

ANÁLISE DE DADOS DIGITAIS MULTIESPECTRAIS DE ALTA RESOLUÇÃO OBTIDOS PELO SENSOR “COMPACT AIRBORNE SPECTROGRAPHIC IMAGER” EM ÁREA RURAL DO ESTADO DO PARANÁ - BRASIL

Paulo Costa de Oliveira Filho¹, Attilio Antonio Disperati², Flávio Felipe Kirchner²

RESUMO - O presente estudo, com dados de alta resolução espacial e espectral do sensor canadense “Compact Airborne Spectrographic Imager” (CASI), analisa os dados multicanais específicos de uma área imageada com uma configuração espectral já testada com bons resultados no Canadá, utilizando recursos de processamento de imagens e análises visuais. A configuração foi a seguinte: banda 1 (455,0 - 481,4 nm), banda 2 (548,4 - 555,5 nm), banda 3 (678,4 - 682,0 nm), banda 4 (710,7 - 714,3 nm), banda 5 (736,0 - 739,6 nm), banda 6 (746,9 - 750,5 nm) e banda 7 (785,0 - 788,6 nm). A resolução espacial foi de 3,5 x 3,5 metros. A área estudada tem 330 hectares, e faz parte da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Paraná, localizada a 18 km ao Norte de Curitiba. Como verdade terrestre, foram utilizadas fotografias aéreas em preto e branco convencionais, escala 1 : 8.000 e coloridas (35 mm), de pequeno formato, de escala aproximada de 1 : 2.500, complementadas com trabalho de campo. A metodologia utilizada compreendeu: aplicação de aumento de contraste; interpretação visual das bandas de imagem contrastadas; definição e elaboração da melhor composição colorida; comparação entre bandas individuais e composição colorida, e comparação dos resultados da interpretação estatística das bandas com os resultados da interpretação visual. As imagens foram processadas utilizando-se o software IDRISI versão 4.1. Pode-se verificar, pela análise visual, através da separação de diferentes espécies florestais e usos do solo, que as melhores bandas foram a 4 e a 5; a melhor composição colorida foi a que reuniu as bandas 3, 6 e 7 respectivamente, associadas aos canais R,G e B; os gêneros *Araucaria*, *Eucalyptus* e *Pinus* puderam ser realçados devido à menor reflectância; a interpretação visual comprovou os graus de similaridade obtidos no cálculo da matriz de correlação entre bandas.

Palavras-chave: alta resolução, análise digital e visual, CASI, sensor aerotransportável, sensoriamento remoto.

¹ Eng. Florestal, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR.

² Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR.

MULTISPECTRAL DIGITAL DATA ANALYSIS OF HIGH RESOLUTION ACQUIRED WITH THE COMPACT AIRBORNE SPECTROGRAPHIC IMAGER SENSOR IN THE COUNTRY AREA OF PARANÁ STATE - BRAZIL

ABSTRACT - The purpose of this study is to analyse, using digital and visual approaches, the data from 7 multispectral bands provided by the Canadian sensor "Compact Airborne Spectrographic Imager". The spectral configuration was from one tested in Canada and the spectral ranges of each of the bands were the following: band 1 (455.0 - 481.4 nm), band 2 (448.4 - 555.5 nm), band 3 (678.4 - 682.0 nm), band 4 (710.7 - 714.3 nm), band 5 (736.0 - 739.6 nm), band 6 (746.9 - 750.5 nm), band 7 (785.0 - 788.6 nm). The study area is located in the Experimental Research Farm from the Federal University of Paraná, located in Pinhais County, 18 km north of Curitiba. A thematic map of the area was elaborated through visual interpretation of stereoscopic aerial photographs 1:8.000, B&W, 23 x 23 cm and 1:2.500 enlarged normal color prints and also detailed fieldwork. The methodology of the research had the following aspects: enhancement techniques; visual interpretation of the individual enhanced bands; defining the possible colour composition using the seven bands and selecting the best color composite; visual comparisons between individual bands and the best color composite. It was concluded that the bands 4 and 5 provided the best results; the best color composite (RGB) was resulted from the bands R3, G6, B7; the genus *Araucaria*, *Eucalyptus* e *Pinus* were mapped due to their low reflectance values and the visual interpretation of the bands confirmed the correlation values found in the correlation matrix.

Key words: high resolution, CASI, airborne sensor, digital and visual analysis, remote sensing

1 INTRODUÇÃO

Diferentes tecnologias de Sensoriamento Remoto têm sido utilizadas para o mapeamento, atualização de inventários florestais e avaliação de danos florestais, utilizando

fotografias aéreas e imagens digitais. A rápida evolução tecnológica de sensores remotos vem proporcionando a obtenção de dados digitais com uma resolução espacial cada vez maior. Uma nova tecnologia de imageamento foi apresentada em algumas Universidades e empresas de serviços de aerolevantamento no Brasil, no início da década de noventa. Os resultados mostrados por Kirchner et al (1993) demonstraram que esta tecnologia de imagens digitais multiespectrais de alta resolução poderá ser mais utilizada no Brasil para fins florestais a curto e médio prazo.

Este estudo apresenta uma avaliação qualitativa e quantitativa das sete bandas de uma imagem, obtidas em vôo teste, com uso do sensor canadense CASI, “Compact Airborne Spectrographic Imager”, em uma área rural do Estado do Paraná, Brasil.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram:

- a) analisar a estatística das bandas da imagem e suas interações;
- b) aplicar técnicas de realçamento de imagens às bandas originais,
- c) definir as melhores composições coloridas e posteriormente interpretar tanto as bandas originais realçadas, como as melhores composições;
- d) comparar a análise estatística das bandas de imagem com os resultados da interpretação visual;
- e) comparar as bandas individuais e composições coloridas através da visualização de diferentes níveis de separação de alvos;

3 MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área utilizada neste estudo faz parte da Estação Experimental do Canguiri e localiza-se no primeiro planalto paranaense, no município de Pinhais, à margem direita da BR 116 em direção a São Paulo, distante cerca de 18 Km ao norte de Curitiba. Situa-se entre as coordenadas geográficas 25°22'50" S a 25°23'49" S e 49°07'30" W a 49°07'54" W; com uma

superfície de 300 ha, dos quais aproximadamente 30 % são ocupados por áreas agrícolas, benfeitorias, banhados, estradas e aceiros, e 70 % ocupadas por florestas nativas e plantadas (Figura 1). A área é gerenciada pelo Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná e tem sido motivo de inúmeros estudos florestais e de sensoriamento remoto, entre os quais destacam-se Galvão et al (1984), Schuler & Disperati (1988) e Oliveira Filho (1996).

