

Análise Comparativa de Imagens TM/Landsat e SAR/ERS-1 Multitemporais, na Região de Guaíra, SP

DARCTON P. DAMIÃO¹
HERMANN J. H. KUX²

¹CTA/IEAv - Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Estudos Avançados
Caixa Postal 6044, 12231-970, São José dos Campos, SP, Brasil
darcton@ieav.cta.br

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP, Brasil
hermann@ltd.inpe.br

Abstract. An analysis and comparison is made of the information content of two scenes (dry and rainy season) from both ERS-1/SAR and Landsat-TM sensors of Guaíra, São Paulo State, (Brazil), a region where the main landuse feature is irrigated agriculture. In order to perform this comparison, both a quantitative and a qualitative approach was used. After visual image interpretation and classification, supported by field work and ancillary data, the non-parametric Kappa coefficient was applied and tested. The results indicate that there is a marked improvement of the quality of interpretation when considering data sets of both sensor systems and when using digital processing techniques such as principal component analysis and IHS transform. From the analysis of the results obtained one can perceive that the ERS-1/SAR data used are more sensitive to the permittivity of the objects instead to terrain roughness, probably due to intensive irrigation activities.

1 Introdução

Desde a década de 70, com o início do Sensoriamento Remoto a partir de plataformas orbitais, um grande número de estudos realizados com sistemas sensores ópticos e relacionados ao uso-da-terra foram conduzidos no INPE e em outras instituições brasileiras.

A despeito das importantes contribuições dadas, tais estudos apresentaram uma grande desvantagem nas aplicações agrícolas: o parâmetro *tempo-útil* não estava garantido. Alguns dos mais importantes requisitos do mercado agrícola, segundo Brown *et al* (1993) são: determinação do tipo de cultura ou vegetação, investigação das condições da cultura e determinação da umidade do solo. O *tempo-útil* para a agricultura, mencionado acima, é idealmente alcançado quando dados de sensores ópticos e de microondas (radar) são analisados simultaneamente, ou pelo menos, várias vezes ao longo do ano-agrícola.

Neste aspecto, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar dois conjuntos de dados TM/Landsat e SAR/ERS-1 obtidos em duas estações distintas (seca e chuvosa), numa região agrícola altamente desenvolvida comercial e tecnologicamente.

2 Descrição Geral da Região de Guaíra

Localizada próximo à divisa norte do Estado de São Paulo, Guaíra é o centro de uma região agrícola altamente desenvolvida, baseada na cultura irrigada.

De acordo com Saad (1987), o município é constituído em sua grande maioria (90%) por solos da unidade pedológica *Latossolo Roxo*.

O clima do município de Guaíra, classificado por Saad (1987) segundo o método de Thornthwaite (*in* FIDERJ, 1978), é úmido, com grande deficiência de água no inverno, mesotérmico, e megatérmico (pouca variação da temperatura durante o ano).

Em termos de precipitação pluviométrica, a região possui dois períodos bem caracterizados: um chuvoso, com as precipitações bem distribuídas, e outro seco (junho, julho, agosto) quando praticamente não ocorrem chuvas.

3 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados nesta pesquisa são listados abaixo:

- Dados digitais TM/Landsat em fitas CCT de 6250 bpi, órbita/ponto 221/74, quadrante E, de 20/08/92 e 24/11/92.
- Dados digitais em fitas CCT de 6250 bpi, 16 "bits", 8 "looks" (SARGIC's - geocodificada, de 20 x 20 km), de 30/08/92, órbita 5880 e de 13/12/92, órbita 7383.

Os dados auxiliares utilizados foram: carta topográfica, escala 1:50.000: folha SF-22-X-B-III-3, Guaíra, IBGE 1972; carta pedológica semi-detalhada do

estado de São Paulo, folha SF-22-X-B-III, Guaíra, IGC-SP 1992 e dados pluviométricos (agosto/dezembro de 1992), extraídos do Escritório Regional de Guaíra do Instituto Agrônômico de Campinas, bem como dados referentes às culturas presentes nos pivôs de irrigação e adjacências, obtidos em entrevistas com os agricultores por ocasião do trabalho de campo.

