

AVALIAÇÃO DE ÁREAS DEPOSICIONAIS E EROSIVAS EM CABOS LAMOSOS DA ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA ATRAVÉS DA ANÁLISE MULTITEMPORAL DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS

Edmilson das Mercês Batista¹, Pedro Walfir M. e Souza Filho² e Odete Fátima Machado da Silveira²

Recebido em 24 abril, 2007 / Aceito em 19 junho, 2008
Received on April 24, 2007 / Accepted on June 19, 2008

ABSTRACT. The Cassiporé and Orange mudcapes in the Northern of Brazil constitute a dynamic environment influenced by the Amazon river, where the shoreline changes are subjected to severe processes of progradation and erosion. Optical and microwaves remote sensed images were acquired from 1980 to 2003, and analyzed in a Geographic Information System (GIS), allowing the identification and quantification of prograding and retrograding areas along the shoreline. During this period, the largest erosion rates had occurred next to the Cassiporé Cape, with mean retreat of 27.5 m of linear distance and erosion of 1.37 km² of mangrove area per year. On the other hand, the largest rates of sediment deposition had occurred in the Orange Cape, where the coastal prograded 24.6 m per year, adding 55.86 km² of mangrove area to shoreline in the last 23 years. The progradation mechanisms have determined an accretion in the mangrove vegetation of 50.8% throughout the last three decades. A sedimentary balance carried out in the study area showed that constructive processes (61.3%) are dominant over erosive processes (38.7%).

Keywords: shoreline changes, mangrove, mud cape, Amapá, Amazon.

RESUMO. Os cabos lamosos Cassiporé e Orange no norte do Brasil constituem um ambiente dinâmico influenciado pelo rio Amazonas, onde as modificações na linha de costa estão sujeitas a severos processos de progradação e erosão. Imagens de sensores remotos ópticos e microondas foram coletadas de 1980 a 2003 e analisadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo a identificação e quantificação da distribuição espacial das áreas de progradação e retrogradação ao longo da linha de costa. Durante este período, as maiores taxas de erosão ocorreram junto ao cabo Cassiporé, com recuo médio de 27,5 metros de distância linear e erosão de 1,37 km² de área de manguezal por ano. Por outro lado, os maiores índices de deposição de sedimentos ocorreram no cabo Orange, onde a planície costeira progradou 24,6 m ao ano, agregando 55,85 km² de manguezal à linha de costa nos últimos vinte e três anos. Os mecanismos de progradação determinaram um acréscimo na vegetação de manguezal de 50,8% ao longo das três últimas décadas. Um balanço sedimentar realizado na área pesquisada demonstrou que predominam os processos construtivos (61,3%) sob os processos erosivos (38,7%).

Palavras-chave: variação de linha de costa, manguezal, cabo lamoso, Amapá, Amazônia.

¹Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Av. Augusto Correa, 1, Campus do Guamá, Caixa Postal 8608, 66075-110 Belém, PA, Brasil. Tel.: +55 (91) 3201-8009; Fax: +55 (91) 3183-1478 – E-mail: ebatista@ufpa.br

²Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido, Av. Augusto Correa, 1, Campus do Guamá, Caixa Postal 8608, 66075-110 Belém, PA, Brasil. Tel.: +55 (91) 3201-8009; Fax: +55 (91) 3183-1478 – E-mails: walfir@ufpa.br; silveira@ufpa.br

INTRODUÇÃO

A gestão e o uso adequado da zona costeira implicam necessariamente no conhecimento dos processos que atuam sobre ela, dentro de uma escala temporal histórica. O estudo da evolução dos litorais, normalmente, pode ser feito a partir de duas escalas temporais distintas: uma de longo prazo, que envolve ciclos de milhares a dezenas de anos, onde os processos de modelagem da costa estão associados às variações climáticas, e outra, de curto prazo (escala de meses ou anos), onde estão envolvidos os processos dinâmicos que controlam a evolução da paisagem na atualidade (Forbes & Liverman, 1996).

Nesta última circunstância, as mudanças podem ocorrer devido a padrões cíclicos de frequência e intensidade de tempestades, de alternância entre períodos chuvosos e secos, de direção e intensidade dos ventos, de regime de ondas e marés, de transporte sedimentar e de balanço local de sedimentos (Nordstrom, 1980), desencadeando processos de erosão, transporte e sedimentação costeira. Por sua vez, a resposta do litoral aos agentes hidrodinâmicos depende da configuração e orientação da costa, dos tipos de materiais que constituem os substratos costeiros, da vegetação e do rearranjo da bacia fluvial adjacente (Souza Filho & Paradella, 2002; França & Souza Filho, 2003).

Em estudos de monitoramento, o ideal é que se possam contemplar as duas escalas temporais, a fim de projetar através dos processos atuais as tendências ou o comportamento da costa (erosão, sedimentação, reativação de cursos fluviais) em um cenário futuro de evolução costeira. Neste contexto, o sensoriamento remoto desponta como uma importante ferramenta para estudos multitemporais, especialmente, em ambientes costeiros dinâmicos, onde as alterações atingem extensas escalas espaciais e se processam com relativa rapidez, como é observado em cabos lamosos.

Na área em estudo, os processos sedimentares atuantes na linha de costa são amplamente controlados pela elevada dinâmica sedimentar e hídrica do rio Amazonas (Warne et al., 2002). O Amazonas despeja um volume médio de água de 6,3 trilhões m^3 /ano, o que corresponde a aproximadamente 16% de toda a água doce descarregada nos oceanos (Oltman, 1968) e uma descarga de sedimentos estimada em $1,2 \times 10^8$ ton/ano (Meade et al., 1985). Do total de sólidos lançados anualmente no Oceano Atlântico, de 10-15% atinge o litoral amapaense e a Guiana Francesa na forma de planícies de maré lamosas (Allison et al., 1995a). Estas planícies funcionam como verdadeiros depósitos de lamazônicas e são ocupadas, em grandes extensões, por florestas de manguezais (Schaeffer-Novelli et al., 2000).

A colonização dos mangues junto ao litoral do Amapá é in-

terpretada, freqüentemente, como sinal da estabilidade do sedimento na planície de maré lamosa (Lefebvre et al., 2004). De forma contrária, quando as ondas embatem contra o litoral, os sedimentos da planície de intermaré são removidos e a vegetação de manguezal, desprotegida, passa a ser dominada pela erosão (Allison & Lee, 2004).

Manguezais são, portanto, importantes geoindicadores de mudanças geomorfológicas, sedimentares e oceanográficas em ambientes costeiros tropicais (Souza Filho et al., 2006), pois podem atuar como medida de processos e fenômenos geológicos que ocorrem em superfície, em escala temporal de até cem anos, fornecendo informações significativas para uma avaliação ambiental (Berger, 1996).

A ferramenta do sensoriamento remoto associado com trabalhos de campo permite inferir sobre vários dos processos assinalados, uma vez que, em imagens de sensores remotos ópticos, o manguezal apresenta alta reflectividade no infravermelho próximo (Souza Filho & Paradella, 2001), sendo possível identificá-lo com grande habilidade em planícies de maré. De forma similar, em imagens SAR (Radar de Abertura Sintética), este tipo de vegetação apresenta retroespalhamento devido às variações em sua altura, na geometria de seu dossel e no conteúdo de umidade, gerado pela influência das chuvas e inundação por marés (Proisy et al., 2000; Gonçalves, 2005; Trebossen et al., 2005; Batista, 2006).

Por sua vez, os SIG's têm sido largamente utilizados como suporte para análise espacial e modelagem de fenômenos, especialmente, no monitoramento de processos costeiros. Nestes estudos, os bancos de dados georreferenciados podem registrar, mapear e quantificar com precisão, diferentes posições de processos erosivos e acrecionários em planícies costeiras (França & Souza Filho, 2003), expressando essas variáveis em distâncias lineares, taxas e percentagens (Gowda et al., 1995; Faure, 2001).

