

Artigo de Pesquisa

## Dinâmica dos fundos das áreas de disposição de sedimentos dragados na Baía de Guajará, Pará, Brasil

*Bottom dynamics of sediment disposal areas of Guajará Bay, Pará, Brazil*

Carlos Augusto Corrêa Mendes<sup>1</sup>, Maâmar El-Robrini<sup>2</sup> e Hito Braga de Moraes<sup>1</sup>

- <sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, Brasil. E-mail: [augustomendes42@gmail.com](mailto:augustomendes42@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1528-9583>
- <sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, Brasil. E-mail: [robrinimc@gmail.com](mailto:robrinimc@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7850-1217>
- <sup>1</sup> Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, Brasil. E-mail: [hito@ufpa.br](mailto:hito@ufpa.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0214-0587>

Recebido: 15/06/2020; Aceito: 31/05/2021; Publicado: 15/01/2022

**Resumo:** Nos últimos anos aumentou o volume de sedimentos dragados em portos de todo o mundo, em função da necessidade de adequação e evolução do tamanho dos navios. Em meados de 1998, foram selecionadas quatro Áreas de Deposição de Sedimentos (ADS) para descarte de sedimentos provenientes de dragagens na região da Baía de Guajará, Belém, Pa. Para entender a dinâmica e distribuição dos sedimentos depositados nessas áreas, onde as correntes de fundo ( $2,10 \text{ m s}^{-1}$ ) e a mesomaré ( $3,7 \text{ m}$ ) são bastante atuantes, foram utilizadas cartas náuticas do Porto de Belém, referentes aos anos de 1984, 1999, 2003 e 2010. A metodologia baseou-se na digitalização das cartas náuticas para análises multitemporais e geração de mapas da evolução batimétrica. Antes da dragagem (1984-1999) foi notado elevado assoreamento em diversos setores da baía. Durante o período de dragagem (1999-2003) houve estabilidade batimétrica sobre as ADS. Após as dragagens (2003-2010) foi notado intenso aprofundamento. O descarte de sedimentos dragados no centro da baía alterou a dinâmica de transporte de sedimentos, resultando em rápido aumento da profundidade de bancos e canais. Estes resultados deverão contribuir para escolha de novas ADS nas próximas dragagens na Baía de Guajará.

**Palavras-chave:** Dragagem. Estuário. Portos.

**Abstract:** In recent years, the volume of dredged sediments has increased in ports around the world, due to the need for adaptation and evolution of the size of ships. In mid-1998, four Sediment Deposition Areas (ADS) were selected for disposal of sediment from dredging in the Guajará Bay region, Belém, Pa. To understand the dynamics and distribution of sediments deposited in these areas, where bottom currents ( $2.10 \text{ m s}^{-1}$ ) and mesotidal ( $3.7 \text{ m}$ ) are very active, nautical charts from the Port of Belém were used, referring to the years 1984, 1999, 2003 and 2010. The methodology was based on the digitization of nautical charts for multitemporal analyzes and generation of bathymetric evolution maps. Before the dredging (1984-1999) high siltation was noticed in several sectors of the bay. During the dredging period (1999-2003) there was bathymetric stability over the ADS. After the dredging (2003-2010), intense deepening was noted. The disposal of dredged sediments in the center of the bay changed the dynamics of sediment transport, resulting in a rapid increase in the depth of banks and channels. These results should contribute to the choice of new ADS in the next dredging in the Guajará Bay.

**Keywords:** Dredging. Estuary. Harbor.

## 1. Introdução

Nos últimos anos houve um aumento no volume de sedimentos dragados em portos de todo o mundo. Resultado da necessidade de adequação e evolução no tamanho dos navios (Cesar et al. 2014; Martelo et al. 2019). A exemplo da maioria dos portos, o de Belém (Pará, Brasil) está localizado em um estuário, protegido de fenômenos oceânicos. O ambiente estuarino é uma área sensível às mudanças temporais, naturais e antrópicas, principalmente às atividades de dragagens (MIRANDA et al. 2017; ÁLVAREZ et al. 2017).

As dragagens são essenciais para o desenvolvimento socioeconômico, construção e manutenção da infraestrutura da qual depende a prosperidade econômica e bem-estar social (Wenger et al. 2018). Diante disso, milhões de metros cúbicos de sedimentos são dragados todos os anos nos portos do mundo (Carpenter et al. 2018). Os Estados Unidos da América (EUA) dragam cerca de 274 milhões de metros cúbicos por ano (Welch, Mogren e Beeney 2016). Portos na Turquia e na Holanda dragam, respectivamente, 3 e 20 milhões de metros cúbicos por ano (Ozer-Erdogan et al. 2016; Sazakli e Leotsinidis, 2018). No Brasil, para aumento das profundidades do canal de acesso e áreas portuárias do Porto de Rio Grande (Rio Grande do Sul) foram dragados recentemente aproximadamente 20 milhões de metros cúbicos de sedimentos.

Após a dragagem, o descarte dos sedimentos pode ser realizado no corpo d'água, ao mar, em terra ou utilizados para fins benéficos, dependendo da legislação (Gómez, 2015). No Brasil, a resolução CONAMA n° 454/2012 estabelece diretrizes e procedimentos para uso benéfico de material dragado (obras de engenharia, criação e melhoria do terreno, recomposição, engorda artificial de praias, estabilização da linha de costa, construção civil, indústria, agricultura, aquicultura), disposição em solo ou em águas sob jurisdição nacional, mas o procedimento adotado ainda é a disposição direta ao corpo d'água. Na Baía de Guajará, em 1998, deu-se início à criação das Áreas de Deposição de Sedimentos (ADS) denominadas n° 1, 2, 3 e 4 que receberam grandes quantidades de sedimentos dragados do Porto de Belém e dos Terminais Petroquímicos de Miramar e de Outeiro.

O monitoramento do processo de dragagem e dos locais de descarte dos sedimentos é muito importante por conta dos impactos que tais atividades podem causar nos ambientes estuarinos, tais como mudanças do habitat de organismos aquáticos, com alterações na comunidade bentônica (Piló et al. 2019), deterioração da qualidade da água, com aumento da turbidez (Becker et al. 2015; Vagge et al. 2018) e modificações do padrão de transporte sedimentar e morfologia (MORRIS, 2007; MONGE-GANUZAS, CEARRETA e EVANS, 2013; VAN MAREN, VAN KESSEL e CRONIN, 2015).

Estudos sobre a influência de atividades humanas na geomorfologia estuarina são realizados à medida que as cidades avançam em direção a esses ambientes (Wu et al. 2018). Para isso, são gerados modelos de evolução, onde o uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm ganhado destaque pela facilidade em relação às técnicas convencionais na obtenção de dados, para análises em diferentes períodos: 1842 a 2006 (Wang et al. 2013), de a 1955 a 2002 (Jeuken e Wang, 2010) e de 1973 a 2003 (Monge-Ganuzas, Cearreta e Evans, 2013). Modelos numéricos, uso de Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) em medições da concentração de sedimentos em suspensão, medidor de partículas a laser in situ (LISST-100), medidores de correntes (CTD), são alguns exemplos de técnicas muito utilizadas atualmente para monitoramento de impactos causados por atividades antrópicas em sistemas estuarinos, principalmente relacionadas à dragagem e descarte de sedimentos (MIKKELSEN e PEJRUP, 2000; DUCLOS et al. 2013; DENG et al. 2017; OLIVEIRA, 2019; LEMOINE, LE HIR e GRASSO, 2020).

Neste cenário, traçar a evolução em escala decadal facilita a compreensão de diversos impactos nos estuários (Wu et al. 2018). Além disso, modelos de desenvolvimento morfológico também ajudam em tomadas de decisões sobre mitigação de mudanças climáticas, controle de inundações, navegação e trabalhos de engenharia (BAAR et al. 2019).

Este estudo tem como objetivo evidenciar as mudanças morfológicas ocorridas na Baía de Guajará após a disposição de sedimentos dragados no estuário com base em dados batimétricos de cartas náuticas do Porto de Belém, analisando antes (1984-1999) e depois (2003- 2010) da criação das ADS.

## 2. Área de Estudo

A Baía de Guajará se inicia na confluência dos rios Acará e Guamá, a NW de Belém (Pará), possui 30 km de extensão, 3,9 km de largura e distante 120 km do oceano Atlântico. Composta por numerosas ilhas e canais,

principalmente em sua margem esquerda, onde se encontram as Ilhas das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá-Açu e Jutuba. A região é caracterizada por altos índices pluviométricos, sem distribuição regular das chuvas e oscilações consideráveis ao longo do ano, média de 319,2 mm/mês, com os máximos ocorrendo nos meses de fevereiro, março e abril (> 600 mm) e os mínimos ocorrendo em julho e outubro (< 150 mm) (MORAES e FILHO, 2018).