3.1 - Seleção da Área de Estudo

A seleção da área de estudo foi conduzida a partir da observação prévia de três aspectos:

1. Definição das classes temáticas.
2. Observação dos períodos seco e chuvoso.
3. Proximidade entre passagens Landsat e ERS-1.

3.2 - Trabalho de Campo

Foram realizados dois trabalhos de campo. O primeiro, visando o reconhecimento da área de estudo e o seguinte para possibilitar o levantamento da verdade terrestre, através de fotografias e cadastramentos de informações obtidas dos próprios agricultores da região.

3.3 - Análise das Imagens

Inicialmente, foi utilizada um aumento linear de contraste. Os dados SARGIC's, por serem processadas com 8 "looks" (valor nominal), dispensam a filtragem do "speckle".

Assim sendo, nelas foi aplicado somente o filtro de Frost (Frost *et. al.*, 1982), por ser este um filtro adaptativo, que preserva a estrutura de bordas, segundo Dutra *et al.* (1993).

Por outro lado, a comparação de imagens multissensores e/ou multitemporais exige um registro prévio entre ambas. Seja para interpretação visual, seja para uma análise digital, é com base numa referência espacial comum a todas as imagens consideradas, que poderemos avaliá-las segundo os mesmos critérios.

Desta forma, foram realizados, através do SITIM, dois tipos de registros: imagem x mapa (I x M) e imagem x imagem (I x I), como veremos a seguir.

3.3.1 - Registro Imagem x Mapa

Uma vez que a geometria de aquisição (visada lateral), o "speckle" inerente e as disparidades na apresentação das feições da imagem radar e do mapa, tornam difícil a determinação de PC's, especialmente em áreas rurais e de florestas (Welch e Ehlers, 1988), adotou-se a imagem TM da primeira data para o registro, com um mapa topográfico 1:50.000 como referência.

3.3.2 - Registro Imagem x Imagem

Utilizando o registro I x I, podemos comparar efetivamente os dados multissensores e verificar seus níveis de complementaridade.

Neste trabalho foram realizados três registros deste tipo. O primeiro referenciou a imagem SAR de agosto à cena TM já registrada, tomando esta por base. Em seguida, o mesmo foi feito para a TM de dezembro, sempre tomando a cena TM de agosto como referência. Por fim, a imagem TM de dezembro serviu de base para o registro da imagem SAR, também de dezembro. Este procedimento, de variar o mínimo possível a imagem-referência, visou tão somente minimizar os erros planimétricos, que são cumulativos.

3.3.3 - Transformada IHS e Análise das Principais Componentes

Para realizar a análise comparativa entre produtos dos sensores TM/Landsat e SAR/ERS-1, proposta neste trabalho, decidiu-se pelo uso da transformada IHS aliada à análise por principais componentes. Deste modo, à melhor utilização do espaço de cores, soma-se o melhor aproveitamento do espaço de atributos.

Para efetuar a composição multissensores, optou-se pela separação das duas bandas com os menores graus de correlação entre as sete bandas disponíveis (seis bandas TM e uma SAR). A matriz de coeficientes de correlação (Tabela 1), revelou as bandas C (SAR) e TM 4, nesta ordem, como as mais decorrelacionadas do grupo. A estas duas, foi somada uma terceira que consistiu da primeira principal componente das outras cinco bandas restantes (TM 1, 2, 3, 5, 7).

O objetivo dos procedimentos mencionados é simplesmente construir um triplete de bandas dotado de baixa correlação entre seus componentes. Ao mesmo tempo, este triplete reúne mais informações que uma composição RGB tradicional, na medida em que agrupa dados de todas as bandas disponíveis no estudo.

