

**ANÁLISE PRELIMINAR DE AVALIAÇÃO DE USO DA TERRA COM BASE EM IMAGENS
ORBITAIS DE UM RADAR E DE UM SENSOR ÓTICO
(ERS-1/SAR E LANDSAT/TM)**

Tatiana Mora Kuplich
João Viane Soares

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-900 - São José dos Campos, SP, Brasil
tatiana@ltid.inpe.br
viane@ltid.inpe.br

Abstract

We present here the preliminary results of the analysis of two products of distinct sensors regarding land use evaluation: the Synthetic Aperture Radar of the European Remote Sensing Satellite and the Landsat Thematic Mapper. An area of 400 km², located northwest from the town of Campinas, in Sao Paulo State, was used as test site. Within this site, there are different classes of land use, including urban areas, agriculture and forest. The TM and SAR scenes were acquired on 16th and the 25th of April 1992, respectively, during the dry season when there are no agriculture practices, so that no significant changes were supposed to happen during that 9 days period. A classical classification technique (MAXVER) were used on the data. The results show that TM is better suited for the purpose of this work. It is also suggested that eventually a coregistration of both products could provide new information relevant to land use discrimination.

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados preliminares de uma análise comparativa entre produtos de dois sensores de natureza distinta para avaliação de classes de uso da terra: o Radar de Abertura Sintética do Satélite Europeu de Sensoriamento Remoto (SAR/ERS-1 e o mapeador temático do último satélite americano da série Landsat (TM/LANDSAT-5). A área teste é de 400 Km² e localiza-se na porção noroeste do município de Campinas, SP. Esta área apresenta diferentes classes de uso da terra, compreendendo áreas urbanas, agrícolas, de florestas e silvicultura. As imagens TM e SAR foram adquiridas respectivamente nos dias 16 e 25 de abril, durante a estação seca e na qual tratos culturais praticamente inexistem, o que indica que mudanças temporais não teriam sido significativas. Foi realizada classificação automática do tipo Máxima Verosimilhança nas imagens digitais. Os resultados apontam melhores desempenhos para a classificação do uso da terra na imagem TM. Sugere-se a utilização da imagem SAR como uma nova banda, após o registro desta com a imagem TM.

1. INTRODUÇÃO

O satélite ERS-1 (European Remote Sensing Satellite), em órbita desde julho de 1991, fornece imagens da superfície terrestre através do registro da energia eletromagnética na faixa de micro ondas. O sensor ativo nesta faixa é um Radar de Abertura Sintética (SAR), operante na banda C (frequência de 5.3 GHz, comprimento de onda aproximado de 6 cm), polarização VV e ângulo de incidência de 23°. Estes parâmetros, definidos em função do caráter eminentemente oceanográfico deste satélite, ainda não foram suficientemente experimentados em aplicações continentais. A maior parte dos trabalhos envolvendo técnicas de sensoriamento remoto (SR) por radar utiliza-se de produtos como imagens SIR-A e SIR-B (Shuttle Imaging Radar), SEASAT (todos SAR orbitais) e dados de difusômetros em terra, com bandas, polarizações e ângulos de incidência distintos dos utilizados pelo ERS-1. Sabe-se que os fatores que governam o SR por micro ondas e expressam-se através do coeficiente de retroespalhamento proveniente dos objetos na superfície terrestre, estão estreitamente relacionados ao conteúdo hídrico e rugosidade superficial destes alvos. A influência dos parâmetros do sensor precisam ser testadas e as características dos alvos que serão sensoriadas, ainda estão por ser determinadas.

O INPE vem recebendo e processando imagens SAR do ERS-1, sendo estas disponíveis em fitas CCT e em papel fotográfico. Dada a necessidade

de testar tais produtos, este trabalho propõe-se a fazer a classificação do uso da terra em imagens Landsat/TM e ERS-1/SAR da região de Campinas, SP. A imagem TM foi incluída como uma base de dados conhecidos, objetivando-se assim a realização de uma comparação qualitativa entre ambos produtos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende 400 Km² (20 Km x 20 Km) e está localizada na porção noroeste do município de Campinas, SP, entre as latitudes 22° 43' 00''S e 22° 57' 00''S e as longitudes 46° 59' 00''W e 47° 12' 00''W. Esta área apresenta diferentes classes de usos da terra, desde zonas urbanizadas com fins residenciais e industriais, áreas agrícolas com culturas perenes e anuais e coberturas florestais naturais e silvícolas. No centro da área, encontra-se uma Reserva Municipal, a Mata de Santa Genebra, uma floresta estacional semidecidual com 250 hectares. Adjacentes a esta mata, encontram-se parcelas agrícolas de soja e cana de açúcar. Esta última está presente em toda a área de estudo, sendo o tipo de cultura dominante nesta região. Ao norte, nas margens do rio Atibaia, encontra-se a refinaria de petróleo de Paulínia e a ferrovia de acesso a esta. Ao sul, está presente parte da cidade de Campinas e as rodovias Anhanguera e Dom Pedro.

