

## Sensoriamento Remoto e GIS na Análise de Modificações da Paisagem em Manguezais

MAURÍCO EDUARDO SALGADO RANGEL<sup>1</sup>

HERMANN JOHANN HEINRICH KUX<sup>1</sup>

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS<sup>1</sup>

ANTÔNIO CORDEIRO FEITOSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515, 12.227 – 010 São José dos Campos, SP, Brasil  
Tel.: ++55 12 3456427, Fax: ++55 12 3456441  
mrangel@ltid.inpe.br

<sup>2</sup> DEGEO/UFMA - Departamento de Geociências da Universidade Federal do Maranhão  
Av. dos Portugueses s/n - Centro de Ciências Humanas  
Campus do Bacanga - São Luís, MA, Brasil  
Tel.: ++55 98 2178306, Fax: ++55 98 2178300  
Feitos@terra.com.br

### Abstract

Neste trabalho, apresenta-se e discute-se os resultados da avaliação de dados ERS-1/SAR em conjunto com dados Landsat-5/TM, avaliando-se o grau de sinergismo entre os dados ópticos e de microondas na detecção e mapeamento de mudanças de uso e cobertura vegetal atual do solo. Foram aplicados, aos dados, a técnica de transformação do espaço IHS. Desta forma, foi possível gerar mapas de uso e cobertura do solo, através de classificação supervisionada, usando-se o algoritmo *MaxVer*, onde a acurácia do conjunto de informações geradas foi avaliada com base nos resultados obtidos a partir da matriz de erros, através da análise estatística *Kappa*. Os resultados foram comparados com mapas de uso obtidos de imagens orbitais e dados de campo. A partir da análise, concluiu-se que a integração dos dados ópticos e de microondas nos possibilitou distinguir diferentes características específicas de uso do solo através de imagens em composição colorida, mostrando o sinergismo entre as informações multiespectrais e texturais.

### Keywords:

## INTRODUÇÃO

O estudo do uso do solo consiste na obtenção de informações sobre o modo como o espaço está sendo alterado pelo homem, ou ainda, como se caracteriza a cobertura vegetal original. A utilização de dados dos sistemas sensores orbitais disponíveis, aliada à visão panorâmica e repetitividade das imagens orbitais, tem permitido a aquisição de informações de extensas áreas, possibilitando uma visão de conjunto de forma rápida e representativa, o que torna importante o levantamento e monitoramento do uso e cobertura da terra, na medida em que os efeitos da ocupação e exploração desordenada do solo vêm causando a deterioração do meio ambiente (Novo, 1992).

O processo de dinâmica dos ecossistemas terrestres tem recebido atenção especial em estudos de mudanças ocorridas no uso e cobertura vegetal do solo. Nos últimos anos, este processo tem acarretado um crescimento significativo das atividades de pesquisas voltadas ao uso de radar de abertura sintética (SAR) em áreas tropicais, onde há intensa presença de nuvens, ao lado de satélites equipados com sensores que operam na faixa óptica do espectro eletromagnético, para o monitoramento do uso e ocupação do solo. Desta forma, um número considerável de sistemas ópticos e SAR tem sido desenvolvidos com sucesso, para este tipo de aplicação, dentre os quais destacam-se: TM/Landsat, SPOT, ERS-1/2, JERS-1 e RADARSAT (Santos, 1996).

Um dos aspectos fundamentais da aplicação do sensoriamento remoto no mapeamento e monitoramento do uso da terra é a definição de um sistema de classificação, cuja função é fornecer

um quadro de referência para a organização e hierarquização das informações a serem coletadas (Novo, 1992).

A maior parte de trabalhos realizados no Estado do Maranhão, com o uso de técnicas e produtos de sensoriamento remoto, foi efetuada na área do Golfão Maranhense, porque a região passa por um intenso processo de transformação econômica e da paisagem (Pereira, 1992). No Golfão Maranhense se encontra inserida a Ilha do Maranhão, dividida em quatro municípios: São Luís, Raposa, Paço do Lumiar e São José de Ribamar. O município de Raposa, área de estudo, vem experimentando um crescente fluxo migratório e reflexos consideráveis no processo de ocupação desordenada a que vem sendo submetida a Ilha do Maranhão. Observa-se atualmente a proliferação de assentamentos populacionais e ocupações irregulares que, por falta de planejamento adequado, poderão gerar sérios problemas sócio-econômicos para o município, além de comprometer os ecossistemas locais (Diniz, 1993; Ferreira, 1993; Feitosa, 1996).

Considerando-se a dinâmica do processo de uso e ocupação do solo deste município, torna-se importante a constante atualização dos mapas temáticos correspondentes a este processo, visto que somente com um acompanhamento das mudanças ocorridas ao longo do tempo, é que se tornará possível uma análise dos efeitos da atividade humana sobre a dinâmica e organização do espaço em questão. Na concepção da análise desses efeitos, surge a necessidade do uso de métodos e técnicas capazes de minimizar a compreensão dos padrões de organização deste espaço.

Em função disso, o principal objetivo deste trabalho é avaliar a potencialidade e sinergismo da combinação de dados de sensoriamento remoto óptico e de microondas, através da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens, para o estudo do uso e cobertura vegetal do solo do Nordeste da Ilha do Maranhão, área do município de Raposa, no período de 1984 a 1999. Dentro deste escopo, foi postulado como objetivo específico a análise da integração de dados multisensores para caracterização e identificação das feições de interesse a partir da comparação dos resultados obtidos pela classificação digital dos dados ópticos e de radar combinados, bem como os resultados da classificação dos dados ópticos, isoladamente.