O novo conjunto de bandas, agora denotadas por TM4, PC1 e C - banda 4 do TM, primeira principal componente das bandas 1, 2, 3, 5 e 7 do TM e banda C do SAR, respectivamente - foram distribuídas no padrão RGB, nesta ordem, tendo sido aplicado às mesmas uma transformação $RGB \Rightarrow IHS$, adotando a técnica apresentada por Welch e Ehlers (1988), onde ressaltam que o emprego da transformada IHS demonstrou ser bastante eficiente na extração de feições cartográficas da composição SIR-B/TM, na qual as bandas TM 4 e 3 foram utilizadas para modular as componentes de intensidade e matiz, enquanto a imagem SIR-B modulava a saturação.

Antes e após a transformada IHS, um aumento de contraste foi aplicado à composição, no sentido de melhor utilizar o *espaço de atributos* das imagens. Em seguida, foi feita uma transformação inversa IHS \Rightarrow RGB, para permitir a interpretação dos resultados da composição. O produto nesta fase satisfaz

os requisitos para a análise visual dos resultados, atendendo parte do objetivo proposto para o trabalho. Entretanto, para a quantificação dos dados, tornou-se necessário o emprego do SGI, como mencionado a seguir.

Tabela 1 - Matriz de Coeficientes de Correlação entre as Bandas TM 1, 2, 3, 4, 5, 7 and C (SAR)

BAND	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7	C (SAR)
TM 1	1,00						
TM 2	0,87	1,00					
TM 3	0,76	0,83	1,00				
TM 4	0,45	0,50	0,15	1,00			
TM 5	0,77	0,79	0,68	0,58	1,00		
TM 7	0,75	0,78	0,86	0,24	0,86	1,00	
C (SAR)	-0,20	-0,20	-0,34	0,15	-0,19	-0,32	1,00

3.3.4 - Operações no “SGI”

Neste trabalho foi empregado o SGI, através do qual, alguns planos de informação (PI's) puderam ser elaborados, contendo desde dados auxiliares e de referência até os dados relativos às imagens a serem comparadas. Assim sendo, estes dados foram agrupados em PI's de execução e auxiliares.

Para realizar este procedimento, os primeiros PI's de execução gerados foram os de referência (PI RF), onde foram digitalizados polígonos envolvendo as áreas relativas aos temas selecionados para a pesquisa. Na execução desta tarefa, os contornos e as classes foram definidos tomando-se por base a composição TM 4, 5, 3 e, principalmente, as informações obtidas no trabalho de campo.

A mesma tarefa de digitalização foi realizada para os PI's de execução seguintes (multissensores - MS), contendo as composições TM4, PC1, C finais, obtidas após as transformações inversas IHS \Rightarrow RGB (PI MS).

Este procedimento foi cumprido para as duas datas consideradas, agosto (A) e novembro/dezembro (B), num total de quatro PI's, incluindo os dois de referência.

Finalmente, foram elaborados os PI's auxiliares de solos (PI SL) e localização (PI LC), a partir das cartas pedológica e topográfica, respectivamente.

4 Estatística Kappa

Para a comparação entre os PI's RF e MS, a estatística *Kappa* foi aplicada aos pares formados pelo PI MS com o PI RF para as duas datas, gerando os resultados numéricos a serem analisados, a fim de se verificar a complementaridade obtida pela composição de imagens TM/Landsat com imagens SAR/ERS-1.

A estatística *Kappa* é um método não paramétrico do grupo de técnicas de análise discreta multivariada. O coeficiente *K* (*Kappa*), desenvolvido por Cohen (1960), visto em Bishop *et al.* (1975) e em Fleiss (1981) e utilizado por Medeiros (1987) e Ortiz (1993), mede a relação da probabilidade de concordância relativa entre as classes de uma matriz de erros. Segundo Congalton *et al.* (1983), a estatística *Kappa* pode ser utilizada também para avaliar, separadamente, a concordância entre as classes dentro de cada matriz.

