

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Estudo da Geomorfologia de Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos a partir de Imagens de Sensores Remotos

Pedro Walfir Souza Filho, Waldir Renato Paradella

Pesquisas em Geociências, 28 (2): 359-368, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20310>

Publicado por

Instituto de Geociências



**Portal de Periódicos
UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2002.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Estudo da Geomorfologia de Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos a partir de Imagens de Sensores Remotos

PEDRO WALFIR M. SOUZA FILHO¹ & WALDIR RENATO PARADELLA²

¹ Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, CP. 1611, CEP. 66075-110, Belém, Pará, Brasil. e-mail: walfir@ufpa.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, CP. 515, CEP. 12227-010,
S.J. Campos, São Paulo, Brasil. e-mail: waldir@itid.inpe.br

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - Orbital remote sensing data was used to evaluate its applications in the study of wet tropical coastal environments in the Brazilian Amazon (Bragança coastal plain, in the northeastern of the State of Pará). This work was developed as part of the GlobeSAR-2 Program, whose the objectives were build and consolidate the formation of human resources, as well as evaluate the potential and the applicability of the synthetic aperture radar (SAR) RADARSAT-1 in the Latin America. The holocene evolution of the Bragança coastal plain is marked by muddy progradation over a submerging coast, where is developed one of the most mangrove system of the world, with almost 8,900 km². This research has showed that orbital remote sensing data can provide excellent geologic and coastal land use information. The remote sensing data represents a powerful tool to understand the coastal processes in the wet tropical environments, mainly in the mangrove coasts, where the images allow a synoptic view of the area and provide geobotanic (relation between coastal environment and vegetation) and multitemporal information. In addition to integrated data, geographic information system (SIG) combines different data sets and simultaneously it facilitates the spatial and temporal analysis and the relationship between various coastal environments, allowing a more comprehensive, accurate and easier interpretation of the geomorphologic setting. Therefore, remote sensing data integration, SIG and auxiliary fieldwork data present a fundamental role to the integrated coastal zone management, environmental risk assessment, local characterization of the study sites, base maps upgrading and information dissemination for public consultation, which are all significant factors in this decision-making process.

Keywords - mangroves, RADARSAT, LandsatTM.

INTRODUÇÃO

As regiões tropicais úmidas da Terra estendem-se do Equador até cerca de 15° N e S, representando menos de um quarto de toda a superfície terrestre, mas sendo responsável por mais da metade da água doce, partículas e solutos descarregados nos oceanos. Os trópicos úmidos são caracterizados por precipitação alta e constante (> 1.500 mm/ano), altas temperaturas (> 20°) com baixa variação térmica. Além disso, o oceano costeiro tropical apresenta outros fatores em comum, tais como radiação solar alta, grande escoamento de água doce, ventos alísios de leste e fraca força de Coriolis (Nittrouer *et al.*, 1995).

A Planície costeira de Bragança encontra-se situada no maior e mais bem preservado ambiente tropical úmido do planeta, a Região Amazônica, mais especificamente ao longo da costa de manguezais do nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão (Fig. 1), que se estende por cerca de 480 km e vindo a constituir um dos maiores sistemas de manguezal do mundo, com cerca de 8.900 km² (Kjerfve & Lacerda, 1993). Esta costa de manguezal é extremamente irregular e recortada, com inúmeras baías e estuários, ca-

racterizado por um sistema de macromaré semidiurna, com variações médias de 4 m e máxima superior a 7 m, e correntes de marés máximas superiores a 4 m/s no Golfão Maranhense (Rebelo-Mochel, 1997). Os manguezais são desenvolvidos em clima equatorial quente e úmido, com estação chuvosa e seca muito bem definidas e precipitação média anual em torno de 2.500 mm. A temperatura do ar varia de 25° a 27° C e a umidade relativa de 80% a 91% (Martorano *et al.*, 1993).

Geologicamente, a área encontra-se situada na bacia costeira de Bragança-Viseu (Cretáceo), cuja evolução é controlada por falhamentos normais que alcançam a atual zona costeira. O arcabouço estrutural dessa bacia é responsável pelo desenvolvimento de uma planície costeira em submersão (Souza Filho, 2000a), que apresenta um gradiente baixo e uma largura de até 25 km. Tais características, aliadas a estabilidade ou queda relativa do nível do mar a partir de 5.200 anos B.P. e contínuo suprimento sedimentar fluvial tem permitido a progradação da planície lamosa e desenvolvimento do sistema de manguezal (Souza Filho & El-Robrini, 1996).

Esta pesquisa foi conduzida como parte do Programa GlobeSAR-2 para avaliar as aplicações do Radar de Abertura Sintética (SAR) do RADARSAT-1,

Em respeito ao meio ambiente, este número foi impresso em papel branqueado por processo parcialmente isento de cloro (ECF).

