

Uso de *QA Bands* do Landsat 5 na detecção de mudanças da linha de costa na Baía do Guajará, Belém-PA.

Antonio Gonçalves da Silva Junior ¹
Arnaldo de Queiroz da Silva ¹

¹ Universidade Federal do Pará – UFPA
Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará – Brasil
ajgoncalvesgeo@gmail.com / arnaldoq@ufpa.br

Abstract. Estuaries are one of the most important and dynamic ecosystems included in the coastal zones, presenting high environmental sensitivity. The dynamics of Guajará Bay, located in the Pará River's estuary at northern Brazil, was evaluated by multitemporal analysis comparing Landsat images produced between 1984 and 2008. The multitemporal analysis revealed expressive changes of the bay's morphology, mainly as a result of accretion and erosion of coastline zones triggered by hydrodynamics processes combined with anthropic actions. We used an alteration detection algorithm operated in the software PCI Geomatics 2012, using Land-water QA Band as input data. This data is part of Landsat Surface Reflectance High Level Data Products, made available by USGS in mid-2016. The processing results generated a trimodal raster that indicates accretion, erosion and non-alteration areas in the shoreline. Using the identified alteration pattern for the Guajará Bay, the comparative results indicated that the western margin was intensely eroded, with removal of 130 hectares of land whereas the eastern margin was accretioned with 87 hectares of sediments. The use of QA Bands revealed an operationally economical procedure that allows quick and gratuitous medium-scale geomorphological analysis of small-size estuarine settings, providing a better understanding of coastal zone dynamics during Holocene.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

1. Introdução

Os estuários são um dos ecossistemas mais importantes da zona costeira e caracterizam-se como regiões de alta sensibilidade ambiental, apresentando uma dinâmica de intensa variabilidade temporal e espacial (Böck, 2010). No sistema estuarino do Rio Pará, localiza-se a Baía do Guajará, área escolhida para este estudo por sua importância em abrigar a cidade de Belém, na qual se destacam as interações de intensos processos naturais, típicos deste ecossistema, com ações antrópicas de um grande centro urbano. Vários trabalhos abordaram a caracterização e alteração dos fenômenos naturais e antrópicos atuantes na Baía, dentre eles: Pinheiro (1987); Miranda e Mendes (2007); Gregório (2008); Böck (2010). Esses autores apontam que a Baía do Guajará vem modificando sua morfologia de fundo e hidrodinâmica, como resultado deste processo, ocorreram a erosão e o assoreamento de várias áreas. A partir desse cenário, este trabalho buscou identificar as alterações decorrentes desses processos, expressadas na forma de acreção/erosão da linha de costa.

Pesquisadores de áreas costeiras frequentemente concentraram seus estudos na avaliação da erosão/acreção da linha de costa. Para isso, a metodologia usual consistia em traçar posições históricas da linha de costa por meio de fotografias aéreas e mapas antigos (Crowell et al., 1993). Com os avanços computacionais da década de 90, as técnicas manuais perderam espaço para a cartografia digital em um processo que revolucionou as análises e a coleta de dados (Crowell et al., 1993). Em paralelo, uma gama de produtos gerados por sensores posicionados em plataformas aéreas, orbitais e em terra foram disponibilizados para a comunidade científica (Boak e Turner, 2005), dentre eles, destaca-se o Programa Landsat. O programa imagea o globo terrestre desde a década de 70, gerando dados de média resolução espacial que proporcionam análises em diversas áreas científicas. Em 2016, a USGS disponibilizou um novo pacote de dados de alto nível de processamento para toda sua série histórica, com objetivo de auxiliar a identificação de alterações ambientais na superfície terrestre (USGS, 2016). Os dados têm como subproduto as *QA Bands*, que através de um

algoritmo de detecção de mudanças, foram utilizadas neste trabalho para identificar as alterações da linha de costa na Baía do Guajará entre os cenários de 1984 e 2008.

Com base nos produtos gerados no presente estudo, foi possível determinar quais áreas foram erodidas ou acrescidas no período analisado e qual desses fenômenos foi mais atuante em cada setor da Baía do Guajará. O trabalho justifica-se ao convergir para os padrões identificados em trabalhos anteriores, atestando a validade do método e a utilização das *QA Bands* na detecção de mudanças costeiras, contribuindo para identificação dos processos naturais ocorrentes da Baía do Guajará.