Este artigo apresenta metodologias de processamento e interpretação de imagens de sensores remotos para estudos de monitoramento costeiro, visando a quantificação de alterações ocorridas em linha de costa em ambientes de planície de maré lamosa, em médio e curto período, mediante o uso de sistemas de informações geográficas (SIG's). A escolha da área de estudo deve-se a sua importância ecológica e baixa ocorrência de processos antrópicos, considerando que no local localiza-se o Parque Nacional do Cabo Orange. Na abordagem, o movimento da linha de costa forneceu um registro da direção das mudanças relacionadas ao recuo e avanço da linha de costa, determinando os trechos onde a erosão e a acumulação de sedimentos vêm acontecendo nas últimas três décadas.

ÁREA DE ESTUDO

A área investigada está localizada a 400 km da foz do rio Amazonas, entre as latitudes 3° e 5° Norte e 51° e 52° de longitude Oeste, sendo representada pelos cabos lamosos Cassiporé e Orange (Fig. 1).

O embasamento regional do planalto costeiro é formado por rochas do Escudo Pré-cambriano das Guianas (Avelar, 2002). Em menores proporções estão os depósitos Neógenos plio-pleistocênicos (Grupo Barreiras), caracterizados por sedimentos do tipo arenito fino e grosso, siltito e argilito com lentes de conglomerado e arenito grosso (CPRM, 2004), manifestados na paisagem através de um relevo com suaves ondulações, cujas cotas topográficas variam de 30 a 200 metros.

A zona costeira dos cabos Cassiporé e Orange, no norte do Estado do Amapá, engloba os sedimentos holocênicos de origem marinha e flúvio-estuarina. Nessa faixa litorânea, as altitudes geralmente estão situadas ao nível médio das marés, sofrendo constantes modificações geomorfológicas, erosionais ou deposicionais, causadas principalmente por processos hidrodinâmicos das marés, correntes de marés e ondas.

A área está inserida em uma costa aberta dominada por mesomares (amplitudes de 2-3 metros; DHN, 2004), compartimentada em dois domínios geomorfológicos: (1) Planície costeira, composta pelos ambientes de planícies lamosas de intermaré e supramaré, e (2) planície aluvial, formada por pântanos de água doce, lagos, depósito em barra fluvial e planície de inundação fluvial (Batista, 2006) (Fig. 1).

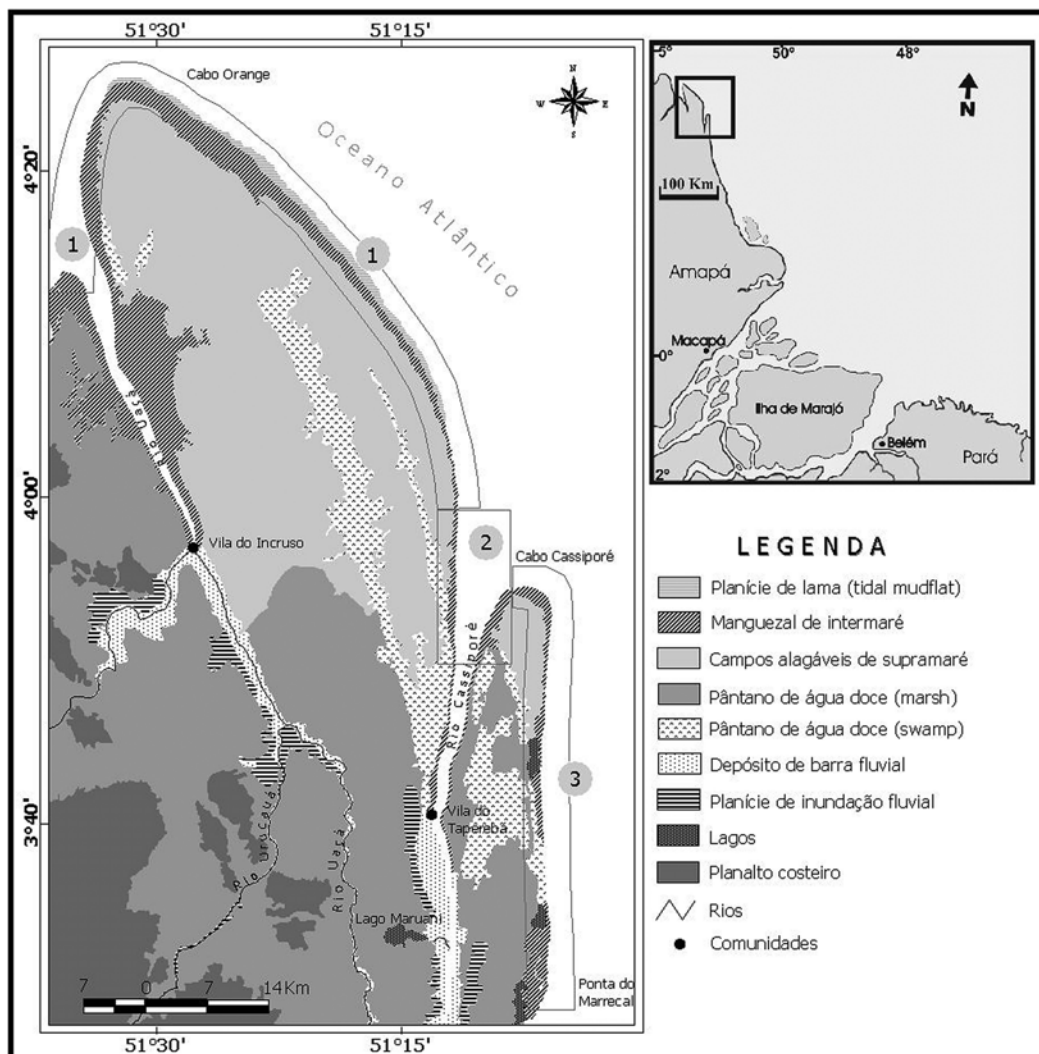


Figura 1 – Localização da área de estudo, mostrando distribuição dos ambientes e feições costeiras do local. Junto ao litoral, os números representam a setorização da área conforme o processo dominante (erosão ou acreção).

O tipo de circulação oceânica estabelecido próximo à plataforma continental interna da região de estudo é predominantemente dirigido para noroeste, em função da Corrente Costeira Norte Brasileira (CCNB), cuja velocidade de fluxo é superior a 1m/s (Beardsley et al., 1995). Os ventos alísios de sudeste, paralelos ao litoral, mudam de direção durante os meses de janeiro a março, quando passam a soprar com maior intensidade de nordeste, portanto perpendicularmente ao litoral (Nittrouer & Demaster, 1996). As ondas geradas por estes ventos são maiores que aquelas induzidas pelos alísios de sudeste e, em vez de estimular a erosão, trazem sedimentos finos da plataforma em direção à costa, na forma de bancos de lama fluidas submersos (Nittrouer et al., 1995).

O clima é do tipo Ami, segundo Köppen com temperatura média anual de 27°, umidade relativa do ar de 82% e precipitação pluvial anual superior a 3.000 mm, com as chuvas distribuídas de dezembro a julho.

A vegetação da planície costeira na região é caracterizada pela ocorrência de campos herbáceos, arbustivos, vegetação de várzea e mangues. Para a vegetação de mangue os gêneros dominantes são *Rhizophora harrisonia*, *R. mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (Herz, 1991). No planalto, predomina a floresta ombrófila de terra firme, característica de toda região amazônica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa o geoindicador da linha de costa estabelecido foi o correspondente à vegetação de mangue adulta, que permanece invariável independente da condição de maré. Este indicador foi definido em virtude de sua capacidade para mensurar e avaliar processos e formas costeiras, considerando que a vegetação de manguezal constitui um dos melhores ambientes para análise espacial de ambientes costeiros a partir de sensores remotos orbitais (Souza Filho & Paradella, 2003; Fromard et al., 2004; Chu et al., 2006; Souza Filho et al., 2006).