## ÁREA DE ESTUDO

O município de Raposa (MA) possui uma superfície de aproximadamente 63,90 km<sup>2</sup> no extremo nordeste da Ilha do Maranhão. Geograficamente, este município está localizado entre as coordenadas 02°21' a 02°32' de latitude sul e 44°00' a 44°12' de longitude oeste (Figura 1).

Geologicamente, esta área é constituída por rochas do Terciário (*arenitos róseos, pouco consolidados, com leitos de argila e caulim*), apresentando exposição da Formação Itapecuru (*constituída por arenitos finos e argilosos de cores diversas, com estratificações cruzadas*), da Série Barreiras (*formada por sedimentos clásticos mal selecionados, variando de siltitos a conglomerados*) e do Quaternário, onde são encontradas formações de dunas, mangues, plaedunas, marismas e praias (Brasil, 1973). As feições geomorfológicas do município apresentam similaridades com as formas comuns de toda a área costeira do Maranhão. Os manguezais, dunas e segmentos de praias possuem características dinâmicas que mostram um certo encadeamento dos processos morfogenéticos.

A cobertura vegetal natural está sob o domínio de Floresta Secundária Mista de Babaçu e Floresta de mangues, onde esta última se apresenta de forma relativamente homogênea ocupando uma extensa faixa de terras inundáveis pelas marés ao longo do litoral e nas embocaduras dos rios e igarapés. O ecossistema de mangues compreende estratificações vegetais jovens, ou ainda em formação, apresentando diferentes fases de maturação e grande poder de regeneração. Nas áreas mais interiores, os manguezais se constituem como florestas arbóreas fechadas com árvores que chegam a medir até 20 m de altura. Dentro da formação florística do município-objeto de estudo percebe-se, basicamente, a existência das espécies de *Rhizophora mangle*, L. (*Mangue-Vermelho*) e *Avicennia sp.* (*Mangue Siriba* ou *Siriúba*) (Maranhão, 1998).

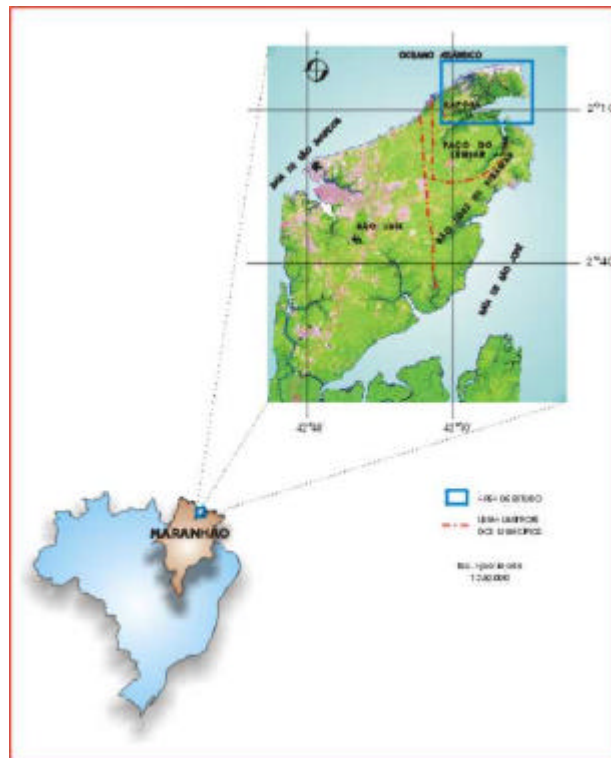


Fig. 1 - Localização da área de estudo

## METODOLOGIA

Foram utilizadas para a análise e caracterização dos diferentes usos e cobertura vegetal do solo, imagens Landsat-5/TM de junho de 1984 e 1999 e dado ERS-1/SAR de junho de 1995. Para o processamento dos dados de interesse através da digitalização de cartas topográficas e combinação de diferentes imagens, utilizou-se o programa ENVI (*The Environment for Visualizing Images*) desenvolvido para ambiente Windows 9.x.

O trabalho dividiu-se em três etapas a saber: a primeira está relacionada ao pré-processamento dos dados, que consistiu na conversão do dado SAR para um formato de 8 bits, sendo aplicado em seguida um filtro de Frost para a redução do *speckle*, buscando melhorar a separabilidade entre os alvos da superfície com a menor perda possível de informação. Como modelo de correção geométrica foi adotado a ortorretificação, onde as imagens foram retificadas com base num modelo digital de elevação (*DEM*). A ortorretificação tornou-se necessária para que se pudesse obter uma maior precisão na fase de integração dos dados. A segunda etapa está ligada ao processamento dos dados, que consistiu em gerar uma modelagem do satélite para as imagens TM e SAR, a partir de parâmetros orbitais, dados de altitude e pontos de controle superficiais, para que fosse alcançada uma maior precisão durante a fase de combinação dos dados. A partir deste modelo analisou-se os erros residuais e médios para cada ponto de controle coletado nas imagens, onde se definiu como 30 metros o tamanho de pixel comum para cada imagem de saída.

A combinação dos dados se deu através da técnica de transformação do espaço IHS que apresentou um maior desempenho, pois além de preservar a informação espectral e espacial dos dados de entrada, tornou possível a manipulação de cada componente individualmente, obtendo-se um maior controle sobre o processo de integração (Harris et al., 1994; Kux et al., 1995). A terceira etapa dirigiu-se à aplicação de um algoritmo de classificação automática por pixel, sendo avaliados limiares de aceitação de 95% e de 99%, tendo sido utilizado um conjunto de amostras de treinamento que pudessem representar o maior número possível de classes de uso e cobertura do solo. Após a classificação, foi aplicado às imagens de saída um filtro passa baixa de média para a uniformização das diferentes classes obtidas, buscando eliminar os pixels classificados isoladamente, bem como melhorar o aspecto visual das classificações. Os resultados das

classificações foram cruzados com um mapa de referência da área, onde foi calculado o coeficiente *Kappa* (Hudson e Ramm, 1987).