2. Área de estudo

A Baía do Guajará é um corpo hídrico alongado segundo a direção norte-sul, com cerca de 30 km de extensão e 4 km de largura, distante cerca de 120 km do Oceano Atlântico (Pinheiro, 1987). Está situada aproximadamente entre os paralelos 1°15' S e 1°30' S e os meridianos 48°35' W e 48°25' W (Figura 1). A Baía está inserida no sistema estuarino do Rio Pará, localizado na porção central da Zona Costeira da Amazônia Brasileira. Este estuário é fortemente influenciado pelo Rio Amazonas, que se conecta ao Rio Pará por meio do Furo de Breves (Gregório, 2009). A Baía do Guajará é formada a partir da confluência entre os rios Acará, Guamá e Moju – seus principais contribuintes – estendendo-se até a Ilha de Mosqueiro, pertencente à Baía do Marajó (Gregório, 2008).

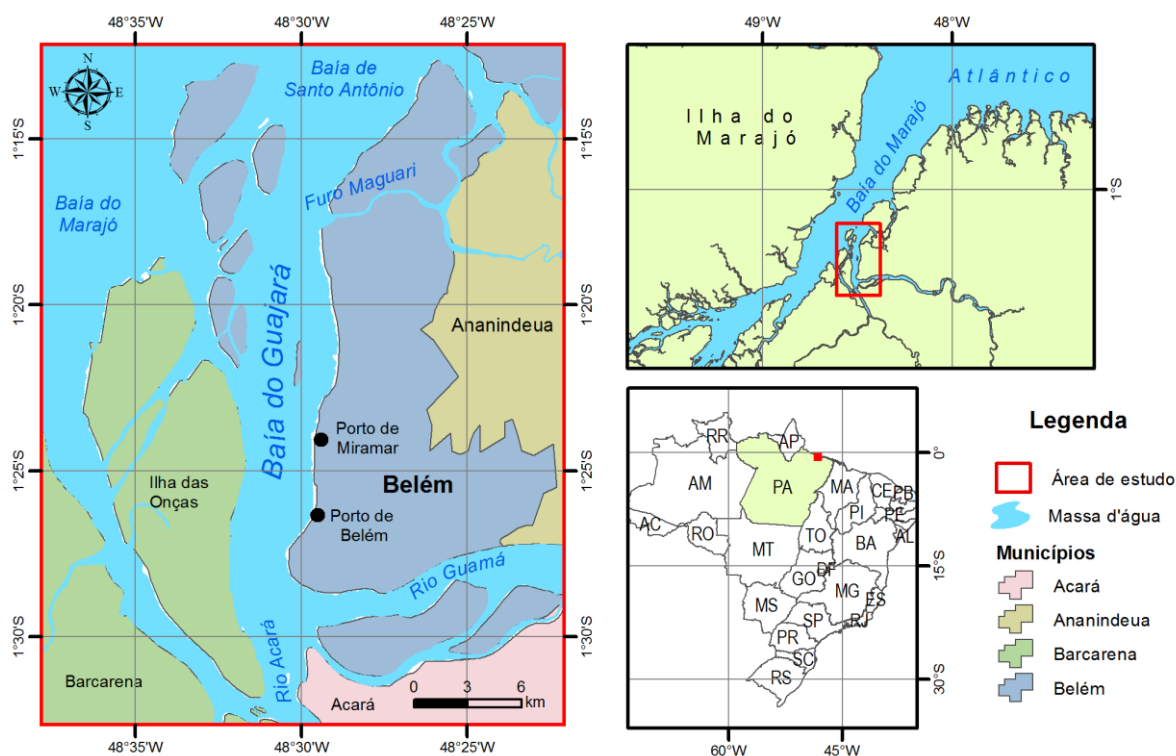


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo – Baía do Guajará.

A margem oeste da Baía do Guajará é limitada por ilhas, dentre elas, destacam-se as ilhas Das Onças, Paquetá, Jutuba e Mirim. A norte, o Furo Maguari limita as baías Guajará e Santo Antônio. Na margem leste, situa-se a cidade de Belém, capital do Estado do Pará, com população estimada em 1.400.000 habitantes (IBGE, 2016). A Baía do Guajará tem intenso tráfego marítimo, no qual circulam embarcações de pequeno a grande porte, realizando transporte de pessoas e cargas (Gregório, 2008). Na região, situam-se os portos de Belém e de Miramar. O primeiro movimentava anualmente cerca de 1.000.000 t de cargas, dentre as

principais: madeira, pimenta, palmito, peixe, camarão, castanha-do-Pará e trigo; o segundo é responsável pela entrada de derivados do petróleo na região (CDP, 2009 apud Böck, 2010).