Para constituir as séries temporais utilizadas nesta análise multitemporal, foi selecionado um conjunto composto por três imagens ópticas dos sensores MSS, TM e ETM-7 do Sistema Landsat e três imagens SAR dos sistemas RADARSAT-1, JERS-1 e missão SRTM, todas com data de geração entre os anos de 1980 a 2003 (Tab. 1).

No processamento dos dados utilizaram-se os *softwares* PCI Geomatica 9.1 e Global Mapper 5. Para manipulação de dados vetoriais digitais, análises quantitativas e qualitativas, bem como para geração de mapas valeu-se do *software* ArcView GIS 3.3.

A partir dos materiais utilizados foram realizados os procedimentos metodológicos constantes do fluxograma demonstrado na Figura 2. As etapas estão detalhadas nos itens a seguir.

Correção geométrica dos dados de sensores remotos

Neste trabalho, duas metodologias para correção geométrica foram empregadas. Nas imagens TM/ETM-Landsat e SAR/RADARSAT de 2000, o método utilizado foi a correção geométrica de alta precisão ou ortorretificação, conforme modelo proposto por Toutin (1995). Nas imagens MSS/Landsat e JERS-1, valeu-se do uso do modelo matemático polinomial de primeira ordem, face a indisponibilidade dos dados de efemérides dos satélites.

As imagens Landsat (de 1992 e 2000) não foram corrigidas geometricamente, uma vez que estas já foram adquiridas ortorretificadas (Tucker et al., 2004). A utilização destes produtos garantiu a padronização do processo de georreferenciamento, permitindo a sobreposição de imagens e a comparação de dados pixel-a-pixel.

Em todos os casos, as imagens foram corrigidas geometricamente para a projeção cartográfica geográfica e o elipsóide WGS 84.

Na ortorretificação da imagem RADARSAT-1 Wide, o DEM utilizado foi extraído do modelo digital de elevação SRTM (Rabus et al., 2003). Durante o processo de ortorretificação foi aplicado o filtro "Enhanced Frost", com janela 5×5 para redução do

Tabela 1 – Características dos dados de sensoriamento remoto utilizados.

Sensor / plataforma	Data de aquisição	Ângulo de incidência	Resolução espacial (m)	Swath (km)	Bandas espectrais
MSS/Landsat 2	15/08/1980	nadir	79 × 79	185	5,6,7
TM/Landsat 4	16/10/1992	nadir	30 × 30	185	3,4,5
SAR/JERS-1	Maio/1996	34° - 43°	90 × 90	mosaico	L (23,5 cm)
ETM/Landsat 7	11/09/2000	nadir	28,5 × 28,5	185	3,4,5
Modelo digital de elevação (SRTM)	Fevereiro/2000	17° - 65°	90 × 90	111	C (3,1 cm)
RADARSAT-1 Wide	08/01/2003	20° - 31°	35,5 × 27,0	150	C (5,6 cm)

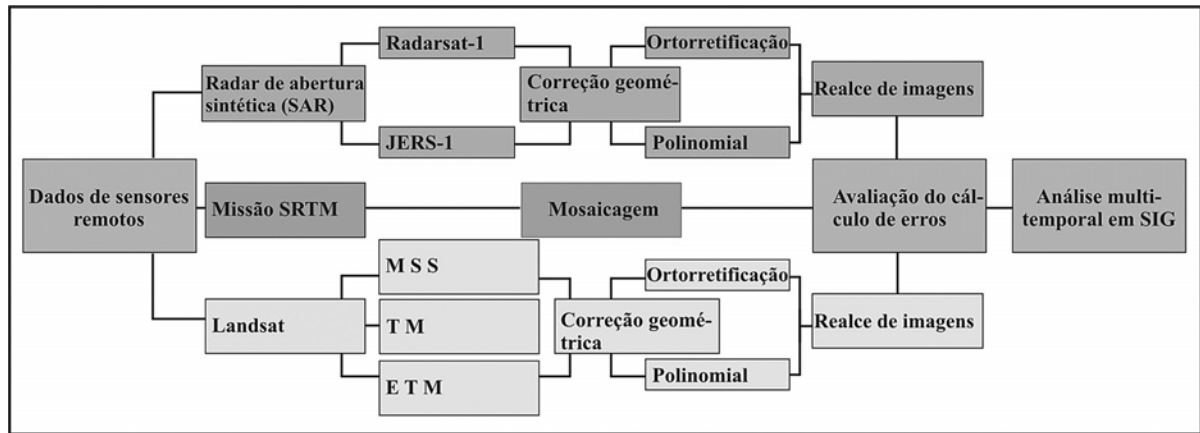


Figura 2 – Fluxograma da metodologia adotada nesta pesquisa.

“speckle”. A coleta de pontos de controle-GCP’s foi realizada pelo método imagem-imagem. As imagens Landsat TM 4 (1992) e Landsat ETM 7 (2000), foram tomadas com referência. No final, foram coletados 17 pontos de controle e o erro estabelecido (RMS) foi de 1,72 pixel.

Para o georreferenciamento da imagem JERS-1, o mosaico foi registrado a partir da imagem Landsat ETM 7. Foram coletados 34 pontos de controle, obtendo-se erro (RMS) menor que um pixel, com reamostragem pelo método do vizinho mais próximo.

Por fim, a cena Landsat MSS foi corrigida a partir da imagem Landsat de 2000, selecionando-se 18 pontos de controle, obtendo-se erros (RMS) de 0,81 pixel (63,99 m).

Após a correção geométrica das imagens foi aplicado um realce baseado na ampliação linear de contraste em todas as imagens.

Considerando o erro obtido durante o processo de georreferenciamento, estabeleceu-se a partir de regra de três simples a margem de erro geométrico para cada imagem e o erro geométrico máximo ou cumulativo para cada período analisado (Tab. 2).

Avaliação do cálculo de erros a partir dos pontos de controle

Esta técnica permite excluir da análise multitemporal, ou seja, das quantificações, os erros inerentes à correção geométrica das imagens, evitando interpretações equivocadas sobre a erosão e sedimentação costeira. Por exemplo, na interpretação das cenas geradas no período de 1980 a 1992, pode-se afirmar que alterações na linha de costa, ocorridas em áreas com até 0,0055 km² ou de até 42,87 m de distâncias lineares (erro geométrico cumulativo) são desconsideradas em função de estarem fora do limite de detecção dos dados orbitais. Conseqüentemente, regiões que apresentarem modificações no período com até esta magnitude são consideradas como estáveis na interface da linha de costa.

Análise dos dados em sistemas de informações geográficas

Após as etapas de processamento dos dados orbitais, foram traçados, com o uso do *software* ArcView 3.3, vetores marcando a posição da linha de costa em todas as imagens analisadas. Em

Tabela 2 – Margem de erro geométrico para cada imagem e cumulativo para o período analisado.

Ano de aquisição da imagem	Erro geométrico individual			Intervalo de tempo	Erro geométrico cumulativo	
	Por área (km ²)	Linear (m)	RMS (por pixel)		Por área (km ²)	Linear (m)
1980	0,0050	63,99	0,81	1980/1992	0,0055	42,87
1992	0,0005	18,32	0,61	1992/1996	0,0054	71,42
1996	0,0049	53,10	0,59	1996/2000	0,0054	69,99
2000	0,0005	16,89	0,56	2000/2003	0,0008	38,39
2003	0,0003	21,50	1,72			

seguida, realizou-se a edição de polígonos, a sobreposição dos vetores, classificação e quantificação das áreas onde ocorreram mudanças, bem como, a mensuração de distâncias lineares, taxas e porcentagens. Com o emprego desta técnica foram mapeadas, comparadas e quantificadas as diferentes mudanças ocorridas na linha de costa.

