

Reconhecimento da Cobertura Vegetal da Várzea do Rio Guamá (Pará) a partir de Imagens de Sensores Remotos

Remote Sensing Image Recognition of the Floodplain Vegetal Cover of Guamá River, Pará State, Brazil

Izabel Cristina Bergh Pereira¹

Tarcísio Ewerton Rodrigues²

José Raimundo Natividade Ferreira Gama²

Pedro Walfir Martins Souza Filho³

Resumo: Foi avaliada a contribuição de imagens dos satélites Landsat-5 TM e JERS-1 SAR, na identificação dos fatores fisiográficos de uma área de várzea com 1.930 hectares, entre as coordenadas geográficas de latitudes 1° 28' e 1° 32' S e longitudes 48° 03' e 47° 59' WGr, na margem do rio Guamá, estado do Pará, objetivando o mapeamento da cobertura do solo. Entre as composições coloridas de dados TM e do produto híbrido TM/SAR, foi selecionada aquela que permitiu maior diferenciação entre os padrões de cobertura e que apresentou melhor correspondência com a verdade-terreno. Os resultados mostraram a ocorrência de 7 tipos de cobertura do solo, relacionados à variação topográfica da área de estudo: floresta ombrófila aluvial (28,9%), nos diques de cotas altimétricas mais elevadas, marginais ao rio Guamá; vegetação secundária (42,1%), pastagens inundáveis (8,3%) e palmeiral (3,7%), em cotas mais baixas que as dos diques; campos naturais (13,6%) e vegetação de áreas deprimidas (3,0%) envolvendo buritizal, pirizal e lago, nas áreas com depressão mais acentuada; e gramíneas + solo exposto (0,4%), na terra firme. Concluiu-se que o produto colorido TM/SAR apresentou definição mais clara dos padrões interpretados, maior variação de cores e melhor caracterização da umidade local e da textura da imagem.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto; Sensores orbitais; Satélite Landsat 5 TM; Radar SAR JERS 1; Várzea; Bujaru (PA), Brasil; Mapeamento fisiográfico.

Abstract: The contribution of images from the satellites Landsat-5 TM and JERS-1 SAR was evaluated in the identification of physiographic factors of a floodplain area with 1.930 hectares between the geographical coordinates of latitudes 1°28' and 1°32' S and longitudes 48°03' and 47°59' WGr, in River Guamá margin, State of Pará, with the objective of accomplishing the mapping of land cover. A comparative analysis was carried in order to select, among the colored compositions of the data TM and of the hybrid product TM/SAR, one that showed the larger differentiation of the interpreted patterns and the best correspondence with the truth-land. The results showed the occurrence of 7 types of land cover, related to the topographical variation of the studied area: alluvial rain forest (28,9%), in the dikes with higher quotas, marginal to Rio Guamá; secondary vegetation (42,1%), flooded pastures (8,3%) and palms (3,7%), in lower quotas than the dikes; grasslands (13,6%) and vegetation of depressed areas (3,0%) involving buritizal, pirizal and lake, in the areas with accentuated depression; and grass + exposed soil (0,4%), in the areas not reached by the flood. It was concluded that the colored product TM/SAR, showed a clearer definition of the interpreted patterns, a larger variation of colors and a better characterization of the local moisture and of the image texture.

Key Words: Remote sensing; Land cover; Landsat 5 TM; SAR JERS 1; Floodplain; Bujaru (PA), Brazil; Physiographics Mapping.

¹ Ibama-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Av. Conselheiro Furtado, 1303. CEP 66.035-350. Belém-PA, Brasil. (izabel.pereira@ibama.gov.br)

² Embrapa Amazônia Oriental. Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n. CEP 66.095-100. Belém-PA, Brasil. (tarcisio@cpatu.embrapa.br) (gama@cpatu.embrapa.br)

³ UFPA-Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Cx. Postal, 8608. CEP 66.075-110. Belém-PA, Brasil. (walfir@ufpa.br)



INTRODUÇÃO

O mapeamento de recursos naturais, através de dados obtidos por sensores remotos, aliado aos sistemas de informações geográficas e complementado com trabalhos de campo, vem constituindo técnica padrão com aplicação multidisciplinar, que permite avaliação temática qualitativa e quantitativa destes recursos, a partir da delimitação e análise dos diversos padrões fisiográficos observados.

Aplicações utilizando produtos de sensores remotos têm mostrado que os dados multiespectrais do sensor TM, observados através de composições coloridas variadas, apresentam grande potencial na discriminação dos padrões de cobertura e uso do solo, assim como os dados de microondas do sensor SAR, contendo imagens com maiores informações textural e sobre a umidade local, têm bom potencial para identificação da geomorfologia e detalhamento de ambientes inundáveis.

Nesse contexto, buscando otimizar a utilização dos recursos naturais para promoção do desenvolvimento regional, com base em técnicas sustentáveis, evidencia-se a necessidade de identificar as possibilidades de exploração das áreas de várzea, partindo do estudo sistemático dos elementos formadores deste ecossistema. Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a contribuição de produtos de sensores remotos orbitais, especificamente do satélite Landsat-5 TM e do Radar de Abertura Sintética (SAR) JERS-1, bem como a aplicação de algumas técnicas de processamento digital de imagens para realce e integração das informações contidas nestes produtos, de forma a facilitar o mapeamento da cobertura do solo de uma área de várzea do rio Guamá, no município de Bujaru-PA.