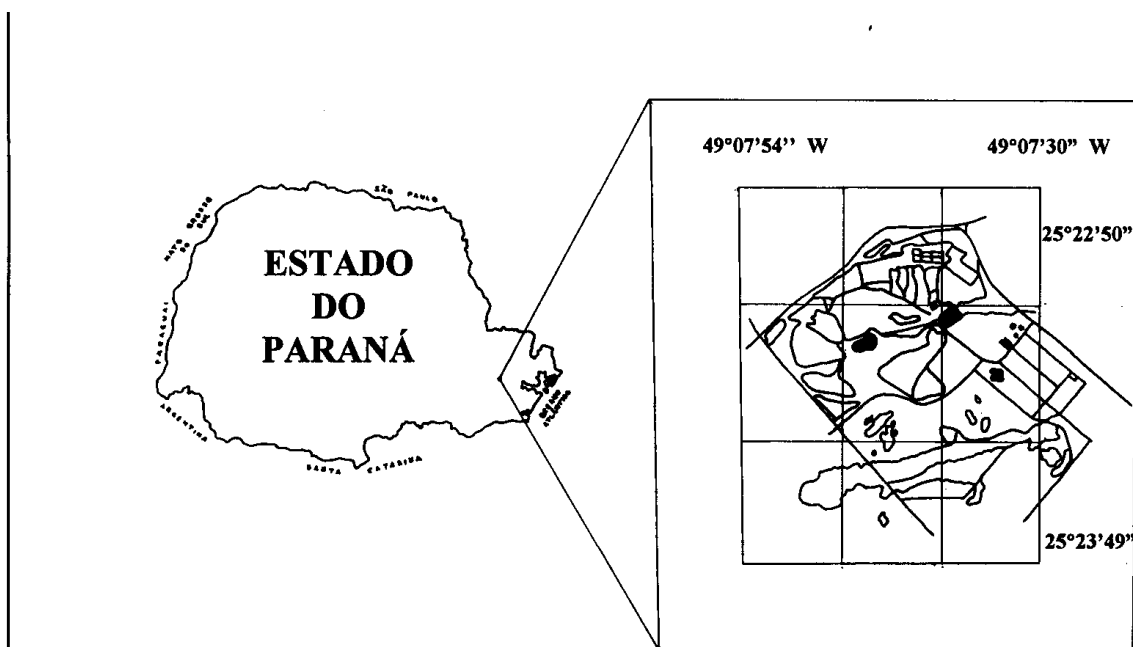


FIGURA 1: Localização da área de estudo.

Material

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os seguintes produtos de sensoriamento remoto: fotografias aéreas e imagens digitais multiespectrais.

As fotografias aéreas foram do tipo convencionais pancromáticas em escala de 1:8.000, e fotografias aéreas de pequeno formato (35 mm) em escala aproximada de 1:2.500. As fotografias aéreas convencionais foram obtidas pela Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), em voo realizado pela empresa Aerosul S/A, em agosto de 1985. As

fotografias aéreas de 35 mm foram obtidas também em agosto de 1985, e fizeram parte de um projeto financiado pelo Conselho de Ciência e Tecnologia (CONCITEC) da Secretaria de Planejamento do Estado do Paraná. (Disperati, 1986).

As imagens digitais multiespectrais do sensor CASI tinham uma resolução espacial de 3,5 x 3,5 metros. Elas foram obtidas em voo teste, constituindo uma das primeiras experiências de um projeto de transferência de tecnologia Canadá - Brasil, realizado em março de 1992.

A imagem do CASI consistiu de 7 bandas em formato digital, de faixas espectrais estreitas de comprimentos de onda (Figura 2). Os dados foram obtidos em 12 bits, e convertidos para 8 bits. Os dados originais foram obtidos em radiância e transformados em reflectância. Este trabalho se iniciou a partir dos dados já transformados em 8 bits, de reflectância, e corrigidos em relação à rotação do sensor em torno do eixo de deslocamento da aeronave, também chamada de "Roll Correction". As 7 bandas de imagem, portanto, já estavam em formato digital de 8 bits, e feitas as devidas correções do "roll" provenientes da ocasião do imageamento. Cada banda de imagem era formada de 469 linhas por 497 colunas. Detalhes sobre as 7 bandas de imagem obtidas, bem como a sua localização no espectro eletromagnético estão na Figura 2.

Esta configuração de bandas foi feita com experiência em testes realizados no Canadá, que demonstraram bons resultados em trabalhos aplicados à florestas. A banda 1 (azul) foi configurada bem mais larga devido à baixa sensibilidade do sensor à vegetação verde nesta região espectral**. A banda 2 (verde) teve menor largura que a banda 1, porém maior que as demais, por ser esta a região espectral que mais reflete o verde, importante para a vegetação. As demais bandas (3, 4, 5, 6 e 7) tiveram a mesma largura espectral, menor que as duas primeiras.