Delimitação e evolução dos manguezais costeiros

Nesta abordagem, as quantificações para os manguezais constantes do trabalho de Herz (1991) foram comparadas com os produtos atuais de sensores remotos aqui utilizados. Para tanto, em ambiente de banco de dados geográfico (SIG), foram traçados polígonos com os limites dos manguezais no ano de 2003 e calculadas as áreas para cada setor individualizado.

Trabalhos de campo

Um sobrevôo e uma excursão de campo foram realizados durante os meses de julho (período chuvoso) e setembro (período seco) de 2005. Nas áreas visitadas, os trabalhos foram de caracterização e validação das informações extraídas a partir dos produtos de sensoriamento remoto, especificamente, na identificação da configuração dos processos atuantes na linha de costa relacionados com a deposição e erosão costeira. De forma complementar, o sobrevôo contribuiu com o reconhecimento das áreas de difícil acesso.

RESULTADOS

Modificações da linha de costa

Ao se observar as diferentes posições assumidas pela linha de costa ao longo do período analisado, a área de estudo foi subdividida em três setores, de acordo com o processo dominante, isto é, erosão ou acreção (Fig. 1). O Setor 1 possui cerca de 90 km de extensão e compreende desde a Ponta do Mosquito (foz do rio Uaçá) até a desembocadura do rio Cassiporé (nordeste do cabo Orange). O Setor 2 equivale à foz do rio Cassiporé e se estende por cerca de 20 km e o Setor 3 representa o cabo Cassiporé (até a Ponta do Marrecal), possuindo uma extensão de 50 km.

Cabo Orange – Setor 1

Comparações entre as diferentes imagens de sensores remotos (de 1980 a 2003) demonstram que em todo o período analisado o cabo Orange sofreu acreção de sedimentos, com diferentes taxas de acumulação para cada série temporal de imagens (Fig. 3). A resposta natural da linha de costa à deposição de sedimentos foi a formação de bosques jovens de mangue junto à planície lamosa.

Neste setor os pulsos de variação da linha de costa, registrados com o crescimento da vegetação de mangue, quando quantificados, foram estimados em 55,85 km² de sedimentos anexados a zona costeira no período de vinte e três anos. As maiores taxas de progradação costeira aconteceram no período de 2000-2003, quando quase metade desta área (26,13 km²) foi ocupada pela vegetação de mangue, ou seja, progradou em direção ao mar. Este processo aconteceu, provavelmente, devido à presença de bancos lamosos em *offshore*. Linearmente, a planície avançou ao longo dos 23 anos investigados ~566,2 m (24,6 m/ano).

A Tabela 3 quantifica por setor trabalhado, as mudanças ocorridas em termos de erosão (-) ou sedimentação (+) a partir de polígonos da vegetação de mangue estabelecida no litoral e apresenta, ao final, um balanço sedimentar dos três setores envolvidos.

As feições morfológicas resultantes do processo de deposição sedimentar na área de estudo são representadas por extensas planícies de maré lamosa, pelos bancos lamosos de inframaré e pelos cabos lamosos. Nas imagens de radar tomadas em baixamar, podem ser observados, ao longo do litoral do cabo Orange a presença de bancos lamosos em tons escuros (Fig. 4A), devido ao mecanismo de espalhamento especular que causa um contraste com a vegetação de mangue que espalha de forma difusa (tons de cinza; Fig. 4B).

No cabo Orange, as planícies de maré lamosa desenvolvem uma vegetação pioneira de mangue, constituída principalmente pelas espécies *Avicennia* sp. O manguezal contribui diretamente para o processo geomorfológico de progradação, pois fornece um mecanismo adicional de retenção e fixação de sedimentos, atuando como “armadilhas” para o sedimento e servindo, também, como proteção à remoção pelo ataque das ondas (Allison et al., 2000). Apresenta padrões de sucessão vegetacional denominado por Prost et al. (2001) como “escada”, mostrando estratos de espécies pioneiras, sucedidos por bosques jovens e bosques adultos (Fig. 5).

No extremo norte, os manguezais estendem-se em toda parte frontal e lateral do cabo Orange, apresentando sucessões em forma de arcos, com larguras que variam de 1 a 3 km, encontrando-se em franco desenvolvimento em direção a plataforma interna, sendo limitados internamente por extensos campos alagáveis (pântanos) e externamente por uma planície lamosa não vegetada (*tidal mud flat*) exposta durante a baixa-mar.

Analisando o formato curvado assumido pelo cabo Orange é possível também notar que o direcionamento do processo de acumulação de sedimentos à planície costeira neste trecho apresenta, ora comportamento acrecionário em direção NW, ora em

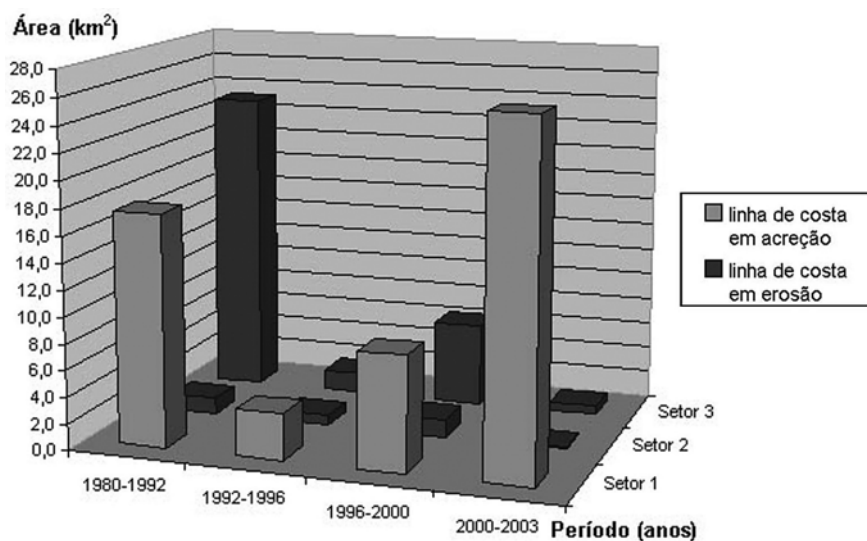


Figura 3 – Taxas de acumulação/erosão quantificadas na área de estudo.

Tabela 3 – Modificações ocorridas na linha de costa: acreção (+) e erosão (-) costeira no período de 1980-2003.