METODOLOGIA

A área de estudo é representada pelo ambiente de várzea, localizado no município de Bujaru, estado

do Pará, à margem esquerda do rio Guamá, situada entre as coordenadas geográficas de latitudes 1° 28' e 1° 32'S e longitudes 48° 03' e 47° 59' WGr, envolvendo uma área de aproximadamente 1.930 hectares (Figura 1). Geologicamente, a várzea estudada constitui uma área sedimentar quaternária e a terra firme apresenta estrutura geológica constituída, predominantemente, por rochas sedimentares da Formação Barreiras, do Período Terciário (Brasil, 1973). A cobertura vegetal é composta por floresta ombrófila aluvial explorada, formações pioneiras, campos naturais inundáveis, vegetação secundária em diversos estágios de desenvolvimento e pastagens inundáveis (IBGE, 1992). O clima é do tipo Af, de acordo com a classificação de Köppen, sendo caracterizado como tropical chuvoso (úmido), com temperatura média do ar anual maior que 18°C (megatérmico), pluviosidade anual acima de 2000 mm, sem estação seca bem definida, e umidade relativa do ar acima de 80% (Sudam, 2000).

A identificação das áreas de várzea foi baseada na análise da ocorrência de solos hidromórficos e da vegetação típica. Informações adicionais da literatura sobre a geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal, uso da terra e relevo foram obtidas em mapas temáticos na escala 1:1.000.000, do Levantamento de Recursos Naturais do Brasil (Brasil 1974), folhas SA.22 – Belém e SA.23 – São Luís e parte da folha SA.24 – Fortaleza; mapas temáticos na escala 1:100.000, do Zoneamento Agroecológico do município de Bujaru (Sudam, 2000); e cartas planoaltimétricas na escala 1:100.000, folhas SA.22-X-D-III, SA.22-X-D-VI, SA.23-V-C-I e SA.23-V-C-IV (Diretoria de Serviço Geográfico, 1982).

A área de estudo foi selecionada a partir de fotografias aéreas infravermelho preto e branco, tomadas em setembro/1977 na escala 1:70.000 (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1978), e em função da extensão da planície de inundação, considerada também em relação ao grau de detalhamento



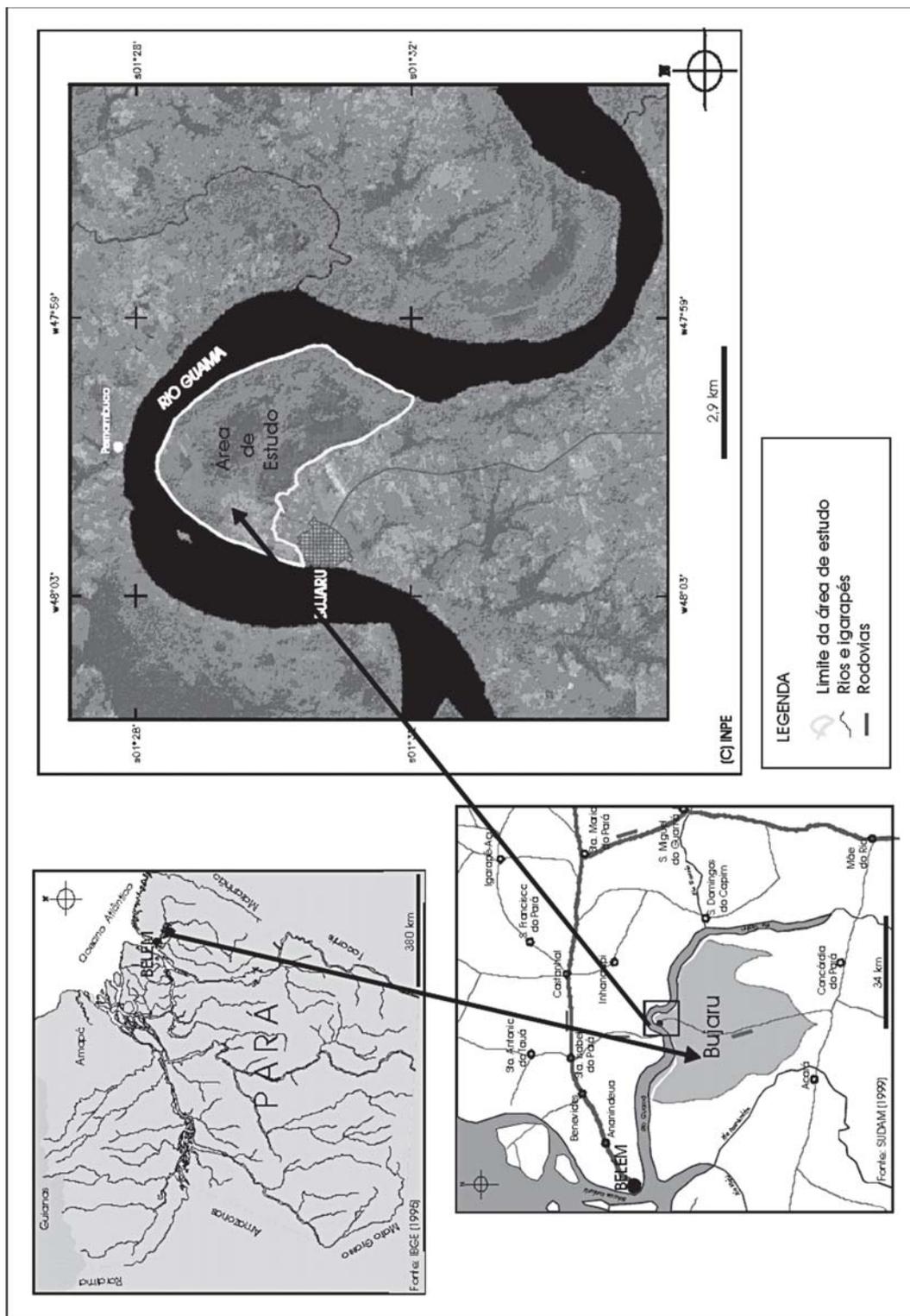


Figura 1. Esquema de localização da área de estudo, no município de Bujuru, Estado do Pará, Brasil.

possibilitado pelas imagens orbitais a serem avaliadas, concomitante com a efetiva ocorrência dos diferentes padrões de cobertura previamente identificados nas fotos.