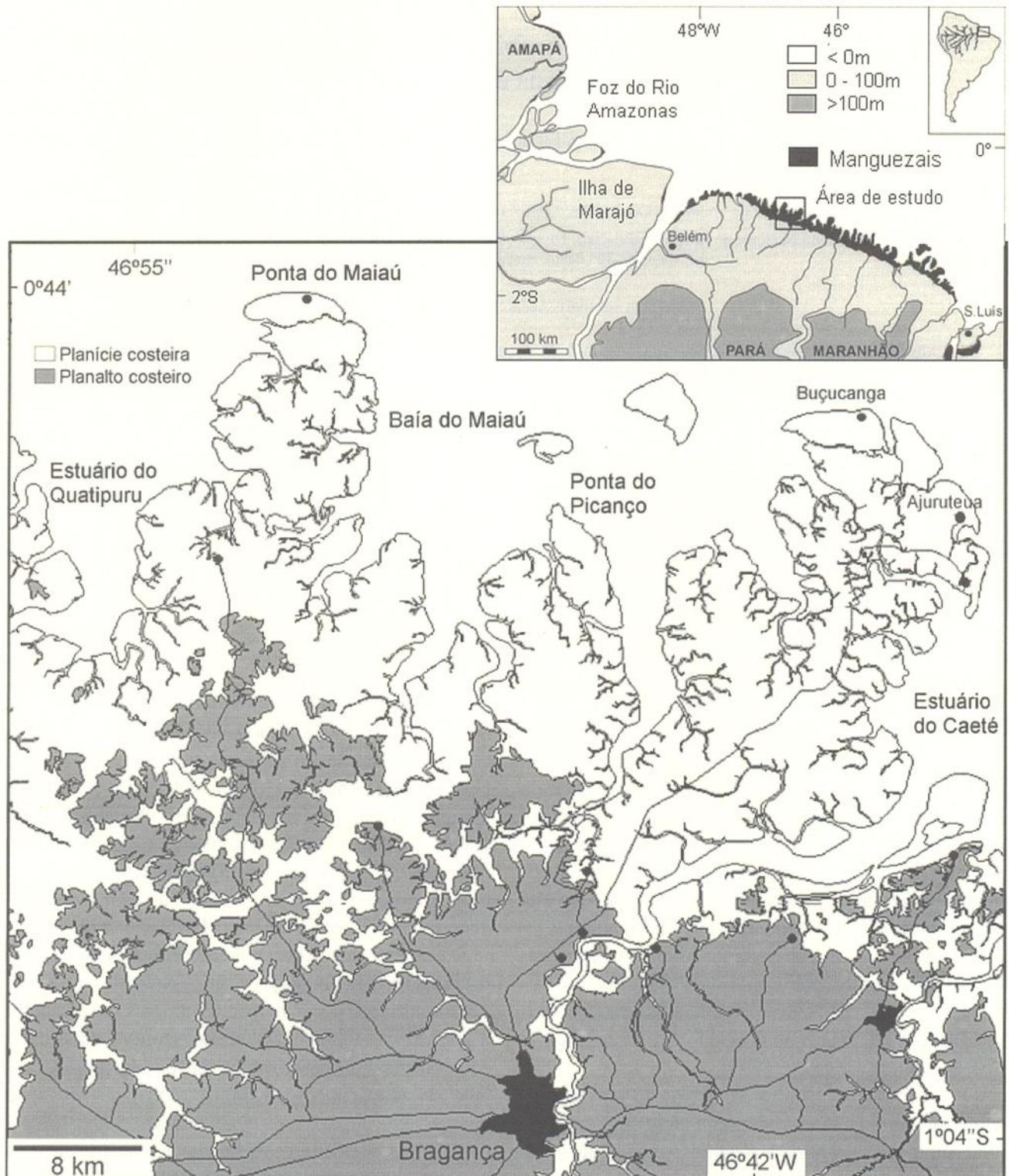


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

suportado pelo Centro Canadense de Sensoriamento Remoto (CCRS), Agência Canadense para Desenvolvimento Internacional (CIDA), Centro de Pesquisa para Desenvolvimento Internacional (IDRC), Agência Espacial Canadense (CSA) e Instituto Nacional

de Pesquisas Espaciais (INPE). Detalhes deste programa no Brasil podem ser encontrados em Paradella *et al.* (1997a). Dentro desse contexto, os objetivos desta investigação foram: (1) reconhecer os ambientes sedimentares costeiros baseados em dados de sensores

remotos ópticos e microondas, (2) avaliar a efetividade de realces de imagens, técnicas de fusão e integração de dados de sensores remotos para mapeamento geológico de ambientes costeiros na Região Amazônica, e (3) mostrar aplicações de dados de sensores remotos integrados, processamento digital de imagens e técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG) no estudo de ambientes costeiros,

SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO COSTEIRA: O PAPEL DOS SENsoRES REMOTOS ORBITAIS

Dado o interesse internacional e reconhecimento da importância da zona costeira, o programa LOICZ (Land-Ocean Interactions in Coastal Zones), juntamente com o IGBP, (International Geosphere-Biosphere Program) tem sido implementado ao longo de todo o mundo. Além do mais, um módulo para monitoramento dos ambientes da zona costeira e suas variações costeiras são também um componente importante no GOOS (Global Ocean Observing System), estabelecido em 1993 (Johannessen, 2000). Os objetivos desses esforços relacionados ao monitoramento da zona costeira podem ser perfeitamente alcançados através da utilização de dados de sensores remotos operacionais na faixa das microondas, óptico e infravermelho (Cracknell, 1999).

Para muitos aspectos do estudo costeiro, a escala dos dados orbitais no passado não apresentava facilidades para o estudo de monitoramento costeiro (dados do Landsat MSS com resolução espacial de 80 m). Entretanto, desenvolvimentos recentes de sistemas de sensores remotos orbitais (SPOT, Landsat 5 e 7, RADARSAT-1 e IKONOS) tem permitido o uso de dados orbitais para diversos estudos costeiros. Assim, a partir de meados da década de 80, com o lançamento de plataformas modernas, imagens de satélite tem sido extensivamente usadas em mapeamento geológico regional. Ao longo deste tempo, a fonte mais usual de dados orbitais ópticos para aplicações em geomorfologia tem sido as imagens do Landsat TM (Thematic Mapper). Levantamentos geomorfológicos costeiros através do Landsat TM têm sido executados em todo o mundo (Jones, 1986; Gowda, *et al.*, 1995; Ciavola *et al.*, 1999; Yang *et al.*, 1999). Durante os últimos 10 anos, radares de abertura sintética vêm sendo utilizados com maior freqüência, principalmente em ambientes tropicais úmidos (Singhroy, 1996; Rudant *et al.*, 1996; Prost, 1997; Costa *et al.*, 2001; Souza Filho & Paradella, 2002), devido a versatilidade dos imageamentos nas microondas, que estende a

capacidade dos sensores ópticos pela oportunidade de penetração em nuvens e chuvas, que são bastante comuns em áreas tropicais úmidas.

Aspectos complementares na utilização dos dados de sensores remotos dizem respeito a integração de diferentes partes do espectro eletromagnético (microondas, infravermelho e visível). Tal abordagem já vem sendo utilizada em aplicações geológicas (Harrys *et al.*, 1994; Paradella *et al.*, 1997 b; Paradella *et al.*, 1998) e em especial em geologia costeira (Singhroy, 1996; Ramsey III *et al.*, 1998; Souza Filho & Paradella, 2002). Nesta abordagem, enquanto as energias nas microondas medidas pelos sistemas SAR fornecem informações das propriedades geométricas (macro e microtopografia ou rugosidade superficial) e elétricas (relacionada ao conteúdo de umidade; Lewis & Henderson, 1998), sensores ópticos tornam possível à extração de informações dos alvos relacionadas à composição físico-química dos materiais (Colwell, 1983). Portanto, a sinergia dos dados SAR e óptico através de produtos integrados permite a detecção, caracterização e monitoramento dos ambientes costeiros e de suas feições, onde a utilização de imagens SAR vem crescendo nos últimos anos, vindo a se constituir na principal fonte de informações espaciais de áreas tropicais úmidas.