** Esta era uma característica do sensor na época em que foi feito o voo.

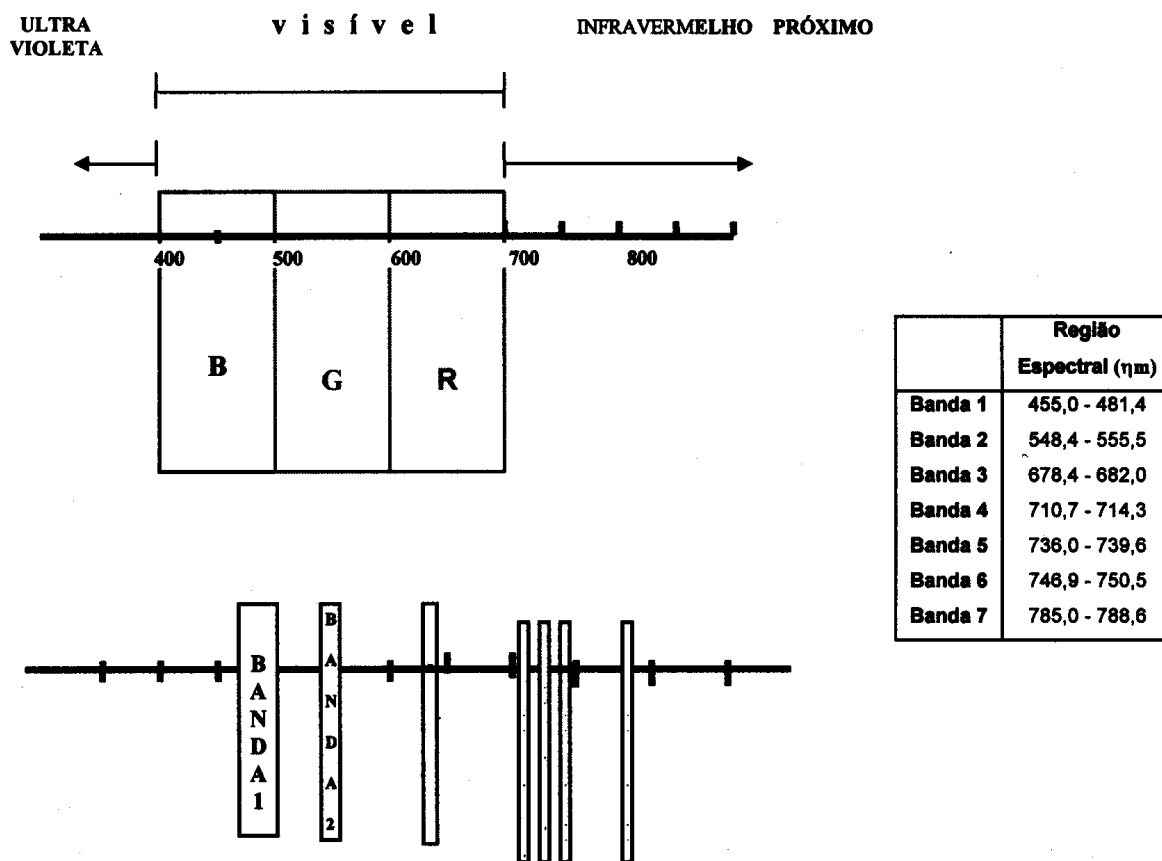


FIGURA 2: Posição e configuração das bandas de imagem obtidas no espectro.

Métodos

A interpretação das fotografias aéreas foi feita com uso de um estereoscópio de espelho da marca Leica, modelo ST-4, pertencente ao Laboratório de Sensoriamento Remoto do Departamento de Silvicultura e Manejo da Universidade Federal do Paraná.

Todo o processamento e estatística das imagens digitais foram feitos em um computador tipo PC. A edição do trabalho foi realizada em uma impressora HP 560 C a jato de tinta, com uso de papel especial conforme Oliveira Filho e Disperati (1996) e do “Software Aldus Photostyler.” O “software” utilizado foi o IDRISI na versão 4.1, um sistema de

processamento de imagens em nível educacional, único disponível no Departamento de Silvicultura e Manejo da UFPR no momento desta pesquisa, em 1996.

A metodologia utilizada neste estudo pode ser visualizada na Figura 3. Na primeira fase do trabalho, foi feita a interpretação visual das fotografias aéreas convencionais e de pequeno formato, com auxílio do cadastro histórico da área, para a elaboração de um mapa temático utilizado como verdade terrestre para as demais etapas deste estudo. O trabalho de interpretação das fotos foi feito sobre transparências colocadas sobre as fotografias em escala 1:8.000.

A interpretação complementar das fotografias de pequeno formato foi feita após a confecção de dois mosaicos em escala aproximada de 1:2.500. Apesar do farto material fotográfico e informações da área, intenso trabalho de campo foi realizado. A legenda do mapa final utilizada no trabalho de interpretação foi a seguinte: *Pinus elliottii*, *Pinus taeda*, *Pinus caribaea*, *Pinus keisiya*, *Pinus pinaster*, *Eucalyptus spp*, *Araucaria angustifolia*, *Cunninghamia lanceolata*, *Mimosa scabrela*, Arboreto de Coníferas, Floresta Nativa, Agricultura e Lago.

A extração de informações a partir dos dados digitais do sensor foi feita através de uma integração entre a manipulação dos valores digitais e o trabalho de interpretação visual. A manipulação dos valores digitais se constituiu no cálculo das estatísticas básicas das bandas de imagem e de todas as técnicas que, de alguma forma, modificaram os valores digitais (ou de brilho) originais das bandas de imagem. Foram obtidos média, desvio padrão, variância e os limites mínimo e máximo dos valores de brilho em cada banda, bem como covariâncias e coeficientes de correlação, por meio de interações entre as bandas de imagem. Estas interações resultaram nas matrizes de covariância e de correlação, que foram utilizadas para avaliar as similaridades entre as bandas.

Como representado na Figura 3, foram utilizadas duas técnicas para o realçamento das imagens: o aumento de contraste e a composição colorida após o aumento de contraste. Foi definido para este trabalho o uso do aumento de contraste linear, que se utiliza de uma equação de reta, modificando a imagem homogeneamente. Este foi escolhido por modificar de forma constante todos os pixels da imagem, e por ser considerado mais criterioso do que os demais, já que há, neste tipo de contraste, um controle sobre os limites dos valores de brilho do histograma da imagem contrastada (Jensen, 1986).