A geologia local é datada do Neógeno ao recente e é constituída por rochas da Formação Barreiras (principal fonte de sedimentos da Baía do Guajará), depósitos da unidade Pós-Barreiras e sedimentos aluvionares holocênicos (Gregório, 2008). A região tem clima quente e húmido, com temperatura média anual de 26° C, umidade relativa em torno de 84% e precipitação média anual de 2800 mm, cujos meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro e março, e os menos chuvosos são julho, agosto e setembro (Pinheiro, 1987; Gregório, 2008). As marés atuantes na Baía são semi-diurnas, com amplitude variando entre 2,3 m e 3,8 m em marés de sizígia, com período de enchente e de vazante calculado em cerca de 7h e 5h, respectivamente (Pinheiro, 1987; Gregório, 2008).

3. Materiais e métodos

Para este trabalho, foram usadas duas imagens do satélite Landsat 5 no modo *Surface Reflectance* (Tabela 1). Os dados foram adquiridos mediante a plataforma *Earth Explorer* do *United States Geological Survey* (USGS). Além disso, a seleção das imagens seguiu as orientações de Crowell et al., (1991; 1993), onde buscou-se um *range* temporal de médio a longo prazo (10 a 60 anos) e cenas cujo imageamento foi feito em condições de maré próxima a preamar. A cobertura de nuvens impossibilitou o uso de cenas mais recentes, restringindo as análises entre os cenários de 1984 e 2008.

Tabela 1. Imagens selecionadas e suas especificações.

| Identificador da imagem | Satélite | Data do imageamento |
|-----------------------------------|-----------|---------------------|
| LT52230611984209-SC20160928073426 | Landsat 5 | 27/07/1984 |
| LT52230612008195-SC20160928073348 | Landsat 5 | 13/07/2008 |

As cenas e suas respectivas *QA Bands* foram submetidas a etapas de geoprocessamento e os resultados foram analisados de forma qualitativa e quantitativa. Detalhes acerca dos dados e procedimentos utilizados serão melhor descritos a seguir.

3.1 Quality Assessment Bands (QA Bands)

As *QA Bands* fazem parte do pacote *Landsat Surface Reflectance High Level Data Products*, disponibilizado em meados de 2016 com o objetivo auxiliar os estudos de mudança da superfície terrestre (USGS, 2016). Estes dados são máscaras cujos valores dos pixels representam condições atmosféricas ou de superfície, expressas na forma “verdadeiro” ou “falso” para a condição analisada (USGS, 2016), como exemplificado na Tabela 2. A *QA Band* analisada neste trabalho foi a *Land-water QA* (Tabela 1), esta discretiza a superfície terrestre em dois parâmetros – terra e água. A informação está digitalizada na forma de *raster* onde pixels de valor 0 (zero) e 255 correspondem à terra e água, respectivamente. Dessa forma, assume-se que a interface entre os dois valores representa o limite terra-água na superfície terrestre, que dependendo das condições de maré, tal limite pode ser considerado como a posição da linha de costa.

Tabela 2. *QA Bands* disponíveis nos dados Landsat 5 *Surface Reflectance*, suas condições e os valores determinantes. Adaptado de USGS (2016).

| Código no raster | Nome QA Band | Condição do pixel | Valores dos pixels |
|------------------|---------------|-------------------|-------------------------|
| sr_cloud_qa | Cloud QA | Nuvem | 0 - Não |
| sr_snow_qa | Snow QA | Neve | 255 - Sim |
| sr_land_water_qa | Land-water QA | Água/terra | 0 - Terra 255 – Água |

3.2 Definição de linha de costa

Do ponto de vista físico, linha de costa é definida simplesmente como a linha de interface entre terra e água. Contudo, esta linha é móvel, variando no espaço e no tempo por diversos fatores, inclusive pela condição de maré. Para tornar os resultados obtidos comparáveis, adotou-se o critério de Crowell et al. (1991), que define a *High Water Line*, ou Linha de Preamar, como um dos melhores indicadores da interface terra-água para análise temporal da linha de costa. Em maré baixa, áreas submersas durante preamar são expostas e acabam sendo classificadas como terra na *Land-water QA*. Isto implica em erro de análise, já que essa configuração representa apenas uma flutuação diária. Em decorrência disso, foram selecionadas cenas cujo imageamento foi realizado em condição de maré próxima à preamar, no intuito de minimizar erros, como exemplificado na Figura 2.

