

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT NO MAPEAMENTO DE FLORESTAS IMPLANTADAS NA REGIÃO DE MOGI-GUAÇU (SP-BRASIL)

Carlos A. Vettorazzi
Hilton T. Z. do Couto

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Caixa Postal 09, 13.400 - Piracicaba, SP, Brasil

RESUMO

Através da interpretação visual de imagens TM/LANDSAT, auxiliada por checagem de campo, foi feito o mapeamento da cobertura florestal de parte do Horto Mogi-Guaçu (Mogi-Guaçu-SP). A análise dos resultados obtidos permitiu concluir que, a utilização conjunta das imagens dos canais 3, 4 e 5 foram eficientes no mapeamento da cobertura florestal, possibilitando a discriminação de sete (7) classes distintas de ocupação dos talhões: a) talhões em reforma; b) essências nativas diversas; c) angico (*Piptadenia* spp); d) pinus; e) eucalipto com menos de 1 ano; f) eucalipto entre 1 e 2 anos e g) eucalipto com mais de 2 anos.

ABSTRACT

UTILIZATION OF TM/LANDSAT IMAGES IN THE IMPLANTED FORESTS MAPPING IN THE MOGI-GUAÇU REGION (SP-BRAZIL).

Through the visual interpretation of TM/LANDSAT images and field checking, the forest cover mapping was made of the Horto Mogi-Guaçu (Mogi-Guaçu-SP). The analysis of the obtained results led to the conclusion that the utilization of images from the spectral bands 3, 4 and 5 were efficient for the forest cover mapping, allowing the discrimination of seven different classes of occupation of the stands: a) stands being re-formed; b) various native species; c) angico (*Piptadenia* spp); d) tropical pine; e) eucalypts up to one year old; f) eucalypts between one and two years old; and g) eucalypts over two years old.

1. INTRODUÇÃO

A eficácia do emprego de imagens orbitais no levantamento e monitoramento de povoamentos florestais plantados, no Brasil, tem sido comprovada por inúmeros trabalhos e projetos desenvolvidos neste setor. HERNANDEZ FILHO e SHIMABUKURO (1978) e HERNANDEZ FILHO *et alii* (1978), no estudo da definição de uma metodologia para avaliação de florestas através de dados do LANDSAT, já apresentavam conclusões importantes como, por exemplo, canais mais adequados ao trabalho desejado, padrões espectrais dos alvos, etc.

Mais recentemente, com a evolução dos estudos, a atenção dos pesquisadores tem-se voltado para o inventário de florestas plantadas através de amostragem em três estágios (LEE *et alii*, 1983), onde a delimitação de áreas de plantio homogêneas, através de imagens orbitais, é essencial à definição de unidades amostrais para os estágios seguintes (fotografias aéreas e campo).

Com o advento do sensor de segunda geração, o "Thematic Mapper" (T.M.), houve uma melhora significativa nos dados fornecidos pelo sistema LANDSAT, especificamente com relação às resoluções espacial, espectral e radiométrica, como já antecipava TUCKER (1978), baseado em técnicas de simulação.

Dentro do propósito de colaborar com os estudos definidores da aplicabilidade das imagens TM/LANDSAT no ramo florestal, foi elaborado este trabalho, que tem por objetivo a ava-

liação dos resultados do emprego dessas imagens, interpretadas visualmente, no mapeamento de florestas implantadas, com área de estudo no município de Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Área de estudo

Como área de estudo foi utilizada parte do Horto Mogi-Guaçu pertencente à empresa Champion Papel e Celulose S.A., localizada no município de Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo e compreendida entre os paralelos 22°15' e 22°23' de latitude sul e os meridianos 46°56' e 47°03' de longitude oeste. O relevo, na maior parte do horto, apresenta declividades baixas, ao redor de 3,0%, havendo áreas, porém, onde a declividade alcança 20,0%.

O gênero que ocupa a maior porcentagem de área plantada é o *Eucalyptus*, com destaque para as espécies *E. saligna* e *E. grandis*, a maioria dos talhões com árvores de idade superior a dois anos. Existem também alguns talhões plantados com *Pinus caribaea*, além de outros ocupados por essências nativas diversas ou apenas angico (*Piptadenia* spp).

2.1.2. Imagens orbitais

Empregaram-se cópias em papel de imagens

fotográficas do sensor "Thematic Mapper" (TM) do satélite LANDSAT, em preto-e-branco, na escala 1:125.000, da passagem de 28/05/84 (WRS 219/76, quadrante A). Os canais utilizados foram 3 (0,63-0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm) e 5 (1,55 - 1,75 μm).

