

APLICAÇÃO DE DADOS MULTISENSOR (SAR E ETM+) NO RECONHECIMENTO DE PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM COSTAS TROPICAIS – COSTA AMAZÔNICA, AMAPÁ, BRASIL

Valdenira Ferreira dos Santos¹, Laurent Polidori², Odete Fátima Machado da Silveira³
e Alberto Garcia de Figueiredo Jr.⁴

Recebido em 10 maio, 2007 / Aceito em 8 janeiro, 2008
Received on May 10, 2007 / Accepted on January 8, 2008

ABSTRACT. Environmental studies require information on land use and land cover. This paper presents the applicability of multi-sensor satellite data (optical and radar) for land use and land cover on the Amapá coastal plain for mapping and recognition of natural and anthropogenic dynamics. This area is influenced by the Amazon River, by tides (tidal bore) and by the Intertropical Convergence Zone (ITCZ). Anthropogenic processes are associated with water buffalo ranching. The environmental information was acquired from previous data and field observation and was correlated with remote sensing data (JERS-1, RADARSAT-1, image from ETM+ sensor from Landsat 7 and DEM SRTM), digitally processed for multi-sensor, multi-scale and multi-date approach. Eight patterns of land use and land cover were identified (mangrove, “várzea” forest, arbustive vegetation area, freshwater marsh, anthropic field, intertidal plain, estuarine channel and lakes) as well with indication of natural and anthropogenic geomorphic features. The results from the evaluation of remote sensing data and the techniques applied demonstrated the potential of the remote sensing tool for studying environments in highly dynamic tropical coastal areas of difficult access. However, these tools may present some limitations once applied to application to the Amazon coast, which is a region under strong dynamic natural and anthropogenic processes.

Keywords: remote sensing, amazon coast, anthropic impact, coastal processes.

RESUMO. Os estudos ambientais necessitam de informações sobre a cobertura e o uso da terra. Este trabalho apresenta a aplicação de dados de sensores remotos orbitais (óticos e de radares) na validação de padrões de uso e cobertura do solo na planície costeira amapaense para fins de mapeamento e reconhecimento da dinâmica natural e antrópica. Esta costa é submetida a uma dinâmica intensa devido à magnitude dos processos costeiros (marés-pororoca), sua localização geográfica, influenciada pelo rio Amazonas e pela Zona de Convergência Intertropical, e processos antrópicos associados à bubalinocultura. A análise foi realizada aplicando-se dados de satélite (JERS-1, RADARSAT-1, Landsat 7 e DEM do SRTM) digitalmente processados em abordagem multisensor, multiescala e multitemporal, correlacionada com dados pretéritos e informações de campo. A análise dos produtos gerados e dados colaterais permitiu distinguir oito padrões de uso e cobertura do solo: florestas de mangue, florestas de várzeas, campos arbustivos, áreas de vegetação campestre, campo antrópico, zona de intermaré, canal estuarino e lagos, além de feições morfológicas lineares associadas a estes padrões. Estas informações são importantes para o mapeamento dos ambientes costeiros e fundamentais para o reconhecimento da dinâmica na região.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, costa amazônica, impactos antrópicos, processos costeiros.

¹Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, IEPA, Centro de Pesquisas Aquáticas, CPAq, Rod. JK, km 10, Fazendinha, 68908-280 Macapá, AP, Brasil. Tel.: +55 (96) 3212-5350/5353; Fax: +55 (96) 3212-5347 – E-mail: valdeniraferreira@yahoo.com

²École Supérieure des Géomètres et Topographes, 1, boulevard Pythagore, Campus Universitaire, 72000 Le Mans, France. Tel.: +33 (02) 4343-3114; Fax: +33 (02) 4343-3102 – E-mail: laurent.polidori@esgt.cnam.fr

³ Universidade Federal do Pará, UFPA, Centro de Geociências, Caixa Postal 1611, 66075-110 Belém, PA, Brasil. Tel.: +55 (91) 3201-7841; Fax: +55 (91) 3183-1609 – E-mail: silveira@ufpa.br

⁴ Universidade Federal Fluminense, UFF, Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha, Av. General Milton Tavares de Souza, s/n, 4º andar, 24210-340 Niterói, RJ, Brasil. Tel.: +55 (21) 2629-5928; Fax: +55 (21) 2629-5931 – E-mail: alberto@igeo.uff.br

INTRODUÇÃO

A costa amazônica, denominada por Silveira (1972) de litoral amazônico, é uma feição fisiográfica que se estende por aproximadamente 2.700 km, desde a Baía de São Marcos, no Maranhão, até o Delta do Orenoco, na Venezuela. Está localizada dentro da zona tropical caracterizada por áreas de alta pluviosidade, normalmente superior a 2.000 mm/ano, associada à ocorrência dos ventos alísios, responsáveis por trazer a umidade dos oceanos.

Os ambientes costeiros amazônicos são muito dinâmicos quando comparados com outras costas no mundo. Estão situados na borda da maior floresta equatorial do planeta, que está segmentada por sistemas fluviais, sendo o maior deles o do Amazonas. Os rios são particularmente influenciados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que controla a descarga sólida e líquida e os regimes sazonais que também são influenciados por eventos de El-Niño e La Niña (Richey et al., 1989; Santos, 2006). Estas variáveis e outras relacionadas ao Sistema de Dispersão do Amazonas e as condições oceanográficas criam uma área de interesse para estudo de mudanças ambientais globais e regionais. No entanto, o estudo desses ambientes ainda está nas fases de reconhecimento e o sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta eficaz para acelerar este processo, principalmente em regiões de difícil acesso como a zona costeira do Estado do Amapá.

As aplicações do sensoriamento remoto na costa amazônica tiveram seu desenvolvimento seguindo a lógica de implementação e aplicação dessa ferramenta no mundo. As primeiras aplicações vieram com a utilização de fotografias aéreas, utilizadas principalmente para fins de reconhecimento do território, ainda quando estas eram o único meio de mapeamento e cartografia por imagens de sensores remotos. Este quadro sofre mudanças a partir do recobrimento do território brasileiro por radar aerotransportado, no âmbito do projeto RADAM, na década de 1970 (Azevedo, 1971), e do lançamento dos sensores remotos orbitais, primeiramente óticos, como o Landsat, e depois os radares, como o ERS-1 e JERS-1, na década de 1990.

No reconhecimento dos ambientes costeiros a ferramenta tem sido aplicada para o mapeamento das condições hidrológicas (Lointier, 1996), da estrutura e biomassa de manguezais (Lucas et al., 2002; Proisy et al., 2000; Proisy et al., 2002), de formas subáreas (Gratiot et al., 2005), da turbidez, a partir de modelagem da concentração de sedimentos em suspensão (Froidefond et al., 2002; Lahet et al., 2002), na costa da Guiana Francesa. Na costa amazônica brasileira tem sido utilizada para mapeamento dos manguezais (Souza Filho, 2005), dos ambientes costeiros (Souza Filho, 2000; Batista et al., 2005, Gonçalves & Souza

Filho, 2005; Teixeira & Souza Filho, 2005; Araújo et al., 2005) e como subsídio a produção de mapas de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo (Gonçalves & Souza Filho, 2005; Souza Filho et al., 2003, 2004). Dois trabalhos de cartografia regional se destacam, o de Herz (1991) para mapeamento dos manguezais do Brasil e o trabalho de cartografia das unidades de paisagem sob a influência do rio Amazonas, realizada no âmbito do Programa ECOLAB – Estudo de Ecossistemas Costeiros Amazônicos (Charron & Huynh, 1997).

Estudos relacionados ao uso e ocupação do solo referem-se ao mapeamento do estado de urbanização de capitais (Faure et al., 2003), de padrões e uso e ocupação do solo (Singhroy, 1996), da cartografia de vetores antrópicos (Galissou et al., 1999; Zarin et al., 2001) e de processos de degradação no litoral (Mochel et al., 2001, Santos et al., 2003).

Neste trabalho são utilizados dados de imagens multisensor (RADARSAT-1, JERS-1 e Landsat 7, ETM+) para o reconhecimento de padrões e feições de uso e cobertura do solo na costa do Amapá com fins de subsidiar a análise dos produtos e processos responsáveis por modificações na costa amazônica.

A área estudada está localizada na costa amazônica, no Estado do Amapá, extremo norte do país, no estuário do rio Araguari, próximo à desembocadura do rio Amazonas (Fig. 1). Esta região encontra-se sob o regime de macromarés, semidiurnas submetida também à influência da pororoca que apresenta maior magnitude e frequência durante os períodos de equinócio (Santos et al., 2005). Os principais ambientes que sedimentares que se destacam nesta área é uma planície de inundação influenciada por marés e planície estuarina (Santos, 2006).

MATERIAS E MÉTODOS

O trabalho foi executado em três fases: reconhecimento e análise da dinâmica natural e antrópica da área de estudo, processamento dos dados de sensores remotos e integração dos resultados.

