esquerda, em laranja) e a representação da distância entre ambos no terreno (em metros)

Fonte: GOOGLE, 2010.

Alternativamente, pode-se utilizar a mesma ferramenta do *Google Earth* para aprimorar os polígonos quanto a seus limites, bastando para isso, existir imagens de alta resolução para a área em questão. Um exemplo dessa aplicação é mostrado na **Figura 49**, onde aparecem os resultados obtidos no LAE convencional referentes à alteração de uso da terra ocorrida em uma das faixas sobrevoadas. Em **(a)** encontra-se o polígono que representa a nova classe de uso (“reflorestamento”), tal como foi desenhado durante a execução do LAE, tendo a imagem SPOT ao fundo. Na **Figura 49(b)** é apresentada uma imagem atual do

Google Earth para a mesma área, sobreposta, em cor laranja, pelo polígono do mapa original, em amarelo, pelo polígono resultante do LAE e em branco, pelo polígono redesenhado, aproveitando a alta resolução da imagem disponível.

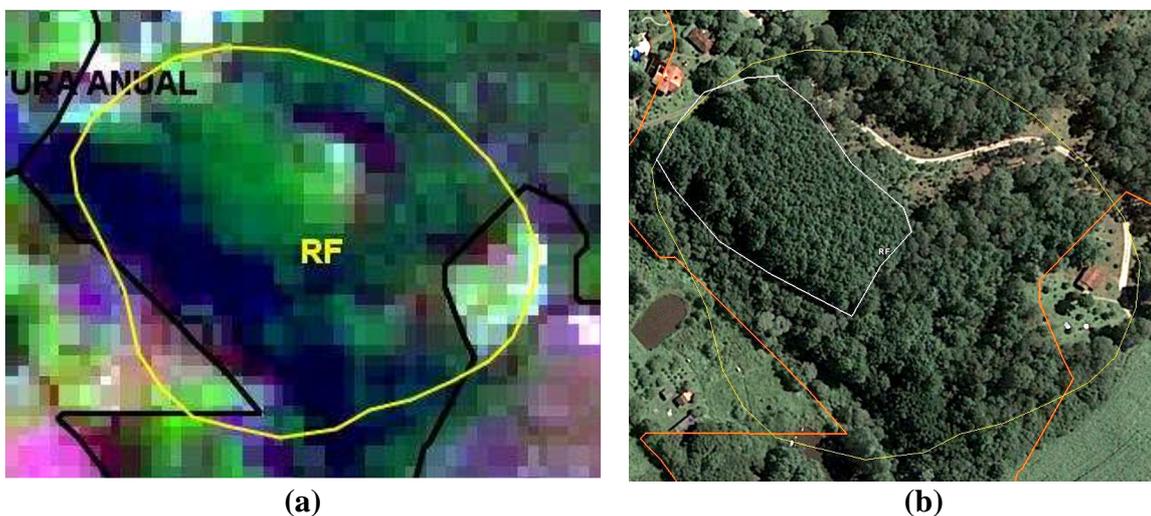


FIGURA 49 – Comparação entre o mapa temático (a), os resultados do LAE e a imagem do *Google Earth* (b) para polígonos que sofreram alteração de classe e de forma
Fonte: GOOGLE, 2010.

Sugere-se, portanto, a utilização da técnica de LAE associada a outras ferramentas nas operações pós-vôo para melhorar a qualidade da informação disponibilizada e aumentar sua precisão cartográfica.

O avanço no processo de adaptação do LAED, principalmente no que diz respeito ao uso do equipamento, à sistematização dos procedimentos para captação dos dados durante o vôo, à definição de uma seqüência de operações pós-vôo para processamento dos dados e à execução de análises relativas aos objetivos do levantamento, permitirá o futuro estabelecimento de um sistema mais eficiente de coleta de dados e geração de informações sobre a cobertura e uso da terra.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Mediante a análise dos resultados desta pesquisa foi possível concluir que:

- a) na avaliação de uma faixa com um quilometro de largura, a altura de vôo deve ser próxima a 500 m acima do nível do solo para uma melhor observação e discriminação dos polígonos que compõem as diversas formas de uso e ocupação da terra;
- b) a discriminação e registro de polígonos foi complexa para polígonos menores que caracterizavam feições em mosaico, e facilitada para polígonos localizados em meio a classe homogênea;
- c) um número excessivamente grande de classes de legenda dificulta a coleta de dados para a acuracidade temática, inclusive por meio do LAED quando observadas em apenas um sobrevôo, principalmente nas regiões com maior fragmentação da cobertura vegetal natural;
- d) o treinamento e habilidade do observador foram essenciais na coleta de dados tanto para monitoramento quanto para a avaliação de acuracidade temática de mapas;
- e) a média de produtividade para o levantamento aéreo foi de 193 ha/min, ou aproximadamente 11.580 ha em uma hora de vôo;
- f) o custo de levantamento efetivo foi de R\$ 0,07 (US\$ 0,04) por hectare avaliado;
- g) o uso do LAED atendeu às expectativas e necessidades na coleta de dados de referência, por propiciar um conjunto de dados confiável e de fácil manipulação para a construção da matriz de erros e cálculo dos coeficientes utilizados na aferição da acuracidade temática;
- h) as operações pós-vôo no LAE convencional foram mais demoradas e trabalhosas quando comparadas às efetuadas no LAED, sendo gastos em torno de seis horas e 15 minutos no método convencional contra apenas uma (1) hora no método digital;
- i) o conjunto *hardware-software* utilizado no LAED demonstrou desempenho insatisfatório na obtenção de dados para o monitoramento da cobertura da terra, comprometendo a observação e registro de dados;
- j) na análise das discrepâncias entre o mapa obtido por classificação digital de imagem SPOT 5, em escala 1:50.000 e o observado no terreno via LAED, a dinâmica de ocupação da terra foi o fator mais influente, constatando-se mudanças de classe de uso

dentro dos polígonos analisados, que, no entanto, não apresentaram alterações em sua forma, na maioria dos casos;