Os dados referentes à drenagem, às estradas, aos limites municipais e às coordenadas geográficas foram extraídos das cartas plani-altimétricas, na escala de 1:100.000 (Diretoria de Serviço Geográfico, 1982), em *overlay*, que constituiu a base cartográfica para acomodação das diferentes unidades mapeadas nesta pesquisa.

Buscando estabelecer parâmetros de referência para avaliação comparativa dos resultados a serem obtidos com base nas imagens orbitais, a área selecionada foi delimitada e fotointerpretada com maior detalhamento, obtendo-se um mapa preliminar com legenda indicativa da ocorrência dos tipos de cobertura do solo na escala de 1:70.000, o qual foi posteriormente ajustado à base cartográfica na escala de 1:100.000, com auxílio de aparelho ampliador/redutor.

Os dados orbitais foram obtidos em formato digital, junto ao Centro de Sensoriamento Remoto da Sudam, sendo referentes a: Imagem TM do satélite LANDSAT-5, órbita/ponto-223/061, de 08/jun/1995, resolução 30mx30m e bandas 345 as quais foram selecionadas por cobrirem as três principais regiões do espectro refletivo, que têm sido apresentadas para maximizar o conteúdo da informação, segundo Cristand; Ciccone⁴ (1984) e Horler; Ahern⁵ (1986), citados por Kux *et al.* (1995) e Bignelli *et al.* (1998); Imagem SAR do satélite JERS-1, órbita/ponto-393/304, de 28/set/1995, disponibilizada pela National Space Development Agency of Japan (1995), em mosaico, com resolução

93mx93m, no âmbito do Projeto GRFM (Global Rain Forest Mapping). Os dados foram processados através do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING, versão 3.4 para Windows, desenvolvido pelo INPE (1998) e que, genericamente, pode ser caracterizado como um banco de dados geográfico que realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto com um SIG.

As cenas inteiras dos sensores TM e SAR foram submetidas a um recorte automático inicial, visando a reduzir o volume de dados a serem processados e, ao mesmo tempo, manter uma área de cobertura que permitisse a identificação de um número suficiente de pontos de controle que possibilitassem a execução da correção geométrica das imagens, dentro de limites aceitáveis para erros de ajuste.

As imagens TM foram corrigidas geometricamente, para ajuste ao sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) das cartas da Diretoria de Serviço Geográfico, correlacionando-se, automaticamente, pontos de controle, identificáveis na base cartográfica e na imagem. As imagens SAR foram submetidas ao registro imagem/imagem, em função das imagens TM, anteriormente ajustadas. Foram adquiridos para a correção geométrica das imagens TM e SAR, respectivamente, 13 e 31 pontos de controle. Objetivando incrementar a performance computacional, pela redução do volume de dados a serem processados e armazenados, procedeu-se a novos recortes automáticos das cenas corrigidas, executados por algoritmos elaborados com o uso da linguagem de programação LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico), disponibilizada através do SPRING.

⁴ CRISTAND, E. P., CICCONE, R. C. A physically-based transformation of thematic mapper data - the TM tasseled cap. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 22, 256, 1984.

⁵ HORLER, D.N.H., AHERN, F.J. Forestry information content of thematic mapper data. International Journal of Remote Sensing, v. 7, p. 405-428, 1986.

Neste recorte empregou-se como máscara o limite, previamente digitalizado, da área de várzea selecionada e mapeada na interpretação visual. Posteriormente, para melhorar a qualidade dos dados e obter as combinações coloridas mais adequadas dos produtos TM e SAR, visando a facilitar a identificação das informações, as imagens foram submetidas às técnicas de Ampliação Linear de Contraste (Realce), Composições Coloridas RGB e Transformação IHS.

Cada uma das bandas (3, 4 e 5) do sensor TM e a monobanda do SAR, em tons de cinza, foram submetidas à técnica de ampliação linear de contraste, que permitiu a obtenção das imagens realçadas, nas quais as informações foram mais facilmente identificadas. Os níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 do TM e banda L do SAR, que antes do realce variavam entre 10-80, 2-138, 1-160 e 25-199, respectivamente, com ele tiveram sua distribuição ampliada entre 0-255, envolvendo os 256 níveis de cinza possíveis em imagens com resolução radiométrica de 8 bits.

Foram testadas 24 combinações coloridas, apresentadas na Tabela 1, adaptada de Valente (1991). Essas combinações foram obtidas pela combinação das bandas realçadas do TM (3, 4, 5) e do SAR (monobanda), nos canais de cores vermelho (R), verde (G) e azul (B).

As melhores composições coloridas selecionadas, em função basicamente da variação de texturas e cores, foram a 4R5G3B, que associa as bandas 4, 5 e 3 do TM, aos canais R, G e B, respectivamente; e a LR4G3B, que associa a banda L do SAR ao canal R e as bandas 4 e 3 do TM aos canais G e B. Essas composições foram submetidas cada uma a 9 tratamentos, totalizando 18 tratamentos, esquematizados na Tabela 2, com aplicação da técnica de transformação IHS, envolvendo a conversão dos dados TM/SAR do sistema de cores RGB para o IHS com reamostragem dos pixels para 30 metros, aplicação ou não de realce linear de contraste, nas componentes I e/ou S, e retorno ao sistema RGB com substituição ou não de uma das componentes I, H e S por banda SAR ou TM. Os resultados foram analisados em função das condições de visualização e facilidade de discriminação dos padrões, para seleção das melhores composições.