## RESULTADOS

Para fazer a combinação dos dados é necessário que se obtenha um nível de precisão durante a fase de registro das imagens. Nesta etapa foi utilizado um modelo baseado num algoritmo que utiliza as informações de movimento do satélite e de pontos de controle. Desta forma, foi gerado um produto ortorretificado através de informações de elevação e de um sistema cartográfico definido (Amaral et al., 1996). Desde que o modelo geométrico considere as distorções causadas pela elevação, o DEM é usado para criar imagens ortorretificadas mais precisas. Assim sendo, conforme observado por Adam et al. (1997), o tamanho, a resolução e a fidelidade topográfica desse DEM são refletidos na imagem final ortorretificada.

Considerando a complementariedade existente entre dados de sensores ópticos e de microondas, foi desenvolvida uma metodologia que buscasse combinar dados multisensores com uma ampla variação de cores que pudesse relacionar melhor as diversas variáveis de uso e cobertura do solo envolvidas. Através de estudos relacionados à combinação de dados de multifontes, Harris et al. (1994) concluíram que a técnica de transformação IHS foi a que apresentou melhor desempenho dentre aquelas disponíveis, por permitir maior controle sobre o realce de cores.

Para a obtenção do produto combinado TM/SAR foi aplicada a técnica de transformação do espaço IHS onde os canais decorrelacionados do TM/Landsat foram usados como dados de entrada para a transformação RGB-IHS. As Figuras 2 e 3 apresentam as imagens resultantes da ortorretificação e posterior combinação da imagem SAR com as imagens TM de 1984 e de 1999, após a aplicação da transformação do espaço de cores IHS.

Uma das principais vantagens da utilização de imagens combinadas multisensores, principalmente radar e TM, refere-se à informação espectral das imagens ópticas quanto ao auxílio na interpretação e reconhecimento das informações texturais de alvos como estrutura do dossel de tipos de vegetação, que são realçadas pela imagem radar. Uma outra vantagem observada, no produto combinado representado pelas Figuras 2 e 3, está na capacidade do radar em realçar feições topográficas e padrões de drenagem, devido ao tipo de iluminação e do comprimento de onda. Através deste realce observou-se que a área apresenta um relevo praticamente plano, com uma presença significativa de vegetação do tipo mangue, bem como uma extensa planície litorânea com dunas em formato de barcanas.

