

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**FOTOGRAFIAS AÉREAS DE ESCALA GRANDE E
IMAGEM IKONOS-2 NO MAPEAMENTO DE COPAS
DE *Araucaria angustifolia***

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GERSON DOS SANTOS LISBOA

IRATI - PR

2009

GERSON DOS SANTOS LISBOA

**FOTOGRAFIAS AÉREAS DE ESCALA GRANDE E IMAGEM IKONOS-2 NO
MAPEAMENTO DE COPAS DE *Araucaria angustifolia***

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador Prof. Dr. Attilio Antonio Disperati
Co-Orientador Prof. Dr. João Roberto dos Santos

IRATI-PR

2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE
UNICENTRO
PR 153 - Km 07
Fone (0xx) 42 3421-3000
Home page: <http://www.unicentro.br>
CEP: 84.500-000 - Caixa Postal 21
Irati - Paraná - Brasil

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO
Campus de Irati - PR.

L769f LISBOA, Gerson do Santos.
Fotografias aéreas de escala grande e imagem IKONOS-2
no mapeamento de copas de *Araucaria angustifolia* Gerson
dos Santos Lisboa. Irati, PR: UNICENTRO, 2009.

104p.

ISBN

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-
Oeste, PR

Orientador: Professor Dr. Attilio Antonio Disperati

Co-Orientador: Professor Dr. João Roberto dos Santos

1. Engenharia Florestal - Dissertação. 2. Sensoriamento
Remoto. 3. Fotointerpretação florestal. 4. Floresta – araucária.
5. Imagem orbital. I. Disperati, Attilio Antonio. II. Santos, João
Roberto dos. III. Título.

CDD 20^a ed. 778.35



Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997

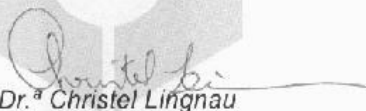
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PARECER

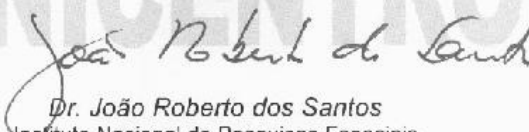
Defesa Nº 06

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, *Campus* de Irati, após arguir o mestrando *Gerson dos Santos Lisboa* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "Fotografias aéreas de escala grande e imagem Ikonos-2 no mapeamento de copas de *Araucaria angustifolia*", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do estudante, habilitando-o ao título de **MESTRE** em Ciências Florestais, Área de Concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais.

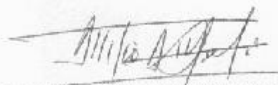
Irati-PR, 19 de novembro de 2009.



Dr.ª Christel Lingnau
Universidade Federal do Paraná
Primeira Examinadora



Dr. João Roberto dos Santos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Segundo Examinador



Dr. Atílio Antonio Disperati
Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Campus Santa Cruz: Rua Pres. Zacarias 876 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090 – CEP 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR
Campus CEDETEG: Rua Simão Camargo Varela de Sá, 03 – Fone/FAX: (42) 3626-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR
Campus de Irati: PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal, 21 – Fone: (42) 3421-3300 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

DEDICO COM CARINHO E GRATIDÃO

Aos meus avós paternos, Otávio Francisco Lisboa e Maria Karpinski Lisboa (*in memorian*), meus avós maternos Moisés Romualdo dos Santos e Maria Lipovieski dos Santos (*in memorian*), exemplo de pessoas vencedoras, que mesmo enfrentando grandes dificuldades em suas vidas, nunca desistiram de lutar por seus ideais.

Aos meus pais Romeu Karpinski Lisboa e Zenaide dos Santos Lisboa.

Aos meus irmãos Gilmara dos Santos Lisboa e Jonatan dos Santos Lisboa.

Ao meu amor Camila Mariah Magri Pescador.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me permitiu a realização deste trabalho concedendo saúde, proteção e conforto nas horas de maior dificuldade.

Ao Professor Dr. Attilio Antonio Disperati (UNICENTRO), pela orientação, incentivo e interesse na condução deste trabalho, repassando seus conhecimentos e experiências.

Ao Professor e Pesquisador Dr. João Roberto dos Santos (INPE), pelo auxílio e orientação, repassando seus conhecimentos e experiências, facilitando o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Afonso Figueiredo Filho (UNICENTRO), Coordenador do Mestrado, que apesar de suas enormes atividades e tarefas, sempre esteve disposto em escutar e orientar em nossas atividades.

A “Camila Maria Magri Pescador”, pelo amor, paciência, compreensão e carinho em todos os momentos.

Ao Técnico em Segurança do Trabalho Jonatan dos Santos Lisboa pela valiosa colaboração durante os trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Florestal Ademar Chiquetto pela amizade e valiosa colaboração durante os trabalhos de campo, nunca faltando uma boa risada e conversa no fim de mais uma jornada de trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Wilian José Kuchla pela amizade e valiosa colaboração durante os trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Florestal Thiago Floriani Stepka pela amizade e valiosa colaboração nos trabalhos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por conceder bolsa que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

A Fundação Araucária pelo apoio financeiro para o trabalho de campo.

Aos demais colegas do Curso de Pós – Graduação, pela companhia nas horas mais difíceis que passamos, e as boas risadas nos bons momentos.

A todos os professores do programa de Pós – Graduação da Unicentro, que sempre estiveram dispostos em repassar seus conhecimentos e experiências, sendo peças chave no desenvolvimento de todos os trabalhos.

Falar é completamente fácil, quando se tem palavras em mente que se expresse sua opinião.
Difícil é expressar por gestos e atitudes, o que realmente queremos dizer.
Fácil é julgar pessoas que estão sendo expostas pelas circunstâncias.
Difícil é encontrar e refletir sobre os seus próprios erros.
Fácil é fazer companhia a alguém, dizer o que ela deseja ouvir.
Difícil é ser amigo para todas as horas e dizer a verdade quando for preciso.
Fácil é analisar a situação alheia e poder aconselhar sobre a mesma.
Difícil é vivenciar esta situação e saber o que fazer.
Fácil é demonstrar raiva e impaciência quando algo o deixa irritado.
Difícil é expressar o seu amor a alguém que realmente te conhece.
Fácil é viver sem ter que se preocupar com o amanhã.
Difícil é questionar e tentar melhorar suas atitudes impulsivas e às vezes impetuosas, a cada
dia que passa.
Fácil é mentir aos quatro ventos o que tentamos camuflar.
Difícil é mentir para o nosso coração.
Fácil é ver o que queremos enxergar.
Difícil é saber que nos iludimos com o que achamos ter visto.
Fácil é ditar regras e,
Difícil é segui-las...
Reverência ao destino (Carlos Drummond de Andrade)

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	3
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1 Floresta Ombrófila Mista	5
3.2 O papel da fotografia aérea em estudos florestais	7
3.2.1 Escala de trabalho	9
3.2.2 Visão estereoscópica	11
3.2.2.1 Métodos de visualização estereoscópica	12
3.3 Fotointerpretação florestal	13
3.4 Sensoriamento remoto	14
3.4.1 Satélites e sensores	16
3.4.2 Imagens de satélite	17
3.5 Características espectrais da vegetação	18
3.6 Características do satélite IKONOS-2	19
3.6.1 Aplicações das imagens satelitárias IKONOS-2	21
3.7 Abordagens de tratamento da imagem IKONOS-2	22
3.7.1 Resolução espacial	22
3.7.2 Resolução Espectral	23
3.7.3 Resolução radiométrica	24
3.7.4 Resolução temporal	25
3.8 Pré-processamento de imagens	26
3.9 Processamento de imagens	26
3.10 Registro de imagens	27
3.10.1 Reamostragem (interpolação)	27
3.11 Composição colorida	28
3.11.1 Falsa cor	29
3.11.2 Realce	30
3.12 Segmentação	30
3.13 Estudos florestais a partir de dados sensoriais	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 Área de Estudo	34
4.1.1 Localização	34
4.1.2 Clima	35
4.1.3 Solos	35
4.1.4 Vegetação	37
4.2 Material	37

4.3 Metodologia.....	39
4.3.1 Instalação do experimento.....	39
4.4 Aquisição dos dados a partir de fotografias aéreas.....	44
4.5 Delineamento Temático.....	45
4.6 Análise da fotointerpretação.....	45
4.7 Avaliação quantitativa e qualitativa na fotointerpretação analógica visual.....	46
4.7.1 Ajuste de modelos matemáticos.....	47
4.8 Processamento digital da imagem IKONOS-2.....	47
4.8.1 Composição da imagem (colorido normal e falsa cor).....	48
4.8.2 Alteração na visualização da imagem.....	49
4.9 Informações da imagem de satélite.....	52
4.9.1 Interpretação visual na imagem.....	52
4.10 Definição dos limites da área de estudo na imagem.....	52
4.11 Georreferenciamento e registro das fotografias aéreas sobre a imagem IKONOS-2.....	53
4.12 Segmentação da imagem.....	54
4.12.1 Classificação visual.....	55
4.13 Seleção de áreas para suporte na imagem IKONOS-2, avaliação quantitativa e qualitativa do processamento digital.....	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1 Interpretação das fotografias aéreas.....	57
5.1.1 Delineamento temático de copas de Araucária.....	57
5.1.2 Análise individual de cada escala fotográfica.....	60
5.1.3 Análise comparativa dos delineamentos temáticos de copas de Araucária.....	63
5.1.4 Vetorização em tela dos mapas temáticos.....	69
5.1.5 Ajuste dos modelos matemáticos.....	71
5.2 Comparação entre interpretação da fotografia aérea e imagem IKONOS-2.....	74
5.2.1 Georreferenciamento e registro.....	83
5.2.2 Segmentação.....	83
5.2.3 Composição RGB e IR/R/G na segmentação.....	84
5.2.4 Avaliação qualitativa e quantitativa.....	87
5.3 Resultados do processamento digital.....	93
6 CONCLUSÕES.....	95
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AC	Área de copa
ASP	American Society of Photogrammetry
B0	Intercepto (isto é, valor de Y quando X é zero).
B1	Coefficiente angular ou de inclinação da reta (mede a variação em Y dada uma variação unitária em X)
B2	Coefficiente angular ou de inclinação da reta
CAP	Circunferência a Altura do Peito (1,3 m)
CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
Cfb	Clima subtropical temperado sempre úmido com verões brandos
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
DAP	Diâmetro a Altura do Peito (1,3 m)
DBH	Diameter Breast Height
Dc	Diâmetro de Copa
Dc 1:4.000	Diâmetro da Copa medido na fotografia aérea em escala 1:4.000.
DPI	Dots per inch (Pontos por polegada)
DSG	Diretoria de Serviço Cartográfico
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FAPEF's	Fotografia Aérea Pequeno Formato
FOM	Floresta Ombrófila Mista
GPS	Global Positioning System
H	Altura
ha	Hectare
Hc	Altura Comercial
Ht	Altura Total
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR/R/G	Infrared, Red and Green (Infravermelho, Vermelho e Verde).
ND	Número Digital

(Continuação)	
PAN	Panchromatic (pancromático)
PC	Pontos de Controle
R ²	Coefficiente de Determinação
R ² ajust	Coefficiente de Determinação Ajustado
RGB	Red, Green and Blue (Vermelho, Verde e Azul)
RS	Remote Sensing (Sensoriamento Remoto)
SAD69	South American Datum of 1969
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SPVS	Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental
SR	Sensoriamento Remoto
Syx	Erro Padrão da Estimativa
Syx rec	Erro Padrão da Estimativa Recalculado
Syx rec%	Erro Padrão da Estimativa Recalculado em Percentual
TIFF	Tagged Image File Format
USDA	United States Department of Agriculture
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro Oeste
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System from 1984

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná.....	6
Figura 2 Foto do Satélite IKONOS-2.	20
Figura 3 Imagem de alta, média e baixa resolução espacial.	23
Figura 4 1) Espectro Eletromagnético (A) e Resolução espectral (B); 2) Comprimento de onda x Refletância nas bandas multiespectrais (IR/R/G/B).	24
Figura 5 Comparação entre duas imagens de resolução radiométrica diferentes:.....	25
Figura 6 Mapa de localização da Microrregião de Irati - PR.	34
Figura 7 Mapa da FLONA de Irati - PR.	35
Figura 8 Mapa de ocorrência das classes de solos na FLONA de Irati - PR.	36
Figura 9 Mosaico não controlado em escala 1:1.000.....	38
Figura 10 Mosaico não controlado em escala 1:2.000.....	38
Figura 11 Mosaico não controlado em escala 1:4.000.....	38
Figura 12 Medição do CAP em uma Araucária.	40
Figura 13 Floresta Ombrófila Mista em Diferentes Estágios Arbóreos (Estrato I, II e III)....	41
Fonte: RODERJAN (<i>et al.</i> 2002).....	41
Figura 14 a) Estereoscópio de espelho e b) binocular com aumento de três vezes.....	44
Figura 15 Projeção da copa e medição do diâmetro (D1 e D2) no sentido Norte/ Sul e Leste/ Oeste.....	46
Figura 16 Composição da Imagem IKONOS-2 de 8 bits em canais RGB.	49
Figura 17 Realce Linear, histograma de entrada e saída.....	49
Figura 18 Contraste da Imagem, histograma representando os níveis de cinza médios sem alteração de contraste na Imagem (RGB).	50
Figura 19 Contraste da Imagem, histograma representando os níveis de cinza médios com alteração de contraste da Imagem (RGB).	50
Figura 20 Imagem “a” sem alteração nos níveis de cinza (RGB) originais. Imagem “b” com alteração nos níveis de cinza (RGB).....	51
Figura 21 Delineamento Temático em escala 1:4.000.....	57
Figura 22 Delineamento Temático em escala 1:2.000.....	58
Figura 23 Delineamento Temático em escala 1:1.000.....	58
Figura 24 Mosaico georreferenciado e os limites de cada uma das escalas fotográficas.	59
Figura 25 Fotografias aéreas (tamanho original em 21 x 28 cm) delimitados os blocos experimentais sobre a área de estudo.	61
Figura 26 Localização dos polígonos avaliados e comparados nas três escalas diferentes. ...	63
Figura 27 Local 01, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	64
Figura 28 Local 02, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	64
Figura 29 Local 03, copas de Angico branco, representados nas três escalas fotográficas. ...	64
Figura 30 Local 04, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	65
Figura 31 Local 05, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	65
Figura 32 Local 06, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	65
Figura 33 Local 07, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	65
Figura 34 Local 08, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	66
Figura 35 Local 09, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	66
Figura 36 Local 10, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.....	66
Figura 37 Resultados das avaliações apresentando diferença em área entre os polígonos nos dez locais selecionados.	67
Figura 38 Diferença em área decorrente do ponto de vetorização em escala 1:4.000.....	70
Figura 39 Gráfico de resíduos referente ao modelo Parabólico “A”.	73
Figura 40 Gráfico de resíduos referente ao modelo Parabólico “B”.	74

Figura 41 Imagem IKONOS-2 georeferenciada, com a sobreposição do experimento de 25 ha e interpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000.	75
Figura 42 Locais selecionados para a avaliação interpretativa na Imagem IKONOS-2.	75
Figura 43 Comparação 01 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	76
Figura 44 Comparação 02 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	76
Figura 45 Comparação 03 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	77
Figura 46 Comparação 04 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	77
Figura 47 Comparação 05 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	78
Figura 48 Comparação 06 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	78
Figura 49 Comparação 07 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	78
Figura 50 Comparação 08 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	79
Figura 51 Comparação 09 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	79
Figura 52 Comparação 10 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.....	79
Figura 53 Análise interpretativa das 10 avaliações, entre a interpretação das fotografias aéreas e a Imagem IKONOS-2.	81
Figura 54 Comparação 01 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	88
Figura 55 Comparação 02 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	88
Figura 56 Comparação 03 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	89
Figura 57 Comparação 04 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	89
Figura 58 Comparação 05 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	90
Figura 59 Comparação 06 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	90
Figura 60 Comparação 07 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	90
Figura 61 Comparação 08 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	91
Figura 62 Comparação 09 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	91
Figura 63 Comparação 10 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 <i>Ranking</i> dos indivíduos com maior frequência em ordem crescente.	42
Tabela 2 Modelos adaptados para $dc = f$ (dap 1,3 m) a partir dos modelos matemáticos para $h = f$ (dap 1,3 m).	47
Tabela 3 Dados estatísticos referentes aos três mapas temáticos elaborados.....	60
Tabela 4 Cobertura de Araucária e recobrimento nas diferentes escalas fotográficas.....	61
Tabela 5 Resultado das dez avaliações nas escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000.....	68
Tabela 6 Diferença de área encontrada através do ponto de delimitação dos polígonos.	70
Tabela 7 Vetorização em tela levando em consideração o número de polígonos e tempo em três escalas diferentes.....	71
Tabela 8 Eficiência dos estimadores $dc = f$ (dap) “A” e $ac = f$ (dap) “B”.	72
Tabela 9 Análise interpretativa entre dez polígonos, interpretados e delimitados nas fotografias aéreas e imagem de satélite.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Características do Satélite IKONOS-2.....	20
Quadro 2 Relação do número de bits e níveis de cinza de uma imagem.....	24
Quadro 3 Modelo de planilha e seqüência em que os dados foram coletados.....	41
Quadro 4 Etapas de trabalho para aquisição de dados para as fotografias aéreas e Imagem IKONOS-2.....	43
Quadro 5 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 100 m ² nas bandas multiespectrais (RGB).....	84
Quadro 6 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 150 m ² nas bandas multiespectrais (RGB).....	85
Quadro 7 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 200 m ² nas bandas multiespectrais (RGB).....	85
Quadro 8 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 100 m ² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).	86
Quadro 9 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 150 m ² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).	86
Quadro 10 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de <i>Pixel</i> 200 m ² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).	86

RESUMO

LISBOA, Gerson dos Santos: FOTOGRAFIAS AÉREAS DE ESCALA GRANDE E IMAGEM IKONOS-2 NO MAPEAMENTO DE COPAS DE *Araucaria angustifolia*.

A presente pesquisa analisa a cobertura de copas de *Araucaria angustifolia*, que ocupam os estratos superiores de um fragmento natural de Floresta Ombrófila Mista, através de fotografias aéreas 70 mm colorida normal em três escalas (1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000) e de uma imagem digital de satélite de alta resolução IKONOS-2. A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional de Irati – PR, a qual é uma Unidade de Conservação do IBAMA, no município de Fernandes Pinheiro – PR. O trabalho de campo foi efetuado por meio de medição do diâmetro de copa (DC) e do diâmetro à altura do peito (DAP) de 159 exemplares de Araucária cujos valores resultantes foram DAP médio de 61 cm, DC médio de 14,21 m e área média da copa de 158,59 m². Para o ajuste dos dados de DC em função do DAP foram testadas seis equações matemáticas. A melhor equação, baseada no coeficiente de determinação, no erro padrão de estimativa e na análise gráfica dos resíduos, foi o modelo parabólico através da expressão $DC = -7,49366 + ((0,541189 \times DAP) + (-0,00288 \times DAP^2))$. A fotointerpretação (3D) foi conduzida nas três escalas possibilitando o mapeamento das copas de Araucária, consideradas individuais e em agrupamento. Compararam-se os resultados obtidos das três escalas fotográficas por meio de dez áreas testes e levando-se em consideração a área dos polígonos (copas delineadas), a similaridade na forma dos polígonos e o número de polígonos delineados. Os resultados da fotointerpretação mostraram que no quesito similaridade na forma, os polígonos das copas se assemelham; o número de polígonos foi de 1.408, 1.198 e 766 para as copas de araucária individuais ou agrupadas e a cobertura florestal das copas foram de 21,32%, 25,59% e 24,54% para as escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000, respectivamente. As fotografias aéreas na escala 1:4.000 foram usadas para uma análise detalhada dos resultados obtidos com a imagem de satélite IKONOS-2. Com a imagem de satélite foi realizada as composições coloridas RGB e IR/R/G, os realces, o georreferenciamento, o registro do mosaico não controlado em escala 1:4.000 e a segmentação através do algoritmo de crescimento de regiões. Efetuou-se a digitalização (interpretação visual 2D), na tela do monitor, das copas de Araucária na imagem IKONOS-2 nas mesmas dez áreas testes utilizadas na comparação das fotointerpretações. Os polígonos interpretados na imagem IKONOS-2 foram em média 47% maior em área do que nas fotografias aéreas 1:4.000. A segmentação foi realizada em uma área de aproximadamente de 246 ha, similar à área do mosaico não controlado em escala 1:4.000, onde foram avaliados 60 pares de limiares nas composições coloridas RGB e IR/R/G. Os pares de limiares 20 - 100 na composição colorida RGB e 40 - 150 na composição infravermelho colorida IR/R/G forneceram resultados que mais se aproximaram do referencial usado, porém superestimaram a área das copas de Araucária.

Palavras-Chave: Imagem orbital de alta resolução, Sensoriamento Remoto, fotointerpretação florestal, floresta com Araucária.

ABSTRACT

LISBOA, Gerson dos Santos. Aerial photographs of large scale and IKONOS-2 images for the mapping of *Araucaria angustifolia*.

This research examines the upper canopies of a natural fragment of Mixed Ombrophylous Forest composed mainly of *Araucaria angustifolia* by using 70 mm normal color aerial photographs in three different scales (1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000) and a digital IKONOS-2 satellite image. The area of interest is a Unit of Conservation of IBAMA located in the National Forest of Irati in the county of Fernandes Pinheiro in Paraná state. After the collection of the measurements of diameter of crown (DC) and diameter at breast height (DBH) from 159 Araucária, the final average values were 61cm for DBH and 14.21m for DC and 158.59 m² of crown area. Six mathematical equations were tested for the adjustment of the data of DC as a function of DBH. The best equation, based on the analysis of the coefficient of determination, the standard error of estimate, and the residual graphic, was the parabolic model through the following expression $DC = -7.49366 + ((0.541189 \times DAP) + (-0.00288 \times DAP^2))$. The photointerpretation (3D) was carried out in the three scales of aerial photographs in analogical format thus allowing mapping of Araucária crowns individually or in groups. The results of the photointerpretations were compared among each other by using ten test areas taking into account the polygons (crowns) area delineation, similarity in the shape of the polygons and the number of polygons. The results pointed out a similarity in the shape of the polygons in the three different scales; the number of polygons were 1408, 1198 and 766 for individual or grouped Araucária crowns. Araucária crowns covered 21.32%, 25.59% and 24.54% of the forest for the scales 1:4.000; 1:2.000 and 1:1.000 respectively. Next, the 1:4.000 aerial photographs were used for a more detailed mapping of Araucária crowns in the high resolution IKONOS-2 image. With the bands of the satellite image, it was carried out the color composite RGB and the false color composite NIR/R/G, enhancements, georeferencing and registration of the uncontrolled mosaic of scale 1:4.000 with the satellite image and the segmentation based on the algorithm of growing regions. Then, a visual interpretation (2D) was carried out, on the IKONOS-2 image, in the same ten test areas used before for comparison of photointerpretations. The interpreted polygons area in the IKONOS-2 image was on average 47% larger than that from aerial photographs. The segmentation was performed in an area of approximately 246 ha, similar to the area of the uncontrolled mosaic in scale 1:4.000, where 60 pairs of thresholds, in the sets of color composites RGB and IR/R/G, were evaluated. The pair of thresholds 20 - 100 in the color composite RGB and 40 - 150 in the false-color composite NIR/R/G were the ones that come closer to the referential (delineation in scale 1:4.000) but presented a higher value of Araucária crowns area.

Keywords: High resolution satellite image, Remote Sensing, forest photointerpretation, forest with Araucária.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil detém uma grande diversidade biológica, contando com cerca de 20% do número total de espécies do planeta distribuídas por mais de 8,5 milhões de km², em diferentes biomas terrestres, costeiros e marinhos, produtos da grande variação climática e geomorfológica. Os diferentes biomas encontram-se bastante reduzidos e degradados, devido ao avanço da fronteira agrícola e a extração descontrolada de espécies de interesse econômico, sem a devida reposição (MAZZA, 2006).

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária é um dos mais exuberantes ecossistemas do Brasil. Ela abriga uma das poucas coníferas de ocorrência subtropical no hemisfério Sul do continente americano: a Araucária brasileira, conhecida como pinheiro brasileiro ou Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia* Bertoloni Otto Kuntze). A floresta com Araucária não foi respeitada ao longo do processo de colonização do sul do país, o que levou à redução drástica de sua ocorrência. O processo de geração de riqueza e desenvolvimento econômico experimentado na região foi acompanhado pela dilapidação da maior parte do patrimônio ecológico desse ecossistema. Ao longo do processo histórico de ocupação do sul do Brasil, assistiu-se a uma rápida eliminação de sua cobertura florestal, produto dos ciclos econômicos, particularmente o da exploração da madeira, o do café e, mais recentemente, o da soja (SANQUETTA, 2005).

O bioma da Floresta com Araucária ou Floresta Ombrófila Mista, originalmente distribuía-se numa superfície de cerca de 200.000 km², ocorrendo no Paraná (aproximadamente 40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

No Paraná a área original do bioma, com cobertura vegetal autóctone, estimada em 73.780 km², sofreu uma redução, ao final da década de 70, para apenas 3.166 km², ou seja, cerca de 4,3%. Em 1980, a área de Floresta com Araucária no Paraná foi reduzida para 2.696 km² (IBDF, 1984).

A coleta de informações sobre uma determinada distribuição geográfica (recursos naturais) sempre foi uma parte importante das atividades da sociedade humana. Há poucas décadas atrás, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, impedindo uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o avanço das novas tecnologias de informática (*Software* e *Hardware*), tornou possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento das Geotecnologias.

O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e a pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro produto de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto é assim, que a fotogrametria e a fotointerpretação são termos muito anteriores ao termo sensoriamento remoto. O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 com o significado simplesmente para aquisição de informações sem contato físico com os objetos (NOVO, 2001).

Segundo NOVO (2001), a primeira fotografia de que se tem notícia foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 e já em 1840 o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos. O desenvolvimento foi tão rápido, que já em 1858 o Corpo de Engenharia da França estava utilizando fotografias aéreas tomadas a partir de balões para o mapeamento topográfico de amplas áreas do território francês.

Em 1956 foram iniciadas as primeiras aplicações sistemáticas de fotografias aéreas como fonte de informação para o mapeamento de formações vegetais nos Estados Unidos. No Brasil datam a partir de 1958 as primeiras fotografias aéreas em escala 1:25.000 obtidas com o propósito de levantar características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba (NOVO, 2001).

A obtenção de fotografias aéreas é uma tarefa extremamente importante para o desenvolvimento de projetos de engenharia. O processo de obtenção dessas fotografias é realizado por órgãos governamentais (DSG, IBGE) ou por empresas privadas com tecnologia de ponta. Segundo DISPERATI (2006), as fotografias aéreas de pequeno formato (fotografias obtidas com câmaras 35 ou 70 mm) são utilizadas normalmente em escalas grandes ou muito grandes com a finalidade de suplementar o conteúdo de informação de outras imagens.

Com o lançamento de satélites de alta resolução espacial IKONOS-2 (1999) e QUICKBIRD-2 (2001), novas abordagens em estudos florestais e ambientais tornaram-se possíveis, como diversidade de espécies, distribuição espacial de espécies do dossel, diâmetro de copas, mapear clareiras e monitorar o uso e a cobertura do solo.

Segundo DISPERATI *et al.*, (2007), a imagem de alta resolução permite observar a parte superior da árvore em detalhes, incluindo suas copas, galhos, partes sombreadas entre os galhos etc. A utilização de informações espaciais confiáveis a respeito de uma determinada região (floresta) é fundamental quando se procura identificar os processos físicos que ocorrem e/ou estão ocorrendo na floresta.

LOCH e KIRCHNER (1988) comentam que os produtos de sensoriamento remoto, tanto imagens orbitais como fotografias aéreas contribuem para a identificação e

caracterização dos agentes modificadores do espaço, além de permitir mapeamento e a verificação da extensão e da intensidade das alterações provocadas pelo homem.

A demanda por produtos de origem florestal vem aumentando significativamente nas últimas décadas, levando o manejo florestal a buscar alternativas eficientes que o auxiliem. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento apresentam alternativas eficientes que fornecem subsídios para a otimização de informações advindas do campo, tornando possível a integração destes dados.

1.1 Justificativa

A floresta com Araucária chegou a ocupar 40% da cobertura florestal do estado (quase 200.000 km²), hoje encontra-se reduzida a menos de 3% de sua área original. A integração de produtos como fotografias aéreas e imagem de satélite auxiliarão no mapeamento de cobertura desta espécie, na qual, na área de estudo encontra-se conservada nos últimos 60 anos.

Existem poucos trabalhos fotointerpretativos detalhados que ofereçam o panorama da cobertura de Araucária e a ocorrência destas copas nos estratos superiores da floresta.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o dossel da espécie *Araucaria angustifolia* em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, fazendo uso de fotografias aéreas de grande escala e de imagem orbital de alta resolução (IKONOS-2).

2.2 Objetivos Específicos

- i. Interpretar as copas de Araucárias isoladas e/ou em agrupamentos nas fotografias aéreas em diferentes escalas;
- ii. Analisar o percentual de cobertura para a espécie Araucária no estrato superior da floresta;
- iii. Ajustar modelos matemáticos em função do diâmetro de copa, área de copa e DAP;
- iv. Analisar o nível de contribuição da imagem IKONOS-2 no mapeamento de copas de Araucária;
- v. Interpretar as copas de Araucária na referida imagem, a fim de comparar com os resultados obtidos nas fotos aéreas;
- vi. Analisar a qualidade da segmentação na imagem IKONOS-2, definindo os pares de limiares, a fim de separar a espécie Araucária de outras espécies.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Floresta Ombrófila Mista

A cobertura vegetal constitui o recurso natural mais suscetível à devastação e extermínio, posto que todas as formas de vida dependem do vegetal, sem esquecer a satisfação das inúmeras necessidades humanas. Na região Sul, dois terços da cobertura original constituía-se de florestas que, atualmente, estão reduzidas a cerca de 50.000 km², sendo preservadas a altos custos, compreendendo na maioria Parques e Reservas quase sempre em terrenos de difícil acesso (LEITE, 1994). Com relação ao ecossistema da Floresta Ombrófila Mista, LEITE & KLEIN (1990), comentam que dos 177.600 km² de cobertura original, restavam apenas 20.000 km². Atualmente a cobertura com esse ecossistema encontra-se ainda mais reduzida.

A Floresta Ombrófila Mista é um ecossistema florestal típico da região sul do Brasil, tendo como principal característica a presença da Araucária. Esta tipologia florestal também é conhecida empiricamente como Floresta com Araucária e Mata dos pinhais. O termo Floresta Ombrófila Mista foi inicialmente utilizado por VELOSO e GOÉS FILHO (1982) e adotado pelo IBGE (1992) na classificação fisionômico-ecológica da vegetação brasileira.

Para MAACK (1968), poucas são as formações florestais brasileiras que têm sua fisionomia tão bem caracterizada pela presença de uma espécie vegetal como a Floresta Ombrófila Mista. Neste caso, é a *Araucaria angustifolia* que, em função de seus aspectos morfológicos (copa, folhagem, tronco, etc.) e da posição sociológica que ocupa, facilita grandemente a definição da área de ocorrência desta formação.

Segundo RODERJAN *et al.* (2002), a FOM é uma unidade fitoecológica onde contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina *Araucaria angustifolia* Bertoloni Otto Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico. Compreende 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). Encontra-se predominantemente entre as altitudes de 700 e 1200 m, podendo eventualmente ocorrer acima desses limites.

Para RODERJAN *et al.* (2002), na Floresta Ombrófila Mista Montana (600 a 1200 m de altitude), a *Araucaria angustifolia* forma um estrato dominante e contínuo acima de 30 metros de altura, podendo ocorrer indivíduos emergentes acima de 40 metros. Associadas à

Araucária na sua formação típica, ocorrem diversas espécies lenhosas que predominam na paisagem, dentre as quais se destaca: *Ocotea porosa* (imbuia), *Illex paraguariensis* (ervamate) diversas representantes das famílias botânicas Lauraceae e Myrtaceae, entre outras (LONGHI, 1980).

A *Araucaria angustifolia*, de acordo com KLEIN (1960), é a árvore mais alta da Floresta Ombrófila Mista, cujas copas umbeliformes, verde-escuras, formam uma cobertura arbórea muito característica, distinguindo-se facilmente à distância. Todo contingente florístico desta formação florestal compõe-se de espécies características das regiões vizinhas, tanto da Floresta Estacional quanto da Floresta Ombrófila Densa apresentadas na Figura 1, onde se pode observar que a Floresta Ombrófila Mista é a segunda maior área quantificada no mapa do estado do Paraná.

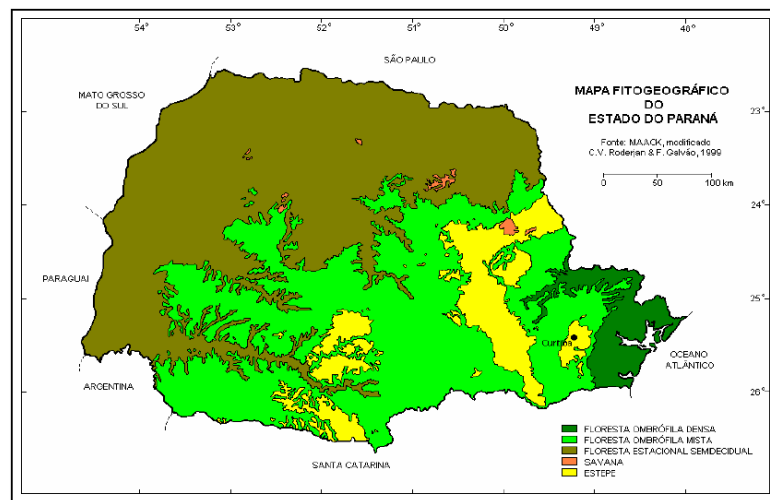


Figura 1 Mapa Fitogeográfico do Estado do Paraná.

(Fonte: MAACK, modificado por RODERJAN e GALVÃO, (1999)).

Conforme PIZATTO (1999), a floresta apresenta uma estrutura vertical com três estratos verticais arbóreos e um herbáceo-arbustivo. Árvores emergentes e esparsas sobrepõem o dossel, consistindo-se basicamente de Araucária.

Embora a *Araucaria angustifolia* apresente predominância no estrato superior da floresta, os estratos médio e inferior possuem grande diversidade de espécies que se regeneram nesse ambiente. Esses estratos são importantes centros de dispersão de um grande número de espécies, principalmente, das pertencentes às famílias *Myrtaceae* e *Lauraceae*, como descrevem RAMBO (1951) e KLEIN (1984). A *Araucaria angustifolia* (Bertoloni Otto Kuntze), “Araucariácea” ou simplesmente Pinheiro-do-Paraná já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente (SOUSA, 2000).