2.2. PRODUTOS UTILIZADOS

Os materiais utilizados para estudo da área descrita foram:

- Imagem Landsat/TM, órbita ponto 219/076 W, nas bandas 3, 4, e 5, de 16 de abril de 1992, em fita CCT e papel fotográfico (composição colorida 3B4R5G, na escala 1:100000).
- Imagem ERS-1/SAR, em projeção UTM (SARGICS), órbita 4062, na banda C, de 25 de abril de 1992, em fita CCT e papel fotográfico (uma área de 50 Km x 50 Km, em escala de 1:100000).
- Carta topográfica na escala 1:50000, Folha 23-Y-A-V-4 (Campinas), IBGE, 1968.

O equipamento utilizado para o processamento das imagens digitais foi o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens), disponível no INPE.

2.3. METODOLOGIA

Nas duas imagens selecionou-se a área de estudo de 20 x 20 Km, que correspondem a 667 linhas e colunas na imagem TM e a um conjunto de 1600x1600 pontos na imagem SAR.

A imagem SAR foi filtrada com um filtro da média, numa janela de 5x5 pixels. Dobson et al. (1992) utilizaram-se deste tipo de filtro em imagem ERS-1/SAR e obtiveram uma maior separabilidade de classes. A utilização da filtragem neste trabalho objetivou a redução da aparência granulosa da imagem devido ao speckle (o ruído inerente de imagens SAR) e a tentativa de tornar a distribuição de níveis de cinza (NC), (que se relacionam diretamente ao coeficiente de

retroespalhamento do alvo, σ^0), da imagem mais próxima de uma distribuição Gaussiana.

A etapa seguinte foi a classificação das imagens, utilizando-se do algoritmo baseado na Máxima Verossimilhança (MaxVer). Este método extrai, dos conjuntos de pixels obtidas na fase de treinamento, parâmetros estatísticos como média e desvio padrão. A partir disto, são estabelecidos contornos ao redor destas "nuvens" de pixels, representando a probabilidade de existirem pixels pertencentes àquela classe. Neste trabalho, o limite de decisão utilizado foi de 99% dos pixels adquiridos na fase de treinamento. Segundo Crósta (1992), desprezando 1% dos pixels da área de treinamento, compensa-se a possibilidade da inclusão de pixels por acaso, como no caso das áreas limítrofes entre dois tipos distintos de cobertura.

É importante salientar que, da maneira como está implementado no SITIM, este algoritmo de classificação assume uma distribuição de NC normal ou gaussiana, o que é o caso para imagens óticas, como a TM. A imagem SAR possui distribuições diferentes desta, citadas na literatura como as do tipo Rayleigh, Exponencial, Gama, etc (Yanasse, 1991).

A fase de treinamento foi realizada com base em dados de campo e na interpretação visual da imagem TM. O número de classes definidas e utilizadas para a fase de treinamento foi, obviamente, menor que o número de classes presentes em campo. O ajuste no número de classes foi feito após uma série de testes, onde observou-se as

maiores fontes de erro na classificação. Um exemplo disto, que na prática ocorreu através do agrupamento de diferentes usos na mesma classe, foi o caso de áreas de fruticultura (cultura de laranja). Estas áreas, caracterizadas por respostas espectrais variadas, devido ao grande espaçamento entre árvores e exposição do solo, foram definidas nas classes de solo nu e pastagem.

As 8 classes finalmente adotadas foram: mata, englobando áreas de florestas naturais; reflorestamento, compreendendo cultivos de Eucaliptus sp. e Pinus sp.; classe de água, que refere-se aos corpos d'água na área; cana e soja, relativas aos cultivos de cana de açúcar e soja; solo nu, compreendendo áreas de solo descoberto; urbano, referentes as áreas construídas de uso residencial e industrial e pastagem, englobando não somente este tipo de área, mas também terrenos baldios e áreas com gramados.

Após a obtenção de resultados não satisfatórios na classificação da imagem SAR considerando estas 8 classes, realizou-se uma análise visual da imagem e decidiu-se por uma classificação envolvendo 4 classes (apenas para SAR): água, áreas urbanas, cana de açúcar e mata. O treinamento foi realizado em áreas sabidamente pertencentes à estas classes, independente da tonalidade ou textura presentes.

Também foi realizado, ao nível de teste, o fatiamento da imagem SAR, em 4 e 8 fatias, para a visualização de eventuais concentrações de NC em determinados valores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho, os resultados obtidos e que serão objetos de análise são, basicamente, as matrizes de classificação e as porcentagens de área ocupada por cada classe.