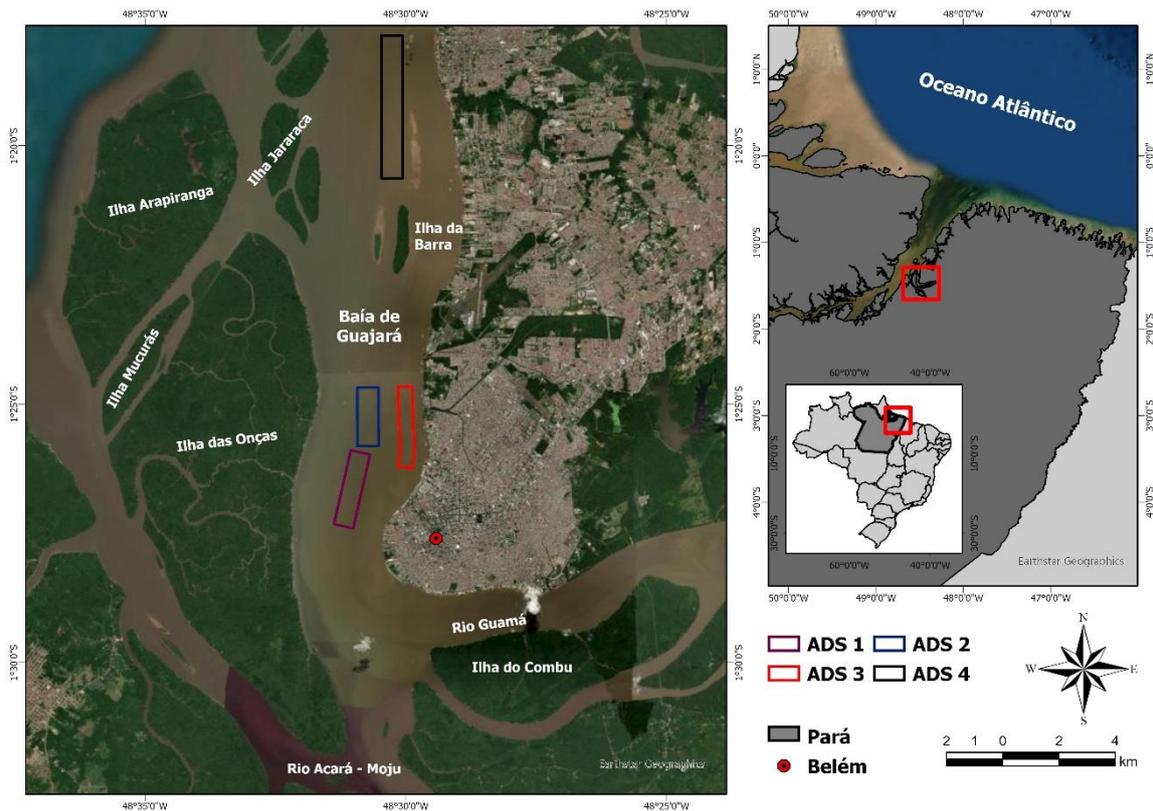
Na região, afloram os sedimentos consolidados do Grupo Pirabas e Barreiras e arenosos inconsolidados do Grupo Pós-Barreiras (Rossetti, 2001). Nas margens da Baía de Guajará, a 100-120 m da superfície, ocorre a Formação Pirabas (Oligo-Mioceno) e, sobrepostos, em profundidade entre 100-150 m os sedimentos (Terciário) do Grupo Barreiras. Em seguida, o Quaternário, está repousando ao Pleistoceno/ Holoceno Médio-Inferior, sendo correlacionado aos sedimentos Pós-Barreiras, e, no topo da seção, estariam os sedimentos recentes (PINHEIRO, 1987).

A Baía de Guajará (Figura 1) é marcada pela presença de bancos com elevada dinâmica causada pelos sedimentos provenientes dos rios Acará, Guamá e Moju (Bock, Assad e Landau, 2011), canais de enchente (Canal do Meio) e de vazante (Canal da Ilha das Onças) bem definidos (Pinheiro, 1987; Gregório e Mendes, 2009a). O Canal da Ilha das Onças começa ao sul da baía com o Canal do rio Guamá, e bordejia a cidade de Belém com direção NE-SW (GREGÓRIO e MENDES, 2009b).

Na Baía de Guajará, os bancos arenosos ocorrem ao norte e a sudoeste, nas partes sul e sudeste são os bancos lamosos (do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) (Gregório e Mendes, 2009b; Bock, Assad e Landau, 2011). Os bancos são rasos (3 a 5 m de profundidade), entretanto, nos canais a profundidade pode ultrapassar 25 m.

O regime de maré é semi-diurno com variação de 2,1 m (quadratura), e 3,7 m (sizígia) (DHN, 2018). Segundo dados apresentados pela AHIMOR (1998), a contribuição fluvial na Baía de Guajará é da ordem de 830 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, no período de estiagem, sendo cerca de 67% dessa vazão devido ao rio Guamá e 33% ao rio Acará- Moju. A velocidade máxima das correntes ocorre durante a sizígia, na enchente, a 1 m da superfície da água, a média mais baixa associa-se à maré de quadratura, na vazante, do mesmo modo a 1 m da superfície da água, a máxima absoluta ocorre na sizígia, com a máxima na vazante (1,74 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e enchente (2,10 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) (PINHEIRO, 1987).

A salinidade é relativamente baixa, em março (período chuvoso) varia de 0,02 a 0,01, em junho (período chuvoso) de 0,01 a 0, em setembro (período menos chuvoso) de 0,07 a 0,06 e em dezembro (período menos chuvoso) de 0,83 a 0,47 (Ahndrew, 2018). A salinidade mais elevada ocorre próximo ao fundo, indicando a penetração da maré salina sob a forma de cunha no canal de enchente (Pinheiro, 1987). O estuário é classificado como do tipo hipossincrônico (Blanco et al. 2015), onde os efeitos de fricção de fundo dominam e os da maré diminuem ao longo do estuário.



**Figura 1.** Mapa de localização da Baía de Guajará, com destaque para as Áreas de Disposição de Sedimentos (ADS) ao longo da baía.

**2. Materiais e Métodos**

Foram utilizadas cartas náuticas do Porto de Belém (nº 320) referentes aos anos de 1984, 1999, 2003 e 2010, na escala 1: 15.000 - 1: 25.000, disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) setor da Marinha do Brasil (DHN, 2018), e pelo Laboratório de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

As cartas foram georreferenciadas no Sistema de Projeção Cartográfica (UTM), no Datum SIRGAS 2000 (Brasil) através do software ArcGis Pro®. A digitalização ocorreu em ambiente Surfer 11 (Golden Software®), com uso da ferramenta digitalize, gerando uma sequência de dados com latitude (x), longitude (y) e profundidade (z). No mesmo software, foi realizado o processo de interpolação. A interpolação utilizada para geração dos mapas batimétricos e da evolução batimétrica foi a de krigagem (kriging), pois mostrou resultados mais satisfatórios em relação aos demais interpoladores para a região.

As mudanças dos fundos foram identificadas através de análise multitemporal dos mapas batimétricos antigos (background). Os períodos correlacionados foram: 1984- 1999, 1999- 2003 e 2003- 2010. Para quantificar a mudança das formas de fundo foi realizada a mensuração (em metros) da diferença entre as isóbatas de mesmo valor comparadas entre os anos analisados. Onde os valores encontrados foram divididos pela diferença de anos entre as duas análises para estimar uma taxa de crescimento em m.ano-1.

A partir das cotas batimétricas contidas nas cartas náuticas calculou-se o volume líquido para cada ano analisado (1984, 1999, 2003 e 2010). As mudanças morfológicas de fundo ocorridas entre cada ano analisado foram observadas através de mapas de evolução batimétrica, onde os valores positivos indicam assoreamento, zero são regiões estáveis e negativos aprofundamento.

### 3. Resultados

Os mapas batimétricos evidenciaram a elevada perda de sedimentos em camadas na Baía de Guajará de 1984 a 2010, com intenso aprofundamento nos bancos e, principalmente nos canais. É notável que áreas de maiores profundidades médias estão localizadas ao norte da baía (Figura 2).

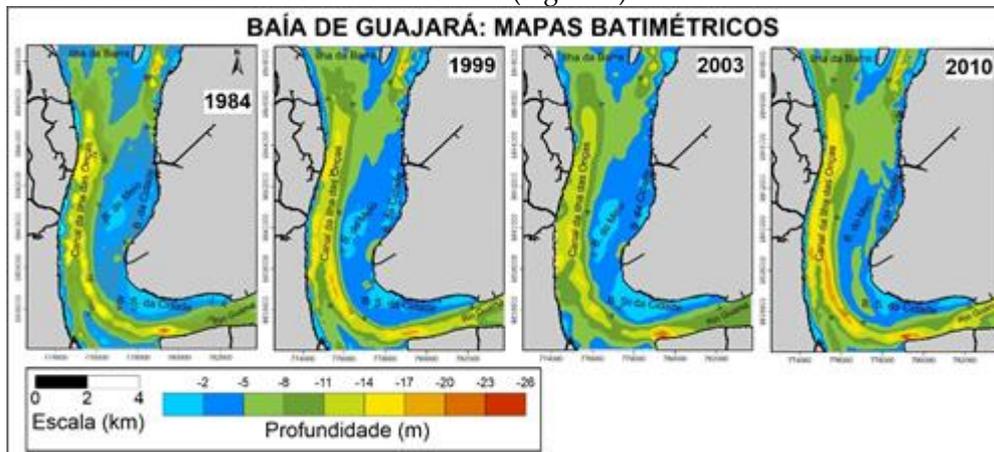


Figura 2. Batimetria da Baía de Guajará referente aos anos de 1984, 1999, 2003 e 2010.