- k) erros do analista foram constatados porém com menor proporção de influência entre as não-conformidades detectadas;
- l) o sombreamento ocasionado por efeitos da topografia associados ao ângulo solar no momento da aquisição das imagens e a influência da mosaicagem das imagens SPOT 5 não demonstraram afetar negativamente o mapeamento;
- m) a técnica de LAE é potencialmente aplicável em operações de fiscalização e no monitoramento da cobertura florestal, porém o produto gerado poderá trazer limitações quanto à exatidão cartográfica, devendo-se considerar os polígonos resultantes do *sketch* mais como um indicativo de alterações observadas na cobertura florestal do que como uma atualização temática sobre um mapa pré-existente.

De acordo com as avaliações realizadas, recomenda-se:

- a) repetir o sobrevôo em uma mesma faixa no caso de coleta de dados de referência para a avaliação da acuracidade temática de mapas representando paisagens fragmentadas, com um grande número de polígonos contíguos, pertencentes a diferentes classes de uso;
- b) avaliar no máximo três classes de legenda por sobrevôo na faixa quando o mapa que estiver sendo avaliado possuir um elevado número de classes temáticas;
- c) testar novos modelos de equipamentos e utilizar versão atualizada do *software* para o sistema LAED, visando viabilizar seu uso no monitoramento da cobertura da terra.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N. **A organização natural das paisagens inter e sub-tropicais brasileiras.** São Paulo: Instituto de Geografia – USP, Série Geomorfologia, n. 41, 1973. 17 p.

AB'SÁBER, A.N. O suporte ecológico das florestas beiradeiras (ciliares) In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.R.(Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: Fapesp, 2 ed., 2001. p. 15-25.

ALONSO, M.T.A. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: região Sul.** Rio de Janeiro: SERGRAF – IBGE, 1977. p. 81-110.

ANDRADE, J.B de; MACHADO, S.A. Marcos históricos no mapeamento florestal do Paraná usando técnicas de sensoriamento remoto. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, editores: Disperati, A.A. e Araújo, A.J. de, 1994. p. 01-10.

ANTUNES, A.F.B. **Análise do uso do processamento digital de imagens na segmentação de tipologias vegetais da APA de Guaraqueçaba – PR.** Curitiba, 1996. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ANTUNES, A.F.B.; LINGNAU, C. Uso de índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIO DE GEOPROCESSAMENTO, 3, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sagres, 1997. 15 p. Disponível em: <<http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/felippe/pessoal/acuraccy.pdf>> Acesso em: 12 abr. 2009.

ARAÚJO, M. A., SARTORIO, R. C.; O uso de aeronaves não tripuladas como alternativa para monitoramento florestal na Aracruz Celulose S/A In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 6. 2004. Curitiba, **Anais...** Curitiba: FUPEF, Fundação de Pesquisas Florestais, 2004.

AVERY, T.E.; BERLIN, G.L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation.** 5 ed. New Jersey: Prentice Hall. 1992. 472 p.

AZEVEDO, L.H.A.; VIEIRA, A.C.; LUCRAREVSCHI, C.I. Reflexões sobre a política de sensoriamento remoto e desenvolvimento do país. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6, 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 446 – 450

BARROS, R.S.; CRUZ, C.B.M.; REIS, R.B.; COSTA JR., N.A. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3997-4004.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D. & SANTOS, G.F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Fundamentos geológico-geográficos alteração química e física das rochas.** In: BECKER, R.D., ed. Relevo cárstico e dômico. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p.31-76.

BIGING, G.; COLBY, D. e CONGALTON, R.. Sampling systems for change detection accuracy assessment. **Remote sensing change detection, environmental monitoring methods and applications.** Ed. LUNETTA, R. & ELVIDGE, C., ANN ARBOR PRESS, CHELSEA – Michigan, EUA. 1998.

BOLFE, E.L.; PEREIRA, R.S.; MADRUGA, P.R.A.; FONSECA, E.L. Avaliação da classificação digital de povoamento florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore.** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 2004, v. 28, n. 1. p. 85-90.

BRANCO, J.F.C. O emprego da fotografia no levantamento topográfico do Distrito Federal. **Anuário da diretoria do serviço geográfico do exército.** Rio de Janeiro: Serviço Geográfico do Exército, Ministério da Guerra, n.1, 1949. p.65-75.

BRASIL. Decreto n. 89.817 de 20 de julho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 30 out. 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA n.2, de 18 de março de 1994. Define as formações vegetais primárias, bem como os estágios sucessionais de vegetação secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0294.html>>. Acesso em: 30 mar. 2007.

BRITES, R.S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: Efeitos de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão.** 1996. 101 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa.

BRITES, R.S.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Efeitos da estratégia de amostragem na exatidão reportada pelo índice Kappa na classificação de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 823-829.