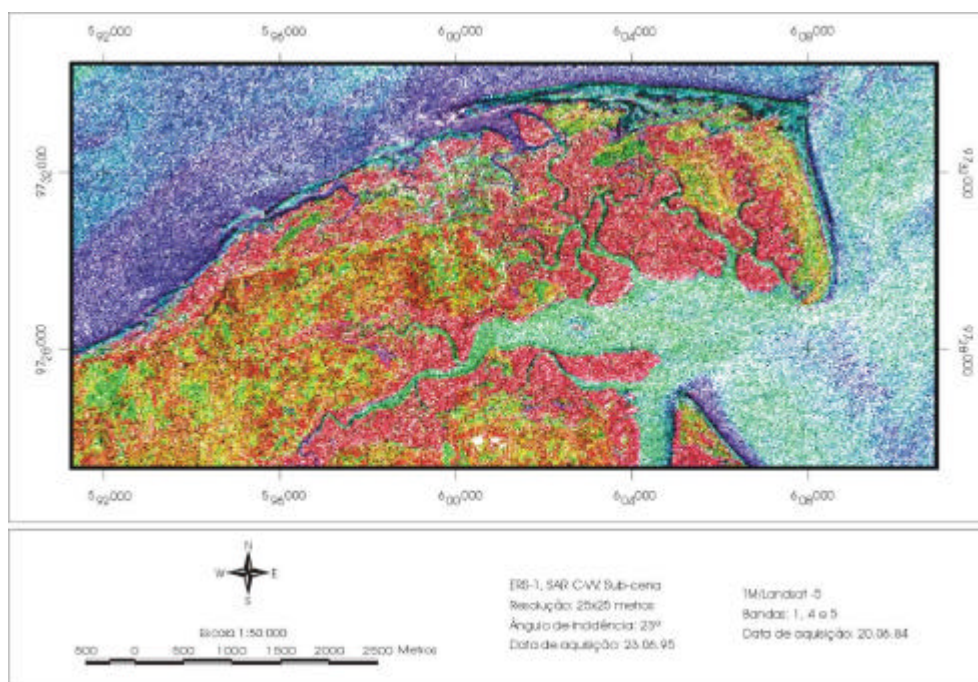




Fig. 2 - Produto combinado SAR/TM de 1984, através do método IHS

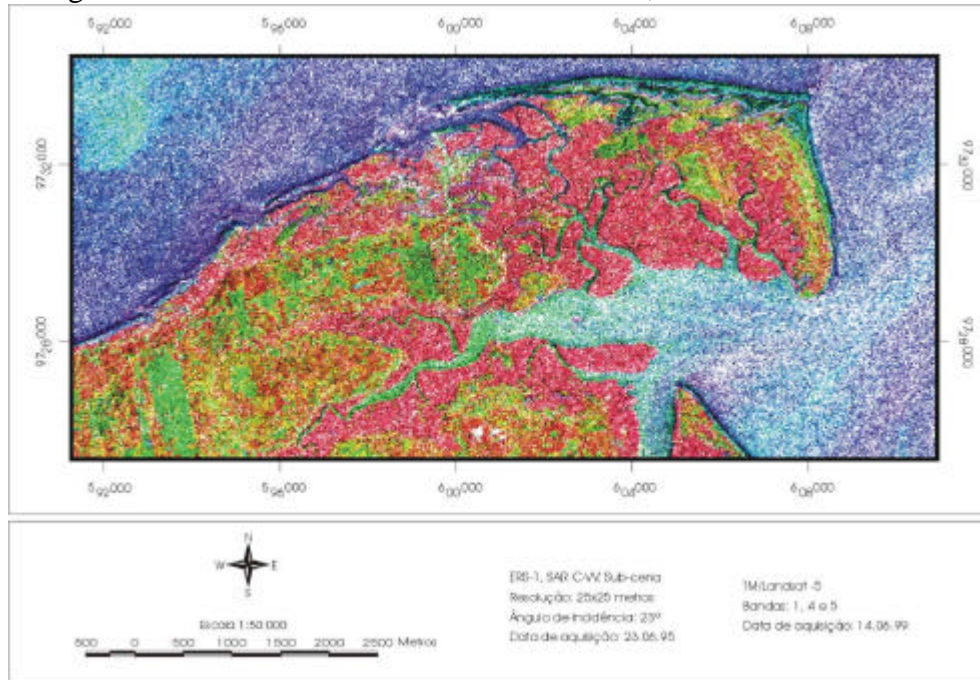


Fig. 3 - Produto combinado SAR/TM de 1999, através do método IHS

A maior contribuição está diretamente relacionada às informações espectrais dos objetos terrestres visíveis nas imagens (Figuras 2 e 3), as quais estão representadas pela variação de matizes do produto final. Essa variação decorre principalmente das respostas espectrais dos diferentes tipos de classes de cobertura vegetal e de áreas de uso do solo.

As classificações das imagens TM e SAR, a partir do uso do algoritmo MAXVER, foi realizada levando em consideração as informações obtidas em campo, bem como da seleção das áreas de treinamento e teste. Desta forma, a fase de treinamento foi realizada apenas sobre as classes confirmadas durante a etapa de campo. Estas classes apresentam as seguintes características:

- Água: compreende toda a área de mar, os vales de rios e igarapés;
- Área aberta seca: formada por depósitos de areias acumuladas pelos agentes de transportes fluviais ou marinhos. Esta área compreende em sua maioria a faixa de praias e cordões arenosos;
- Vegetação de mangue: conjunto arbóreo denso presente em terreno baixo, junto à costa, sujeito à inundação pelas marés;
- Vegetação de campo: tipo vegetal composto por formações pioneiras, de gramíneas, localizadas em sua maioria sobre terraços de formação quaternária;
- Vegetação secundária: representa a cobertura vegetal formada por testemunhos de floresta tropical subperenifólia, com predomínio de palmeiras, entre elas o babaçu.
- Uso do solo/Área urbana: compreende áreas com intenso processo de ocupação antrópica.

A partir das amostras de treinamento e teste, realizou-se a classificação supervisionada para as imagens TM/Landsat de 1984 e de 1999, em composições coloridas formadas pelas bandas 1, 4 e 5, bem como para o produto combinado IHS TM/SAR. Para a avaliação das amostras utilizou-se o limiar de aceitação de 99%, pois este apresentou um desempenho melhor na discriminação entre as classes. As amostras buscaram representar a variabilidade de cada classe e caracterizar áreas tão homogêneas quanto possível.

Com base nos resultados obtidos para cada imagem, foi possível realizar a avaliação destas classificações MaxVer a partir das matrizes de erro obtidas, através das amostras de teste. Assim

sendo, os resultados dos valores do coeficiente de concordância *kappa* foram comparados com os conceitos obtidos por Landis e Koch (1977) (Tabela 1).

Tabela 1 - Exatidão das classificações dos dados TM de 1984 e de 1999, e do produto Integrado TM de 1984 e de 1999/SAR de 1995

IMAGEM CLASSIFICADA	K	CONCEITO
TM 84	0,688993	MUITO BOA
TM 99	0,895314	EXCELENTE
TM 84/SAR 95	0,661334	MUITO BOA
TM 99/SAR 95	0,807953	MUITO BOA

Através da avaliação da tabela acima, verificou-se que o coeficiente de concordância *kappa* foi significativo, demonstrando que há uma avaliação melhor do grau de concordância entre o classificador e o mapa de referência obtido para a imagem TM de 1999, quando classificada isoladamente (Figura 4). Observou-se que, apesar dos coeficientes de *k* terem apresentado variações ( $k > 0,6$ ) para todas as imagens classificadas, o algoritmo de classificação utilizado mostrou-se satisfatório em relação aos critérios apresentados por Fleiss (1981) e Congalton (1983).

Durante o processo de avaliação das classificações, verificou-se que as confusões nas imagens classificadas podem ser explicadas pelo fato de que alguns alvos apresentaram respostas espectrais similares. As matrizes de erro das classificações isoladas das imagens TM de 1984 e TM de 1999, encontram-se discriminadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Estas matrizes comparam os dados de referência com aqueles das imagens classificadas, onde os valores relacionados à exatidão geral encontram-se na diagonal principal (Congalton, 1991).