Sistemas de informações geográficas vêm sendo utilizados na cartografia de ambientes costeiros, onde imagens de sensores remotos são definidas como uma fonte de informação geográfica, fornecendo importantes feições no domínio do espaço e tempo (Burrough, 1986). Deste modo, a habilidade dos SIGs para combinar um conjunto de dados (SAR, TM, litologia, etc) facilita o relacionamento espacial e temporal de várias fontes de informação em uma base de dados quantitativa, tornando o mapeamento da geomorfologia costeira mais acurado. Esta abordagem aliada a integração de dados multi-sensores pode ser considerada como uma das futuras direções do sensoriamento remoto aplicado a investigação de zonas costeiras

SENSORIAMENTO REMOTO: APLICAÇÕES NA GEOMORFOLOGIA COSTEIRA

Dados orbitais de sensores remotos podem fornecer excelentes informações geomorfológicas e oceanográficas. Imagens do radar de abertura sintética RADARSAT-1 (Fig. 2), no modo de resolução espacial fina ("Fine Beam Mode"), representam uma ferramenta poderosa para o estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, principalmente em costas dominadas por

manguezais em condições de macromaré semidiurna. Assim, o processamento digital das imagens SAR seguido de sua interpretação pode ser usado no mapeamento de ambientes sedimentares costeiros, na determinação da posição precisa da linha de costa, na localização de áreas sujeitas ao desflorestamento e regeneração das florestas de mangue tendo como base a textura, geometria e conteúdo de umidade dos alvos (Souza Filho, 2000b).

Imagens orbitais SAR, combinadas a sensores remotos ópticos devidamente orto-retificados (Toutin, 1995) e corrigidos para um formato UTM comum, permitem a manipulação e comparação de dados pixel a pixel. Desta forma, os dados orbitais podem ser precisos no mapeamento geomorfológico costeiro em am-

bientes tropicais úmidos. Produtos integrados a partir de componentes principais seletivos (SPC) das bandas do sensor TM do satélite Landsat são excelentes dados para integração com o RADARSAT-1, apresentando a melhor performance na discriminação dos ambientes costeiros (Souza Filho & Paradella, 2002). Este aspecto está relacionado à habilidade da análise por SPC tornar possível o uso das seis bandas reflectivas do TM. Assim, o primeiro auto canal (PC1) obtido a partir das bandas TM 1, 2 e 3 é responsável pelo realce da linha de costa e das feições costeiras submersas, uma vez que a PC1 contém cerca de 95 % da variância do espectro visível do TM. Tal produto permite o realce de feições estuarinas submersas, como a morfologia de canais de maré, de barras are-

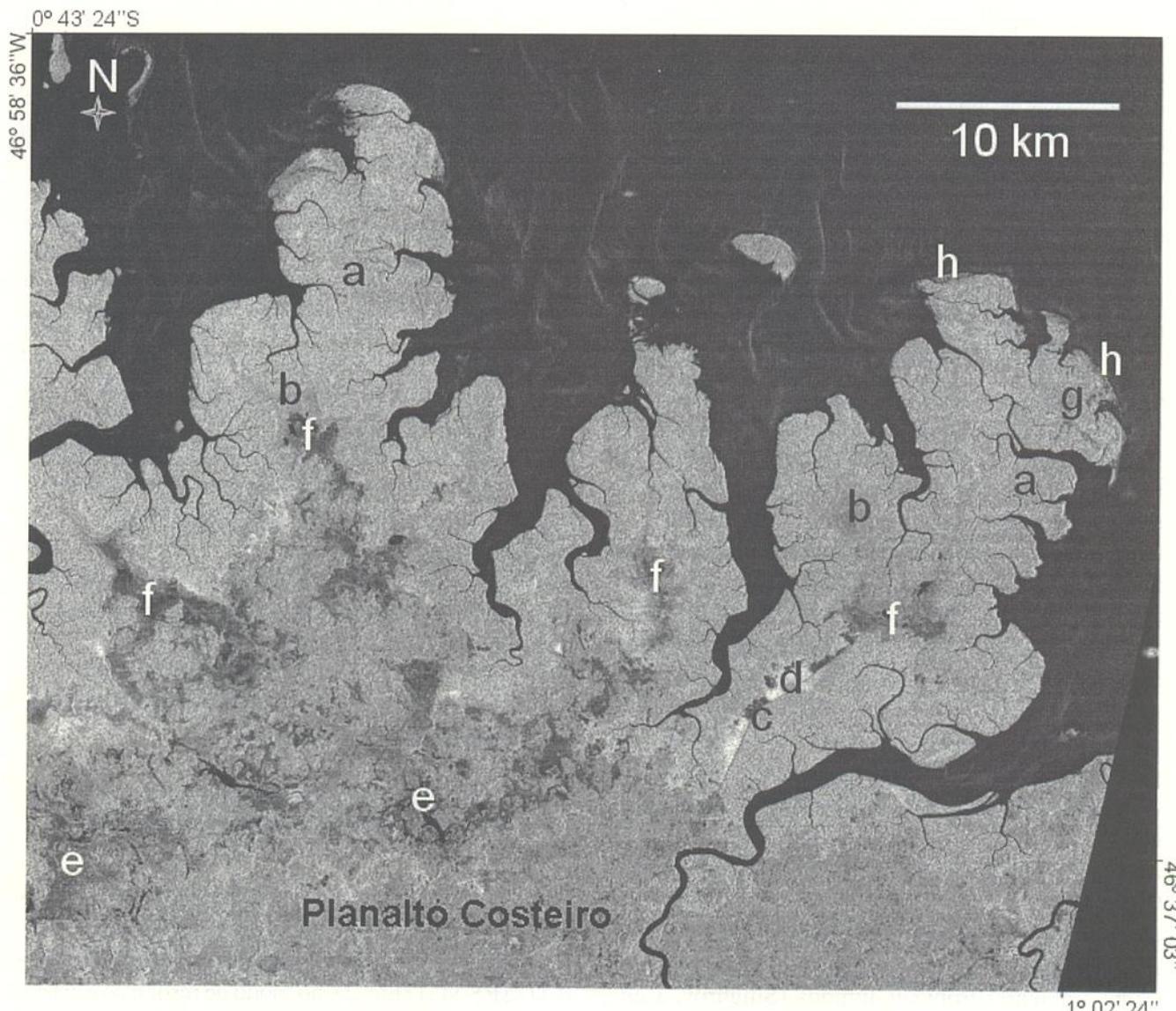


Figura 2 - Imagem do RADARSAT-1 modo de resolução fina (F1) mostrando os principais ambientes costeiros da planície costeira de Bragança (a = manguezal de intermaré, b = manguezal de supramaré, c= manguezal degradado, d = manguezal regenerado, e = pântano salino interno, f = pântano salino externo, g = crista de chenier, h = duna-praia barreira, delta de maré vazante e planície arenosa de maré).

nosas emersas e submersas e de zonas de arrebentação de ondas (Fig. 3). Além do mais, o primeiro auto canal (PC1) obtido a partir das bandas TM 5 e 7 realça as áreas com solos expostos, permitindo a discriminação espectral entre pântanos salinos internos, pântanos salinos externos, manguezais, crista de chenier, duna-praia barreira, canais estuarinos, barras estuarinas e linhas de arrebentação de ondas (Fig. 4). Enquanto a utilização da banda TM 4 permitiu a discriminação da floresta costeira de manguezal da vegetação secundária sobre o planalto costeiro (Fig. 5). Portanto, os dados SAR foram responsáveis pelo realce de feições topográficas, diferenças na altura da vegetação, geome-

tria dos corpos e conteúdo de umidade, enquanto os dados TM forneceram mais informações da cobertura vegetal e variações em sua tipologia.