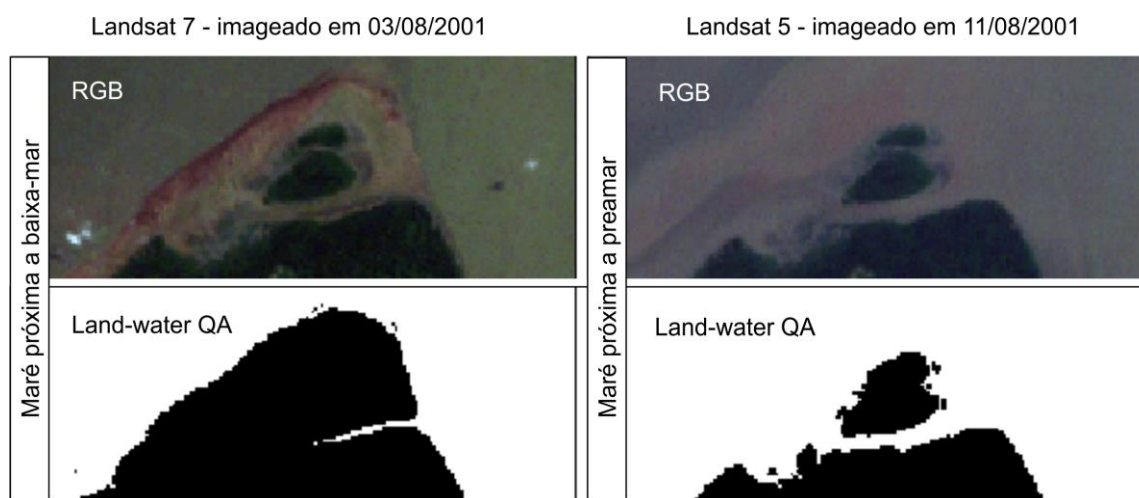


Figura 2. Imagens dos sensores Landsat 5 (direita) e 7 (esquerda) com diferença de 11 dias entre as datas de imageamento. As cenas mostram a diferença visual entre as condições aproximadas de baixa-mar e preamar e o comportamento da *Land-water QA* nestas condições.

3.3 Processamento

Devido ao alto nível de processamento, não houve necessidade de georeferenciamento ou correção atmosférica. No entanto, uma checagem de pontos em cruzamentos de vias urbanas foi executada como validação. Usando o *Software PCI Geomatics 2012*, as bandas multiespectrais e as *QA Bands* foram agrupadas por cena no formato *.PIX* para otimizar o processamento; em seguida, as cenas foram reprojatadas para o Datum SIRGAS, zona UTM 22S. Para a análise desses produtos, utilizou-se o algoritmo *Optical change detection (CHDTOP)* do *PCI Geomatics 2012*. O algoritmo detecta mudanças em dois *rasters* de entrada: um é o de “referência” (cena mais antiga), e o outro é o “novo” (cena mais nova). O modo de detecção adotado foi o *Negative Magnitude difference*, em que os valores dos pixels do dado de referência são subtraídos dos valores do dado novo. Nesse sentido, para um determinado pixel, o algoritmo detecta as seguintes alterações: a) positivas – água substituída por terra; b) negativas – terra substituída por água; c) sem alteração – não há substituição. O processo gera um *raster* com a tríplíce de valores (positivos, negativos e zero), interpretados nesse trabalho como erosão, acreção e não-alteração da linha de costa, respectivamente. O processo está esquematizado na Figura 3.

Os resultados obtidos foram submetidos ao algoritmo *RAS2POLY* do *PCI Geomatics 2012* para a conversão dos *rasters* para polígonos no formato *Shapefile*. Os polígonos têm como atributos dados de área, perímetro e valor do pixel convertido, que posteriormente foram exportados na forma de tabelas. Estes dados espaciais e numéricos foram analisados e interpretados de forma qualitativa e quantitativa no *software ESRI ArcGIS 10.3*.