As maiores profundidades foram registradas nos anos de 1984 e 2010, com valores relativamente próximos, porém, os mais elevados foram encontrados em 2010. As menores profundidades foram encontradas nos anos de 1999 e 2003. O volume analisado é referente ao volume de água da baía, calculado a partir da batimetria, ou seja, aumento do volume significa aprofundamento (perda de sedimentos de fundo) e a diminuição representa assoreamento (aumento de sedimentos de fundo).

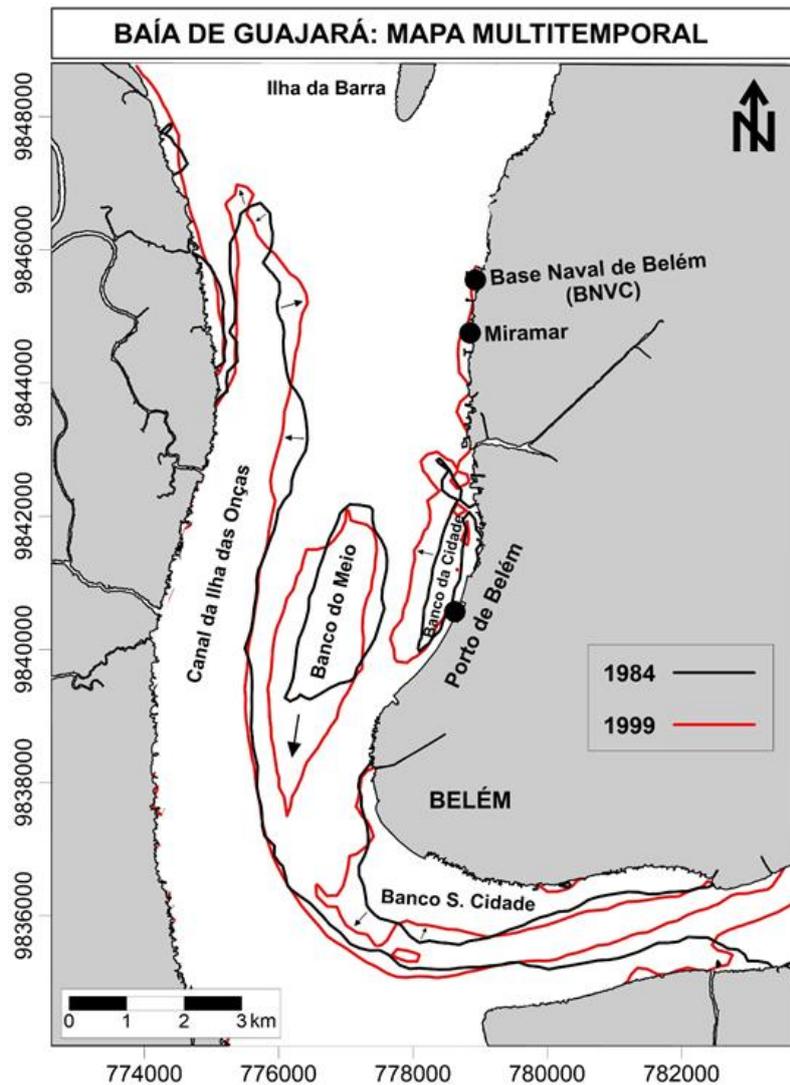
Em 1984, o volume foi de 642.099.824,2 m<sup>3</sup>, em 1999 foi de 599.911.536,3 m<sup>3</sup>, em 2003 foi de 584.110.344,5 m<sup>3</sup> e em 2010 foi de 655.741.552,8 m<sup>3</sup>. Comparando os dois primeiros anos (1984 e 1999), verificou-se que houve uma diminuição de 42.188.287 m<sup>3</sup>, essa redução caracteriza assoreamento nesse período. No segundo período (1999 a 2003), uma diminuição mais discreta de volume ocorreu (15.801.191 m<sup>3</sup>). Nos últimos dois anos (2003 e 2010), ao compará-los, foi encontrado um aumento no volume de 71.631.208 m<sup>3</sup>, o que significa que somente nesse período, se considerada a área analisada total, houve erosão com aumento significativo de profundidade.

#### 3.1. Evolução morfológica

No período de 1984 a 1999, próximo ao Banco do Meio, o Canal da Ilha das Onças migrou lateralmente para oeste 395,6 m (26,4 m ano<sup>-1</sup>). Um pouco mais ao norte, o mesmo canal migrou em direção contrária 457,9 m para leste (30,5 m ano<sup>-1</sup>), o limite do canal ao norte avançou 276,8 m em direção à foz da baía, ou seja, 18,5 m ano<sup>-1</sup>.

O Banco do Meio migrou para sul 1718,2 m (114.m ano<sup>-1</sup>) e expandiu lateralmente para oeste 372 m (24,8 m ano<sup>-1</sup>).

O Banco da Cidade migrou para sudoeste 321,3 m (21,4 m ano<sup>-1</sup>) e expandiu lateralmente para oeste 169,2 m (11,3 m ano<sup>-1</sup>). O Banco do Sul da Cidade expandiu para sudoeste 416,5 m (27,8 m ano<sup>-1</sup>) (Figura 3).

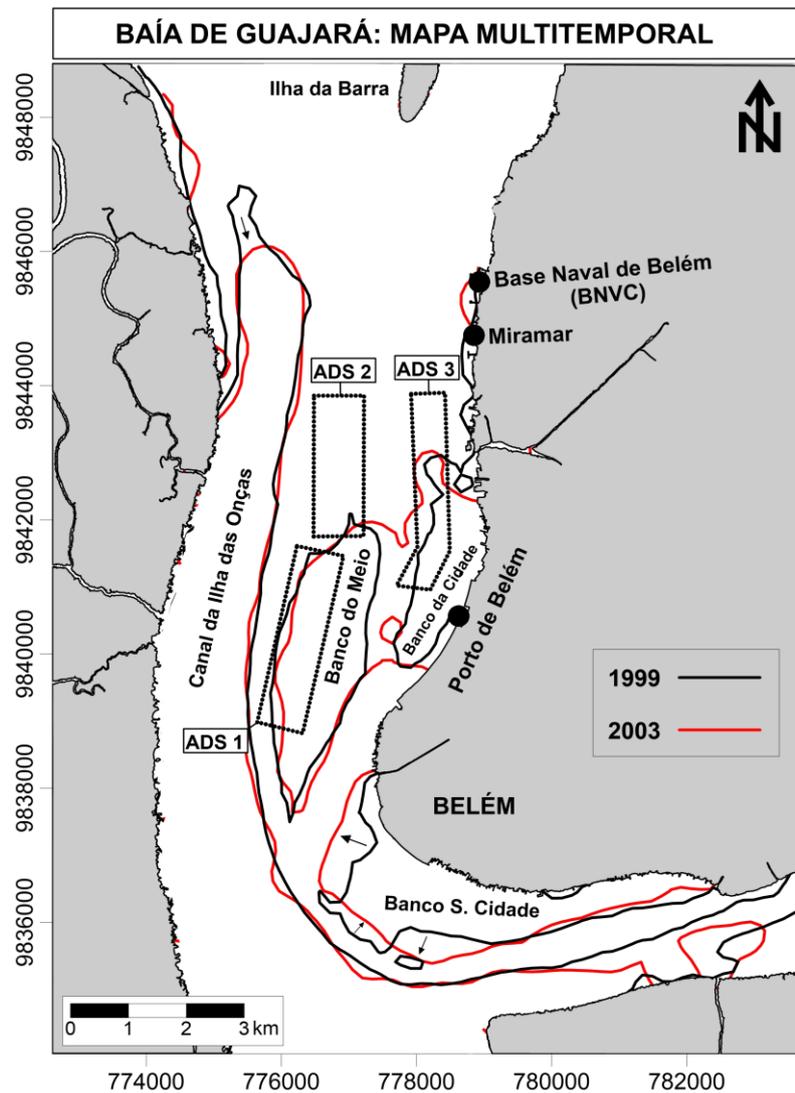


**Figura 3.** Mapa multitemporal da Baía de Guajará, entre os anos de 1984 (preto) e 1999 (vermelho). As setas pretas indicam a direção de migração das feições.

No segundo período (1999 a 2003), as ADS selecionadas passaram a receber sedimentos dragados. Nesse período, o Canal da Ilha das Onças teve uma diminuição, identificada a norte, da sua extensão de 900,1 m ( $225 \text{ m ano}^{-1}$ ). Na sua margem direita próximas às ADS houve uma alternância de migração para leste e para oeste, sendo próximo à ADS 2 alcançou 110,3 m para leste ( $27,6 \text{ m ano}^{-1}$ ).

Os bancos foram identificados pela isóbata de 3 m, pois foi a única com contorno completo comum em todas as cartas. Porém, na comparação entre os anos de 1999 e 2003 não foi possível identificar o limite entre os bancos para o ano de 2003. A feição que separa os bancos é o canal de enchente (Canal do Meio), sendo assim, impossível evidenciar as mudanças morfológicas entre as feições. De uma forma geral, o que se observou foi uma tendência de migração dos bancos para o norte.

O Banco do Sul da Cidade expandiu para nordeste 626,1 m ( $156,5 \text{ m.ano}^{-1}$ ). Na sua parte média diminuiu em 307,1 m a sudoeste ( $76,7 \text{ m.ano}^{-1}$ ) e já em direção ao rio Guamá volta a se expandir migrando para sul 445,4 m ( $111,3 \text{ m.ano}^{-1}$ ) (Figura 4).