As composições coloridas selecionadas foram interpretadas visualmente na tela do computador em escala de visualização, variando de 1:30.000 a 1:50.000, procedendo-se no decorrer da interpretação, simultaneamente, ao mapeamento preliminar dos padrões de cobertura do solo e à digitalização vetorial destas informações. Eventualmente, para dirimir dúvidas na interpretação,

Tabela 1. Combinações possíveis entre as bandas TM3, TM4, TM5 e monobanda SAR JERS-1 e as cores Vermelha (R), Verde (G) e Azul (B).

Bandas	Combinações de cores											
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Bandas 3, 4 e 5 do TM Landsat-5 e Banda L do SAR JERS-1	3	4	5	4	3	5	5	3	4	L	3	4
	3	4	L	3	4	L	5	3	L	L	3	5
	3	5	4	4	5	3	5	4	3	L	4	3
	3	5	L	4	5	L	5	4	L	L	4	5
	3	L	4	4	L	3	5	L	3	L	5	3
	3	L	5	4	L	5	5	L	4	L	5	4

L = monobanda do SAR

4 = banda TM4

3 = banda TM3

5 = banda TM5



Tabela 2. Tratamentos com aplicação da técnica de transformação IHS

Tratamento	Composição de entrada RGB-IHS	Realce Linear			Composição de retorno IHS-RGB
T1	4R5G3B	X	-	-	IHS
T2	4R5G3B	X	-	X	IHS
T3	4R5G3B	-	-	X	IHS
T4	4R5G3B	-	-	-	LHS
T5	4R5G3B	-	-	-	ILS
T6	4R5G3B	-	-	-	IHL
T7	4R5G3B	X	-	-	IHL
T8	4R5G3B	X	-	X	ILS
T9	4R5G3B	-	-	X	LHS
T10	LR4G3B	X	-	-	IHS
T11	LR4G3B	X	-	X	IHS
T12	LR4G3B	-	-	X	IHS
T13	LR4G3B	-	-	-	5HS
T14	LR4G3B	-	-	-	ISS
T15	LR4G3B	-	-	-	IH5
T16	LR4G3B	X	-	-	IH5
T17	LR4G3B	X	-	X	ISS
T18	LR4G3B	-	-	X	5HS

L = monobanda do SAR JERS-1 4 = banda 4 do LANDSAT-TM
 3 = banda 3 do LANDSAT-TM 5 = banda 5 do LANDSAT-TM

foram observadas, isoladamente, as bandas do TM e SAR, em tons de cinza.

A interpretação visual dos dados foi procedida explorando-se, basicamente, dentre os elementos de reconhecimento normalmente aplicados no processo de interpretação das imagens orbitais (Valério Filho *et al.* 1981, Santos *et al.* 1981, Moreira; Assunção 1984 e Silva *et al.* 1998), aqueles associáveis à cobertura do solo, como a cor, tonalidade, textura, forma e tamanho.

As informações levantadas na interpretação preliminar das fotografias aéreas e imagens orbitais foram reinterpretadas com apoio dos dados de campo e resultados de análises laboratoriais, procedendo-se às necessárias correções no traçado das unidades mapeadas e o estabelecimento da legenda final de interpretação dos tipos mapeados de cobertura do solo. Os trabalhos de campo ocorreram em outubro e novembro/2001, com o apoio de aparelho de posicionamento por satélites (GPS - *Global Positioning System*), para reconhecimento da paisagem e verificação da verdade-terreno, com

base na distribuição dos padrões de cobertura delimitados nos mapas preliminares.

Os mapas em formato analógico foram inseridos em microcomputador, através de mesa digitalizadora, sendo os dados submetidos às rotinas de geoprocessamento do programa SPRING, para a vetorização, ajuste de linhas, criação de polígonos, conversão vetor-raster e manipulações que permitiram o cálculo de área das classes mapeadas e o cruzamento de informações, para avaliação dos resultados alcançados. Os mapas finais da Cobertura do Solo foram impressos em escala de 1:70.000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação visual das fotografias aéreas permitiu a identificação de seis classes de cobertura do solo, representadas por padrões caracterizados em função dos parâmetros fotográficos observados e resumidos na Tabela 3.

A técnica de ampliação linear de contraste, aplicada aos produtos de ambos os sensores TM e SAR,



Tabela 3. Parâmetros fotográficos observados na interpretação visual da cobertura vegetal do solo nas fotografias aéreas

Tipos de cobertura	Parâmetros Fotográficos			
	textura	tonalidade	forma	relevo
Floresta Ombrófila Aluvial	rugosa	cinza claro a médio	irregular	plano
Vegetação Secundária	rugosa	cinza médio	irregular	plano
Campos Naturais	lisa	cinza médio	irregular	plano de nível mais baixo
Pastagens Inundáveis	lisa	cinza claro	irregular	plano de nível mais baixo
Palmeiral	finas	cinza médio a escuro	irregular	plano
Áreas Deprimidas	lisa a rugosa	cinza médio a escuro	irregular	depressão

apresentou bons resultados no realce das imagens. As melhores composições coloridas RGB foram obtidas pelas combinações 4R5G3B, concordando com Florenzano (1998), e R=SAR, G=TM4 e B=TM3, discordando de Bignelli *et al.* (1998) que selecionaram, visualmente, como melhor produto híbrido (TM e SAR-banda C) aquele formado pela composição R=SAR, G=TM5 e B=TM3.