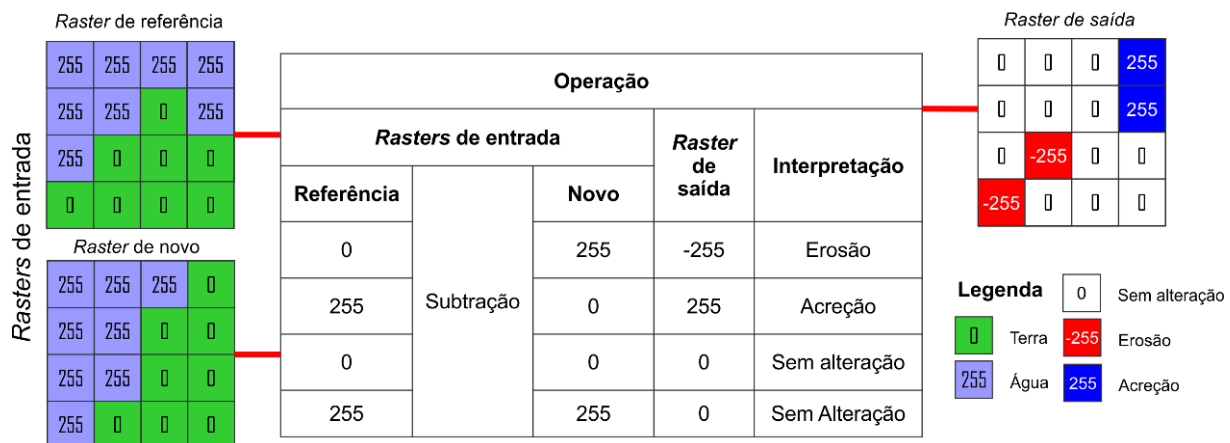


Figura 3. Esquema de processamento do algoritmo *Optical Change Detection* (CHDTOP) e as operações executadas no modo *Negative Magnitude difference*. O esquema mostra dois rasters genéricos de entrada (lado esquerdo), as operações realizadas no processamento (centro) e o raster de saída (lado direito).

4. Resultados

Analisando os produtos gerados no processamento, obteve-se resultados espaciais e numéricos para as alterações entre os cenários de 1984 e 2008. Os resultados espaciais revelam a localização e geometria das áreas alteradas; já os resultados numéricos revelam a magnitude da erosão/acreção das principais áreas inseridas no contexto geográfico da Baía do Guajará. Ambos os resultados estão expressos de forma setorizada na Figura 4 e serão detalhados a seguir.

O Setor A (Figura 4) corresponde à porção interna da Baía do Guajará, estendendo-se na direção norte-sul desde a foz do rio Guamá até o Furo Maguari. Os resultados mostram padrões distintos de acreção/erosão entre as duas margens da Baía. A margem leste corresponde à costa oeste de Belém, estendendo-se por cerca de 23 km. Nesta área, predomina acreção, na qual cerca de 87 ha (hectares) de terra foram depositados costa à frente, contrapondo-se a 11 ha erodidos. A acreção ocorreu ao longo de toda a costa, sendo mais expressiva na porção sudoeste. A erosão foi pontual nas porções centro-oeste e sul. A margem oeste é formada por uma linha de ilhas que se estende por 26 km na direção norte-sul. Nesta área, cerca de 130 ha foram erodidos das margens, regredindo a linha de costa entre 40 m e 100 m. As áreas de acresção somam pouco mais de 1 ha.

O Setor B (Figura 4) corresponde à Ilha das Onças, limitada ao norte pelo Rio Arapiranga e ao sul, leste e oeste pela Baía do Guajará. Os resultados mostram que, dos 8.118 ha iniciais, 109 ha foram erodidos e outros 144 ha foram acrescidos. A erosão ocorreu ao longo da costa leste da Ilha, que corresponde a mais da metade da margem oeste da Baía. Já acreção ocorreu nas costas oeste e norte, onde a linha de costa progradou cerca de 97 ha, avançando até 500 m costa à fora.