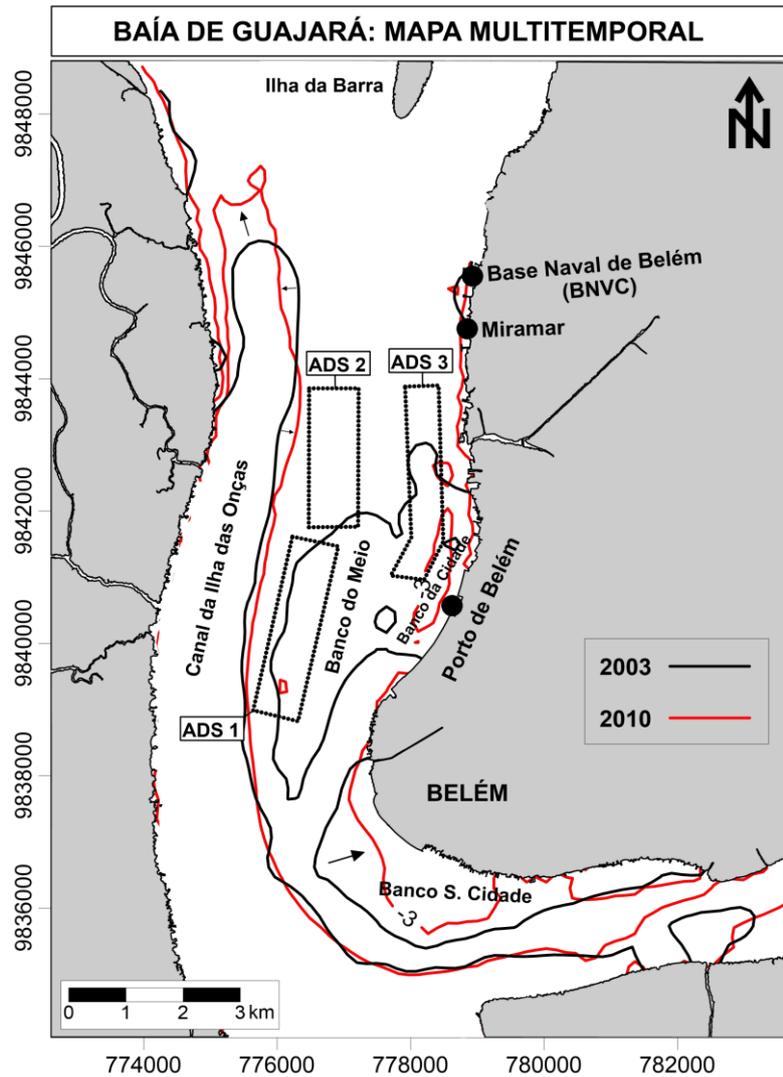


**Figura 4.** Mapa multitemporal da Baía de Guajará, entre os anos de 1999 (preto) e 2003 (vermelho). As setas pretas indicam a direção de migração das feições. Os retângulos pretos são as ADS.

No último período (2003 a 2010), o Canal da Ilha das Onças avançou para norte 1132,5 m ( $161,8 \text{ m.ano}^{-1}$ ), retomando limites próximos aos encontrados em 1999. Próximo dos locais das ADS, o canal alternou seus limites para oeste 289,3 m ( $41,3 \text{ m.ano}^{-1}$ ) e para leste 257,9 m ( $36,8 \text{ m.ano}^{-1}$ ) (Figura 5).

Na carta náutica de 2010 não foi possível identificar o Bancos do Meio pela isóbata de 3 m, provavelmente por conta do aumento de profundidade nesta região da Baía de Guajará. A que melhor identificou o banco no referido ano foi a de 5 m, no entanto, não foi utilizada por não servir para a mesma feição nas demais cartas. O Banco da Cidade aparece na representação de 3 m, porém bem menor que nos demais anos.

O Banco do Sul da Cidade também foi afetado pelo processo erosivo, com a diminuição de seus limites neste último período alcançando 1019,4 m ( $145,6 \text{ m.ano}^{-1}$ ) em direção à margem da Baía de Guajará (margem direita). Em alguns pontos foi possível notar que os limites do banco coincidiram com os limites da margem da baía. A evolução multitemporal completa é mostrada na Tabela 1.



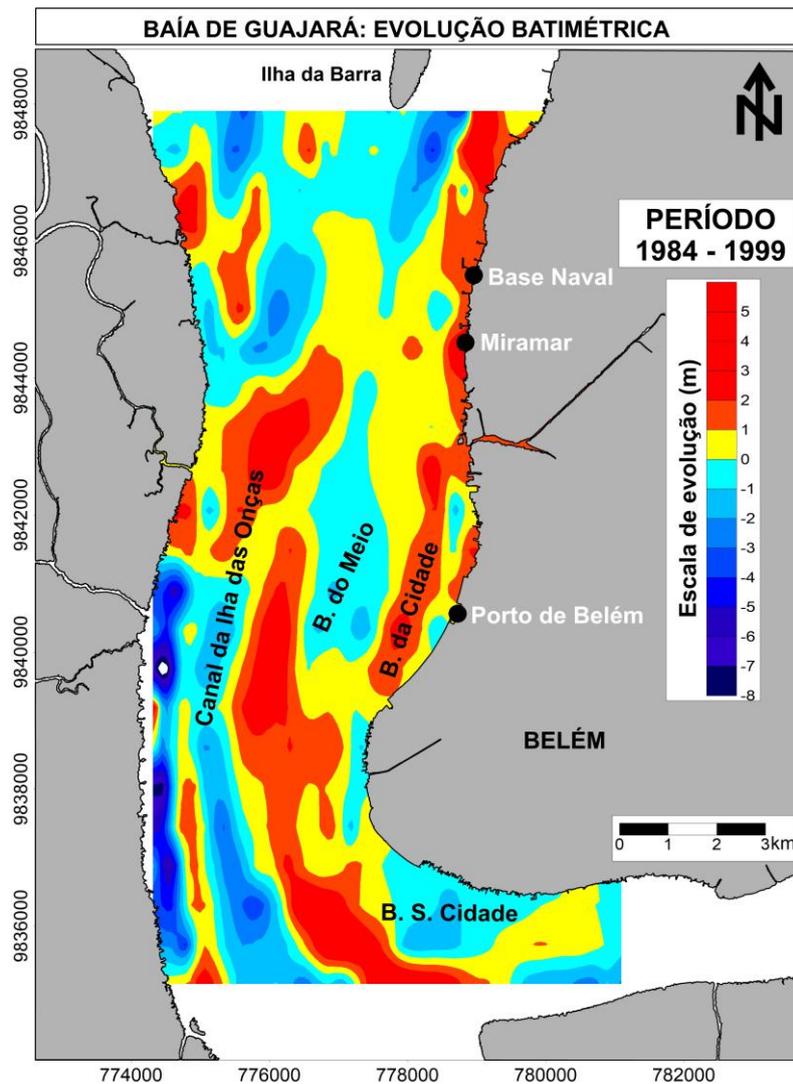
**Figura 5.** Mapa multitemporal da Baía de Guajará, entre os anos de 2003 (preto) e 2010 (vermelho). As setas pretas indicam a direção de migração das feições. Os retângulos pretos são as ADS.

**Tabela 1.** Evolução multitemporal dos bancos e canais da Baía de Guajará de 1984 a 2010 com valores e direção de migração/deslocamento. Em alguns períodos, como 1999-200 e 2003-2010, foi impossível quantificar essa evolução em algumas feições.

<b>Período</b>	<b>C. da Ilha das Onças (m.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>B. da Cidade (m.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>B. do Meio (m.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>B. do Sul da Cidade (m.ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>1984 - 1999</b>	26,4 O	21,4 O	114,5 S	27,8 SO
	30,5 E	11,3 S	24,8 O	
	18,5 S			
<b>1999 - 2003</b>	225,0 N		99,5 E	156,5 NO
	27,6 E			76,7 SO
				111,3 S
<b>2003 - 2010</b>	161,8 N			145,6 E
	41,3 O			95,4 N
	36,8 E			