A partir da interpretação das imagens de sensores remotos aliadas a dados de campo, foi possível a elaboração de um mapa geomorfológico utilizando-se um SIG (Fig. 6). As aplicações dos dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais além de estarem relacionadas ao mapeamento geomorfológico estão associadas a processo de monitoramento das modificações costeiras. Estas estão relacionadas à dinâmica natural do ambiente e a influência antrópica exercida sobre ele.

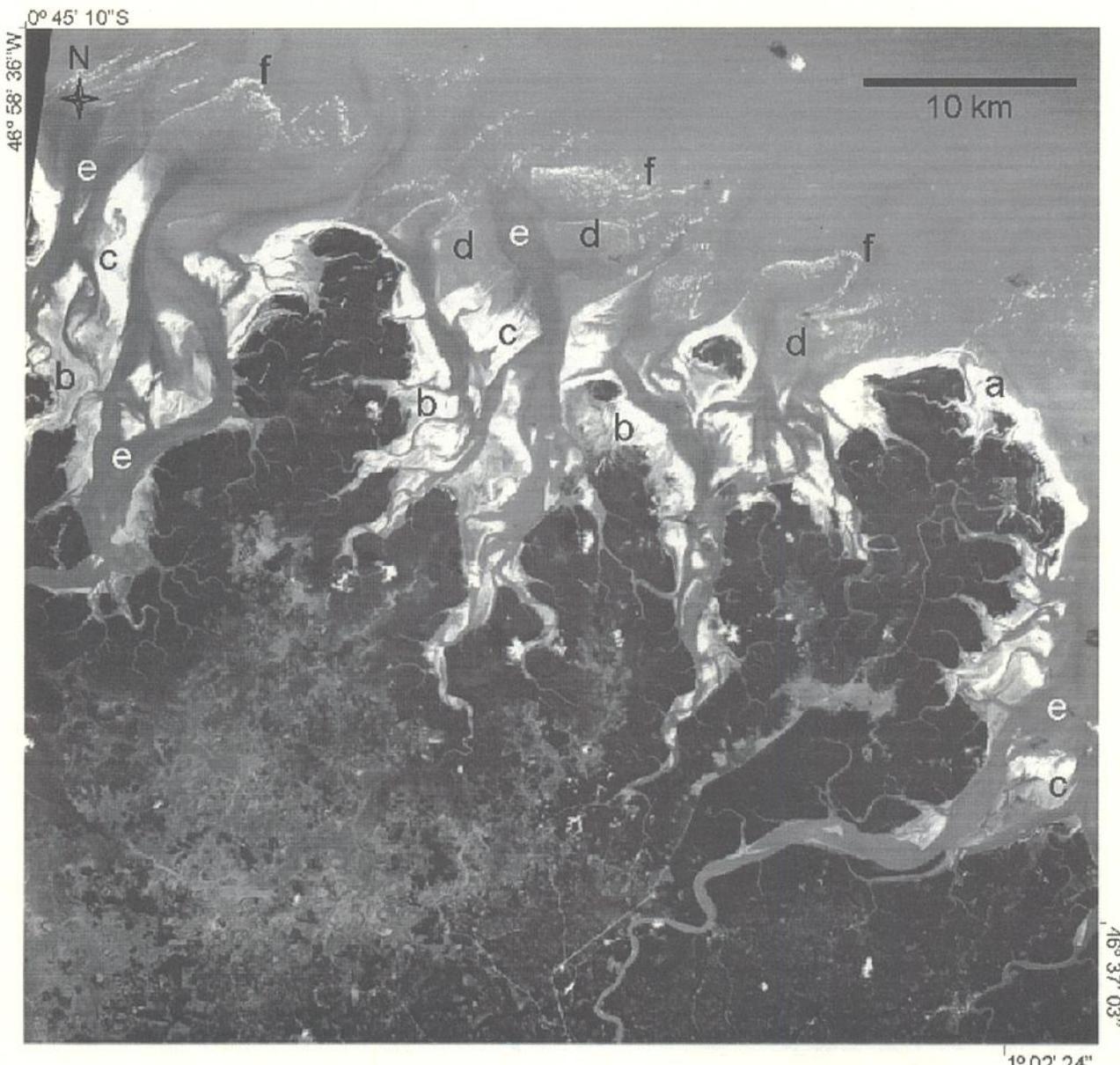


Figura 3 - Primeira componente (CP1) obtida a partir da análise de componentes principais das bandas TM 1,2,3. Observar as principais feições e ambientes costeiros discriminados (a = duna-praia barreira, b = planicie de maré arenosa, c = barras arenosas estuarinas emersas, d = barras arenosas estuarinas submersas, e = canais estuarinos, f = linhas de arrebentação de ondas).

Do ponto de vista da análise espacial de ambientes costeiros, os manguezais constituem um dos melhores ambientes para análise a partir de sensores remotos, tanto no espectro eletro-óptico devido sua alta reflectividade no infravermelho próximo, quanto nas microondas devido seu retroespalhamento, que produz uma textura rugosa. Portanto, os manguezais têm mostrado ser um excelente indicador geológico para detecção e quantificação das variações morfológicas (Souza Filho, 2000b). Eles são os melhores marcadores das posições de linha de costa em ambientes dominados por macromaré, devido seus limites serem facilmente reconhecidos tanto no cam-

po como em imagens de sensores remotos (Souza Filho, 2000c; Fig. 7). Não há dúvidas de que a sensibilidade do sistema de manguezal para registrar variações nos processos costeiros (erosão, deposição e transporte) em diferentes escalas de tempo e espaço, o torna um indicador geológico em potencial para ser monitorado a partir de sensores remotos orbitais.