O valor de *K* irá definir o grau de dependência entre duas classificações - uma de referência e outra a ser comparada - presentes numa matriz de erro. Para tanto, são formuladas duas hipóteses: na primeira, para $K \leq 0$, temos total independência e na segunda, para $K \geq 1$, temos total dependência, ou seja, estrita igualdade entre as classificações. Visando uma avaliação qualitativa dos valores encontrados para *K*, estes foram agrupados subjetivamente por Landis e Koch (1977), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Qualidade da Classificação Associada ao Valor de Kappa

K	QUALITY
$\leq 0,00$	PÉSSIMA
0,00 - 0,20	RUIM
0,20 - 0,40	RAZOÁVEL
0,40 - 0,60	BOA
0,60 - 0,80	MUITO BOA
0,80 - 1,00	EXCELENTE

5 Resultados e Discussão

A discussão dos resultados obtidos ao longo de todo o processo de análise das imagens foi dividida em três partes principais: (1) análise qualitativa da interpretação visual das imagens e (2) análise quantitativa da interpretação visual das imagens.

Estes procedimentos foram adotados para os dois conjuntos de imagens estudados (agosto e novembro/dezembro de 1992). Estes conjuntos, a partir daqui denominados de TMA e TMB, definem as composições TM 4 (R), 5 (G), 3 (B) de agosto e novembro/92, respectivamente, e MSA e MSB que, da mesma forma, definem as composições multissensores - após a transformação IHS - formadas pelas bandas TM4 (R), PC1 (G), C (B) de agosto e novembro-dezembro/92, respectivamente.

5.1 - Processamento de Dados

Os registros, conduzidos após o recorte das imagens originais para uma janela de aproximadamente 20 x 20 km, foram o primeiro passo no processamento dos dados, no sentido de viabilizar a análise do conjunto de imagens considerado.

Foi necessário utilizar a cena TM da primeira data para o registro I x M (Landsat A x Mapa), por questões de dificuldade na obtenção de pontos de controle nas imagens SAR. Ocorre porém, que a dificuldade em obter PC's mesmo na cena TM, fez com que os erros planimétricos resultantes deste registro (3.474 pixels) fossem maiores que aqueles toleráveis (0.83 pixel, ou 25 m) para a escala utilizada.

Como o objetivo deste registro se resumiu a viabilizar a entrada de dados no SGI, a fim de possibilitar a aplicação da estatística *kappa*, a ordem de grandeza dos erros planimétricos neste caso foi desprezada. Maior atenção foi dispensada aos erros nos três registros I x I (ERS-1 A x Landsat A = 0.773, Landsat B x Landsat A = 0.613 e ERS-1 B x Landsat B = 0.778 pixel, respectivamente), considerados satisfatórios.

A etapa seguinte no processamento dos dados foi a filtragem da imagem SAR. A esperada preservação de bordas na imagem SAR após a filtragem foi alcançada, antes e depois da aplicação do filtro adaptativo de Frost.

A seguir, através da Análise por Principais Componentes, foram definidas as bandas utilizadas nas composições que tomaram parte na análise comparativa. Como referência na comparação, foi escolhida a composição TM 4 (R), 5(G), 3(B). Nesta composição não foi realizado qualquer tipo de tratamento além do aumento linear de contraste.

A composição multissensores, por sua vez, foi submetida a uma transformação IHS, onde a banda TM4 foi usada para modular a intensidade (I) e a C a saturação (S). Tal escolha é justificada por Welch e Ehlers (1988) como ideal para minimizar o ruído da composição final, através do uso da componente SAR para modular a saturação, enquanto as bandas ópticas, que apresentam alta relação sinal/ruído, são empregadas na modulação da intensidade e matiz.

Para efeito de visualização no monitor, foi utilizada, após a transformada IHS, a distribuição TM4 (R), PC1 (G) e C (B). Entretanto, pode-se ainda ressaltar algumas feições específicas pela simples variação na distribuição R, G, B para visualização da imagem. Neste caso, dependendo da distribuição utilizada, as culturas apresentam níveis de gradação mais discretizados.

Em geral, na composição MSA, as classes *área urbana*, *solo irrigado* e *matas de galeria* tornaram-se mais realçadas do fundo ("background"), independentemente da distribuição de cores adotada. Já na composição MSB, embora ocorresse o mesmo em relação às classes mencionadas acima, esta composição apresentou ainda, várias manchas relativas à maior energia do eco radar nas áreas onde existia uma alta permissividade. Este comportamento se deveu à grande quantidade de água excedente no solo da região durante o mês de dezembro.