Reconhecimento e análise da dinâmica natural e antrópica

Os dados sobre a dinâmica natural referem-se a informações a respeito das marés e cheias dos rios visando o reconhecimento do regime de inundação e áreas afetadas por esses processos. Os dados de marés foram coletados através da instalação de sensores de pressão no estuário do rio Araguari e correlacionados com os dados sobre o fenômeno da pororoca coletado durante os trabalhos de campo. Foram também utilizados dados de previsão de marés, proveniente da DHN e dados plu-

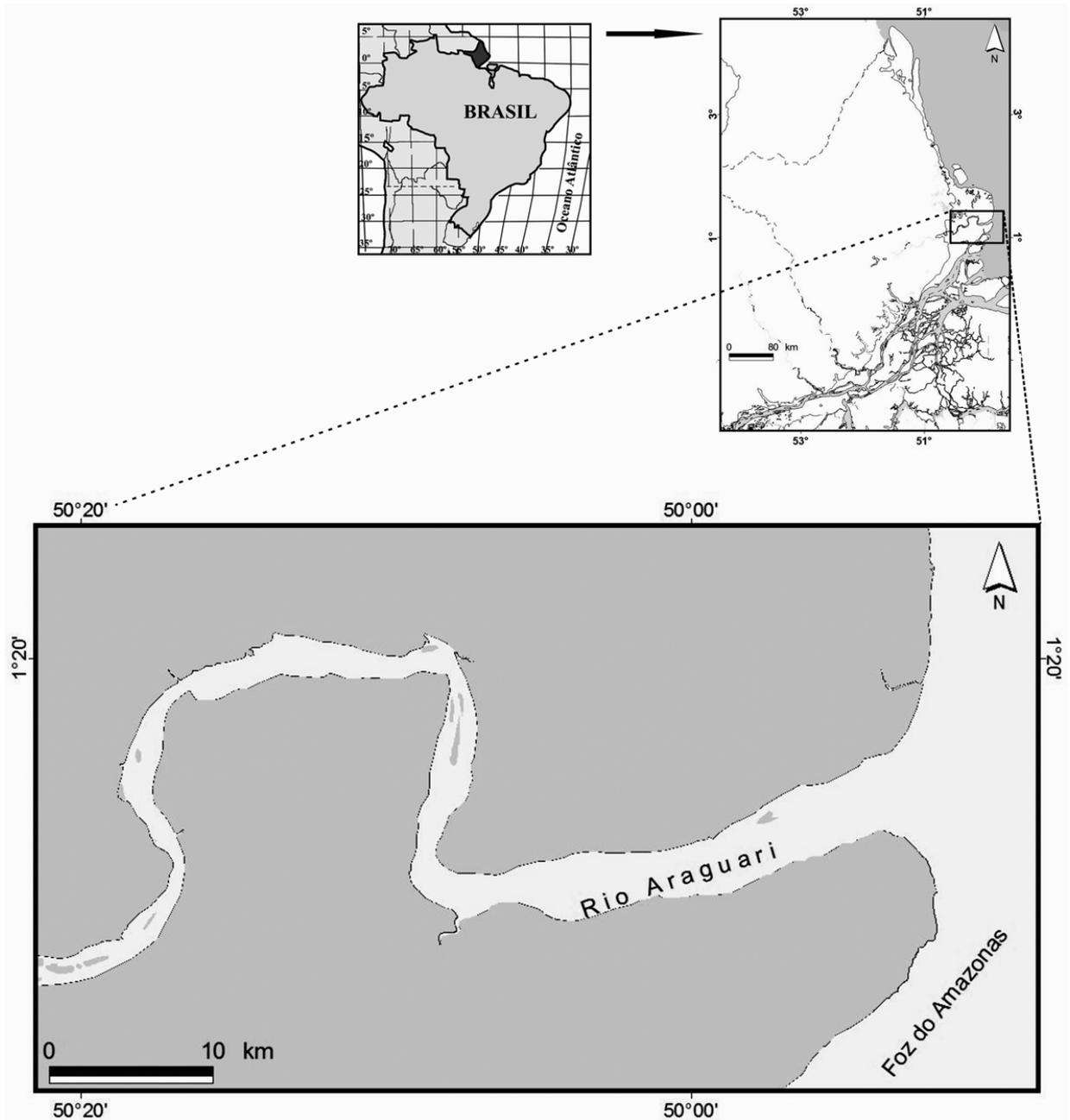


Figura 1 – Localização da área de pesquisa. Mapa elaborado com base na imagem Landsat ETM+7 de 18/11/2000.

viométricos e fluviométricos da ANEEL e ANA. Estes dados serviriam como informações colaterais para análise dos dados de sensores remotos.

Os dados de dinâmica antrópica foram coletados através de formulários semi-estruturados utilizados em entrevistas com fazendeiros da região no mês de março de 2003, identificando os locais de criação do rebanho, infra-estruturas relativas à atividade,

e identificação *in situ* dos possíveis padrões que poderiam ser identificados em imagens de satélite.

Durante trabalhos de campo, realizados em março/2004, setembro/2004 e março/2005 foram feitas observações visuais com imagens instantâneas e vídeos, procurando-se obter um registro fidedigno da realidade do terreno *in situ* utilizando-se uma câmera digital Sony Cyber-Shot, DSC-W5. Nos diferen-

tes períodos tentou-se atingir os mesmos pontos visitados em período anterior, a fim de verificar as variações, em função da sazonalidade, nos padrões resultantes da atuação dos fenômenos naturais e antrópicos. Para a dinâmica natural foram registrados os locais de ocorrência do fenômeno da pororoca e seus efeitos associados aos processos de erosão e deposição. Para a dinâmica antrópica foram registrados os elementos referentes à atividade de bubalinocultura tais como: cerca, casas, locais de pastagem, repouso e de passagem e banho dos animais, etc... e observados os padrões da atividade *in situ*, tendo-se o cuidado de observar as relações de contexto de todas essas informações e sua correlação com as características do ambiente.

Todos os dados de campo foram georreferenciados utilizando um GPS (*Global Positioning System*) Garmin Pilot III Plus.

Dados de sensores remotos: aquisição e processamento

Imagens de satélite

Os dados utilizados foram 8 imagens de radar do satélite RADARSAT-1, dois mosaicos de imagens do satélite JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) e RADARSAT-1, e uma cena do sensor ótico ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), do satélite Landsat 7 (Tab. 1).

As imagens JERS-1 são provenientes de dois mosaicos gerados pelo *Global Rain Forest Mapping Project* (GRFM), obtidos a partir de imagens com espaçamento de pixel da ordem de 12,5 m e processados pela NASDA (*National Space Development Agency of Japan*) com reamostragem de pixel para 3 arcos segundo. As imagens pertencem aos períodos menos chuvoso (outubro de 1995) e mais chuvoso (maio de 1996) da região. Os mosaicos foram reprojeto para o sistema de projeção UTM, datum/elipsóide WGS84. A área de pesquisa foi recortada e o tamanho de pixel transformado de arcos segundos para metros (cerca de 92 metros). Na fase de processamento procedeu-se o ajuste de histograma dos mosaicos.

As imagens RADARSAT-1 utilizadas foram adquiridas com nível de processamento 1, SGF (*SAR Georeferenced Fine Resolution Product*) e dados em 16 bits. Como as imagens já vieram com a calibração radiométrica para correção do padrão de antena, procederam-se apenas os processamentos para a ortorretificação e redução do ruído *speckle*. Para a ortorretificação foram utilizados pontos de controle adquiridos sobre a imagem do Landsat 7 sensor ETM+ ortorretificada proveniente do GLCF (*Global Land Cover Facility*) e os dados de efemérides registrado durante o imageamento. A ortorretificação foi rea-

lizada utilizando o DEM (*Digital Elevation Model*) do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponível no *site* (ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/South_America), com o espaçamento do pixel reamostrado para 30 metros. Após a ortorretificação, foram elaborados 4 mosaicos de forma automática para cada data das imagens adquiridas, com reescalonamento das imagens de 16 para 8 bits. Para atenuar o ruído *speckle* foi aplicado um algoritmo de filtragem adaptativa com *kernel* de 3×3 pixels (filtro Frost, Lopes et al., 1990). A fim de melhorar a qualidade visual das imagens foi aplicado um realce linear. A ortorretificação foi realizada no pacote denominado *Ortho & DEM* disponível no *software* PCI Geomatica 9.1 e os mosaicos no módulo *OrthoEngine*.

A imagem de Landsat 7 do sensor ETM+ constituiu a imagem base para a correção das imagens dos outros sensores. A imagem veio previamente ortorretificada com nível de processamento 1G, geométrica e radiometricamente corrigida com projeção em UTM e datum/esferóide WGS1984, com erro de posicionamento menor que 50 metros, determinado a partir de um polinômio de primeira ordem (Tucker et al., 2004). Em trabalhos de campo foram coletados 12 pontos de controle que foram plotados sobre esta imagem e apresentaram erro de posicionamento em torno de 1 pixel. No processamento desta imagem foi realizada análise por principal componente e classificação não-supervisionada. Na análise por principal componente utilizaram-se as bandas seletivamente, seguindo o método empregado por Siljeström (1997) baseado em Chavez Jr. & Kwarteng (1989). Os testes foram realizados utilizando três subgrupos de imagens: subgrupo I – análise das 3 bandas no visível (1, 2 e 3); subgrupo II – análise de bandas no visível e infravermelho (3, 4 e 5) e; subgrupo III – análise das bandas do infravermelho (7 e 5), avaliados através da matriz de covariância das imagens. Um filtro linear foi aplicado visando melhorar o contraste nas imagens resultantes dessa análise. Após o tratamento, procedeu-se à análise visual dos componentes principais de cada subgrupo de imagens interpretando os alvos através da observação de padrões, texturas, formas, tonalidades e tamanhos dos alvos.

Vários testes foram realizados com as principais componentes e bandas originais das imagens a fim de combinar as informações e reduzir a dimensionalidade dos dados de forma a ressaltar as informações em cores. A imagem resultante foi utilizada para identificar as feições geomorfológicas e discriminar as unidades espectrais.

O registro e processamento da imagem do satélite Landsat 7 dos mosaicos JERS-1 foram realizados utilizando-se o *software* ENVI 3.5.

Tabela 1 – Imagens de satélite e dados de sensores remotos utilizados neste trabalho.