CONCLUSÕES

A integração de sensores remotos apresenta um papel fundamental para o gerenciamento integrado de zonas costeiras, avaliação de risco

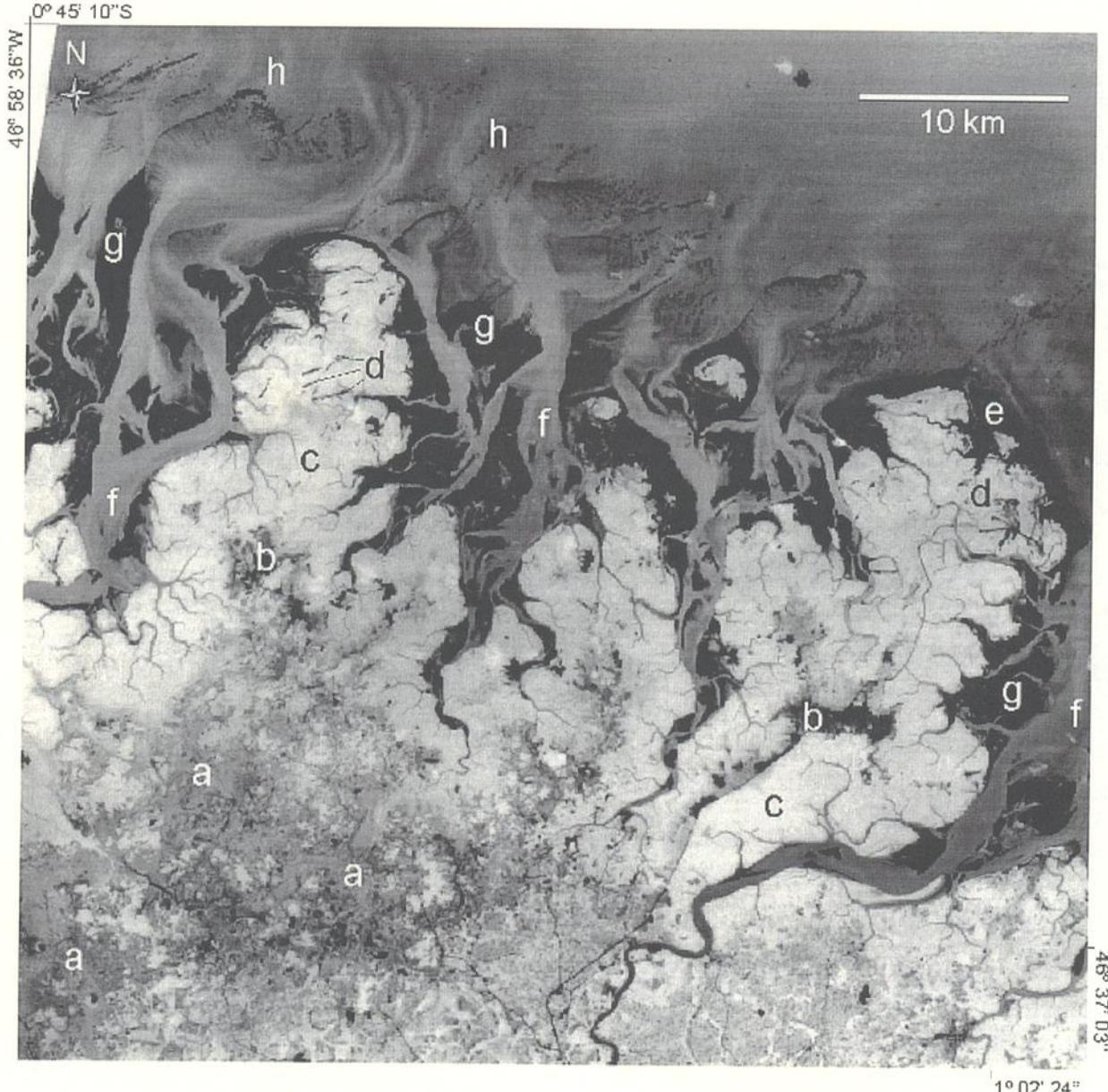


Figura 4 - Primeira componente (CP1) obtida a partir da análise de componentes principais das bandas TM 5,7. Observar as principais feições e ambientes costeiros discriminados (a = pântanos salinos internos, b = pântanos salinos externos, c = manguezais, d = crista de chenier, e = duna-praia barreira, f = canal estuarino, g = barras estuarinas, h = linhas de arrebentação de ondas).

ambiental (erosão e acresção), atualização de mapas bases, geração de mapas temáticos e disseminação da informação de domínio público. A integração de diferentes imagens SAR e TM propiciam uma visão sinóptica da área, fornecendo informações geobotânicas (relação entre o ambiente costeiro e a vegetação sobrejacente) e de variações multitemporais. Deste modo, técnicas de processamento podem ser reconhecidas pelos geocientistas como uma ferramenta poderosa para mapeamento e monitoramento costeiro. Nesta abordagem nos concentrarmos na análise de diversos produtos obtidos a partir de diferentes técnicas de processamento digital de imagens para fins de mapeamento geomorfológico costeiro em áreas tropicais úmidas e em suas aplicações, e não em pro-

blemas costeiros específicos. Desta forma, podemos concluir que o sensoriamento remoto aliado a sistemas de informações geográficas possibilitam uma visão sinóptica dos ambientes costeiros, sendo necessário sabermos quando usá-la e quais os melhores sensores e técnicas de processamento a serem empregadas para determinadas aplicações, quais suas vantagens e desvantagens. Assim, podemos afirmar que a utilização desta abordagem em estudos de geomorfologia costeira é justificada, não só pelo avanço tecnológico, mas também pela facilidade de planejar os trabalhos de campo, reduzir seus custos, e pela grande quantidade de informações adquiridas, imprescindíveis ao conhecimento dos ambientes costeiros tropicais da Amazônia.