Período (anos)	Setor 1: Cabo Orange		Setor 2: Foz do Rio Cassiporé		Setor 3: Cabo Cassiporé	
	Área (km ²)	Distância linear (m)	Área (km ²)	Distância linear (m)	Área (km ²)	Distância linear (m)
1980-1992	+17,48	194,2	-1,21	60,5	-23,19	463,8
1992-1996	+3,53	39,2	-0,75	33,0	-1,56	31,2
1996-2000	+8,71	96,7	-1,34	67,2	-6,28	125,6
2000-2003	+26,13	236,1	-0,13	7,2	-0,66	13,2
Balanco sedimentar por área (1980-2003)	+55,85	566,2	-3,43	167,9	-31,69	633,8

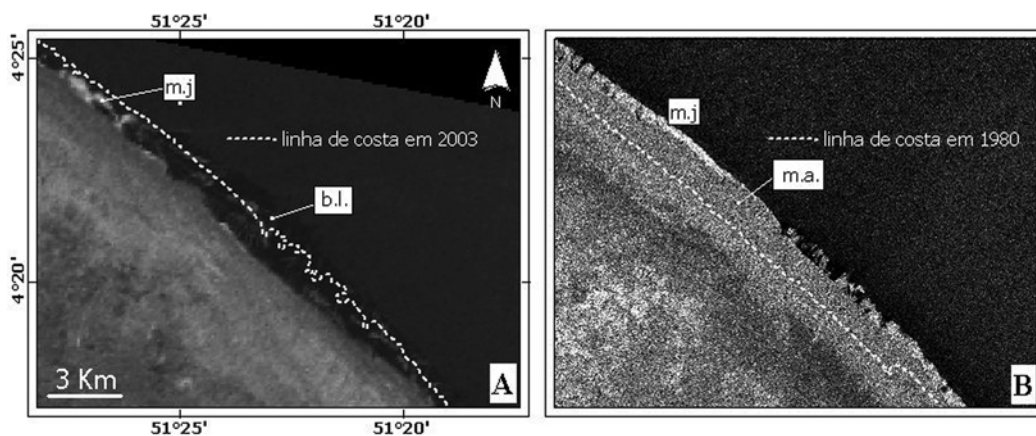


Figura 4 – Evolução da linha de costa ao longo do cabo Orange: **A)** imagem JERS-1 obtida em 1996 superposta por um vetor da linha de costa em 2003. **B)** imagem RADARSAT-1 obtida em 2003 superposta por um vetor da linha de costa em 1980. Observar as feições e ambientes morfológicos: m.j = mangue jovem; m.a. = mangue adulto; b.l. = bancos lamosos.

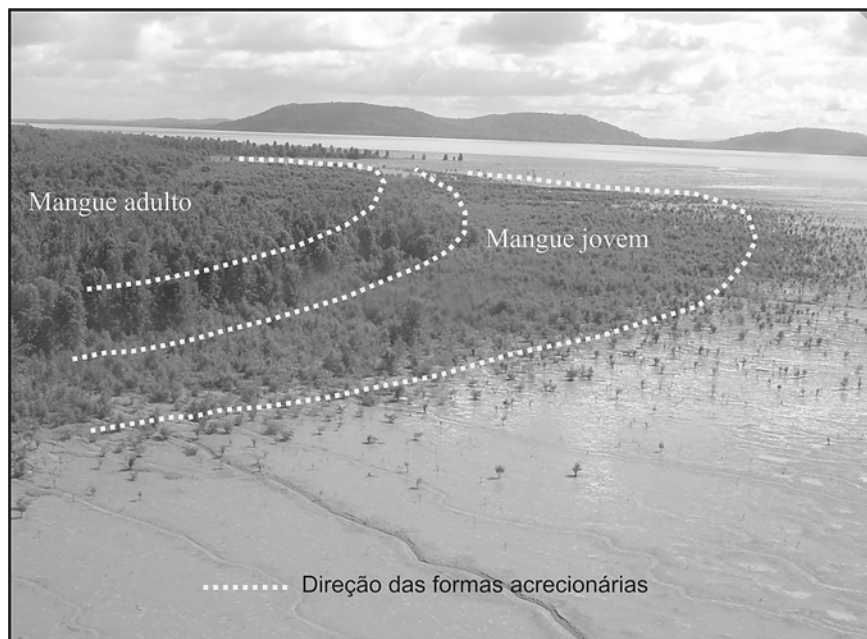


Figura 5 – Processo e feição morfológica decorrentes da acreção costeira no cabo Orange: crescimento do cabo lamoso com sucessão de vegetação pioneira e jovem de mangue estabelecida.

sentido NE. Estas diferentes configurações evidenciam diferentes fases de progradação dos ambientes e feições costeiras, resultados de períodos de maiores ou menores descargas do rio Amazonas (Silveira, 1998) ou podem estar ligadas a mudanças no comportamento das correntes de deriva litorâneas (Boaventura & Narita, 1974).

Fenômenos de progradação costeira no local estão relacionados com mecanismos de sedimentação, controlados pelo aporte de material de fina granulometria (silte e argila) lançados pelo rio Amazonas em sua foz no Oceano Atlântico, sendo transportados por cerca de 1500 km em direção nordeste pela ação da Corrente Costeira Norte Brasileira (CCNB).

Setores progradação caracterizam-se morfologicamente por zonas de intermaré, onde a acumulação de sedimentos vem acontecendo junto à franja de manguezal por ocasião das premares, através de ondas solitárias e correntes de maré em taxas de acumulação superiores a 2 cm/ano (Allison, 1993). Segundo Allison & Lee (2004), esta região encontra-se inserida numa extensa planície lamosa moderna, acrecionária, que se desenvolve desde o extremo norte do Brasil, aparentemente, a partir do cabo Orange até o Delta do Orinoco (costa da Venezuela).

Os estratos argilosos encontrados na planície de intermaré ao norte do Amapá, apresentam disposição paralela ao litoral, com largura variável de 2 a 5 km após a franja de manguezal, sendo a acumulação de sedimentos recente (entre 500–1300 anos), em

trechos da linha de costa onde a profundidade média atinge de 4 a 6 metros (Allison et al., 1995a).

A planície lamosa costeira apresenta uma largura variável de até 500 metros, quando exposta durante a baixa-mar, com baixo gradiente até a isóbata de 5 metros, variando de 1:2000 no cabo Cassiporé, até 1:3200, ao longo do flanco do cabo Orange (Allison et al., 1995b), sendo recortadas, ocasionalmente, por canais de marés (*tidal creeks*) pouco profundos (<0,5 m), orientados perpendicularmente à linha de costa.

Foz do rio Cassiporé – Setor 2

A segunda área investigada atinge o estuário do rio Cassiporé, entre os cabos Cassiporé e Orange (Fig. 1). O rio Cassiporé nasce entre as rochas do escudo Pré-cambriano das Guianas e despeja no Oceano Atlântico anualmente $3,8 \times 10^9$ m³ de água e $1,2 \times 10^5$ toneladas de sedimentos (Allison et al., 1995a). Em seu estuário o fluxo das águas drenadas quando conjugado com a ação das marés faz desenvolver o fenômeno da pororoca.

A superposição das imagens de sensores remotos demonstra que ao longo dos 23 anos analisados, a desembocadura do rio Cassiporé vem sendo erodida em sua margem esquerda aproximadamente 7,3 m/ano. Segundo Silveira (1998), na foz deste rio, a onda de maré chega de forma inclinada, incidindo diretamente sobre a margem esquerda, provocando a erosão e formação

de terraços de abrasão. A autora argumenta, ainda, que os sedimentos erodidos nesta margem estão sendo depositados na margem direita em sistemas de barras fluviais. Estas barras, por sua vez, estão sendo colonizadas por bosques jovens de *Avicennia germinans* (Siriúba).

Cabo Cassiporé – Setor 3

Considerando o período entre 1980 e 2003 é possível perceber que, a partir da ponta norte do cabo Cassiporé até o extremo sul deste cabo lamoso, o litoral apresenta comportamento predominantemente erosivo. A transição para áreas progradantes acontece, aparentemente, a partir da foz do rio Cassiporé.

Neste trecho do litoral, os fenômenos de recuo da linha de costa estão relacionados com redução do suprimento sedimentar, evidenciados por mecanismos de erosão visualizados na paisagem através da diminuição da vegetação de mangue. Morfológicamente, as frentes erosivas, assim como, as áreas de acreção, estão localizadas em zonas de intermaré lamosa (Fig. 6).

Considerando a morfologia assumida pela lama erosiva, Allison et al. (1995a) denominaram como tipo “denteada” a linha de costa retrogradante situada no cabo Cassiporé, devido à configuração irregular assumida pelo litoral em resposta à forma inclinada com que as ondas costeiras chegam à linha de costa (Fig. 7).