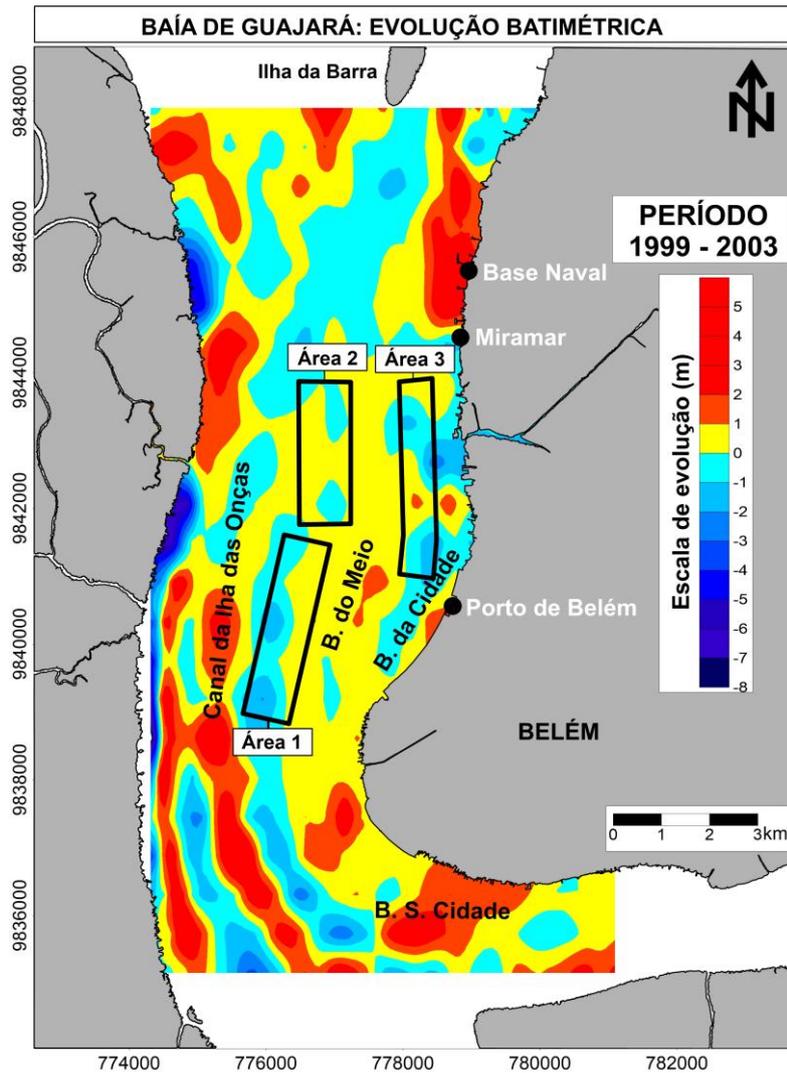
### 3.2. Evolução batimétrica

De 1984 a 1999, as áreas mais afetadas pelo assoreamento encontravam-se na margem direita da baía. No entanto, ao longo de toda a baía foram encontrados pontos de assoreamento, inclusive na margem esquerda e no Canal da Ilha das Onças. Sobre o Banco do Meio predominou erosão com aumento de profundidade. No Banco da Cidade houve assoreamento, com pontos de erosão próximos ao Porto de Belém. Próximo ao Banco do Sul da Cidade houve assoreamento, na região próxima a desembocadura do rio Guamá, mas sobre o banco predominou erosão com aumento de profundidade no local (Figura 6).



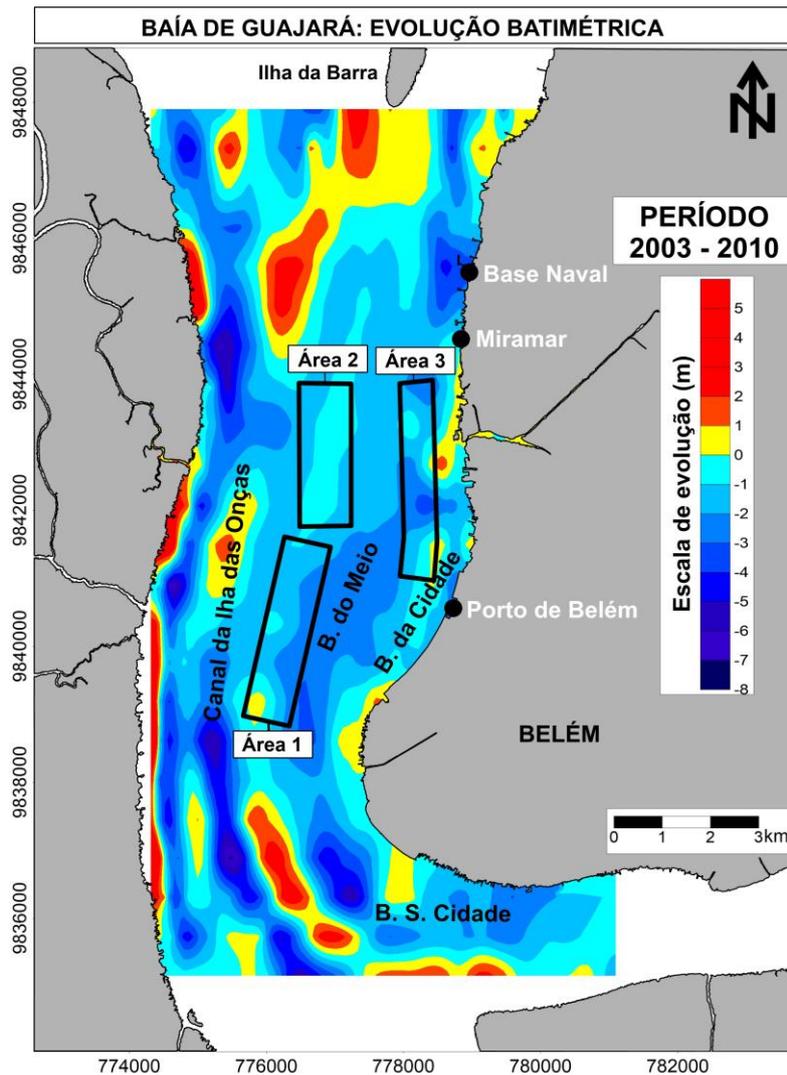
**Figura 6.** Mapa da evolução batimétrica da Baía de Guajará de 1984 a 1999. Valores positivos (vermelho) representam assoreamento, negativos (azul) aprofundamento e zero (amarelo) áreas estáveis.

Entre 1999 e 2003, as ADS se mostraram estáveis, provavelmente pelo pouco tempo de recebimento dos sedimentos dragados, mas já com sinais de perda de sedimentos de fundo pelo processo erosivo (Figura 7). Na margem esquerda e sobre o Canal da Ilha das Onças foram identificados pontos de assoreamento. Na margem direita, os pontos de assoreamento são localizados ao norte (próximo à Base Naval de Belém) e ao sul (sobre o Banco do Sul da Cidade). Na região do Porto de Belém predominou erosão (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa da evolução batimétrica da Baía de Guajará de 1999 a 2003. Valores positivos (vermelho) representam assoreamento, negativos (azul) aprofundamento e zero (amarelo) áreas estáveis. Os retângulos pretos são as ADS.

No período de 2003 a 2010 registrou-se a maior taxa de aprofundamento de todos os períodos analisados. Com alguns pontos de assoreamento ao sul, próximo ao Banco do Sul da Cidade, mas em menor intensidade se comparado com os demais períodos. Ao norte da baía, foram encontradas áreas de assoreamento próximas à Ilha da Barra, na região central da baía. Entre o Porto de Belém e o Terminal Petroquímico de Miramar foi possível identificar um ponto de assoreamento em frente a um canal que desagua na baía (Figura 8).



**Figura 8.** Mapa da evolução batimétrica da Baía de Guajará de 2003 a 2010. Valores positivos (vermelho) representam assoreamento, negativos (azul) aprofundamento e zero (amarelo) áreas estáveis. Os retângulos pretos são as ADS.

#### 4. Discussão

##### 4.1. Tipos de áreas de deposição utilizadas no mundo

Tanto a atividade de dragagem quanto o descarte de material dragado causam impactos ambientais de longo prazo, afetando a vida marinha, a indústria pesqueira e outros usuários legítimos do mar, sendo uma gestão cuidadosa necessária para minimizar danos potenciais (MEMG, 2003). Por isso, nas atividades de dragagem são aplicados modelos, com medições de parâmetros meteo-oceanográficos antes, durante e após o descarte para garantir que o material dragado não afete regiões fora das áreas selecionadas.

O Porto de Belém, construído em 1913, tem suas primeiras dragagens datadas de 1882 (Cruz, 1973). Desde então, as dragagens executadas no canal de acesso ao porto são realizadas em períodos de recorrência de 10 anos, aproximadamente. Como a de 1986, realizada no canal de acesso com uma draga auto transportadora (Minas Gerais) no trecho entre o Terminal Petroquímico de Miramar e a bacia de manobra do Porto de Belém. Em 1998, quando houve dragagem novamente na Baía de Guajará e após diversos estudos na região, foram determinadas áreas fixas para disposição de sedimentos dragados.

Ao redor do mundo, em dragagens de portos e canais de navegação, são utilizadas diversas técnicas para disposição de sedimentos, tais como: Capeamento do Nível do Fundo ou LBC (Level Bottom Capping), Disposição Aquática Contida ou CAD (Contained Aquatic Disposal), Área de Disposição Confinada ou CDF (Confined Disposal Facility), uso benéfico e lançamento ao mar aberto e em terra (exemplo: Inglaterra, Holanda) (BOLAM e WHOMERSLEY, 2006).

Nos EUA, por exemplo, os sedimentos dragados são depositados no oceano para proteção dos recursos naturais críticos e minimização dos potenciais impactos adversos aos locais de disposição oceânica (Welch, Mogren e Beeney 2016). Já na Inglaterra, é comum o despejo marítimo, em locais escolhidos pela proximidade com a dragagem e seguros para a navegação (Bolam, McIlwaine e Garcia, 2016). A Holanda obedece à Lei de Poluição da Água do Mar, incorporando parte dos procedimentos prescritos na Convenção de Londres, adota a construção de áreas confinadas de armazenamento para o material dragado; técnicas de tratamento e o uso benéfico do material dragado, priorizando a reutilização ou uso benéfico, após tratamento adequado (SAZAKLI e LEOTSINIDIS, 2018).