BUDOWSKI, G. Distribution of Tropical American rain Forest species in the light of successional processes. **Turrialba.** Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, v.15, 1965. p. 40-42.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas.** Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 2 ed., rev. e ampl., cap. 2, 1998. p. 13-29.

CAMPBELL, J.B. **Introduction to Remote Sensing.** 2nd. Ed. New York: The Guilford Press, 1996. 622 p.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1987. 551p.

CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Universidade Federal do Paraná – Departamento de Geomática. Curitiba: UFPR, 2003. 210 p.

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES - CNES. **De Spot 1 à Spot 5, tout un programme**. França, 2009. Disponível : <<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/301-de-spot-1-a-spot-5.php>> Acesso em : 15 mai. 2009.

CIESLA, W.M.; JOHNSON, E.W.; OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROSOT, M.A.D.; ELLENWOOD, J.; PENTEADO JR., J.F. Development of an aerial sketchmap program for detection and mapping of forest damage in Brazil. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5, 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, editores: Disperati, A.A. e Santos, J.R. dos, 2002. p. 31-38.

CIESLA, W.M. **Remote sensing in forest health protection**. Salt Lake City: USDA Forest Service Remote Sensing Application Center, FHTET Report, n. 00-03, 2000. 266 p.

CIESLA, W. Technologies and Observer Training for Improved Aerial Forest Health Surveys in the United States. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 8, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, editores: Disperati, A.A. e Santos, J.R. dos, 2008. p. 723-728.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. 3. ed. Madrid: Rialp, 1996. 568 p.

CLIFF, A.D.; ORD, J.K. **Spatial autocorrelation**. London: Pion Limited, 1973. 178 p.

COCHRAN, W.G. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965. 555 p.

COHEN, J. **A Coefficient of agreement for nominal scales**. Educational and Measurement. v. 20, n. 1, 1960. p. 37-46.

COLLARES, J.E.R. Mapas de biomas do Brasil: uma síntese de mais de trinta anos de mapeamento da vegetação. In: DISPERATI, A.A.; SANTOS, J.R. dos. **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba: Gabardo, 2004. p. 01-11.

COLVOCORESSES, Alden P. Space oblique Mercator: a new map projection of the earth lends itself well to the utilization of ERTS imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 921-926, Aug. 1974.

CONGALTON, R. G., e GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data**. CRC Press: Boca Raton, 1999. 137 p.

CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric**

Engineering and Remote Sensing. USA: American Society of Photogrammetry, v. 54, n. 5, 1988. p. 593-600.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment.** USA: Elsevier, v. 37, 1991. p. 35-46.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2 ed., 2009. 183 p.

COOPERATIVE INVASIVE SPECIES MANAGEMENT AREA – CISMA. **Everglades CISMA Digital Aerial Sketchmapping (DASM).** Flórida: University of Georgia, Center for Invasive Species and Ecosystem Health, 2009. Disponível em: <<http://www.evergladescisma.org/DASM/>> Acesso em: 12 abr. 2010.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – COMEC. Relatório Ambiental: Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba: COMEC, 1984

COSTA, T.C.C.; BRITES, R.S. A influência do tamanho da amostra de referência na exatidão de classificação de imagens de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia.** Rio de Janeiro: SBC - Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, v. 56, n. 2, 2004. p. 151-155.

COSTA, T.C.C.; BRITES, R. S. **Tamanho da amostra de referência para verificação de exatidão em imagens orbitais.** Anais... IX SBSR, Santos, São Paulo, 11-18 setembro de 1998, INPE. (CD-ROM).

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas: IG, 1992. 170 p.

CROSTA, A.P.; ROIG, H.L.; ELVIDGE, C.D. Multitemporal image analysis applied to environmental monitoring in the Brazilian Amazon. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCIÓN REMOTA, 7. 1995, Puerto Vallata. **Anális...** Puerto Vallata; 1995.

DISPERATI, A.A.; VENÂNCIO, T.L.; OLIVEIRA FILHO, P.C.; LISBOA, G.S. Temas ambientais analisados em fotografias aéreas. Caso inicial de estudo: Irati, Paraná. **Ambiência,** Guarapuava, v. 2, n. 2, 2006. p. 265-278.

DLUGOSZ, F.L. **Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista usando imagens orbitais Ikonos.** Curitiba, 2005. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

DUARTE V.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTOS, J.R. dos; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; MOREIRA, M.A.; SOUZA, R.C.M. de; SHIMABUKURO, R.M.K.; FREITAS, U.M. de. **Metodologia para Criação do PRODES Digital e do Banco de Dados Digitais da Amazônia – Projeto BADDAM.** São José dos Campos: INPE, 1999. 33 p.

ELMIRO, M.A.T. Técnicas para produção de carta imagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 351-358

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, Rio de Janeiro. **Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná.** Londrina, 1984. 2 tomos. (Embrapa-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **SPOT Système Pour l'Observation de la Terre.** Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/spot.htm>> Acesso em: 17 mar. 2008.

ENVI. The environment for visualizing images. **Guia do ENVI em português.** ENVI versão 4.0, 2004. Disponível em: <<http://www.sulsoft.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2006.

ESTRAVIZ-RODRIGUEZ, L.C. Monitoramento florestal: iniciativas, definições e recomendações. **Série Técnica IPEF.** Memória do 2º Workshop sobre Monitoramento Ambiental em Áreas Florestadas, 1997. Piracicaba: IPEF, v. 12, n. 31, 1998. p. 9-21.