2.1.3. Mapas e relatórios

Foram utilizadas cartas topográficas planialtimétricas do IBGE (folhas Mogi-Guaçu e Conchal), na escala 1:50.000, bem como o mapa talhoner do horto, na escala 1:62.500, com o respectivo relatório, datados de 13/03/84.

2.2. Métodos

2.2.1. Interpretação das imagens

As imagens foram interpretadas visualmente, com base em aspectos espaciais e espectrais. Por terem sido utilizadas imagens relativas a uma única passagem do satélite, não foi possível a apreciação do aspecto temporal na fase de interpretação visual.

Com relação aos aspectos espaciais foram analisadas a forma e a posição relativa dos alvos, no caso os talhões. Quanto aos aspectos espectrais, analisaram-se os elementos tonalidade e textura dos alvos. Para a tonalidade foram estabelecidas cinco classes, correspondentes a tons de cinza: cinza muito escuro (CME); cinza escuro (CE); cinza médio (CM); cinza claro (CC) e cinza muito claro (CMC). A textura fotográfica, de acordo com variação dos tons de cinza na área analisada, foi classificada em lisa (L), média (M) e grosseira (G).

Para cada canal em separado foram demarcados, sobre poliéster estável transparente "overlay", os limites da área de estudo, as áreas homogêneas quanto aos padrões espectrais, bem como estradas, carreadores, cursos d'água, etc.

2.2.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo constou da identificação e caracterização de cada talhão em estudo, com relação aos seguintes aspectos: espécie(s), idade, área e situação geral (homogeneidade, sub-bosque, etc). O trabalho nesta fase foi muito facilitado pela utilização de dados existentes no relatório e no mapa geral e talhões do horto.

2.2.3. Elaboração da legenda

De posse dos dados obtidos nas fases precedentes, ou seja, interpretação preliminar das imagens e checagem de campo, estabeleceram-se correlações entre a ocupação de cada talhão e seu respectivo padrão espectral (tonalidade e textura), permitindo a elaboração da legenda definitiva do mapeamento. Para tanto organizaram-se tabelas, onde os talhões devidamente agrupados por espécies (no caso de eucalipto, também por faixas etárias, com intervalo de 1 ano), foram caracterizados quanto aos seus padrões espectrais. Para cada tipo de ocupação determinaram-se as classes de maior frequência de ocorrência, tanto para tonalidade quanto para textura. Nova tabela foi organizada, desta vez relacionando o tipo

de ocupação com seu padrão espectral, resultante da análise das classes de maior frequência.

A legenda definitiva pode então ser elaborada, com base na maior discriminabilidade observada através dos padrões espectrais, isto é, que resultasse na menor porcentagem de erros de mapeamento (enganos).

2.2.4. Confeccção do mapa final

Através da caracterização espectral de cada tipo de ocupação, obtida na fase anterior, e também da caracterização de cada talhão, feita nas bases de interpretação das imagens e trabalho de campo, foi confeccionado o mapa final.

2.2.5. Determinação da exatidão do mapeamento

A exatidão do mapa final foi determinada com base em dois itens: tipo de ocupação e área dos talhões.

2.2.5.1. Quanto ao tipo de ocupação

De posse do relatório do horto e dados de campo, foi feito o confronto entre o tipo de ocupação mapeado e o que realmente existia nos talhões por ocasião da passagem do satélite. O resultado foi traduzido em termos de porcentagem de erro de classificação em relação à área total dos talhões.

2.2.5.2. Quanto à área dos talhões

Sobre o mapa final, e apenas sobre os talhões que puderam ser individualizados, foi feita a medição da área de cada talhão, com auxílio de uma malha quadriculada (2mm x 2mm). Os valores obtidos foram confrontados com os constantes no relatório do horto, expressando-se os resultados em termos de erro absoluto e erro percentual, em relação à área real de cada talhão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Legenda definitiva