Tabela 2 - Matriz de erro da classificação supervisionada MAXVER da imagem TM de 1999

CLASSES*	A	AAS	VM	VC	FS	UU
A	98691	0	0	0	0	0
AAS	1809	12705	0	29	0	0
VM	0	2	32661	0	49	0
VC	1081	2828	2057	22550	5085	257
FS	0	0	241	0	23453	0
UU	0	1543	0	955	0	7064
<b>TOTAL</b>	<b>101581</b>	<b>17078</b>	<b>34959</b>	<b>23534</b>	<b>28587</b>	<b>7321</b>

\* A - água; AAS - área aberta seca; VM - vegetação de mangue; VC - vegetação de campo; FS - Floresta secundária; UU - uso do solo/área urbana

Tabela 3 - Matriz de erro da classificação supervisionada MAXVER da imagem TM de 1984

CLASSES*	A	AAS	VM	VC	FS	UU
A	98115	2989	683	530	39	13
AAS	2363	8039	372	1287	128	597
VM	487	1810	30726	1659	316	8
VC	596	3237	2962	6260	2748	602
FS	12	644	203	11306	21987	4875
UU	8	359	13	2492	3369	1226
<b>TOTAL</b>	<b>101581</b>	<b>17078</b>	<b>34959</b>	<b>23534</b>	<b>28587</b>	<b>7321</b>

\* A - água; AAS - área aberta seca; VM - vegetação de mangue; VC - vegetação de campo; FS - Floresta secundária; UU - uso do solo/área urbana

Na análise das matrizes de erro (Tabelas 2 e 3) das imagens TM de 1999 e TM de 1984, formada pelas bandas 1, 4 e 5 (BRG) decorrelacionadas, foi verificado que os maiores índices de confusão ocorreram entre as classes de água e vegetação de mangue. Esta confusão já era esperada, pois as

áreas com presença de vegetação de mangue apresentaram-se quase sempre inundadas devido ao fluxo e refluxo das marés, o que pode ocasionar uma similaridade da resposta espectral destes alvos. Por outro lado, o menor desempenho médio da classificação foi verificado para a classe de uso do solo/área urbana que se confundiu com as classes de vegetação de campo e área aberta seca.

Utilizando-se os valores de  $k$ , presentes na Tabela 6.2, e o índice de exatidão geral ( $S_k^2$ ), foi aplicado o teste de hipótese bilateral com base na estatística  $Z$  ao nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), a fim de verificar-se a igualdade das matrizes de erro das classificações MaxVer.

O resultado do teste aplicado às imagens TM de 1984 e de 1999 ( $z = 0,0761$ ) demonstra que, ao nível de confiança de  $\alpha=0,05$ , há diferença entre os desempenhos das classificações MaxVer aplicadas aos dados utilizados. As matrizes de erro destas classificações são consideradas como diferentes ao nível de significância utilizado, revelando que o coeficiente de concordância  $k$  da imagem de 1999 é superior que ao da imagem de 1984. Nas Figuras 4 e 5 estão apresentadas as classificações MaxVer TM de 1984 e TM de 1999, respectivamente.