Na Baía de Guajará, o método utilizado para descarte dos sedimentos dragados é considerado o mais simples. Consiste na disposição subaquática diretamente no corpo hídrico sem que o material seja isolado das águas adjacentes, mas requer um monitoramento rígido pela capacidade de dispersão dos sedimentos em suspensão. Essa técnica é aplicada a materiais limpos ou moderadamente contaminados (Castiglia, 2006). Método semelhante é utilizado em outras regiões do Brasil, como nos portos de Itaqui (Maranhão), de Santos (São Paulo) e Rio Grande (Rio Grande do Sul) onde sedimentos dragados são depositados em mar aberto.

#### 4.2. Morfologia de fundo antes da criação das ADS

De 1984 a 1999, não há registros de disposição de sedimentos dragados sobre os bancos do Meio e da Cidade, os registros que se tem são de descarte no Canal da Ilha das Onças e em áreas emersas da baía (margem direita), onde foram lançados os sedimentos provenientes da dragagem de 1986, citada anteriormente. Os mapas de evolução batimétrica evidenciaram bem esses locais marginais da Baía de Guajará e no Canal da Ilha das Onças, com diversos pontos de assoreamento (Figura 6).

Pode-se dizer que a maioria das mudanças morfológicas do período em questão, ocorridas nas áreas dos bancos e canais decorrem de condições naturais e retrabalhamento dos sedimentos lançados próximos a eles. Há também o aporte de sólidos em suspensão dos canais urbanos, pelos rios Guamá e Acará e aterros de grandes construções de urbanização da orla de Belém. Nesse período, a baía sofreu a perda de volume batimétrico (líquido) de 42.188.287 m<sup>3</sup>, resultando em aumento de assoreamento dentro da baía principalmente na margem direita, além dos bancos do Meio e da Cidade.

Relatórios mostram que entre 1998 e 1999 foi realizada uma série de dragagens no canal de navegação do Porto de Belém com os sedimentos sendo depositados em locais licenciados na margem direita da Baía de Guajará. Os registros de licenças (Licença de Operação n° 093/98, de 19.03.98; Licença de Operação n° 156/98, de 16.04.98; Licença de Operação n° 517/98, de 16.07.98 - [www.ahimor.com.br](http://www.ahimor.com.br)) confirmam os resultados apresentados na Figura 6, onde a maior parte das áreas assoreadas estava localizada na margem direita da baía. Algumas destas regiões que registraram elevado índice de assoreamento são importantes para a navegação local, como na bacia de manobra e canal de acesso ao Porto de Belém, o que justificou os procedimentos de dragagem neste período.

#### 4.3. Mudanças morfológicas após a instalação das ADS

Entre 1999 e 2003, foram dragados aproximadamente 2.600.000 m<sup>3</sup> de sedimentos e depositados nas ADS (Figura 1), com último registro de lançamento no ano de 2003. Os sedimentos dragados foram despejados nas ADS nº 1 e 2. A ADS nº 3, à margem direita da baía, foi criada como reserva caso não tivesse condições adequadas para se fazer os despejos nas áreas acima citadas, a nº 4 localizada em direção a foz da baía não foi considerada neste estudo.

Alguns cuidados foram tomados durante o processo de disposição dos sedimentos dragados, como: (1) a embarcação teve sua posição verificada por meio de posicionador eletrônico, de modo a garantir que os materiais fossem despejados nas áreas definidas; (2) foi realizado um controle batimétrico para avaliar o grau de dispersão dos materiais despejados, não permitindo uma altura de elevação superior a 1 m em relação aos níveis de fundo primitivo.

Nos locais das ADS (nº 1, 2 e 3) são predominantes os sedimentos composto por silte, seguido de areia fina e argila, distribuição semelhante aos locais que foram dragados (Sodré et al. 2017). A semelhança granulométrica entre áreas de despejo e locais dragados facilita a permanência dos sedimentos após a disposição.

A proximidade das ADS com o canal de vazante (Canal da Ilha das Onças) torna a permanência dos sedimentos descartados incerta, no entanto, o local foi escolhido visando evitar o retorno do material para os locais de origem, como para a Bacia de Manobra, localizada 1,5 km a montante. Além de ser uma tentativa de facilitar a saída dos sedimentos em suspensão do estuário de forma mais rápida.

Montes formados por disposição de sedimentos podem migrar em escala de meses a anos, impulsionados por processos como movimento ondulatório, células de circulação tridimensional, vento, maré e correntes associadas, turbulência e as interações desses processos (Douglass, Resio e Hands, 1995). Outro fator determinante na dinâmica desses sedimentos dragados é a granulometria, onde sedimentos arenosos têm uma dinâmica muito mais lenta e mais baixa que os sedimentos lamosos, que ficam em suspensão e se dispersam do local de disposição mais rapidamente (LEMOINE, LE HIR e GRASSO, 2020).

A estimativa da concentração de sedimentos em suspensão é considerada a técnica mais importante para determinar o impacto de atividades de dragagem em portos (Cutroneo et al. 2012). Muitas bacias portuárias e canais de navegação sofrem rápido assoreamento, forçando as autoridades de gestão a realizar programas de manutenção caros para proteger a navegação, e este rápido assoreamento é frequentemente associado à ocorrência de altas concentrações de sedimentos em suspensão que formam as chamadas plumas de dragagem (TUINHOF, 2014; GUO et al. 2018).

Para a Baía de Guajará, a escassez de dados de correntes de fundo, séries de vazão e concentração de sedimentos em suspensão dificultam a definição exata dos mecanismos responsáveis pela remoção e transporte dos sedimentos das ADS. As informações que se tem são de Pinheiro (1987), mostrando que na Baía de Guajará a concentração de sedimentos em suspensão pouco varia entre os períodos chuvoso (130 mg l<sup>-1</sup>) e de estiagem (100 mg l<sup>-1</sup>), com um pequeno aumento nas concentrações durante as marés de sizígia que removem os sedimentos finos das margens. Recentemente, ao verificar a aplicabilidade da utilização do ADCP como alternativa para medições de sedimentos em suspensão na região da foz do rio Guamá, uma das principais fontes de sedimentos em suspensão para a Baía de Guajará, Oliveira (2019) encontrou resultados similares aos de Pinheiro (1987), com média de 110 mg l<sup>-1</sup>, mostrando que não houve alterações significativas no aporte de sedimentos em suspensão para a baía.

Em relação às correntes locais, dados de relatório da AHIMOR (1998) mostram que os volumes das correntes de vazante são maiores do que os das correntes de enchente na Baía de Guajará. Com a soma dos volumes das

correntes de vazante sempre maiores do que as somas dos volumes das enchentes, tanto nas marés de sizígia quanto na de quadratura, indicando a existência de contribuições significativas do escoamento fluvial, feitas pelos rios Guamá e Acará-Moju. As vazões das correntes de marés, tanto de enchente como de vazante, são de cerca de 15 a 18 vezes maiores do que as correntes de escoamento superficial, indicando que as correntes de marés são preponderantes nos períodos de estiagem, com os efeitos das correntes de marés maiores na Baía de Guajará que no rio Guamá (Tabela 2).

Tabela 2. Vazão das correntes de marés na Baía de Guajará.

<b>Maré</b>	<b>Volume (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Sizígia</b>	Enchente	653,9
	Vazante	693,45
<b>Quadratura</b>	Enchente	488,4
	Vazante	526,2

Em relação ao processo de sedimentação em estuários, Deloffre et al. (2006) afirma que geralmente ocorre durante condições relativamente calmas devido ao assentamento e assimetria das marés quando o suprimento de sedimentos é grande. Na Baía de Guajará, as correntes de maré de sizígia possuem fluxos médios da ordem de 36.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no período de enchente (para 5,5 horas de duração média da maré de enchente) e 26.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> no período de vazante (para 7 horas de duração média da maré de vazante) (AHIMOR, 1998). Porém, esse processo de deposição por conta da assimetria da maré só foi observado próximo ao Banco do Sul da Cidade, onde as correntes de maré de enchente se chocam com as correntes residuais de vazante, causando deposição de sedimentos trazidos pelos rios Guamá e Acará (GREGÓRIO e MENDES 2009a).

Apesar da identificação de alguns pontos de assoreamento, é notório que a disposição de sedimentos dragados intensificou o aprofundamento do Canal da Ilha das Onças, aumentando as velocidades médias das correntes de vazante e, conseqüentemente, a saída de sedimentos do sistema em direção à foz. No entanto, a literatura mostra que a morfologia dos canais estuarinos está em constantes mudanças, resultado tanto de processos naturais quanto por interferências humanas (Jeuken e Wang, 2010; Azevedo e Castro, 2016). Sendo assim, impossível dizer que as mudanças sofridas pela disposição de sedimentos na região serão permanentes. No entanto, esse processo de transporte de sedimentos mais acelerado para a desembocadura da baía pode gerar uma elevada deposição de sedimentos em regiões importantes para a navegação, como o próprio canal de acesso ao Porto de Belém e terminais da região.

Os resultados obtidos confirmam as afirmações feitas por Gregório e Mendes (2009b) de que a Baía de Guajará é uma zona de "by passing", principalmente pela baixa deposição de sedimentos finos (argila). Para estudos futuros, a mediação de correntes de fundo, concentração de sedimentos em suspensão e séries temporais de vazão devem ser feitas para melhor explicar esse aprofundamento nos fundos da Baía de Guajará.