Com base na maior discriminabilidade dos alvos, através dos padrões espectrais e dados de campo, foi elaborada a legenda definitiva, com as seguintes classes de tipo de ocupação:

a) Talhões em reforma: ocupados por mudas de eucalipto, com poucos meses de plantio;

b) Nativas diversas: pequenos talhões com vegetação arbórea regional (cerrado), densidade variável e substrato com predominância de gramíneas;

c) Angico (*Piptadenia* spp): essência nativa, plantada isoladamente;

d) Pinus: plantios com idade de 15 anos, unicamente da espécie *P. caribaea*;

e) Eucalipto: plantios com espécies diversas, porém em sua quase totalidade com as espécies *E. grandis* e *E. saligna*; alguns talhões com *E. robusta* e *E. urophylla* e outros com diversas espécies consorciadas; idades variáveis, o que permitiu a subdivisão desta classe em faixas etárias, a saber:

- e.1) Eucalipto com menos de 1 ano (10 a 11 meses);
- e.2) Eucalipto entre 1 e 2 anos;
- e.3) Eucalipto com mais de 2 anos.

3.2 Padrões espectrais

Na Tabela 1 são apresentados, para os três canais empregados, os padrões espectrais referentes aos tipos de ocupação dos talhões, em 28/05/84, resultantes da análise de classes de maior frequência a que foram submetidos os dados.

Pela análise da Tabela 1 verifica-se a eficiência da utilização conjunta dos canais 3 e 4 na discriminação dos diversos tipos de ocupação dos talhões, através da tonalidade do alvo. O canal 3 (0,63 a 0,69 μ m), por ser a banda de absorção de clorofila, nos permite a delimitação de áreas com diferentes concentrações de vegetação, concordando com TUCKER (1978). O canal 4 (0,76 a 0,90 μ m), isoladamente, permitiu a melhor discriminação entre os alvos, notadamente entre os talhões de eucalipto e os demais. O canal 5 (1,55 a 1,75 μ m) foi o que melhor acusou a densidade de vegetação, indo de uma tonalidade de cinza muito claro, para os talhões em reforma (onde é intensa a participação do solo na reflectância do alvo), até uma tonalidade cinza muito escuro, para os talhões de pinus e eucalipto com mais de dois anos de idade. Essa característica do canal 5 o torna muito importante quando se pretende avaliar as idades dos plantios, como mostram os dados contidos na Tabela 1 com relação ao eucalipto, que pode ser separado em três distintas faixas etárias. Esse resultado, de certa maneira, diverge daqueles obtidos por TUCKER (1978) e outros autores, que afirmam ser o canal 4 o que melhor acusa a densidade de biomassa.

Com relação à textura fotográfica, os resultados confirmam aqueles já obtidos por outros autores, isto é, a estreita correlação entre este elemento de interpretação e a homogeneidade do plantio. Em talhões ocupados com uma única espécie ou variedade, a textura média indicou problemas com relação à fertilidade do solo, profundidade efetiva, encharcamento (plantio feito nas depressões mal drenadas), etc. Também nos talhões ocupados com espécies diversas

a textura foi média, indicando heterogeneidade na vegetação. Nas áreas do horto que apresentam declividade mais elevadas (até 20%) e topografia irregular, a textura média constatada su põem-se ser decorrente dos diferentes ângulos de incidência da radiação solar sobre o terreno.

3.3. Mapa da cobertura florestal

O mapa parcial da cobertura florestal do Horto Mogi-Guaçu, elaborado a partir da interpretação das imagens relativas à passagem do satélite de 28/05/84, está representado na Figura 1.

Os canais 5 e 3 foram os mais eficientes na delimitação da área reflorestada, pela tonalidade cinza escuro ou muito escuro apresentada pelo alvo. Na individualização dos talhões houve grande superioridade das informações fornecidas pelo canal 4 sobre os demais, devido à sua maior sensibilidade em acusar, através da tonalidade e textura, as diferenças quanto ao tipo de ocupação do talhão. Aspectos relativos à hidrografia são melhor caracterizados nos canais 4 e 5 (região do infravermelho), pela tonalidade muito escura. Observou-se que as imagens do canal 4 evidenciam mais os cursos d'água maiores, enquanto que no canal 5 identificam-se melhor os cursos menores (de ordens menores elevadas).

3.4. Exatidão do mapeamento

3.4.1. Quanto ao tipo de ocupação

O número de talhões cuja ocupação, de acordo com a legenda estabelecida, foi classificada incorretamente, foi igual a cinco (5), com uma área real de 14,4 ha. A porcentagem de erro de classificação, em relação a área total dos talhões estudados (2353,89 ha) resultou igual a 0,61%, portanto um ótimo índice para este tipo de trabalho.