A erosão da linha de manguezais é um fenômeno natural e é devida, principalmente, a configuração das correntes de maré e das ondas que atingem a zona costeira amapaense, ou seja, parâmetros hidrodinâmicos controlam o deslocamento da linha de costa para o continente, provocando a remoção/retirada do suprimento sedimentar, o que causa o solapamento das raízes do manguezal e a conseqüente queda das árvores.

Do processo de erosão resultam terraços lamosos, que geralmente são expostos durante a baixa-mar. A ação biológica pode acelerar o processo erosivo devido às cavidades deixadas por estes organismo durante o fluxo entre os sedimentos.

No período analisado, o trecho que corresponde ao cabo Cassiporé apresentou uma diminuição na vegetação em linha reta de aproximadamente 633,8 metros, o que corresponde a quase 27,5 metros de vegetação de mangue erodidas por ano (Tab. 3). A quantificação da extensão da área afetada pela erosão foi estimada em 31,69 km² no período.

Quantificação e evolução do manguezal no período

Existem diversas estimativas da área total ocupada por manguezais na costa amazônica brasileira (Herz, 1991; Kjerfve et al.,

2002; Souza Filho, 2005). Herz (1991) publicou a partir da análise de imagens geradas no projeto RADAM, pelo radar GEMS-1 na década de 70, o primeiro mapa consolidado das áreas de manguezal do Brasil na escala de 1:250.000.

A partir da imagem RADARSAT do ano de 2003 foram mapeados e quantificados os manguezais do Parque Nacional do cabo Orange. Estes, mapeados na planície costeira foram estimados em 362,49 km² e colonizam todo o litoral da área de estudo. Nas bordas dos cabos Cassiporé e Orange os manguezais ocorrem em extensões lineares inferiores a 3 km. Nos estuários dos rios Cassiporé e Uaçá ocupam menores proporções.

Na Tabela 4 são feitas as comparações das áreas de manguezal obtidas por sensoriamento remoto no trabalho de Herz (1991) com os resultados obtidos neste estudo. Nestas duas avaliações, as áreas com maior ocorrência de manguezal situam-se no cabo Orange, em resposta à deposição lamosa de sedimentos amazônicos. Os resultados demonstram também que, de maneira geral, os bosques sofreram um acréscimo ao longo do período em torno de 50,8%, embora estejam em franca erosão na costa do cabo Cassiporé, onde diminuíram 5,7%.

DISCUSSÕES

Variações no suprimento de sedimentos depositados na região adjacente a foz do rio Amazonas foram objeto de estudo de diversos pesquisadores no âmbito do projeto AMASSEDS (Allison et al., 1995a; Kuehl et al., 1996; Nittrouer et al., 1996). Para Sommerfield et al. (1995), os eventos que controlam estas flutuações, em médio e longo período são decorrentes das variações na descarga do rio Amazonas (variações sazonais, por exemplo), de processos tectônicos, oceanográficos e meteorológicos.

No caso desta abordagem, onde as modificações ocorridas no litoral são classificadas em escala temporal como de curto período, os processos de erosão e acreção estão ligados com diversos fatores, especialmente, com parâmetros hidrodinâmicos (ondas, marés, fluxo de correntes costeiras, intensidade e regime de ventos) e meteorológicos.

No litoral da Guiana Francesa, as modificações na linha de costa são ocasionadas pela migração dos bancos de lama em *offshore* (Warne et al., 2002; Anthony & Dolique, 2004; Lefebvre et al., 2004). Trabalhos anteriores têm relacionado os processos de acumulação de sedimentos (progradação dos manguezais) com a chegada de bancos lamosos e a erosão com sua migração e aparecimento das zonas de interbancos (Allison & Lee, 2004; Thevand & Gond, 2005; Trebossen et al., 2005). Allison & Lee (2004). Estes autores acreditam que existe um fluxo de troca de sedimentos entre os bancos lamosos (*mud bank*) e a planície de



Figura 6 – Linha de costa em erosão ao longo do cabo Cassiporé.

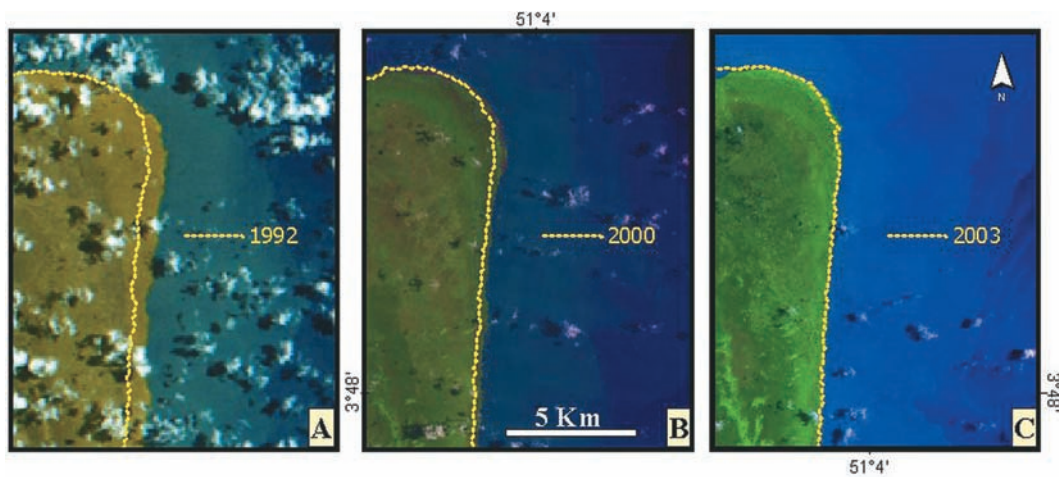


Figura 7 – Modificação da linha de costa ao longo do cabo Cassiporé: **A)** imagem Landsat MSS 2 obtida em 1980 superposta por um vetor da linha de costa em 1992. **B)** imagem Landsat TM 4 obtida em 1992 superposta por um vetor da linha de costa em 2000. **C)** imagem Landsat ETM 7 obtida em 2000 superposta por um vetor da linha de costa em 2003.

Tabela 4 – Área de manguezal no Parque Nacional do Cabo Orange de acordo com o levantamento realizado por Herz (1991) e aquelas obtidas no presente estudo (período de 1974-2003).

Região	Área (km ²)			
	Herz (1991) (A)	Este estudo (2003) (B)	Variação (B-A)	Variação em % (B-A)
Cabo Orange	140,02	267,92	(+127,90)	(+ 91,3)
Cabo Cassiporé	100,36	94,57	(-5,79)	(-5,7)
Total	240,38	362,49	(+122,11)	(+50,8)

maré lamosa (*tidal mud flat*). Essa disponibilidade de sedimentos, ocasionada pela chegada do banco, "alimentaria" a linha de costa e possibilitaria a rápida colonização do litoral por espécies de mangue. De forma contrária, quando o banco migra, o litoral fica desprotegido e passa a sofrer diretamente com o "ataque" das ondas, que gera o processo de erosão.

A forma com que as ondas chegam à linha de costa (em ângulo oblíquo) no sentido do quadrante E para W (em direção a linha de costa), é responsável pela migração dos bancos lamosos (Baltzer et al., 2004). Allison et al. (2000) advogam que a região compreendida entre a desembocadura do rio Cassiporé e o cabo Orange, é onde são gerados os bancos lamosos que migram na costa do Amapá, Guiana Francesa, Guiana, Suriname e Venezuela.

No cabo Orange, dois importantes parâmetros possibilitam um ambiente favorável para deposição de sedimentos amazônicos: as marés e ondas costeiras. É fato que, nesta região são registradas as menores amplitudes de marés ao longo da costa norte amapaense (2-3 metros), as quais têm um efeito reduzido devido à largura da plataforma adjacente (~125 km), à presença de camadas de lama fluída e ao tipo de substrato de fundo (Gabioux et al., 2005). Além de influenciarem nas marés, as lamas fluídas modificam a propagação das ondas costeiras, tornando-as do tipo "solitária", causando o amortecimento de seu efeito (Allison et al., 1995b).