5.2 - Análise Qualitativa da Interpretação Visual das Imagens

Em termos gerais, face à utilização da transformada IHS, as composições multissensores apresentaram maior nitidez. Os contornos das diversas feições mostraram-se mais bem definidos, destacando-se as *áreas urbanas*, *matas de galeria* e *áreas irrigadas*, tanto nas composições MSA como nas MSB. A contribuição da componente SAR, entretanto, foi diferente nas duas datas consideradas. Na primeira, a imagem SAR deteve um peso maior no realce das feições destacadas acima, enquanto na segunda, houve maior influência das bandas TM4 e PC1, para as mesmas feições.

Na interpretação visual da área de estudo, foram selecionadas oito classes para serem digitalizadas na composição TMA e seis classes na composição TMB, conforme é apresentado na Tabela 3.

Nas composições MS (A e B), houve o acréscimo de uma subclasse à classe temática *solo exposto*, dividindo-a em *solo não irrigado* e *solo irrigado*.

Nas demais classes, não foi notado qualquer efeito de degradação ou confusão na discriminação dos temas,

provocada pelas composições MS (A e B). Houve sim, uma melhoria geral em termos de visualização dos temas da imagem, devido à maior quantidade de informações presentes em função do maior número de

bandas envolvidas. Além disso, ocorreu uma melhor distribuição de cores provocada pela transformação IHS.

Tabela 3 - Classes Analisadas no Estudo Comparativo

ESTAÇÃO SECA	ESTAÇÃO CHUVOSA
(1) Área Urbana	(1) Área Urbana
(2) Mata	(2) Mata
(3) Milho	(3) Milho
(4) Solo Exposto (SNI e SI)	(4) Solo Exposto (SNI e SI)
(5) Feijão	(5) Soja
(6) Palha	(6) Outros
(7) Tomate	_____
(8) Outros	_____

Uma análise em separado das imagens SAR nas duas datas consideradas mostrou uma grande diferença entre ambas, especialmente nas áreas mais irrigadas, artificialmente ou não. Na imagem de agosto, período da seca, há um grande contraste hídrico na região, principalmente nas vizinhanças dos pivôs irrigados e dos cursos d'água. Nestas vizinhanças, a deficiência de água no solo faz com que boa parte do sinal radar seja absorvido, enquanto nos pivôs irrigados e nas várzeas dos cursos d'água, os parâmetros *rugosidade* (vegetação) e *permitividade* (umidade) aumentam o coeficiente de retroespalhamento dos alvos.

Na imagem de dezembro, ao contrário, a banda C (SAR) influiu muito pouco na resposta das culturas na composição MSB, por não haver nesta época do ano, um contraste hídrico significativo entre os pivôs/cursos d'água e as áreas sem irrigação artificial. Esta ausência de contraste para estas áreas se deve provavelmente, aos altos índices de precipitação que ocorrem em dezembro, gerando excesso de água no solo em toda a região. Além disso, é praxe entre os irrigantes não utilizar os sistemas de irrigação na estação chuvosa, visando a economia de energia elétrica, o que uniformiza o solo ainda mais em termos de umidade. Como a topografia é predominantemente plana, surgem trechos de solo saturados de água, ao contrário de agosto, quando estas áreas estão secas.

Estranhamente, a imagem radar não apresentou grande influência na resposta das *matas de galeria*, onde a banda TM4 é claramente predominante, apesar de haver, em qualquer época do ano, uma grande diferença entre as rugosidades das matas de galeria e das feições vizinhas.

A *área urbana*, por sua vez, ainda apresentou retorno da componente radar, porém com uma influência maior da banda PC1. Em contrapartida, esta característica deixou clara a aplicabilidade da banda C na identificação de áreas alagadas ou com excedente de água.