Deve-se observar que a área média por talhão classificado incorretamente (2,88 ha) é muito pequena, o que dificultou a sua caracterização. Desses cinco talhões, três foram classificados incorretamente quanto ao gênero e dois quanto à idade do eucalipto. No primeiro caso, ou seja, erro quanto ao gênero, o engano deu-se entre talhões de eucalipto com aproximadamente

TABELA 1
PADRÕES ESPECTRAIS PARA CADA TIPO DE OCUPAÇÃO DOS TALHÕES

Tipo de ocupação	Tonalidade			Textura		
	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 3	Canal 4	Canal 5
Talhões em reforma	CMC	CM	CMC	M	M	M
Nativas diversas	CM	CE	CM	M	M	M
Angico	CME/CE	CM	CE/CM	L	L	L
Pinus	CME	CE/CM	CME	L/M	L/M	L
Eucalipto (< 1 ano)	CE	CMC/CC	CM	L	L	L/M
Eucalipto (1-2 anos)	CME	CMC	CE	L	L	L
Eucalipto (> 2 anos)	CME/CE	CC/CMC	CME	L/M	L/M	L

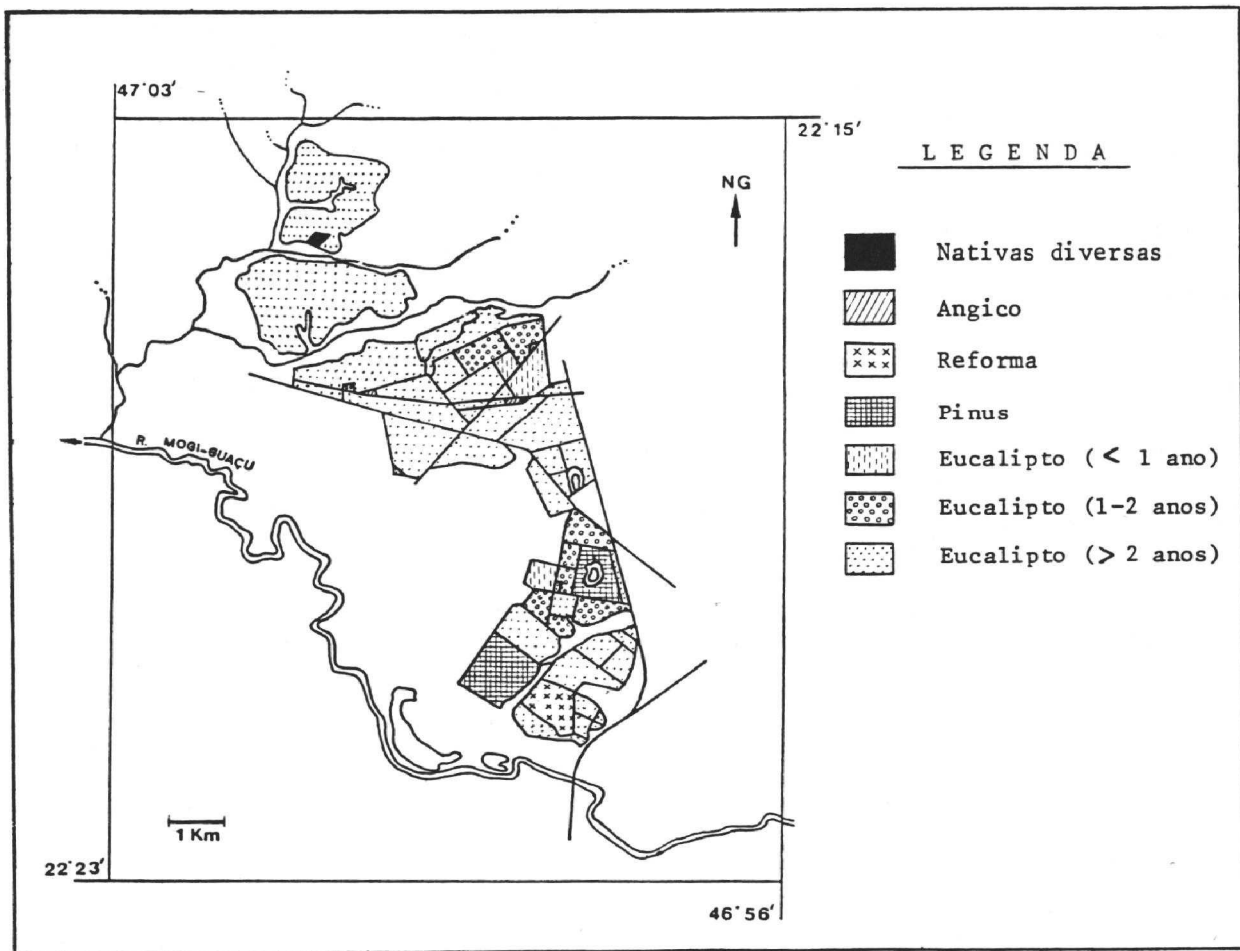


Fig. 1 - Horto Mogi-Guaçu: mapa parcial da cobertura florestal em 28/05/84.