EWUSIE, J. Y. **Elements of Tropical Ecology.** Londres: Heinemann Educational Books Ltd. 1980. 205p.

FITZPATRICK-LINS, K. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map. **Photogrammetric Engineer and Remote Sensing.** USA: American Society of Photogrammetry, v.47, n.3, 1981. p. 343-351.

FITZ, P.R. **Cartografia básica.** Canoas: Centro Universitário La Salle, 2 ed., 2005. 219 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Aerial Sketch Mapping.** 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/6606-1-146.pdf>> Acesso em 05 mai. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **National Forest Monitoring and Assessment – Manual for integrated field data collection.** National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA 37/E. Rome: FAO, 2008.

FOODY, G.M. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** USA: American Society of Photogrammetry, v. 58, n. 10, 1992. p. 1459-1460.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ – FUPEF. **A Floresta com Araucária no Paraná.** Conservação do Bioma Floresta com Araucária – Diagnóstico dos Remanescentes Florestais. Brasília: PROBIO, 2004. 236 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica - período 2005-2008.** São Paulo, 2009. Disponível em <http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas%20mata%20atlantica-relatorio2005-2008.pdf> Acesso em 11 fev. 2009.

GANDOLFI, S. Sucessão florestal e as florestas brasileiras: conceitos e problemas. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8, Caxambu, 2007. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. p. 1 – 2.

GOOGLE. **Aplicativo Google Earth**. 2010.

GRIME, J.P. **Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties**. Inglaterra: John Wiley e Sons Ltd, 2 ed., 2001. 416 p.

GRUIJTER, J.; BRUS, D.; BIERKENS, M.; KNOTTERS, M. **Sampling for natural resource monitoring**. New York: Springer, 2006. 332p.

GUBERT FILHO, F. A. Proposta para a criação de um sistema de unidades de conservação da *Araucaria angustifolia* no Estado do Paraná. **Silvicultura**, São Paulo, v. 3, n. 42, p. 251-256, 1990. Edição dos Anais do Congresso Florestal Brasileiro, 6., 1990, Campos do Jordão.

GUIMARÃES, I.; PEREIRA, K.D.; FREITAS, L.; AUGUSTO, M.J.C.; MARANHÃO, M.; ARAÚJO, V.H.; AZEVEDO, J.B.; FREITAS, A.L.F. Projeto de mudança do referencial geodésico e a cartografia – uma visão crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21, 2003, Belo Horizonte, **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003. CD-ROM.

HINKLEY, E.; ZAJKOWSKI, T.; SCHRADER-PATTON C. Digital Aerial Sketchmapping. **Forest Encyclopedia Network**. South Salt Lake City: USDA Forest Service, 2006. Disponível em: <<http://www.forestencyclopedia.net/p/p62>> Acesso em: 23 jan. 2009.

HOSHIGUTI, L. **Professor da UFPR colabora com polícia federal nos estudos do veículo aéreo não tripulado**. Disponível em: <<http://www.ufpr.br/adm/templates/index.php?template=3&Cod=5345>> Acesso em: 10 ago. 2009.

HUSCH, B. **Forestry Mensuration**. New York, 3 ed., 1982. 402 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Glossário cartográfico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtm>. Acesso em: 10 nov. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IBAMA. **Floresta Nacional Açungui**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/recursosflorestais/acungui.htm>>. Acesso em 06 ago. 2007.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/anuario_2006/index.html> Acesso em: 19 abril 2008.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996. 318 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. Tradução da segunda edição. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JOHNSTON, K.; MCCOY, J. **Using ArcGIS Spatial Analyst**. New York: ESRI, 2001. 230 p.

JOHNSON, E. W.; ROSS, J. Quantifying error in aerial survey data. **Australian Forestry**, 2008, v. 71, n.3. p. 216-222.

KARL, J.W.; PORTER, M. Digital Aerial Sketch-Mapping for Early Detection and Mapping. In: INVENTORY AND SURVEY METHODS FOR NONINDIGENOUS PLANT SPECIES. Bozeman: Monana State University Extension, cap. 4, 2006. p. 33-41.

KELLNDORFER, J.; WALKER, W.; PIERCE, L.; DOBSON, C.; FITES, J.A.; HUNSAKER, C.; VONA, J.; CLUTTER, M. Vegetation height estimation from Shuttle Topography Mission and National Elevation Datasets. **Remote sensing of Environment**. USA: Elsevier, v. 93, 2004. p. 339-358.

KLECKA, W.R. **Discriminant Analysis**. California: SAGE Publications, Inc., 1980. 71 p.

KLEIN, R.M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, Itajaí: v.36, n.36, 1984, p. 5-54.

KOEHLER, H.S. **Estatística experimental**. Curitiba: UFPR, 2006. 124 p.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. 1977, v. 33, n. 1. p. 159-174.

LANGE JR, F.L. Aplicações florestais de sensoriamento remoto e GIS no Instituto Ambiental do Paraná. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 1, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, editores: Disperati, A.A. e Araújo, A.J. de, 1994. p. 73-78.

LEITE, P.F. **As diferentes unidades fitogeográficas da região sul do Brasil proposta de classificação**. Curitiba, 1994. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil: região sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990, v.5, n.2. p.113-150.

LILESAND, T.M. & KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.

LINDMAN, C.A.M. **A vegetação no Rio Grande do Sul**. São Paulo: EDUSP, 1906. 377 p.

LINGNAU, C.; ANTUNES, A. F. B. Avaliação da acurácia de Mapas temáticos oriundos de classificação Digital de Imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1997. 10 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 881 p.