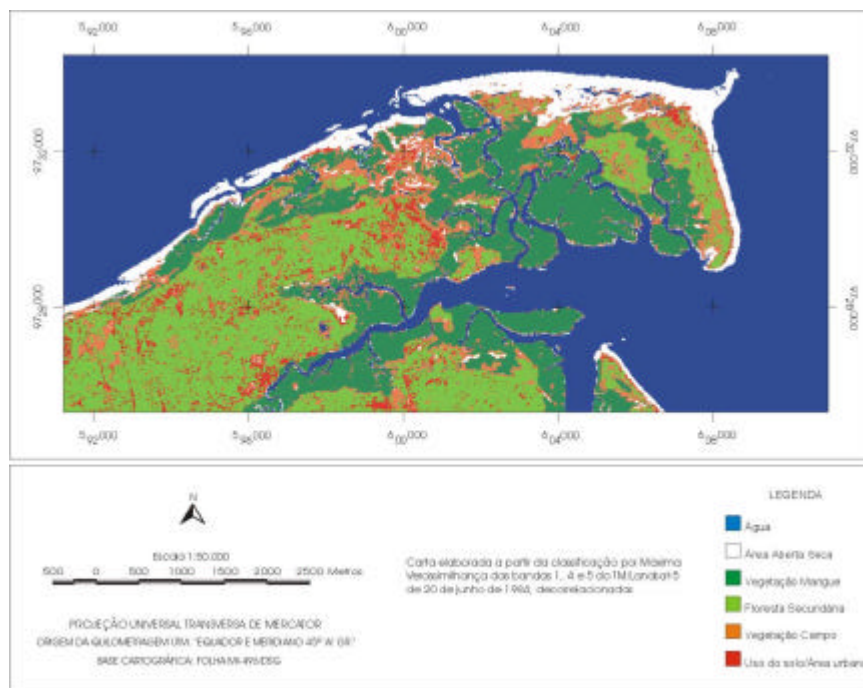


Fig. 4 - Mapa de uso e de cobertura vegetal do solo da imagem TM de 1984

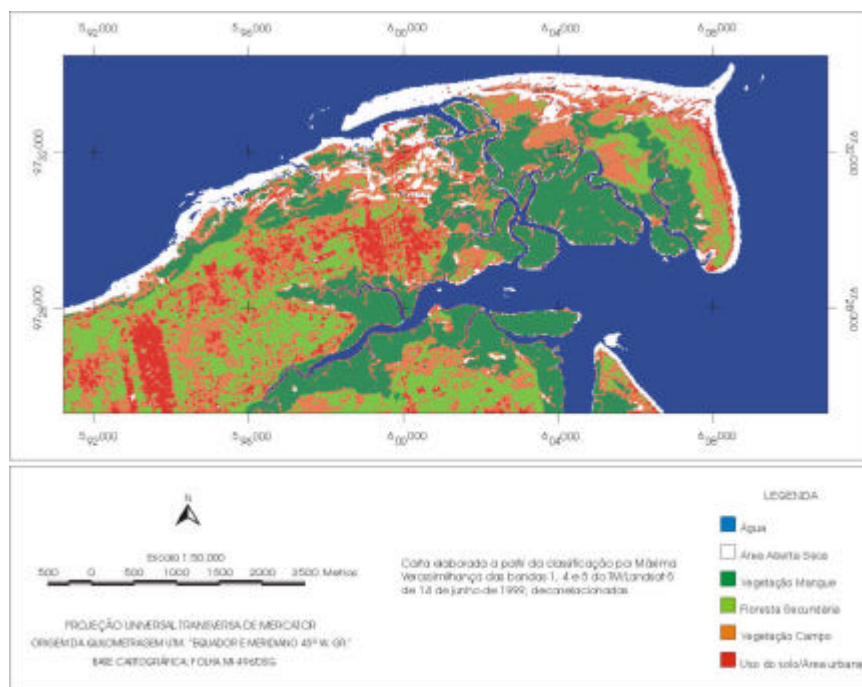


Fig. 5 - Mapa de uso e de cobertura vegetal do solo da imagem TM de 1999

Através da avaliação dos produtos obtidos a partir da classificação supervisionada das imagens TM, bem como das verificações de campo, foi possível detectar mudanças significativas nas áreas de cobertura vegetal do solo. Foi observado ainda um incremento das área de uso do solo/área urbana em função do crescente fluxo migratório a que vem sendo submetida esta área. Outro fato importante observado, é a ação dos processos morfogênicos atuantes na modelagem da paisagem costeira local.

As análises das matrizes de erro das Tabelas 4 e 5, indicaram que as confusões entre as classes de cobertura vegetal estão diretamente relacionadas à similaridade da resposta espectral das áreas de vegetação de campo com as áreas de vegetação secundária. Isto ocorre em função da baixa cobertura vegetal que estas áreas apresentaram, o que resulta numa alta resposta espectral dos solos. Vale ressaltar que a imagem SAR combinada aos dados multiespectrais TM teve como resultado uma classificação satisfatória, onde o coeficiente  $k$  foi considerado muito bom (Tabela 1).

Tabela 4 - Matriz de erro da classificação supervisionada MAXVER das imagens TM de 1999 combinada com a SAR de 1995

CLASSES*	A	AAS	VM	VC	FS	UU
A	1059	33	34	2	3	2
AAS	207	360	6	2	5	0
VM	5	0	871	0	23	0
VC	41	0	0	112	6	26
FS	11	0	33	3	502	0
UU	52	1	0	22	0	115
<b>TOTAL</b>	<b>1375</b>	<b>394</b>	<b>944</b>	<b>141</b>	<b>539</b>	<b>143</b>

\* A - água; AAS - área aberta seca; VM - vegetação de mangue; VC - vegetação de campo; FS - Floresta secundária; UU - uso do solo/área urbana

Tabela 5 - Matriz de erro da classificação supervisionada MAXVER das imagens TM de 1984 combinada com a SAR de 1995

CLASSES*	A	AAS	VM	VC	FS	UU
----------	---	-----	----	----	----	----



A	1109	69	57	3	5	0
AAS	206	281	29	2	3	1
VM	31	10	832	2	37	9
VC	24	17	3	97	69	17
FS	3	15	19	31	252	56
UU	2	2	4	6	173	60
<b>TOTAL</b>	<b>1375</b>	<b>394</b>	<b>944</b>	<b>141</b>	<b>539</b>	<b>143</b>

A - água; AAS - área aberta seca; VM - vegetação de mangue; VC - vegetação de campo; FS - Floresta secundária; UU - uso do solo/área urbana

O resultado do teste de hipótese bilateral aplicado às imagens combinadas ( $z = 0,1144$ ) demonstrou que as matrizes de erro destas classificações foram diferentes ao nível de significância utilizado, revelando que não existe diferença entre as classificações. O coeficiente de concordância  $k$  da imagem combinada IHS de 1999 mostrou-se superior ao do produto combinado IHS de 1984 (Tabela 1).

O índice de exatidão geral obtido para todas as classificações mostrou-se satisfatório, embora tenha ocorrido uma diferenciação entre os mesmos. Assim sendo, após a verificação dos resultados do teste bilateral, concluiu-se que os valores de  $Z$  encontram-se no intervalo de  $[-1,96 < Z < 1,96]$  (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de  $Z$  aplicados às imagens classificadas

IMAGEM CLASSIFICADA	TESTE Z
TM 84 x TM 99	0,0761
IHS/84 x IHS/99	0,0386

As classificações MAXVER das imagens combinadas de 1984 e de 1999 encontram-se nas Figuras 6 e 7.