Plataforma/sensor	Modo/ bandas utilizadas	Data de aquisição	Órbita/ hora local	Ângulo de incidência	Tamanho de pixel (m)	Condições ambientais
JERS-1	mosaico, L	02 e 03 out. 1995	–	36–41°	~90 m	período menos chuvoso, sem informações de marés
JERS-1	mosaico, L	09 e 10 maio 1995	–	36–4°	~90 m	período chuvoso, sem informações de marés
RADARSAT-1 M0324302 M0324303	Wide 1, C	15 jan. 2003	descendente 06:10	20°–31°	12,5 m × 12,5 m	início período chuvoso, 2 h após a baixamar
RADARSAT-1 P324316 P324317	Wide 1, C	08 fev. 2003	descendente 06:10	20°–31°	12,5 m × 12,5 m	período chuvoso, 2h após a preamar
RADARSAT-1 P9387005 P9387006	Wide 1, C	06 set. 2004	descendente 06:09	20°–31°	12,5 m × 12,5 m	período menos chuvoso, 3 h após a preamar
RADARSAT-1 P9389371 P9389372	Wide 1, C	30 set. 2004	descendente 06:09	20°–31°	12,5 m × 12,5 m	período menos chuvoso, baixamar
LANDSAT 7-ETM+	7	18 nov. 2000	225/059 10:25	–	28,5 m × 28,5 m	período menos chuvoso, 1 h antes da baixamar
Dados SRTM (DEM)	–	11-22 fev. 2000	–	–	~ 90 m (espaçamento dos pontos)	início do período chuvoso, sem informações de marés

Dados SRTM

Os dados SRTM foram utilizados para a escala de análise de observação regional e sub-regional, a fim de diferenciar as macrofeições geomorfológicas da planície. Estes dados de elevação foram coletados entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 pela espaçonave *Endeavor* durante a missão STS-99, obtidos através dos ecos de radar recebidos por duas antenas distantes de 60 metros, uma sobre a espaçonave e a outra fixada em um braço articulado. O DEM foi gerado através da técnica de interferometria InSAR – *Interferometric Synthetic Aperture Radar*. Experiências anteriores tinham usado a técnica para levantamento da topografia, porém, com ecos de radar recebidos em duas datas diferentes. Isto afetava o processamento interferométrico, devido à instabilidade da superfície entre uma aquisição e outra por variação de umidade, cobertura vegetal, atividades de ventos e mudanças antrópicas.

O diferencial do SRTM foi a coleta simultânea dos dados de elevação, mapeando 80% da massa de terra na banda C (~5.6 cm), polarização HH e VV, e banda X (~3 cm) com polarização VV, registrando o sinal do radar em uma única passagem (Rabus et al., 2003), permitindo uma melhor precisão dos dados para o modelo de elevação. Os dados foram adquiridos com espaçamento do *grid* de 1 arco segundo (aproximadamente 30 metros) e são distribuídos gratuitamente pela NASA na forma de DEMs, em extensão *.ght, em áreas de 1° × 1°, com resolução de 3 arcos segundo (aproximadamente 90 metros) para regiões fora dos USA. Os parâmetros de projeção estão em coordenadas geográficas e os dados, horizontal e vertical, estão referenciados ao Datum WGS 84 (Rabus et al., 2003).

A leitura dos arquivos dos dados SRTM foi realizada no *software* Global Mapper 5 e os dados mosaícos e recortados para restringir a área de estudo. Em seguida foi gerada uma nova paleta

de cores visando o realce dos dados. O resultado foi comparado visualmente com as informações correlatas e posteriormente exportado para leitura no *software* PCI Geomatica, a fim de auxiliar na ortoretificação das imagens de RADARSAT-1.

Integração dos dados de sensores remotos

A integração de dados foi realizada por dois métodos: análise de imagens multitemporais e análise multisensor.

A integração de imagens multitemporais foi feita através de composições coloridas entre as imagens do RADARSAT-1 e entre mosaicos das imagens do JERS-1.

A integração de dados multisensores foi realizada por comparações entre os mosaicos de imagens JERS-1, das imagens do satélite Landsat e do RADARSAT-1 visando entender o comportamento dos padrões e feições identificados em cada sensor.

Todos os produtos resultantes do processamento das imagens e coletados em campo armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o *software* ArcView 3.2 para facilitar a extração das informações.

Os padrões e feições extraídos dos produtos dos dados de sensores remotos foram interpretados utilizando o método das chaves e as unidades e feições identificadas foram validadas em trabalhos de campo nos períodos sazonais distintos (março de 2004, setembro de 2004 e março de 2005). Foram utilizadas ainda imagens aéreas (registros fotográficos e seqüência de vídeos) adquiridas em dois sobrevôos realizados nos meses em janeiro e junho do ano de 2005, com um avião de asa alta, modelo CESSNA 206. O sobrevôo seguiu rotas previamente estabelecidas em um GPS, marca Garmin, de forma a seccionar a maioria dos padrões e feições identificados. As imagens foram tomadas com uma câmera digital Sony Cyber-Shot e uma filmadora digital DCR-VX 1000E. Também foram utilizados para a validação os registros fotográficos obtidos no terreno para o reconhecimento e análise da dinâmica natural e antrópica.

RESULTADOS

Padrões de uso e cobertura do solo

A análise dos produtos gerados a partir dos dados de sensores remotos e das informações colaterais distinguiu oito padrões de uso e cobertura do solo: áreas de cobertura vegetal densa associada a florestas de mangue e florestas de várzeas, campos arbustivos, áreas de vegetação campestre, campo antrópico, zona de intermaré, canal estuarino e lagos (Fig. 2). Também foram identificadas diversas feições lineares associadas a esses padrões.

Floresta de mangue

As florestas de mangue desenvolvem-se na desembocadura do estuário do rio Araguari (Costa Neto et al., 2006) (Fig. 2A). Apresentam-se na forma de uma franja ao longo do litoral e truncando o padrão de floresta de várzea em direção ao interior do estuário. Está sujeita a inundações sazonais pelas cheias do rio e inundações diárias pelas marés. É uma unidade que não pôde ser distinguida com nitidez dos padrões de floresta de várzea nas imagens de RADARSAT-1. Nestas imagens o limite das florestas de mangue com a planície de intermaré é bem nítido em função do efeito de *double-bounce*. Nas imagens JERS-1 os padrões de floresta de mangue distinguem-se dos padrões de floresta de várzea pela diferença na rugosidade. Nos produtos derivados do sensor ETM+ este padrão é definido por sua textura mais lisa e tonalidade avermelhada mais escura como resultado da associação do vermelho na banda 4 do infravermelho próximo com a absorção de parte da energia incidente sobre esta cobertura vegetal.

Floresta de várzea

A floresta de várzea bordeja as margens do rio Araguari (Costa Neto et al., 2003, 2006), recobre as ilhas que ocorrem no canal do estuário e também é registrada como massas florestais e feições lineares encravadas na planície costeira (Fig. 2B). Está sujeita as inundações sazonais pelo efeito das cheias do rio e amplificadas pelas marés. Na imagem de radar JERS-1 de maio de 1996 este padrão é mais visível apresentando tons de cinza médio com tons mais claros no contato com os campos arbustivos e áreas campestres, além de apresentar textura mais rugosa (Fig. 3A). Na imagem de RADARSAT-1 de fevereiro de 2003 este padrão é melhor visualizado do que nas imagens dos períodos menos chuvosos, apresentando tons de cinza mais escuros (Fig. 3B). As florestas associadas às massas de floresta de várzea dentro da planície costeira e aquelas que colonizam as ilhas apresentam textura mais rugosa na composição colorida do ETM+ do que aquelas associadas às feições lineares.

Campos arbustivos

As áreas de campos arbustivos definem um padrão bem expressivo na planície de inundações a norte do estuário (Costa Neto et al., 2006) (Figs. 2 e 3E) e ocorrem como manchas na planície de inundações a sul. Apresenta uma textura rugosa nas imagens do JERS-1 com tonalidades de cinza mais escuros que da floresta de várzea, porém mais claros que as áreas campestres na imagem do período chuvoso. Isto ocorre devido à variação no retroespalhamento por causa da lâmina de água existente nes-