MA, Z.; REDMOND, R.L. Tau coefficient for accuracy assessment of classification of remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. USA: American Society of Photogrammetry, v. 61, n. 4, 1995. p. 435-439.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981. 442p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1968. 450 p.

MACE, T. H. Environmental monitoring. **Manual of photographic interpretation**. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2 ed., cap. 17, 1997. p. 591-612.

MACLEOD, D.R.; CONGALTON, R.G. A quantitative comparison of de change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. USA: American Society of Photogrammetry, v. 64, n. 3, 1998. p. 207-216.

MAIA, A.F.; VALÉRIO, M.E.G.; MACEDO, Z.S. **Apostila de laboratório de física A**. São Cristóvão: Departamento de Física da Universidade Federal de Sergipe, 2009. 99p. Disponível em: <<http://www.fisica.ufs.br/apostilas/Apostila2009.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2. ed. Nottingham, UK: JohnWiley, 1999. 292 p.

MEDEIROS, J.S. de; CÂMARA, G. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 2001. 37 p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.08/doc/cap10-aplicacoesambientais.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2008.

MELLO, J.M. de; BRITO, A. de; CARVALHO, L.M.T. de; ACERBI JR, F.W.; SILVEIRA, E.M. de O. Validação do Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2831-2838

MILGRAM, D.L. Computer methods for creating photomosaics. **IEEE Transactions on Computers**, 1975, 24 (11). p. 1113-1119.

MOCOCHINSKI, A.Y. **Campos de altitude na Serra do Mar Paranaense: aspectos florísticos e estruturais**. Curitiba, 2006, 73 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação). Universidade Federal do Paraná.

MONTGOMERY, G.; SCHUCH, C. **Gis Data Conversion Handbook**. Fort Collins: Gis Word Books. 1993.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

MORRIS, A.J. e BAKER JUNIOR, M. **Aerial Sketchmapping and GIS Within the U.S. Forest Service**, Report 403. Disponível em: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap403/p403.htm>> Acesso em 13/02/2009.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Texas: NASA, 2009. Disponível: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Acesso em: 15 mar. 2009.

NOVO, E.M.L. de M. **Sensoriamento remoto**. Princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROSOT, M.A.D.; CIESLA, W.M.; JOHNSON, E.; RHEA, R.; PENTEADO JUNIOR, J.; LUZ, N.D. da. O mapeamento aéreo expedito para o monitoramento florestal no sul do Brasil. In: DISPERATI, A.A.; SANTOS, J.R. dos. **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba: Gabardo, 2004. p. 12-24.

OLIVEIRA, Y.M.M. de; ROSOT, M.A.D.; PENTEADO JUNIOR, J.; SOARES, A.; ROSOT, N.C.; DLUGOSZ, F.L.; GARRASTAZU, M.; ZONTA, M.; SCHAITZA, E. Levantamento aéreo expedito – LAE, histórico, objetivos e operacionalização. Colombo: *Embrapa Florestas*, 2007. 38 p.

OLIVEIRA, Y.M.M. de; GARRASTAZU, M.C.; ROSOT, N.C.; ROSOT, M.A.D.; SOARES, A.; PENTEADO JUNIOR, J.; CIESLA, W.M. Levantamento Aéreo Expedito (LAE). **Série Documentos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2 ed. rev., 2008, 53 p.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; JUNIOR, J. F. P.; MATTOS, P. P. de; LACERDA, A. E. B. de; PONZONI, F. J.; FREITAS, J. V. de; GOMIDE, L. A.; CIESLA, W. Evaluación de la acuracidae del mapeo de la vegetación del Inventario Forestal Nacional de Brasil. CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 13., 2009, Buenos Aires. Desarrollo forestal: equilibrio vital. Argentina: FAO, 2009. Disponível em: <http://www.cfm2009.org/es/programapost/trabajos/Accuracy_assessment_Brazilian_National_FD.pdf> Acesso em: 12 mar. 2010.

PARANÁ. Decreto nº 1.231, de 27 de março de 1992. Declara a Área de Proteção Ambiental denominada APA da Escarpa Devoniana. Disponível em: <http://www.uc.pr.gov.br/arquivos/File/Plano_de_Manejo/APA_Escarpa_Devoniana/anexos/1_Decreto_n_1231_27_marco_1992.pdf> Acesso em: 29 de ago. 2008.

PÉLLICO-NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316 p.

PIRES-O'BRIEN, M.J; O'BRIEN, C.M. **Ecologia e modelamento de florestas tropicais**. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1995. 400p.