As florestas de Gimnospermas são em geral gregárias, compondo florestas relativamente homogêneas. Mesmo em países tropicais como o Brasil, pode ser observada essa tendência gregária. Embora associados a uma diversificada flora angiospérmica, os pinhais de Araucária também se distinguem pelo elevado número de indivíduos dessa espécie por unidade de área (MARCHIORI, 1996).

A Araucária é uma espécie natural que caracteriza a associação vegetal que ocorre predominantemente no sul do Brasil, denominada Floresta Ombrófila Mista (FOM) e conhecida também como Floresta com Araucária. A Araucária, quando no estágio adulto, possui uma copa de formato quase circular, ocupando os estratos superiores da floresta, com os galhos distribuídos radialmente e com os tufos localizados nas suas extremidades, cujas folhas (acículas) são mais escuras do que das outras espécies nativas. Estas características formam um padrão de copa peculiar que torna a espécie facilmente caracterizada nas fotografias aéreas. Além disso, em floresta natural preservada, a quantidade de copas de Araucária nos estratos superiores pode atingir valores de até 50% de cobertura em área. Desse modo, a Araucária é a espécie florestal ideal para testar a viabilidade, referente ao mapeamento de vegetação, de qualquer produto de sensor remoto (DISPERATI e OLIVEIRA FILHO, 2006).

3.2 O papel da fotografia aérea em estudos florestais

A fotografia aérea é uma técnica de detecção remota de inegável valor em estudos florestais, quer usada independentemente, quer associada à tecnologia mais recente de imagens de satélite de média e alta resolução espacial (LANDSAT, SPOT, ERS, QUICKBIRD, IKONOS, etc.). Tal como referem WARNER *et al.* (1996), foram criadas grandes expectativas relativamente às imagens de satélite, mas na realidade a fotografia aérea continua a ter um papel preponderante em detecção remota.

O meio fotográfico pode ser o filme e/ou suas cópias fotográficas, podendo estar em meio analógico ou digital, as quais registram a energia refletida dos objetos nas partes do visível e/ou do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. A observação e a inferência são partes do fator humano da fotointerpretação: a observação é crítica e fornece os dados brutos para a interpretação e, a inferência é o processo lógico pela qual a observação e a interpretação são feitas. Ambas dependem do treinamento e da experiência, das tendências, da visão natural e das habilidades analíticas do intérprete. O equipamento facilita o processo interpretativo proporcionando meios adequados, entre outros, de observar e de efetuar

medidas na fotografia aérea, assim como transferir o resultado da fotointerpretação sobre a base cartográfica disponível (DISPERATI, *et al.*, 2007).

Para TEMBA (2000), a fotografia analógica é um registro instantâneo dos detalhes do terreno que se determina principalmente pela distância focal da lente da câmara, pela altura de vôo do avião no momento da exposição, pelo filme e filtros usados. A fotografia aérea é uma perspectiva geometricamente relacionada com o tipo de câmara usada; ela pode ser uma fotografia vertical, tirada com o eixo da câmara apontada para baixo (ponto nadir; na vertical, ou uma fotografia oblíqua tirada com o eixo da câmara propositalmente inclinada em relação à vertical do lugar “linha de gravidade”). Os fatores que afetam a imagem fotográfica podem ser divididos em dois grupos:

- a) Influenciados pelo ser humano tais como distância focal da lente, altura de vôo, combinações de filmes, filtros e ângulo da lente e
- b) Influenciados pela ação da natureza, a exemplo a cor dos objetos fotografados, posição de um objeto com respeito ao ângulo de incidência do sol, bruma atmosférica entre outros.

A partir de pares de fotografias aéreas verticais com sobreposição estereoscópica é possível realizar a medição de características físicas de povoamentos florestais (por ex.: a altura total, diâmetro de copa, densidade de copas, etc.), que por sua vez podem se relacionar com outras características do povoamento (por ex.: volume de madeira em pé por hectare) ou serem usadas simplesmente para caracterizar qualitativamente um povoamento florestal (AVERY e BURKHART, 1994).

Para medições com rigor aceitável são necessárias fotografias aéreas com sobreposição estereoscópica mínima de 60% e com escalas superiores a 1:10.000 (CASTRO, 2004; CASTRO *et al.*, 2004, LILLESAND e KIEFER, 1987).

A fotografia aérea de pequeno formato (FAPEF) tem-se revelado um instrumento precioso em numerosos estudos de natureza ecológica, ambiental e florestal, tanto ao nível local como regional (ZSILINSZKY, 1970; SPENCER e HALL, 1988; DISPERATI, 1991; WARNER *et al.*, 1996; LILLESAND e KIEFER, 1999; MARTINS, 2004 “a”), *apud* DISPERATI *et al.*, 2007.

As informações obtidas pelas fotografias aéreas reduzem, complementam ou aperfeiçoam o trabalho de campo, mas não o substituem (AVERY e BERLIN, 1985).

Existem diversas maneiras de dar enfoque ao assunto referente aos tipos de fotografias aéreas. Quanto ao tipo de fotografia aérea, ela pode ser classificada em vertical e inclinada. A fotografia aérea vertical resulta quando o seu eixo ótico está apontado verticalmente,

equivalente à linha do fio do prumo, ou tão próxima quanto possível. É o tipo de fotografia aérea mais utilizada na fotointerpretação.

As fotografias aéreas inclinadas são obtidas como o eixo ótico da câmara fotográfica dirigido, intencionalmente ou não, para qualquer posição entre a horizontal e a vertical. Dependendo da inclinação da câmara, a fotografia aérea pode ser classificada em dois tipos: alta e baixa. Na inclinada alta, a linha do horizonte é mostrada, enquanto que isto não ocorre na inclinada baixa (DISPERATI, *et al.*, 2007).

3.2.1 Escala de trabalho

Um dos aspectos fundamentais em qualquer aerolevantamento é a escala resultante da fotografia aérea. De acordo com LUND (1997), a definição da escala fotográfica para um dado projeto depende da finalidade para a qual será usada e condicionada por questões do formato da câmara e resolução no terreno. As escalas grandes (superiores a 1:5.000) principalmente as muito grandes (superiores a 1:2.000) são usadas para estudos florestais específicos onde se considera a árvore individual e não o talhão florestal como ocorre tradicionalmente com as fotografias aéreas em escala 1:10.000 a 1:30.000. Com as escalas fotográficas muito grandes, os detalhes considerados são as características formadoras das copas das árvores (dimensão e arranjo dos galhos, tipo e grau de cobertura foliar, dentre outros).

A escala e a resolução das fotografias aéreas é que determinam seu valor para uma aplicação particular. Uma foto em pequena escala (1:60.000) fornece uma visão sinóptica e tem baixa resolução espacial, recobrando uma grande área em cada cena. É mais utilizada no estudo da geologia estrutural e em mapeamentos de vastas regiões. As fotografias aéreas em grande escala, por outro lado, fornecem uma visão detalhada com alta resolução espacial, sendo mais indicadas na análise da vegetação e morfologia (CURRAN, 1986).

RAY (1963), diz que a escala da fotografia aérea é decorrente da relação entre a distância focal e câmara e a altura de vôo da aeronave. Entende-se ainda que quando a distância focal aumenta, a escala das fotografias torna-se maior do que outrora, logo para qualquer altura de vôo as câmaras com lentes de distância focal longas podem produzir fotografias de escala maior do que as de distância focal curta. Se uma fotografia for ampliada ou reduzida, a distância focal para esta fotografia será também mudada em proporção direta com o valor da ampliação ou redução.

Segundo CIESLA (1991), a escala das fotografias aéreas a ser obtida no vôo

aerofotogramétrico depende do nível de detalhamento exigido. Comenta ainda que nos Estados Unidos, as escalas mais utilizadas variam de 1:4.000 a 1:24.000. Além dessas, escalas grandes são necessárias para contagem de árvores mortas e danos florestais. Para levantamentos dos tipos florestais e classes de danos, as escalas menores são preferidas.

O grau de atualização dos dados cartográficos no Brasil é: 1:1.000.000 (100%); 1:250.000 (81%); 1:100.000 (75%); 1:50.000 (14%) e 1:25.000 (1%). Boa parte do mapeamento disponível tem mais de 30 anos e o mapeamento em escala urbana não tem diretrizes básicas quanto à padronização. Em 2000, a CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia) retomou seus trabalhos para atender as novas demandas e promover a qualidade e integração dos serviços e produtos cartográficos a níveis Federal, Estadual e Municipal. (Revista InfoGeo, 2006).

A escala de trabalho é outra característica que deve ficar bastante clara para o fotointérprete, principalmente, quando se trata de dados coletados a partir de sensores orbitais (MOREIRA, 2001). Segundo HOLZ (1997), a fotointerpretação visual é realizada manualmente e é dependente da escala das imagens e do conhecimento do fotointérprete sobre a espécie em estudo.

A escala de trabalho nada mais é do que uma ampliação ou redução da imagem sem modificar o seu conteúdo radiométrico, ou seja, o fato de fazer uma ampliação numa área de estudo, por exemplo, da escala 1:250.000 para 1:100.000, não quer dizer que os alvos antes não eram individualizados dentro do “*pixel*”, passam a ser distintos na nova escala (MOREIRA, 2001).

Para MOREIRA (2001), a vantagem da utilização de uma escala maior de trabalho, para fazer interpretação visual de imagens, reside na maior facilidade que o fotointérprete terá para delimitar os diferentes alvos contidos na cena, conseqüentemente, menor erro da área. Além disso, a ampliação da escala facilita a visualização de áreas com respostas espectrais diferentes que, numa escala menor, essa diferenciação seria imperceptível.

Pesquisa envolvendo a comparação de diferentes escalas fotográficas não é comum a nível nacional, mas existem algumas efetuadas nas décadas passadas, época em que a predominância das fotografias aéreas era quase que total em estudos que envolviam alta definição espacial dos objetos. DISPERATI & SKALSKI Jr. (1989) compararam fotografias aéreas em escalas 1:2.000 e 1:8.000, de uma área florestal de 3,8 ha, visando o delineamento de copas de Araucária; baseado nas 145 copas situadas nos estratos dominante, co-dominante e intermediário. O resultado médio da fotointerpretação nas escalas consideradas foi de 62,3 e 12,4%, respectivamente.

MARCHETTI e GARCIA (1982), compararam diversos tipos de fotografias aéreas coloridas, transparência colorida, infravermelho colorida, transparência infravermelho colorida e multiespectrais (canais azul, verde, vermelho e infravermelho), nas escalas 1:3.000 e 1:7.500, visando a identificação de características naturais e culturais; na escala maior (1:3.000) não ocorreu diferenças marcantes entre os fotointérpretes considerados.

3.2.2 Visão estereoscópica

Para KUBOTA e SOUZA (2009), o ser humano vê o mundo com uma visão binocular, esse processo evolutivo surgiu quando os olhos dos animais passaram a ser posicionados na frente da cabeça, o que permite uma visão em profundidade. Esse tipo de visualização é chamado de estereoscópica e propicia ao ser humano dotado de dois olhos, enxergar o mundo em três dimensões. Os olhos do ser humano estão separados em média por uma distância de 64 mm, por isso cada olho enxerga o mundo de uma maneira ligeiramente diferente um do outro. O cérebro ajusta essas duas imagens, fazendo com que o ser humano seja capaz de perceber o mundo em profundidade.

Para constatar essa experiência de que os olhos humanos enxergam em perspectivas diferentes pode-se fazer a seguinte experiência. Colocar qualquer dos dedos a cerca de 13 cm do nariz. Quando se fecha o olho direito nota-se que o dedo está em uma determinada posição, mas quando abre o olho direito e fecha o esquerdo o dedo muda de posição. Isso prova que cada olho vê com diferentes perspectivas. A esse fenômeno é dado o nome de paralaxe.

Segundo WOLF (1983), diariamente há atividades que se mede inconscientemente a profundidade ou julga-se distâncias relativas de um vasto número de objetos em relação a outros. Os métodos de julgamento de profundidade podem ser classificados como estereoscópicos ou monoscópicos. As pessoas com a visão normal, isto é, capazes de ver com ambos os olhos simultaneamente, são ditas com visão binocular, e a percepção de profundidade desta forma é denominada de visão estereoscópica. Já a visão monocular é o termo aplicado para a observação com apenas um dos olhos e o método de julgamento de distância é denominado monoscópico.

A estereoscopia está intimamente ligada à fotogrametria e fotointerpretação. Estereoscopia permite a visão em terceira dimensão e o estudo dos métodos que tornam possíveis esses efeitos. A sua aplicação está no uso das fotografias em instrumentos óticos, com o propósito da observação e obtenção de medidas dignas de confiança (MARCHETTI e

GARCIA, 1982).

JENSEN (2007) cita que a fotografia aérea capta um registro preciso das posições dos objetos na cena no momento da exposição. Caso sejam adquiridas múltiplas fotografias ao longo de uma linha de vôo, registram-se imagens da paisagem a partir de diferentes pontos de perspectiva.

Fotografia aérea com sobreposição (usualmente com 60% de sobreposição) obtidas em sucessivas exposições ao longo de uma linha de vôo apresentam paralaxe estereoscópica. Os instantes de exposição são separados por amplas distâncias. Contudo, é possível permitir aos nossos olhos visualizarem as fotografias como se eles estivessem presentes nas duas posições de exposição no instante da aquisição. Isso resulta em uma condição hiperestereoscópica que permite a visualização do terreno em três dimensões. Normalmente, fotografias aéreas estereoscópicas são visualizadas por meio de estereoscópios de lentes ou de espelhos com lentes de aumento. Esses instrumentos realçam a natureza tridimensional do modelo estereoscópico (JENSEN, 2007).

3.2.2.1 Métodos de visualização estereoscópica

Conforme JENSEN (2007), o fotointérprete pode visualizar o modelo estereoscópico com exagero vertical referente a área de 60% de sobreposição estereoscópica de suas fotografias aéreas sucessivas usando um dos quatro métodos listados a seguir:

- 1) Mantendo as linhas de visão paralelas com o auxílio de um estereoscópio;
- 2) Mantendo as linhas de visão paralelas sem o auxílio do estereoscópio;
- 3) Cruzando a visão e revertendo a ordem das imagens estereoscópicas e
- 4) Usando óculos anaglíficos ou polarizados.

A imensa maioria dos analistas de imagem prefere usar um simples estereoscópio de lentes ou de bolso ou estereoscópio de espelhos, que auxiliam os olhos a manterem as linhas de visão paralelas e adicionalmente ampliam as fotografias. Isto produz algum tipo de estresse ocular. Sugere-se que intérpretes novatos apenas visualizem fotografias em estéreo de 10 a 15 minutos por vez, quando os olhos ainda estão se acostumando a usar o estereoscópio.

Algumas pessoas são adeptas da prática de forçarem seus olhos a permanecerem paralelos e não necessitam, portanto, do uso do estereoscópio. Elas simplesmente colocam sobre posição as duas fotografias estereoscópicas lado a lado, posicionam a cabeça a cerca de 20 cm das fotografias e então deixam seus olhos relaxarem como se estivessem olhando para o infinito. Gradualmente, a mente irá fundir as duas imagens estereoscópicas em uma

terceira imagem diretamente no meio das duas fotos estéreas. Esta é uma excelente habilidade a se conquistar, uma vez que se pode facilmente visualizar fotografias estereoscópicas sem um estereoscópio, sempre que houver necessidade. Isto é, particularmente útil quando se realizam trabalhos de campo. Entretanto, este não é um procedimento natural para os olhos e pode ser desconfortável e causar estresse ocular (JENSEN, 2007).

Uma outra forma de assegurar que o olho esquerdo e o direito visualizem imagens distintas é usar óculos *anaglíficos* ou *polarizados* conjuntamente com materiais de imagem específicos. É possível produzir fotografia aérea em que a imagem esquerda é gerada em tons sombreados de azul e a imagem direita é projetada em tons sombreados de vermelho. O analista usará então óculos anaglíficos com lentes vermelha (esquerda) e azul (direita). A mente funde as duas visualizações e cria uma cena tridimensional. Do mesmo modo, é possível visualizar as fotografias esquerda e direita através de óculos polarizados especialmente fabricados para este fim (KONECNY, 2003).

3.3 Fotointerpretação florestal

A atividade florestal é realizada em extensas áreas contíguas ou não, abrangendo muitas vezes regiões de difícil acesso. A necessidade da utilização racional do espaço geográfico conduz a obtenção e a análise de produtos de sensores remotos e conseqüentemente aos mapeamentos topográficos e temáticos (DISPERATI, 2007).

Segundo QUACKENBUSH Jr. (1960), a fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados. Apesar de ser uma definição aceita no meio especializado, ela é muito simples por não incluir alguns aspectos importantes que ocorrem no processo.

AVERY e BERLIN (1985) comentaram que pelo fato de a fotointerpretação envolver uma considerável quantidade de julgamento subjetivo, ela é considerada mais como uma arte do que uma ciência exata, ela é arte e ciência, enfim, ambas.

Comentado por ANDERSON (1982), a fotointerpretação é uma técnica e não uma disciplina, como a geologia, a agronomia, etc. Como técnica, ela precisa estar ligada a, pelo menos, um ramo profissional. Assim, o profissional em fotointerpretação chamar-se-á fotogeólogo, fotogeógrafo, engenheiro florestal ou agrônomo especializado em fotointerpretação, etc. Provavelmente, nunca será chamado simplesmente de fotointérprete. Logo, a fotointerpretação engloba um conjunto de técnicas que se aplica tanto a fotogeologia,

quanto a fotoecologia, aos estudos de zonas urbanas e tantos outros. Esse elenco de técnicas constitui a base da Fotointerpretação.

Para DISPERATI (2007), muitas vezes o intérprete necessita extrair informações quantitativas das fotografias aéreas. Exemplos referem-se às linhas e aos polígonos fechados delineados na interpretação, os quais apresentam um significado real e que estão referenciados à tipologia adotada. O conhecimento do comprimento dessas linhas e da área ocupada por esses polígonos fechados é fundamental na avaliação quantitativa dos temas considerados. Exemplos específicos dessa extração de informações dizem respeito ao comprimento de segmentos de rios e de estradas, de áreas de talhões de reflorestamentos, área de copa de árvore, área do plantio agrícola, etc. Um dos resultados importantes em qualquer mapeamento temático vem a ser a área (total e individual) dos temas considerados e as suas respectivas porcentagem em relação à área total considerada.

Para TENG (1997), os resultados quantitativos e qualitativos da fotointerpretação são melhor anotados e registrados como mapas. Para elaboração dos mapas temáticos, os intérpretes costumam transferir os detalhes da fotointerpretação sobre uma base cartográfica, usualmente extraída de mapas planimétricos ou topográficos disponíveis e que sejam confiáveis.

Nesse amplo espaço geográfico de ocorrência, a flora arbórea da FOM é superior a 350 espécies (LEITE, 1994). Para o estado do Paraná, estima-se que o número seja um pouco menor, algo em torno de 200 espécies, com um endemismo em torno de 40% (RODERJAN *et al.*, 2002). Ressalta-se que deste total apenas algumas dezenas chegam a compor o dossel superior da floresta, possibilitando a visualização de suas copas nas fotografias aéreas.

3.4 Sensoriamento remoto

A ciência do sensoriamento remoto consiste na interpretação das medidas da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície de um objeto distante (MATHER, 1999).

NOVO (1992) define o sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre pelo registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Os sistemas sensores são formados, basicamente, de uma parte ótica (coletor), constituída por lentes e espelhos, que tem o objetivo de captar e direcionar a energia

proveniente dos alvos para os detectores. Quando o sistema sensor emite radiação e após ter interagido com o alvo, capta a parte que voltou, o sistema é denominado ativo, por possuir sua própria fonte de radiação (MOREIRA, 2001).

Dentro desse contexto, as aplicações das imagens de satélites são muito grandes, pois devido ao seu aspecto multitemporal (dinâmico) e sinóptico (de conjunto) possibilitam o estudo e o monitoramento tanto de fenômenos naturais como antrópicos e que não são estáticos, mas que estão em constante transformação no tempo e no espaço, como por exemplo: inundação, vulcanismo, erosão, desmatamento, contaminação e poluição das águas, assoreamento de rios e lagos, descaracterização de paisagens, queimadas, formas de ocupação geoeconômicas, etc. (FLORENZANO, 2002).

Segundo MOREIRA (2005), para o sensoriamento remoto, a energia solar é a base de todos os princípios em que se fundamenta essa tecnologia. Desta forma, a função de um sensor remoto consiste em captar e medir a quantidade de energia refletida e/ou emitida por alvos, e assim obter informações sobre a natureza e/ou condições destes alvos, de maneira a associá-los com o mundo real (CENTENO, 2003). As informações geradas são obtidas através da interação da radiação eletromagnética emitida por fontes naturais (Sol) ou artificiais (Radar) com estes alvos.

Independente de sua fonte, toda a radiação detectada por sensores remotos passa através da atmosfera. Porém, a extensão percorrida através das camadas pode variar bastante. Assim, o efeito da atmosfera no sensoriamento remoto pode ser diferenciado das variações de extensão percorrida pela radiação, bem como das condições atmosféricas presentes e dos comprimentos de onda envolvidos no processo (LILLESAND e HIEFER, 1999).

Quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para obtenção de informações da cobertura vegetal de uma região, deve-se levar em consideração a interação da energia solar com a vegetação. Esta interação se dá principalmente através dos pigmentos contidos nas folhas. A clorofila, por exemplo, absorve bem a energia na faixa de comprimento de onda entre 0,45 e 0,67 μm . Porém, há uma diferenciação de absorção entre a clorofila “a” e “b”, apesar de sua estrutura ser basicamente a mesma. A clorofila “a” não absorve a luz da região do verde, enquanto a curva de absorção da clorofila “b” é deslocada em direção a luz verde, mais ou menos até 0,53 μm (MOREIRA, 2005).

Conforme o espectro eletromagnético se direciona do visível ao infravermelho próximo, em torno de 0,7 μm , a reflectância da vegetação saudável aumenta fortemente. A reflectância captada da vegetação entre 0,7 e 1,3 μm é um resultado da estrutura interna das folhas (LILLESAND e KIEFER, 1999). Por isso, sensores que trabalham nesta faixa de

comprimento de onda, conseguem captar alterações ocasionadas por algum tipo de estresse. Outro dado interessante é que a reflectância no infravermelho próximo aumenta com o número de camadas de folhas em uma copa (BAUER *et al.*, *apud* MOREIRA, 2005), podendo servir de identificação do estágio de desenvolvimento da vegetação.

3.4.1 Satélites e sensores

De origem latina (*satelles*, *satellitis*), a palavra satélite é empregada na literatura portuguesa, com vários significados. Segundo FLORENZANO (2002), satélite é um objeto que se desloca em círculos em torno de um outro objeto, podendo ser natural ou artificial. Em sensoriamento remoto, satélite artificial é definido como um engenho colocado em órbita pelo homem à volta de um planeta ou até mesmo de um satélite natural (MOREIRA, 2005).

Mesmo tendo funções semelhantes, os satélites artificiais são agrupados em categorias, de acordo com os objetivos para os quais foram criados, sendo eles militares, científicos, de comunicação, meteorológicos e os de recursos naturais ou de observação da Terra (MOREIRA, 2005).

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de tabelas. Um sistema sensor é constituído basicamente por um coletor, que pode ser um conjunto de lentes, espelhos ou antenas, e um sistema de registro (detector) que pode ser um filme ou outros dispositivos e um processador (MOREIRA, 2001).

Existem diversos tipos de sensores que dependendo de sua aplicação são gerados distintos produtos com diferentes qualidades. Os satélites da série Landsat, por exemplo, possuem os sensores MSS e TM. O sensor MSS opera com quatro bandas, duas na região do visível, uma na região do infravermelho próximo e uma na região do termal. O sensor TM opera com sete bandas, três na região do visível, três na região do infravermelho refletido e uma na região do termal (MOREIRA, 2005). Já o IKONOS-2 possui um sensor de alta resolução espacial e opera em cinco baixas espectrais, gerando dois tipos de imagem. A imagem multiespectral é uma composição colorida, possui quatro bandas, três na região do visível e uma na região do infravermelho próximo. Já a imagem pancromática é uma composição em níveis de cinza e possui uma única banda, mas que opera com uma resolução espectral que vai desde o visível ao infravermelho próximo.

MOREIRA (2001) diz que a região do visível compreende toda radiação

eletromagnética da faixa espectral de 400 a 700 nm. A maior parte dessa radiação que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo das folhas. Nesta faixa espectral, tanto a reflectância quanto a transmitância das folhas são menores do que 15%, porém a refletância apresenta um pico máximo de 555 nm de sensibilidade espectral fotópica do olho humano.

MOREIRA (2001) comenta que a região do infravermelho é constituída de radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda situam-se na faixa espectral entre 700 nm e 1 mm. Esta região é dividida em três partes: 1- infra-vermelho próximo (700 nm a 1300 nm); 2- infra-vermelho médio (1300 nm a 2500 nm) e 3- infra-vermelho distante (2500 nm a 1 mm). O satélite IKONOS-2 apresenta uma banda espectral (infravermelho próximo 760 – 900 nm) no qual as plantas refletem mais energia graças à estrutura interna das folhas. Geralmente, são utilizados os dados espectrais das faixas do vermelho e do infravermelho próximo, graças à relação inversa entre a refletância da vegetação nessas duas faixas, ou seja, baixa refletância na faixa do vermelho e alta refletância na faixa do infravermelho próximo. Quanto maior o contraste entre as refletâncias nas duas faixas, maior o índice e mais vegetação sadia estará presente (PARISE, 2005).

3.4.2 Imagens de satélite

O desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto orbital teve seu início na década de sessenta nos Estados Unidos e tinha como objetivo auxiliar na pesquisa científica aplicada à agricultura, floresta, geologia e água. Inicialmente com o nome ERTS (Earth Resources Technology Satellite), o programa LANDSAT se tornou realidade com o lançamento do primeiro satélite (LANDSAT-1), em julho de 1972, com dois tipos de sensores à bordo: o RBV (Return Beam Vidicon) e o MSS (Multispectral Scanner Subsystem). O primeiro foi planejado para aplicações cartográficas enquanto que o segundo foi planejado para análises espectrais de feições terrestres. As mesmas características foram mantidas para os dois satélites seguintes, LANDSAT 2 e 3 lançados em 1975 e 1978, respectivamente (MORAIN, 1998).

Por serem imagens de média resolução, as imagens LANDSAT possibilitam ter uma visão geral da superfície, podendo gerar mapeamentos de cobertura vegetal compatíveis com a escala 1:50.000 (LILLESSAND e KIEFER, 1999). Porém, nesta escala, é dificultada a definição mais precisa dos limites do processo de mudança e, conseqüentemente, a definição

de parâmetros operacionais que permitam ações objetivas na solução de problemas locais (SMAC, 2000).

A década de noventa foi marcada pela melhoria dos programas já existentes e o surgimento de uma nova geração de satélites com sensores capazes de obter melhor resolução espacial abrindo, assim, a possibilidade de estudos mais detalhados das feições da terra. Exemplos desses programas são o IKONOS e o QUICKBIRD que geram imagens com resoluções espaciais de até 1 x 1 m em determinados canais (JENSEN, 2000).

Vale ressaltar que a década de noventa foi importante devido ao surgimento de cooperações entre países emergentes como o Brasil e a China, que lançaram o programa CBERS criando, dessa forma, a possibilidade de aquisição de imagens digitais com menor custo para os usuários (MORAIN, 1998). Ainda nessa mesma década, foram lançados os satélites LANDSAT 6 e 7 carregando o sistema sensor ETM. O LANDSAT 6 não chegou a entrar em órbita devido a um problema no lançamento enquanto que o LANDSAT 7, lançado em 1998, obteve sucesso e apresenta resolução espacial de 15 x 15 m com baixo custo quando comparado à outros sistemas.

Para MORAIN (1998), o surgimento da tecnologia de sensoriamento remoto orbital promoveu uma nova compreensão na investigação das ciências ligadas ao ambiente. Atualmente, é possível o desenvolvimento de estudos em diversas escalas geométricas o que, certamente, poderá ajudar na conservação dos recursos naturais nas diferentes regiões do planeta. Desta forma, o Sensoriamento Remoto apresenta-se como uma importante alternativa para estudos integrados envolvendo as mais diversas áreas de pesquisas.

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 o formato digital gráfico, podendo ser lida e manipulada por sistemas de processamento digital (CRÓSTA, 1992).

3.5 Características espectrais da vegetação

Uma folha verde sadia intercepta o fluxo radiante incidente direto proveniente do Sol ou da radiação difusa espalhada sobre a folha. Esta energia eletromagnética interage com os pigmentos, água e espaços intercelulares internos da folha vegetal. A quantidade de fluxo radiante refletido da folha, a quantidade de fluxo radiante absorvido pela folha e a quantidade

de fluxo radiante transmitido através da folha, podem ser cuidadosamente medidos se aplicados à equação do balanço da energia e continuarmos acompanhando o que acontece com toda a energia incidente (JENSEN, 2007).

Na região do infravermelho próximo, o comportamento da radiação eletromagnética, quanto à reflexão, transmissão e absorção é denominado pelas propriedades óticas da folha, que dependem das estruturas celulares internas. Além disso, há também uma contribuição indireta do conteúdo da água da folha. Nessa região espectral, a absorção é muito baixa (menos de 15%) e a refletância pode chegar até 50%, dependendo da estrutura anatômica das folhas (TUCKER e GARRATT, 1977). No mesófilo foliar, ocorrem múltiplas reflexões e refrações da radiação eletromagnética, associadas à descontinuidade entre os índices de refração do ar (1,0) e das paredes celulósicas hidratadas (1,4).

Para esta região do espectro eletromagnético, a evidência do mecanismo de reflexão interna nas folhas é muito forte. Este fato é evidenciado pela drástica redução da refletância de uma folha infiltrada por água. A água preenche as cavidades de ar, formando um líquido no interior da folha. Com isso, ocorre uma diminuição das diferenças no índice de refração do ar e da parede celular hidratada na folha, aumentando assim a transmitância da mesma (KNIPLING, 1970, *apud* MOREIRA, 2001).

3.6 Características do satélite IKONOS-2

ROSA (2005) comenta que existe uma grande variedade de satélites artificiais utilizados atualmente, dentre os quais podemos destacar: militares, telecomunicações, navegação, científicos, meteorológicos e de sensoriamento remoto terrestre. Dentro destas inúmeras aplicações apresentamos algumas características do satélite de sensoriamento remoto terrestre IKONOS-2.

O satélite IKONOS-2 foi lançado no dia 24 de setembro de 1999, e está operacional desde o início de janeiro de 2000. A *SPACE IMAGING* desenvolveu o programa IKONOS com o objetivo de fornecer informação com qualidade e rapidez superiores aos padrões atuais de mercado. Vendidos pela companhia CARTERRA, esses produtos constituem recurso para entidades governamentais, agentes comerciais e cidadãos, que assim tem a sua disposição ferramentas para compreender mais profundamente o meio onde se inserem (ROSA, 2005).

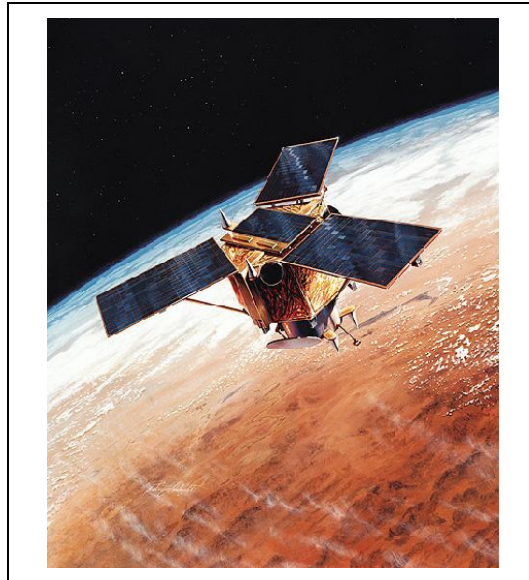


Figura 2 Foto do Satélite IKONOS-2.

(Fonte: SPACE IMAGING).

O que era usado como sendo imagens de alta resolução para fins militares está agora comercialmente disponível para aplicações civis. As principais características técnicas do Satélite IKONOS-2 e de seus produtos estão apresentados no quadro 1 abaixo:

Quadro 1 Características do Satélite IKONOS-2.

Descrição Técnica do Satélite IKONOS-2.	
Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7 km/s
Sentido da Órbita	Descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol – síncrona
Resolução espacial	Pancromática: 1m Multiespectral: 4m
Bandas Espectrais	Pan 0,45 – 0,90 um Azul 0,45 0 0,52 um Verde 0,52 – 0,60 um Vermelho 0,63 – 0,69 um Infravermelho próximo 0,76 – 0,90 um
Imageamento	13km na vertical (cenas de 13 x 13km)
Capacidade de Aquisição de imagens	Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km Mosaicos de até 12.000km ² 20.000km ² de área imageada numa passagem
Frequência de Revisita	2,9 dias no modo Pancromático 1,5 dias no modo Multiespectral Esses valores valem para altitudes de +/- 40°. A frequência de revisita para latitudes maiores Será menor, e maior para latitudes perto do Esquedor

(Fonte: ENGESAT).

As imagens geradas pelo satélite IKONOS-2 possuem uma resolução espacial de 1 metro (pancromático) e 4 metros (multiespectral). Aquisição das imagens com resolução radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza) aumenta o nível de contraste e de discriminação das imagens, inclusive em áreas sombreadas. Outras imagens de satélites, como SPOT, CBERS, IRS, ou LANDSAT, têm resolução radiométrica de 8 bits (1 byte) ou 256 níveis de cinza, portanto o nível de detalhamento radiométrico é menor que as imagens geradas pelo IKONOS-2 (CERQUEIRA, 2003).

Segundo CERQUEIRA (2003), o satélite IKONOS-2 segue uma órbita de aproximação polar, repetitiva, circular e síncrono-solar, o que garante uma cobertura completa da terra. O sensor pode se inclinar para adquirir imagens em até 700 km para cada lado de sua órbita (para frente e para trás e para os dois lados, com ângulo de incidência máxima de 26° fora do ponto Nadir), permitindo a revisita, com diferentes ângulos e resoluções, de quase qualquer ponto da terra com uma média de 1,5 dias (resolução de 2 m). Uma média de revisita a cada 2,9 dias pode fornecer resolução de dados de 1 m, cobrindo uma distância de até 300 km para cada lado da órbita (ângulo de +/- 10°).

3.6.1 Aplicações das imagens satelitárias IKONOS-2

A alta resolução do IKONOS muda até o modo de usar as imagens de satélites por ele geradas, pois se em imagens de média ou baixa resolução um *pixel* continha vários objetos, agora, um objeto é composto de vários *pixels*, aumentando o nível de detalhamento dos objetos.