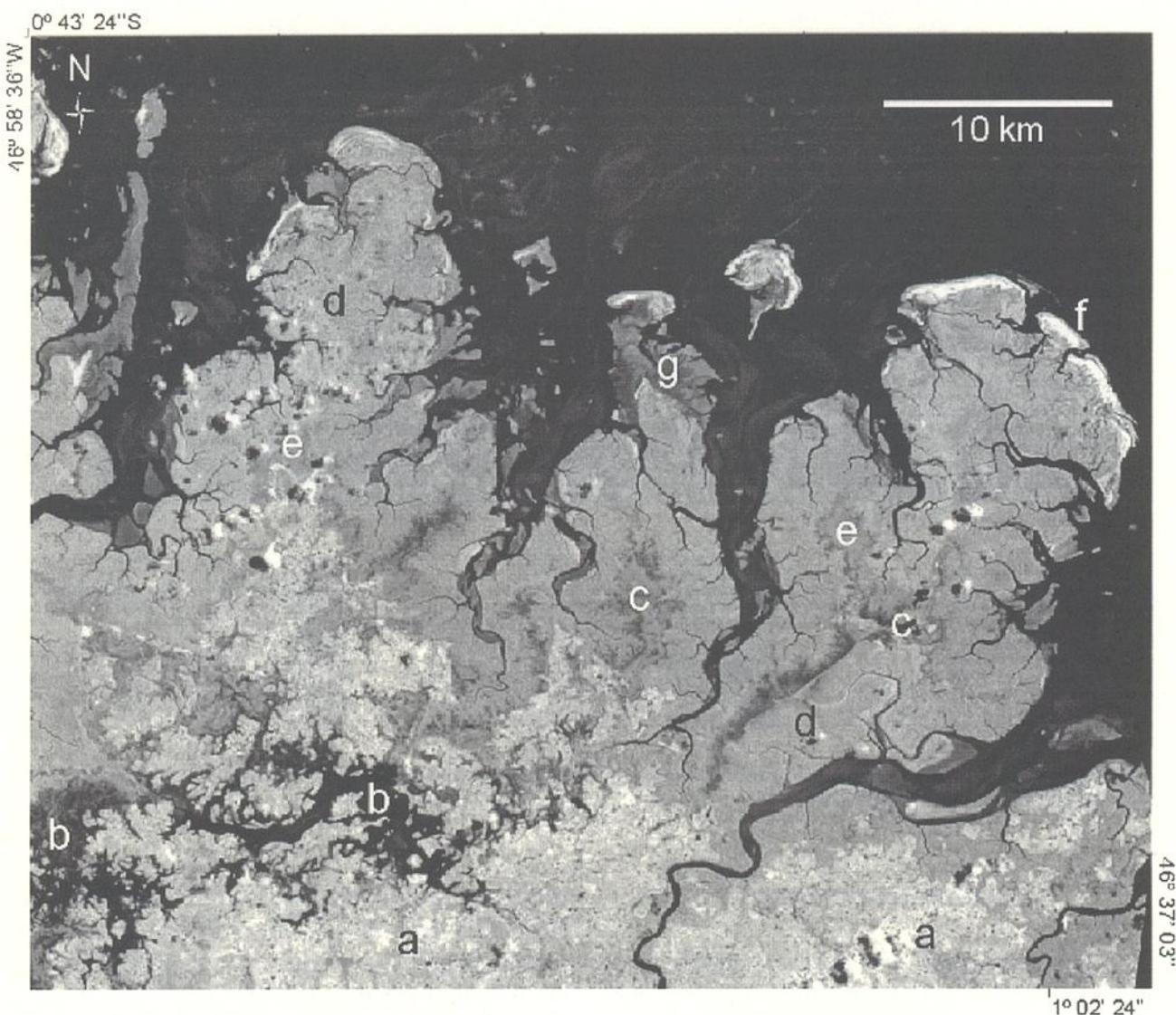


Figura 5 - Banda 4 do Landsat TM 5 mostrando diferentes ambientes costeiros (a = planalto costeiro, b = pântanos salinos internos, c = pântanos salinos externos, d = manguezal de intermaré, e = manguezal de supramaré, f = duna-praia barreira, g = planície arenosa de maré).