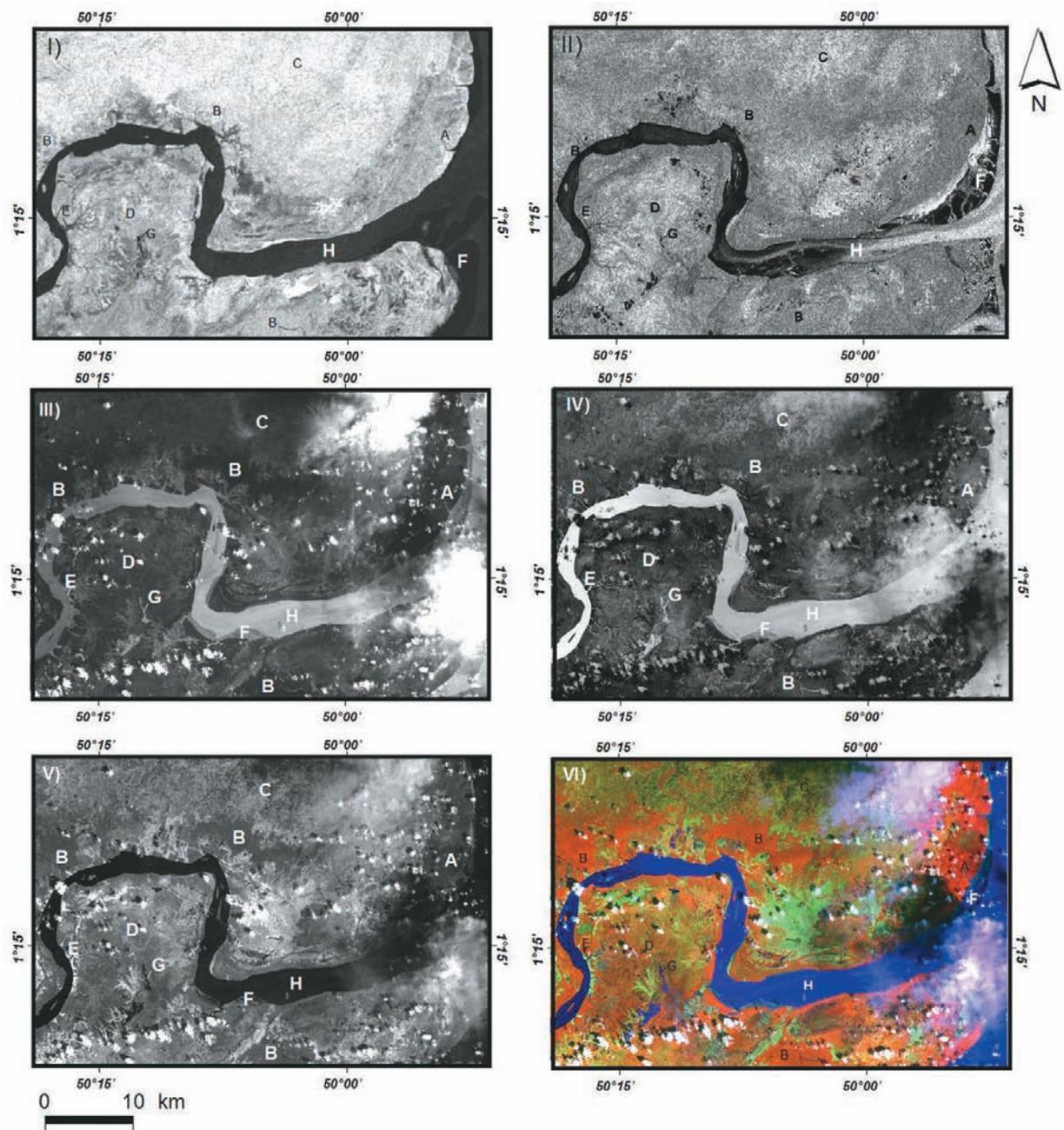


Figura 2 – Principais padrões de uso e cobertura do solo identificado. A) floresta de mangue, B) floresta de várzea, C) campo arbustivo, D) áreas de vegetação campestre, E) campo antrópico, F) planície de maré, G) lagos e H) canal estuarino. I) imagem JERS-1 de outubro de 1995, II) imagem RADARSAT-1 de 30 de setembro de 2004, III) primeira componente principal do subgrupo I do sensor ETM+, IV) primeira componente principal do subgrupo II do sensor ETM+, V) primeira componente principal do subgrupo III do sensor ETM+, VI) imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 das bandas 1, 2 e 3 em B; banda 4 em R; e PC1 das bandas 7 e 5 em G.

ses períodos. Nas imagens de RADARSAT-1, confunde-se com as áreas de vegetação campestres. Nas imagens do sensor ETM+ apresenta o maior contraste (Fig. 2) com as unidades adjacentes

definido por sua textura e variações de rugosidade e tonalidades, principalmente para as primeiras componentes dos subgrupos II e III e na composição colorida.

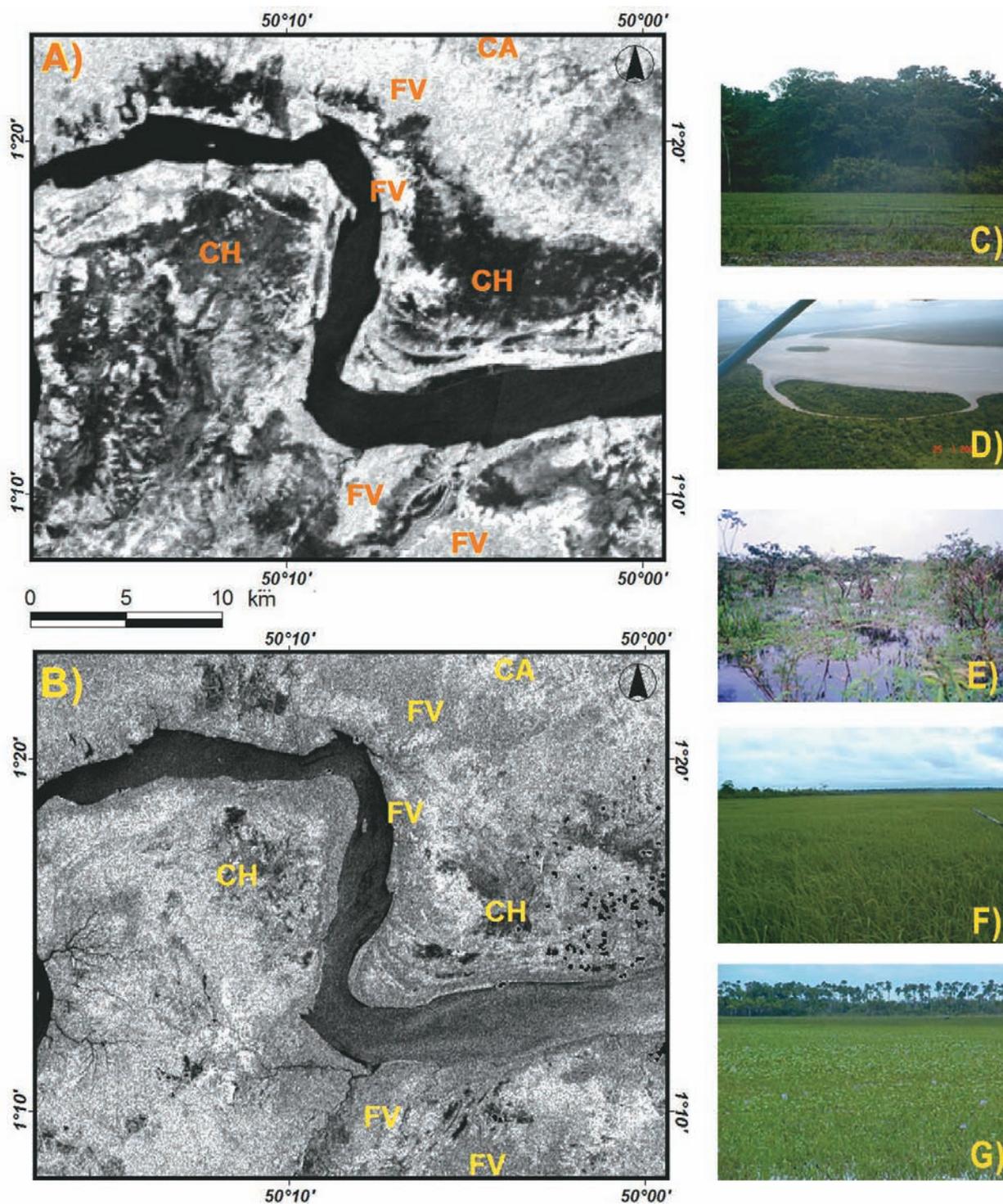


Figura 3 – Imagens de radar do período chuvoso mostrando os padrões associados à floresta de várzea (FV) distinguindo-os das áreas campestres (CH). A) imagem JERS-1 de maio de 1996, B) imagem RADARSAT-1 de 08 de fevereiro de 2003, C) floresta de várzea emergindo em áreas campestres, D) floresta de várzea na margem do rio Araguari e recobrimdo ilhas, E) campos arbustivos, F) e G) áreas de vegetação campestres. Fotos: D, acervo IBAMA; F, cedida por Salustiano V. da Costa Neto.

Vegetação campestre

As áreas de vegetação campestre ocupam a maior parte da área estudada e estão localizadas no interior da planície costeira (Costa Neto et al., 2003, 2006), sendo sujeitas as inundações por sazonais pela cheia dos rios. É uma unidade heterogênea seccionada por massas disformes de floresta densa de espécies de várzea, e por vezes distribuída de forma retilínea. Apesar de ser considerada uma unidade natural encontra-se parcialmente alterada pelo uso do solo em função da pecuária com a presença de inúmeras valas e de cercas (Santos, 2006). Nas imagens de RADARSAT-1 apresenta textura rugosa e com tonalidades ora claras, ora escuras dependendo da época de aquisição, devido à influência da umidade sobre o retroespalhamento nas imagens de radar. Em alguns locais tons muito claros e com alto brilho são detectados. Nas imagens JERS-1 possui textura mais lisa e tonalidades de cinza escuro (no período menos chuvoso) a tonalidades muito escuras para o período chuvoso (Fig. 3A). Na composição colorida do sensor ETM+ possui textura lisa apresentando uma variedade de tons de cinza nos produtos das principais componentes que resultam, na composição colorida, em tons esverdeados e avermelhados, dependendo da situação da cobertura vegetal com tonalidades escuras nas áreas com maior umidade (Fig. 2VI).

Campos antrópicos

Os campos antrópicos estão associados ao processo de desmatamento para implantação das infra-estruturas de fazendas, formação de pequenos pastos e as áreas pastoreadas pelo rebanho (Santos et al., 2003). Apresentam formas geométricas bem definidas, contrastantes com seu entorno (Figs. 4 e 5). Para o interior da planície costeira, estas áreas confundem-se por vezes com as de vegetação campestre, porém quando intensamente pastoreadas pelo gado bubalino podem ser identificadas em virtude do contraste com as áreas adjacentes devido à mudança de cor, textura e da umidade do solo por modificação no padrão de reflexão da onda eletromagnética. No mosaico das imagens JERS-1 estes padrões são bem evidentes nas margens do rio Araguari, quando apresenta textura lisa, tonalidade cinza escura nos dois períodos sazonais (Figs. 4A e B) no momento que estão associados ao desmatamento da floresta de várzea para implantação de fazendas. Estas mesmas áreas, só são distinguidas nas imagens de RADARSAT-1 dependendo do período da imagem e da dinâmica de ocupação do terreno (Figs. 4C e D), quando existe modificação da cobertura vegetal por desmatamento ou pastoreio, bem como em função das variações nas

condições de umidade. Estas modificações são notadas em imagens multidatas (Figs. 5A, B e C) pelas modificações nos padrões de retroespalhamento sendo notadas na maioria das vezes cercas. Na composição colorida do sensor ETM+ são distinguidas principalmente por sua geometria e maior exposição do solo apresentando textura muito lisa (Fig. 4E).