- REITZ, R.; KLEIN, R.M. Araucariáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, 1966. 62 p.
- RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento – Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220 p.
- RODERJAN, C.V. **O gradiente Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro Anhangava, Quatro-Barras, PR. Aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. Curitiba, 1994. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- RODERJAN, C.V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**. n.24. 2002. p. 75-92.
- RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S.; GALVÃO, F. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Acta Forestalia Brasiliensis**, Curitiba: SBCTF, v. 1, p. 1-3, 1993.
- RODRIGUES, C. Documentos Geográficos: Arquivos de Fotos aéreas como opção de pesquisa. **Memória e energia**, São Paulo: Fundação Patrimônio Histórico da Energia de São Paulo, n. 28, 2001. p. 1 - 10.
- RODRIGUES, R.; GANDOLFI, S. Conceitos tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.R.(Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Fapesp, 2 ed., 2001. p. 235-247.
- ROGALSKI, J.M.; BERKENBROCK, I.S.; REIS, A.; REIS, M.S. Sucessão e manutenção da diversidade biológica e da variabilidade genética: ferramentas básicas para a restauração ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DEGRADAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL, 1, Foz do Iguaçu, 2003. **Anais...** Curitiba: SOBRADE, 2003. 8 p.
- ROSENFELD, G. e FITZPATRICK-LINZ, K. Sampling for thematic map accuracy testing. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, 1982, v. 48. p. 131-137.
- ROSOT, M.A.D. **Processamento digital de imagens aplicado à medição de anéis de crescimento na análise de tronco**. Curitiba, 2002. 223 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SANTOS, A.L. dos; PABIS, L. Levantamento aéreo expedito para inventário florestal de reconhecimento. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 8, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, editores: Disperati, A.A. e Santos, J.R. dos, 2008. p. 365-370.
- SANQUETTA, C.R **Os Números Atuais da Cobertura Florestal do Paraná**. In: Ambiente Brasil. 2003 Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/artigos/cobertura_florestal.html> Acesso em 11/02/2009.

SCHRADER-PATTON, C. **Digital Aerial Sketchmapping**. Salt Lake City: USDA Forest Service, Remote Sensing Applications Center, UT and Forest Health Technology Enterprises Team (Fort Collins, CO, Report RSAC 1202-RPT2), 2003. 17 p. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/1202-RPT2.pdf>> Acesso em 10/05/2009.

SCHRADER-PATTON, C. **Digital Aerial Sketchmapping (DASM) for invasive weeds**. In: A Weed Manager's Guide to Remote Sensing and GIS — Mapping & Monitoring. USDA Forest Service Remote Sensing Applications Center (RSAC), 2008. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/eng/rsac/invasivespecies/documents/DASM.pdf>> Acesso em 12/01/2009.

SECRETARIA DO ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO – SEDU. SERVIÇO SOCIAL AUTÔNOMO PARANACIDADE. **Elaboração de ortocarta-imagem, mapa de uso e ocupação do solo, relatório de pré-diagnóstico das bacias hidrográficas de manancial de abastecimento público e atualização das cartas topográficas planialtimétricas digitais existentes no Estado do Paraná na escala 1:50.000**. Curitiba: PARANACIDADE, 2005. 19 p.

SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná**. Programa de proteção da Floresta Atlântica. Cooperação Brasil-Alemanha. Governo do Paraná. 2002. 91 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEMA. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana**. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná – IAP, 2004. 350 p. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/meioambiente/iap/devoniana.shtml>. Acesso em 06 ago. 2007.

SEPÚLVEDA, C.; MOREIRA, A.; VILLARROEL, P. Conservación biológica fuera de las áreas silvestres protegidas. **Revista Ambiente y Desarrollo**, 1997. v.13, n.2. p. 48-58.

SILVEIRA, P. **Deteção de alterações na cobertura vegetal ocasionadas pela expansão urbana em uma região do litoral paranaense, através de técnicas de sensoriamento remoto**. Curitiba, 1997. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SPRING – Sistema de processamento de informações georreferenciadas. **Processamento de imagens**. São José dos Campos: NETGIS, v. 2, 1998.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. USA: American Society of Photogrammetry, v. 52, n. 3, 1986. p. 397-399.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Paraná, 1998.

SZEKIELDA, K. **Satellite monitoring of the earth**. New York: John Wiley, 1988. 326 p.

TOBLER, W. Cellular geography. In: Gale, S.; G., O. (Ed.). **Philosophy in Geography**. Dordrecht: Reidel, 1979, p. 379-386.

TORTORA, R. D., 1978. Note on sample size estimation for multinomial populations. **The American Statistician**, 1978. v. 32. p. 100-102.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. **Inferência estatística**. São Paulo: Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da USP, 1997. Disponível em: <<http://med.fm.usp.br/dim/apostila/biometria/aula02.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2009.

VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO; M. AMARAL, B. D.; MENDES, J. N.; LIMA D. J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90 m data. **Computers and Geoscience**. USA: Pergamon, v.32, 2005. p. 1169-1181.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 123p.

VELOSO, H.P. e GÓES-FILHO, L. Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. **Boletim Técnico do Projeto RADAMBRASIL**. Série Vegetação. Salvador: IBGE, v.1, 1982. 85p.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed., rev. e ampl.. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Capítulo 18, p. 351-371.

VOLOTÃO, C.F.S. **Geração de ortoimagens para aplicações urbanas: desenvolvimento das equações e protótipo experimental**. São José dos Campos, 2001. 115 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – FOREST SERVICE – USDA FOREST SERVICE. **Aerial Survey Geographic Information System Handbook**. Colorado, 2005. 35 p. Disponível: <http://www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/GISHandbook_bodyapndxA-C.pdf> Acesso em: 30 mai. 2009.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – FOREST SERVICE – USDA FOREST SERVICE. **Guidelines for the use of digital imagery for vegetation mapping**. Washington: Stan Bain Information Systems & Technology, 1995. 125 p.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D. e SANO, E.E. **Sistema de Informações Geográficas**. 2.ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998. Capítulo 18, p. 351-371.

WHITMORE, G. D. The development of Photogrammetry. In: **Manual of Photogrammetry**. Washington: American Society of Photogrammetry, 2.ed, 1952. p.1-16.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry with air photo interpretation and remote sensing**. New York: McGraw-Hill, 2 ed., 1983. 628p.