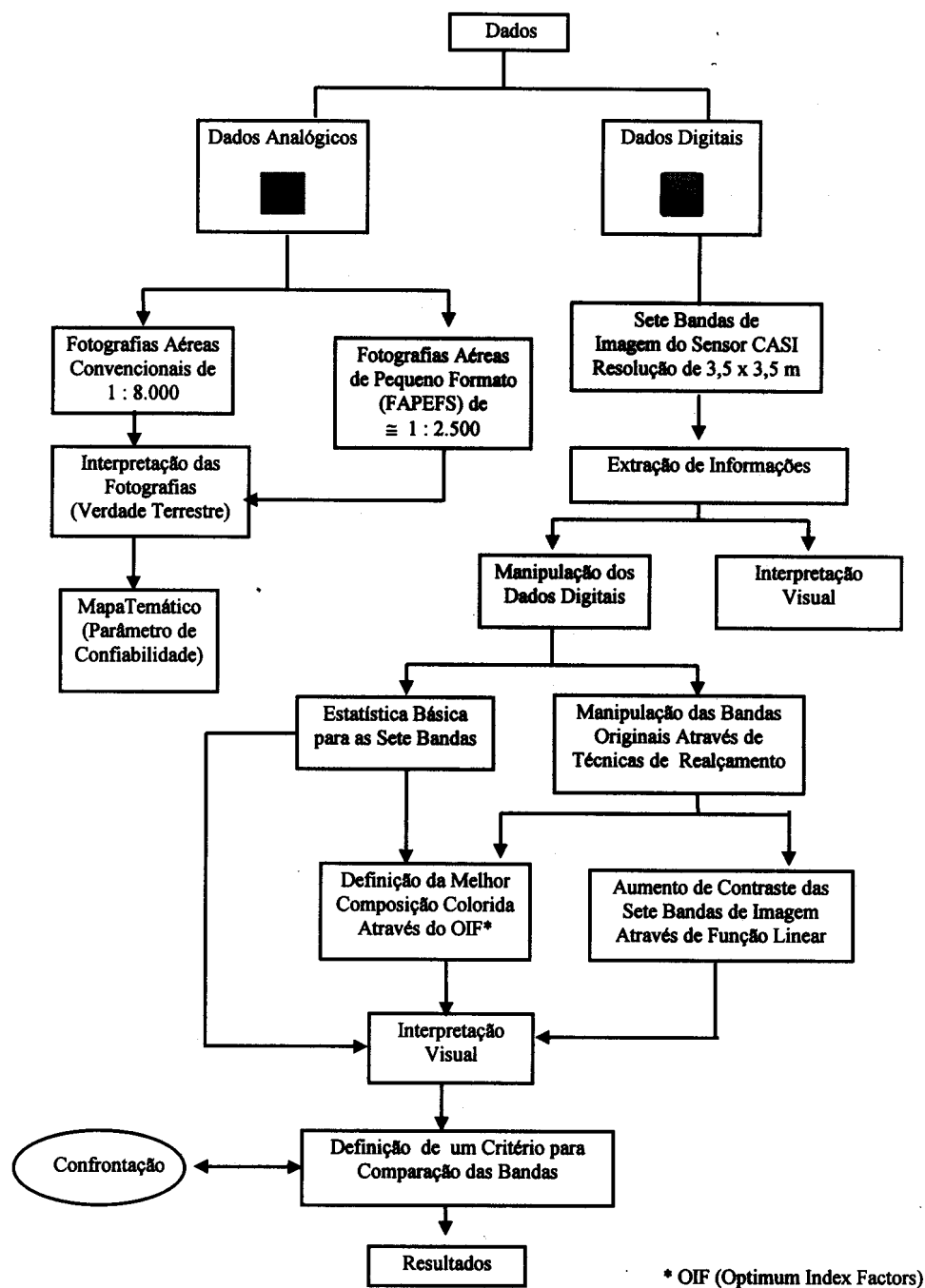


FIGURA 3: Organograma representativo da sequência operacional do trabalho

Após a observação das bandas originais de imagem, bem como de seus histogramas de frequência dos valores de brilho, procurou-se aumentar o contraste das imagens por meio do aumento linear de contraste. Esta operação foi feita definindo-se os limites mínimos e máximos das bandas com apoio em seus histogramas de frequência gráficos e numéricos (Figura 4).

Esta técnica foi aplicada porque a equação de reta para a transferência dos valores resulta em uma modificação homogênea em toda a imagem. A seguinte equação foi utilizada (Adaptada de Jensen, 1986):

$$VB_{FINAL} \times (VB_{MAX.} - VB_{MIN.}) = A_{VB} \times (VB_{ORIG.} - VB_{MIN.})$$

onde,

VB_{FINAL} = Valor de Brilho Final

$VB_{MAX.}$ = Valor de Brilho Máximo

$VB_{MIN.}$ = Valor de Brilho Mínimo

$VB_{ORIG.}$ = Valor de Brilho Original

A_{VB} = Amplitude dos Valores de Brilho

Desta forma, as barras verticais do histograma de saída são espaçadas igualmente, formando um histograma idêntico ao da imagem original sem aumento de contraste, porém com um valor médio e um espalhamento diferentes.