Zona de intermaré

A zona de intermaré ocorre na borda do canal do rio Araguari (Santos, 2006). É mais desenvolvida em direção à foz do estuário (Fig. 2F), quando apresenta extensões de mais de 20 km e larguras de até 4 km. Nesta zona ocorrem barras em pontal, barras de meio de canal e barras de desembocadura (Santos, 2006) (Fig. 6). É um padrão nítido em todos os produtos dos sensores remotos, variando de extensão em função das variações de inundação por marés e, da influência de processos erosionais e deposicionais. Nas imagens de RADARSAT-1, quando sob processo de colonização por vegetação pioneira, apresenta tonalidade cinza clara com alto brilho. Sem cobertura vegetal, as tonalidades são muito escuras com reflexão especular. Nas imagens do sensor ETM+ este padrão é bem nítido na primeira componente principal do subgrupo I e na segunda componente principal do subgrupo II (Fig. 6).

Lagos

Os lagos foram os padrões melhor identificados nas imagens dos sensores remotos, por possuírem um bom contraste entre água calma e vegetação em todos os comprimentos de onda. Na planície de inundação a norte do estuário do rio Araguari, estão associados aos sistemas lacustres do Cabo Norte (Silveira, 1998). Na planície a sul, os lagos são bem menores (Fig. 2G). Seus padrões são distintos em cada uma dessas regiões. Nas imagens de JERS-1 e de RADARSAT-1, os grandes sistemas de lagos encontrados a norte, apresentam tonalidades bem escuras indicando reflexão especular. Em algumas porções apresentam leve rugosidade na sua superfície que pode indicar a presença de uma rugosidade superficial na água devido à presença de ventos. Os lagos a sul do estuário ocorrem na primeira componente principal do subgrupo I e segunda do subgrupo II do sensor ETM+ com tonalidades claras, principalmente em áreas associadas a campos antrópicos, indicando a presença de turbidez nas águas. Essas tonalidades se assemelham muito àquelas das águas encontradas na foz do estuário do rio Araguari, que são muito turvas.

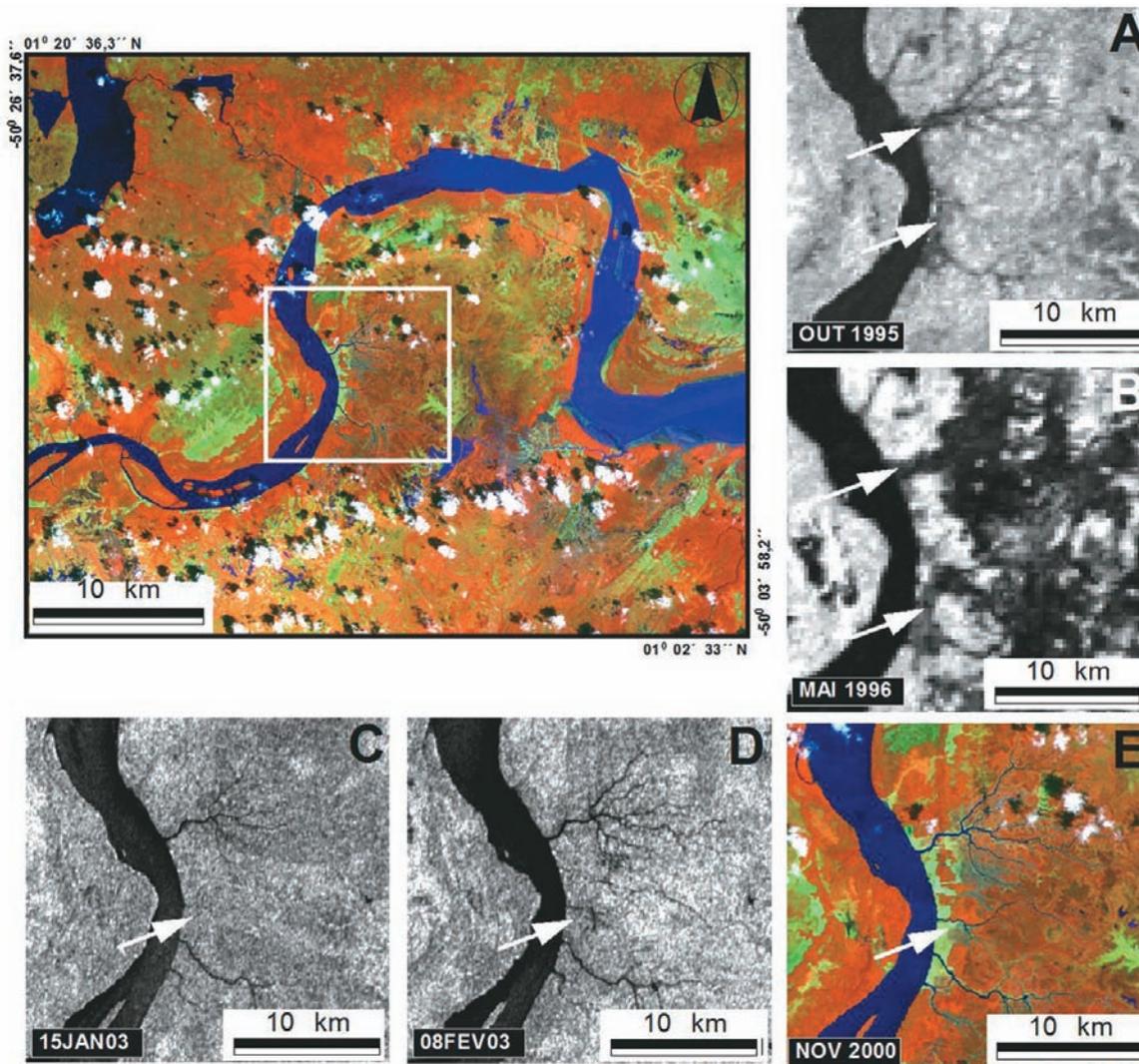


Figura 4 – Campo antrópico associado a desmatamento de floresta de várzea. A e B) imagens JERS-1, C e D) imagens RADARSAT-1, E) imagem Landsat 7, sensor ETM+, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G.

Canal estuarino

O canal estuarino refere-se ao leito do rio Araguari sujeito constantemente a correntes fluviais, de marés e a atuação da pororoca, definindo-se por sua morfologia (Santos, 2006). Nas imagens de radar apresenta tonalidade cinza escuro para o JERS-1 e cinza claro para o RADARSAT-1 (Fig. 2H), apresentando textura pouco rugosa, tornando-se mais lisa e com tonalidades mais escuras rio acima. Isto indica a influência de águas agitadas que comumente ocorre na área da foz do rio, principalmente após a entrada das marés. Na imagem de RADARSAT-1 de 30 de setembro de 2004 o canal é bem definido. Na primeira componente principal do subgrupo I e segunda componente principal do subgrupo II

observa-se variação na tonalidade das águas que variam de cinza claro até a tonalidade bem escura em direção a montante do rio.

Nos dados SRTM foi possível observar os padrões associados às coberturas de floresta densa e áreas campestres (Fig. 7). O limite entre o planalto e a planície costeira é observado nitidamente nesses dados.

Feições morfológicas lineares associadas aos padrões de uso e cobertura vegetal

As feições lineares estão associadas a padrões de acreção, erosão, drenagens atuais, paleodrenagens, e estruturas resultantes da ação antrópica.