A diferença entre as imagens SAR das duas datas foi ratificada com a análise de seus histogramas na condição original, antes da realização de qualquer tratamento no SITIM. A imagem de agosto apresentou média e variância inferiores àquelas da imagem de dezembro (40.66 contra 55.85, para as médias e 15.64 contra 25.52, para as variâncias, respectivamente), conforme mostrado na Tabela 4. Estes resultados já eram esperados, pois o retroespalhamento do sinal radar é diretamente proporcional à permitividade dos alvos, superior na estação chuvosa.

Outra verificação da sensível mudança do padrão de resposta do eco radar entre ambas as datas foi possível após se estabelecer uma combinação multitemporal das duas imagens, atribuindo à imagem de agosto a cor vermelha (R) e à imagem de dezembro a cor azul (B). O resultado foi a observação de que, nas áreas onde houve mais contraste entre as feições, como *área urbana*, *matas de galeria* e *pivôs irrigados*, a influência da imagem de agosto foi maior. Em consequência, as feições de fundo e aquelas distribuídas aleatoriamente, mais em função da permitividade ligada ao excedente de água no solo e menos às classes temáticas nelas contidas, sofreram maior influência da imagem de dezembro.

Tabela 4 - Dados dos Histogramas das Imagens SAR

PARÂMETROS DA IMAGEM	30 de Agosto de 1992	13 de Dezembro de 1992
Média	40.66	55.85
Menor Nível de Cinza	7	6
Maior Nível de Cinza	255	255
Moda	34	47
Variância	15.64	25.52

De fato, resultados de um estudo multitemporal de detecção de mudanças utilizando imagens SAR conduzido por Cihlar *et al.* (1992), mostraram que as imagens obtidas ao longo do ciclo anual contêm informação do comportamento dinâmico de vários tipos de cobertura da superfície terrestre. No estudo, as classes que apresentaram a maior variação de comportamento foram vegetação e água, nesta ordem.

Além das áreas de interesse do estudo, nem todas as características apresentadas pela imagem radar de dezembro puderam ser explicadas. Haveria necessidade de se coletar mais informações de campo visando melhorar o entendimento das relações alvo/sensor. Vale lembrar que, por não se tratar de alvos selecionados para o estudo proposto, não houve por outro lado, um controle maior sobre os mesmos.

5.3 - Análise Quantitativa da Interpretação Visual das Imagens

A análise qualitativa mostrou ser interessante o uso de composições multissensores, na medida em que a discriminação das diversas classes é facilitada, sendo que, no caso dos solos, pode-se ainda visualizar uma subclasse adicional, quando estes se encontram irrigados. Contudo, julgou-se pertinente verificar qual o nível de dependência entre as classes temáticas observadas nestas composições e naquelas formadas apenas pelo sensor TM/Landsat (neste caso, a composição TM 4, 5, 3).

Para esta verificação, foi aplicada aos conjuntos analisados a estatística *Kappa* (K). Os valores de K e de Z foram estimados para os dois conjuntos de imagens considerados e são apresentados nas Tabelas 5/6 e 7/8. Nestes conjuntos, além das classes escolhidas para o estudo, foi incluída também para efeito de cálculo, a classe *fundo* ("background"), a fim de se evitar a omissão de diferenças de classificação na região de borda das diversas classes.

Os resultados obtidos, sem exceção, ratificaram a análise qualitativa apresentada anteriormente. No que

diz respeito à primeira data (ago/92), na estação seca, o resultado de K referente à matriz como um todo (0.837), indicou uma alta dependência da composição multissensores em relação à composição TM, segundo a avaliação subjetiva apresentada anteriormente na Tabela 2. Além disso, o valor de Z , superior a 1.96 mostrou que o valor de *Kappa* é significativo.

Observando-se, na Tabela 5 (agosto/92), os valores de K para cada classe isoladamente, são confirmadas as diferenças verificadas por ocasião da análise qualitativa da comparação. Existe uma forte dependência das culturas situadas no interior dos pivôs, das matas e da classe *outros* (valores de K acima de 0.91), enquanto que, para a classe *área urbana*, cujos limites foram melhor realçados pela componente radar da composição multissensores, a diferença de áreas nos dois conjuntos após a digitalização resultou num valor de K não tão alto (0.713).