O Setor C (Figura 4) corresponde ao conjunto de ilhas pertencentes ao território de Belém, compondo cerca de 10 km da margem oeste da Baía do Guajará. As sete ilhas mostram padrão de alteração similar, no qual a erosão concentra-se nas porções voltadas à Baía, e a acreção desenvolve-se nas demais áreas. No total, cerca de 86 ha foram erodidos, outros 118 ha foram acrescidos nas margens com menor influência da Baía. A erosão ocorreu com maior intensidade na costa leste das ilhas Jararaquinha, Mirim e Jutuba. A acreção teve maior expressividade na costa oeste das ilhas Jararaquinha, Mirim e costa sul da Ilha de Paquetá, onde a linha de costa progradou em até 500 m.

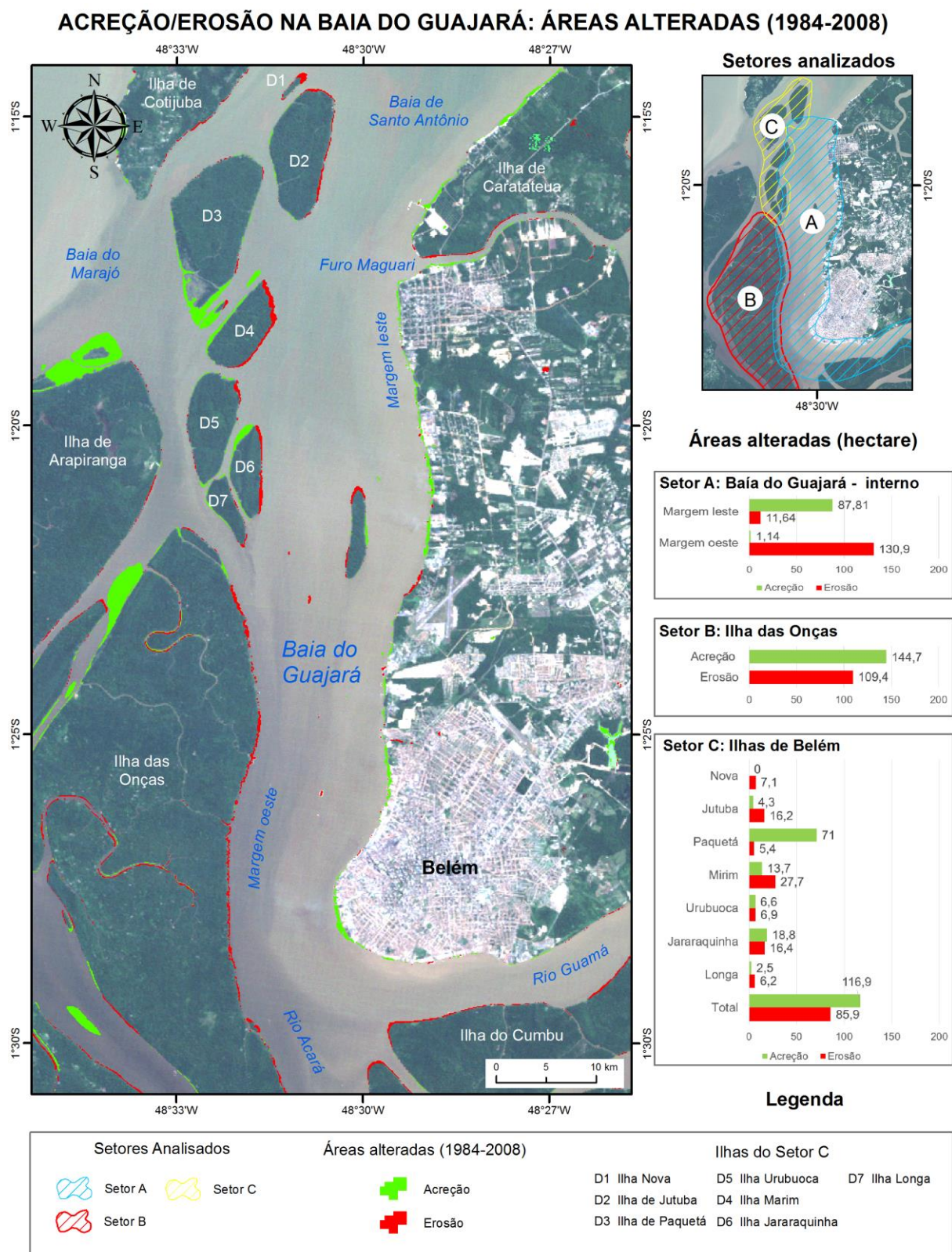


Figura 4. Mapa com a disposição das áreas alteradas na Baía do Guajará entre os cenários de 1984 e 2008. Canto superior direito - área de abrangência de cada setor analisado. Lateral direita - áreas alteradas em hectares para cada setor e suas particularidades.