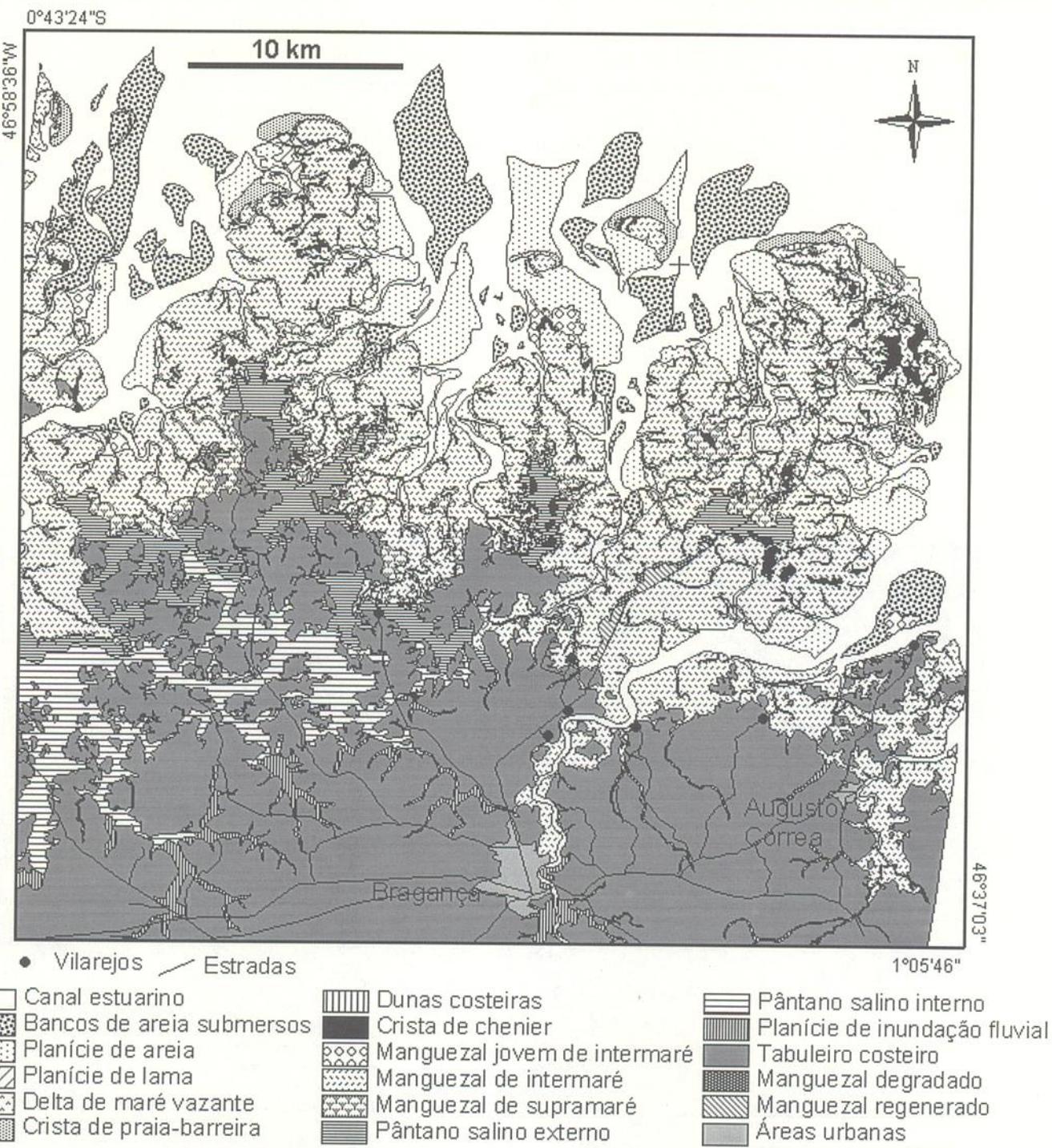
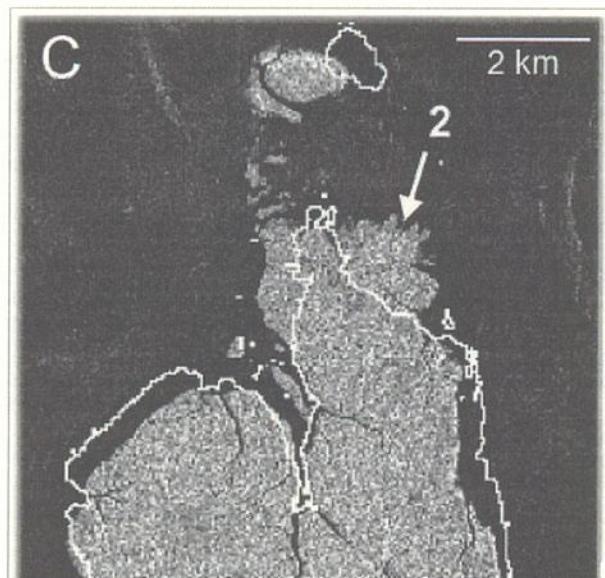
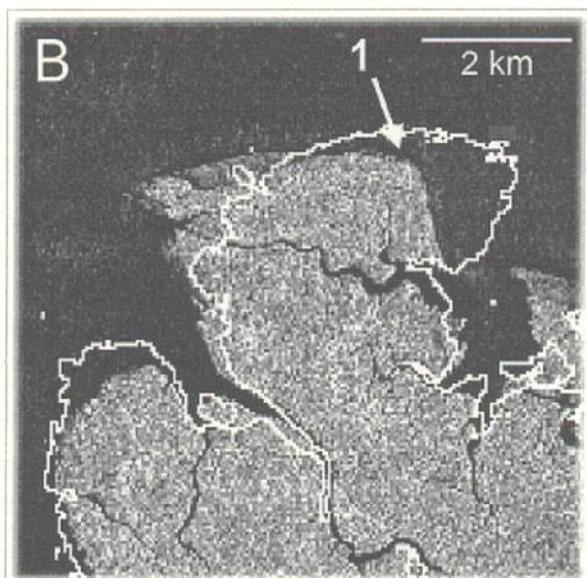
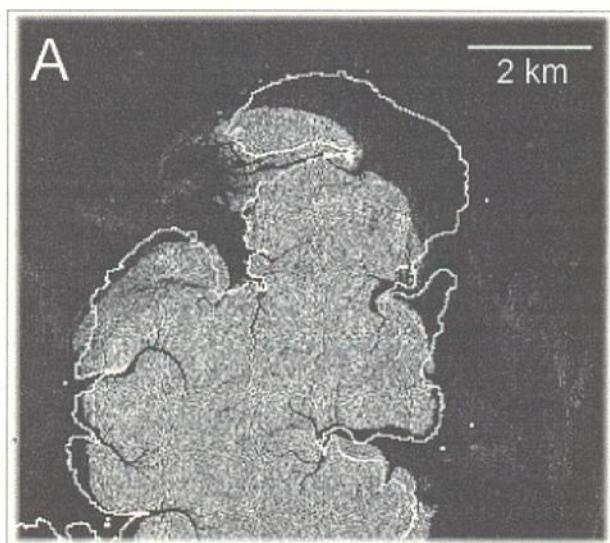
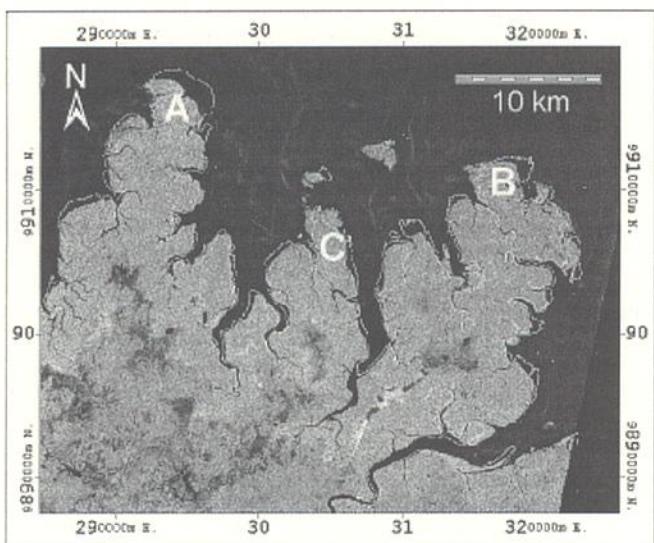


Figura 6 - Mapa geomorfológico da planície costeira de Bragança elaborado a partir da interpretação de dados de sensores remotos integrados – SPC-SAR (modificado de Souza Filho & Paradella, 2002).

AGRADECIMENTOS

Nós gostaríamos de agradecer a Agência Espacial Canadense (CSA) que forneceu a imagem RADARSAT-1 no âmbito do Programa GLOBESAR-2 e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

pelo fornecimento das imagens do Landsat TM 5 e pela disponibilização de sua infra-estrutura para processamento digital das imagens no Laboratório de Tratamento Imagens Digitais (LTID). O primeiro autor agradece a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado durante a realização da tese e o segundo autor é grato



1- Linha de costa em erosão



2- Linha de costa em acresção

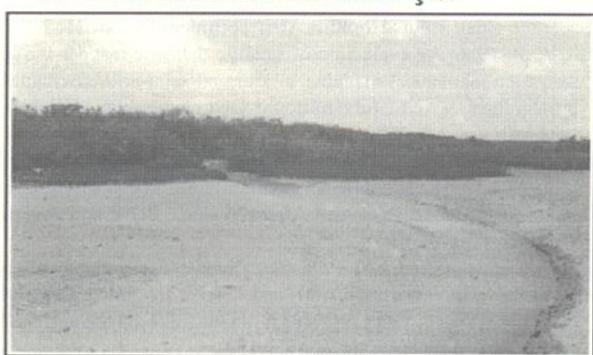


Figura 7 - Aplicação de dados de radar de abertura sintética no estudo de variações de linhas de costa. Imagem RADARSAT-1 de 1998 superposta por um vetor de linha de costa de 1972 extraído de imagens do radar GEMS 1000 (Projeto RADAM). Notar as áreas de erosão (A), acresão (B) e migração de ilha (C).