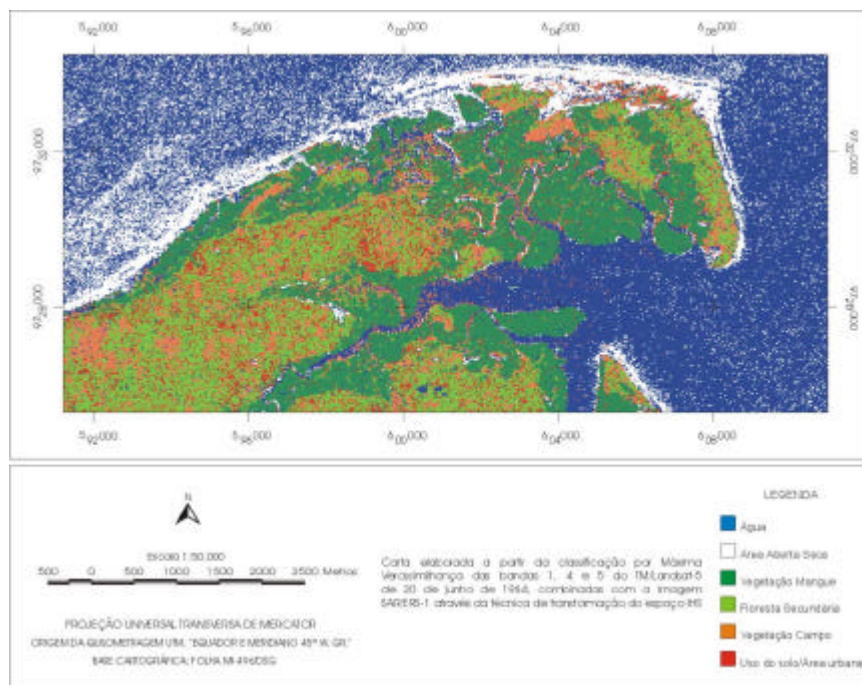


Fig. 6 - Classificação da imagem integrada TM de 1984 com a imagem SAR de 1995

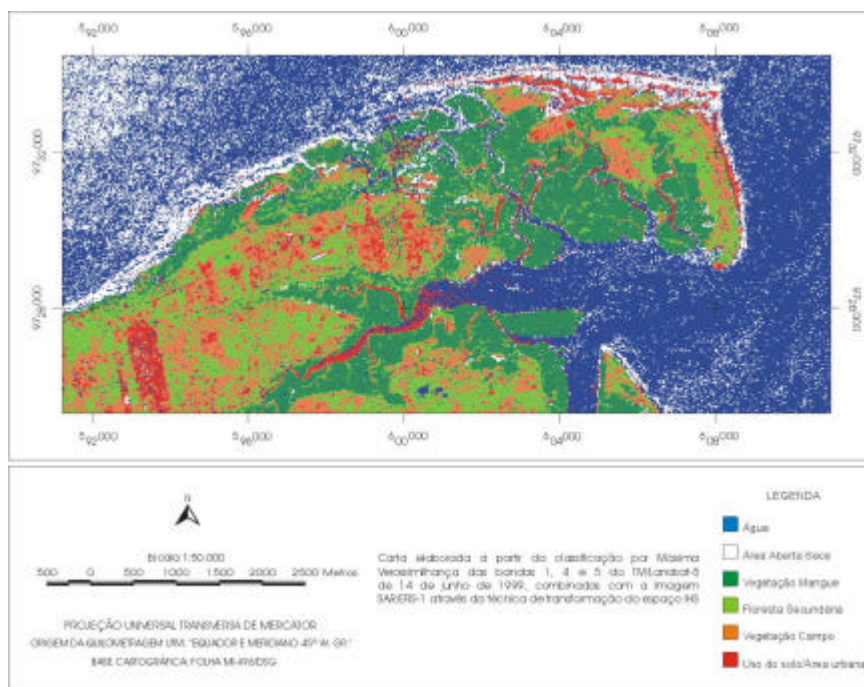


Fig. 7 - Classificação da imagem integrada TM de 1999 com a imagem SAR de 1995

Ao comparar-se as classificações das imagens TM isoladamente com as imagens TM/SAR combinadas, verificou-se que há uma melhor discriminação de classes nas primeiras. Por outro lado, o produto combinado apresenta uma certa confusão quanto à separação das classes de interesse, bem como imagens com *pixels* isolados.

De modo geral, a partir da análise quantificada das classes de uso e cobertura vegetal do solo verificou-se que a área de estudo apresentou, para os anos analisados, um incremento no contexto urbano deste município, ocupando uma área modesta em relação às outras classes. Por outro lado, as classes de vegetação de mangue e floresta secundária apresentaram um decréscimo em suas áreas ao longo de 15 anos, provavelmente às custas do incremento mencionado. Dentre estas classes verificou-se, ainda, que a classe vegetação de campo teve um incremento para o ano de 1999 equivalente ao dobro da área em 1984, o que pode ter sido devido ao desmatamento para a obtenção de lenha para uso doméstico e industrial, ou ainda para o plantio de culturas anuais, loteamentos, entre outros. Os resultados obtidos para as imagens temáticas dos anos estudados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Quantificação das áreas definidas pelas classes de uso e de cobertura vegetal do solo para os anos de 1984 e 1999

CLASSES*	ÁREA EM 1984		ÁREA EM 1999	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
A	92132,1	48,05	88821,9	46,32
AAS	11507,4	6,00	13088,0	6,83
VM	31505,4	16,43	29440,8	15,35
VC	14764,5	7,70	30472,8	15,89
FS	35124,3	18,32	21324,6	11,12
UU	6720,2	3,50	8605,8	4,49
<b>TOTAL</b>	<b>191753,9</b>	<b>100,00</b>	<b>191753,9</b>	<b>100,00</b>

\* A - água; AAS - área aberta seca; VM - vegetação de mangue; VC - vegetação de campo; FS - Floresta secundária; UU - uso do solo/área urbana

A partir da análise da dinâmica da paisagem para o período estudado, foi possível associar as mudanças ocorridas nas classes de cobertura vegetal em função do incremento de uso do solo e urbanização do espaço. Isto explica o fato de que esta área, nas proximidades do município de São Luís, vem sofrendo uma intensa pressão de ocupação.