No cabo Cassiporé, de modo contrário, a ação das marés é mais intensa, devido a sua maior amplitude. Além disso, na plataforma adjacente a esta região, os bancos lamosos não são tão extensos (Allison et al., 1995a, 1995b, 2000), portanto o litoral está praticamente desprotegido do "ataque" das ondas.

Allison et al. (1995a, 1995b, 2000) admitem que em ambos os cabos lamosos, os processos de erosão e sedimentação costeira têm variação sazonal de décadas e estão, também, relacionados com o suprimento de sedimentos do rio Amazonas para a linha costa e com o regime e intensidade dos ventos. As características do regime de ventos teriam correlação com os processos costeiros sedimentares estabelecidos dentro do sistema de dispersão amazônico em médio a longo período (Augustinus, 2004).

Outra questão importante a ser discutida, diz respeito aos valores obtidos nas quantificações das alterações ocorridas na linha de costa da área de estudo. Allison et al. (1995a) a partir de fotografias aéreas de baixa altitude (<500 m) tomadas nos anos de 1989 e 1992, suplementadas por imagens Landsat e de radar obtidas pelo projeto RADAM, estipularam a partir da vegetação costeira, que o recuo da linha de costa na região do cabo Cas-

siporé é de, aproximadamente, 0,5–1,0 metro/ano. Estes valores estão bem abaixo dos obtidos neste trabalho, que determinaram uma erosão no cabo Cassiporé com distâncias lineares de 27,5 metros por ano. Mesmo quando subtraímos o erro geométrico cumulativo linear (Tab. 2), ainda teríamos valores bem superiores (~17 m/ano).

Possivelmente, a diferença entre as metodologias utilizadas seja a causa das divergências entre os quantitativos. Embora Allison et al. (1995a) não deixem claro o método utilizado para o cálculo de áreas, nesta pesquisa valeram-se do uso de processos baseados em modelos de georreferenciamento e superposição de imagens digitais, os quais garantem precisão para as quantificações.

CONCLUSÃO

O balanço entre as taxas de erosão e deposição costeira para área de estudo indica a preponderância dos processos progracionais sobre os retrogradacionais, o que corrobora os resultados apresentados por Allison (1993) e Allison et al. (1995a). No entanto, nos cálculos lineares e das áreas afetadas por estes processos, esta pesquisa apresenta quantitativos de acumulação e erosão lineares bem superiores à aquelas obtidas por esses autores.

A presença de bancos lamosos localizados na zona de inframaré, conjugado com a amplitude das marés e com o regime de ventos, exerce importante influência na extensão e intensidade dos processos mapeados. Os padrões naturais de erosão e deposição, que condicionam a morfologia e a posição da linha de costa, apresentaram diferenças entre o cabo Orange e o cabo Cassiporé. Enquanto que no cabo Orange predominam os processos acrecionários, no cabo Cassiporé a erosão é a característica mais notável em toda linha de costa.

A abordagem metodológica utilizada neste trabalho, baseada na sobreposição espacial de vetores extraídos de imagens de sensores remotos, permitiu o mapeamento das áreas com aumento e redução dos manguezais, apresentando produtos que quantificaram, as alterações ocorridas na linha de costa em médio período (de 1980 a 2003). A análise multitemporal permitiu, ainda, o monitoramento da distribuição de manguezais ao longo do Parque Nacional do Cabo Orange ao longo de quase três décadas.

O emprego de dados orbitais, devidamente processados, tornou possível mensurar, de modo geral, qualitativa e quantitativamente, diferentes feições progracionais e retrogradacionais, possibilitando o conhecimento e disposição da morfologia costeira em detalhe, ao expor informações ligadas a direção, intensidade e abrangência dos fenômenos.

No que se refere à quantificação com acurácia de fenômenos erosivos e deposicionais mediante o uso de dados de sensores remotos ópticos, ficou demonstrado que estes apresentam limitações referentes ao tamanho do pixel das imagens, que permite a quantificação de mudanças da linha de costa apenas superiores a 3 pixels, além das limitações espectrais, em função da intensa cobertura de nuvens tão comuns nas regiões tropicais, com é o caso da amazônica brasileira.

Neste sentido, o emprego de dados SAR (Radar de Abertura Sintética) a partir dos sistemas sensores RADARSAT-1 e JERS-1 permitiram a realização do monitoramento costeiro com melhor precisão, considerando a versatilidade da faixa das microondas em ambientes tropicais por não apresentarem interferência causada por fatores de ordem atmosférica.

A reconstrução das modificações históricas da linha de costa no contexto do sistema de dispersão amazônico desenvolvido na costa nordeste de América do Sul, que compreende a costa do Amapá (Brasil) até o Suriname, permitirá uma visão global, ou seja, integrada dos mecanismos que modelam a linha de costa em curto, médio e longo período, adicionando informações tão necessárias para a construção de um modelo de previsão de larga escala e longo período.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará pela oportunidade de ter desenvolvido sua dissertação de mestrado. O segundo autor agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (Proc. #303238/2002-0). Os autores agradecem aos revisores da RBGf pelas sugestões feitas ao manuscrito. Este trabalho teve suporte financeiro do projeto PIATAM Mar desenvolvido em parceria com a Petrobras e do projeto Universal (Proc. #502450/2003-7) financiado pelo CNPq. Esta é a contribuição de nº 8 do projeto PIATAM Mar.

REFERÊNCIAS

- ALLISON MA. 1993. Mechanisms of Coastal Progradation and Muddy Strata Formation Adjacent to the Amazon River. Marine Science Research Center, State University of New York, U.S.A. Tese de Doutorado, 322 pp.
- ALLISON MA & LEE MT. 2004. Sediment exchange between Amazon mudbanks and shore-fringing mangroves in French Guiana. *Mar. Geol.*, 208: 169–190.
- ALLISON MA, NITTRouer CA & FARIA LEC. 1995a. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Mar. Geol.*, 125: 373–392.
- ALLISON MA, NITTRouer CA & KINEKE GC. 1995b. Seasonal sediment storage on mudflats adjacent to the Amazon River. *Mar. Geol.*, 125: 303–328.
- ALLISON MA, LEE MT, OGSTON AS & ALLER RC. 2000. Origin of Amazon mudbanks along the northeastern coast of South America. *Mar. Geol.*, 163: 241–256.
- ANTHONY EJ & DOLIQUE F. 2004. The influence of Amazon-derived mud banks on the morphology of sandy headland-bound beaches in Cayenne, French Guiana: a short- to long-term perspective. *Mar. Geol.*, 208: 249–264.
- AUGUSTINUS PGEF. 2004. The influence of the trade winds on the coastal development of the Guianas at various scale levels: a synthesis. *Mar. Geol.*, 208: 145–151.
- AVELAR VG. 2002. Geocronologia Pb-Pb em zircão e Sm-Nd rocha total da porção Centro-Norte do Estado do Amapá-Brasil: implicações para a evolução geodinâmica do setor oriental do escudo das Guianas. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Tese de Doutorado, 232 pp.
- BALTZER F, ALLISON M & FROMARD F. 2004. Material exchange between the continental shelf and mangrove-fringed coasts with special reference to the Amazon-Guianas coast. *Mar. Geol.*, 208: 115–126.
- BATISTA EM. 2006. Avaliação de dados de sensores remotos no reconhecimento e monitoramento de ambientes costeiros tropicais: cabos Cassiporé e Orange, Amapá. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Dissertação de Mestrado, 115 pp.
- BEARDSLEY RC, CANDELA J, LIMEBURNER R, GEYER WR, LENTZ SJ, CASTRO B, CACCHIONE D & CARNEIRO N. 1995. The M_2 tide on the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, 100(C2): 2283–2319.
- BERGER AR. 1996. The geindicator concept and its application: an introduction. In: BERGER AR & IAMS WJ (Ed.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems*. A.A. Balkema, Rotterdam, 1–14.
- BOAVENTURA FMC & NARITA C. 1974. Geomorfologia. In: PROJETO RADAM. Folha NA/NB.22 – Macapá. DNPM, Rio de Janeiro, 1–36.
- CHU ZX, SUN XG, ZHAI SK & XU KH. 2006. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Mar. Geol.*, 227: 13–30.
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil). 2004. Carta geológica do Brasil ao milionésimo – Folha NA-21. Windows 98/2000/XP. CD-ROM.
- DHN (Departamento de Hidrografia e Navegação). 2004. Tábuas de marés para 2003. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. DHN, Rio de Janeiro, 1–6.
- FAURE JF. 2001. Multitemporal analysis of mangrove spatial dynamics in São Caetano de Odivelas, Pará, Brazil. In: PROST MT & MENDES