Entre os resultados finais, visualmente analisados e resultantes da aplicação da técnica de transformação IHS nas composições RGB anteriormente

selecionadas, aqueles que apresentaram melhor definição dos padrões de cobertura do solo foram os resultantes dos tratamentos T2, empregando apenas dados TM, e T7 que integra dados TM e SAR (Figuras 2 e 3).

Observou-se que com o tratamento T7, o padrão apresentado pelas áreas incluídas na classe Áreas Deprimidas, apresentou maior variação e contraste de cores, comparativamente ao verificado com o tratamento T2. Concordando com Harris *et al.* (1994), verificou-se, também,

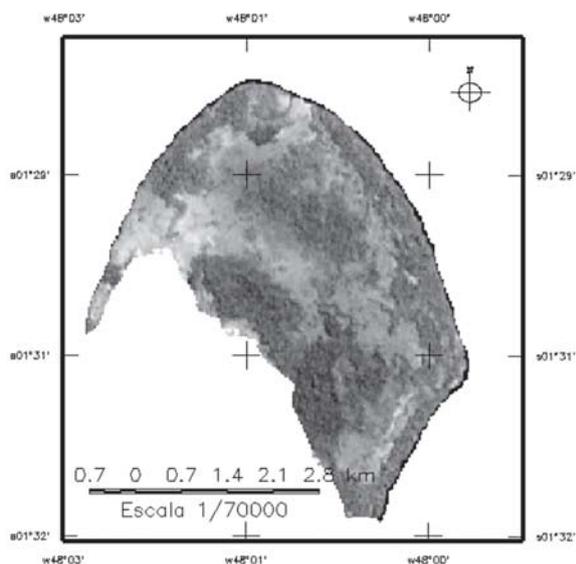


Figura 2. Composição colorida 4R5G3B resultante do tratamento T2, com transformação IHS envolvendo dados TM (ver Tabela 2).

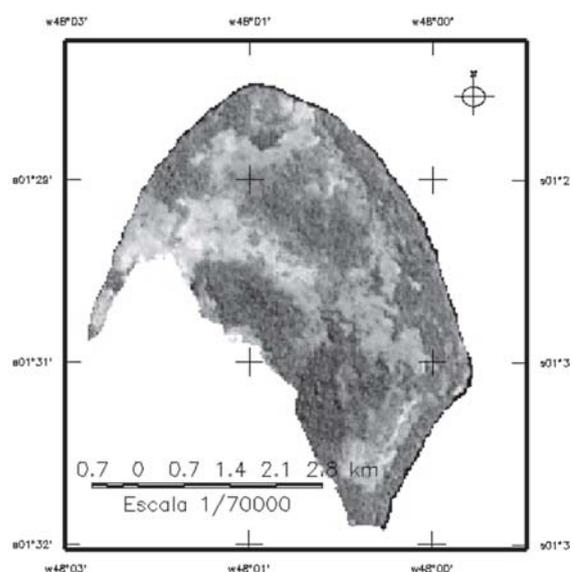


Figura 3. Composição colorida 4R5G3B resultante do tratamento T7, com transformação IHS envolvendo dados TM e SAR (ver Tabela 2).

melhor caracterização da textura na imagem e da umidade local. Desse modo, o tratamento T7, em relação ao T2, facilitou a discriminação de três subclasses (Buritizal, Pirizal, Lago), inclusas na classe Áreas Deprimidas, e que não foram identificadas nas fotos aéreas.

Com base nos produtos realçados, resultantes dos tratamentos das imagens orbitais, bem como em função dos parâmetros de interpretação apresentados na Tabela 4 e da verdade-terreno, foram identificados sete tipos de cobertura do solo, quantificados na Tabela 5 e descritos a seguir, considerando a média dos percentuais obtidos para os tratamentos T2 e T7:

- Floresta Ombrófila Aluvial, representando cerca de 28,9% da área estudada, constituindo uma classe de floresta latifoliada explorada, que recobre a várzea alta, com presença de árvores como a seringueira, o açacu e o taperebá, e elevada ocorrência de palmeiras, como o açai, o buriti e o marajá.

-Vegetação Secundária, cobrindo cerca de 42,1% da área de estudo, corresponde à classe que recobre a maior parte da várzea baixa, constituída por capoeiras em diversos estágios de desenvolvimento, com várias espécies de palmeiras.

- Campos Naturais, constituindo, aproximadamente, 13,6% da área de estudo, onde se distribuem preferencialmente na parte central, representando a segunda classe de maior ocorrência na várzea baixa; apresentam predominância de gramíneas e arbustos adaptados às condições de encharcamento, com incidência de pequenos e esparsos conglomerados de palmeiras, entre as quais são evidenciados o buriti e o caranã.

- Pastagens Inundáveis, recobrem em torno de 8,3% da área de estudo, concentrando-se a sudoeste da mesma, em áreas de várzea baixa mais próximas à terra firme, constituindo campos parcialmente enriquecidos com pastagem artificial tolerante às condições de inundação.

Tabela 4. Parâmetros observados na interpretação visual da cobertura vegetal do solo nos produtos resultantes dos tratamentos aplicados nas imagens dos sensores TM e SAR.