Para SPRING (2008), os produtos obtidos a partir da imagem IKONOS tem capacidade para ser ampliado com qualidade até 1:2.500, sendo que irá oferecer a precisão cartográfica correspondente somente se corretamente processado.

São inúmeras as aplicações potenciais que vão se tornar reais utilizando as imagens IKONOS:

- a) GIS (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente);
- b) Cadastro urbano e rural;
- c) Apoio em GPS;
- d) Uso e ocupação do solo (urbano e rural);
- e) Meio Ambiente em escalas grandes;
- f) Arquitetura/ Urbanismo/ Paisagismo;
- g) Fundiário (regularização de propriedades, demarcação de pequenas glebas);
- h) Engenharia (simulações mais realistas) em escalas da ordem 1:5.000 até 1:2.500;

- i) Agricultura convencional e Agricultura de Precisão;
- j) Florestal (estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável, censo de árvores);
- k) Turismo (identificação de locais específicos, mapas de localização de atrativos turísticos);
- l) Perícias em questões ambientais.

3.7 Abordagens de tratamento da imagem IKONOS-2

3.7.1 Resolução espacial

A resolução espacial indica o tamanho do menor objeto que é possível representar na imagem. Formalmente é definida como a menor separação angular ou linear que um sensor pode diferenciar, medido em linhas por milímetro, metros ou estereos radianos.

No caso de sensores ativos do tipo radar, a resolução está diretamente relacionada com a altura da plataforma, o raio de abertura da antena e o comprimento de onda emitido.

A resolução espacial de uma imagem determinará o tipo de aplicação na qual pode ser utilizada, em função da escala de trabalho e/ou do grau de detalhamento desejado da superfície terrestre. As feições da superfície terrestre são representadas de forma diferente em imagens de resoluções espaciais diferentes, isto permite a caracterização da superfície de acordo com a quantidade de informação apropriada para aplicações com escalas diferentes.

A resolução espacial refere-se à habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. Esta habilidade baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definindo a sua área do campo de visada do instrumento numa certa altitude e num determinado instante. Os sensores heliosíncronos têm uma altitude fixa com relação à superfície terrestre, que corresponde ao tamanho da unidade mínima de informação da imagem, denominada de *pixel* (de *picture element*, em inglês), ou “*dot*”, (VINCENT, *et al.*, 1996).

Quanto maior a resolução espacial, maior o nível de detalhes perceptíveis na imagem, desde que o sinal de saída de um detector esteja relacionado com a média da energia radiante dentro da área projetada (MELO, 2002).

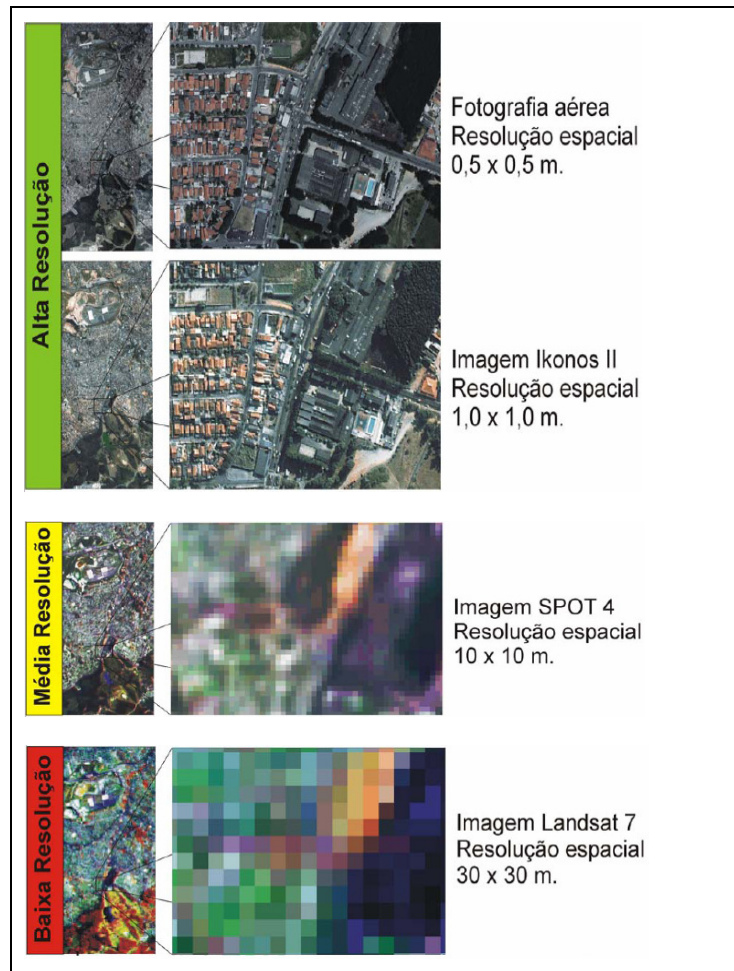


Figura 3 Imagem de alta, média e baixa resolução espacial.

Fonte: MELO, (2002).

3.7.2 Resolução Espectral

A resolução espectral é um conceito próprio para os sistemas sensores denominados de multiespectrais. Segundo NOVO (1988), resolução espectral é “*uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno*”. Para melhor compreender este conceito, JENSEN e JACKSON (2001), destacam dois pontos importantes: o comprimento de onda detectado pelo sensor e a quantidade de faixas espectrais.

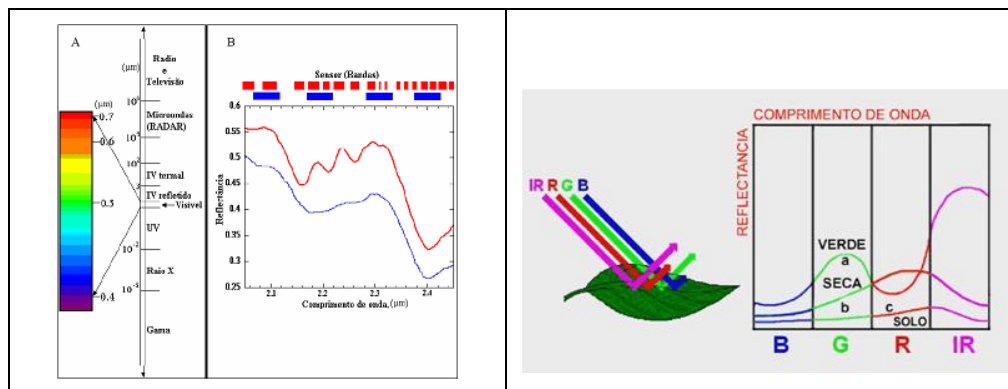


Figura 4 1) Espectro Eletromagnético (A) e Resolução espectral (B); 2) Comprimento de onda x Refletância nas bandas multiespectrais (IR/R/G/B).

FONTE: adaptada de RAMSEY (2001, online) e JENSEN e JACKSON (2001, online).

3.7.3 Resolução radiométrica

Refere-se à capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. A radiância de cada *pixel* passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de *Número Digital* (ND). Este valor é facilmente traduzido para uma intensidade visual ou ainda a um nível de cinza, localizado num intervalo finito (0, K-1), onde K é o número de valores possíveis, denominados de níveis de quantização (SCHOWENGERDT, 1983). Como o número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza, o seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo, 8 bits significam $2^8 = 256$ níveis de cinza.

Quadro 2 Relação do número de bits e níveis de cinza de uma imagem.

Imagem	Expressão	Níveis de Cinza
1 bit	2^1	2
2 bits	2^2	4
4 bits	2^4	16
6 bits	2^6	64
7 bits	2^7	128
8 bits	2^8	256
11 bits	2^{11}	2.048
16 bits	2^{16}	65.356

Fonte: Adaptado de (MELO, 2002).

A utilização de imagens de alta resolução radiométrica possibilita a visualização e identificação de alvos em locais de alta ou baixa frequência radiométrica. A imagem de 11

bits permite notar uma grande diferença na turbidez da água, e também separar bem a água da margem rio; enquanto que na imagem de 8 bits, a água apresenta muito reflexo, o que dificulta ver a turbidez da água, além de não se conseguir distinguir a margem do rio. Deve-se ressaltar que muitos programas de tratamento digital de imagens fazem uma reamostragem dos valores das imagens de 11 bits para 8 bits.

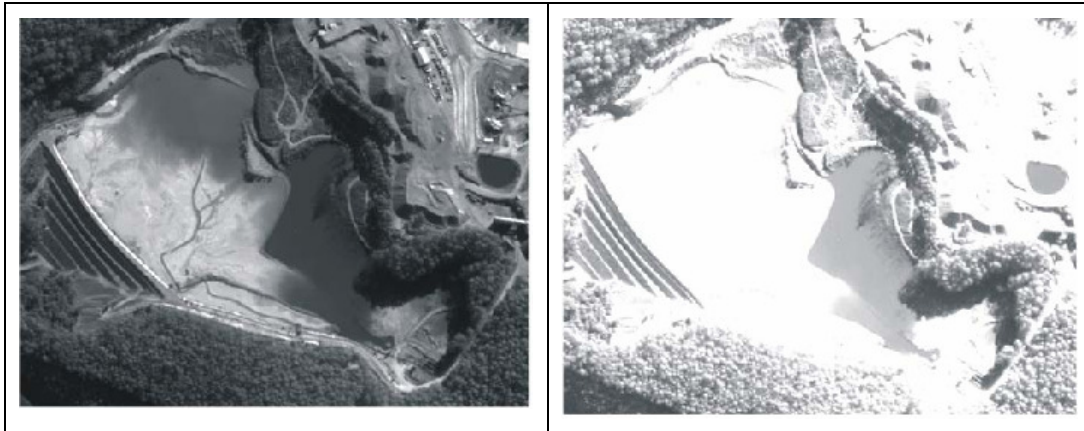


Figura 5 Comparação entre duas imagens de resolução radiométrica diferentes: a) Imagem 11 bits = $2^{11} = 2048$ níveis de cinza; b) Imagem 8 bits = $2^8 = 256$ níveis de cinza.

Fonte adaptada de MELO, (2002).

3.7.4 Resolução temporal

Este conceito refere-se à frequência de passagem do sensor num mesmo local, num determinado intervalo de tempo. Este ciclo está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação), e ao ângulo total de abertura do sensor. A resolução temporal é de grande interesse especialmente em estudos relacionados a mudanças na superfície terrestre e no seu monitoramento.

O relacionamento entre ambas as resoluções (temporal e radiométrica) permite que cada sistema de sensoriamento remoto tenha características particulares em função de sua finalidade. No entanto, a melhoria em qualquer uma destas resoluções significa um aumento no volume de dados a serem processados. Este aumento ocorre tanto para os usuários como para a estação de recepção em Terra e para o satélite (MELO, 2002).

3.8 Pré-processamento de imagens

A utilização de técnicas de pré-processamento constitui uma das etapas mais importantes no processamento digital, com a finalidade de corrigir as imagens brutas quanto a distorções radiométricas e geométricas. É conveniente que ruídos ou outras imperfeições intrínsecas às cenas sejam removidas ou atenuadas antes da aplicação de técnicas de realce. Muitas vezes, as imperfeições são inerentes e dependentes do sistema sensor utilizado para gerar a imagem digital. Isto faz com que algoritmos específicos para remoção ou redução de ruídos sejam desenvolvidos, dependendo do tipo de ruído presente. Embora alguns tipos de distorções sejam corrigidos na estação de recepção de imagens, há ainda necessidade de realizar algumas correções antes da fase de processamento de imagens propriamente dita, (FONSECA, 2002).

Conforme JENSEN (1986), o pré-processamento refere-se à restauração quantitativa da imagem na qual são aplicadas operações para a correção de imperfeições geométricas, radiométricas e/ou ruídos que aparecem no processo de aquisição da imagem. Se estes erros não forem corrigidos, pode-se ter uma imprecisão no processamento final da imagem e como consequência limitações na qualidade do resultado. Portanto, o pré-processamento é a fase preparatória na qual a qualidade da imagem é aprimorada para a sua análise, durante a qual são extraídas as informações de interesse.

3.9 Processamento de imagens

Em sensoriamento remoto, as imagens obtidas por sensores eletrônicos, em bandas ou canais diferentes, são individualmente produzidas em preto e branco (tonalidades de cinza). A quantidade de energia refletida pelos alvos terrestres (objetos) é que determina a sua representação nessas imagens em diferentes tons de cinza, variando entre o branco, quando refletem toda a energia, e o preto, quando absorvem toda a energia. É possível gerar imagens coloridas ao projetar e sobrepor essas imagens originais, através da utilização de filtros coloridos azul, verde e vermelho (FALCÃO, 2004).

O processamento de imagens consiste de técnicas que possibilitem a visualização e a extração de informações específicas. De acordo com o CCRS (2001), há dois tipos de técnicas: realce e transformação.

3.10 Registro de imagens

Segundo OLIVEIRA (2002), as imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, não apresentando, portanto, uma cartografia adequada quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Para que estas imagens adquiram a precisão cartográfica exigida, faz-se necessário estabelecer uma relação entre coordenadas da imagem e coordenadas geográficas por meio de registro.

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem (linhas e colunas) com coordenadas de uma sistema de referência.

Segundo D'ALGE (2001), o modelo polinomial consiste de uma função polinomial cujos parâmetros são determinados a partir das coordenadas de pontos de controle identificados tanto no sistema de referência da imagem como no sistema de referência da base de dados. É o modelo disponível em quase todos os sistemas para o registro de imagens. Como se trata de um modelo que não usa informações inerentes à aquisição da imagem e nem faz distinção sobre o *status* ou nível de correção geométrica da imagem, muitos autores não consideram como um modelo de correção geométrica e preferem referir-se a ele como um modelo de registro. O desempenho deste modelo depende de uma boa distribuição dos pontos de controle, da precisão das coordenadas de controle e, o mais importante, da adequação da função polinomial escolhida ao que se pretende modelar.

3.10.1 Reamostragem (interpolação)

A reamostragem é a última etapa do processo de correção geométrica. Ela usa a informação sobre níveis de cinza conseguidos pelo mapeamento inverso e realiza uma interpolação para definir os valores de níveis de cinza que compõem a imagem corrigida. Os métodos mais tradicionais de reamostragem são: vizinho mais próximo, que usa o nível de cinza mais próximo ao resultado do mapeamento inverso, bilinear, que usa três interpolações lineares sobre os quatro pixels que cercam o resultado do mapeamento inverso, duas ao longo das linhas e uma na direção das colunas; convolução cúbica que cercam o resultado do mapeamento inverso, quatro ao longo das linhas e a quinta na direção das colunas.

O uso de transformações polinomiais de 1º e 2º graus são bastante comuns no registro de imagens. As transformações polinomiais fazem o vínculo entre as coordenadas de imagem e as coordenadas do sistema de referência (geográficas ou de projeção) através de pontos de controle. Pontos de controle são feições passíveis de identificação na imagem e no terreno, ou

seja, são feições homólogas cujas coordenadas são conhecidas na imagem e no sistema de referência. Cruzamentos de estradas, pistas de aeroportos e confluência de rios são candidatos naturais a pontos de controle.

A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser elaborado, as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas tanto na imagem de ajuste como no sistema de referência. As coordenadas de imagem (linhas e colunas) são obtidas quando o usuário “clica” sobre a feição na imagem. As coordenadas de referência são usualmente obtidas através de mapas confiáveis que contenham as feições homólogas usadas como pontos de controle. Os vários sistemas disponíveis também aceitam medições feitas diretamente no terreno (GPS), dados vetoriais existentes e imagens georreferenciadas como fontes de extração de coordenadas de referência.

Uma vez determinados os n pontos de controle e selecionados a transformação polinomial, um sistema de $2n$ equações é mostrado para resolver 6 ou 12 parâmetros dependendo do polinômio ser de 1º ou 2º grau. Assim, conclui-se que o número mínimo de pontos de controle é de 3 para o polinômio de 1º grau e 6 para o polinômio de 2º grau. O número mínimo de pontos de controle representa a situação de um sistema de equações determinado, no qual o número de equações coincide com o número de incógnitas a calcular. Entretanto, como as coordenadas medidas dos pontos de controle estão sujeitas a erros, convém usar um número de pontos maior que o mínimo. Nesse caso, trabalha-se com um sistema de equações sobre-determinado, que tem mais equações que incógnitas e permite tratar e distribuir os erros de medição dos pontos de controle. Em termos práticos aconselha-se o uso de 6 pontos de controle para o polinômio do 1º grau e 10 pontos de controle para o polinômio de 2º grau. Deve-se ter em mente também que a distribuição dos pontos de controle na área a ser registrada é de suma importância, pois as transformações polinomiais tendem a se comportar adequadamente apenas na região onde se encontram os pontos de controle (D'ALGE, 2001).

3.11 Composição colorida

A maneira de visualizar dados espectrais usando um computador é associar às leituras do contador digital em diferentes bandas as intensidades de cor no monitor, associando à energia refletida dos objetos aos níveis de cinza ou tonalidades. O monitor representa as cores pela combinação aditiva das cores básicas: vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue), do

que decorre o nome RGB (Red, Green, Blue). Qualquer cor a ser representada na tela deve ser o resultado da combinação destas três cores básicas (CENTENO, 2007).

Segundo HUNT (1992), a combinação (RGB) resulta numa quantidade limitada de cores que é, porém, muito grande em relação à capacidade de percepção do olho humano. As cores podem ser representadas por um vetor tridimensional (RGB) e os valores digitais possíveis dependem da resolução radiométrica da imagem. Para uma imagem de oito bits, o espaço assume a forma de um cubo de 256 valores digitais em cada eixo.

Sendo 256 o número de tons de cinza passíveis de representação em uma imagem de 8 bits como é representado (2^8), é sabido que o intervalo de similaridade tem que variar de 1 a 256, sendo que o valor de 256 é o limite máximo de aceitação, onde qualquer dupla de *pixels*, por mais distintos que possam ser, serão agrupados, gerando um polígono único, independente do valor definido para o parâmetro área. Este, por sua vez, pode variar de 1 até o número total de pixels da imagem, sendo esse valor utilizado para definir o tamanho da área do menor segmento individualizado pelo processo, ou seja, toda região que contenha o número de pixels igual ou menor que o estipulado no parâmetro área será obrigatoriamente agrupada a uma outra região adjacente mais semelhante (CRUZ, 2009).

3.11.1 Falsa cor

Realçamento por falsa cor é usado para visualizar informação multiespectral a partir da cena original, onde as bandas multi-espectrais não são restritas ao espectro visível. O objetivo é apresentar certas informações espectrais em detrimento da fidelidade de cores.

Três bandas multi-espectrais são selecionadas e combinadas no sistema IR/G/B. Variações na resposta espectral de padrões aparecem, então, com cores diferentes na composição colorida. Estas cores podem não apresentar semelhanças com as cores reais do padrão. A combinação de dados derivados da imagem (componentes principais, diferença, razão, etc.) e imagem registradas pode ser visualizada como uma composição falsa-cor.

Geralmente as imagens de satélite são adquiridas com um contraste original relativamente baixo. Esse baixo contraste também vai ser expresso na distribuição de cores, no sentido de que somente um pequeno intervalo de cores, dentre todas as possíveis, será utilizado. Para o intérprete, o colorido de uma imagem sem contraste aparecerá desbotado.

Neste caso, as técnicas de realce como o aumento de contraste por histograma e filtragem podem ser utilizadas para se obter uma imagem colorida com um bom balanço de

cores. Os histogramas dos componentes na composição devem ter formatos similares (RICHARDS, 1995).

3.11.2 Realce

Basicamente, a necessidade de se realçar contrastes em uma imagem deve-se ao fato da visão humana poder distinguir um número finito de níveis de sombreamento, que é muito inferior ao que uma tela de computador pode oferecer. Assim, esta limitação pode causar muita confusão à vista humana quando os níveis de sombreamento são muito próximos. As metodologias aplicadas permitem modificar as tonalidades de sombreamento (no caso de imagens em preto e branco) para que sejam melhor identificadas. Pode-se destacar os filtros lineares, não lineares e técnicas de equalização de histograma (MORAES, 1999).

A decisão de se utilizar o realce ou a transformação para extrair informações depende do objetivo dos estudos, lembrando que não existe uma forma ideal, ou melhor, de realce, porque os resultados do mesmo são avaliados pelo usuário, que por sua vez faz um julgamento subjetivo (JENSEN, 1986).

MOIK (1980) considera o realce da imagem como o primeiro passo do processamento, que corresponde ao conhecimento da distribuição estatística dos dados da imagem, obtendo-se o valor do nível de cinza. O realce é utilizado somente para distinguir características ou contornos de interesse na imagem, adaptando-as ao sistema visual humano.

Segundo MATHER (1999), os filtros são utilizados quando se pretende realçar alguma característica ao lado da desfiguração de outras. MORAES (1999) diz que um recurso que por vezes é utilizado, dependendo do equipamento disponível, é o da *falsa cor*. Este recurso bem simples permite colorir a imagem com tonalidades diferentes, independentes das suas cores reais, daí o seu nome, de acordo com o nível de sombreamento determinado. Isso aumenta em muito a capacidade de discernimento da vista humana, já que para níveis de cinza é da ordem de centenas e para cores, a capacidade de distinção chega a alguns milhares.

3.12 Segmentação

Os processos de segmentação simulam o comportamento do fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas na imagem, baseando-se em suas propriedades espectrais e espaciais (SPRING, 1998).

Segundo VENTURIERI e SANTOS (1998), o processo de segmentação consiste em agrupar *pixels* com características similares em termos tonais e textura, formando regiões homogêneas. Desta forma, a imagem é particionada em um conjunto de regiões correspondentes às feições da superfície terrestre, que irão servir de base para a análise e cartografia temática.

Para COUTINHO (1997), a definição de valores para os limiares na segmentação de imagens depende, principalmente, do conhecimento dos padrões de repartição espacial dos objetos de cada área e da definição da generalização cartográfica ideal, em função da escala cartográfica da abordagem realizada. Contempla uma etapa que exige maior atenção devido à inexistência de valores padronizados para as variáveis do algoritmo e, também, pode influenciar diretamente na acurácia dos resultados da segmentação.

ANTUNES (2003) comenta que não existe um modelo formal para a segmentação, sendo este processo essencialmente empírico e, em geral ajustável aos diferentes tipos de imagens, com limiares definidos face à complexidade dos alvos investigados.

Geralmente, a segmentação é o primeiro passo em análise de imagens, passo este que pode determinar o eventual sucesso ou fracasso de uma análise. Consiste em uma operação que subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes devendo cessar quando os objetos de interesse na aplicação tiverem sido isolados (GONZALES e WOODS, 2000).

A segmentação consiste na simplificação de imagens de modo à particioná-la em um conjunto finito de áreas homogêneas, com o objetivo de extrair informações úteis através da agregação de objetos por classes. A segmentação precede a classificação, sendo, portanto, uma fase crítica, onde a obtenção de resultados satisfatórios depende basicamente da eficiência do algoritmo utilizado. Erros nessa fase podem influenciar as etapas de classificação que se seguem, interferindo na interpretação. Não existem algoritmos de segmentação apropriados a todos os tipos de imagem, sendo necessária a adaptação a tipos particulares de aplicação, tornando a escolha do método de segmentação extremamente importante para a escolha de um algoritmo eficiente (SPINDOLA, 2005).

O limiar de similaridade é o limiar mínimo, ou seja, define a diferença mínima entre o valor de um pixel e o valor médio da região contígua a ele, para que este pixel possa ser agrupado a essa região. Se a diferença entre o valor do pixel e a média da região vizinha for maior que o valor de similaridade definida pelo usuário, o pixel não irá pertencer àquela região. O segundo limiar, de área, significa o menor valor de área (em pixel) para que uma região seja separada de outra (BARBOSA *et al.*, 2000).

A segmentação em geral baseia-se nas características de descontinuidade e similaridade dos tons de cinza de uma imagem. O método que avalia a descontinuidade baseia-se na mudança abrupta de valores de cinza e o método por similaridade fundamenta-se na agregação de *pixels* em função da sua semelhança com os *pixels* vizinhos (GONZALES e WINTZ, 1987).

De acordo com MOIGNE e TILTON (1995), na segmentação os *pixels* da imagem são agrupados em compartimentos em consonância com propriedades, tais como níveis de cinza, contraste, valores espectrais ou textura, a qual incorpora atributos espaciais e de contexto.

3.13 Estudos florestais a partir de dados sensoriais

Em estudos florestais, o sensoriamento remoto surge como ferramenta que vem sendo utilizada em diversas áreas do conhecimento científico, e que tem trazido grandes contribuições para a detecção de alterações ocorridas em áreas naturais (MARTINS, 2004 “b”). As fotografias aéreas e as imagens satelitárias, são ferramentas de grande importância, ajudando a fornecer informações a respeito das condições em que se encontram a floresta. Desta forma, tais ferramentas têm se mostrado um eficiente mecanismo destinado a apresentar e interpretar alterações que ocorrem na floresta.

A classificação e manejo de ecossistemas, embora não seja um novo conceito, tem recebido atenção renovada das agências públicas de manejo da terra como a USDA Serviços Florestais e outras organizações públicas e privadas. Ecossistemas variam em tamanho da Terra inteira para sítios locais específicos (CIESLA, 1990).

Além de tudo, a estrutura hierárquica de unidades ecológicas fornece uma base para avaliar condições do recurso em escalas múltiplas. Ecorregião tem extensa aplicação para modelar e amostrar, primeiramente para planejamento estratégico, pesquisa e avaliação global. Sub-regiões aplicam-se ao nível nacional e regional para planejamento estratégico e monitoramento. A escala de paisagem é usada no nível da floresta para planejamento da área total e análises de bacias hidrográficas. A escala de unidade da terra é usada para projeto e manejo da área e também fornece informação na distribuição territorial e biota aquática, crescimento da floresta, sucessão e fitossanidade (CIESLA, 1990).

Cada nível requer informação espacial nas circunstâncias que afetam comunidades naturais, solos, funções hidrológicas, tipografia, litologia, clima, qualidade do ar e processos naturais de ciclagem de nutrientes. Alguns desses atributos podem ser extraídos de fotografias aéreas. Talvez a mais comum utilidade de fotos aéreas seja para delinear vegetação ou

unidades de cobertura de terra. Isto é, geralmente feito por delineamento de polígonos por espécies dominantes, cobertura do dossel, tamanho, condições da copa, e diversidade vertical e horizontal. A transferência de polígonos em SIG pode ser feita com variados processos como estereoplotters analíticos (BOBBE *et al.*, 1992).

A utilização e a demanda por dados de sensoriamento remoto têm aumentado substancialmente em aplicações silviculturais. Embora imagens digitais como as obtidas de videografia tiradas de aeronaves e sistema de satélite estão se tornando populares para detecção de mudanças e reconhecimento de grandes áreas, fotografias aéreas permanecem como suporte para a maioria das atividades de manejo de recursos. A fim de encontrar as informações crescentes necessárias a manejadores de recursos, interpretação fotográfica e outras formas de sensoriamento remoto, como também as tecnologias relacionadas de processamento de imagem digital, sistema de posicionamento global, e SIG, serão continuamente dependentes para ajudar a controlar e proteger os recursos florestais (CIESLA, 1990).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

4.1.1 Localização

A área de estudo localiza-se entre os municípios de Irati, Fernandes Pinheiro, Teixeira Soares e Imbituva, no estado do Paraná (SPVS, 1996). A FLONA de Irati é uma Unidade de Conservação Federal, de uso sustentável, possui uma área de 3.495 ha, sendo 57,6% ocupada por floresta natural onde predomina a Araucária, 37,5% ocupada por povoamentos comerciais implantados e 4,9% considerada como infra-estrutura (RODERJAN *et al.*, 1989).

A FLONA situa-se na microrregião Centro – Sul do Paraná, situada no Segundo Planalto Paranaense, Domínio da Floresta Ombrófila Mista, localizada no fuso UTM 22J, região central da área entre as coordenadas geográficas 25° 25' de latitude sul, 50° 36' de longitude oeste, 25° 17' de latitude sul e 50° 30' de longitude oeste. Encontra-se a uma altitude média de 812 metros acima do nível do mar e dista 10 km do centro da cidade de Irati - PR. As Figuras 6 e 7 mostram a localização da FLONA na microrregião Centro - Sul do Paraná.

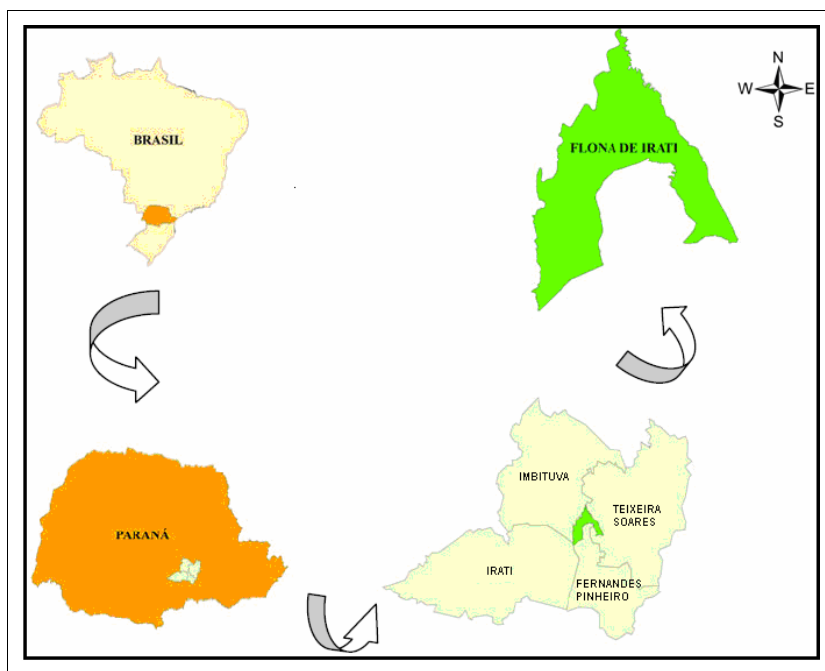


Figura 6 Mapa de localização da Microrregião de Irati - PR.

Fonte: MAZZA, 2006.

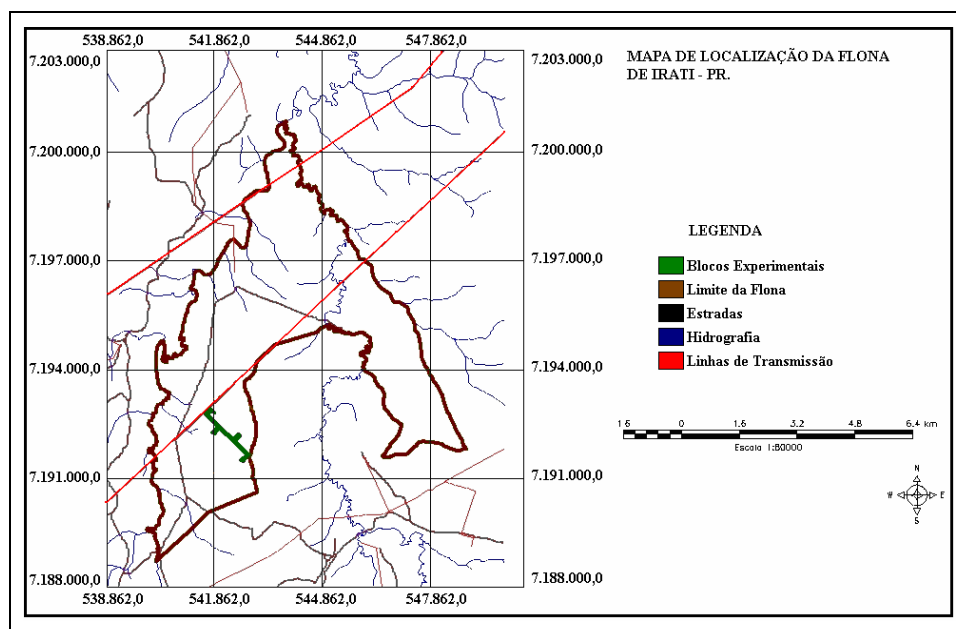


Figura 7 Mapa da FLONA de Irati - PR.

Fonte: DISPERATI, 2002.

4.1.2 Clima

Segundo MAZZA (2006) e conforme classificação de Köppen, o clima da região pertence ao tipo Cfb, subtropical úmido mesotérmico, caracterizado por verões frescos, geadas severas e freqüentes, sem estação seca.

Segundo MENDONÇA e DANNI-OLINEIRA (2002), o caráter subtropical do clima dessa área é evidente pela redução de seus valores térmicos. Por esse motivo é dominada pelos ventos de NE, que quando é orientada pelas feições topográficas da bacia do Rio Ribeira contígua à do Rio Tibagi, favorece a atuação das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Fato este que no decorrer do ano, manifesto pelas oscilações da frente Polar Atlântica, é o maior responsável pelas chuvas que nela ocorrem.

4.1.3 Solos

Segundo MAZZA *et al.* (2005), a FLONA de Irati apresenta 37,8% de Latossolo Vermelho Distrófico típico-álico, localizando-se na porção interna esquerda, no sentido Norte - Sul. A associação do Latossolo Vermelho Distrófico típico-álico com o Nitossolo Háplico Distrófico típico-álico, de textura argilosa representa 26,62% da área, e está localizado no limite esquerdo, sentido Norte - Sul, margeando o Rio das Antas. Ocupando 25,42% da área,

a associação Cambissolo Háplico Distrófico típico-álico com Gleissolo indiscriminado localiza-se na várzea do Rio Imbituva, em praticamente todo o limite direito.

A associação Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico + Cambissolo Háplico Distrófico típico + Latossolo Vermelho Distrófico típico representa 9,59% da área e localiza-se na porção sudeste da FLONA, seguida de mais uma mancha a leste. As demais classes são pouco representativas, totalizando 0,57% da área da FLONA: associação Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico + Latossolo Bruno Distrófico típico (0,39%), associação Cambissolo Háplico Distrófico típico, álico + Alissolo Crômico Húmico típico (0,10%) e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico Câmbico, álico (0,08%). Essas características podem ser observadas na Figura 8.