- AC (Org.). *Eossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 39–49.
- FORBES DL & LIVERMAN DGE. 1996. Geological indicators in the coastal zone. In: BERGER AR & IAMS WJ (Ed.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems*. A.A. Balkema, Rotterdam, 175–192.
- FRANÇA CF & SOUZA FILHO PWM. 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2-Suplemento): 127–136.
- FROMARD F, VEGA C & PROISY C. 2004. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analysis and field surveys. *Mar. Geol.*, 208: 265–280.
- GABIOUX M, VINZON SB & PAIVA AM. 2005. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 25: 113–125.
- GONÇALVES FD. 2005. Utilização de dados de sensores remotos para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo na Baía de Guajará, Belém-PA. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Dissertação de Mestrado, 179 pp.
- GOWDA HH, GANESHA RAJ K, PADMAVATHY AS & MANIKIAN B. 1995. Multidate satellite data for study of dynamics of coastal landforms of Uttara Kannada, South India. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2539–2553.
- HERZ R. 1991. *Manguezais do Brasil*. EDUSP, São Paulo, 54 pp.
- KJERFVE B, PERILLO GME, GARDNER LR, RINE JM, DIAS GTM & MOCHEL FR. 2002. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In: HEALY TR, WANG Y & HEALY JA (Ed.). *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Functions*. Elsevier Science, Amsterdam, 479–532.
- KUEHL SA, NITTROUER CA, ALLISON MA, FARIA LEC, DUKAT DA, JAEGER JM, PACIONI TD, FIGUEIREDO AG & UNDERKOFFLERT EC. 1996. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic fine-grained coastal environment. *Continental Shelf Research*, 16(16): 787–815.
- LEFEBVRE JP, DOLIQUE F & GRATIOT N. 2004. Geomorphic evolution of a coastal mudflat under oceanic influences: an example from the dynamic shoreline of French Guiana. *Mar. Geol.*, 208: 191–205.
- MEADE RH, DUNNE T, RICHEY JE, SANTOS UM & SALATI E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228: 488–490.
- NITTROUER CA & DEMASTER DJ. 1996. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, 16(5/6): 553–573.
- NITTROUER CA, KUEHL SA, STERNBERG RW, FIGUEIREDO AG & FARIA LEC. 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Mar. Geol.*, 125: 177–192.
- NITTROUER CA, KUEHL SA, FIGUEIREDO AG, ALLISON MA, SOMMERFIELD CK, RINE JM, FARIA LEC & SILVEIRA OM. 1996. The geological record preserved by Amazon shelf sedimentation. *Continental Shelf Research*, 16(5/6): 817–841.
- NORDSTROM KF. 1980. Cyclic and seasonal beach response: a comparison of oceanside and bayside beaches. *Phys. Geography*, (1-2): 177–196.
- OLTMAN RE. 1968. Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River. Geological Survey, Washington, US, 16 pp. (Circular 552).
- PROISY C, MOUGIN E, FROMARD F & KARAM MA. 2000. Interpretation of polarimetric signatures of mangroves forests. *Remote Sensing of Environment*, 71: 56–66.
- PROST MT, MENDES AC, FAURE JF, BERREDO JF, SALES MEC, FURTADO LG, SILVA MGS, SILVA CA, NASCIMENTO I, GORAYEB I, SECCO MFV & LUZ LM. 2001. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas) In: PROST MT & MENDES AC (Org.). *Eossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 75–87.
- 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 Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57: 241–262.
- SCHAEFFER-NOVELLI Y, CINTROÂN-MOLERO G, SOARES MLG & DE-ROSA T. 2000. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3: 561–570.
- SILVEIRA OFM. 1998. A planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente costeiro influenciado por grandes fontes fluviais quaternárias. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, PA. Tese de Doutorado, 215 pp.
- SOMMERFIELD CK, NITTROUER CA & FIGUEIREDO AG. 1995. Stratigraphic evidence of changes in Amazon shelf sedimentation during the late Holocene. *Mar. Geol.*, 125: 351–371.
- 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 & PARADELLA WR. 2001. Estudo da geomorfologia de ambientes costeiros tropicais úmidos a partir de imagens de sensores remotos. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28(2): 359–368.

- SOUZA FILHO PWM & PARADELLA WR. 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*, 10: 123–132.
- SOUZA FILHO PWM & PARADELLA WR. 2003. Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological Features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 75(3): 341–356.
- SOUZA FILHO PWM, MARTINS ESF & COSTA FR. 2006. Using mangroves as geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: an approach from remote sensing data and GIS. *Ocean & Coastal Management*, 49(7-8): 462–475.
- THEVAND A & GOND V. 2005. Uso do sensoriamento remoto ótico para a compreensão da dinâmica dos manguezais no contexto amazônico. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 12.: 2005, Goiânia. Anais. . . Goiânia: INPE, 2005. p. 3387–3394.
- TOUTIN T. 1995. Intégration de données multisources: comparaison de méthodes géométriques et radiométriques. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 2795–2811.
- TREBOSSON H, DEFFONTAINES B, CLASSEAU N, KOUAME J & RUDANT JP. 2005. Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. *C.R. Geoscience*, 337: 1140–1153.
- TUCKER CJ, GRANT DM & DYKSTRA JD. 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3): 313–322.
- WARNE AG, MEADE RH, WHITE WA, GUEVARA EH, GIBEAUT J, SMYTH RC, ASLAN A & TREMBLAY T. 2002. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology*, 44: 273–307.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Edmilson das Mercês Batista. Geógrafo formado pela UNIFAP em 2002. Obteve o título de mestre em 2006 desenvolvendo trabalho na área de sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento e análise multitemporal de ambientes costeiros amazônicos no Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA. Atualmente é geógrafo do INCRA e professor da rede pública estadual de ensino no Amapá, atuando como colaborador eventual no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) da UFPA.

Pedro Walfir Martins e Souza Filho. Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1993), especialista em Geologia e Geofísica Marinha pela Universidade Federal Fluminense (1993), e doutorado na área de Sensoriamento Remoto Geológico na Universidade Federal do Pará (2000). É professor adjunto da Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará desde 2002. Atualmente coordena o Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido da UFPA, é Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq desde 2003 e foi indicado como Jovem Cientista da Academia Brasileira de Ciências em 2008.

Odete Fátima Machado da Silveira. Graduada em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1985), mestrado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1989) e doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1998), após bolsa sanduíche na SUNY em Stony Brook. No período de 1997 a 2006 foi Pesquisador III do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA onde mantém vínculo como Colaboradora em vários projetos de pesquisa. Atualmente, é professora da UFPA na Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências e professora orientadora no Curso de Mestrado em Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.