Tipos de cobertura	Textura		Cor		Forma	
	T2	T7	T2	T7	T2	T7
Floresta Ombrófila Aluvial	rugosa grossa	rugosa grossa	verde escuro e amarelado	verde escuro e amarelado	irregular	irregular
Vegetação Secundária	rugosa média	rugosa média	esverdeada / avermelhada	esverdeada / avermelhada	irregular	irregular
Campos Naturais	lisa	lisa	azulada	aAmarelada	irregular	irregular
Pastagens Inundáveis	lisa a suave	lisa a suave	creme	creme	irregular	irregular
Palmeiral	rugosa fina	rugosa fina	esbranquiçado violácea	esbranquiçado vermelha-amarelada	irregular	irregular
Áreas Deprimidas:						
- Buritizal	fina	fina	violácea	vermelha	irregular	irregular
- Pirizal	lisa	lisa	mistura de azul claro a escuro, creme e esbranquiçado	mistura de azul claro, magenta, amarelo e esbranquiçado	irregular	irregular
- Lago	lisa	lisa	azul-violáceo	mistura de vermelho e azul escuro	irregular	irregular
Gramíneas+Solo Exposto	lisa	lisa	azul e branco	azul e branco	regular	regular

- Palmeiral, correspondendo a cerca de 3,7% da área de estudo, constituindo áreas com elevada incidência e dispersão de palmeiras, entre as quais predominam o buriti e o caraná.

- Áreas Deprimidas, cobrindo em torno de 3,0% da área de estudo. Constituem áreas com cotas altimétricas mais baixas em relação às demais classes, onde provavelmente o solo apresenta inundação permanente em extensão considerável, e englobam três subclasses distintas, abaixo descritas e normalmente ocorrentes em conjunto, adjacentes aos campos naturais e mesmo inserida nestes:

Buritizal - subclasse que recobre cerca de 10% das áreas deprimidas, apresentando um padrão homogêneo correspondente ao maior adensamento da palmeira buriti.

Pirizal - denominação adotada pelos moradores locais para as áreas encharcadas e mantidas pelos autores como subclasse representativa de 58% das áreas deprimidas e caracterizada pela predominância de uma variedade de espécies vegetais de porte pequeno a médio, adaptadas às condições de encharcamento como junco, aguapé, aningas, piri etc., entre as quais destaca-se a elevada ocorrência da espécie coletada em campo e posteriormente classificada pelo Laboratório de Botânica da Embrapa Amazônia Oriental, como *Ludwigia nervosa* (Poir) H. Hara (Onagraceae), incluindo, também, a presença mais dispersa das palmeiras buriti e caraná.

Lago - subclasse representando 32% da área deprimida, caracterizada pela presença de maior volume de água superficial e incidência de plantas aquáticas.

- Gramíneas + Solo Exposto, classe que compõe 0,4% da área estudada, ocorrendo nas áreas de terra firme ou próximas a estas, no limite natural da planície aluvial, próximas às áreas classificadas como pastagens inundáveis.

Os delineamentos da cobertura do solo, definidos através das imagens obtidas através dos tratamentos T2 e T7, mostraram que os polígonos identificados como Campos Naturais e Áreas Deprimidas

apresentaram configuração espacial semelhante aos obtidos pela interpretação com fotografias aéreas, enquanto que os polígonos dos demais tipos de cobertura apresentaram maiores variações na configuração espacial, em relação aos delineamentos obtidos através das fotos aéreas. Tal fato pode ser explicado pela diferença entre as épocas de tomadas dos dados (Foto-1977, TM e SAR-1995) e pelas áreas englobadas nessas classes apresentarem, em relação às áreas deprimidas, condições ambientais temporariamente mais favoráveis às atividades humanas, sendo, conseqüentemente, mais suscetíveis às alterações no meio ambiente.

A Figura 4 indica o quantitativo das áreas por tipo de cobertura do solo, obtido através de interpretação visual dos produtos utilizados nesta pesquisa, mostrando a evolução da degradação ambiental, no período de 1977 a 1995, caracterizada pelo aumento das áreas de vegetação secundária (VS) e pastagens inundáveis (PI), em detrimento, principalmente, das áreas dos ambientes fitoecológicos de floresta ombrófila aluvial (FOA) e campos naturais (CN).

As Figuras 5, 6 e 7 constituem os mapas de cobertura do solo representativos das interpretações realizadas com base nos produtos dos tratamentos T2 e T7, e nas fotografias aéreas, respectivamente. A composição colorida 4R5G3B, obtida com o tratamento T7, foi a que melhor representou a verdade-terreno quanto à variabilidade e distribuição da cobertura do solo.

CONCLUSÕES

- As composições coloridas de imagens multiespectrais do satélite Landsat-5 TM, comparativamente às fotografias aéreas infravermelhas preto e branco, facilitaram a delimitação e discriminação da cobertura vegetal em função dos diferentes padrões, de textura e cor, apresentados.
- As composições coloridas que integraram imagens ópticas do Landsat-5 TM e de microondas do radar JERS-1 SAR foram as que melhor

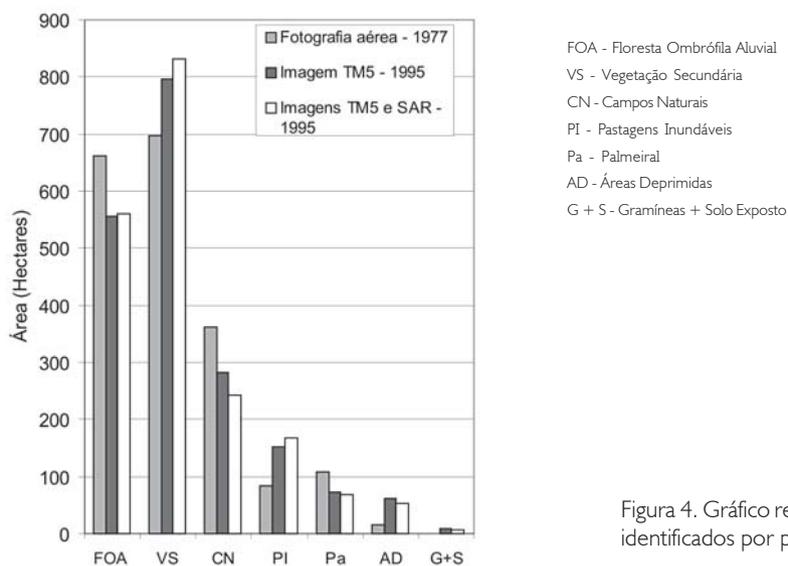


Figura 4. Gráfico representativo das áreas dos tipos de cobertura identificados por produto interpretado