Em relação à localização das ADS, para as próximas dragagens recomenda-se a escolha de novos locais para descarte de sedimentos dragados, com menor hidrodinâmica ou fora da baía em disposição oceânica, porém a disposição oceânica seria um processo caro pela distância entre a baía e o oceano (120 km). No momento não há previsão para dragagem de grandes volumes de sedimentos na região portuária de Belém, desta forma, as dragagens de manutenção que eventualmente acontecer, e desde que sejam sedimentos com baixa contaminação, podem despejar os sedimentos dragados na margem esquerda da baía, próximo ao Canal da Ilha das Onças, locais estáveis e que não oferecem risco para a navegação (Figura 9).

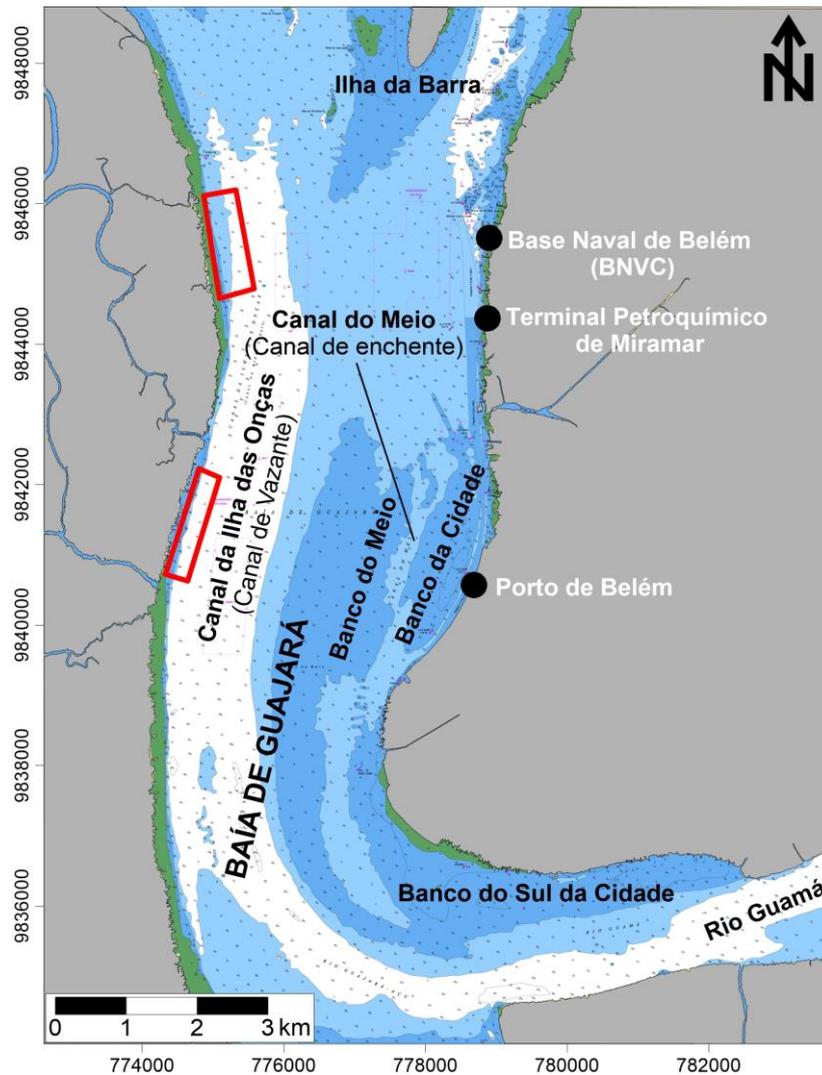


Figura 9. Sugestão de locais (retângulos vermelhos) para despejo de sedimentos para próximas dragagens na Baía de Guajará.

### 5. Conclusões

A metodologia com a utilização de cartas náuticas para análises multitemporais dos fundos da Baía de Guajará mostrou-se eficaz, identificando transformações morfológicas ocorridas antes e depois da disposição de sedimentos dragados na baía (1984-2010). A batimetria evidenciou que as ADS sofreram intenso aprofundamento, com a remoção dos sedimentos depositados sobre elas ocorrendo de forma rápida, conforme constatado também nas demais análises.

A disposição de sedimentos na região central da baía modificou a dinâmica de bancos e canais, de forma que o processo de ressuspensão e transporte de sedimentos de fundo aumentou em direção à foz da baía (para norte). O resultado foi o aprofundamento de bancos e canais ao longo de toda a área analisada.

Sem disposição de sedimentos dragados recentemente nas ADS, os que haviam sido lançados foram completamente removidos e transportados para jusante da baía. As áreas de assoreamento identificadas ao longo da Baía de Guajará são explicadas pelo processo de assimetria das marés que ocorrem no local, onde as correntes de maré de enchente se chocam com as residuais de vazante, de modo que essa quebra de energia favorece a deposição.

As áreas escolhidas para uso das ADS foram estratégicas na forma de eliminar os sedimentos em suspensão gerados pela disposição das dragas de forma rápida, sendo retiradas através do canal de vazante (Canal da Ilha das Onças). No entanto, seria mais adequado para as próximas dragagens a escolha de locais menos dinâmicos, onde os sedimentos pudessem permanecer nos fundos por mais tempo evitando gastos com dragagens recorrentes, tendo em vista que os sedimentos retirados das atuais ADS acabaram retornando para vias de acesso aos portos e terminais localizados em direção à foz da baía. Neste trabalho, sugerimos o retorno do despejo na margem esquerda da baía, em dois locais próximos ao Canal da Ilha das Onças. O ideal é uma disposição oceânica, no entanto, o procedimento seria muito dispendioso por conta da distância entre a baía e o oceano Atlântico.

**Contribuições dos Autores:** Concepção, Carlos Augusto Corrêa Mendes e Maâmar El-Robrini; metodologia, Carlos Augusto Corrêa Mendes; software, Carlos Augusto Corrêa Mendes; validação, Carlos Augusto Corrêa Mendes; análise formal, Carlos Augusto Corrêa Mendes e Hito Braga de Moraes; pesquisa, Carlos Augusto Corrêa Mendes, Maâmar El-Robrini e Hito Braga de Moraes; recursos, Maâmar El-Robrini; preparação de dados, Carlos Augusto Corrêa Mendes; escrita do artigo, Carlos Augusto Corrêa Mendes e Maâmar El-Robrini; revisão, Maâmar El-Robrini; supervisão, Maâmar El-Robrini; aquisição de financiamento, Maâmar El-Robrini. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito". A autoria deve ser limitada àqueles que tenham contribuído substancialmente para o trabalho relatado.

**Financiamento:** "Esta pesquisa foi financiada pela Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa (FAPESPA/006/2016)".

**Agradecimentos:** Ao laboratório do Grupo de Estudo Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará (UFPA) na aquisição de cartas náuticas do Porto de Belém (PA).

**Conflito de Interesse:** "Os autores declaram não haver conflito de interesse".

## Referências

1. ADMINISTRAÇÃO HIDROVIÁRIA DA AMAZÔNIA ORIENTAL – AHIMOR. Dragagens da Baía de Guajará e Canal do Tapanã. Belém: 1998. 32p. Relatório Técnico.
2. AHNDREW, L. M. S. **Variação espaço-temporal de Cladocera (Crustacea- Branchiopoda) em uma região portuária amazônica (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. 72p.
3. ÁLVAREZ, M.; CARBALLO, R.; RAMOS, V.; IGLESIAS, G. An integrated approach for the planning of dredging operations in estuaries. **Ocean Engineering**, v. 140, p. 73–83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.05.014>
4. AZEVEDO, J. W. J.; CASTRO, A. C. L. Siltation rate and main anthropic impacts on sedimentation of the São Luís tidal inlet - State of Maranhão, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 9–18, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592016092106401>
5. BAAR, A. W.; BOECHAT ALBERNAZ, M.; VAN DIJK, W. M.; KLEINHANS, M. G. Critical dependence of morphodynamic models of fluvial and tidal systems on empirical downslope sediment transport. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12753-x>
6. BECKER, J.; VAN EEKELEN, E.; VAN WIECHEN, J.; DE LANGE, W.; DAMSMA, T.; SMOLDERS, T.; VAN KONINGSVELD, M. Estimating source terms for far field dredge plume modeling. **Journal of Environmental Management**, v. 149, p. 282–293, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.022>
7. BLANCO, C.; SENA, M.; MESQUITA, A.; SECRETAN, Y. Hydrodynamic evaluation of a flood embankment in the Amazon estuary region, Brazil. **Civil Engineering Special Issue**, v. 166, n. 6, 2015, p. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.1680/cien.13.00004>