## CONCLUSÕES

A metodologia de pré-processamento utilizada e aplicada para a fusão dos dados, apresentou-se como satisfatória pois, através do processo de ortorretificação aplicado às imagens, foi possível a escolha da resolução espacial do produto final combinado. Isto demonstra que a utilidade de dados SAR combinados com informações coletadas de sensores ópticos voltados para aplicações temáticas, depende da precisão obtida durante a etapa de correção geométrica.

Apesar do tempo computacional empregado no processamento dos dados, a técnica de transformação do espaço IHS constituiu uma ferramenta de suma importância para a combinação de imagens de diferentes sensores, permitindo um aumento na quantidade de informações disponíveis. Após a análise do desempenho da técnica de realce por decorrelação, aplicada às imagens TM, verificou-se que o produto obtido mostrou um desempenho significativo na detecção e caracterização das classes de interesse, apresentando um contraste bem definido de cores entre os alvos perceptíveis nas imagens.

Conforme referenciado na literatura utilizada, foi possível observar-se que as imagens TM foram adequadas para o mapeamento do uso e ocupação da terra. Através dos dados de campo, elas serviram como base de referência no estudo comparativo entre as demais imagens classificadas. Por outro lado, a imagem radar isoladamente não apresentou resultados satisfatórios na distinção de alvos, cuja diferença de rugosidade deveria apresentar um fator determinante na sua discriminação, característica da banda C do ERS-1. Contudo, a complementariedade e o sinergismo observados entre as imagens SAR e TM, permitiu uma boa caracterização e realce de feições texturais (relevo), estruturais (redes de drenagem) e de cobertura vegetal, devido à capacidade das microondas em realçar as propriedades físicas dos alvos da superfície terrestre.

Dentro do objetivo proposto, os resultados alcançados a partir do algoritmo de classificação por Máxima Verossimilhança, dos dados TM e dos produtos gerados pela combinação das informações TM/SAR, mostraram que as imagens classificadas apresentaram valores de  $Kappa$  considerados muito bons a excelentes com o uso das amostras selecionadas para teste. Visualmente as imagens TM classificadas apresentaram resultados melhores que as imagens combinadas.

As classificações supervisionadas MaxVer mostraram-se eficientes na discriminação dos alvos de uso e cobertura vegetal presentes nas imagens. Embora algumas classes tenham apresentado confusões devido à similaridade em suas respostas espectrais, a avaliação das classificações mostrou-se adequada a este estudo, pois os resultados para o MaxVer foram obtidos de modo a tentar minimizar esta confusão entre classes.

## AGRADECIMENTOS

## REFERÊNCIAS

- Adam, S.; Toutin, T.; Pietroniro, A.; Brugman, M. Using ortho-rectified SAR imagery acquired over rugged terrain for thematic applications in glacier hydrology. **Canadian Journal of Remote Sensing**. v. 23, n. 1, p. 76-80, 1997.
- Amaral, S.; Shimabukuro, Y.E.; Toutin, T.; Ahern, F. Sensoriamento remoto por radar (SAR): pré-processamento de imagens RADARSAT ("fine mode") na região da Floresta Nacional do Tapajós. **Proceedings of the First Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing:**

- Image Processing Techniques**, ESA Publications Division, Buenos Aires, Argentina, p. 37-42, Dec., 1996
- Brasil, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SA. 23 São Luís e parte da Folha SA. 24 Fortaleza**. Rio de Janeiro, 1973. v. 3.
- Congalton, R. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n.1, p. 35-45, 1991.
- Congalton, R.G.; Oderwald, R.G.; Mead, R.A. Assessing Landast classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.
- Diniz, J.S. **Expansão e organização do espaço urbano em São Luís (1980/90)**: uma abordagem sistêmica. Monografia de Especialização/UFMA. São Luís, 1993. 63 p.
- Feitosa, A.C. **Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão**. Rio Claro. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – UNESP: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1996.
- Ferreira, A.J.A. **A urbanização e a problemática ambiental em São Luís-MA**. Monografia de Especialização. Curso de Geografia/UFMA. São Luís, 1993. 88 p.
- Fleiss, J. L. **Statistical methods for rates and proportions**. New York: John Wiley, 1981. 321 p.
- Harris, J.R.; Bowie, C.; Rencz, A.N.; Graham, D. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical, and thematic data for the geosciences. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 3, p. 210-221, Set. 1994.
- Hudson, W.D.; Ramm, C. W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 53, n. 4, p. 421-422. 1987.
- Kux, H.; Ahern, F.; Peitsch, R. Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforests of Acre State, Brasil. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 4, p. 430-440. 1995.
- Landis, J.; Koch, G. G. The measurements of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 159-174, 1977.
- Maranhão, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Programas Especiais. Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. **Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira, e Rosário**: estudo de pedologia/cobertura vegetal. São Luís, SEMA/MMA/PNMA, 1998. 66 p.
- Novo, E.M.L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.
- Pereira, M.C. **O golfão maranhense**. Relatório de Pesquisa, In: GERCO-MA. São Luís, 1992. 17 p.
- Santos, J.R. A tecnologia de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento ambiental: situação atual e perspectivas. In: Seminário de Atualização, 2 - Sensoriamento Remoto e

Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, Curitiba, 1996. **Anais.**  
Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1996. p. 7-14.