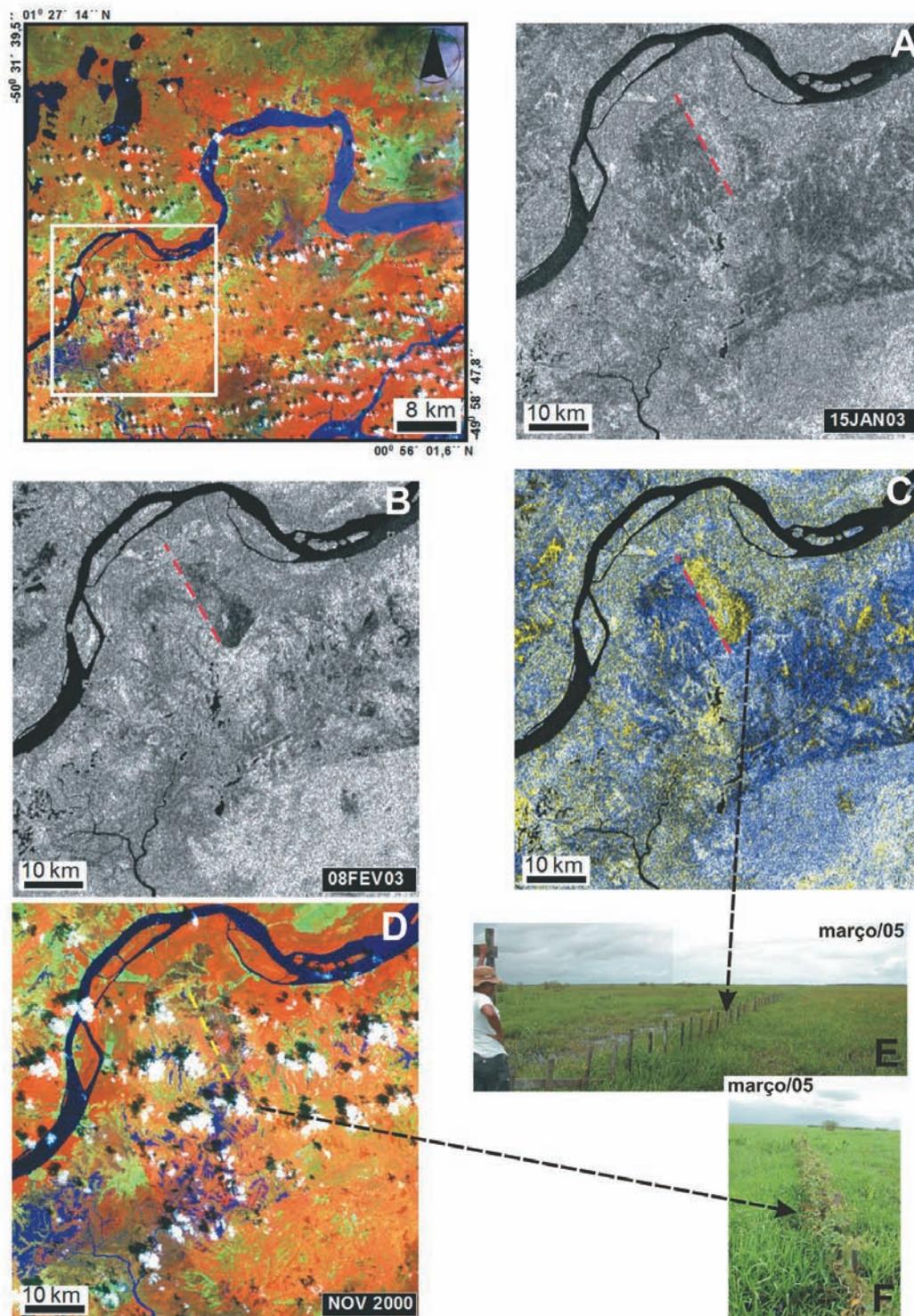


Figura 5 – Detecção de padrões antrópicos influenciados por mudança na cobertura vegetal em função de pastoreio de gado bubalino. A) RADARSAT-1 de 15/01/2003, B) RADARSAT-1 de 08/02/2003, C) composição colorida da imagem de 15/01/2003 (em R e G) e de 08/02/2003 (em B), mostrando variações no retroespalhamento coincidentes com o limite de uma cerca, D) imagem Landsat 7, sensor ETM+ de 18/11/2000, composição colorida da PC1 do subgrupo I em B; banda 4 em R; e PC1 do subgrupo II em G; E) cerca apontada em C; F) cerca apontada em D, porém não detectada na composição colorida das imagens de radar. Linhas tracejadas em vermelho representam cercas que delimitam mudança no retroespalhamento nas imagens de radar. Foto E: Laurent Polidori.

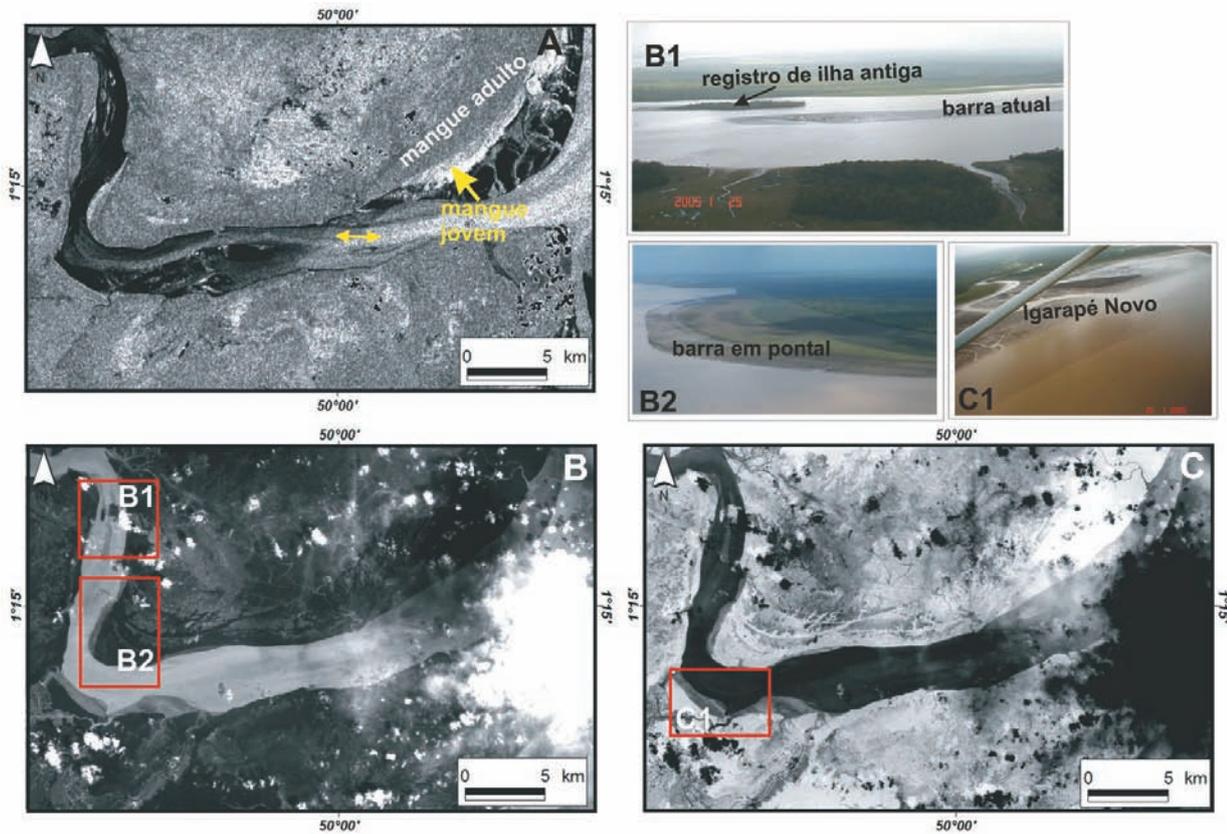


Figura 6 – Planície de intermaré na desembocadura do rio Araguari. A) imagem RADARSAT-1 de 30/09/2004 em situação de baixamar. Observar a mudança de tonalidade de cinza médio (mangue adulto) para tons claros e brilhantes (mangue jovem), reflexão especular nas áreas sem vegetação na planície de intermaré; B) primeira componente principal do subgrupo I (bandas 1, 2 e 3) ressaltando principalmente as variações nos corpos de água, B1) barras longitudinais, B2) barra em pontal; C) segunda componente principal do subgrupo II (bandas 3, 4 e 5) ressaltando as variações na cobertura vegetal; C1) barras de desembocadura de canal. Seta amarela horizontal indicando o canal do estuário. Fotos: Odete Silveira, acervo IBAMA.

Feições associadas a padrões de acreção

As feições de acreção são encontradas nas margens do canal do estuário do rio Araguari e em sua foz. Nas margens do canal estas feições são definidas pelo zoneamento da vegetação em função da sucessão de espécies em direção as áreas mais altas das margens ou pela intercalação entre os padrões de floresta de várzea e áreas campestres em direção ao interior da planície de inundação. As feições de acreção registradas em campo foram detectadas na maioria das imagens de satélites dos diversos sensores remotos utilizados, porém sua nitidez esteve relacionada com a resolução espacial das imagens e as dimensões dessas feições. Nos mosaicos das imagens de JERS-1, somente as feições lineares de dimensões quilométricas são visíveis. Nas imagens de RADARSAT-1 estas feições têm menor visibilidade e só são evidenciadas quando estão sob influência de inundação. Isto porque, apesar da melhor resolução espa-

cial deste sensor, a banda C é menos sensível a essas diferenças. As feições acrescionárias desenvolvidas na desembocadura do rio estão associadas ao zoneamento da vegetação de mangue na interface com a zona de intermaré. São marcadas nas imagens de RADARSAT-1 por uma reflexão muito clara e brilhante ao lado de áreas de tons escuros, associados às zonas de intermaré sem vegetação.

Feições associadas a padrões de erosão

As feições associadas a padrões de erosão são definidas por truncamento das feições acrescionárias pretéritas, pela erosão atual das margens de canais e pela erosão de ilhas. Estas feições, entretanto, só puderam ser distinguidas através de análises multitemporais e informações de campo. Nas análises multitemporais elas são visíveis em quase todas as imagens utilizadas, dependendo da resolução espacial e situação de inundação por marés.