quatro anos e talhões de pinus com quinze anos. A área onde se encontram esses talhões apresenta problemas quanto à pequena profundidade do lençol freático, resultando em baixa sobrevivência e heterogeneidade no crescimento das árvores, tanto de eucalipto como de pinus. Os dois talhões de eucalipto mapeados erradamente quanto à idade pertencem à faixa etária de 1 a 2 anos e foram classificados como pertencentes à faixa acima de 2 anos de idade.

3.4.2. Quanto à área dos talhões

Na Tabela 2 são apresentados os dados relativos ao erro percentual cometido ao se determinarem as áreas dos talhões com a malha quadriculada de 2mm x 2mm. Pela análise dos valores absolutos dos erros cometidos, em relação à área real dos talhões, os resultados foram divididos por intervalos de área, a fim de melhor demonstrar o seu comportamento.

Os valores obtidos mostram claramente a influência do tamanho do talhão no erro percentual resultante, sugerindo limitações nos materiais e métodos empregados, para talhões menores que 10,0 ha. Cabe ainda dizer que, a análise dos dados originais mostrou uma tendência à superestimação do valor da área para talhões menores que 10,0 ha e uma subestimação para talhões acima de 20,0 ha. No intervalo entre 10,0 ha e 20,0 ha, houve equilíbrio entre valores de área superestimados e subestimados.

TABELA 2

ERROS MÉDIOS, ABSOLUTOS E PERCENTUAIS, COMETIDOS NA MEDIÇÃO DA ÁREA DOS TALHÕES ATRAVÉS DE MALHA QUADRICULADA DE 4 mm².

Intervalo de área (ha)	Erro Médio	
	Absoluto (ha)	Percentual (%)
Até 5,0	0,74	51,09
5,0 a 10,0	2,74	32,36
10,0 a 20,0	1,65	10,50
20,0 a 50,0	2,72	8,24

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos no mapeamento da cobertura florestal do Horto Mogi-Guaçu, através da interpretação visual de imagens TM/LANDSAT, permitiu as seguintes conclusões principais:

- as imagens TM, nos canais 3, 4 e 5, mostraram-se eficientes no mapeamento de cobertura florestal, quando utilizadas em conjunto;

- os aspectos espectrais dos alvos permitiram o estabelecimento de sete classes distintas de ocupação dos talhões, a saber: a) talhões em reforma; b) nativas diversas; c) angico (*Piptadenia* spp); d) pinus; e) eucalipto (< 1 ano); f) eucalipto (1-2 anos) e g) eucalipto (> 2 anos);

- na separabilidade entre gêneros foram indispensáveis as informações fornecidas pelo canal 4;

- o canal 5, pela alta correlação que apresenta entre tonalidade do alvo e densidade da vegetação, prestou-se bem à definição de faixas etárias distintas para o eucalipto;

- o erro de classificação quanto ao tipo de ocupação dos talhões foi de 0,61% da área total em estudo, concentrando-se nos talhões de áreas inferiores a 5,0 ha;

- o erro percentual cometido na medição da área dos talhões, através de malha quadriculada, aumentou à medida que diminuiu a área média do talhão;

- houve uma tendência em se superestimar a área de talhões com menos de 10,0 ha e se subestimar a área daqueles com mais de 20,0 ha.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1271-TPT/089).

HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTANA, C.C. *Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (Subprojeto Reflorestamento) durante o ano de 1978*. São José dos Campos, INPE, 1978. (INPE-1408-NTE/141).

LEE, D.C.L.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Inventário de floresta plantada através de amostragem em múltiplo estágio com probabilidade proporcional à grandeza*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2869-RPE/441).

TUCKER, C.J. A comparison of satellite sensor bands for vegetation monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(11): 1369-1380, 1978.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Cia. Champion Papel e Celulose S.A. pelo fornecimento de dados, que permitiram a realização deste trabalho.