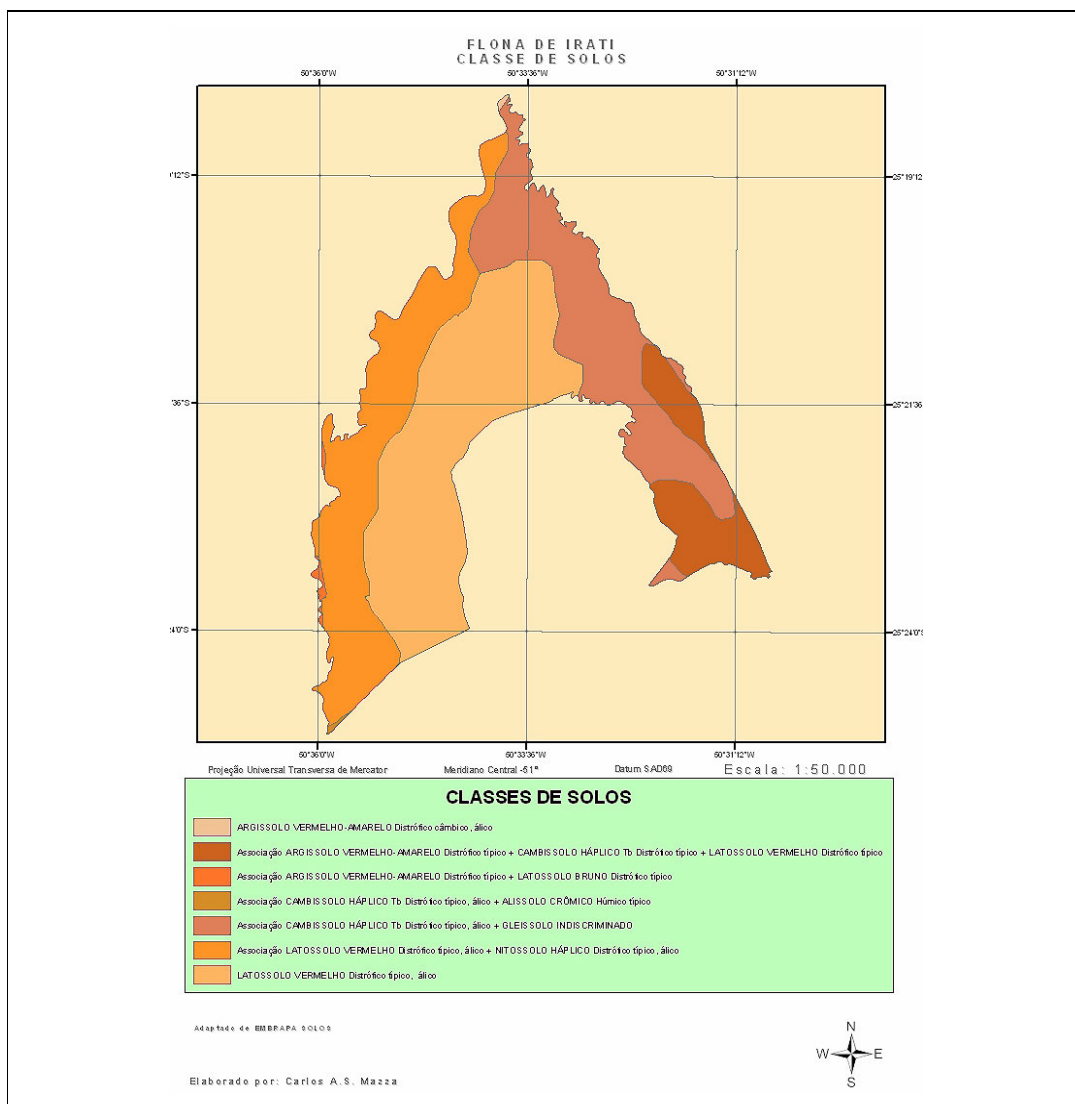


Figura 8 Mapa de ocorrência das classes de solos na FLONA de Irati - PR.

Fonte: MAZZA *et al.* (2005).

4.1.4 Vegetação

O ecossistema que compõe a região é a Floresta Ombrófila Mista, tendo como principais espécies a Araucária, Imbuia, Erva mate, Bracatinga e Cedro. Segundo RODERJAN *et al.*, (1989), as áreas na FLONA em que a Araucária não faz parte da composição florística ou sua ocorrência é inexpressiva, correspondem a uma pequena mancha com componentes da Floresta Estacional Semidecidual, contrastante com a vegetação dominante do local, e as Áreas de Formações Pioneiras, com predominância de Branquilha (*Sebastiania klotzchiana*).

Segundo esses autores, a vegetação da Floresta com Araucária (FOM), não só pela sua representatividade, mas também por ser influenciada por múltiplas condições de sítio e por apresentar antecedentes de exploração diferenciados, pode ser estratificada em 5 associações típicas, denominadas em função da fisionomia ou da ocorrência localizada de algumas espécies acompanhantes. Estas associações são: a) Monjoleiro; b) Maria preta; c) Pinheiro Bravo; d) Erva mate/ Cambuí e 5) Xaxim/ Canela branca.

4.2 Material

Na execução e elaboração dessa dissertação foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos necessários aos tratamentos dos dados:

a) Imagem Orbital IKONOS-2 foi obtida em 01/03/2005, referente ao projeto da FLONA de Irati - PR, adquirida através da companhia ENGESAT. O tipo de sensor é Satélite de nome IKONOS-2. A imagem é do tipo PAN/ MSI fornecida em formato *GeoTiff (em 11 bits)* com resolução espacial de 1 metro, abrangendo uma área de 5.998,6008 ha, ou seja, 6.372 metros eixo X e 9.414 metros eixo Y. Esta imagem apresenta-se como uma única cena, não necessitando de Mosaico. O sistema de coordenadas utilizado para inserir a imagem no Software foi UTM (Mercator Transversal Universal), Hemisfério Sul, Zona 22 J, sistema de projeção WGS84, com *pixel* de 1,00m, arquivo no formato *GeoTIFF*, garantindo a organização e armazenamento eficiente dos dados. O percentual de cobertura de nuvem foi de 17% a 20%;

b) Fotografias aéreas não-métricas 70 mm colorido normal, resultantes de três linhas de vôo no mesmo eixo central, obtidas em 09/08/2002. Essas fotografias aéreas foram ampliadas em até cinco vezes, obtendo as seguintes escala: 1:1.000, 1:2.000 e 1:4.000, respectivamente;

c) Scanner Profissional (300 DPI);

- d) Microcomputador com processador Core 2 DUO, 2.0 MHz e 2.048 MB de memória RAM;
- e) Câmera fotográfica semi-profissional H50 Sony com resolução 9,1 Mega-pixels ;
- f) Estereoscópio de Espelho modelo ST-40;
- g) Carta DSG escala 1:50.000 do município de Irati – PR (projeção SAD69, sendo disponível apenas nesta escala);
- h) Programas em ambiente computacional: COREL DRAW 12, AUTOCAD MAP 2007, ADOBE PHOTOSHOP, EXCEL 2007, ARCGIS 9.2 e SPRING 4.3.3.
- i) Mosaico não controlado: para confecção do mosaico, houve a junção das fotos da área, nas três escalas em uso (1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000), recortadas e montadas técnica e artisticamente, fazendo com que esse conjunto se pareça como uma única fotografia. Não existiu controle de terreno e as fotografias não foram corrigidas. O *Software* utilizado para a junção das várias fotos em um único panorama, foi o PanaVue Image Assembler 3.

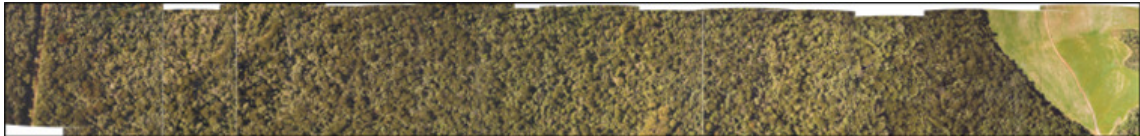


Figura 9 Mosaico não controlado em escala 1:1.000.



Figura 10 Mosaico não controlado em escala 1:2.000.



Figura 11 Mosaico não controlado em escala 1:4.000.

4.3 Metodologia

4.3.1 Instalação do experimento

Em 2000/2001 foi instalado um experimento permanente de 25 ha, em uma Área de Conservação de Floresta Ombrófila Mista (Floresta Nacional - FLONA) na cidade de Irati - PR, através do Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO, para estudos de dinâmica desse importante ecossistema florestal. A análise da estrutura da Floresta Ombrófila Mista (FOM) a partir do uso de fotografias aéreas de escala grande e de imagens orbitais tem feito parte desse contexto de investigação. A área experimental foi instalada com teodolito digital e dividida em 25 blocos de 1 ha cada (100 m x 100 m).

Cada bloco foi subdividido em quatro parcelas de 0,25 ha (50 m x 50 m) e finalmente para facilitar a numeração e o mapeamento das árvores cada parcela foi subdividida em cinco faixas de controle de 10 m x 50 m, totalizando (0,05 ha). A posição espacial de cada árvore na floresta foi obtida através de método distinto: sistema de coordenadas cartesianas de um ponto (“abscissa X eixo horizontal” e “ordenada Y eixo vertical”). O método de espacialização através de coordenadas cartesianas utilizou toda a população, obtida através do censo.

Depois de instalado o experimento a campo, a etapa seguinte consistiu em medir as árvores que se encontravam dentro dos limites dos blocos. Definiu-se que seriam medidas todas as árvores que possuíssem CAP (Circunferência à Altura do Peito a 1,30 m do solo) mínimo de 31,5 cm, ou seja, 10 cm de DAP (Diâmetro à Altura do Peito a 1,30 m do solo). Além disso, as árvores foram numeradas em ordem crescente, identificadas através de nome vulgar e posteriormente nome científico. Avaliou-se aspectos como qualidade do fuste, posição do estrato vertical da floresta, fitossanidade “doenças, pragas, parasitas ou cipós” e qualidade da copa.

1. Número das árvores;
2. Nome comum das espécies e científico;
3. CAP (cm) (Circunferência a Altura do Peito, 1,30m do solo);
4. Tipo de Fuste (1- Torto, 2- Levemente Tortuoso e 3- Reto);
5. Estrato Vertical da Floresta (1- Inferior, 2- Médio e 3- Superior);
6. Fitossanidade “Doenças, pragas, parasitas ou cipós” (1- Com infestação avançada, 2- Com infestação Crônica e 3- Sem infestação);
7. Copa (1- Não vigorosa, 2- Vigorosa e tamanho reduzido e 3- Vigorosa e tamanho normal).

* Obs.: A classificação, quanto ao tipo de fuste, estrato vertical da floresta, fitossanidade e

vigor da copa, foram obtidas através de classificação visual. As árvores foram identificadas com placas numeradas de 01 a n.

A mensuração dos CAP's das árvores foi realizada com fita métrica e marcadas a altura (1,30 m) com tinta azul e pincel conforme a Figura 12 abaixo.



Figura 12 Medição do CAP em uma Araucária.

Parcelas com 1 ha são recomendadas para levantamentos estruturais e avaliações dos processos dinâmicos em florestas nativas (ALDER e SYNNOTT, 1992 e VANCLAY, 1994). Para isto é importante que as árvores sejam posicionadas em um sistema cartesiano X, Y o que possibilita uma gama de alternativas com parcelas menores, facilitando também estudos sobre a distribuição espacial das espécies. De acordo com RODRIGUES (1989) o método de parcelas contínuas para o estudo estrutural da comunidade arbórea é vantajoso em áreas com grande heterogeneidade ambiental, porque permite avaliar correlações mais estreitas da vegetação com os fatores abióticos e por fornecer subsídios para o entendimento da distribuição espacial das espécies.

O Quadro 3 mostra o modelo de planilha de campo e seqüência em que os dados foram coletados “Bloco 1, parcela 1 e faixa 1” (B1p1f1).

Quadro 3 Modelo de planilha e seqüência em que os dados foram coletados.

B1p1f1												
Bloco	Parcela	Faixa	Árvore	Faixa Y (m)	Faixa X (m)	Nome Vulgar	CAP (cm)	Fuste	Estrato	Fitossanidade	Copa	
1	1	1	1	63,00	0,50	Imbuia	196,5	2	3		3	3
1	1	1	2	56,60	4,00	Araucária	53,5	2	2		3	2
1	1	1	3	72,00	0,00	Araucária	227,0	3	3		3	2
1	1	1	4	80,50	3,00	Canela raposa	53,5	2	1		3	3
1	1	1	5	76,40	4,00	Cauna	67,0	2	2		3	3
1	1	1	6	78,30	8,50	Guaçatunga branca	36,0	3	1		3	3
1	1	1	7	81,40	7,50	Erva-mate	39,5	2	2		3	3
1	1	1	8	83,20	8,50	Pimenteira	45,0	1	1		3	3
1	1	1	9	83,80	8,60	N.l.	32,0	2	1		3	2
1	1	1	10	83,90	8,20	Pimenteira	51,5	2	1		3	2
1	1	1	11	84,10	8,20	Cauna	55,5	2	1		3	2
1	1	1	12	84,10	6,50	Cauna	45,0	2	1		2	2
1	1	1	13	83,00	5,00	Congonha	32,0	3	1		3	1
1	1	1	14	88,00	7,70	Cauna	36,5	1	1		3	2
1	1	1	15	95,70	9,50	Araucária	205,0	3	2		3	3
1	1	1	16	97,20	8,80	Erva-mate	35,5	1	1		2	2
1	1	1	17	99,50	5,00	Cedro	98,5	1	3		3	3
1	1	1	37	59,80	0,20	Cauna	32,0	1	1		3	3

A Figura 13 apresenta os três estratos arbóreos ocorrentes na Floresta Ombrófila Mista. Estrato I- Inferior (árvores de menor porte), Estrato II- Médio (árvores de médio porte) e Estrato III- Superior (árvores com altura dominante).

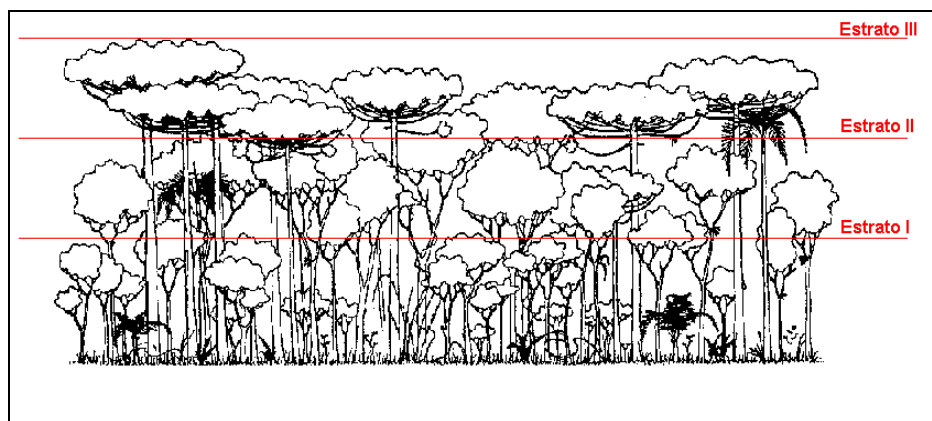


Figura 13 Floresta Ombrófila Mista em Diferentes Estágios Arbóreos (Estrato I, II e III).

Fonte: RODERJAN (*et al.* 2002).

Na ocasião desse inventário, encontrou-se 14509 indivíduos (580,32 árvores/ha), estando distribuídos em 113 espécies e 45 famílias. Na tabela 1, mostra o ranking das dez espécies mais frequentes em ordem decrescente, (nome comum), nome científico, família, Frequência e Percentual.

Tabela 1 Ranking dos indivíduos com maior frequência em ordem crescente.

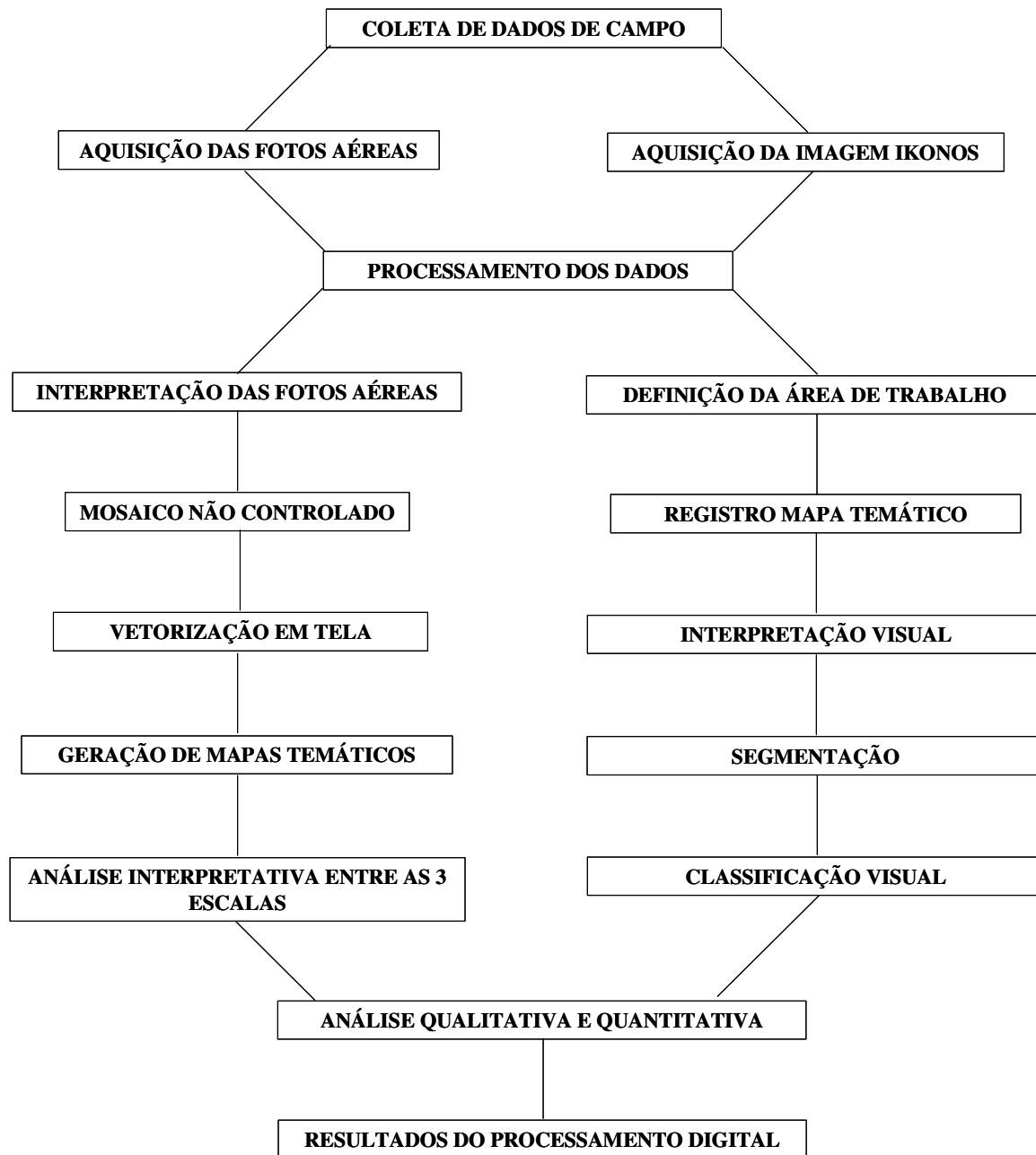
Espécie	Nome Científico	Família	Frequência Absoluta	%	Total
1- Erva-mate	<i>Illex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Aquifoliaceae	1505	10,37	14509
2- Sassafrás	<i>Ocotea odorifera</i> (Vellozo) Rohwer	Lauraceae	1295	8,93	
3- Guaçatunga	N.I.	Salicaceae	1052	7,25	
4- Araucária	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertoloni) Otto Kuntze	Araucariaceae	1051	7,24	
5- Canela amarela	<i>Nectandra grandiflora</i> Nees & C. Mart. ex Nees	Lauraceae	925	6,38	
6- Capororoca	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Myrsinaceae	590	4,07	
7- Cuvatã	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Sapindaceae	505	3,48	
8- Imbuia	<i>Ocotea porosa</i> (Nees & C. Mart.) Barroso	Lauraceae	500	3,45	
9- Cinzeiro preto	<i>Coussarea contracta</i> (Walpert) Müll. Arg.	Rubiaceae	463	3,19	
10- Palmeira	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Arecaceae	449	3,09	
		Total	8335	57,45	

Salienta-se que todo o experimento realizado serviu como base para atingir os objetivos e chegar aos respectivos resultados deste trabalho. Embora a área estudada na presente dissertação, tenha sido além dos 25 ha, esta serviu como ponto de referencia para a análise de uma área maior nas fotografias aéreas e na Imagem IKONOS-2.

A metodologia para a coleta de dados a partir das fotografias aéreas e imagem de satélite pode ser observada a partir do Quadro 4.

Quadro 4 Etapas de trabalho para aquisição de dados para as fotografias aéreas e Imagem IKONOS-2.

FLUXOGRAMA E ATIVIDADES



4.4 Aquisição dos dados a partir de fotografias aéreas

Para a obtenção dos dados nas fotografias aéreas foi necessário levantar as principais características das copas de Araucária nas fotografias aéreas (individuais e em agrupamentos), procurando compilar estes dados em mapas que mostrem sua distribuição espacial sobre a superfície, bem como a cobertura florestal da mesma.

Utilizando as fotografias aéreas foi possível extrair grande quantidade de informações. Foram utilizadas três escalas fotográficas, onde permitiu observar os objetos (analogicamente) com maior definição e clareza.

A interpretação visual das copas de Araucária foi realizada com auxílio de estereoscópio de espelho (modelo ST-40) e binocular com três vezes de aumento, obtendo assim a visão tridimensional da floresta. Foram utilizados os pares estereoscópicos de fotografias e realizado os delineamentos dos objetos de interesse (estradas, árvores, etc.), adotando-se convenções para cada um deles. O procedimento adotado foi o mesmo na interpretação das fotografias aéreas nas três escalas: 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000. Após o término da fotointerpretação, foi utilizada toda seqüência de fotografias em ambas as escalas e montados os respectivos mosaicos não controlados.

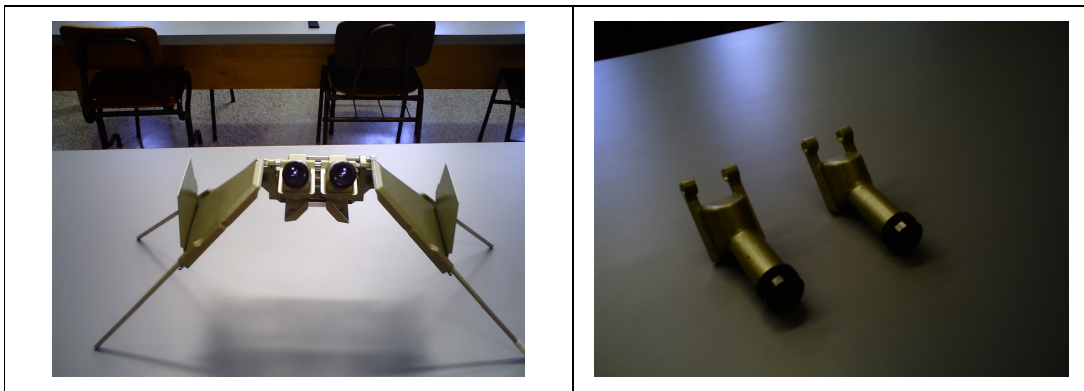


Figura 14 a) Estereoscópio de espelho e b) binocular com aumento de três vezes.

Através de parâmetros fotointerpretativos (cor, formato e área da copa) foram realizadas as “Identificações” das copas de Araucária e também do sub-bosque numa classificação do estado do povoamento florestal. Os resultados foram compatibilizados nas três escalas para comparação futura.

4.5 Delineamento Temático

A geração dos mapas temáticos foi definida através da entidade poligonal. O processo para a geração dos delineamentos temáticos consistiu em realizar a digitalização sob a categoria imagem, proveniente da fotointerpretação, gerando mapas temáticos em escalas diferenciadas. A digitalização dos mapas foi aplicada nas três escalas, inseridas em cada uma das entidades denominadas polígonos, ou seja, copas de Araucária.

Os dados matriciais possuem informações qualitativas sobre o tema como, classes de vegetação, copas de Araucária individuais, copas de Araucária agrupadas, outras espécies, etc. Os dados foram obtidos a partir da fotointerpretação analógica e posteriormente inseridos no sistema por digitalização (vetorização em tela), transformados em mapas digitais.

Após a geração dos mapas analógicos através da fotointerpretação nas escalas (1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000), este mapa foi digitalizado em SCANNER profissional 300 dpi. Cada um dos mapas foram digitalizados, levando em consideração o número de polígonos e o tempo de vetorização em cada uma das escalas. Estes mapas representam a floresta (interpretada nas fotografias aéreas) e o ponto de partida para comparação da segmentação automática da imagem IKONOS-2.

Nesta comparação entre a interpretação fotográfica e a imagem IKONOS-2, foram selecionadas 10 áreas comuns nas três escalas fotográficas para posterior avaliação. Estas dez áreas testes não foram averiguadas em campo, apenas trabalho fotointerpretativo, portanto, o delineamento individual pode não corresponder a uma única árvore ou copa.

4.6 Análise da fotointerpretação

Destaca-se que a análise das interpretações foi realizada visualmente (mapas analógicos e digitais). Após a interpretação dos pares estereoscópicos, para visualizar todas as copas delineadas nas fotografias aéreas, foram gerados mosaicos não controlados e impressos nas escalas trabalhadas.

As árvores selecionadas e observadas a campo foram medidas no campo e nas respectivas fotografias aéreas. Todas as árvores mensuradas em campo foram encontradas nas fotografias e foram medidos os respectivos diâmetros das copas.

A medição do diâmetro das copas das Araucárias foi realizada em campo utilizando-se uma trena de 50 metros e bússola. O processo consistiu em medir o diâmetro da copa considerando sua projeção no solo. Geralmente, as copas das Araucárias apresentam formato

circular, mas, em determinadas situações em campo, observou-se o formato em elipse.



Figura 15 Projeção da copa e medição do diâmetro (D1 e D2) no sentido Norte/ Sul e Leste/ Oeste.

Foram mensuradas aleatoriamente cento e cinquenta e nove árvores de Araucária, isoladas, que se encontravam dentro dos limites das fotos aéreas em escala 1:1.000. Mediram-se a campo os respectivos CAP's e Diâmetro de Copa de cada uma das árvores em questão que eram encontradas no campo e nas respectivas fotografias aéreas. O diâmetro um (D1) foi medido seguindo a orientação (norte/sul) e o diâmetro dois (D2) foi medido seguindo a orientação (leste/oeste) para que todas as árvores tivessem uma mesma seqüência metodológica de medição, após as medições, passou-se a utilizar os valores médios entre os dois diâmetros de copa. Após a medição a campo, foram medidos todos os diâmetros das copas nas três escalas fotográficas em dois eixos (X e Y).

4.7 Avaliação quantitativa e qualitativa na fotointerpretação analógica visual

Para a execução da avaliação a partir das fotografias aéreas, realizou-se a fotointerpretação em três escalas fotográficas, confeccionou-se o mosaico não controlado para posterior análise. Foram selecionados dez polígonos aleatoriamente de modo que estivessem contemplados dentro das três escalas fotográficas. Foram obtidos os resultados relativos ao percentual de recobrimento fotográfico, área total estudada, percentual de cobertura de Araucária e número de copas interpretadas nas três escalas em uso.

Nestes dez locais avaliados e comuns para as três escalas, analisaram-se os detalhes obtidos para cada escala fotográfica como: número de polígonos (mesmo objeto interpretado nas escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000), ou seja, número de copas delineadas, formato similar ou não desses polígonos e suas respectivas áreas.

4.7.1 Ajuste de modelos matemáticos

Para os ajustes dos modelos, foram utilizados os dados provenientes do diâmetro de copa (medido a campo), área de copa e os respectivos DAP's para testar os modelos estimadores do diâmetro de copa e área da copa em função do DAP: $dc = f(dap, 1,3\text{ m})$ e $ac = f(dap)$. Este conjunto de dados é proveniente das copas de Araucária isoladas encontradas nas três escalas fotográficas. A qualidade de ajuste de cada modelo foi verificada por meio do coeficiente de determinação (R^2), o valor do erro padrão da estimativa, representado por (Syx) e análise gráfica dos resíduos. A Tabela 2 mostra os seis modelos utilizados para os respectivos ajustes.

Tabela 2 Modelos adaptados para $dc = f(dap, 1,3\text{ m})$ a partir dos modelos matemáticos para $h = f(dap, 1,3\text{ m})$.

Modelo	Formulação	Autor
1	$dc = b_0 + b_1(d)$	Modelo da linha reta
2	$dc = b_0 + b_1(d) + b_2(d^2)$	Modelo parabólico
3	$dc = b_0 + b_1(d^2)$	
4	$dc = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right)$	Curtis
5	$dc = b_0 + b_1\left(\frac{1}{d}\right) + b_2\left(\frac{1}{d^2}\right)$	
6	$dc = \frac{d^2}{b_0 + b_1(d) + b_2(d^2)}$	Prodan

4.8 Processamento digital da imagem IKONOS-2

Segundo SPRING (2008), o processamento de imagens é uma técnica voltada para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores, ou seja, é a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e saída do processo são imagens. Utiliza-se o processamento digital para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processos.

Imagens provenientes de sensores podem ser diferenciadas por características como resolução espacial, espectral, temporal e resolução radiométrica. Embora o sensor IKONOS-2

disponibilize aos seus usuários imagens com resolução radiométrica de 11 bits, a maior parte dos *Softwares* (por exemplo: SPRING) de processamento ou visualização de imagens trabalha com imagens de 8 bits. O processamento inicial consistiu na transformação da resolução radiométrica imagem de 11 bits (2^{11}) para uma imagem em 8 bits (2^8), ou seja, redução nos níveis de cinza da imagem.

4.8.1 Composição da imagem (colorido normal e falsa cor)

No modelo de cores RGB são utilizadas as cores vermelho, verde e azul, combinadas para produzir outras cores.

O processamento da imagem colorida, 8 bits, em canais RGB (vermelho, verde e azul) compõem a imagem original. O procedimento inicial passa a ser a decomposição em canais independentes, onde o brilho dos *pixels* varia bruscamente para cada canal.

Para proceder a uma composição de cores, é necessário definir um Banco de Dados. O passo seguinte corresponde à importação das imagens TIFF de cada banda do satélite IKONOS-2. Esta imagem em formato TIFF deve ser convertida em formato GRIB com o IMPIMA. Um conjunto completo de bandas (RGB + IR) fornecidas como imagens *GeoTIFF* independentes, registradas para a projeção UTM com o Datum WGS84. A composição dos canais (RGB) foi realizada através do *Software* SPRING 4.3.3, onde as bandas multiespectrais do IKONOS-2 são importadas para planos de informação individuais, todos pertencentes a mesma Categoria.

Para cada canal (RGB + IR), calculam-se inicialmente os valores estatísticos globais da imagem, promovendo a melhor distribuição da intensidade luminosa em cada banda. A grande vantagem do processamento em canais independentes relaciona-se ao balanceamento do canal azul, onde a influência dos efeitos atmosféricos ocorre em maior intensidade.

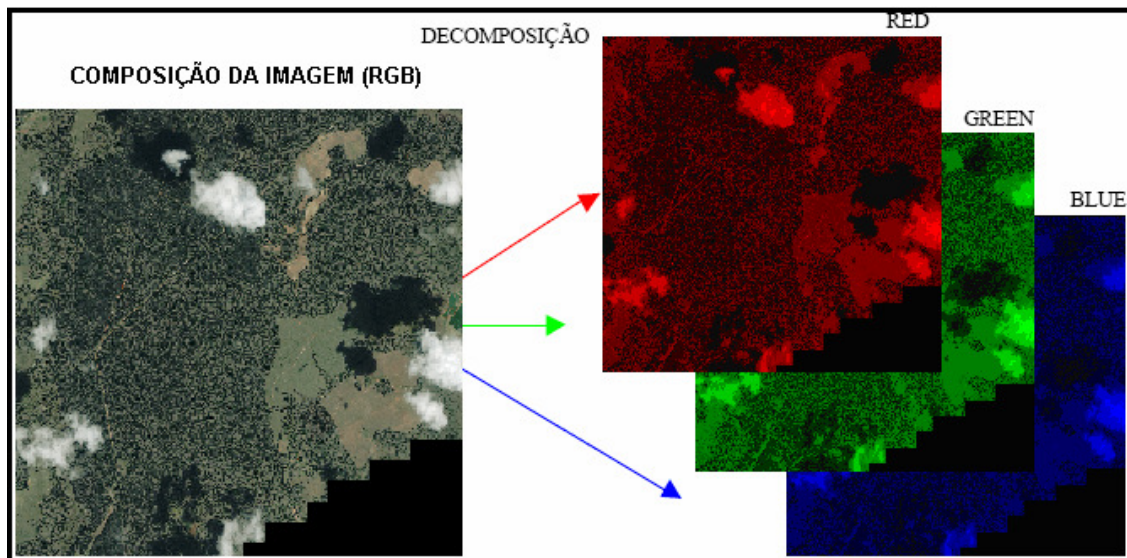


Figura 16 Composição da Imagem IKONOS-2 de 8 bits em canais RGB.

4.8.2 Alteração na visualização da imagem

O contraste objetivou melhorar a aparência da imagem, para facilitar a sua interpretação e análise. O realce foi usado para facilitar a interpretação visual e melhor compreensão os objetos da imagem. Mesmo levando em consideração que a imagem possui suas devidas correções radiométrica, para cada aplicação da imagem, um ajuste da faixa de distribuição de valores de luminosidade, foi necessário.

Na imagem bruta, os dados úteis ocupam sempre uma pequena parte da faixa disponível de valores digitais (imagem 8 bits/256 níveis de cinza). O realce do contraste consiste na mudança dos valores originais, para que mais de uma faixa seja usada, aumentando assim o contraste do alvo com o fundo da paisagem ou entorno.

Dentre as principais técnicas disponíveis para o REALCE DA IMAGEM, utilizou-se o modelo de Contraste Linear.

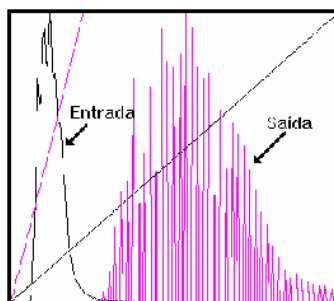


Figura 17 Realce Linear, histograma de entrada e saída.

O contraste é composto por identificação visual dos menores e maiores registros (valores mínimos e máximos), para estendê-los por toda largura da faixa horizontal disponível no histograma. Esta simples rotina teve por finalidade a melhoria “visual” (contraste) da imagem.

A chave do realce de contraste da imagem está no Histograma, que é a representação gráfica dos tons de cinza existentes na mesma, valores de 0,0 a 255.

Nas Figuras 18, 19 e 20 (abaixo) são mostrados os histogramas da imagem original, sem nenhum realce, e a imagem tratada, ou seja, alteração nos tons de cinza.