A diferença maior, entretanto, ocorreu na classe *solo exposto*, pelo surgimento de uma subclasse no conjunto multissensores, dividindo aquela classe em *solo não irrigado* e *solo irrigado*. O resultado foi um valor nulo de K para a classe *solo irrigado*, que não existia na composição TM, e um valor mais baixo de K para a classe *solo não irrigado*, em função da transferência de grande quantidade de pontos causada pela divisão da classe original (*solo exposto*), como era de se esperar. O alto valor de K para a classe *fundo* (0.994) é devido principalmente à grande quantidade relativa de pontos atribuídos a esta classe.

Em relação à segunda data (nov-dez/92), na estação chuvosa, o mesmo fenômeno observado na estação seca, referente aos números estatísticos, se repetiu na sua essência. Entretanto, os valores de K (Tabela 7), foram sempre superiores numericamente desta vez, em razão da menor quantidade de classes examinadas e de áreas disponíveis para classificação, em razão da presença de nuvens em determinadas porções da cena.

Tabela 5 - Matriz de Erros da Comparação entre Imagens Multissensores - Estação Seca

Comparação do "PIMS" com o "PIRF" após Classificação Visual (agosto/92)										
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3709852	793	714	770	929	2933	0	471	30497	133
2	548	19826	2	80	87	90	0	13	0	0
3	1046	57	23562	0	142	121	0	0	0	0
4	626	11	0	26263	8	242	0	0	0	117
5	706	103	1258	0	33369	479	0	0	0	0
6	1535	8	21	53	38	34409	0	0	0	0
7	792	2068	246	131	186	32291	0	0	0	0
8	1446	10	0	0	0	28	0	19187	0	0
9	1576	0	0	0	0	0	0	0	40347	20
10	175	0	0	6	24	59	0	0	297	9199
<i>Ki</i>	<i>0.993880</i>	<i>0.911079</i>	<i>0.928899</i>	<i>0.962544</i>	<i>0.943987</i>	<i>0.644870</i>	<i>0.000000</i>	<i>0.951217</i>	<i>0.713576</i>	<i>0.956784</i>

1-Fundo, 2-Tomate, 3-Feijão, 4-Milho, 5-Palha, 6-Solo Irrigado, 7- Solo Não Irrigado, 8-Mata, 9-Área Urbana, 10-Outros.

Tabela 6 - Resultados da Estatística Kappa (Total - agosto/92)

Limite Inferior	<i>K</i>	Limite Superior	Z (95%)	Índice
0.835755	0.836765	0.837775	14.16	excelente

Tabela 7 - Matriz de Erros da Comparação entre Imagens Multissensores - Estação Chuvosa

Comparação do "PIMS" com o "PIRF" após Classificação Visual (novembro-dezembro/92)								
Classe	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3778040	123	1823	613	0	832	2923	521
2	177	5623	30	85	0	0	0	84
3	1852	31	64391	332	0	70	0	60
4	981	23	445	23287	0	0	0	91
5	494	0	1	5708	0	0	0	9337
6	885	0	1	0	0	18299	0	0
7	9051	0	0	0	0	0	49168	373
8	935	0	11	138	0	0	221	22941
<i>Ki</i>	<i>0.997201</i>	<i>0.953132</i>	<i>0.965107</i>	<i>0.846954</i>	<i>0.000000</i>	<i>0.953421</i>	<i>0.886677</i>	<i>0.795830</i>

1-Fundo, 2- Soja, 3- Milho, 4- Solo Não Irrigado, 5- Solo Irrigado, 6-Mata, 7- Área Urbana, 8- Outros.