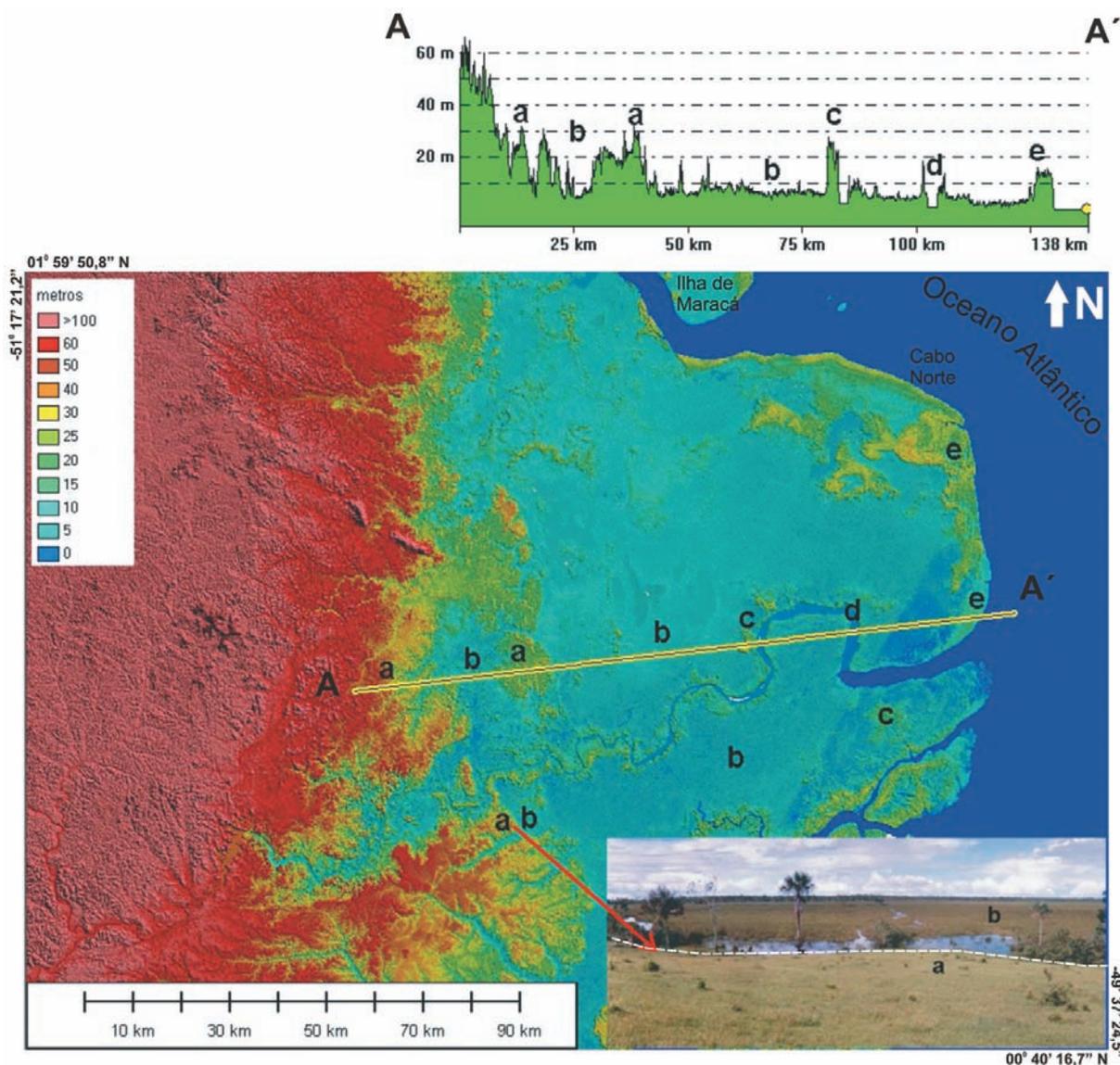


Figura 7 – DEM do SRTM mostrando a planície costeira ao longo do estuário do rio Araguari. O perfil desenhado mostra as principais feições associadas ao relevo e à cobertura vegetal. (a) planalto costeiro (Formação Barreiras), (b) planície de inundação – vegetação campestre, (c) planície de inundação – vegetação de floresta de várzea, (d) canal do estuário do rio Araguari, (e) planície de maré – vegetação de mangue.

Feições associadas a drenagens atuais

As feições lineares associadas às drenagens atuais correspondem tanto às drenagens elaboradas sob a ação dos fenômenos naturais, quanto àquelas associadas à ação antrópica, sendo nítidas na segunda componente principal do subgrupo II. As feições lineares associadas às drenagens naturais se distinguem por seu posicionamento na planície costeira e por sua forma, geralmente meandrante, apesar de existirem drenagens naturais de caráter retilíneo.

Paleodrenagens

As paleodrenagens identificadas possuem dimensões métricas até quilométricas, sendo esta uma característica importante da região, conforme descrito por Silveira (1998). As paleodrenagens mais antigas geralmente são definidas por alinhamento de vegetação na borda de feições de canais abandonados, quando em áreas com pouca interferência antrópica. As grandes paleodrenagens são visíveis nas imagens JERS-1, principalmente na imagem de maio de 1996. Nas imagens RADARSAT-1 são pouco

nítidas. Nas imagens do sensor ETM+, apesar de serem visíveis em quase todos os produtos, são mais nítidas na segunda componente principal do subgrupo II (bandas 4, 5 e 7) e no produto da composição colorida.

Feições associadas à intervenção antrópica

As feições relacionadas às intervenções antrópicas estão associadas à presença de cercas, valas e limites de áreas desmatadas. Uma das características dessas feições é o truncamento dos padrões e feições naturais, evidentes em campo.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

A detecção dos padrões e feições relatados acima está vinculada principalmente à resolução espectral e espacial dos sensores analisados, como também as condições ambientais dos períodos distintos considerados na análise.

As áreas campestres mais susceptíveis à inundação foram bem evidenciadas nas imagens JERS-1 pelas características da banda L, de comprimento de onda de 23 cm penetrar mais na cobertura vegetal, permitindo diferenciar solos em condições secas e úmidas, o que a banda C não consegue fazer com tanta nitidez. Extensas feições de paleodrenagens e estruturas antrópicas (cercas) também foram identificadas nos mosaicos analisados. Deste modo, a composição colorida dos mosaicos do JERS-1 dos dois períodos sazonais evidenciou melhor o limite entre os padrões e feições detectados na planície de inundação ressaltando as áreas de campos e distinguindo-as das áreas de cobertura vegetal densa, do que as imagens RADARSAT-1.

As variações nos padrões das áreas campestres e de campos antrópicos foram evidenciadas nas imagens RADARSAT-1, como também variações associadas à presença de cercas (Fig. 5). Tal resultado só foi possível porque o RADARSAT-1, com comprimento de onda de 5,3 cm é sensível para detectar as variações na cobertura vegetal em função das condições climáticas e antrópicas. Em alguns casos a variação na cobertura vegetal em função do pastoreio foi o fator determinante para a identificação de padrões antropizados mais que a variação de umidade na planície (Fig. 5).

As variações nos padrões e feições da planície estuarina foram evidenciadas nas imagens RADARSAT-1, mostrando com nitidez a dinâmica associada ao estuário. Nas zonas de intermaré, os padrões acrescionários foram identificados a partir da mudança do padrão de reflexão especular nas áreas sem cobertura vegetal, para um retroespalhamento difuso resultado da interação da onda com a cobertura vegetal que coloniza inicial-

mente essas zonas. Desta forma, pode-se separar a zona constantemente retrabalhada e influenciada pela maré, daquelas que já estão em processo de estabilização. Essa mudança no padrão de reflexão nas zonas de intermaré não foi detectada pelo sensor JERS-1 (1995), provavelmente em função das tomadas das imagens em um momento sem cobertura vegetal inicial ou o nível da maré não permitia a sua detecção.

Nos produtos analisados do sensor ETM+ foram identificados quase todos os padrões e feições da planície de inundação influenciada por marés e do estuário, resguardando a resolução espacial do sensor. A cobertura vegetal foi um elemento importante para essa identificação, uma vez que a mesma responde tanto à dinâmica natural quanto antrópica. Entretanto, para as áreas onde se registrou interferência do pisoteio de gado, os padrões naturais e antrópicos são difíceis de serem separados. Tais ambigüidades podem ser esclarecidas a partir de avaliações multitemporais.

Os padrões e feições na planície de inundação foram evidenciados nas primeiras componentes dos subgrupos II e III, o que era de se esperar, uma vez que a vegetação responde à dinâmica do ambiente estudado. As feições de águas rasas e a turbidez das águas do estuário na planície estuarina foram evidenciadas nos produtos da composição colorida e das primeiras componentes principais dos subgrupos I e II. Isto se deve ao fato de que as águas turvas apresentam maior reflectância nas primeiras bandas do sensor ETM+.

Na segunda componente principal do subgrupo II as feições lineares referentes às paleodrenagens, drenagens atuais e cercas foram ressaltadas com maior nitidez, provavelmente em função dessa componente ter armazenado o resíduo de variância desse subgrupo. Nas imagens de RADARSAT-1, as feições ligadas às drenagens atuais foram mais difíceis de serem ressaltadas. Entretanto, os alinhamentos das cercas são bem visíveis, sendo facilmente detectados em função da variação na cobertura vegetal principalmente quando sob influência do pastoreio.

Embora os dados SRTM tenham ressaltado as macrofeições vinculadas à topografia (Fig. 7), detectando com nitidez o limite entre planalto costeiro e planície costeira, o fato dos dados de elevação terem sido coletados em bandas C e X gera uma limitação em paisagens com floresta densa, como a costa amazônica. Isto limita inferências sobre variações topográficas dentro da planície costeira nas áreas de campos arbustivos de vegetação campestre. Entretanto, estes dados são úteis para definir variações na cobertura vegetal distinguindo áreas de vegetação de grande porte como as florestas de mangue e de várzea, daquela cobertura vegetal de menor porte. Estes dados podem servir ainda para detecção de massas de cobertura vegetal densa,

circundadas por vegetação campestre, dispersas dentro planície costeira que foram utilizadas como indicadores de modificações na área estudada por Santos (2006).

A utilização de sensores com maior resolução espacial permitiria caracterizar melhor os padrões associados às drenagens secundárias. Entretanto deve-se levar em consideração que a escala espacial dos elementos que compõem a paisagem nesta área é um elemento fundamental para a identificação desses padrões e sua relação com as modificações.

Os padrões e feições morfológicas observadas nas imagens podem servir como indicadores de modificações tanto da dinâmica natural como da dinâmica antrópica, e ainda para reconstituir as modificações históricas e recentes da planície estudada, em função da potencialidade e limitação dos sensores remotos utilizados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Petrobras, através do projeto PIATAM Mar I, pela cessão das imagens de RADARSAT-1. Ao MMA através do projeto PROBIO e do IBAMA pelo apoio na logística e trabalhos de campo. Ao financiamento do MCT/CNPq e da Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia do Estado do Amapá-SETEC/AP através do projeto "Avaliação de Processos Dinâmicos no Estuário do rio Araguari", Convênio 610093/03-7, ao Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA e ao Institut de Recherche pour le Développement – IRD.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO EP, PARENTE JR. JWC & ESPIG SA. 2005. Estudo das Unidades de Paisagem da Ilha do Maranhão: delimitação e dinâmica. In: Simp. Bras. de Sens. Rem., 12.: 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 2607–2609.

AZEVEDO LHA. 1971. Radar in the Amazon. In: Int. Symp. on Rem. Sens. of the Environ., 7.: 1971, Ann Arbor. Proceedings... Ann Arbor: Univ. Michigan, 1971. p. 2303–2306.

BATISTA EM, SOUZA FILHO PWM & SILVEIRA OFM. 2005. Fusão de dados SRTM com dados Landsat TM 5 para estudo geomorfológico: Região dos Cabos Orange e Cassiporé, Amapá. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12.: 2005, Goiânia, Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 1741–1743.

CHARRON C & HUYNH F. 1997. Cartographie régionale des écosystèmes côtiers sous influence amazonienne par télédétection. In: Workshop ECOLAB, 4.: 1997, Cayenne. Anais... Cayenne: IRD. p. 133.