5. Discussão

As alterações assinaladas entre os cenários de 1984 e 2008 mostram um padrão de destaque na área, em que as margens da Baía apresentam índices opostos (Figura 4). Tal configuração é produto de dois fatores principais: morfologia de fundo e a hidrodinâmica. O relevo submarino da Baía do Guajará é heterogêneo, formado por canais e depósitos sedimentares na forma de barras, bancos e planícies areno-lamosas (Figura 5). Essas feições morfológicas estão sobre ação de regime hidrodinâmico intenso, no qual atuam componentes de maré e descarga fluvial. Estes fatores são mutáveis, e as mudanças ocorridas nas últimas décadas vêm acentuando o padrão assinalado nos resultados.

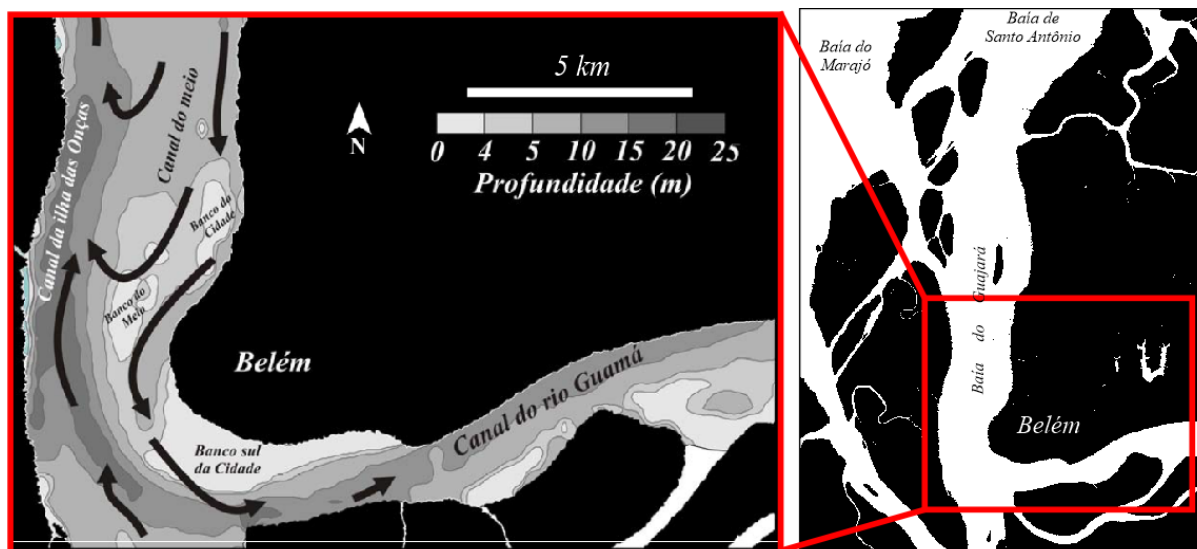


Figura 5. Principais feições de fundo da porção sul da Baía do Guajará e as correntes de enchente e vazante (setas) em situação de maré enchente. Modificado de Gregório (2008).

Os Estudos batimétricos de Miranda & Mendes (2007) e Gregório (2008) mostram que a Baía do Guajará tem grandes áreas de baixa profundidade (4 e 10m), onde se encontram os bancos de areia e as planícies areno-lamosas. Já nas áreas mais profundas, concentram-se os canais de enchente e vazante, chegando a profundidades de 25m. A intensa erosão na margem oeste está associada a um dos canais, considerado por Pinheiro (1987) como a principal feição morfológica da Baía do Guajará: o Canal da Ilha das Onças. Este canal possui cerca de 1 km de largura e estende-se por 19 km, da foz do Rio Guamá até o norte da Ilha das Onças (Gregório, 2007). Por intermédio dele, a maior parte da descarga dos rios Guamá e Acará é canalizada de forma acelerada em direção à jusante, intensificando a erosão na margem oeste da Baía (Gregório, 2007). Segundo Miranda e Mendes (2007), de 1964 a 2003, este canal vem migrando para oeste e aprofundando-se, o que teria aumentado a vazão e o caráter erosivo da margem. Böck (2010) aponta que, para o mesmo período, a profundidade do canal aumentou 73%, e as correntes vazantes aumentaram a velocidade em até 40%. Estes dados mostram a intensa erosão do fundo e da margem oeste da Baía, assinalando nos resultados com a retrogradação de 130 ha ao longo de 22 anos.