APÊNDICES

ANEXO I – Legenda da carta planialtimétrica Campo Largo

Rodovias sem pavimentação: _____

Trafego periódico: _____

Trafego permanente: _____

Rodovia pavimentada: _____

Auto-estrada: _____

Ferovia de linha simples: _____

Ferovia de linha dupla ou múltipla: _____

Campo de pouso: Campo de emergência: _____

Prédio de rodovias: estadual, federal: _____

2 – INFRA-ESTRUTURA

Linha de energia: distribuidora, transmissora: _____

Escola: Edificação de saúde: Indústria de base: _____

Mina: Ponto de prospecção: Extrativismo mineral: _____

3 – EDIFICAÇÕES

Edificação: Edificação pública: Igreja ou templo: _____

Objeto visível à grande distância: _____

Faz. Cemitério: Estação meteorológica: _____

4 – LIMITES

Coroa: _____

Limite municipal: _____

Limite estadual: _____

Limite internacional: _____

Limite de reserva, parque ou área militar: _____

Ponto de satélite: SAT 300011 PA
▲ 121,17

6 – HIDROGRAFIA

Bóia de luz. Direção de corrente: _____

Recife rochoso ou de coral: emerso, submerso: _____

Linha marginal: definida, indefinida: _____

Lago, lagoa ou açude: permanente, temporário: _____

Rio não representável em escala: permanente, temporário: _____

Rio representável em escala: permanente, temporário: _____

Catarata, corredeira não representáveis em escala: _____

Catarata, corredeira representáveis em escala: _____

Terreno sujeito à inundação. Viveiro de peixes: _____

Fonte d'água. Poço d'água: _____

7 – LOCALIDADES

Área edificada representável em escala: _____

8 – ALTIMETRIA

Cota: não comprovada, comprovada em ponto identificável: _____

Área de superfície deformada. Banco de areia: _____

9 – VEGETAÇÃO

Terreno exposto. Vegetação natural rasteira: _____

Vegetação natural arbustiva. Vegetação natural arbórea: _____

Reflorestamento. Cultura temporária: _____

Cultura permanente. Cultura temporária em terreno úmido: _____

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 2004
E CADA ANO DEPOIS AUMENTA
DO CENTRO DA FOLHA

NM NG
-17° 32' -0° 35' 22"

Escala de Declividade

1' 2' 3' 4' 5' 10' 20' 30'

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 20 METROS
AS CURVAS MESTRAS ESTÃO REPRESENTADAS EM LINHA GROSSA
CONTÍNUA E CORRESPONDEM A CADA 5ª CURVA DE NÍVEL

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

"DATUM" VERTICAL: IMBITUBA-SANTA CATARINA
"DATUM" HORIZONTAL: SAD 68-MINAS GERAIS

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM: EQUADOR ACRESCIDO DE 10.000 Km
E MERIDIANO 51° W. GR. ACRESCIDO DE 500 Km

ERRO GRÁFICO: 0,2 mm

PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA: CLASSE A

DIREITOS DE REPRODUÇÃO RESERVADOS
A DSG (GOVEX/SIU-BLOCO F-2º PISO-BRÁSILIA-DF - CPF 70830-90)
AGRADECE A GENTILEZA DA COMUNICAÇÃO DE FALHAS
OU OMISSÕES VERIFICADAS NESTA FOLHA

Usar exclusivamente os dados numéricos

Representação dos elementos de cobertura da terra e dados técnicos

EXECUÇÃO DAS FASES

FASES	EXECUTANTES	ANO
Cobertura Aérea	Aerofotogrametria Universal S/A	1996
Apoio de Campo	Diretoria de Serviço Geográfico – 1º DL	1997
Restituição	Diretoria de Serviço Geográfico – 1º DL em aparelho de 1º ordem	2002
Validação	Diretoria de Serviço Geográfico – 1º DL	2004
Primeira Edição	Diretoria de Serviço Geográfico – 1º DL	2004
Primeira Impressão	Diretoria de Serviço Geográfico – 1º DL	2004

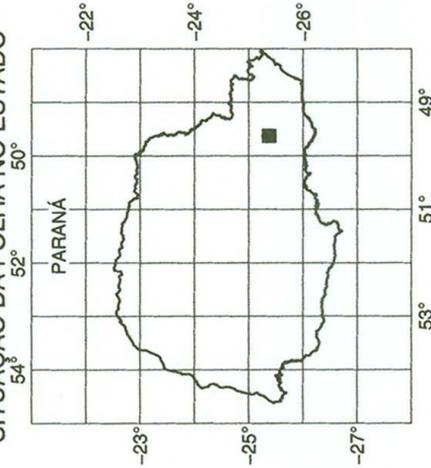
Documento elaborado com metodologia digital e armazenado em Banco de Dados Orientado a Objetos (BDOO), na 1ª DL.
 Convênio entre a Diretoria de Serviço Geográfico e a Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA
 (Situação em janeiro de 2002)