CHAVEZ JR. PS & KWARTENG A. 1989. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using Selective Principal Com-

ponent Analysis. Photogramm. Engineering & Remote Sensing, 55(3): 339–348.

COSTA NETO SV, SILVA MS, CARVALHO R & SILVA R. 2003. Vegetação do Setor Costeiro Estuarino do Estado do Amapá. Macapá, IEPA. 91 p.

COSTA NETO SV, SENNA CSF & COUTINHO RS. 2006. Vegetação das Áreas Sucuriju e Região dos Lagos no Amapá. In: COSTA NETO SV (Org.). Inventário Biológico das Áreas do Sucuriju e Região dos Lagos, no Amapá. Macapá, IEPA. 79 p.

FAURE J.-F., TRAN A, GARDEL A & POLIDORI L. 2003. Sensoriamento Remoto das Formas de Urbanização em Aglomerações do Litoral Amazônico: Elaboração de um Índice de Densidade Populacional. In: Simp. Bras. Sens. Rem., 11.: 2003, Belo Horizonte, Anais... Goiânia: INPE. p. 1771–1779.

FROIDEFOND JM, LAHET F, DOXARAN D, GUIRAL D, PROST MT & TERNON J.-F. 2002. Les sédiments en suspension des eaux côtières de la Guyane Française observés à partir de données satellites Spot. In: Workshop ECOLAB, 6.: 2002, Belém. Resumos Expandidos... Belém: MPEG. 12 p.

GALISSON L, HUYNH F, LECHEVALIER D, MARMORET M.-A, ORRU J.-F, PANECHOU K, POLIDORI L, TIMOUK F & TSAYEM M. 1999. Caractérisation de l'occupation du sol par télédétection sur quelques sites ruraux de Guyane Française, Cayenne, IRD. 13 pp.

GONÇALVES FD & SOUZA FILHO PWM. 2005. Integração digital de imagens Radarsat-1 e Landsat-7 para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará (Belém-PA). In: Simp. Bras. Sens. Rem., 12.: 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE. p. 1789–1796.

GRATIOT N, GARDEL A & POLIDORI L. 2005. Remote sensing based bathymetry on the highly dynamic amazonian coast. In: Intl. Coast. Symp, 9.: 2005, Iceland. Proc... Iceland: ICS. 13 p.

HERZ R. 1991. Manguezais do Brasil. IO/USP, São Paulo. 227 p.

LAHET F, POLIDORI L & PETIT M. 2002. Apports de l'imagerie Spot-HRV pour le suivi de la zona côtière sous l'influence de l'Amazonie. In: Workshop ECOLAB, 6.: 2002, Belém. Resumos Expandidos... Belém: MPEG. 9 p.

LOINTIER M. 1996. Hydrologie des zones humides tropicales apport de l'information spatialisée aux problèmes de gestion intégrée: applications en Guyane. (Doutorado). Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris-Français. 231 p.

LOPES A, TOUZI RE & NEZRY E. 1990. Adaptive speckle filters and scene heterogeneity. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 28(6): 992–1000.

LUCAS RM, MITCHELL A & PROISY C. 2002. The use of Polarimetric AIRSAR (POLARSAR) data for characterizing mangrove communities. In: AIRSAR Workshop, Earth Science and Application. Pasadena, California: JPL, 3 p.

- MOCHEL FR, CORREIA MMF, CUTRIM MVJ, IBÁÑEZ MSR, AZEVEDO ACG, OLIVEIRA VM, PESSOA CRD, MAIA DC, SILVEIRA PC, IBÁÑEZ ROJAS MOA, PACHECO CM, COSTA CFM, SILVA LM & PUISECK AMB. 2001. Degradação dos Manguezais na Ilha de São Luís (MA): processos naturais e impactos antrópicos. In: PROST MT & MENDES AC (Org.). *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém, MPEG. p. 114–131.
- PROISY C, MOUGIN E, FROMARD F & KARAM MA. 2000. Interpretation of Polarimetric Radar Signatures of Mangrove Forests. *Rem. Sens. Environ.*, 71(1): 56–66.
- PROISY C, MOUGIN E, FROMARD F, TRICHON V & KARAM MA. 2002. On the influence of canopy structure on the radar backscattering of mangrove forests. *Rem. Sens. Environ.*, 23(20): 4197–4210.
- RABUS B, EINEDER M, ROTH A & BAMLER R. 2003. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS J. Photogramm. Rem. Sens.*, 57: 241–262.
- RICHEY JE, NOBRE C & DESER C. 1989. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. *Science* 246: 101–103.
- SANTOS VF. 2006. *Ambientes Costeiros Amazônicos. Avaliação de modificações por sensoriamento remoto*. Tese (Doutorado). CPGGM, UFF/IGEO, Niterói. 306 p.
- SANTOS VF, FIGUEIREDO JR. AG, SILVEIRA OFM & POLIDORI L. 2003. Mecanismos de Modificações de Curto Período na Planície Costeira do Amapá. In: Congr. ABEQUA, 9., Recife. Anais... Recife: ABEQUA, 2003, 5 p. CD-ROM.
- SANTOS VF, FIGUEIREDO JR. AG, SILVEIRA OFM, POLIDORI L, OLIVEIRA DM, DIAS MB & SANTANA LO. 2005. Processos Sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca – estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. In: Congr. ABEQUA, 10., Guarapari. Anais... Guarapari: ABEQUA, 2005, 6 p. CD-ROM.
- SILJESTRÖM PA. 1997. The application of selective principal components analysis (SPCA) to a Thematic Mapper (TM) image for recognition of geomorphologic configuration. *Intern. Journal of Remote Sensing*, 18(18): 3843–3852.
- SILVEIRA JD. 1972. Morfologia do Litoral. In: AZEVEDO A (Ed.). *Brasil, a Terra e o Homem*, v. 1, Cia. Editora Nacional, SP. 253–305.
- SILVEIRA OFM. 1998. *A Planície Costeira do Amapá. Dinâmica de Ambiente Influenciado por Grandes Fontes Fluviais Quaternárias*. Tese (Doutorado). CPGG, UFPA/CG, Belém, 215 p.
- SINGHROY V. 1996. Interpretation of SAR images for coastal zone mapping in Guyana. *Can. J. Remote Sens.*, 22(3): 317–328.
- SOUZA FILHO PWM. 2000. *Avaliação e Aplicação de Dados de Sensores Remotos em Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos, Bragança, Norte do Brasil*. Tese (Doutorado), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 219 p.
- SOUZA FILHO PWM. 2005. *Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia: Cenários Morfológicos, Mapeamento e Quantificação de Áreas usando Dados de Sensores Remotos*. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(4): 427–435.
- SOUZA FILHO PWM, MENDES AC, PROST MTC, PROST C, BENTES B, SANTOS MPD, DINIZ FM, SILVA MGL & GONÇALVES FD. 2003. Environmental sensitivity mapping on Amazon coast (Guajará Bay, PA) by remote sensing and GIS. In: Intern. Conference Mangrove: Articulando Gestão Participativa de Estuários e Manguezais. Salvador: UFBA, 2003, p. 472.
- SOUZA FILHO PWM, MIRANDA FP, BEISEL CH, ALMEIDA EF & GONÇALVES FD. 2004. Environmental sensitivity mapping for oil spill in the Amazon coast using remote sensing and GIS technology. In: Intern. Geoscience and Remote Sensing Symposium. Anchorage. Alaska: IGARSS, 2004, p. 1565–1568.
- TEIXEIRA SG & SOUZA FILHO PWM. 2005. Sensores Remotos ópticos e Modelo Digital de Elevação SRTM para Reconhecimento de Ambientes Costeiros Dominados por Macromaré na Região de São Luís (MA). In: Congr. ABEQUA, 10., Guarapari. Anais... Guarapari: ABEQUA, 2005, 7 p. CD-ROM.
- TUCKER CJ, GRANT DM & DYKSTRA JD. 2004. NASA's global orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3): 313–322.
- ZARIN DJ, PEREIRA VFG, RAFFLES H, RABELO FG, PINERDO-VASQUEZ M & CONGALTON RG. 2001. Landscape change in tidal floodplain near the mouth of Amazon River. *Forest Ecology and Management*, 154: 383–393.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Valdenira Ferreira dos Santos. Graduada em Geologia (1994), Especialização em Geociências Aplicadas ao Meio Ambiente (1996) e Mestre em Geologia Marinha e do Quaternário (1996) pela Universidade Federal do Pará. Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense em colaboração com o Institut de Recherche pour le Développement – IRD (2006). Desde 1998 é pesquisadora no Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA. Áreas de interesse: Sensoriamento Remoto Aplicado a Ambientes Costeiros, Geologia Marinha e do Quaternário, Dinâmica Costeira e Gerenciamento Costeiro.

Laurent Polidori. Engenheiro Cartógrafo (1987), Especialista em Sensoriamento Remoto (1987), Doutor em Geociências (1991). Pesquisador do Institut de Recherche pour le Développement – IRD entre 1999–2006. Atualmente é professor da École Supérieure des Géomètres et Topographes – ESGT. Áreas de interesse: Sensoriamento Remoto e Modelagem de Ambientes Tropicais.

Odete Fátima Machado da Silveira. Graduada em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1985), Especialização em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal do Pará (1985), Mestrado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1989), Doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará em colaboração com o Marine Science Research Center – MSRC em Stony Brook (1998). Pesquisadora do IEPA de 1998 a 2006. Atualmente é professora adjunta da Universidade Federal do Pará. Áreas de Interesse: Oceanografia Geológica, Geomorfologia Costeira e Variações do Nível do Mar.

Alberto Garcia de Figueiredo Jr. Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1972), Mestrado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1975), Doutorado em Geologia Marinha e Geofísica pela Universidade de Miami (1984), Pós-Doutorado pela Universidade Estadual de New York (1991). Atualmente é professor titular da Universidade Federal Fluminense. Áreas de interesse: Sedimentação Marinha, Nível do Mar e Evolução da Plataforma.