Para a imagem TM, o desempenho médio ficou em 95,7%. A Tabela 1 mostra a matriz de classificação com o desempenho para cada classe de uso da terra definida. Alguns tipos de uso presentes na área, como zonas de propriedades rurais com pequenos cultivos, foram classificados em função do padrão espectral dominante, geralmente cana de açúcar, pastagem ou solo nu. A classe de área urbanizada englobou, em alguns casos, áreas de solo nu e pastagem, devido à ausência de uma caracterização radiométrica única e a presença dentro destas de áreas verdes e não construídas. No arquivo de classificação, estas três classes apresentaram médias de valores de níveis de cinza (NC) muito semelhantes na banda 4 (de 46 a 55). A classe água foi bem caracterizada, apesar do treinamento não ter sido eficiente a ponto de classificar o Rio Atibaia, ao norte da área teste. As áreas de mata e reflorestamento foram aparentemente classificadas corretamente, apesar de uma certa confusão entre ambas e entre áreas de cultivo de cana de açúcar. Estas últimas, cultivos predominantes na área teste, foram bem representadas na classificação final. As confusões presentes, quando englobou as classes de mata, reflorestamento, soja e pastagem, foram provavelmente devidas aos diferentes estágios de crescimento das plantas de

cana de açúcar, levando à inexistência de uma resposta espectral única. As demais coberturas presentes na área parecem ter sido bem classificadas, sempre dentro das limitações inerentes ao processo de definição de classes em uma região variada em termos de uso da terra e ao algoritmo de classificação utilizado. Assim sendo, com algumas ressalvas, a classificação foi coerente com a verdade terrestre.

ocasionando uma alta confusão e baixa porcentagem de classificação correta. A classe cana de açúcar, por exemplo, apresentou-se em tons escuros (NC médio de 33) e foi incluída nas classes de reflorestamento, mata, solo nu e pastagem, sendo praticamente zero a porcentagem final de classificação.

Em um fatiamento normal realizado posteriormente, foi

	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Mata	0.0	92.9	6.3	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2 refl.	0.3	2.0	96.2	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.3
3 água	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 cana	1.5	0.6	0.5	0.0	97.0	0.2	0.0	0.0	0.1
5 soja	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	99.2	0.0	0.0	0.0
6 solo nú	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
7 urban	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	89.2	2.4
8 past.	0.1	0.7	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	2.0	97.0

Tabela 1. Matriz de classificação MaxVer da imagem TM. Reflorestamento é refl.; área urbana é urban; pastagem é past.

Para a imagem SAR, a definição inicial de oito classes, com a fase de treinamento realizada nos pontos onde a verdade terrestre era conhecida (aproximadamente os mesmos pontos amostrados na imagem TM), forneceu resultados não satisfatórios (Tabela 2). As maiores fontes de erro foram as três últimas classes definidas na fase de treinamento: soja, cana e reflorestamento. Estes três tipos de cobertura apresentaram NC médios muito semelhantes às demais classes previamente definidas,

observada a concentração de 98% dos 230 NC possíveis (nesta imagem, os níveis de cinza mínimo e máximo foram de 6 e 236, respectivamente) nos valores compreendidos entre 6 e 92, o que talvez explique as altas confusões encontradas na classificação dos 8 tipos de cobertura definidas. Para áreas urbanas e água, a classificação foi satisfatória, tendo em vista seus padrões bem característicos (áreas urbanas em tons muito claros e superfícies d'água escuras). Mesmo assim, alguns corpos d'água visíveis na imagem

	N	1	2	3	4	5	6	7	8
1 urban	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 água	0.0	0.0	97.9	0.0	1.4	0.0	0.0	0.7	0.0
3 past.	0.0	0.0	0.0	70.0	14.1	0.0	0.0	0.0	15.9
4 solo nú	0.0	0.0	0.0	21.4	70.1	0.0	0.0	0.0	8.4
5 mata	0.0	0.0	0.0	1.9	0.4	70.6	10.8	0.0	16.4
6 soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.9	14.2	0.0	29.9
7 cana	0.0	0.0	0.0	19.6	39.4	12.3	0.0	0.0	28.7
8 refl.	0.0	0.0	0.0	25.0	2.4	16.5	0.0	0.0	56.2

Tabela 2. Matriz de classificação MaxVer da imagem SAR com oito classes. Reflorestamento é refl.; área urbana é urban; pastagem é past.

TM não encontraram-se na imagem SAR, sendo subestimada a ocupação desta classe na área teste.