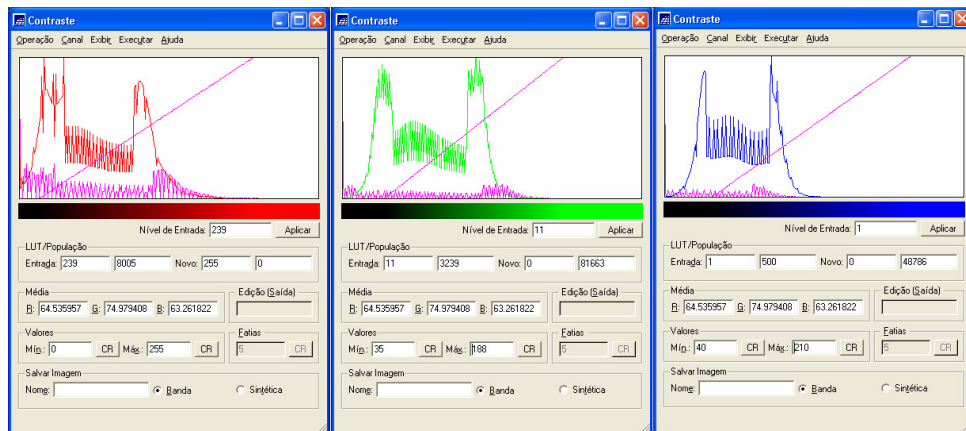


Figura 18 Contraste da Imagem, histograma representando os níveis de cinza médios sem alteração de contraste na Imagem (RGB).

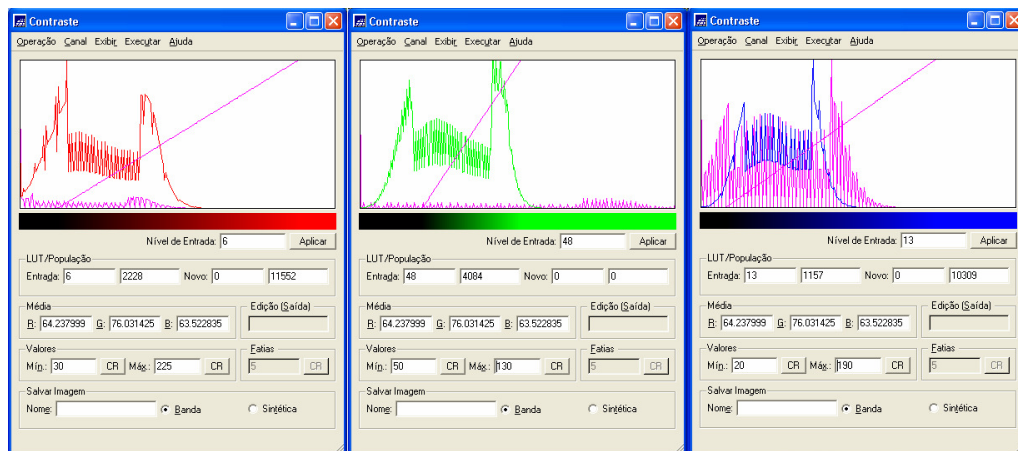


Figura 19 Contraste da Imagem, histograma representando os níveis de cinza médios com alteração de contraste da Imagem (RGB).

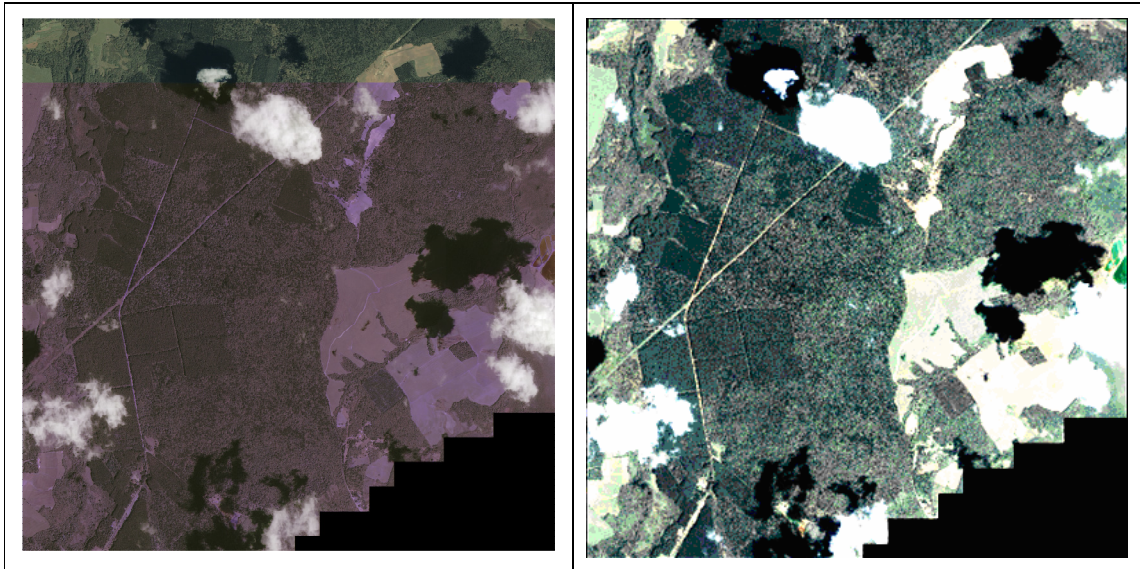


Figura 20 Imagem “a” sem alteração nos níveis de cinza (RGB) originais. Imagem “b” com alteração nos níveis de cinza (RGB).

O realce teve por objetivo melhorar a qualidade da imagem sob critérios subjetivos do olho do manipulador. Foi utilizado como uma etapa de pré-processamento. Ele é definido como os níveis de cinza médios da imagem.

A manipulação do contraste consistiu na transformação radiométrica em cada *pixel* aumentando a discriminação visual dos objetos presentes na imagem. Cada histograma (RGB) está associado ao contraste da imagem.

Para o realce de contraste, foi manipulado através da função matemática denominada de transformação radiométrica, que consiste em mapear as variações dentro do intervalo original de níveis de cinza, para um intervalo desejado, aumentando o contraste da imagem, expandindo o intervalo de níveis de cinza da imagem original.

Nesta etapa foi utilizado o realce Linear, que aumenta o contraste por transformação linear, sendo uma das formas mais simples. A função de transferência é uma reta e apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de interseção com o eixo X. A função Linear é representada por:

$$Y = AX + B$$

Onde:

Y= Novo valor de nível de cinza;

X= Valor original de nível de cinza;

A= Inclinação da reta (tangente do ângulo) e

B= Fator de incremento, definido pelos limites mínimo e máximo fornecidos pelo

manipulador do histograma.

4.9 Informações da imagem de satélite

A imagem do satélite IKONOS-2 foi obtida em 01 de março de 2005, referente ao projeto da FLONA de Irati - Pr. O sensor mapeia a superfície da terra em diferentes bandas espectrais, três bandas no espectro visível, nas cores vermelho, verde e azul (RGB) e uma no infravermelho próximo, gerando imagens com *pixels* de 4 metros nas bandas multiespectrais e 1 metro na banda pancromática. A combinação das três bandas espectrais forma uma banda em falsa cor, gerando uma composição colorida.

A interpretação visual das copas de Araucária foi realizada em microcomputador com auxílio de monitor (visão 2 - D) e ampliação (3 a 5 vezes de aumento), obtendo assim a visão bidimensional das copas na Imagem IKONOS-2. Como suporte, foi utilizado o mapa (mosaico não controlado) obtidos através da fotointerpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000 e realizados os delineamentos dos objetos de interesse (copas de árvores) na referida imagem.

4.9.1 Interpretação visual na imagem

A interpretação da imagem IKONOS-2 foi realizada no Software SPRING 4.3.3, tendo como procedimento inicial a criação de um Banco de Dados e Projeto. Na interpretação, foram selecionados 10 objetos sendo estes: nove agrupamentos de Araucária, e um grupo de Angico, de forma aleatória, tendo apenas como requisito básico, estarem dentro dos limites das três escalas fotográficas (1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000). Após esta etapa, a imagem de satélite foi recortada abrangendo a área similar à escala 1:4.000, sendo esta mesma área utilizada para o processo de segmentação.

A interpretação consistiu na delimitação, utilizando as ferramentas de edição vetorial do SPRING, das copas de Araucária identificadas na imagem e na escala fotográfica 1:4.000.

Foram identificadas as copas de Araucária (Isoladas e em Agrupamentos), utilizando a ferramenta zoom, em alguns casos utilizou-se a imagem com alteração nos níveis de cinza. Os resultados foram colocados em planos de informação distintos.

4.10 Definição dos limites da área de estudo na imagem

Para a obtenção dos limites da área de estudo da FLONA, foram utilizados a base de

dados (em formato vetorial) proveniente da fotointerpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000, sendo utilizadas como suporte para a formação do plano de informação contendo os limites de interesse na imagem IKONOS-2.

NASCIMENTO (1997) relata que o tempo de processamento para uma segmentação, através do algoritmo de segmentação crescimento de regiões, é diretamente proporcional ao tamanho da imagem e ao número de bandas selecionadas. A cena abrange uma área aproximadamente de 3.000 ha, e a área recortada (área de estudo) compreende uma área de 328 ha, 10,93% da cena da Imagem IKONOS-2 utilizada, optando-se pelo procedimento de redução da cena. Esse procedimento possibilitou uma redução notável no tempo de processamento computacional gasto em cada segmentação efetuada pelo algoritmo e reduzido volume físico dos arquivos para armazenamento, uma vez que no procedimento executado, apenas a exata área de interesse era usada.

4.11 Georreferenciamento e registro das fotografias aéreas sobre a imagem IKONOS-2

Segundo (OLIVEIRA, 2002), as imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais não apresentando, portanto, uma cartografia adequada quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Para que estas imagens adquiram a precisão cartográfica exigida, faz-se necessário estabelecer uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas por meio de registro.

A função de registro de imagens é necessária, porque sem ela não realizamos o mosaico de imagens (sobrepor o experimento de apoio e a interpretação em escala 1:4.000 sobre a imagem IKONOS-2). O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linhas e colunas) com coordenadas de um sistema de referência. O registro estabelece uma relação entre coordenadas da imagem e coordenadas geográficas.

Para o registro da fotointerpretação sobre a imagem IKONOS-2, foram inseridos 282 pontos de controle. Com todos os pontos identificáveis e inseridos, foi realizado o georreferenciamento por meio do *Software* ARCGIS 9.2, através de três transformações matemáticas, polinomial do primeiro grau, polinomial do segundo grau e polinomial do terceiro grau. Os pontos de controle foram informados em coordenadas planas, que foram coletados diretamente sobre a carta topográfica.

4.12 Segmentação da imagem

A imagem IKONOS-2 com suas quatro bandas multi-espectrais (R, G, B e IR) em formato *Tiff* - foram submetidas ao processo de segmentação através do algoritmo de crescimento de regiões utilizando o *Software* (SPRING 4.3.3). A similaridade refere-se a proximidade radiométrica entre os *pixels*, correspondendo ao valor da distância euclidiana mínima entre as médias das regiões, abaixo da qual duas regiões são consideradas similares, e agrupadas (DLUGOSZ, 2005).

Esta abordagem apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Para superar estas limitações, propõe-se o uso da segmentação de imagem, anterior à fase de classificação, onde são extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada.

Conforme recomendado por SPRING (1998), o processo de segmentação antecede a etapa de classificação das imagens, permitindo posteriormente fazer o uso das regiões geradas pela segmentação como amostras de treinamento para a classificação.

Foram realizados testes antes do processamento definitivo da segmentação:

- a) Área total da imagem IKONOS-2 e
- b) Na área de estudo (recorte), área parcial da imagem.

A partir dos resultados obtidos, utilizou-se a segmentação apenas na área recortada, correspondente a área máxima de estudo, área similar a escala fotográfica 1:4.000.

O processo de segmentação foi realizado utilizando o triplex das Bandas multiespectrais (georreferenciadas) no formato *GeoTIFF*. Segundo NASCIMENTO e ALMEIDA FILHO (1996), este algoritmo parte de um “*pixel* – semente” e, posteriormente, agrupa os *pixels* adjacentes que possuem características similares e que satisfazem o critério de similaridade.

Para a imagem satelitária IKONOS-2, foram realizadas várias combinações de segmentação usando o método de Crescimento por Regiões. Foram definidos diversos valores de similaridade (limite do qual áreas são consideradas similares, sendo agrupadas numa só região) e área de pixel (área mínima para que uma região seja individualizada).

Os limiares de similaridade foram definidos de forma sistemática. Iniciou-se com o valor 10 e efetuou um incremento de 10 níveis digitais até atingir o valor 100. Para os limiares de área de *pixel* partiu-se dos valores obtidos a partir da área média das cento e cinquenta e nove copas individuais de Araucária mensuradas (158,59 m²). Desta forma, partiu-se do valor 100, realizando um incremento de 50 *pixel* até atingir o valor 200. Foram realizadas 10

combinações de limiares para cada conjunto de similaridade e área de *pixel* nas bandas multiespectrais (RGB) e (IR/R/G) totalizando 60 combinações.

4.12.1 Classificação visual

O processo de classificação de imagens pode aparecer como parte funcional ao mecanismo de segmentação ou então como utilizadores dos resultados da segmentação. A forma de classificação para o determinado trabalho, no caso do processamento da imagem IKONOS-2, está diretamente ligado à capacidade generalista do operador, devido terem sido utilizados critérios de classificação visual.

Para a classificação da imagem, partiu-se da imagem segmentada, envolvendo a fase anterior de fotointerpretação e análise de amostras fornecidas, visando aperfeiçoar o mapeamento final. A classificação envolveu o fornecimento dos pontos amostrais de cada um dos objetos temáticos selecionados a partir da interpretação das fotografias em escala 1:4.000, para posterior análise e classificação. A classificação automática não foi efetuada nesse estudo, pois os resultados da segmentação não permitiram a identificação da classe temática das regiões geradas pelo algoritmo segmentador.

4.13 Seleção de áreas para suporte na imagem IKONOS-2, avaliação quantitativa e qualitativa do processamento digital

A partir da fotointerpretação foram selecionados dez objetos, destes, nove copas de Araucária e um capão de Angico, de forma aleatória, tendo apenas como requisito básico, estarem dentro dos limites das três escalas fotográficas. A comparação entre as três escalas serviu como suporte para determinar qual é a melhor na comparação com a imagem IKONOS-2. Os objetos selecionados nas referidas escalas, foram os mesmos selecionados na imagem de satélite.

Nos delineamentos temáticos nas três escalas (1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000), observou-se alguns fatores como:

- a) Número de polígonos em cada interpretação;
- b) Similaridade entre os objetos interpretados nas diferentes escalas;
- c) Diferença de área do mesmo objeto nas diferentes escalas.

Para LUCCA (1998), uma avaliação quantitativa é efetuada por meio de grandezas que permitem quantificar em valores numéricos, características como número de segmentos,

tamanhos dos segmentos em *pixels*, tempo de processamento, intensidade média das radiometrias dos segmentos, etc. Os dez polígonos provenientes da fotointerpretação em escalas 1:4.000 serviram como suporte na avaliação da segmentação, após interpretados, foram comparados com os resultados do processamento digital da imagem satelitária. Na segmentação orientada ao objeto para a imagem de alta resolução, foram definidos os limiares para os alvos avaliados, a fim de obter os valores que melhor os identificasse. Foram definidos 30 limiares de similaridade e área de *pixel* nas bandas do espectro eletromagnético (RGB) e nas bandas (IR/R/G). Para ambos *triplex* de bandas, foram definidas a área de *pixel* 100, 150 e 200 e a similaridade variando entre 10 e 100, respectivamente. Importante salientar que foram medidos 159 diâmetros de copas isoladas e a área média obtida foi de 158,59 m². A partir deste resultado foi definido o limiar de área para o algoritmo de segmentação.

A avaliação qualitativa foi baseada na inspeção visual, permitindo verificar as situações relacionadas ao número de polígonos gerados, preservação de pontos isolados e feições lineares, regularidade de bordas entre regiões, etc., (LUCCA, 1998).

Os testes foram realizados com o *Software* SPRING, utilizando o algoritmo de crescimento de regiões. Como referência, além da fotointerpretação em escala 1:4.000, foi executada uma interpretação visual (2D) na imagem IKONOS-2 como referência na avaliação.

Uma análise visual quantitativa e qualitativa dos resultados evidencia quais os resultados do processo de segmentação estarão mais próximos da interpretação visual, onde será obtida através da classificação visual.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram provenientes da interpretação das fotografias aéreas e da análise digital da Imagem IKONOS-2. A partir da interpretação das fotografias aéreas foram elaborados: a) três mapas temáticos de cobertura de copas de Araucária, b) uma discussão comparativa entre as três escalas fotográficas utilizadas e seus respectivos resultados e c) a vetorização dos mapas temáticos. Parte desse material fotográfico e interpretativo serviu para uma análise mais detalhada do potencial da Imagem IKONOS-2 para a mesma tarefa.

5.1 Interpretação das fotografias aéreas

5.1.1 Delineamento temático de copas de Araucária

As Figuras 21, 22 e 23 mostram os delineamentos temáticos de copas de Araucária provenientes da interpretação estereoscópica, efetuada por um fotointérprete experiente nas três escalas fotográficas 1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000, respectivamente. Ressalta-se que o objetivo principal da fotointerpretação foi delinear o perímetro das copas de Araucária tanto a nível individual como em agrupamento. Utilizando-se a terminologia atual de Sistema de Informação Geográfica, cada copa delineada corresponde a uma entidade poligonal.

Os delineamentos temáticos mostram a distribuição espacial das copas de Araucária no contexto geográfico abrangido em cada linha de vôo. Uma análise espacial desta distribuição foge ao escopo do presente trabalho. Entretanto, tais valores reportam a realidade no interior da floresta, ou mais precisamente as árvores que se encontram nos estratos I e II da floresta.

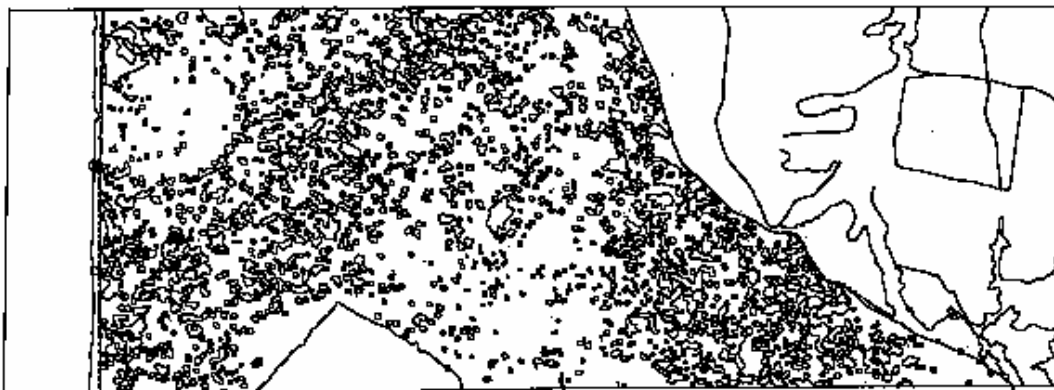


Figura 21 Delineamento Temático em escala 1:4.000.

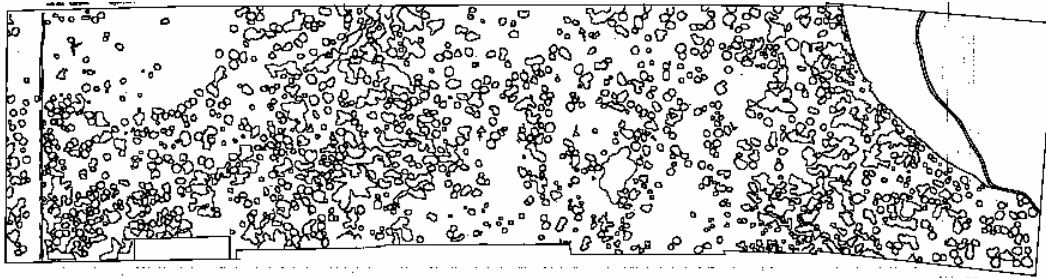


Figura 22 Delineamento Temático em escala 1:2.000.

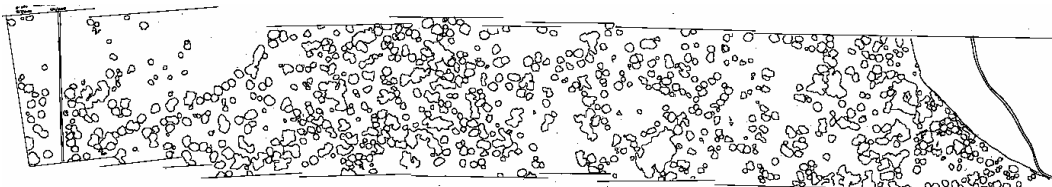


Figura 23 Delineamento Temático em escala 1:1.000.

Em complemento ao acima, a Figura 24 mostra a área geográfica recoberta individualmente em cada uma das três faixas de vôo efetuadas no recobrimento aerofotográfico. A linha de vôo das três faixas foi centrada no eixo principal do experimento florestal instalado em 2000-2002 na FLONA de Irati.

Analisando as copas delineadas individualmente, nas Figuras 21 a 23 e apoiada pela respectiva observação nas fotografias aéreas, estas se apresentam em sua maioria na forma circular, com pouca variação em seu formato. O conjunto de copas apresenta maior dificuldade na interpretação, não seguindo o mesmo padrão das copas individuais, ou seja, uma situação distinta para cada conjunto, dependendo da distribuição espacial e número de copas envolvidas. Essa dificuldade na interpretação e variação na forma das copas é relativo a alguns fatores:

- a) distribuição espacial das árvores;
- b) quantidade de árvores que compõem o conjunto;
- c) sobreposição parcial (árvores que parcialmente fazem parte do conjunto, “maior ou menor porção”) e
- d) sombra, baixa precisão ou dúvida na delimitação das copas.

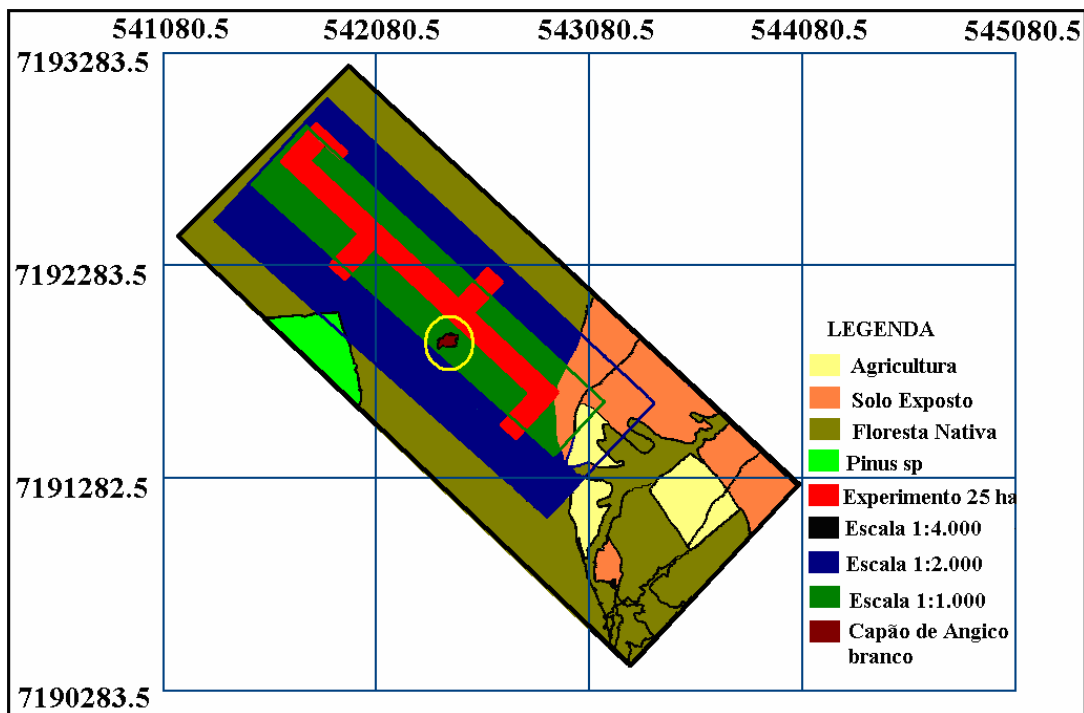


Figura 24 Mosaico georreferenciado e os limites de cada uma das escalas fotográficas.

Quase na metade da faixa presente na escala 1:2.000, observam-se diversos polígonos agrupados, que em trabalho de campo verificou-se ser de angico branco (*Anadenanthera colubrina*), distinguindo-se no dossel superior da floresta. Foi o único exemplo de outra espécie florestal facilmente identificável no contexto da fotointerpretação conduzida. Uma verificação da fotografia aérea em escala 1:25.000 do local obtida em 1980, evidenciou a presença de tal agrupamento de copas. Além desse aspecto fotointerpretativo, tal aglomerado de angico branco pode servir de referência na interpretação de outras fotografias aéreas ou mesmo de imagem de satélite. Tal aglomerado de angico branco auxilia nos estudos interpretativos devido à dificuldade de encontrar pontos no interior da floresta que sirvam de apoio nas fotos aéreas e na imagem de satélite.

A Tabela 3 apresenta dados quantitativos provenientes dos delineamentos temático acima, referente à:

- 1) área total de cada mapa;
- 2) percentual de cobertura de copas de Araucária e
- 3) número de copas (individuais e em agrupamento) Araucária delineadas.

Tabela 3 Dados estatísticos referentes aos três mapas temáticos elaborados.

Escala	1:4.000	1:2.000	1:1.000
Área total Mosaico em (ha)	246,72 ha	121,14 ha	46,31 ha
Cobertura Araucária (%)	21,32 %	25,59 %	24,54 %
Numero de Copas delineadas	1.408 copas	1.198 copas	766 copas

Os resultados apresentados na Tabela 3 (acima) referente à Cobertura de Araucária, seja na forma individual ou em agrupamento, representam as árvores (copas) que ocupam o estrato superior da floresta. Quanto ao número de copas delineadas, segundo DISPERATI (1989), podemos afirmar que o número de copas (polígonos delineados) depende da escala fotográfica, área abrangida e da posição espacial das árvores no terreno. Adicional a isso, na análise da cobertura de copas nas escalas fotográficas, agrupamentos maiores ou copas isoladas estão ligadas à distribuição espacial das árvores, portanto, cobertura de copas não será proporcional em cada escala fotográfica utilizada.

Um aspecto importante mostrado na Tabela 3 é que entre as escalas fotográficas existe uma diferença em área variando de 46,31 até 246,72 ha, mas o percentual de cobertura de copas de Araucária é razoavelmente similar (21,32 a 25,59%) para as três escalas analisadas.

5.1.2 Análise individual de cada escala fotográfica

Nas fotografias aéreas de grande escala, a principal espécie que pode ser mapeada é a Araucária, cujas copas no estágio adulto apresentam-se no dossel da floresta. Árvores do estrato superior aparecem geralmente com coloração mais escura, podendo ser diferenciada de outras espécies, o que facilita grandemente a sua identificação e delimitação nesta análise de ocorrência.

O nível de detalhamento e extração de informações na fotointerpretação depende muito da escala fotográfica. Quanto maior a escala da fotografia aérea, maior o nível de detalhamento extraído, definindo com mais qualidade/facilidade os objetos e seus componentes (tais como galhos, verticilos, tufo de acículas, etc.) e consequentemente melhorando os resultados fotointerpretativos.

A Figura 25 ilustra a área abrangida em cada escala fotográfica, em tamanho original de 21 x 28 cm, e nas quais estão demarcados parcelas de 50 X 50 m instalados em campo.

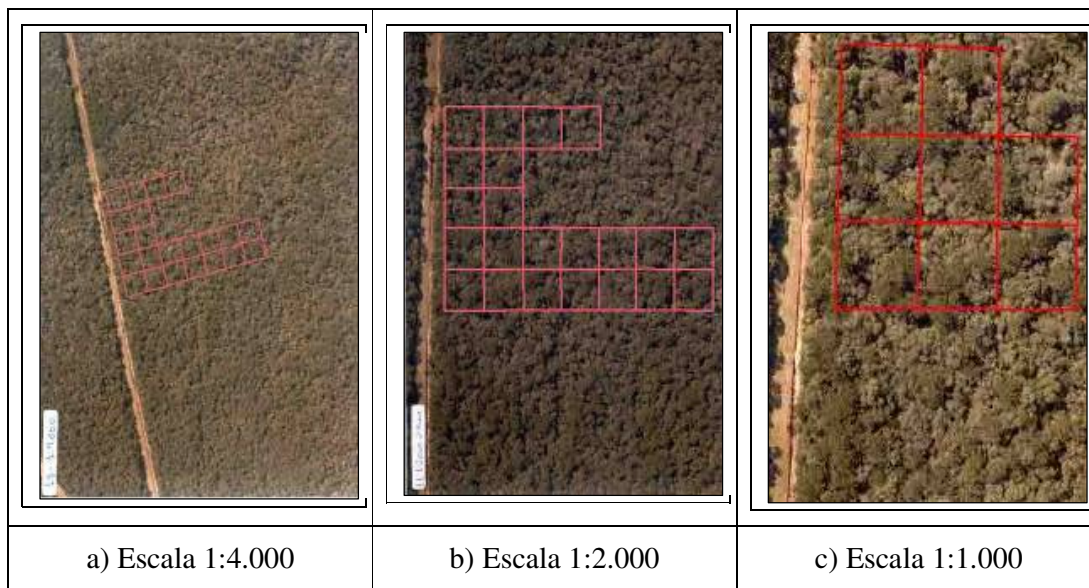


Figura 25 Fotografias aéreas (tamanho original em 21 x 28 cm) delimitados os blocos experimentais sobre a área de estudo.

A área abrangida individualmente pela fotografia aérea (tamanho 21 x 28 cm) em escala 1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000 é de 94,08; 23,52 e 5,88 hectares, respectivamente. Enfim, a fotografia aérea em escala 1:4.000 abrange 4 e 16 vezes mais áreas no terreno do que a fotografia 1:2.000 e 1:1.000, respectivamente. Apenas esse aspecto de área recoberta pode caracterizar o nível de detalhe presente em cada fotografia aérea utilizada. Associado a este aspecto, as fotografias aéreas utilizadas são do tipo colorido normal, apresentando uma riqueza de detalhes muito maior do que a correspondente do tipo preto e branco, tradicionalmente preferida no mapeamento topográfico.

A Tabela 4 apresenta dados quantitativos referentes à área em hectares nas fotografias, nas escalas distintas e o recobrimento médio dos pares de fotografias aéreas para que haja visão estereoscópica (3D).

Tabela 4 Cobertura de Araucária e recobrimento nas diferentes escalas fotográficas.

Escala	1:4.000	1:2.000	1:1.000
Área 01 fotografia 21 x 28 cm (ha)	94,08 há	23,52 ha	5,88 ha
Recobrimento longitudinal médio dos pares de Fotografias Aéreas (%)	63,38 %	64,47 %	63,97 %

Para a cobertura da respectiva área nas fotografias aéreas em escala 1:4.000, 1:2.000 e 1:1.000, foi utilizada 4, 9 e 13 fotos respectivamente na mesma linha de vôo.

A escala fotográfica 1:1.000 apresenta uma rica definição de detalhes na identificação

e interpretação das copas de Araucária assim como das outras espécies florestais. Nesta escala, pode ser medida a dimensão da copa e dos galhos, cobertura foliar, dentre outros, facilitando a interpretação das referidas copas. Tal escala fotográfica possibilita obter riqueza de detalhes no estrato superior da floresta, favorecendo o delineamento individual ou em agrupamentos das copas de Araucária. DISPERATI e OLIVEIRA FILHO (2006) utilizaram fotografias aéreas nessa escala para mostrar sete situações de ocorrência sendo quatro de copas individuais (copas de diferentes tamanhos, parcialmente encoberta, ocupando a posição pré-dominante no dossel e copas com tufo de diferentes tonalidades) e três de agrupamento (situações de impossibilidade ou de relativa dificuldade de caracterizar as copas individuais dentro do agrupamento). Os mencionados autores concluíram que “o conhecimento das diversas situações de ocorrência das copas de Araucária nos estratos superiores da floresta, viabiliza uma interpretação mais consistente ao longo do mapeamento”.

Com o uso da escala fotográfica 1:2.000, obtém-se suficientes informações para a interpretação das copas de Araucária, porém os detalhes tornam-se menores quando comparados a escala 1:1.000.

O uso das escalas fotográficas 1:1.000 e 1:2.000 não são comuns em estudos fotointerpretativos florestais realizados no Brasil. A obtenção de tais escalas torna-se factível como uso da técnica do pequeno formato, mas acarretando a necessidade de ampliação do respectivo negativo fotográfico “no caso de fotografias analógicas” (DISPERATI, 1991).

Na escala fotográfica 1:4.000, o nível de extração de informações é menor do que nas escalas 1:2.000 e 1:1.000 visto que a maior abrangência de área fotografada acarreta uma diminuição no tamanho dos objetos. Exemplificando: uma copa de Araucária com 20 metros de diâmetro medido no terreno, aparecerá, em princípio, com um polígono de 2, 1 e 0,5 cm, nas respectivas escalas.

Na escala de 1:4.000, a identificação e a delimitação das copas de Araucária individuais e em agrupamentos, demandam mais sensibilidade por parte do fotointérprete devido ao tamanho dos objetos na escala, sendo importante à observação estereoscópica e com lente de aumento, usual de três vezes, mas sendo melhor com a de 8 vezes. Nesta escala fotográfica, encontramos alguns fatores que não são limitantes, mas que dificultam e tornam a operação mais demorada, tais como: sobreposição de outras espécies e/ou posicionamento do sol na hora do sobrevôo, definir as bordas/ou limites dos polígonos e copas que se entrelaçam dificultam a interpretação e delimitação das copas individuais.

Apesar das escalas fotográficas possuírem seus níveis de análise distintos, em ambas foi possível identificar, interpretar e delimitar copas de Araucária isoladas e em agrupamentos.

A influência da variável densidade (árvores/ha), distribuição espacial e estágio que encontra-se a floresta devem ser consideradas neste estudo.

5.1.3 Análise comparativa dos delineamentos temáticos de copas de Araucária

Esta atividade de interpretação enfocou mapear copas de Araucária em escalas fotográficas distintas. Os resultados apresentados na fotointerpretação separam Araucária individual e em agrupamentos, mas cada escala fotográfica apresenta suas peculiaridades em nível de detalhes, ou seja, dificilmente o objeto identificado e interpretado na escala 1:4.000 aparecerá igual na escala 1:1.000.

O conhecimento da realidade da floresta e do potencial que cada escala fotográfica oferece, favorece no momento de escolha da escala fotográfica a ser trabalhada, de acordo com o objetivo do mapeamento desejado.