O padrão de acreção da margem leste está ligado ao intenso assoreamento que ocasionou a migração, expansão e conexão de bancos de areia na Baía do Guajará (Miranda & Mendes, 2007; Gregório, 2008). Miranda e Mendes (2007) indicam que as áreas de abrangência dos bancos de areia Da Cidade e Do Meio (Figura 5) tiveram sua profundidade reduzida em até 50% no período de 1964 a 2003. Os mesmos autores indicam que o Banco Sul da Cidade, no mesmo período, progradiu para sudoeste e teve a profundidade reduzida em 50%, ganhando áreas expressivas de exposição subaérea durante a baixa-mar. Gregório (2008) explica que a evolução dessas massas sedimentares está diretamente ligada à hidrodinâmica da Baía.

Segundo o autor, na margem oeste predominam as correntes vazantes e na margem leste predominam as correntes de enchente, porém, há pontos de interação (Figura 5). Na porção central da baía, ocorre bifurcação das correntes: uma componente segue o fluxo de enchente enquanto a outra segue o fluxo da vazante. O choque entre elas reduz a energia de fluxo, fazendo os sedimentos em suspensão serem depositados ao longo da margem leste da Baía (Gregório, 2008). Tal fenômeno ocorre também na porção sul, quando as correntes de enchente miram para sul pela margem leste e se chocam com as correntes de final de vazante dos Rios Guamá e Acará, que migram para norte (Figura 5). Nesta área, é criada uma zona de deposição de sedimentos finos que contribuem para a expansão do Banco Sul da Cidade. A mesma tendência é abordada por Böck (2010) que mostra um decréscimo da velocidade de fluxo para várias áreas de margem leste, entre os cenários de 1962 e 2002.

6. Conclusões

A Baía do Guajará teve mudanças ambientais significativas em um período relativamente curto, evidenciando a magnitude dos agentes físicos envolvidos. Como reflexo dessas mudanças, a margem oeste da Baía foi intensamente erodida, enquanto que na margem leste predominou a acreção. O uso das *QA Bands* mostrou-se uma ferramenta satisfatória na detecção das mudanças na linha de costa em análise de média escala. O processo mostrou-se operacionalmente econômico, já que não há necessidade de vetorização manual da linha de costa, possibilitando a avaliação da erosão/acreção de grandes áreas de forma rápida. Ademais, estes dados são de uso gratuito e estão disponíveis para toda a série Landsat.

Agradecimentos

Ao CENSIPAM via projeto MCTI/CNPq/CT-Aquaviário N° 456388/2013-3 pela bolsa de estudos que proporcionou o desenvolvimento do trabalho. Ao Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) e Laboratório de Ensino e Pesquisa em Geotecnologias (LEPGEO) pelos recursos tecnológicos que viabilizaram o processamento dos dados.

Referências Bibliográficas

- Boak, E.H.; Turner, I.L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**, v.21, n.4, p. 688-703, 2005.
- Böck, C.S. **Influência da morfologia do fundo na hidrodinâmica da Baía do Guajará (Pará)**. 2010. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.
- Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. **Journal of Coastal Research**, v.7, n.3, p. 839-852, 1991.
- Crowell, M.; Leatherman, S.P.; Buckley, M.K. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data. **Shore and Beach**, 61(2), p.13–20, 1993.
- Gregório, A.M.S. **Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico**. 2008. 128 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.
- Miranda, A.G.; Mendes, A.C. Evolução batimétrica da Baía de Guajará, Belém/PA, **Anais do XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Belém, Pará, pp. 1-60, 2007.
- Pinheiro, R.V.L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém/PA**. 1987. 164 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém. 1987.
- USGS. **Product Guide - Landsat Surface Reflectance CDR Version 7**. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 2016. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/documents/cdr_sr_product_guide.pdf>. Acesso em: 08.set.2016.