Tabela 8 - Resultados da Estatística Kappa (Total - novembro-dezembro/92)

Limite Inferior	<i>K</i>	Limite Superior	Z (95%)	Índice
0.890936	0.892435	0.893934	19.68	excelente

6 Conclusões e Recomendações

A. Isoladamente, a componente radar da composição multissensores não apresentou resultados satisfatórios para a discriminação de culturas. Contudo, sob determinadas condições, estas e outras feições na área de estudo puderam

ser melhor visualizadas graças a esta componente. Este comportamento se deveu, basicamente, à capacidade das microondas em evidenciar as propriedades físicas dos alvos, ao passo que, os sensores ópticos, por operarem numa faixa bastante diferente do espectro

- eletromagnético, disporem de um maior número de bandas e utilizarem uma geometria de aquisição distinta, ressaltam características de naturezas diferentes;
- B. As técnicas de Análise por Principais Componentes e Transformação IHS constituem uma solução interessante na combinação de imagens multissensores. Além de permitirem o agrupamento de um número maior de bandas para observação, aumentando a quantidade de informações disponíveis, possibilitam uma melhor visualização destas bandas;
- C. É fundamental, num estudo deste tipo, a busca pelo menor espaço de tempo aplicável entre as imagens dos diferentes sensores, especialmente em áreas de intensa atividade agrícola como a que foi analisada no presente trabalho;
- D. Os resultados obtidos nas duas datas consideradas permitem afirmar que o comportamento de alvos observados por sistemas radar não deve ser extrapolado para outras estações do ano. Permite ainda, supor que estes comportamentos não devem ser extrapolados sequer para regiões com alvos de natureza diferente e sob condições diferentes;
- E. Para combinar imagens multissensores, o registro destas a uma base cartográfica comum é essencial. Para tanto, tratando-se de imagens SAR/ERS-1, deve-se tomar sempre como referência a imagem do sensor óptico, ao qual estiver sendo combinada. A experiência mostrou ser impraticável o registro de imagem SAR/ERS-1 a um mapa de referência, principalmente se considerarmos mapas mais antigos e de regiões rurais;
- F. Aparentemente as imagens SAR/ERS-1 são bem mais sensíveis à *permutividade* do que à *rugosidade* dos alvos. Enquanto se percebe, em ambas as datas, grandes variações de resposta nas imagens relativas a mudanças de umidade nos alvos, o mesmo não acontece em relação à grande diferença de rugosidade entre algumas feições.
- Brown *et al.* Potential applications of Radarsat data to agriculture and hydrology. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 19 (4), pp. 317-329, 1993.
- Cihlar, J.; Pultz, T. J.; Gray, A. L. Change detection with synthetic aperture radar. *International Journal of Remote Sensing*, 13(3):401-414, 1992.
- Cohen, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and psychological measurement*, 20(1):37-46, 1960.
- Congalton, R. G.; Oderwald, R. G.; Mead, R. A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12):1671-1678, Dec.1983.
- Dutra *et al.* **Tutorial 1**. Curitiba, INPE, jun. 10-14, 1993. 25p.
- Fleiss, J. E. **Statistical methods for rates and proportions**. New York, John Willey, 1981, 321 p.
- Frost, V. S.; Stiles, J. A.; Shanmugan, K. S.; Holtzman, J. C. A model for radar images and its applications to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-4:157-166, 1982.
- Fundação Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Rio de Janeiro (FIDERJ). Diretoria de Geografia e Estatística. **Indicações climatológicas do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1978.
- Landis, J.; Koch, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(3):159-174, Mar. 1977.
- Medeiros, J. S. **Desenvolvimento metodológico para detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS/Landsat**. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Fev. 1987. 127 p. (INPE - 4123 - TDL/262).
- Ortiz, M. J. **Integração de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e banco de dados, na identificação de culturas agrícolas da região de Guairá** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Dez. 1993. 186 p.
- Saad, A. M. **Apoio à agricultura irrigada do município de Guairá - São Paulo**. São Paulo, IPT, 1987. 59 p. (IPT n.1746.)
- Welch, R., Ehlers, M. Cartographic feature extraction with integrated SIR-B and Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 9(5):873-889, 1988.

Referências Bibliográficas

Bishop, Y.; Fienberg, S.; Holland, P. **Multivariate analysis: theory and practice**. Cambridge, MA, MIT Press, 1975, 575 p.