Foram avaliados dez locais identificáveis (ver Figura 26) na área comum nas três faixas de vãos, e os resultados da fotointerpretação foram comparados entre si, levando em consideração o número de copas (polígonos) delineadas, formato (similar ou não) desses polígonos e suas respectivas áreas.

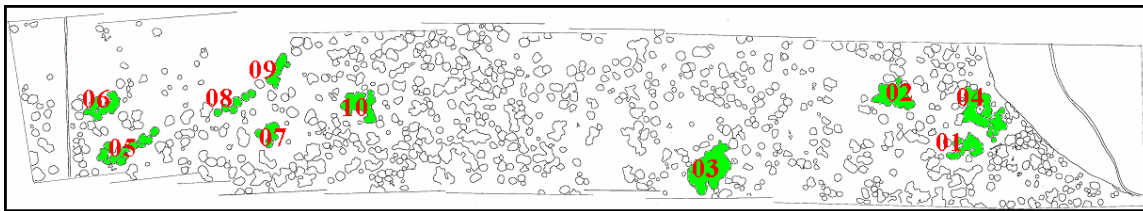


Figura 26 Localização dos polígonos avaliados e comparados nas três escalas diferentes.

Importante salientar que as Figuras 27 a 36 (delineamento de copas) não correspondem à realidade em relação à escala na fotografia, pois foram ampliadas e aproximadas para a escala 1:1.000 para melhor visualização. As Figuras foram extraídas dos mapas temáticos escaneados (digitalizados).

As Figuras 27 a 36 mostram a interpretação dos dez polígonos, selecionados nas três escalas, representados através da entidade poligonal (nove copas de Araucária “1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10” e uma copa de Angico branco “3”), observando-se como estes objetos são visualizados e interpretados nas escalas fotográficas.

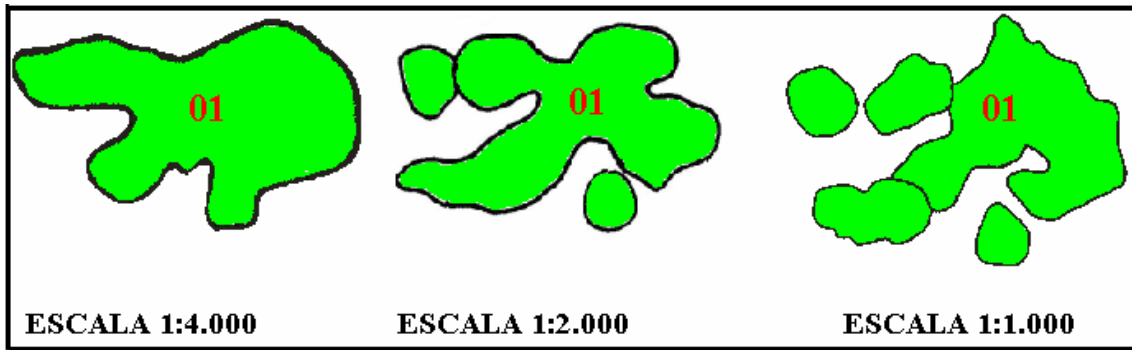


Figura 27 Local 01, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.



Figura 28 Local 02, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

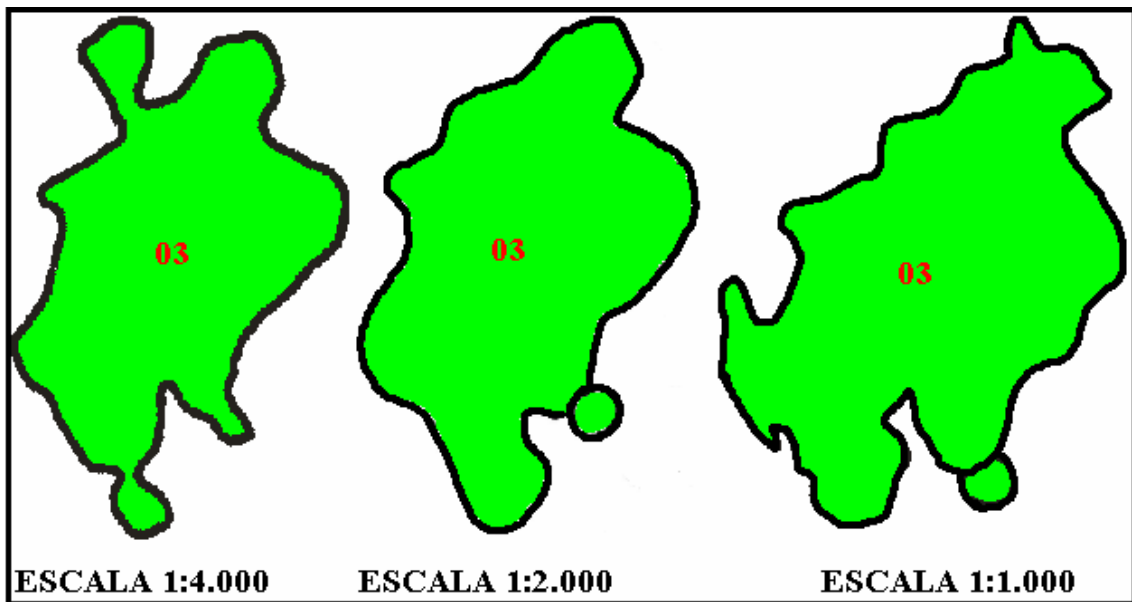


Figura 29 Local 03, copas de Angico branco, representados nas três escalas fotográficas.

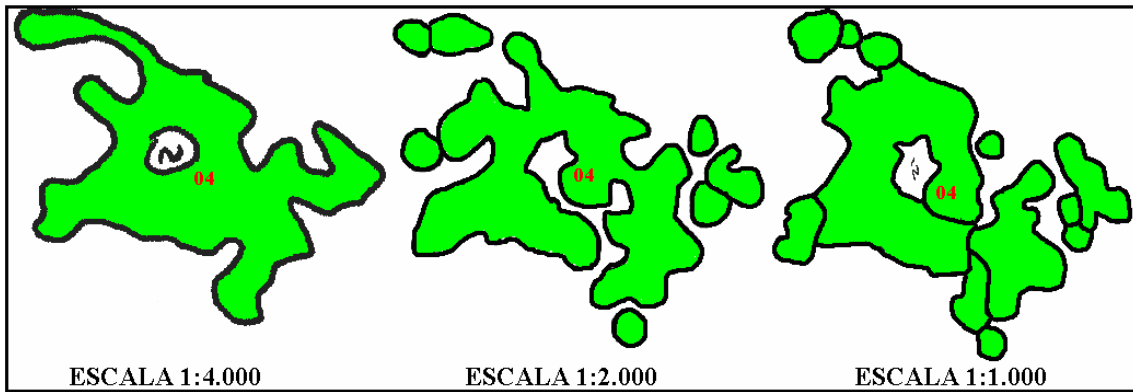


Figura 30 Local 04, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

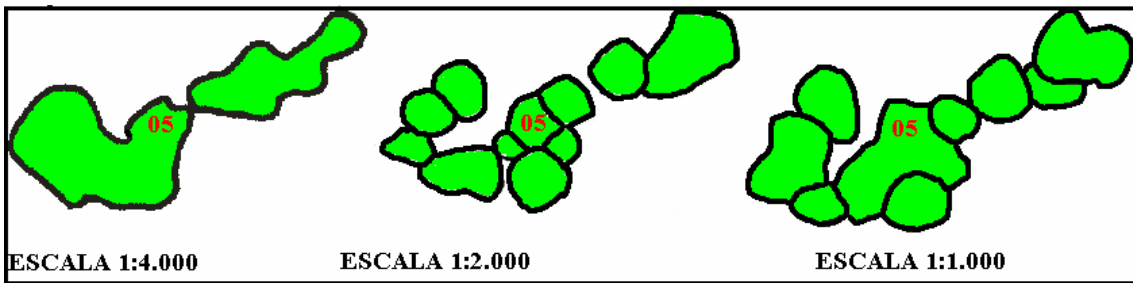


Figura 31 Local 05, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

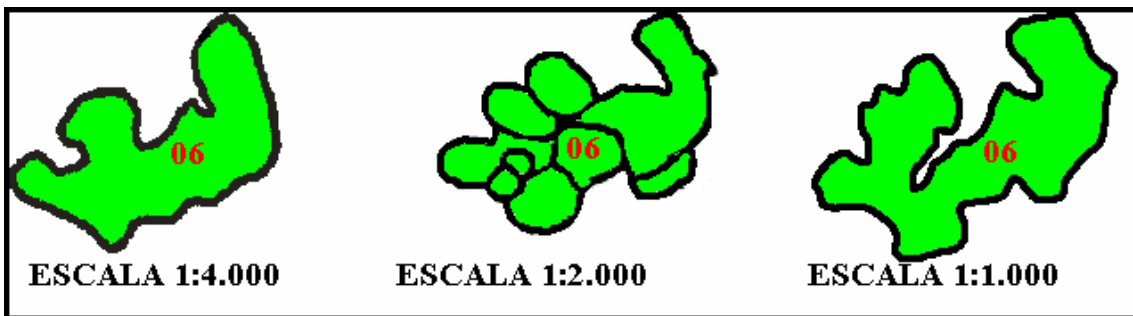


Figura 32 Local 06, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.



Figura 33 Local 07, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

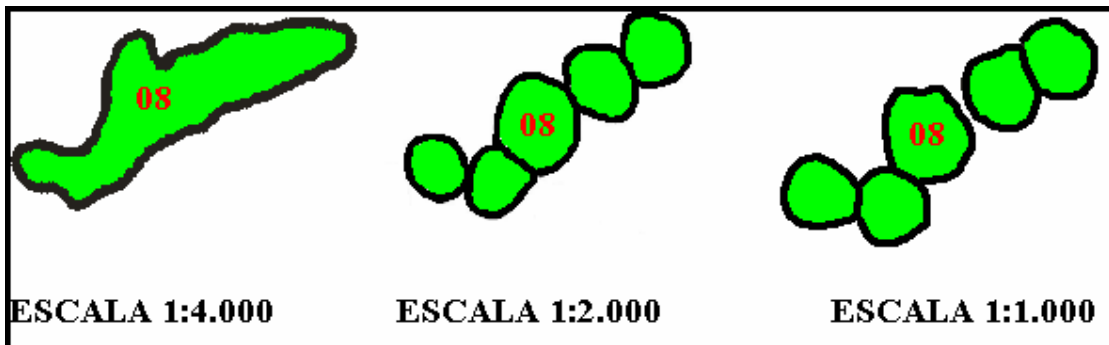


Figura 34 Local 08, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

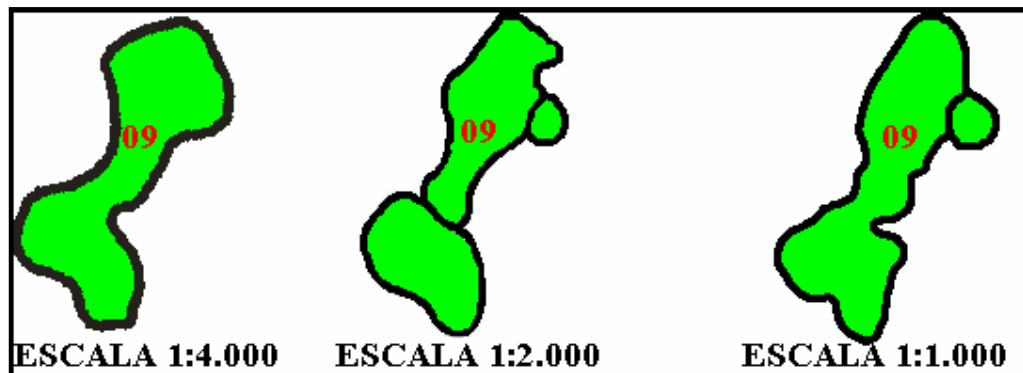


Figura 35 Local 09, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.



Figura 36 Local 10, copas de Araucária, representados nas três escalas fotográficas.

Na comparação geral da fotointerpretação destes dez locais, assim como também se observa nos delineamentos temáticos, a escala 1:1.000 foi a que apresentou melhor definição e detalhes na identificação e interpretação da copas, seguido da escala 1:2.000.

Neste delineamento de copas, visualizam-se com maior clareza os galhos e suas dimensões, os tufos das acículas nas pontas dos galhos, e a cobertura foliar, facilitando a interpretação e identificação das copas de Araucária, o que faz com que esta escala fotográfica se destaque dentre as outras. Tais aspectos são evidentes nas Figuras 27, 31, 33 e 34, com

maior número de polígonos do que na escala 1:4.000. Na interpretação em escala 1:4.000 apresentou maior grau de generalização.

A área ocupada pelos polígonos também foi considerado na comparação. Entretanto, tal análise deve ser feita com muito cuidado, visto que a determinação da área foi realizada no mapa analógico através de rede de pontos com unidade de 1 mm². Assim cada 1mm² nas escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000 corresponde a 160 m², 40 m² e 10 m² respectivamente. Por exemplo, se houver falha na contagem de 5 pontos em cada uma das escalas, teremos uma diferença em área de 800 m², 200 m² e 50 m² respectivamente para as respectivas escalas. Enfim, em função dos detalhes extraídos, haverá maior generalização na interpretação na escala 1:4.000, acumulando erros maiores de áreas do que ocorre nas escalas 1:2.000 e 1:1.000.

A Figura 37, em forma de gráfico, apresenta o resultado da avaliação dos dez (entidade poligonal) locais quanto a área ocupada pelos polígonos. As Avaliações de 1 a 10 apresentam os resultados em relação à área de copa. As Avaliações 2 e 10 apresentaram as maiores variações em área.

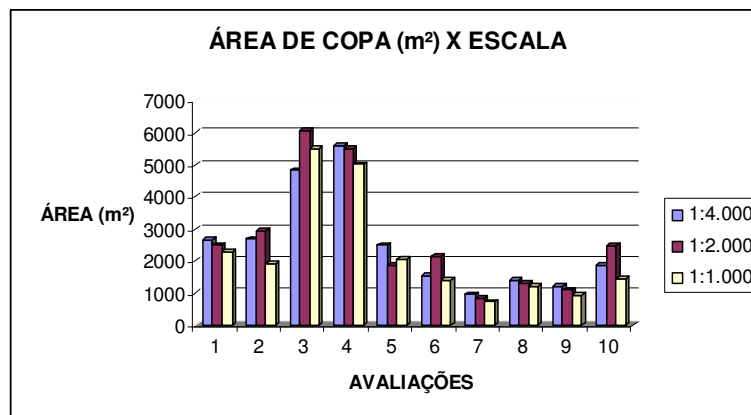


Figura 37 Resultados das avaliações apresentando diferença em área entre os polígonos nos dez locais selecionados.

A Tabela 5 resume os valores encontrados da comparação dos locais selecionados da entidade (polígono).

Tabela 5 Resultado das dez avaliações nas escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000.

	AVALIAÇÕES	ESCALA		
		1:4.000	1:2.000	1:1.000
Comparação 01 - Fig. 27	Número de Polígonos	1	1	3
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	2645 m ²	2490 m ²	2285 m ²
Comparação 02 - Fig. 28	Número de Polígonos	1	2	1
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	2688 m ²	2932 m ²	1912 m ²
Comparação 03 - Fig. 29	Número de Polígonos	1	2	2
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	4836 m ²	6060 m ²	5501 m ²
Comparação 04 - Fig. 30	Número de Polígonos	1	12	5
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	5616 m ²	5496 m ²	5024 m ²
Comparação 05 - Fig. 31	Número de Polígonos	2	11	9
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	2496 m ²	1868 m ²	2036 m ²
Comparação 06 - Fig. 32	Número de Polígonos	1	9	1
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	1536 m ²	2160 m ²	1400 m ²
Comparação 07 - Fig. 33	Número de Polígonos	1	3	4
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	952 m ²	828 m ²	725 m ²
Comparação 08 - Fig. 34	Número de Polígonos	1	5	5
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	1400 m ²	1296 m ²	1211 m ²
Comparação 09 - Fig. 35	Número de Polígonos	1	3	2
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	1216 m ²	1100 m ²	916 m ²
Comparação 10 - Fig. 36	Número de Polígonos	2	2	2
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	Sim
	Área de Copa (m ²)	1872 m ²	2460 m ²	1430 m ²

Para os critérios avaliados, o número de polígonos (as avaliações “3 e 10 apresentam o mesmo número de polígonos” enquanto que as avaliações “1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 não apresentam o mesmo número de polígonos”), para a similaridade (proximidade no padrão da forma) nas 10 áreas avaliadas, todas seguem o mesmo padrão e para a área de copa, houve grande variabilidade sendo apresentado às diferenças médias entre as escalas: 1:2.000 para 1:1.000= 16,46%; 1:4.000 para 1:2.000= -4,33% e 1:4.000 para 1:1.000= 15,22%

O fator que pode alterar a qualidade da interpretação das copas de Araucária e a áreas de cada um dos polígonos é o cuidado com que será realizado o delineamento, a escala fotográfica utilizada e a experiência do fotointérprete, afetando assim diretamente os resultados obtidos.

Na presente dissertação, as três escalas fotográficas foram comparadas visando o delineamento de copas de Araucária. Sob o ponto de vista prático, efetua-se o aerorecobrimento em apenas uma escala fotográfica. Quando necessitar o delineamento de copas com alta confiabilidade, a preferência é para a escala 1:1.000. Entretanto, a escala 1:2.000 também poderá ser usada quando a área a ser sobrevoada exigir a efetivação de diversas linhas de vôo.

As escalas fotográficas 1:2.000 e 1:1.000 possibilitam obter maior riqueza de detalhes no estrato superior da floresta, favorecendo o delineamento individual das copas de Araucária, bem como no caso da ocorrência de copas em agrupamento. Na escala 1:1.000, visualiza-se com maior clareza a dimensão dos galhos e a cobertura foliar, facilitando a interpretação e delimitação das copas de Araucária, o que faz com que esta escala fotográfica se destaque dentre as outras.

Na escala fotográfica 1:4.000, a riqueza de detalhes observados não é tão grande comparados as demais escalas estudadas. Esta escala é bastante genérica para a caracterização das copas de Araucária. Quanto a copas individuais, parcialmente encobertas, ocupando uma posição pré-dominante na floresta e com tufo de tonalidades diferentes, a interpretação torna-se mais difícil. Ocorrência de copas agrupadas evidencia-se relativa dificuldade de caracterizar ou distinguir copas individuais dentro do agrupamento e agrupamentos de duas copas podem ser interpretados erroneamente como sendo apenas uma copa.

O conhecimento das diversas situações de ocorrência das copas de Araucária no estrato superior da floresta permite uma interpretação mais consistente ao longo do mapeamento. A comparação entre diferentes escalas permite um refinamento das diversas situações apresentadas, assim como a eliminação de erros interpretativos.

5.1.4 Vetorização em tela dos mapas temáticos

Os dados matriciais proveniente da fotointerpretação foram vetorizados individualmente nas escalas trabalhadas.

Na fase preparatória da vetorização (ou digitalização em tela) das copas de Araucária em cada um dos mapas temáticos verificou-se a necessidade de definir os possíveis pontos de vetorização. Em essência, a vetorização poderia ser efetuada automaticamente, ou manualmente, podendo escolher três pontos para a digitalização: parte interna, centro do polígono ou externa como mostra a Figura 38. O ponto de escolha da vetorização é influenciado de acordo com a escala da fotografia.

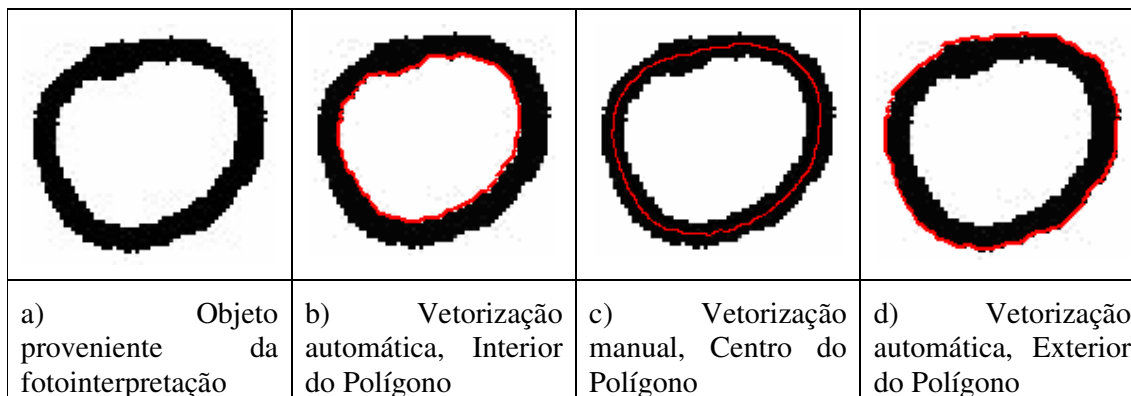


Figura 38 Diferença em área decorrente do ponto de vetorização em escala 1:4.000.

A Figura “a” foi escaneada visando à transformação para o formato raster digital. A partir desta figura, foram geradas as figuras “b, c & d” onde mostra os diferentes pontos para a vetorização em tela. Tal procedimento foi feito para facilitar a comparação visual entre as posições do delineamento temático (interior, central e exterior) e a influência que cada posição de vetorização tem sobre a área de copa. A figura “c” vetorizada em tela representa a metodologia adotada para a transformação temática dos polígonos nas três escalas fotográficas.

A Tabela 6 mostra a influência que a escolha do ponto de vetorização tem sobre a área em trinta exemplos em escala 1:4.000.

Tabela 6 Diferença de área encontrada através do ponto de delimitação dos polígonos.

Escala 1:4000 (área m²)							
Pol. N^o	Interno	Centro	Externo	Pol. N^o	Interno	Centro	Externo
1	614,69	765,5	929,75	16	92,97	129,96	181,77
2	98,77	137,33	186,70	17	488,75	630,14	771,81
3	86,82	129,8	178,78	18	89,79	125,90	175,64
4	72,69	106,14	144,66	19	258,69	325,4	410,73
5	123,69	170,23	225,66	20	229,75	300,59	376,92
6	241,73	309,95	381,72	21	135,73	181,77	237,78
7	217,80	288,66	365,70	22	356,67	430,58	511,75
8	94,72	139,42	193,69	23	55,79	86,66	130,72
9	860,13	1054,87	1263,00	24	100,75	1209,53	1432,00
10	133,77	182,05	239,78	25	85,80	119,09	170,78
11	54,70	83,50	119,66	26	193,69	249,38	326,72
12	78,80	112,52	161,67	27	294,75	385,59	495,96
13	378,77	451,39	539,67	28	67,72	97,57	143,70
14	72,74	103,15	145,69	29	66,79	97,43	141,71
15	344,83	438,45	537,81	30	486,56	602,67	745,75

Com a utilização do ponto central para o delineamento de cada polígono, para a porção interna teremos uma perda média em área em torno de 28,11%. Ao utilizarmos a porção externa, teremos um acréscimo médio em área de 32,22%.

O ponto de escolha de vetorização adotado neste estudo foi o ponto central, optando-se pelos valores médios em cada matriz de dados.

A conversão do mapa analógico para o mapa em formato digital serve para dar suporte à comparação entre fotografias aéreas e a imagem IKONOS-2.

O número de polígonos vetorizados e o tempo de vetorização em cada uma das escalas são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 Vetorização em tela levando em consideração o número de polígonos e tempo em três escalas diferentes.

	ESCALA 1:4000	ESCALA 1:2000	ESCALA 1:1000
Número de Polígonos	1408	1198	766
Tempo de Vetorização	730' ou 12 horas e 10'	605' ou 10 horas e 5'	368' ou 6 horas e 8'

O tempo de vetorização não foi proporcional ao número de polígonos gerados. Este fato está ligado a alguns aspectos, como:

- 1) Na medida em que aumenta a habilidade do fotointérprete, o tempo de vetorização diminui;
- 2) Polígonos menores diminuem o tempo de vetorização e
- 3) Quanto maior a ampliação/aumento da escala dos objetos (polígonos), maior tempo gasto na localização e vetorização dos mesmos.

5.1.5 Ajuste dos modelos matemáticos

A partir das cento e cinquenta e nove árvores medidas em campo, obtiveram-se os seguintes resultados para os diâmetros de copa:

- a) diâmetro mínimo 5,5 m;
- b) diâmetro médio 14,21 m e
- c) diâmetro máximo 23,25 m.

Para os DAP's, os resultados foram:

- a) DAP mínimo 29 cm;
- b) DAP médio 61 cm e
- c) DAP máximo 95 cm.

Para a área de copa foi obtido o seguinte resultado:

a) Área de copa média de 158,59 m².

Foram utilizados seis modelos DC= f (dap) e AC= f (dap). A eficiência dos modelos estimadores foi analisada através:

- a) Do erro padrão da estimativa (*Syx*);
- b) Do coeficiente de determinação (*R*²) e
- c) Análise gráfica dos resíduos em função dos valores estimados da variável dependente *y_i*.

Estas estatísticas medem a eficiência dos estimadores, isto é, a precisão com que a reta estará próxima dos valores observados de *y*. A menor variância é que definirá tal precisão, ou seja, a proximidade dos valores observados de *y*.

O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo Parabólico:

1) DC= -7,49366 + ((0,541189 x dap) + (-0,00288 x dap²))

2) AC= -204,106 + ((8,295388 x dap) + (-0,03416 x dap²))

Onde:

- a) DC= Diâmetro de copa em metros;
- b) AC= Área de Copa em m² e
- c) DAP= Diâmetro a altura do peito (1,3 m).

Neste modelo, foram obtidos os seguintes resultados, dentre eles: Erro Padrão da Estimativa, Coeficiente de Determinação, os Coeficientes da Regressão e Análise Gráfica dos Resíduos.

Tabela 8 Eficiência dos estimadores dc= f (dap) “A” e ac= f (dap) “B”.

Modelo Parabólico “A”		Modelo Parabólico “B”	
Syxrec	2,114985	Syxrec	51,31666
Syxrec%	14,87943	Syxrec%	30,55026
R ²	0,629006	R ²	0,570152
R ² ajust	0,62425	R ² ajust	0,564641
B0	-7,49366	B0	-204,106
B1	0,541189	B1	8,295388
B2	-0,00288	B2	-0,03416

Onde:

- a) O Erro Padrão da Estimativa *Syx* indica o desvio padrão da distribuição dos estimadores em diversas amostragens, ou seja, 2,11 metros e 51,31 m² ou 14,87% e

30,55% respectivamente. O determinante principal da precisão é a quantidade de dispersão na população, ou seja, quanto maior a dispersão, menor a precisão das estimativas.

b) Analisando-se a Tabela 8, pode-se observar que dentre os 6 modelos testados, o modelo Parabólico apresentou resultados mais significativos. O modelo para diâmetro de copa (DC) foi o que melhor apresentou relação com o DAP, apresentando um coeficiente de determinação de 0,62%. Para a área de copa (AC) o modelo apresentou menor coeficiente de determinação de 57%.

c) O coeficiente de determinação R^2 indica a proporção da variação total na variável dependente y que é explicada pela variação da variável independente x . Se R^2 é próximo de 1, isso significa que a variação explicada responde por uma grande percentagem da variação total. O R^2 ajustado descreve 0,62 e 0,57, ou seja, indicam que aproximadamente 62% e 57% da variação em y está relacionada com a variação de x e que 38% e 43% não é explicado por x . O fato de R^2 não estar próximo de zero sugere que a equação é melhor que a média de y como preditor, ou seja, parcela de y que é explicada por x .

d) Os pontos do gráfico distribuem-se de forma aleatória, como mostram as Figuras 39 e 40 em torno da reta que corresponde ao resíduo, sustentando a independência dos erros. Na análise gráfica dos resíduos, deu indicação de que os resíduos distribuem-se aleatoriamente. Com essas observações, percebe-se que a análise gráfica dos resíduos foi uma ferramenta de grande importância para a seleção de modelos matemáticos de regressão, permitindo melhor visualização da distribuição dos resíduos em todo o conjunto de dados, separando visualmente as equações, o qual deu indicação de que a análise gráfica para o diâmetro de copa (A) distribui-se de melhor forma.

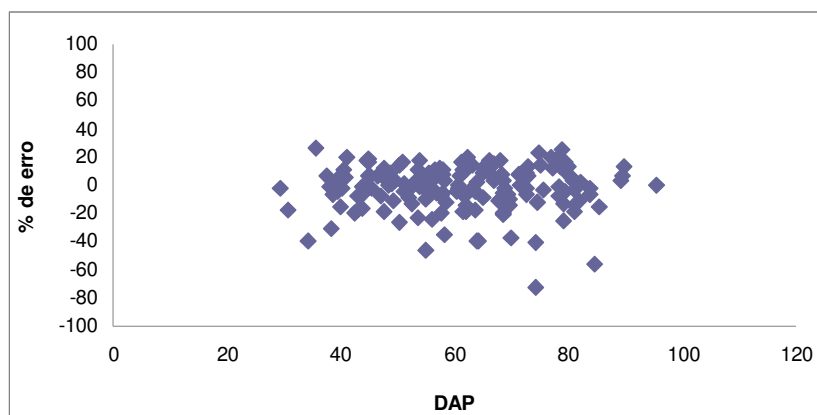


Figura 39 Gráfico de resíduos referente ao modelo Parabólico “A”.

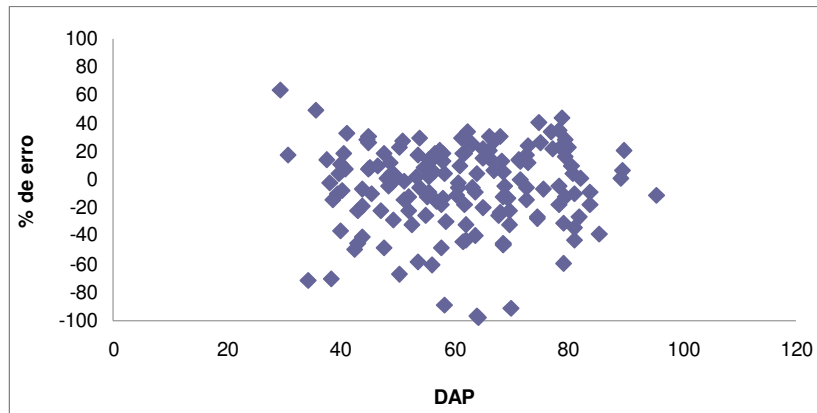


Figura 40 Gráfico de resíduos referente ao modelo Parabólico “B”.

5.2 Comparação entre interpretação da fotografia aérea e imagem IKONOS-2

Precisão gráfica de uma escala é a menor dimensão gráfica percebida pela vista humana, entende-se como a menor dimensão capaz de ser representada em uma planta. De acordo com as normas técnicas, a mínima estimativa gráfica possível de ser observada a olho nu é de 0,0002 m. Como a escala é uma relação de proporção entre uma representação gráfica e a superfície terrestre representada, logo a exatidão desta representação é função da relação entre o erro gráfico e a escala do documento cartográfico:

$$E_g = 0,0002 \times F_e \quad (1) \quad E = 1 / F_e \quad (2)$$

$$E_g = 0,0002 \times 1:4.000 = 0,8 \text{ metros}$$

Sendo:

E_g = erro tolerável em metros,

E = escala do documento,

F_e = fator de escala do documento,

Para a análise comparativa convencionou-se a utilização dos resultados da interpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000, e a imagem IKONOS-2 justificados pelo melhor enquadramento na visualização e obtenção dos dados, precisão de 0,8 metros e menor objeto 0,64 m².

A Figura 41 a seguir ilustra a imagem IKONOS-2 com as coordenadas UTM, experimento 25 ha e interpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000.

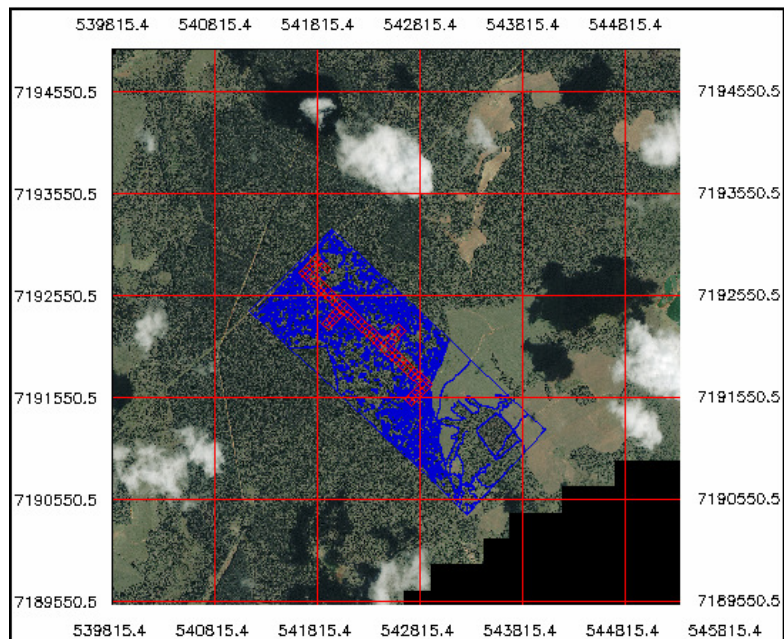


Figura 41 Imagem IKONOS-2 georeferenciada, com a sobreposição do experimento de 25 ha e interpretação das fotografias aéreas em escala 1:4.000.

O recorte da imagem IKONOS-2 (Figura 42) mostra a localização dos dez locais (polígonos) selecionados para subsidiar a avaliação visual da imagem IKONOS-2. São os mesmos utilizados para a avaliação das fotografias aéreas.

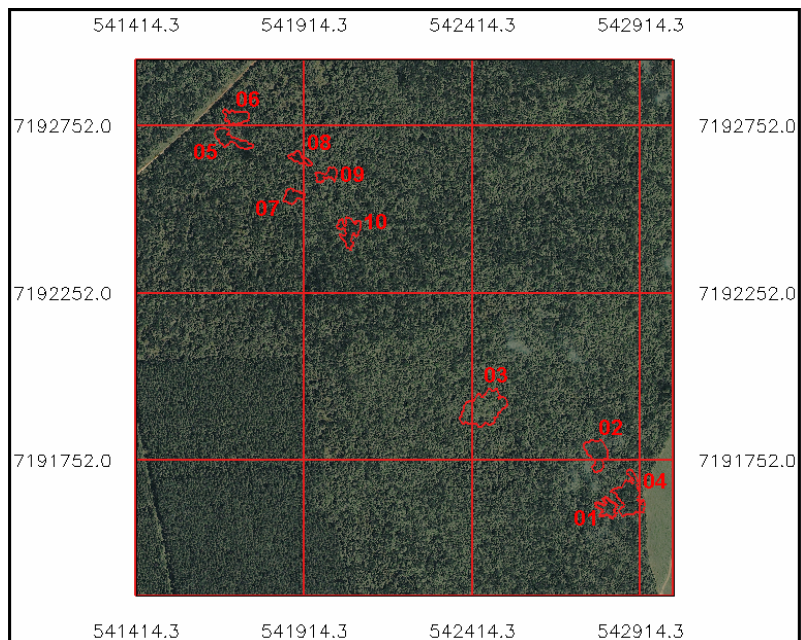


Figura 42 Locais selecionados para a avaliação interpretativa na Imagem IKONOS-2.