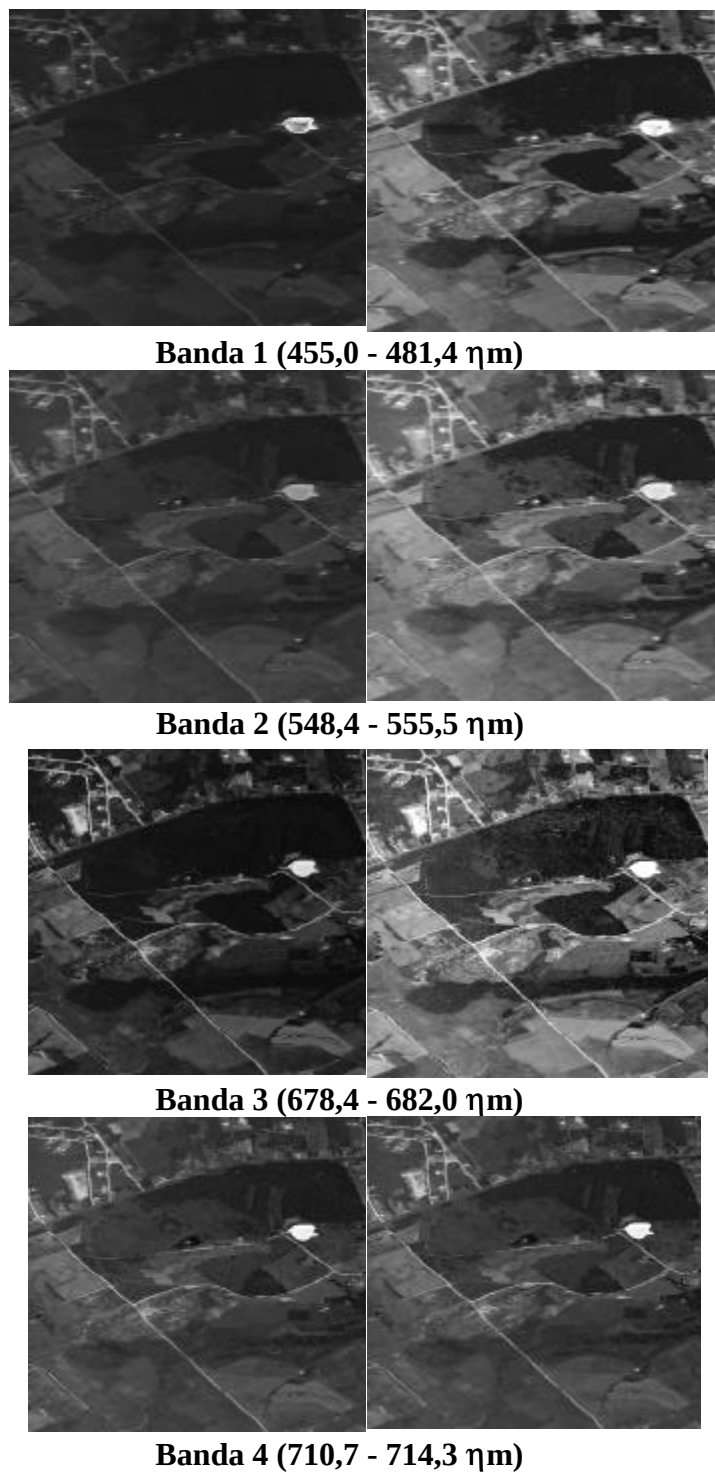


FIGURA 4a: Bandas originais e contrastadas

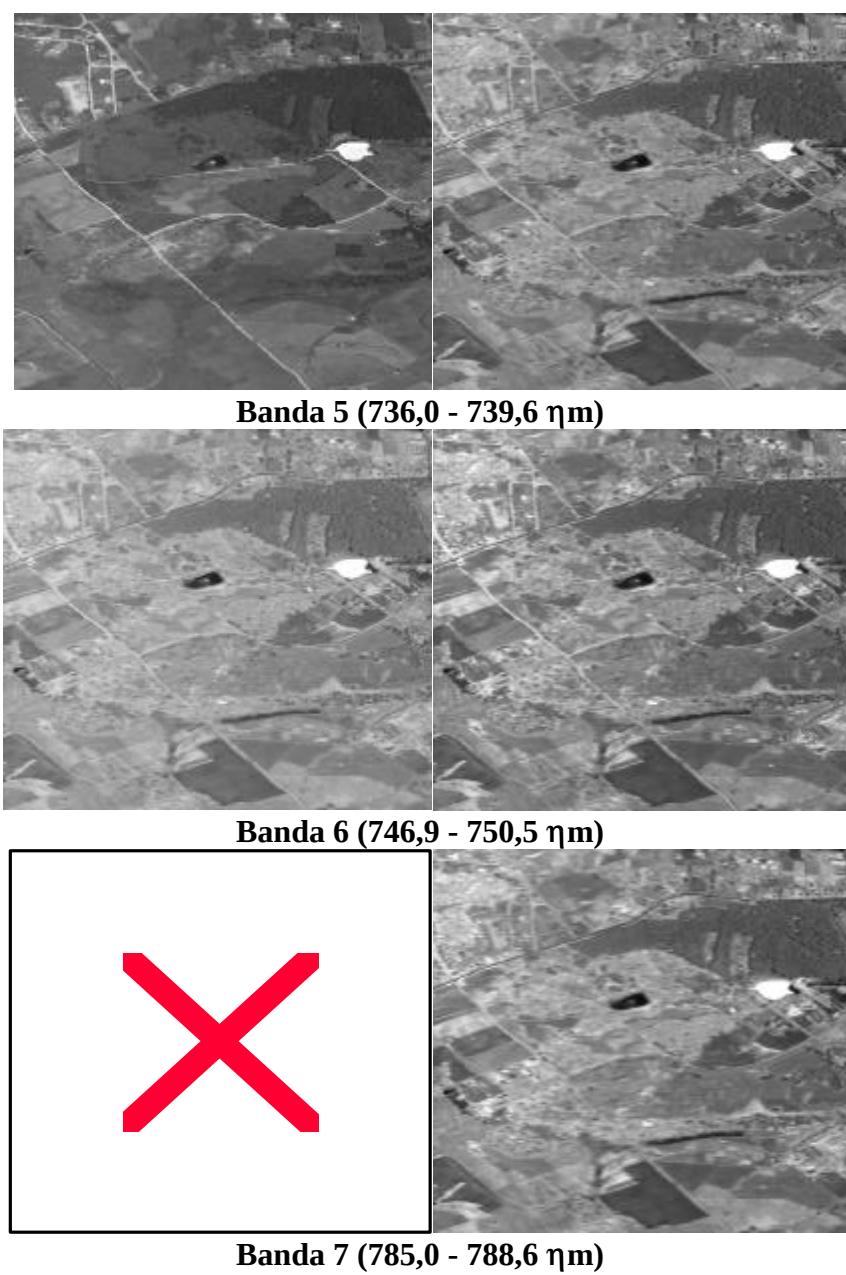


FIGURA 4b: - Bandas originais e contrastadas

As bandas originais, e as bandas de imagem com aumento de contraste foram impressas, sendo as bandas de imagens feitas em papel especial, na resolução de 90 pixels/polegada. A interpretação das bandas de imagem após o aumento de contraste foi feita visualizando-se determinados alvos de maior interesse, estabelecidos para o melhor efeito comparativo das imagens, de forma que as imagens fossem submetidas ao mesmo critério. Estes alvos estão assinalados na Figura 5, formada pela banda 4, e assim caracterizados:

- Alvo nº 1: Área de reflorestamento de 23 ha formado por diferentes espécies de *Pinus*.
- Alvo nº 2: Exemplares de *Araucaria angustifolia* encontrados em duas áreas de floresta, uma delas delimitando a área de reflorestamento de *Pinus spp* e a outra de fundo de vale.
- Alvo nº 3: Área de 0,64 ha, referente a um pequeno experimento composto por várias coníferas exóticas .
- Alvo nº 4: Um povoamento de *Eucalyptus sp* de 0,56 ha
- Alvo nº 5: Um povoamento de 3 ha de *Araucaria angustifolia*, composto por um sub-bosque de espécies da associação de Floresta Ombrófila Mista. O dossel, no entanto, é dominado pelos pinheiros.
- Alvo nº 6: Áreas de agricultura e áreas afins (outros).
- Alvo nº 7: Rede viária, formada por uma estrada asfaltada, estradas secundárias de terra e aceiros.
- Alvo nº 8: Dois lagos, diferenciados na Figura 5.

FIGURA 5: Banda 4 da imagem com os alvos assinalados.

A partir das sete bandas de imagem disponíveis, combinandas entre si, sempre três a três, dispunha-se de um potencial total de 35 composições diferentes. Procurou-se, através das várias combinações possíveis com as bandas de imagem, saber qual a melhor composição. Através do cálculo do OIF, “Optimum Index Factor”, pôde-se, com base em valores estatísticos, conhecer a melhor composição (Figura 6). Este índice foi calculado utilizando-se a seguinte fórmula (Jensen, 1986):

$$\text{OIF} = S_1 + S_2 + S_3 / r_{12} + r_{13} + r_{23}$$

onde,

S_k = desvio padrão da banda k

r_{kl} = coeficiente de correlação entre a banda k e a banda l

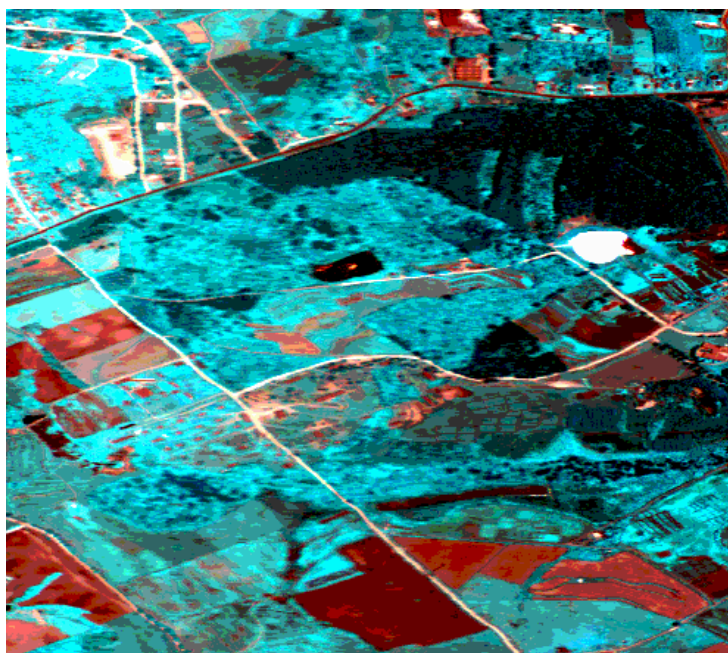


FIGURA 6: Melhor composição colorida

Com o objetivo de padronizar a interpretação, obter uma melhor visualização das diferenças entre as bandas de imagem e a melhor composição colorida, foi elaborado um critério que classifica três níveis de separação dos alvos com as seguintes simbologias, que indicam:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| ■ separação bastante acentuada; | □ separação acentuada; |
| □ separação pouco acentuada; e | × que não houve separação |

A análise dos 8 alvos definidos através deste critério teve como resultado um quadro resumo. A seguir, mesmo não sendo usual em trabalhos de sensoriamento remoto, procurou-se estabelecer alguma relação entre os resultados obtidos pela interpretação visual padronizada e a interpretação da matriz de correlação entre bandas, transformando as análises visuais em resultados numéricos, para que fosse possível tal comparação. Isto foi feito através de uma simples contagem do número de observações coincidentes do quadro resumo da análise visual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o cálculo das estatísticas univariadas e da interação banda a banda, foi feita uma análise prévia dos valores digitais através da matriz de correlação da Tabela 1. A referida tabela mostra que as bandas 1, 2, 3 e 4 são altamente correlacionadas (coeficiente de correlação $r > 0,8$), indicando que há uma redundância de informação espectral nestes canais.

As bandas 5, 6 e 7 são as que apresentam o maior coeficiente de correlação ($r > 0,9$). As bandas 3 e 7 são as menos parecidas, portanto uma das bandas propicia algum tipo de informação não encontrada na outra banda. Já as bandas 6 e 7 apresentam o maior valor de r .

TABELA 1: Matriz de correlação entre as sete bandas de imagem

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Banda 1	1,000000						
Banda 2	0,892621	1,000000					
Banda 3	0,839632	0,851016	1,000000				
Banda 4	0,818748	0,920689	0,919925	1,000000			
Banda 5	0,429655	0,630983	0,380694	0,688978	1,000000		
Banda 6	0,250642	0,476886	0,184015	0,515014	0,969960	1,000000	
Banda 7	0,158743	0,380631	0,068244	0,398770	0,918020	0,979887	1,000000

O aumento de contraste foi efetuado nas sete bandas individualmente e está bem caracterizado nas confrontações das imagens originais e contrastadas (Figura 4). Antes do aumento de contraste, as bandas 1, 2, 3, 4 e 5, apresentavam-se muito escuras, enquanto que as bandas 6 e 7 muito claras. Após a aplicação da função linear para aumento de contraste, as bandas 1, 2, 3, 4 e 5 passaram a apresentar uma tonalidade mais clara e as bandas 6 e 7, uma tonalidade mais escura, melhorando sobremaneira a nitidez das imagens. Portanto, o contraste linear com controle de intervalos dos valores digitais mostrou-se adequado aos dados do sensor. A melhor composição colorida, após o cálculo do OIF “Optimum Index Factor” (Tabela 2), foi obtida com as bandas R3, G6, B7, e demonstrou ser bastante representativa das sete bandas de imagem, o que se confirma comparando-se a interpretação visual das bandas isoladas e da referida composição. A 2ª melhor composição colorida, R7, G3, B1, apresentou um efeito visual distinto da primeira, porém muito parecida no aspecto informativo.