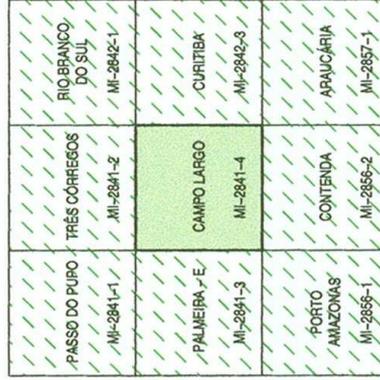


- 1 - Balsa Nova
- 2 - Campo Largo
- 3 - Campo Magro

SITUAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO



ARTICULAÇÃO DA FOLHA



CAMPO LARGO, PR

Representação da articulação sistemática

ANEXO II – Legenda do Mapa Temático referente à carta Campo Largo

SINAIS CONVENCIONAIS

6 - ALTIMETRIA
Cota: não comprovada, comprovada em ponto identifiável * 70,2 * 70,2

1 - SISTEMA DE TRANSPORTE
Rodovias Secundárias _____
Rodovia pavimentada _____
Auto-estrada _____ AFNRS _____
Prefeio de rodovia: estadual, federal _____
Ferrovia: linha simples, linha dupla _____

2 - LIMITES
Limite estadual _____
Limite internacional _____

3 - PONTOS DE REFERÊNCIA
Referência de nível _____ RN ▲121,17
Ponto de satélite _____ SAT 300011 PA ▲121,17

4 - HIDROGRAFIA
Linha marginal: definida, indefinida _____
Lago, lagoa ou açude: permanente, temporário _____
Represa, reservatório de mananciais _____
Rio não representável em escala: permanente, temporário _____
Rio representável em escala: permanente, temporário _____

5 - LOCALIDADES
Mais de 100.000 habitantes _____ **CIDADE**
De 50.000 a 100.000 habitantes _____ **CIDADE**
De 10.000 a 50.000 habitantes _____ **CIDADE**
Até 10.000 habitantes _____ **Cidade**
Vila, Distrito _____ **Vila**

LEGENDA TEMÁTICA

1 - FLORESTAS
Estágio inicial (pioneiro) _____
Estágio médio ou avançado _____

2 - MATA CILIAR OU DE GALERIA _____

3 - VEGETAÇÃO DE VÁRZEA _____

4 - MANGUES E RESTINGAS _____

5 - REFORESTAMENTO _____

6 - ÁREA URBANIZADA E CONSTRUÍDA _____

7 - ÁREA DE MINERAÇÃO _____

8 - SOLO EXPOSTO _____

9 - AGRICULTURA ANUAL _____

10 - AGRICULTURA PERENE _____

11 - PASTAGENS E CAMPOS _____

Representação dos elementos de cobertura da terra

Escala 1:50.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

"DATUM" VERTICAL: IBITUBA-SANTA CATARINA

"DATUM" HORIZONTAL: SAD-69-MINAS GERAIS

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM: EQUADOR, ACRESCIDO DE 10.000 Km

E MERIDIANO 51° W, GR. ACRESCIDO DE 500 Km

FATOR DE ESCALA: 0,999836

ERRO GRÁFICO: 0,2 mm

O SERVIÇO SOCIAL AUTÔNOMO PARANAENSE (RUA CERUTADO MARIÓ DE SA BRAS, N° 1.200, 1° ANDAR CURITIBA - PR - CEP 80.530-4.000) AGRADECE A GENTILEZA DA COMUNICAÇÃO DE FALHAS OU OMISSÕES VERIFICADAS NESTA FOLHA

NOTA TÉCNICA

Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo obtido de Classificação Digital e Interpretada Visual de Imagem SPOT-5 (710400 de 1471005, 710401 de 30/04/06 e 711401 de 28/08/05), modelo Pan - Sharpred | composição colorida Falsa Cor (R 4G 2B), com resolução espacial de 5 m, fornecida pelo © CNES 2005, Spot - Image S.A., França, todos os direitos reservados.
 Dados Vetoriais (PEC - A) obtidos do convênio entre a Diretoria de Serviço Geográfico - DSG, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a Companhia Paranaense de Energia - COPEL e atualizados pelo Observatório Geomagnético/Folclera.

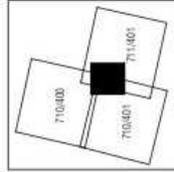
EXECUÇÃO DAS FASES

FASES	EXECUTANTES	MÊS/ANO
Interpretação	Comissário Geomagnético/Folclera	12/2006
Validação de campo	Comissário Geomagnético/Folclera	00/2006
Primeira Edição	Comissário Geomagnético/Folclera	00/2006
Primeira Impressão	Comissário Geomagnético/Folclera	00/2006

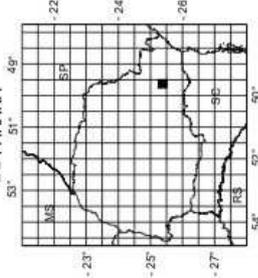
DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA SITUÇÃO DA FOLHA EM RELAÇÃO ÀS CENAS UTILIZADAS (Situação em janeiro de 2004 - SEMA PR)



- 1 - CAMPO LARGO
- 2 - CAMPO LARGO
- 3 - BALSAIÃO
- 4 - PRUBERA



SITUAÇÃO DA FOLHA NO ESTADO DO PARANÁ



ARTICULAÇÃO DA FOLHA

ITACUADA	TRES CORREGOES	RO BRANCO DO SUL
MI-2841-1 QUERO-QUERO	MI-2841-2 CAMPO LARGO	MI-2841-1 CURITIBA
MI-2841-3	MI-2841-1	MI-2843-3 ARACUCIA
POSTO ANADOUAS	CONTENDA	ARACUCIA
MI-2856-1	MI-2856-2	MI-2857-1

CAMPO LARGO, PR

CARTA PRELIMINAR

Dados técnicos e representação da articulação sistemática