Cada figura é composta por dois resultados e uma comparação entre eles, sendo: a)

Avaliação interpretativa da fotografia aérea (georreferenciada sobre a imagem IKONOS-2) efetuada com o auxílio de estereoscópio de espelho e binocular; b) Avaliação interpretativa digital 2D (visão bidimensional em tela do computador) da imagem IKONOS-2 (composição colorida 1R-2G-3B) e c) Comparação entre interpretação entre os itens “a” & “b”. A obtenção da área de cada polígono foi obtida através da utilização do *Software* SPRING.

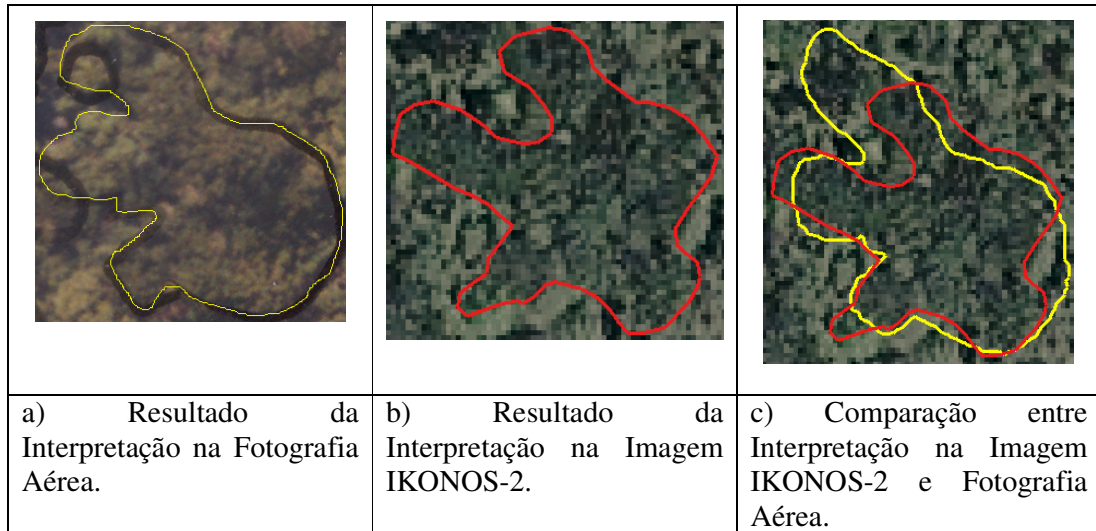


Figura 43 Comparação 01 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.

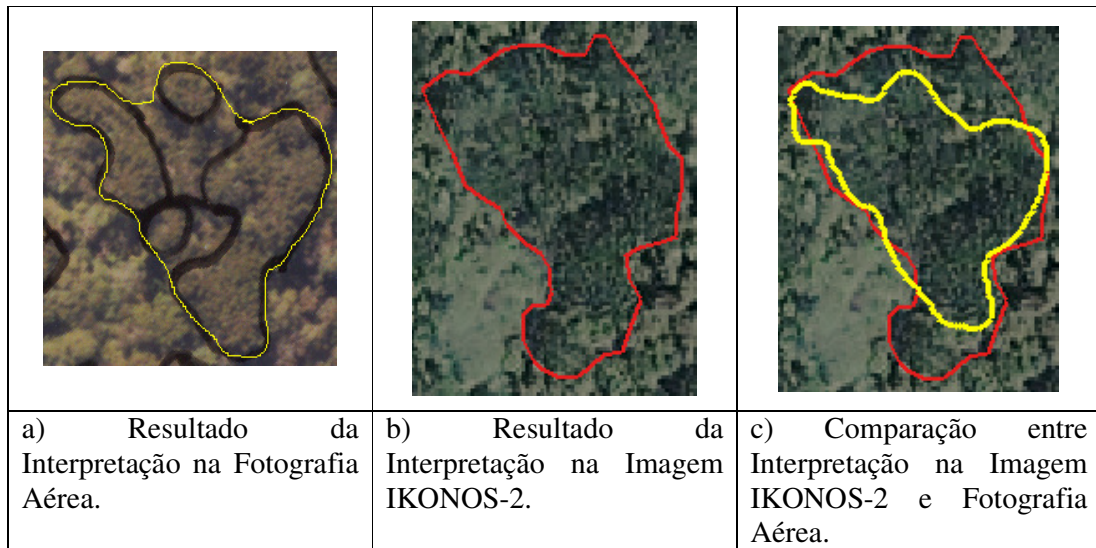


Figura 44 Comparação 02 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.

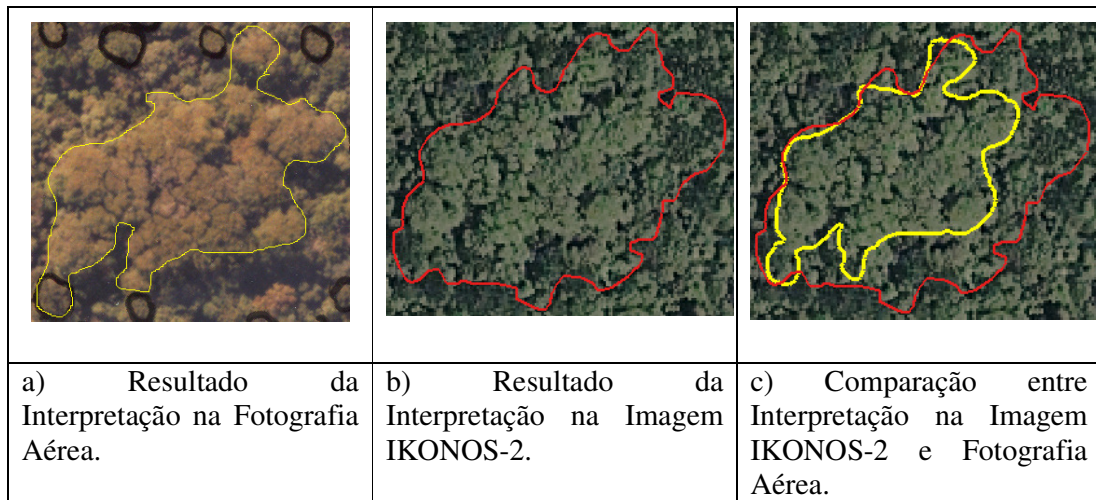


Figura 45 Comparação 03 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.

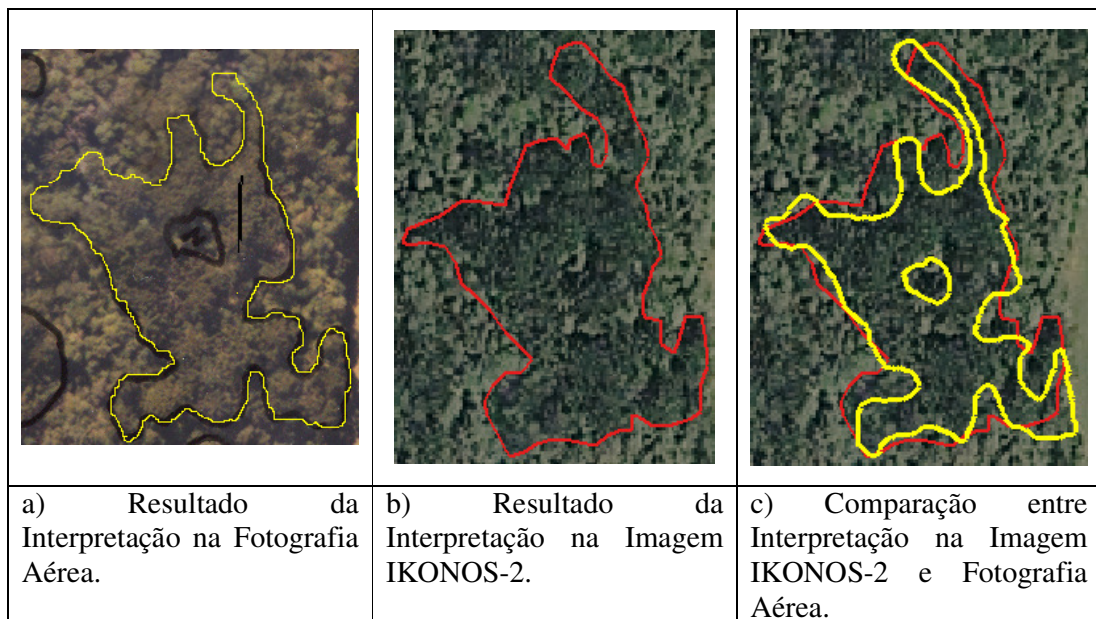


Figura 46 Comparação 04 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.



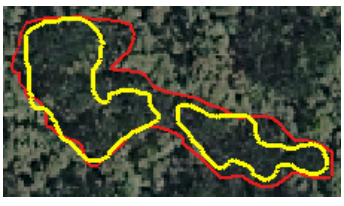
		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 47 Comparação 05 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.




		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 48 Comparação 06 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.



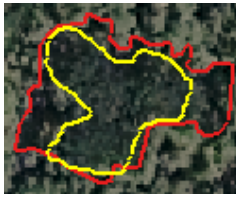
		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 49 Comparação 07 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.



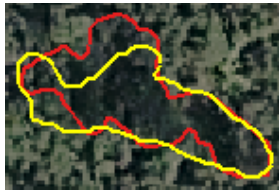
		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 50 Comparação 08 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.




		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 51 Comparação 09 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.



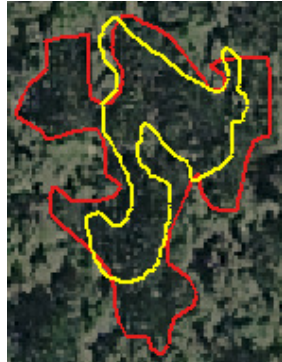
		
a) Resultado da Interpretação na Fotografia Aérea.	b) Resultado da Interpretação na Imagem IKONOS-2.	c) Comparação entre Interpretação na Imagem IKONOS-2 e Fotografia Aérea.

Figura 52 Comparação 10 entre polígono proveniente da interpretação em fotografia aérea 1:4.000 e Imagem IKONOS-2.

As comparações interpretativas entre as fotografias aéreas em escala 1:4.000 e

imagem IKONOS-2 foram realizadas a partir de 10 análises apresentadas acima, sendo elas: análise 01, 02, 04-10 realizadas com a espécie Araucária (espécie de interesse) e análise 03 realizada com Angico branco (agrupamento de fácil visualização nas fotografias e imagem).

Tabela 9 Análise interpretativa entre dez polígonos, interpretados e delineados nas fotografias aéreas e imagem de satélite.

Local	AVALIAÇÕES	Fotografia Aérea X IKONOS-2		
		1:4.000	IKONOS	Diferença entre a área da imagem IKONOS-2 e fotos aéreas
01	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	2519,5 m ²	2100,28 m ²	- 19,96%
02	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	2837,00 m ²	4140,56 m ²	45,95%
03	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	5553,12 m ²	9682,00 m ²	74,35%
04	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	4725,81 m ²	6621,18 m ²	40,11%
05	Número de Polígonos	2	2	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	2010,50 m ²	3031,47 m ²	50,78%
06	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	1638,06 m ²	2307,50 m ²	40,86%
07	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	1028,75 m ²	1767,22 m ²	71,78%
08	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	1262,78 m ²	1338,47 m ²	5,99%
09	Número de Polígonos	1	1	
	Similaridade (Formato)	Sim	Sim	
	Área de Copa (m ²)	1000,63 m ²	1473,63 m ²	42,27%
10	Número de Polígonos	1	1	

	(Continuação)			
10	Similaridade (Formato)	1	1	
	Área de Copa (m ²)	1549,00 m ²	3304,81 m ²	113,35%

As análises foram realizadas levando em consideração o número de polígonos delineados, formato similar (similaridade entre as interpretações) e área. A partir destes resultados, foi gerada a Figura 53 (abaixo) em forma de gráfico comparando a área delineada nas fotografias e na imagem IKONOS-2.

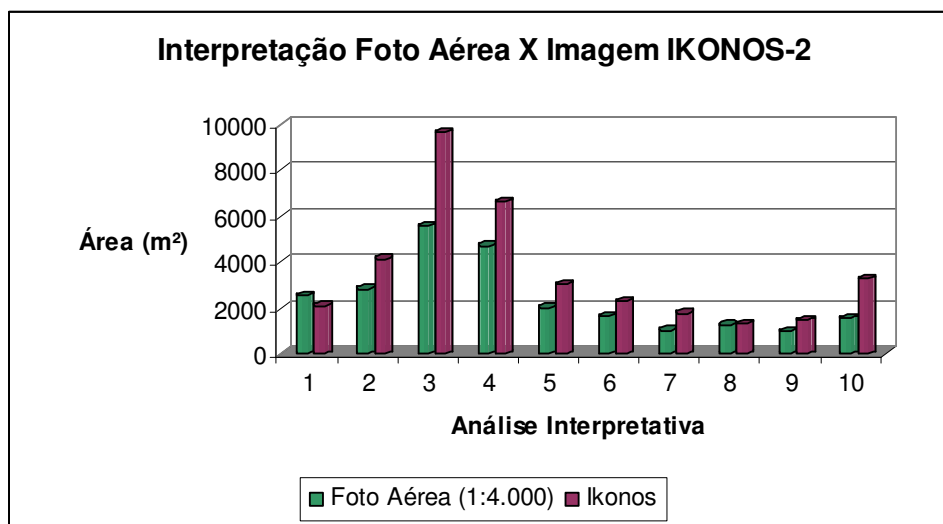


Figura 53 Análise interpretativa das 10 avaliações, entre a interpretação das fotografias aéreas e a Imagem IKONOS-2.

A partir da Figura 53 (acima), e Tabela 9 (acima) destacam a diferença entre a interpretação das fotografias aéreas e imagem IKONOS-2 em área. Nas avaliações 2 a 10, a interpretação da imagem de satélite apresentou resultados superiores em área (m²) quando comparados com as fotos aéreas, apenas na avaliação 1 os resultados da interpretação das fotografias foi maior que da referida imagem de satélite. A utilização de técnicas de fotointerpretação com auxílio do estereoscópio mostrou ser viável no estudo proposto para as avaliações como a identificação e interpretação das copas de Araucária.

Durante o processo de interpretação das fotografias na fase preliminar do projeto, e posteriormente a montagem do mosaico não controlado, ficou evidente que a interpretação das Araucárias foi facilitada pela coloração, textura e formato das copas. Ressalta-se que como complemento deste estudo, foi realizada uma interpretação visual das copas de Araucária utilizando-se a imagem de satélite (IKONOS-2), com a intenção de identificar as

copas de Araucária, relacionando as mesmas copas nas fotografias e na referida imagem. No processo de interpretação visual das Araucárias na imagem orbital IKONOS-2, esta operação é bastante dificultada pela presença de sombra, menor definição (resolução) dos limites das copas e menor ampliação que a imagem apresenta em relação às fotografias aéreas.

Na avaliação “número de polígonos”, a interpretação estereoscópica e na tela do computador, ambas apresentaram o mesmo número. Na avaliação “formato e similaridade da copa” todas as avaliações apresentaram similaridade entre si. Houve grande diferença entre a interpretação das fotos aéreas e a imagem IKONOS-2 no tocante a área, resultando em uma diferença média (de 47%). Analisando as áreas dos polígonos delineados, ambas as avaliações apresentaram diferença entre si.

A partir deste trabalho, as fotografias aéreas apresentam algumas facilidades na interpretação quando comparadas com imagens satelitárias:

- a) Melhor visualização dos objetos nas fotografias aéreas, principalmente por possuírem recobrimento longitudinal mínimo de 60%, facilitando a visualização através do estereoscópio e binocular quando comparadas com a ferramenta “*zoom*” do computador, utilizadas para a interpretação da imagem IKONOS-2;
- b) As fotografias aéreas apresentaram-se em três escalas fotográficas para análise comparativa, enquanto a imagem IKONOS-2 foi analisada apenas com a ferramenta “*zoom*”.
- c) No presente estudo, as fotografias aéreas apresentam melhor resolução para a interpretação, possibilitando melhor distinção entre os limites de copas, áreas sombreadas e distinção de outras espécies.

A avaliação de número oito (mostrada na Figura 50) foi a que apresentou menor diferença em área, ou seja, o melhor resultado na comparação de área entre a fotointerpretação estereoscópica e interpretação em tela do computador, com diferença de 5,99%. Esta proximidade entre as duas interpretações reflete maior similaridade entre as duas interpretações, possibilitando melhor definição entre sombra, Araucária e outras espécies o que facilitou a delimitação dos limites dos *pixels* do referido polígono. A avaliação de número dez (mostrada na Figura 52) foi a que apresentou a diferença em área mais alta, maior diferença entre a fotointerpretação estereoscópica (fotografia aérea) e interpretação em tela do computador (IKONOS-2), ou seja, 113,35% (mais que o dobro em área de uma interpretação para outra). Esta acentuada diferença de área entre as duas análises reflete à dificuldade de interpretação devido a sombra, outras espécies que na imagem limitam a identificação das bordas dos *pixels* do referido polígono.

Sem o apoio das fotografias aéreas, a interpretação na imagem IKONOS-2 fica muito

subjetiva e os resultados superestimados. A análise comparativa entre os resultados provenientes da interpretação da fotografia aérea em escala 1:4.000 e a imagem IKONOS-2 evidenciam que os melhores resultados foram aqueles obtidos com auxílio do estereoscópio de espelho e binocular.

5.2.1 Georreferenciamento e registro

Para o georreferenciamento e registro do mosaico não controlado sobre a imagem IKONOS-2 foram inseridos duzentos e oitenta e dois pontos de controle distribuídos sobre a imagem, levando em consideração três transformações polinomiais. A reamostragem escolhida foi “vizinho mais próximo”.

Este método apenas atribui o valor do nível de cinza de determinado pixel da imagem reamostrada ao pixel da imagem original que estiver mais próximo. Trata-se então, apenas de um arredondamento. Este método possui 0,5 pixel de erro, e isso leva a descontinuidades na imagem reamostrada. Algumas de suas vantagens, segundo NOVO (1988) são seu rápido processamento e fácil implementação. Além disso, esta reamostragem não altera os valores radiométricos da imagem original.

Para a transformação polinomial do 1º grau, obteve-se um erro de 5,68, para o polinômio do 2º grau um erro de 4,55 e para o polinômio do 3º grau um erro de 4,52, sendo os melhores ajustes no georreferenciamento, o qual foi adotado a transformação polinomial do 3º grau.

5.2.2 Segmentação

Os resultados da segmentação referente aos diferentes pares de limiares testados foram sobrepostos aos resultados da fotointerpretação visualmente, objetivando comparar os resultados obtidos com as segmentações ditas como referência. Este processo deu suporte à escolha dos melhores pares de limiares para a segmentação orientada ao objeto baseado no critério de interpretação visual, buscando-se os pares de similaridades que gerem resultados mais semelhantes aos da interpretação visual das fotografias aéreas inseridos na imagem IKONOS-2. Os Quadros de 5 a 10 mostram a variação de intervalos nos valores de similaridade e área de pixel.

Neste estudo, adotou-se a forma sistemática em que os limiares de similaridade variam de 10 a 100 e a área de *pixel* variando de (100; 150 e 200), através de uma combinação entre

os valores e as bandas multiespectrais (RGB e IR/R/G). Ao todo foram testados 60 pares de combinações de limiares de combinação entre similaridade e área de *pixel*. Nestes testes, foram analisados similaridade, área de *pixel*, tempo de processamento na segmentação e número de polígonos gerados. Os Quadros 5 a 10 mostram os resultados da variação nos intervalos selecionados para os pares de limiares adotados.

COUTINHO (1997) relata que se o limiar de área que define os tamanhos mínimos de regiões for muito alto, haverá um reagrupamento de fragmentos, formando polígonos muito heterogêneos. A alternativa oposta – graus de similaridade altos e áreas mínimas muito pequenas – também resultará na formação de fragmentos heterogêneos.

5.2.3 Composição RGB e IR/R/G na segmentação

A maneira de visualizar dados espectrais usando um computador é associar às leituras do contador digital em diferentes bandas as intensidades de cor no monitor, associando à energia refletida dos objetos aos níveis de cinza ou tonalidades. O monitor representa as cores pela combinação aditiva das cores básicas: vermelho (Red), verde (Green) e azul (Blue), do que decorre o nome RGB (Red, Green, Blue). Qualquer cor a ser representada na tela deve ser o resultado da combinação destas três cores básicas. Isto, segundo HUNT (1992), resulta numa quantidade limitada de cores que é, porém, muito grande em relação à capacidade de percepção do olho humano. As cores podem ser representadas por um vetor tridimensional (RGB) e os valores digitais possíveis dependem da resolução radiométrica da imagem. Para uma imagem de oito bits, o espaço assume a forma de um cubo de 256 valores digitais em cada eixo.

Pares de limiares nas bandas multiespectrais (RGB) utilizados na segmentação através do método crescimento de regiões.

Quadro 5 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 100 m² nas bandas multiespectrais (RGB).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	100	11' 59"	10.425
2	20		6' 58"	7.638
3	30		10' 18"	4.164
4	40		7' 55"	7.638
5	50		4' 57"	1.715
6	60		3' 13"	1.580
7	70		1' 28"	112
8	80		1' 20"	22

(Continuação)			
9	90		1' 10"
10	100		1' 35"

Quadro 6 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 150 m² nas bandas multiespectrais (RGB).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	150	9' 48"	6.936
2	20		13' 07"	5.222
3	30		13' 48"	2.674
4	40		9' 48"	1.379
5	50		6' 25"	1.172
6	60		7' 02"	1.134
7	70		3' 26"	55
8	80		2' 24"	13
9	90		2' 34"	11
10	100		2' 53"	11

Quadro 7 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 200 m² nas bandas multiespectrais (RGB).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	200	9' 07"	5.112
2	20		10' 30"	3.888
3	30		24' 32"	1.912
4	40		8' 15"	1.039
5	50		7' 45"	892
6	60		6' 39"	870
7	70		4' 12"	37
8	80		4' 32"	12
9	90		2' 40"	10
10	100		2' 58"	10

A região do visível (bandas R/G/B) compreende a radiação eletromagnética entre 400 e 700 nm. Como a maior parte desta radiação que incide sobre o dossel vegetativo é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo das folhas, utilizou-se também a faixa espectral na região do infravermelho próximo. A região do infravermelho próximo é constituída de radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda situam-se na faixa espectral entre 700 nm e 1 mm. Utilizando a composição das bandas (IR/R/G) a absorção é muito baixa e a refletância pode chegar até 50%, onde o sensor utilizado pelo sensoriamento remoto são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética nesta faixa do espectro eletromagnético e gerar informações que possam ser transformadas em um produto passível de interpretação, na forma de imagem.

Pares de limiares nas bandas multiespectrais (IR/R/G) utilizados na segmentação através do método crescimento de regiões.

Quadro 8 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 100 m² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	100	8' 17"	11.551
2	20		7' 53"	9.751
3	30		11' 25"	6.838
4	40		1h 11' 20"	4.055
5	50		1h 04' 04"	2.290
6	60		38' 35"	1.387
7	70		2' 53"	1.129
8	80		5' 41"	970
9	90		5' 10"	761
10	100		1' 26"	82

Quadro 9 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 150 m² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	150	10' 57"	7.550
2	20		8' 13"	6.537
3	30		10' 39"	4.613
4	40		1h 32' 28"	2.697
5	50		32' 43"	1.526
6	60		3' 19"	992
7	70		3' 43"	799
8	80		5' 23"	699
9	90		6' 32"	551
10	100		2' 15"	100

Quadro 10 Similaridade variando de 10 a 100 e Área de *Pixel* 200 m² nas bandas multiespectrais (IR/R/G).

Número	Similaridade	Área Polígono	Tempo de Processamento	Número de Polígonos
1	10	200	6' 41"	5.639
2	20		9' 39"	4.893
3	30		13' 43"	3.485
4	40		7h 41' 19"	2.052
5	50		2h 26' 08"	1.159
6	60		9' 01"	758
7	70		11' 09"	587
8	80		7' 16"	536
9	90		10' 15"	434
10	100		3' 50"	31

O tempo de segmentação foi em geral, tomado como médio a baixo, tornando significativa a diferença de tempo gasto entre os limiares de aceitação. O tempo gasto para o processamento para os limiares do algoritmo não foi proporcional ao número de polígonos gerados pelo algoritmo.

Não há regras específicas para esta tarefa (segmentação) e a seleção do procedimento (metodológico) permanece altamente dependente do método de “*try and error*” os quais subjetivamente influenciam na qualidade da segmentação.

Com base no critério visual, conclui-se que o par de limiar que mais se aproximou do referencial (delineamento de copas nas fotografias em escala 1:4.000) foi o 30 de similaridade com 150 de área (IR/R/G). Esses valores têm influência das características dos alvos analisados, ou seja, área do polígono e similaridade.

Observou-se que o algoritmo disponível na versão do software SPRING 4.3.3 não produziu resultados satisfatórios relativo à segmentação por crescimento de regiões, para imagem de alta resolução, com ênfase na detecção de copas de Araucária. Em face deste resultado, não foi considerada a etapa subsequente de classificação.

Ainda, foi realizada uma análise em relação ao número médio de segmentos observados em cada um dos limiares. Notou-se que a similaridade de 30, 20 (RGB) e 30 (IR/R/G) para áreas de 100, 200 (RGB) e 150 (IR/R/G) foram as que mais se aproximaram do referencial, no qual foram gerados 4.164, 3.888 e 1.912 polígonos respectivamente. Porém, cabe salientar que esta aproximação, para a similaridade de 30, 30 e 20 e áreas de 100, 150 e 200 apresentam um número superior de segmentos obtidos na interpretação visual. Este fato aponta para uma cautela na afirmação de que as similaridades de 30, 20 e 30 são as melhores a serem adotadas, pois alguns segmentos foram dissolvidos em segmentos maiores não detectando as bordas originais.

5.2.4 Avaliação qualitativa e quantitativa

A avaliação qualitativa e quantitativa da segmentação foi desenvolvida através da inspeção visual, permitindo verificar questões relativas ao número de segmentos gerados, possibilitando reconhecer de forma rápida o comportamento do algoritmo segmentador. Uma avaliação quantitativa de segmentação foi efetuada por meio de grandezas, permitindo quantificar, em valores numéricos o tamanho dos segmentos em *pixels*, tempo de processamento e número de polígonos gerados. Georreferenciando o mosaico não controlado proveniente da fotointerpretação em escala 1:4.000 na imagem IKONOS-2, comparou-se os

melhores resultados dos pares de limiares de similaridade e área de *pixel* nos dez polígonos utilizadas anteriormente.

A segmentação da imagem foi realizado de forma automática a fim de comparar com os resultados da fotointerpretação. A determinação da acurácia das feições de uma imagem (classes) não é uma tarefa fácil, principalmente em imagens de alta resolução espacial, onde a variância intraclasses é elevada (DLUGOSZ, 2005). A separação das Araucárias das demais espécies na imagem de alta resolução espacial, não produziu bons resultados, não identificando com acurácia as copas de Araucárias, ilustradas nas Figuras 54 a 63.