TABELA 2: Composições coloridas possíveis com as sete bandas

Nº	Composição	OIF	Nº	Composição	OIF
1	R3,G6,B7	81,43 *	19	R1,G5,B6	45,01
2	R1,G3,B7	78,82 *	20	R4,G5,B7	43,83
3	R3,G4,B7	68,68	21	R3,G4,B5	43,08
4	R3,G5,B7	68,21	22	R1,G2,B6	42,05
5	R2,G3,B7	67,01	23	R2,G3,B5	41,63
6	R1,G3,B6	64,04	24	R2,G4,B6	41,47
7	R1,G6,B7	60,33	25	R2,G5,B7	41,33
8	R3,G5,B6	59,15	26	R4,G5,B6	39,31
9	R3,G4,B6	57,32	27	R2,G5,B6	37,20
10	R1,G4,B7	57,22	28	R1,G4,B5	35,72
11	R2,G3,B6	55,98	29	R5,G6,B7	32,42
12	R4,G6,B7	51,87	30	R2,G4,B5	32,24
13	R1,G5,B7	50,94	31	R1,G2,B5	31,25
14	R1,G2,B7	49,29	32	R1,G3,B4	29,69
15	R1,G4,B6	48,15	33	R2,G3,B4	29,56
16	R2,G4,B7	48,10	34	R1,G2,B3	26,47
17	R2,G6,B7	47,27	35	R1,G2,B4	23,96
18	R1,G3,B5	45,16			

Após a interpretação padronizada dos alvos pré-definidos das sete bandas realçadas da imagem, além da melhor composição colorida, foi então elaborado um quadro de resultados com a visualização dos diferentes graus de separação dos alvos (Tabela 3).

TABELA 3: Diferenciação dos alvos sobre as bandas realçadas e sobre a Composição colorida

	BANDAS							CC
	1	2	3	4	5	6	7	
Separa a área do reflorestamento da área de floresta nativa	×	■	×	■	■	■	■	■
Separa diferentes povoamentos dentro da área do reflorestamento	■	■	×	×	×	×	×	×
Separa os indivíduos ou agrupamentos da espécie <i>Araucaria angustifolia</i> que fazem parte da floresta nativa	×	■	×	■	■	■	■	■
Separa o arboreto de coníferas da área de floresta nativa	×	■	×	■	■	■	■	■
Separa o povoamento de <i>Eucalyptus sp</i>	×	■	×	■	■	■	■	■
Separa o povoamento de <i>Araucaria angustifolia</i>	×	■	×	■	■	■	■	■
Separa as áreas de agricultura e atividades afins	■	■	■	■	■	■	■	■
Separa diferentes estágios de agricultura e atividades afins	■	■	■	■	■	■	■	■
Separa a estrada asfaltada na parte superior da imagem	■	■	■	■	■	■	■	■
Separa as estradas não asfaltadas	×	×	■	■	×	×	×	■
Separa os aceiros	×	×	■	■	×	×	×	■
Separa o lago 1	■	■	■	■	■	■	■	■
Separa o lago 2	■	■	■	■	■	■	■	■

■ Separação bastante acentuada

■ Separação acentuada

□ Separação pouco acentuada

× Não houve separação

O mapa de cadastro florestal da área em questão apresentava uma tipologia muito detalhada, inclusive determinando diferentes espécies, o que a imagem não possibilitou. As

bandas que mais destacaram as espécies nativas e plantadas foram aquelas concentradas na região espectral do infravermelho próximo.

Entretanto, a banda 1 foi a única que evidenciou alguma diversidade entre espécies do gênero *Pinus sp.*, mais especificamente entre as espécies *Pinus eliottii* e *Pinus taeda*, que apresentaram pequena diferença de tonalidade. A banda 2 detectou algumas diferenças entre floresta nativa e reflorestamento, principalmente do gênero *Eucalyptus sp.* As bandas 4, 5, 6 e 7, todas representando a região espectral do infravermelho próximo, caracterizaram bem as áreas de floresta, excetuando a separação das espécies distintas do gênero *Pinus sp.*

Áreas de agricultura foram mais visíveis nas bandas 1, 2, 3 e 4, enquanto que seus diferentes estágios somente não foram bem nítidos nas bandas 2 e 4.

Estradas e aceiros, bem como os dois lagos, foram alvos de fácil separação, excetuando os aceiros nas bandas 1, 2, 5, 6 e 7. Os dois lagos ainda evidenciaram diferenças em relação à qualidade e/ou profundidade da água, devido às diferenças de tonalidade que estes alvos apresentavam nas imagens.

Analizando o aspecto informativo da caracterização de uso do solo, a composição colorida, ou seja, a combinação das bandas 3, 6 e 7, mostrou os melhores resultados, como pode ser verificado na Tabela 3.

Após a confecção deste Tabela, foi elaborada uma tabela (Tabela 4) na qual estão os números de observações coincidentes nas sete bandas do sensor, expostos nos quadros de resultados das análises interpretativas.