8. BOCK, C. S.; ASSAD, L. P. F.; LANDAU, L. Influence of bottom morphology on the hydrodynamics of Guajará Bay (Amazon, Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 981–985, 2011. DOI: <https://www.jstor.org/stable/26482320>
9. BOLAM, S. G.; McLLWAINE, P. S. O.; GARCIA, C. Application of biological traits to further our understanding of the impacts of dredged material disposal on benthic assemblages. **Marine Pollution Bulletin**, v.105, n. 1, p. 180–192, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.031>
10. BOLAM, S. G.; WHOMERSLEY, P. Development of macrofaunal communities on dredged material used for mudflat enhancement: a comparison of three beneficial use schemes after one year. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, n. 1, p. 40–47, 2006. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2004.08.006](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.08.006)
11. CARPENTER, A.; LOZANO, R.; SAMMALISTO, K.; ASTNER, L. Securing a port's future through Circular Economy: Experiences from the Port of Gavle in contributing to sustainability. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 539–547, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.065>
12. CASTIGLIA, M. C. C. P. **Disposição subaquática de rejeitos de dragagem: o caso do complexo lagunar de Jacarepaguá**. Dissertação (Mestrado de Ciências em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 152p.
13. CESAR, A.; LIA, L. R. B.; PEREIRA, C. D. S.; SANTOS, A. R.; CORTEZ, F. S.; CHOUERI, R. B.; DE ORTE, M. R.; RACHID, B. R. F. Environmental assessment of dredged sediment in the major Latin American seaport (Santos, São Paulo- Brazil): An integrated approach. **Science of the Total Environment**, v. 497– 498, p. 679- 687, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.037>
14. CRUZ, E. **História de Belém**. Coleção Amazônica. Série José Veríssimo. v. 2, Ed. Comemorativa do Sesquicentenário da Adesão do Pará à Independência Política do Brasil. Belém: Editora da UFPA, 1973. 340p.
15. CUTRONEO, L.; CASTELLANO, M.; PIERACCI, A.; POVERO, P.; TUCCI, S.; CAPELLO, M. The use a combined monitoring system for following a turbid plume generated by dredging activities in a port. **Journal of Soils and Sediments**, v. 12, p. 797-809, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0486-0>
16. DELOFFRE, J., LAFITE, R., LESUEUR, P., VERNEY, R., LESOURD, S., CUVILLIEZ, A., TAYLOR, J. Controlling factors of rhythmic sedimentation processes on an intertidal estuarine Mudflat-role of the turbidity maximum in the macrotidal Seine estuary, France. **Marine Geology**, v. 235, p. 151–164, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2006.10.011>
17. DENG, J.; WOODROFFE, C. D.; ROGERS, K.; HARFF, J. Morphogenetic modelling of coastal and estuarine evolution. **Earth- Science Reviews**, v. 171, p. 254–271, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.011>
18. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Cartas Náuticas (Cartas Raster)**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster>>. Acesso em: 10 de junho de 2018.
19. DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Tábuas de maré para o Porto de Belém (Estado do Pará)**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>>. Acesso em 13 de maio de 2018.
20. DOUGLASS, S. L.; RESIO, D. T.; HANDS, E. B. **Impact of near-bottom currents on dredged material mounds near mobile bay**. Washington, DC: Department of the Arm/ U S Army Corps of Engineers. July/1995. 55p. Technical Report DRP -95-6.
21. DUCLOS, P. A.; LAFITE, R.; LE BOT, S.; RIVOALEN, E.; CUVILLIEZ, A. Dynamics of turbid plumes generated by marine aggregate dredging: an example of a macrotidal environment (the Bay of Seine, France). **Journal of Coastal Research**, v. 29, n. 6a, p. 25–37, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00148.1>
22. GÓMEZ, F. R. **Sedimentos dragados como recurso en construcción: descontaminación electrocinética y viabilidad de reutilización**. Tesis (Doctorado em en Ciências Químicas) - Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2015. 204p.

23. GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 3, p. 609–618, 2009b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.09.007>
24. GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 5, n. 9, p.53-92, 2009a.
25. GUO, C.; HE, Q.; PROOIJEN, C. V.; GUO, L.; MANNING, A. J.; BASS, S. Investigation of flocculation dynamics under changing hydrodynamic forcing on an intertidal mudflat. **Marine Geology**, v. 395, p. 120–132, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2017.10.001>
26. JEUKEN, M. C. J. L.; WANG, Z. B. Impact of dredging and dumping on the stability of ebb-flood channel systems. **Coastal Engineering**, v. 57, n. 6, p. 553–566, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.12.004>
27. LEMOINE, JP.; LE HIR, P.; GRASSO, F. Numerical Study of Sediment Transport in the Seine Estuary: Contribution of Dredging. In: NGUYEN K. D.; GUILLOU S.; GOURBESVILLE P.; THIÉBOT J. **Estuaries and Coastal Zones in Times of Global Change**. Singapore: Springer, 2020, p. 241- 255. ISBN: 978-981-15-2081-5
28. MARINE ENVIRONMENT MONITORING GROUP (MEMG). Group Co-ordinating Sea Disposal Monitoring. **Final Report of the Dredging and Dredged Material Disposal Monitoring Task Team**. 2003. Lowestoft: CEFAS. 52p. Aquatic Environment Monitoring Report, n. 55.
29. MARTELO, A. F.; TROMBETA, T. B.; LOPES, B. V.; MARQUES, W. C.; MÖLLER, O. O. Impacts of dredging on the hydromorphodynamics of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. **Ocean Engineering**, v. 188, n. 15, p. 106–325, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106325>
30. MIKKELSEN, O. A.; PEJRUP, M. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume. **Marine Geology**, v. 170, p. 443–459, 2000. PII: S0025-3227(00)00105-5.
31. MIRANDA, L. B. DE; PINHEIRO, A. F.; KJERFVE, B.; MENDES DE, C. F. B. **Fundamentals of estuarine physical oceanography**. V. 8. Singapore: Springer, 2017. 480p, ISBN: 9789811030406.
32. MONGE-GANUZAS, M.; CEARRETA, A.; EVANS, G. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). **Ocean & Coastal Management**, v. 77, p. 40- 49, 2013. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2012.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.02.006)
33. MORAES, D.; FILHO, M. Contribuição das chuvas do período da tarde em Belém e possíveis relações com a normal climatológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, n. 14, p. 17- 32, 2018. DOI: [10.5380/abclima.v23i0.58364](https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58364)
34. MORRIS, R. A nature conservation perspective of port- related dredging. **Maritime Engineering**, v. 160, n. 1, p. 19-23, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1680/maen.2007.160.1.19>
35. OLIVEIRA, P. A. **Estimativa de sedimentos em suspensão utilizando um perfilador acústico de correntes por efeito doppler**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - ITEC/UFPA, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. 74p.
36. OZER- ERDOGAN, P.; BASAR, H. M.; ERDEN, I; TOLUN, L. Beneficial use of marine dredged materials as a fine aggregate in ready-mixed concrete: Turkey example. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 690-704, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.144>
37. PILÓ, D.; CARVALHO, A. N.; PEREIRA, F.; COELHO, H. E.; GASPAR, M. B. *Evaluation of macrobenthic community responses to dredging through a multimetric approach: Effective or apparent recovery?*. **Ecological Indicators**, v. 96, p. 656-668, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.064>
38. PINHEIRO, R. V. L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (Pará)**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987. 185p.
39. ROSSETTI, D. F. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 77- 89, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00008-6)

40. SAZAKLI, D. P.; LEOTSINIDIS, M. Dredges' management: comparison of regulatory frameworks, legal gaps and recommendations. **Global NEST Journal**, v. 20, n. 1, p. 88- 95, 2018. DOI: <https://doi.org/10.30955/gnj.002358>
41. SODRÉ, S. S. V.; RODRIGUES, C. C. S.; CORREA, J. A. M.; DAMASCENO, F. C.; CAVALCANTE, R. M. Preliminary assessment of Miramar Petrochemical Harbor as PAH source to Guajará bay (Belém-PA-Brazil) surface sediments. **REM - International Engineering Journal**, v. 70, n. 4, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0370-44672016700082>
42. TUINHOF, T. **Modelling far-field dredge plume dispersion**. Thesis (Master's of Hydraulic Engineering) - Science program Hydraulic Engineering, Delft University of Technology, Rotterdam, 2014. 145p.
43. VAGGE, G.; CUTRONEO, L.; CASTELLANO, M.; CANEPA, G.; BERTOLOTTO, R. M.; CAPELLO, M. The effects of dredging and environmental conditions on concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in the water column. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 704–713, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.006>
44. VAN MAREN, D. S.; VAN KESSEL, T. K.; CRONIN, L. S. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. **Continental Shelf Research**, v. 95, p. 1–14, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>
45. WANG, Y.; DONG, P.; OGUCHI, T.; CHEN, S.; SHEN, H. Long-term (1842-2006) morphological change and equilibrium state of the Changjiang (Yangtze) Estuary, China. **Continental Shelf Research**, v. 56, p. 71–81, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.02.006>
46. WELCH, M.; MOGREN, E. T.; BEENEY, L. A literature of the beneficial use of dredged material and sediment management plans and strategies. Portland State University. Hatfield School of Government. **Center for Public Service**. n. 34, 2016. DOI: [http://pdxscholar.library.pdx.edu/publicservice\\_pub/34](http://pdxscholar.library.pdx.edu/publicservice_pub/34)
47. WENGER, A. S.; RAWSON, C. A.; WILSON, S.; NEWMAN, S. J.; TRAVERS, M. J.; ATKINSON, S.; BROWNE, N.; CLARKE, D.; DEPCZYNSKI, M.; ERFTEMEIJER, P. L. A.; EVANS, R. D.; HOBBS, J. P. A.; MCILWAIN, J. L.; MCLEAN, D. L.; SAUNDERS, B. J.; HARVEY, E. Management strategies to minimize the dredging impacts of coastal development on fish and fisheries. **Conservation Letters: A journal of the Society for Conservation Biology**, v. 11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/conl.12572>
48. WU, Z.; MILLIMAN, J. D.; ZHAO, D.; CAO, Z.; ZHOU, J.; ZHOU, C. Geomorphologic changes in the lower Pearl River Delta, 1850- 2015, largely due to human activity. **Geomorphology**, v. 314, p. 42-54, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.05.001>



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuem o devido crédito pela criação original.