Os resultados da classificação MaxVer envolvendo apenas 4 classes (Tabela 3), aparentemente satisfatórios em termos de desempenho médio, quando confrontados com a verdade terrestre demonstram-se incorretos. Aproximadamente 58% dos 400km² foram classificados como mata, o que certamente não caracteriza a área de estudo. Novamente, as classes de área urbana e água foram coerentes com a cobertura terrestre, demonstrando a presença de comportamentos característicos em relação à banda utilizada no radar. Os NC médios destas classes foram de 8 para água e 85 para área urbana.

Em fatiamento realizado posteriormente, obteve-se 91% dos NC concentrados no intervalo de 6 a 63.

Apesar da metodologia utilizada não ter permitido uma comparação quantitativa direta entre os resultados de classificação nos dois tipos de imagens, o relativo conhecimento a respeito da verdade terrestre permite inferir sobre a natureza dos registros efetuados nestes produtos.

	N	1	2	3	4
1	0.0	96.6	1.9	1.5	0.0
2	0.0	2.8	97.2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0	100.0

Tabela 3. Matriz de classificação MaxVer da imagem SAR, com 4 classes; 1 é Mata; 2 é área urbana; 3 é cana-de-açúcar e, 4 é corpo d'água.

Acredita-se que a imagem de radar estudada traz informações basicamente sobre a rugosidade e conteúdo hídrico das feições superficiais. Nas

áreas urbanas, os altos NC produzidos por reflexões múltiplas entre superfícies lisas (paredes de prédios e asfalto, por exemplo), mecanismo conhecido como "corner reflection", tornam estes alvos facilmente diferenciáveis dos demais. As superfícies de corpos d'água, quando calmas, interagem especularmente com a radiação incidente, provocando o aparecimento de NC mínimos na imagem. O não registro de alguns destes corpos d'água, possivelmente ocorreu devido a perturbações na superfície destes, tornando-os rugosos para o comprimento de onda incidente e ocasionando NC mais altos. Para as áreas cobertas por vegetação, tanto natural quanto cultivada, a banda C parece não ser ideal para a diferenciação destes tipos de alvos dos demais. Supõe-se que, neste comprimento de onda, as micro ondas não têm grande profundidade de penetração em dosséis vegetais, o que levaria a afirmação que na imagem SAR as informações são relativas às porções mais superficiais destes dosséis. Entretanto, a homogeneidade presente em áreas de coberturas tão distintas como cultivo de soja e a floresta adjacente, mostra a necessidade de mais pesquisas em relação ao fator dominante na resposta destes alvos. Talvez, além da banda empregada por este sensor, deva-se averiguar a influência do ângulo de incidência, que pode não ser suficientemente elevado para sensoriar o volume de vegetação de uma floresta. A polarização vertical apresentaria, teoricamente, uma maior interação com caules verticais, o que favoreceria a detecção de formações vegetais. Para áreas de solo nu ou parcialmente coberto, umidade e

rugosidade são responsáveis pela maior parte do sinal de retorno registrado. Solos secos apresentariam-se em tons mais escuros, ao contrário das imagens de sistemas óticos, onde a ausência de água provoca altos níveis de cinza. Em algumas regiões da imagem, principalmente em áreas de cana de açúcar, observou-se tons escuros, talvez indicadores da penetração das micro ondas nos dosséis e no solo, partindo da suposição que estes estivessem secos. É importante a obtenção de dados de campo sobre a umidade e rugosidade dos solos, para a correta interpretação de áreas com cobertura vegetal ou mesmo para áreas de solo nu.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que este trabalho possua caráter preliminar, os testes aqui realizados permitem afirmar que a integração de dados de sistemas óticos e de radar deve prover informações adicionais, quando estes são registrados e levados à mesma resolução espacial. A introdução da imagem SAR como uma nova banda certamente permitirá a análise mais completa deste tipo de combinação.

A determinação do uso da terra pode ser realizada mais facilmente a partir de imagens de sistemas óticos, como o TM do satélite Landsat-5. As imagens de radar devem auxiliar na definição de algumas classes. Para regiões metropolitanas ou próximas a centros urbanos, como é o caso estudado, acredita-se que a resposta característica de áreas construídas em imagens SAR pode auxiliar na delimitação deste tipo de alvo. Em áreas de cobertura vegetal, o presente

estudo não permitiu concluir a respeito da contribuição da imagem SAR na definição destas. Sugere-se novamente o registro espacial destes dois tipos de imagens e a posterior classificação para a verificação do desempenho desta nas imagens isoladas e combinadas.

5. REFERÊNCIAS

A.P. Crósta, Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

M. C. Dobson, L. Pierce, K. Sarabandi, F.T. Ulaby, T. Sharik, Preliminary analysis of ERS-1 SAR for forest ecosystem studies. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(2):203-211, Mar.1992.

C.C.F. Yanasse, Statistical analysis of Synthetic Aperture Radar Images and its applications to system analysis and change detection. Tese de Doutorado. University of Sheffield, UK, 1991, 318p.