TABELA 4: Número de observações coincidentes na análise interpretativa visual das bandas de imagem

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
Banda 1							
Banda 2	3						
Banda 3	5	3					
Banda 4	3	7	3				
Banda 5	2	3	1	6			
Banda 6	2	3	1	4	8		
Banda 7	2	3	1	4	6	8	

Estes valores numéricos são produtos de uma análise interpretativa visual e foram confrontados com aqueles valores provenientes da matriz de correlação, que medem os graus de similaridade entre as bandas, de forma que pode ser verificada uma mesma tendência numérica. Tal procedimento não é muito usual em sensoriamento remoto, contudo, para efeito complementar, tornou possível neste trabalho de pesquisa, uma comparação entre a interpretação estatística e a interpretação visual das bandas de imagem. Observando estes valores da Tabela 4, que podem ser considerados como pesos que medem o grau de similaridade entre as bandas, e comparando-os aos coeficientes da matriz de correlação da Tabela 1, foi possível verificar uma tendência no comportamento dos valores numéricos. Isto reforça o aspecto de que a análise interpretativa visual destas sete bandas de imagem resultaram na ratificação da análise estatística.

É importante ressaltar que cada pixel da imagem abrangia uma área no terreno de 3,5 x 3,5 metros (12,25 m²), enquanto que as resoluções espaciais dos sensores orbitais das séries LANDSAT e SPOT possuem resoluções de 30 e 10 ou 20 metros respectivamente, abrangendo de 100 a 900 metros quadrados. Outra vantagem do sensor está na sua resolução espectral quanto à possibilidade de definir a largura de cada banda e a locação desta dentro de um intervalo do espectro eletromagnético.

Apesar deste ser o primeiro voo teste, as imagens proporcionaram bons resultados, por distinguirem os diversos tipos florestais (*Eucalyptus*, *Pinus* e *Araucaria*). A alta resolução espacial permitiu a detecção de alvos de áreas reduzidas. No entanto, outros testes devem ser conduzidos, procurando outras configurações de bandas.

CONCLUSÕES

- 1) A análise estatística das bandas de imagem e suas interações refletiram a alta correlação entre as bandas 1, 2, 3 e 4, ao passo que as bandas 5, 6 e 7 apresentaram alta correlação entre si, indicando redundância de informações nestes canais.
- 2) A aplicação do contraste linear com controle dos intervalos dos valores digitais mostrou-se adequada aos dados do sensor.
- 3) A melhor composição colorida, R3, G6, B7, demonstrou ser bastante representativa das sete bandas de imagem, na medida em que proporcionou quase que a totalidade das informações obtidas pelas bandas individualmente, após análise da Tabela 1.

- 4) O critério de padronização da análise visual das bandas e da composição colorida mostrou-se eficiente e objetivo.
- 5) A transformação da interpretação visual, para comparação das bandas de imagem em dados numéricos através da contagem do número de observações coincidentes, trouxe resultados satisfatórios, visto que foi verificada uma mesma tendência destes números com os coeficientes de correlação das sete bandas entre si.
- 6) Apesar da alta resolução espacial e espectral dos dados, apenas a banda 1 separou os diferentes povoamentos dentro da área do reflorestamento.
- 7) Indivíduos ou agrupamentos da espécie *Araucaria angustifolia* somente foram separados de forma bastante acentuada nas bandas 5, 6 e na composição colorida.
- 8) O arboreto de coníferas exóticas foi destacado de forma bastante acentuada nas bandas 4, 5, 6 e na composição colorida.
- 9) O povoamento de *Eucalyptus* sp foi muito bem separado nas bandas 2, 4, 5 e na composição colorida.
- 10) O povoamento de *Araucaria angustifolia* foi muito bem destacado nas bandas 4 e 5 e na composição colorida.
- 11) Áreas de agricultura e atividades afins foram bem realçadas nas bandas 1, 2, 3 e 4 e na composição colorida, porém seus diferentes estágios foram bem destacados somente na banda 3 e na composição colorida.
- 12) As estradas não asfaltadas foram bem separadas nas bandas 1, 2, 3 e 4 e na composição colorida, enquanto que a estrada asfaltada foi melhor separada nas bandas 5, 6 e 7 e na composição colorida. Os aceiros foram destacados apenas na banda 3 e na composição.
- 13) O lago 1 foi bem destacado em todas as bandas e na composição colorida, enquanto que o lago 2 apenas não pôde ser separado nas bandas 1 e 3.
- 14) Considerando as altas resoluções espacial e espectral do sensor CASI, outras configurações espectrais devem ser testadas, pois ainda melhores resultados podem ser obtidos, principalmente na região crítica da passagem do espectro do vermelho para o infravermelho.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- DISPERATI, A.A. **Relação das fotografias aéreas verticais 35 mm obtidas de três áreas florestais próximas de Curitiba - PR.** Curitiba : UFPR. Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR, 1986. 10 p. (não publicado).
- GALVÃO, F. et al. **Planejamento silvicultural para a Estação Experimental do Canguiri do Setor de Ciências Agrárias da UFPR.** Curitiba : UFPR, 1984. 126p. (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal)
- JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing a remote sensing perspective.** Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1986.
- KIRCHNER, F.F. et al. Programa de transferência de tecnologia em sensoriamento remoto e sistema de informação geográfico entre o Canadá e o Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, 1993. E, em CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, Curitiba, 1993. **Anais...** Curitiba : SBEF, 1993. p.437-441.
- OLIVEIRA FILHO, P.C. **Análise de dados multiespectrais de alta resolução obtidos pelo sensor "CASI" (Compact Airborne Spectrographic Imager) em área rural do município de Pinhais - PR.** Curitiba : UFPR, 1996. 128p. (Dissertação de Mestrado em Manejo Florestal).
- OLIVEIRA FILHO, P.C.; DISPERATI, A.A. Observações com diferentes tipos e gramaturas de papel para a impressão de imagens digitais com uso da tecnologia de jato de tinta, **Revista Agrárias da UFPR**, Curitiba, v.15, n. 1, p.143-149.
- SCHULER, C.A B.; DISPERATI, A. A. Sobre o uso de fotografias aéreas convencionais (preto e branco e falsa cor) e 35 mm (coloridas) verticais no mapeamento florestal de uma área teste na Região Metropolitana de Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1998. E em SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, São José dos Campos, 1988. **Anais...** São José dos Campos : SBEF, 1988. p.437-441.