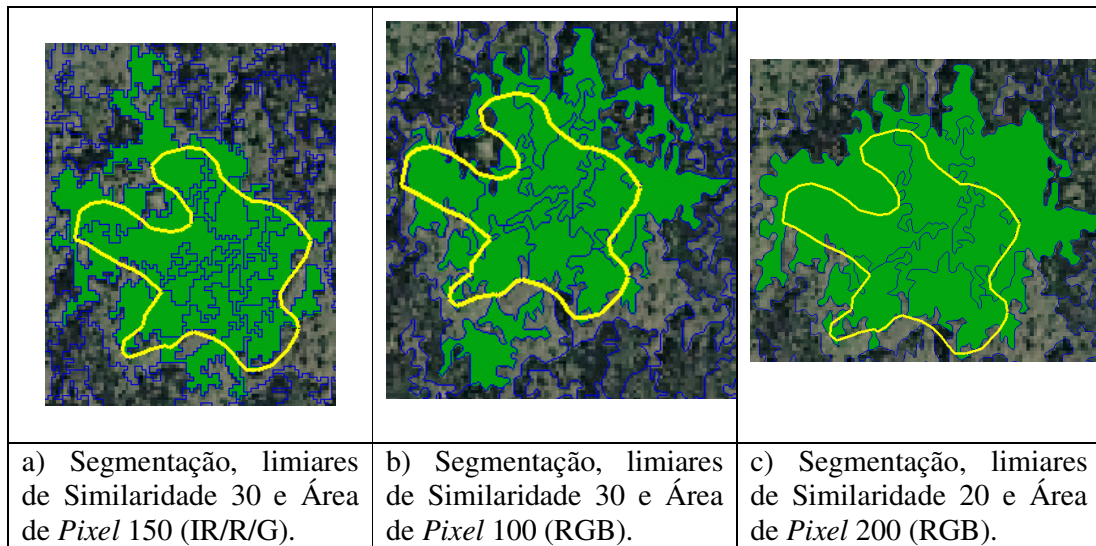


Figura 54 Comparação 01 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

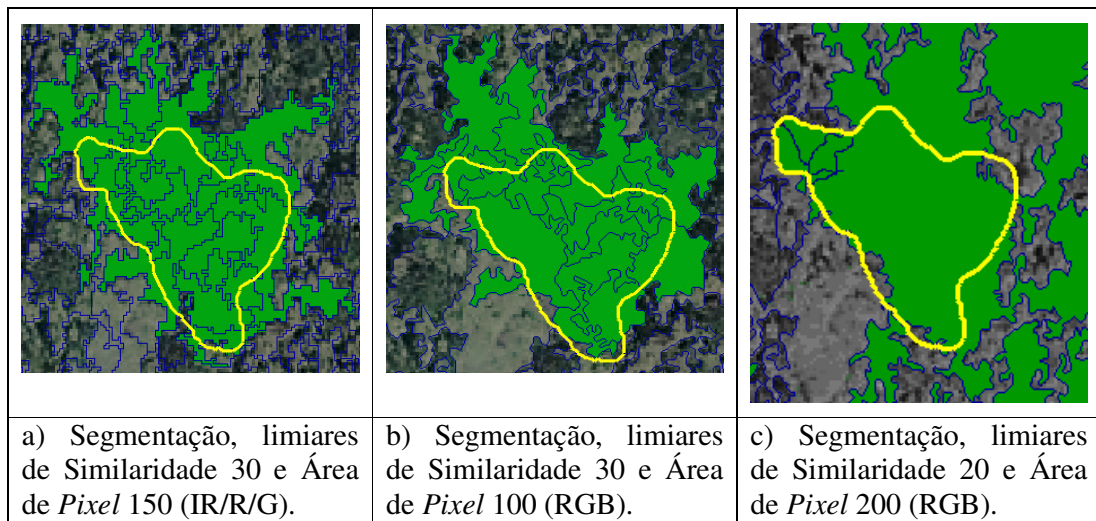


Figura 55 Comparação 02 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

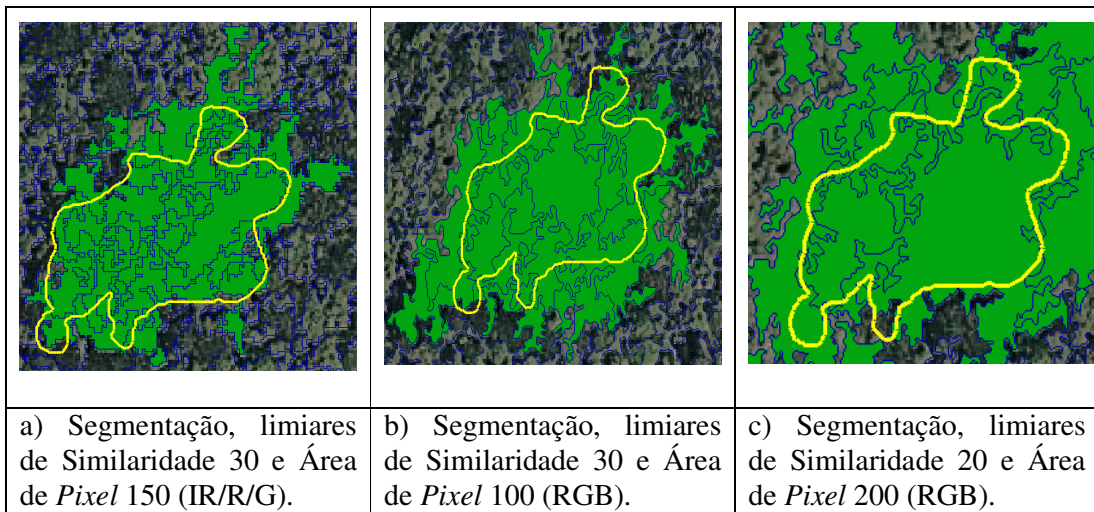


Figura 56 Comparação 03 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

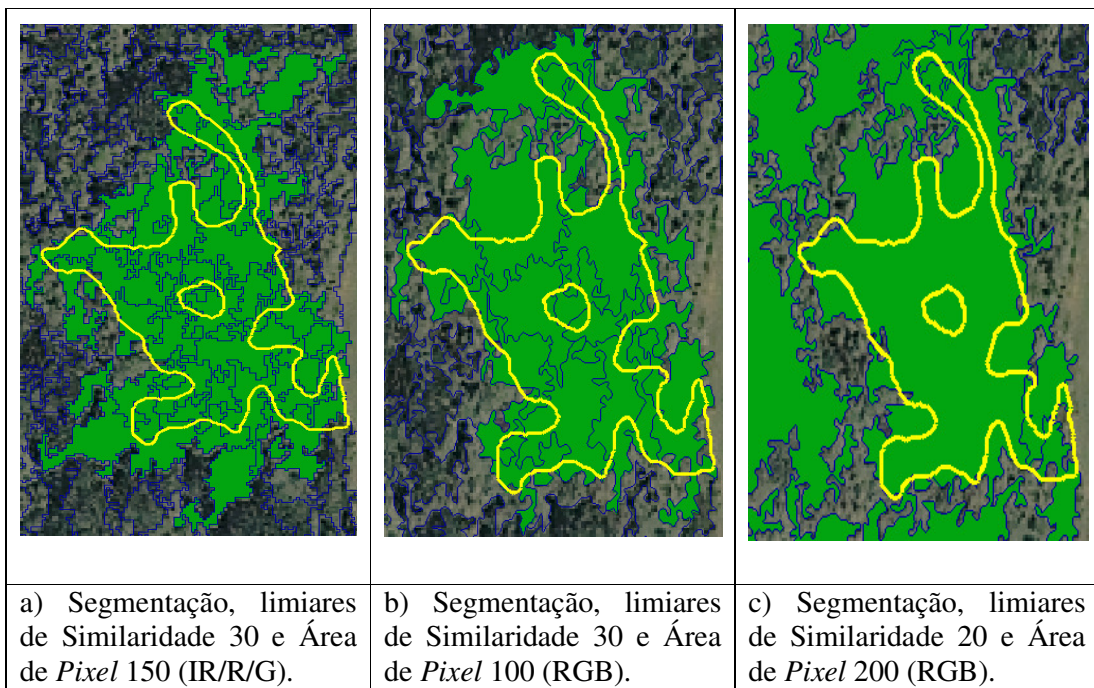


Figura 57 Comparação 04 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

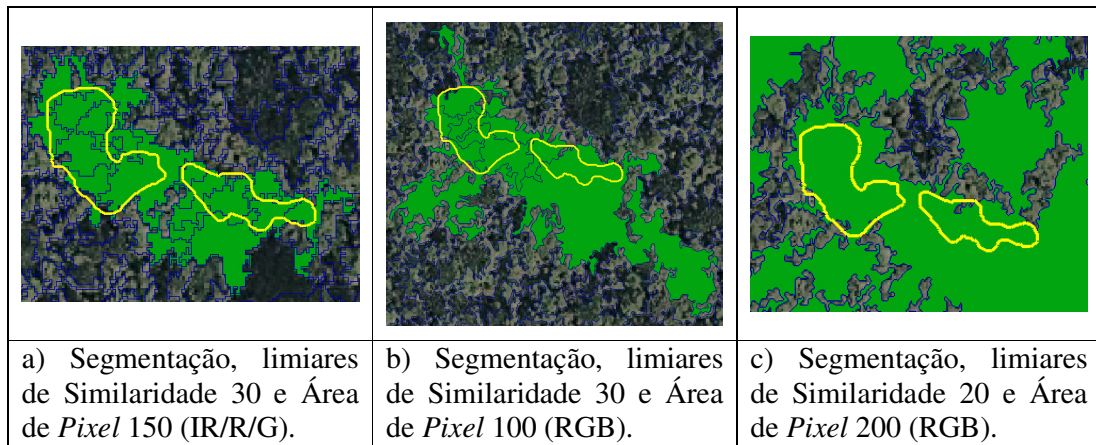


Figura 58 Comparação 05 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

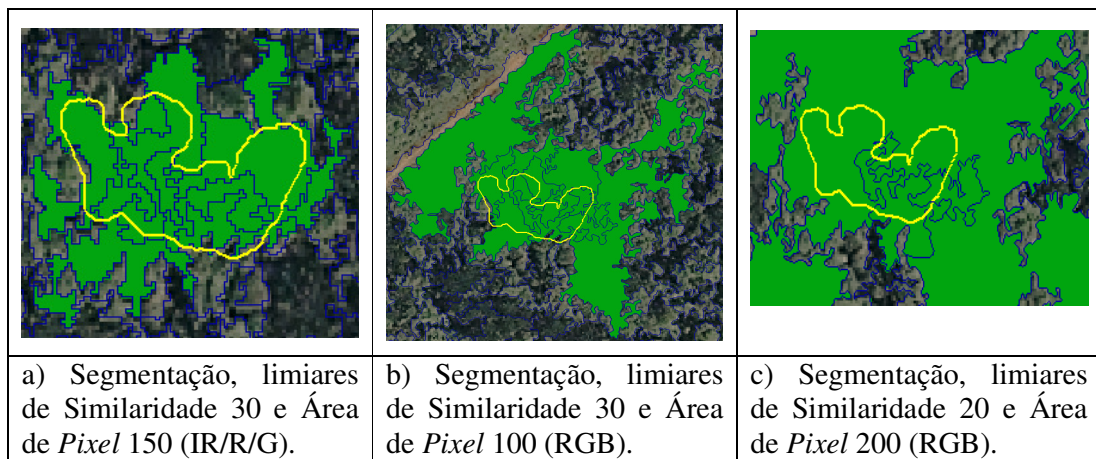


Figura 59 Comparação 06 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

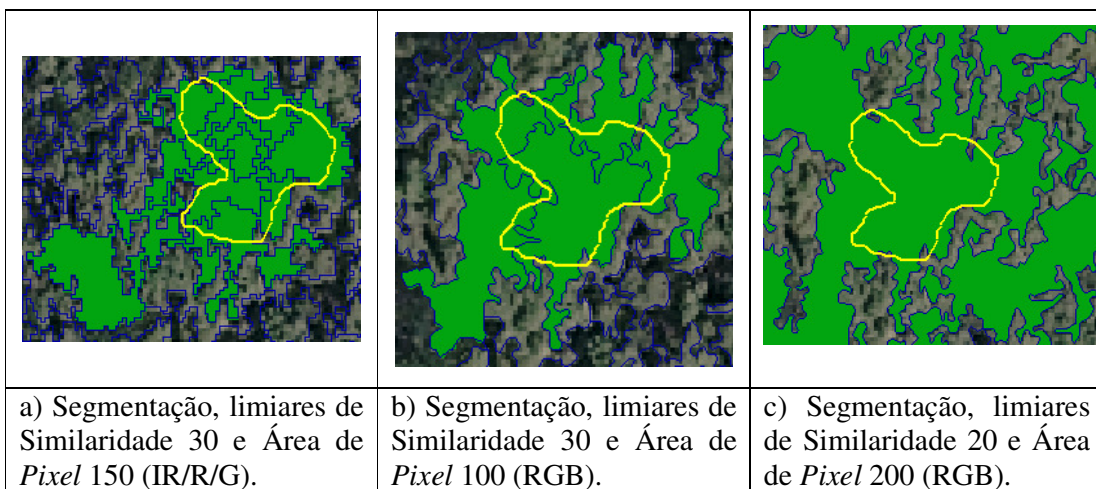


Figura 60 Comparação 07 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

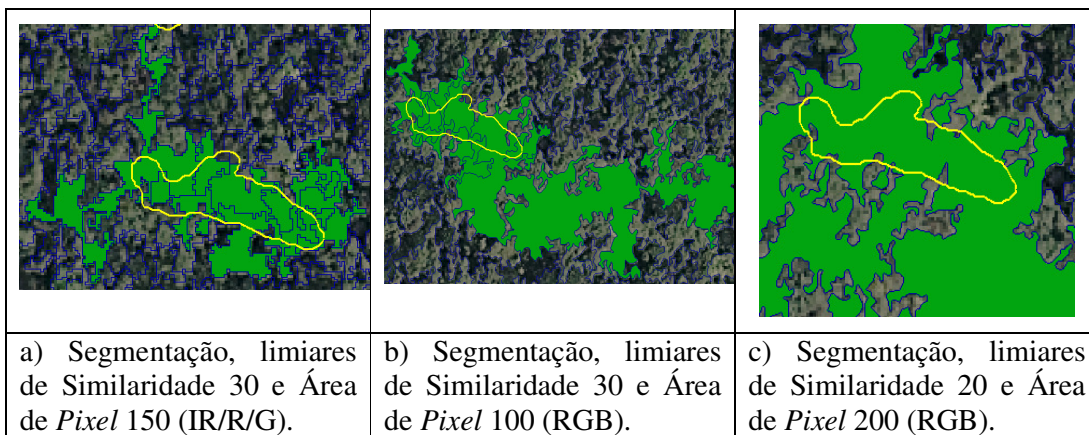


Figura 61 Comparação 08 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

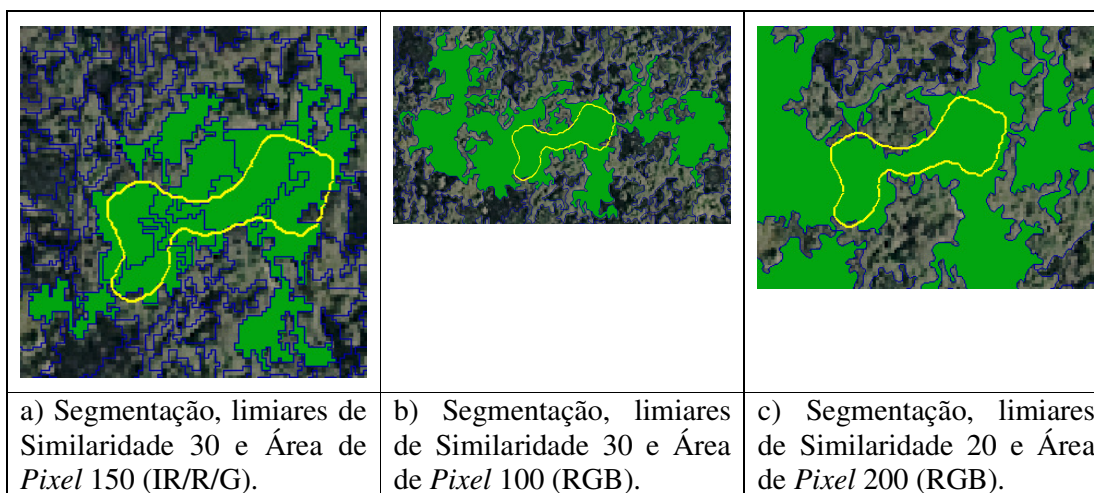


Figura 62 Comparação 09 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

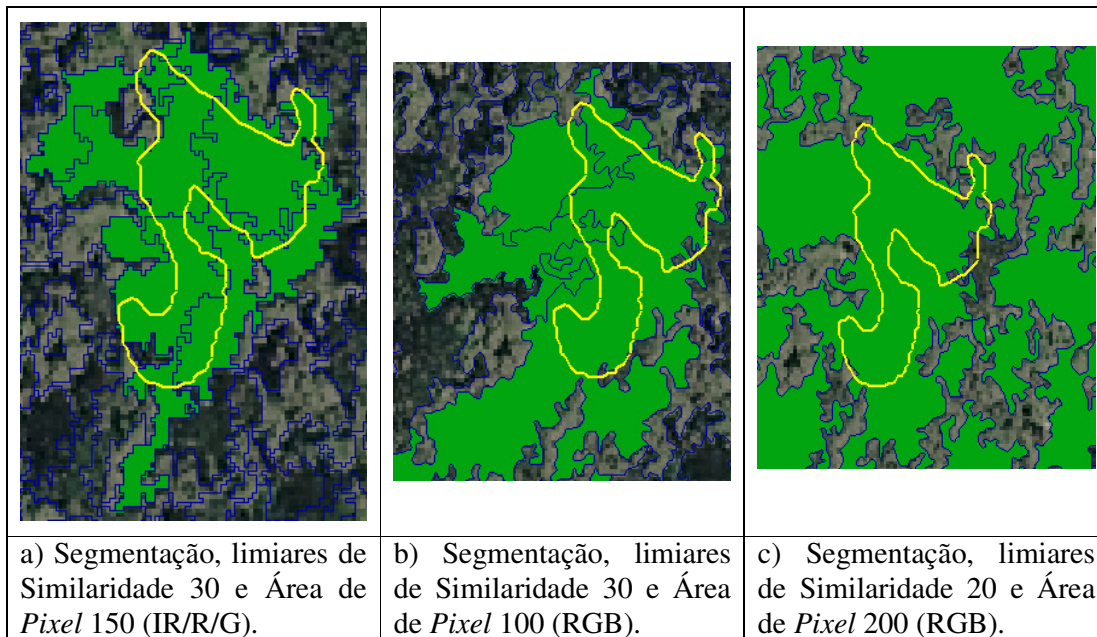


Figura 63 Comparação 10 entre a interpretação em fotografia aérea e segmentação automática na imagem IKONOS-2.

Desta forma, podemos afirmar que os pares de limiares para similaridades e área de *pixel* não apresentaram resultados satisfatórios na identificação de polígonos de copas de Araucária. Ainda, para estes índices, são indicadas áreas entre 100 (100 m²), 150 (150 m²) e 200 (200 m²) *pixels*. Cabe ressaltar que estes valores são influenciados pelo tamanho das copas de Araucária, que geralmente são áreas superiores a 150 m², tornando, assim, irrelevante a detecção de polígonos menores que este valor.

Com base apenas nas variáveis avaliadas, fica difícil afirmar quais pares de limiares tiveram desempenho superior. Assim, baseado na classificação visual através do método qualitativo e quantitativo os pares de limiares não se aproximaram dos dados de apoio da fotointerpretação de referência, com resultados insatisfatórios.

Segundo NASCIMENTO (1997), uma avaliação qualitativa e quantitativa torna-se necessária para os pares de limiares similaridade e área de *pixel* no método crescimento de regiões, visto que não há um valor ideal dos limiares de similaridade e área e os mesmo variam de acordo com o material utilizado e o objetivo da segmentação.

Na metodologia utilizada para o presente estudo, a primeira etapa da avaliação quantitativa consistiu em avaliar os pares de limiares do algoritmo segmentador, os quais deveriam gerar segmentos similares em número ou frações, e se aproximassem do objeto/polígono da interpretação visual.

Os polígonos foram selecionados e comparados com os algoritmos de segmentação,

com os mapas de referência gerados a partir da fotointerpretação, onde foi realizada uma classificação visualmente, onde se observou diferenças entre a fotointerpretação e os resultados obtidos a partir do algoritmo segmentador.

Uma das principais dificuldades encontradas para a realização da segmentação através do algoritmo é que para a cena ou objeto de estudo que se deseja mapear, os pares de limiares serão diferentes, e cada alteração nesta escala de valores, a captura dos objetos será diferente no processo que envolve: “similaridade e área de pixel”. Segundo a definição do INPE (2007) encontrada na literatura do SPRING: “A medida de similaridade está baseada na distância Euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada região. Assim duas regiões são consideradas distintas se a distância entre suas médias for superior ao limite de Similaridade escolhido. Da mesma forma, as regiões com área menor que o mínimo escolhido são absorvidas pelas regiões adjacentes mais similares a estas”.

A definição da área de *pixel* para a realização das segmentações das Araucárias, foi a partir da medição dos diâmetros das copas de Araucária em campo. A área média resultante destas copas foi fundamental na definição dos limiares de área.

Como mencionado por Oliveira (2002), o resultado da segmentação depende diretamente da imagem em análise. Desta forma, pode-se dizer que os limiares testados para a imagem em estudo, não foram suficientes para definir cada objeto, principalmente com os alvos de mesmo uso (copas de Araucária), em todas as situações possíveis das áreas das copas da imagem IKONOS-2.

5.3 Resultados do processamento digital

A avaliação dos resultados das segmentações foi efetuada através da análise visual das segmentações, similaridade e área de pixel, e dos respectivos valores estimados do algoritmo.

Uma alta resolução espacial é desejável por possibilitar uma melhor caracterização da estrutura, da forma e textura dos objetos ao passo que uma alta resolução espectral admite a discriminação e conseqüente identificação de diferentes fisionomias na imagem.

Assim sendo, com o objetivo de produzir uma imagem com alta resolução espacial e espectral, visando uma distinção mais completa e acurada do objeto sob observação, a técnica de segmentação de imagens vêm sendo utilizadas.

Entretanto, avaliações mais detalhadas, efetuadas sobre as respectivas composições coloridas, mostraram que algumas segmentações dividiam demasiadamente certas áreas contíguas pertencentes a um mesmo atributo, enquanto que outras segmentações agrupavam

áreas com ocupações diferentes, que não fossem Araucária. A dificuldade em se estabelecer um valor “padrão” para a similaridade e área de *pixel* na imagem em estudo, é devida às condições de agrupamentos, sombreamento, entrelaçamento com outras copas nos estratos inferiores e dificuldade na definição dos limites dos polígonos, (ocorrência de áreas sombreadas provenientes da geometria de visada e do ângulo de iluminação solar no momento de captura da imagem). Em face desta dificuldade, o processo de segmentação deve ser melhorado e definido novos atributos ao algoritmo de segmentação, trabalhando-se neste momento apenas a interpretação nas fotografias aéreas e na imagem IKONOS-2.

6 CONCLUSÕES

Com base na análise das fotografias aéreas 70 mm colorido normal nas três escalas fotográficas e de uma imagem de satélite digital de alta resolução IKONOS-2 visando o mapeamento de copas de Araucária em uma área de floresta natural da FLONA de Irati, obteve-se as seguintes conclusões:

- i. A fotointerpretação visual (3D) das Araucárias foi facilitada pela coloração, textura e formato característicos de suas copas, sua cobertura florestal foi de 21,32%, 25,59% e 24,54% para as escalas 1:4.000; 1:2.000 e 1:1.000 respectivamente;
- ii. Com base nas dez áreas testes consideradas, as diferenças médias em área dos polígonos (copas de Araucária) nas três escalas fotográficas foram: 1:2.000 > 1:1.000 em 16,46%, 1:4.000 < 1:2.000 em 4,33% e escala 1:4.000 > 1:1.000 em 15,22%;
- iii. O tempo de vetorização das copas de Araucária, na tela do monitor do computador, não foi proporcional ao número de copas interpretadas nas três escalas utilizadas, visto que a) a medida que aumenta a habilidade do fotointérprete, o tempo de vetorização diminui; b) copas individuais e de menor tamanho reduzem o tempo de vetorização; c) a ampliação das copas na tela propicia melhor caracterização do contorno das copas mas aumenta o tempo de vetorização;
- iv. As medições em campo, efetuadas em 159 exemplares de Araucária, resultaram valores médios de DAP 61 cm, diâmetro da copa de 14,21 m e área da copa de 158,59 m²;
- v. A melhor equação entre os seis modelos testados, relacionando o diâmetro da copa com o DAP, com base nos valores do coeficiente de determinação, do erro padrão de estimativa e da análise gráfica dos resíduos, foi o modelo parabólico através da expressão $DC = -7,49366 + ((0,541189 \times DAP) + (-0,00288 \times DAP^2))$;

- vi. Os pontos do gráfico distribuem-se de forma aleatória em torno da reta que corresponde ao resíduo, sustentando a independência dos erros. Na análise gráfica dos resíduos, houve a indicação de que os resíduos distribuem-se aleatoriamente.
- vii. Dentre as três escalas de fotografias aéreas utilizadas, adotou-se a escala 1:4.000 como referencial para análise da imagem IKONOS-2, em face do melhor enquadramento das copas de Araucária na referida imagem;
- viii. A interpretação visual bidimensional na imagem IKONOS-2 superestimou os valores em área dos polígonos (copas de Araucária) sendo que 90% dos polígonos delineados resultaram áreas em média 47% maiores do que nas fotografias aéreas 1:4.000;
- ix. Entre as sessenta combinações de valores de similaridade e de área testados na segmentação através do algoritmo crescimento de regiões na imagem IKONOS-2, os limiares de similaridade e área (40 e 150) na composição infravermelho colorida IR/R/G e os limiares (20 e 100) na composição colorida RGB resultaram polígonos de copas de Araucária com área em média superestimada de 51% e 95%, respectivamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Tropical Forestry Papers, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, n. 25, 1992.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). **Manual of photogrammetry**, 1966, 1220p.

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. Curitiba: 2003, 147 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) UFPR.

AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Interpretation of aerial photographs**. 4th edition. Minneapolis: Burgess Publishing Company, 554 p., 1985.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest Measurements**. Fourth Edition. McGraw-Hill, Inc. New York, 1994. ISBN 0070025568.

BARBOSA, C.; HESS, L.; MELACK, J.; NOVO, E. **Mapping amazon wetlands through region growing segmentation and segmented-based classification JERS-1 data**. (CD ROM). In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, Puerto Iguazu, Argentina. Anais. 1065 - 1076pp, 2000.

Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). **Fundamentals of remote sensing tutorial**. Disponível na internet via URL: <http://www.colorado.edu/geography/virtdept/contents.html>. 26 Jan. 2001.

CARVALHO, P. E. R. 1994. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas Florestais. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 640p.

CASTRO, J. P. M. **Aplicação da detecção remota em inventário florestal**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. UTAD, Vila Real, 274 pp, Setembro de 2004.

CASTRO, J. P. M.; MARTINS, L. M.; ARANHA, J. T.; MACEDO, F. W. **Sistema de navegação para fotografia aérea de pequeno e médio formato**. Silva Lusitana 12(2): 213-225, 2004. Estação Florestal Nacional, Lisboa. Portugal.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. UFPR – Setor de Ciências da Terra: Universidade Federal do Paraná, 2003, 210 p.

CENTENO, J. A. S.; RIBEIRO, S. R. A. **Um método simplificado de fusão de imagens**. UFPR – Departamento de Geomática: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5667-5673.

CERQUEIRA, J. D. M.; CANDEIAS, A. L. B.; SILVA, D. C. **Orientação da imagem IKONOS-2 utilizando a transformação matemática APM – AFFINE PROJECTION MODEL**. Universidade Federal de Pernambuco (UFPB) – Recife – PE, 2003.

CIESLA, W. M. **Tree species identification on aerial photos: expectation and realities.** IN: Protecting natural resources with remote sensing. Proceedings of the Third Forest Service Remote Sensing Applications Conference- april 9-13, p.308-319. 1990.

CIESLA, W. M. **Remote sensing in forest pest management a case study from the United States.** 1991. In: Fernerkundung In der forstwirtschaft: stand und entwicklungen. Freiburg i. Br. Alemanha. P. 100 – 115.

COUTINHO, A. C. **Segmentação e classificação de imagens Landsat-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de Campinas, SP.** 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

CRUZ, Z. Q; SILVEIRA, J. C; RIBEIRO, G. P. **Ensaios de segmentação e classificação digital de uma unidade de conservação com imagens CBERS utilizando o sistema SPRING. Estudo de caso: Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO).** Anais SIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6853 – 6860.

CURRAN, P. J. **Principles of remote sensing.** 2º ed., New York: Longman. 1986.

D'ALGE, J. C. L. **Geoprocessamento - Teoria e Aplicações - Parte I - Cap. 6 - Cartografia para Geoprocessamento.** INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível na internet via URL: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em 10 jan. 2007.

DISPERATI, A. A; **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato.** 1ª. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 290 p., 1991.

DISPERATI, A. A.; DISPERATI, J.; LISBOA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P. C. **Delineação visual de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução de uma área com vegetação natural de Araucária: resultados parciais.** IN: V Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba, ANAIS, 15-17 outubro 2002, p. 241- 242. 2002b.

DISPERATI, A. A; OLIVEIRA FILHO, P. C; LISBOA, G. S. **Análise da distribuição espacial de uma floresta com Araucária com o uso de técnicas de geoprocessamento.** XV Encontro Anual de Iniciação Científica e VI Encontro Anual de Pesquisa da UEPG. Agosto / 2006.

DISPERATI, A. A; OLIVEIRA FILHO, P. C. **Copas de Araucária observadas em fotografias aéreas 70 mm colorido normal em escala muito grande (1:1.000).** Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais V. 2 Edição Especial 1. 2006. p 137-149.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, Ricardo Farias do; SCHULER, Carlos Alberto Borba. **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** Guarapuava: Ed. Unicentro: 2007, p. 96, 97.

DISPERATI, A. A.; SKALSKI Jr., J. **Contagem de copas de pinheiro do Paraná em fotografias aéreas verticais (convencionais e 35 mm coloridas): caso estudo do Capão da Imbuia - Curitiba - Pr.** Revista Floresta, V. 19 (1/2) p. 4-14, 1989.

DLUGOSZ, F. L. **Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da floresta ombrófila mista usando imagens orbitais Ikonos**. Dissertação de Mestrado em Manejo Florestal. Curitiba, PR: UFPR, 2005. 135 p.

ENGESAT. **Ficha técnica resumida do satélite IKONOS-2**. Disponível na internet via URL: http://www2.engesat.com.br/index.php?system=news&news_id=494&action=read. Acessado dia 17 maio de 2009.

FALCÃO, E. C. **Curso de tecnologia em geoprocessamento: sensoriamento remoto**. Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba – João Pessoa – PB, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FONSECA, L. M. G. Capítulo 3: **Pré – processamento de imagens**. Disponível na internet via URL: http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI_3_correção.pdf. Abr. 2002.

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; RODERJAN, C. V. **Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati - PR**. Revista Floresta, p.30-49. 1999.

GARCIA, G. J.; MACHETTI, D. A. B. **Princípios da Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo, editora Nobel, 1982, p 14-19.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000, 508 p.

GONZALES, R. C.; WINTZ, P. **Digital image processing**. Proding, Addison Wesley, 1987. 431 p.

HOLZ, R. K. **Structures and cultural features**. In: **Manual of photographic interpretation**. Second edition. Chapter 7, (269 – 306). América society for photogrammetry and remote sensing. Maryland, USA: 1997.

HUNT, R. W. G. **Measuring colour**. Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1992.

IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. 1984. **Inventário nacional. Florestas nativas – Paraná e Santa Catarina**. Brasília, 345p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1, Rio de Janeiro, 1992.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador) [*et al.*], 2ª ed., São José dos Campos, SP: Parêntese, 2007.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey: Prentice-Hall. 1986. p 379.

JENSEN, J. R.; JACKSON, M. W. **Introductory digital remote sensing image processing**.

v. 3. modulo 1: The remote sensing process. Disponível na internet via URL: <http://www.cla.sc.edu/geog/rslab/rscnew/rsc-frames.html>. 22 Jan. 2001.

KLEIN, R. M. **Importância sociológica das mirtáceas nas florestas riograndenses.** In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 34, 1984, Manaus. Anais. Manaus: Sociedade Botânica do Brasil, 1984. p.367-375.

_____. **O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro.** Sellowia, Itajaí, v. 12, n. 12. P. 17-48, 1960.

KNIPLING, E. B. **Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation.** Remote Sensing of Environment, v.1, n. 3, p. 155-59, 1970.

KONECNY, G., **Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information system.** London: Taylor e Francis, 248 p, 2003.

KUBOTA, R. C.; SOUZA, H. A. G. **Processamento computacional (pós - produção) de imagens videográficas estereoscópicas.** UFMS, Departamento de Comunicação e Artes, 2009.

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

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

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** John Wiley and Sons, Inc., Fourth Edition, New York, 725 p., 1999.

LOCH, C.; KIRCHNER, F. F. **Imagem de satélite na atualização cadastral.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, 1988, Natal. São José dos Campos: INPE, 1988, v. 1, p. 3-6.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze, no sul do Brasil.** Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal - UFPR. Curitiba, 1980. 198p.

LUND, H. G. **Forestry.** In: **Manual of photographic interpretation.** American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1997, Chapter 11, p. 399 - 441.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná.** Curitiba, Livraria José Olympio. 450p. 1968.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas.** Santa Maria: UFSM, 1996. 158 p.

MARTINS, A. K. E. **Ipucas da planície do Araguaia, estado do Tocantins: ambiente físico de ocorrência, solos e uso da terra.** 2004. 168p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MARTINS, L. M. **Monitorização da doença da tinta do castanheiro com fotografia aérea de pequeno formato.** Tese de Doutorado, UTAD, Vila Real, 247 pp., 2004

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely – sensed imagens: na introduction.** 2 ed., Great Britain: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MAZZA, Carlos Alberto da Silva. **Caracterização ambiental da paisagem da Microregião Colonial de Irati e zoneamento ambiental da Floresta Nacional de Irati, PR.** São Carlos/SP: UFSCar, 2006. 147 p.

MAZZA, C. A. da S., MAZZA, M. C. M., SANTOS, J. E., **SIG aplicado à caracterização ambiental de uma unidade de conservação Floresta Nacional de Irati, Paraná.** In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2251-2258.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados IKONOS-2 na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo - São José dos Campos.** Dissertação de Mestrado: INPE, 2002. 146p.

MENDONÇA F. A. & DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi.** In: A bacia do rio Tibagi, Cap.2. Londrina, PR: M.E. Medri, 2002. p.589.

MOIGNE, J. L.; TILTON, J. C. **Refining image segmentation by integration of edge and region data.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 33, n. 3, 1995.

MOIK, J. G. **Digital processing of remotely sensed images.** Washington: NASA, 1980, 330p.

MORAIN, S. A. **A Brief History of remote sensing applications, with emphasis on Landsat. In people and pixels: Linking remote sensing and social science.** D. Liverman, E.F. Moran, R.R. Rindfuss, and P.C. Stern, (Eds). Nacional Academy Press, Washington, D.C. pp 70-93, 1998.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 1 ed., São José dos Campos: INPE, 2001. 79-80p.

MOREIRA, A. M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3 ed., Viçosa: UFV, 2005.

MORAES, R. M. **Sensoriamento remoto e classificação de imagens.** Departamento de Estatística, CCEN - UFPB. Campus I - João Pessoa - 1999.

MOURA, A. C. M., **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano – Belo Horizonte.** Ed. da Autora, 2003.

NASCIMENTO, P. S. R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões de imagens Landsat – TM visando o mapeamento de unidade de paisagem na Amazônia.** São José dos Campos, 1997, 120p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto – INPE.

NASCIMENTO, P. S. R.; ALMEIDA FILHO, R. **Utilização da técnica de segmentação em imagens TM/ Landsat visando otimizar a técnica de interpretação visual.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. Artigos. São José dos Campos: INPE/ SELPER, 1996. 1 CD-ROM.

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

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao sensoriamento remoto.** São José dos Campos – SP, 2001. 68p.

OLIVEIRA, J. C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação na agricultura.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2002.

PARISE, F. J. O.; VETTORAZZI, C. A. **Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin: I. Relações com a resposta espectral.** Revista Brasileira de Fruticultura, vol. 27 n. 1, Jaboticabal – SP, 2005.

PIZATTO, W. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo-PR.** Dissertação de Mestrado – Pós Graduação em Engenharia Florestal - UFPR. Curitiba, 1999. 170p.

QUACKENBUCH, Jr., R. **Development of photo interpretation.** In: Manual of photographic interpretation. Washington. DC. American Society of Photogrammetry, cap 1, p. 1-18, 1960.

RAMBO, B. **O elemento andino pinhal rio-grandense.** Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues, v.3, n.3, p.3-39, 1951.

RAMSEY, R. D. **Remote sensing lecture materials, eletromagnetic radiation.** Disponível na internet via URL: <http://www.colorado.edu/geography/virtdept/contents.html>. 25 Jan. 2001.

RAY, R. G. **Aerial photographs in geological interpretation and mapping.** U.S. Geological Survey, paper 373, Washington, U.S.A., 1963, 88pp.

Revista InfoGeo. **A CONCAR e o desafio de mapear o Brasil.** Edição 45, 31/12/2006.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis - An Introduction.** Berlin, Springer-Verlag, 1995.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora, MG: Ed do Autor, 2000. p.210.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. **As unidades fitogeográficas do estado do Paraná.** Ciência & Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/ jun 2002.

RODERJAN, C. V; *et al.* **Levantamento fitossociológico das principais associações**

- arbóreas da Floresta Nacional de Irati, PR. FLORESTA.** Curitiba, PR. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. UFPR, 1989. p. 30 – 49. Vol. 19. n 1 e 2.
- RODRIGUES, R. R. **Análise estrutural de formações florestais ripárias.** In: Simpósio sobre matas ciliares, 1, Anais. Campinas. Fundação Cargil, 1989. p. 99-119.
- ROSA, R. **Geotechnologies on applied geographie.** Revista do Departamento de Geografia, n. 16, p. 81-90 - 2005.
- SANQUETTA, C. R. **Perspectivas da recuperação e do manejo sustentável das florestas de araucária.** Data de publicação, 10 de agosto de 2005. Disponível na internet via URL: <http://www.comciencia.br/reportagens/2005/08/09.shtml>, acessado dia 13 de julho de 2007.
- SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing.** Orlando: Academic Press. 1983. 249p.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Mapeamento e caracterização de usos das terras e cobertura vegetal no município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999.** Relatório Técnico. Rio de Janeiro: SMAC, 2000.
- SEITZ, R. **Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern.** Annales des Sciences Forestières, n. 43, p. 327-338, 1986.
- SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Manual para recuperação da reserva florestal legal.** Curitiba: FNMA, 1996. 84p.
- SOUSA, V. A. **Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze.** 2000. 161 f. Thesis (PhD) - Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology, Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Georg-August University of Göttingen.
- SPACE IMAGING. **Ikonos imagery products and product guide.** 2004. Disponível na internet via URL: http://www.spaceimaging.com/whitepapers_pdfs/IKONOS_Product_Guide.pdf. Acessado em 12 nov. 2004.
- SPANCER, R. D.; HALL, R. J. **Canadian large scale aerial photographic systems (LSP).** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (4): 475-482, 1988.
- SPINDOLA, G. **Emprego da estatística espacial na avaliação da segmentação de imagens de sensoriamento remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: 2005 – São José dos Campos.
- SPRING – **Sistema de processamento de imagens georreferenciadas.** Processamento de imagens. São José dos Campos – SP: NETGIS, v.2, 1998.
- SPRING – **Sistema de processamento de imagens georreferenciadas.** Processamento de imagens. São José dos Campos – SP: NETGIS, v.5, acesso em: 15 julho 2008.
- TEMBA, P. **Fundamentos da fotogrametria.** Departamento de cartografia, UFMG, 2000.
- TENG, W. L. **Fundamentals of photographic interpretations.** In: Manual of Photographic Interpretation, Editor - in - chief Warren R. Philipson, 2nd edition, Maryland, ASPRS, p. 49 –

113, 1997.

THOMPSON, M. M; GRUNER, H. **Foundations of photogrammetry**. SLAMA, C. C. (ed.). Manual of Photogrammetry, fourth edition. American Society of Photogrammetry, Virginia, Cap. I, pp. 1-36, 1980

TUCKER, C. J.; GARRATT, M. W. **Leal optical system modeled as a stochastic process**. Applied Optics, v. 16, n. 3, p. 635 – 642, 1977.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312p.

VELOSO, H. P., GOES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica ecológica da vegetação neotropical**. Salvador: Ministério de Minas e Energia-Projeto RADAMBRASIL, 1982. 80P. (Boletim Técnico. Série Vegetação).

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.

VINCENT, S. P. R.; METCALFE, R. E.; TONG, D. P. **Practical application of satellite remote sensing as a source of information for civil engineering projects and GIS**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering, v. 114, p. 35- 43, Dec. 1996.

WACHTEL, G. **Untersuchungen zu Struktur und Dynamik eines Araukarien-Naturwaldes**. In Südbrasilien. Freiburg: UF, 1990. 180 p. Tese (Doutorado) - Universität Freiburg, 1990.

WARNER, W. S.; GRAHAM, R. W.; READ, R. E. **Small format aerial photography**. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Maryland: [s.n.], 348 p., 1996.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**. N. York, Mac Graw Hill. 1983. 626 pp.

ZSLINSZKY, V. G. **Supplementary aerial photography with miniature cameras**. Photogrammetria 25: 27-38, 1970.