ao CNPq pelos financiamentos de pesquisa durante esta investigação (processo CNPq # 300985/90-8). Este estudo é resultado do projeto de cooperação MADAM ("Mangrove Dynamic and Management") entre o Centro de Ecologia Marinha Tropical da Universidade e Bremen (Alemanha) e a Universidade Federal do Pará (Brasil), regido pelo Acordo Governamental de Cooperação no Campo da Pesquisa Científica e Desenvolvimento Tecnológico entre Brasil e Alemanha, financiado pelo Ministério da Educação, Ciência, Pesquisa e Tecnologia (BMBF, projeto n.º 03F0154A) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Este artigo representa a contribuição n.º 42 do projeto MADAM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, Clarendon Press, 193p.
- Ciavola, P.; Mantovani, F.; Simeoni, U. & Tessari, U. 1999. Relation between river dynamic and coastal changes in Albania: an assessment integrating satellite imagery with historical data. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 561-584.
- Colwell, R.N. 1983. *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry, Falls Cruch, VA.
- Costa, M.P.F.; Niemann,O.; Novo, E.M.L.M.; Ahern, F. & Mantovani, J.E. 2001. Biophysical properties and mapping of aquatic vegetation during the hydrological cycle of the Amazon floodplain using JERS-1 and RADARSAT. *International Journal of Remote Sensing*, 383p.
- Cracknell, A.P. 1999. Remote sensing techniques in estuaries and coastal zones - an update. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 485-496.
- Gowda, H.H.; Ganesha Raj, K.; Padmavathy, A.S. & Manikian, B. 1995. Multidate satellite data for study of dynamic of coastal landforms of Uttara Kannada, South India. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2539-2553.
- 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. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 20: 210-221.
- Johannessen, J.A. 2000. Coastal observing systems: the role of synthetic aperture radar. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 21: 7-14.
- Jones, A. R. 1986. An evaluation of satellite thematic mapper imagery for geomorphological mapping in arid and semi-arid environment. In: Gardiner, V. (ed.) *International Geomorphology*. Chichester, John Wiley. p. 343-357.
- Kjerfve, B. & Lacerda, L.D. 1993. Mangroves of Brazil. In: Lacerda, L.D. (ed.). *Conservation and sustainable utilisation of mangrove forest in Latin America and Africa regions*. Part Latin America. Okinawa, ITTO/ISME. p. 245-272.
- Lewis, A.J. & Henderson, F.M. 1998. Radar fundamentals: the geoscience perspective. In: Henderson, F.M. and Lewis, A.J. (eds.), *Principles & Applications of Imaging Radar*. Manual of Remote Sensing. 3rd edn. New York, John Willey. p. 131-180.
- Martorano, L.G.; Perreira, L.C.; Cézar, E.G.M. & Pereira, I.C.B. 1993. *Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) e Deficiência Hídrica (Thornthwhite, Mather)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA. 53p.
- Nittrouer, C.A.; Brunskill, G.J. & Figueiredo, A.G. 1995. Importance of tropical coastal environments. *Geo-Marine Letters*, 15: 121-126.
- Paradella, W.R.; Bignelli, P.A.; Veneziani, P.; Pietsch, R.W. & Toutin, T. 1997b. Airborne and spaceborne synthetic aperture radar (SAR) integration with Landsat TM and gamma ray spectrometry for geological mapping in a tropical rain forest environment, the Carajás Mineral Province, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 1483-1501.
- Paradella, W. R.; Krug, T.; Laundry, R. & Pietsch, R. W. 1997 a. GLOBESAR-2: O Programa de Avaliação de Dados do RADARSAT-1 nas Geociências. *Revista Brasileira de Geociências*, 27: 403-406.
- Paradella, W.R.; Santos, A.R.; Dall'Agnol, R.; Pietsch, R.W. & Sant'ana, M.V. 1998. A geological investigation based on airborne (SAREX) and spaceborne (RADARSAT) SAR integrated products in the Central Serra dos Carajás Granite Area, Brazil. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 24: 376-392.
- Prost, M. T. 1997. La mangrove de front de mer en Guyane: ses transformations sous l'influence du système de dispersion Amazonien et son suivi par télédétection. In: Kjerfve, B.; Lacerda, L. D. & Diop, E. H. S. (eds.). *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. Paris, UNESCO. p. 111-126.
- Ramsey III, E. W.; Nelson, G. A. & Sapkota, S. K. 1998. Classifying coastal resources by integrating optical and radar imagery and color infrared photography. *Mangroves and Salt Marshes*, 2: 109-119.
- Rebelo-Mochel, F. 1997. Mangroves on São Luís Island, Maranhão Brazil. In: Kjerfve, B.; Lacerda, L. D.; Diop, E. H. S. (eds.). *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. Paris, UNESCO. p. 145-154.
- Rudant, J.P.; Baltzer, F.; Deroin, J.P.; Lointier, M.; Maitre, H.; Mougin, E.; Pénicand, C. & Prost, M.T. 1996. Apport des images radar satellitaires ERS-1 et JERS-1 dans le domaine de la cartographie générale et thématique en contexte tropical humide: exemples en Guyane française et régions limitrophes. *Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 142: 15-33.
- Singhroy, V. 1996. Interpretation of SAR images for coastal zone mapping in Guyana. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22: 317-328.
- Souza Filho, P. W. M. 2000a. Tectonic control on the coastal zone geomorphology of the northeastern Pará State. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 523-526.
- Souza Filho, P.W.M. 2000b. *Avaliação e aplicação de dados de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais húmidos, Bragança, Norte do Brasil*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, Pará, Brasil, 219p.
- Souza Filho, P.W.M. 2000c. Mangrove as geological indicator of coastal changes in Bragança, Pará, Northern Brazil. BARROS, H. (ed.). In: *Sustainability of Estuaries and Mangroves: Challenges and Prospects*. Proceedings..., Recife, ISME/UFRPE. CDROM, 10p.
- Souza Filho, P.W.M. & El-Robrini, M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina - Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, 4: 1-16.
- Souza Filho, P.W.M. & Paradella, W.R. 2002 Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management*, (em impressão).
- Toutin, T. 1995. Multisource data integration with an integrated and unified geometric modeling. In: Askne, J. (ed.). *Sensors and environmental applications of remote sensing*. Rotterdam, Balkema. p. 163-174.
- Yang, X.; Damen, M. C. J. & Van Zuidam, R. A. 1999. Use of thematic mapper imagery with geographic information system for geomorphologic mapping in a large deltaic lowland environment. *International Journal of Remote Sensing*, 20: 659-681.