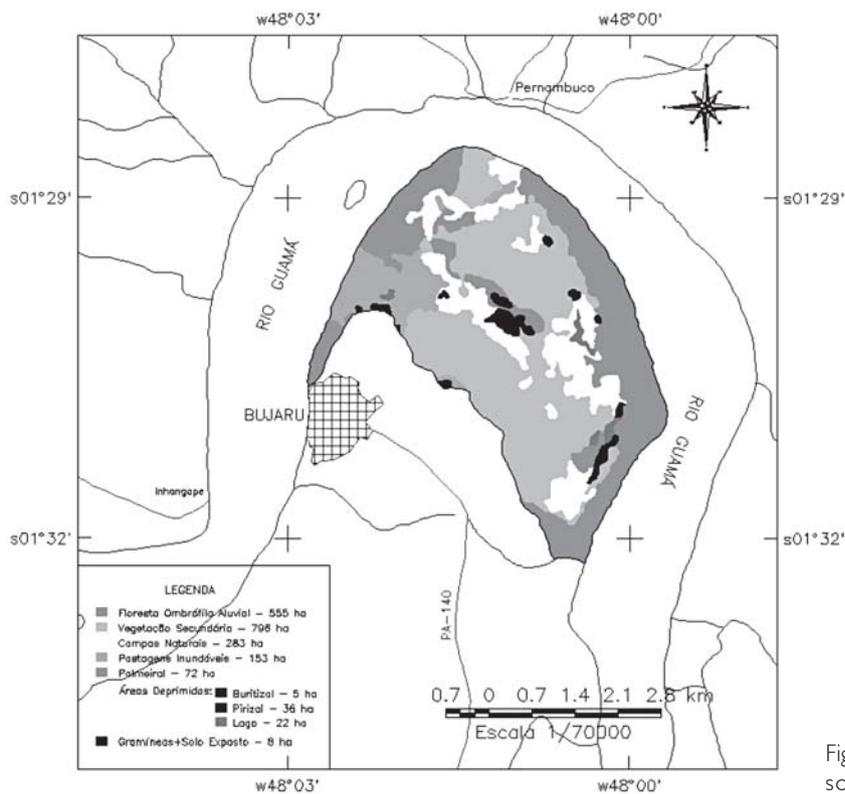


Figura 5. Mapa de cobertura vegetal do solo, interpretado na imagem do tratamento T2.



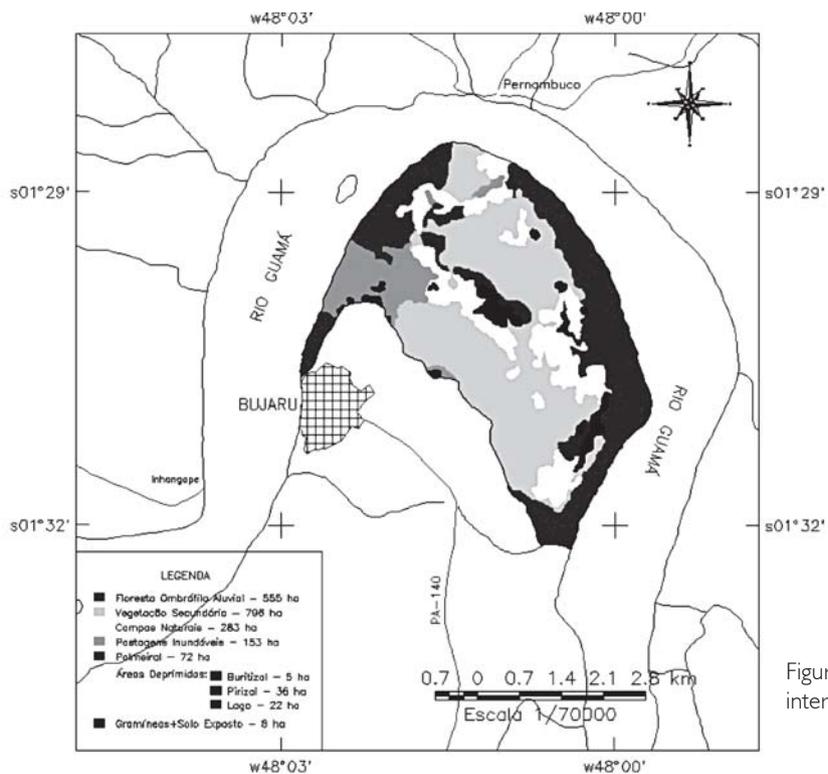


Figura 6. Mapa de cobertura vegetal do solo, interpretado na imagem do tratamento T7.

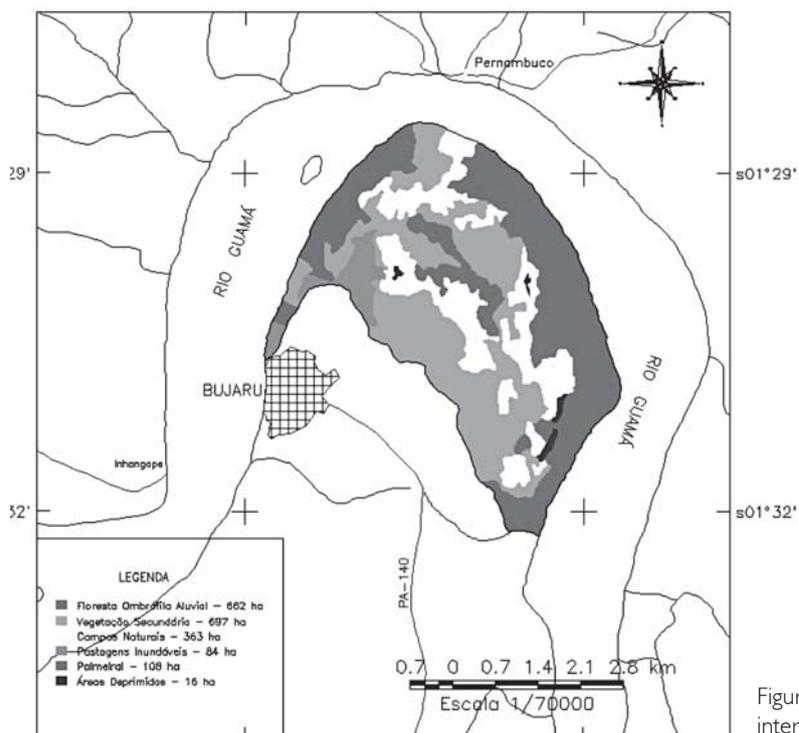


Figura 7. Mapa de cobertura vegetal do solo, interpretado nas fotografias aéreas.



evidenciaram as diferenciações entre texturas e apresentaram maior variação de cores, por agregarem, também, informações sobre a umidade do solo detectadas pelo radar.

- A partir da interpretação das imagens de sensores remotos foram mapeadas as seguintes coberturas do solo na área: floresta ombrófila aluvial; vegetação secundária; campos naturais; pastagens inundáveis; palmeiral; buritizal, pirizal e lago, compondo a classe de áreas deprimidas; e gramíneas + solo exposto.
- Aplicações envolvendo produtos de sensoriamento remoto orbital, para avaliação mais aprofundada das relações entre cada comunidade fitoecológica das várzeas, tendo em conta o potencial produtivo da mesma, e os demais componentes destes ecossistemas, como, o solo, podem fornecer subsídios que permitam identificar com maior segurança os sistemas de manejo e conservação mais adequados para a exploração econômica sustentável dos recursos naturais desses ambientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Sudam pela concessão da imagens Landsat-5 TM e ao Global Rain Forest Mapping Project que forneceu as imagens SAR JERS-1. O último autor agradece ao CNPq pelo auxílio à pesquisa durante esta investigação (Proc. # 303238/2002-0).

REFERÊNCIAS

- BIGNELLI, P. A.; ABDON, M. M.; PALME, U. W.; SILVA, J. S. V. 1998. Avaliação preliminar de dados radar ers-1 para estudos do pantanal brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília*, v. 33, p. 1691-1701, número especial.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. DNPM. 1973. *Projeto RADAM*. Folha SA.23 – São Luis e parte da folha SA.24 - Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 331 p. (Levantamento de recursos naturais, 3).
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. DNPM. 1974. *Projeto RADAM*. Folha SA.22 – Belém; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 429 p. (Levantamento de recursos naturais, 5).
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. 1978. *Projeto Capim-Gurupi*. DNPM.
- DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DSG. 1982. *Cartas planoaltimétricas*, folhas SA.22-X-D-III, SA.22-X-D-VI, SA.23-V-C-I, SA.23-V-C-IV.
- FLORENZANO, T. G. 1998. Imagens TM-Landsat e HRV-SPOT na elaboração de cartas geomorfológicas de uma região do rio Taquari, MS. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília*, 33, 1721-1727, número especial.
- HARRIS, J. R.; BOWIE, C.; RENCZ, A. N.; GRAHAM, D. 1994. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical, and thematic data for the geosciences. *Can. J. Remote Sensing*, v. 20, n. 3, p. 210-221. sept.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. 1992. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro, Diretoria de Geociências/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 1).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. INPE. Divisão de Processamento de Imagem (DPI). 1998. *SPRING - Sistema de processamento de informações georeferenciadas*. São José dos Campos.
- KUX, H. J. H.; AHERN, F. J.; PIETSCH, R. W. 1995. Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforests of Acre State, Brazil. *Can. J. Remote Sensing*, Ottawa, v. 21, n. 4, p. 430-440. Dec.
- MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. 1984. *Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura*. São José dos Campos, INPE, 64 p. 3199-MD/027.
- NATIONAL SPACE DEVELOPMENT AGENCY OF JAPAN (NASDA) 1995. *Japanese Ministry of International Trade and Industry (MITI). The global rain forest mapping project*. Japan.
- SANTOS, J. R.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y. E. 1981. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em vegetação*. São José dos Campos, INPE, 52 p. 2215-MD/010.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. 1998. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *EMBRAPA*, Brasília, v. 33, p. 1703-1711. out., número especial.
- SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; BOOCK, A.; SILVA, M. P. 1998. Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, sul do Pantanal. Brasília, *EMBRAPA*, v. 33, p. 1713-1719. out., número especial.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. SUDAM. 2000. *Zoneamento agroecológico das terras do município de Bujaru-Pará*. Belém.
- VALENTE, M. A. 1991. *Uso de imagens de satélite em levantamento de solos na Serra dos Carajás-Pará*. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 78 p.
- VALÉRIO FILHO, M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R. 1981. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em pedologia*. São José dos Campos, INPE, 51 p. 2211-MD/008.

Recebido: 31/01/02
Aprovado: 04/04/03

