



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

GUSTAVO NOVAES BARRETTO

**INFLUÊNCIA DE DRAGAGENS NA CIRCULAÇÃO RESIDUAL:
BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Salvador
2015

GUSTAVO NOVAES BARRETTO

**INFLUÊNCIA DE DRAGAGENS NA CIRCULAÇÃO RESIDUAL:
BAÍA DE TODOS OS SANTOS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Camargo Lessa

Salvador
2015

TERMO DE APROVAÇÃO

GUSTAVO NOVAES BARRETTO

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Guilherme Camargo Lessa – Orientador

Doutor em Ciências Marinhas pela Universidade de Sidney, Austrália.

Universidade Federal da Bahia

Clemente Augusto Souza Tanajura

Ph.D. em Meteorologia pela Universidade de Maryland, College Park, EUA.

Universidade Federal da Bahia

Janini Pereira

Doutora em Oceanografia pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Universidade Federal da Bahia

Salvador, 22 de Julho de 2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas com quem tive contato durante a vida acadêmica e durante a realização deste trabalho, desde os contatos mais rápidos até aqueles com quem adquiri maior proximidade e amizade.

Primeiramente aos meus pais, pois sem eles eu não estaria aqui, além da grande base e apoio que me ofereceram durante toda a minha vida. Sou muito grato!

À minha companheira, Mariana, por todos os momentos de alegrias, de compreensão, de amor, de trocas de experiências e pelas inúmeras risadas.

Aos meus familiares, avô, tios, tias, primos, primas, irmãs, sobrinhos, cada um tem a sua característica singular e todos são muito importantes.

Ao professor e orientador Guilherme Lessa, pelos ensinamentos dentro e fora da sala de aula, e pelas aulas de campo, e aos demais professores do curso, que colaboraram para a minha formação profissional.

A Rafael Santana e Carlos Teixeira pelos ensinamentos para o trabalho com o Matlab e o ROMS.

A todos do Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT) e aos que dividiram comigo o laboratório em Física Nuclear Aplicada.

Aos meus amigos do condomínio, os quais considero como uma verdadeira família.

Ao CNPq/UFBA pela concessão da bolsa de iniciação científica.

RESUMO

Foi realizado um estudo na Baía de Todos os Santos (BTS) sobre como um evento de dragagem é capaz de alterar a circulação residual, bem como a salinidade, o grau de mistura da coluna d'água, e o tempo de descarga da baía. Ocorreram duas rodadas no modelo ROMS, para o cenário atual de batimetria, e para o cenário depois de simulada a dragagem. Os valores máximos de alterações na salinidade foram encontrados no mês de dezembro, próximo ao fundo, com aumento de salinidade de 2,19 dentro do Rio Paraguaçu, e redução de 0,60 próximo a Saubara. O Rio Paraguaçu, também em dezembro, teve as maiores alterações no padrão de mistura, com aumento, no canal do rio, de 1,94 na variação entre salinidade do fundo e superfície, e redução de 0,50 na sua desembocadura. Alterações na circulação residual foram encontradas com maior intensidade em dezembro, nas seções relacionadas ao Paraguaçu, e em maio, representando os meses com maiores chuvas, nas seções em torno da Ilha dos Frades. A dragagem também provocou alterações no tempo de descarga, pouco significativas (aumento de 13 horas) considerando toda a extensão da baía, porém o experimento de divisão da BTS em setores mostrou que a massa d'água passa a ficar consideravelmente mais tempo retida no setor superior da baía.

Palavras-chave: Dragagem. Circulação Residual. Batimetria. Salinidade. ROMS.

ABSTRACT

A study was performed in Baía de Todos os Santos (BTS) about how a dredging event is able to change the residual circulation, the salinity, the mixing pattern of the water column, and the Bay's discharge time. There were two runs of the model ROMS, one considering the current scenario of bathymetry, and other scenario after the dredge. The maximum values of changes in salinity were found in December, near the bottom, with increase of 2.19 within the Paraguaçu River, and reduction of 0.60 near Saubara. The Rio Paraguaçu, also in December, had the largest changes in mixing pattern, with an increase of 1.94 on the variation between the bottom and surface salinity, in the river channel, and reduction of 0.50 in its mouth. Changes in residual circulation were found with greater intensity on December, in the sections related to Paraguaçu, and in May, representing the months with the highest rainfall in the sections around the Ilha dos Frades. The dredging also caused increase by 13 hours in the flushing time considering the entire length of the bay, subregions of the BTS showed that the water mass would be retained considerably longer in the upper sector of the bay than in the lower sector of the bay.

Keywords: Dredging. Residual circulation. Bathymetry. Salinity. ROMS.

SUMÁRIO

1	Introdução	7
2	Objetivo	10
3	Área de Estudo	10
3.1	Geomorfologia e Geologia.....	10
3.2	Clima e Balanço Hídrico	12
3.3	Marés	16
3.4	Massa d'água	18
4	Metodologia	19
4.1	Modelo Numérico	19
4.2	Cálculo da Circulação Residual.....	21
5	Resultados	22
5.1	Salinidade.....	22
5.2	Grau de mistura.....	25
5.3	Circulação Residual.....	29
5.4	Tempo de descarga.....	50
6	Discussões e conclusão.....	54
7	Referências bibliográficas	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Baía de Todos os Santos e suas principais localidades. Regiões em cinza escuro representam manguezais. Adaptado de Lessa et al. (2009).....	9
<i>Figura 2 - Mapa que mostra a batimetria da BTS. Extraído de Cirano e Lessa, (2007).</i>	11
Figura 3 - Mapa de distribuição de textural dos sedimentos de fundo da BTS. Extraído de Lessa et al., (2009).....	12
Figura 4 - Médias mensais entre 2004 e 2009 da distribuição dos ventos 10 m acima do nível do mar (vetores) derivados do QuickSCAT (IFREMER, 2011), para os meses de (a) janeiro e (b) julho. As cores representam a intensidade dos ventos (m/s). Extraído de Amorim et al., (2013).....	13
Figura 5 - Climatologia mensal (a) da umidade relativa (barras) e temperaturas máximas, médias e mínimas e (b) da precipitação (barras) e evaporação registradas pela estação meteorológica de Ondina, para o período de 1961- 1990 (INMET, 1992). Extraído de Lessa et al., (2009).	14
Figura 6 – Descarga fluvial média mensal afluyente à BTS, proveniente do rio Paraguaçu e das bacias costeiras (os rios Jaguaripe e Dona não foram incluídos). Extraído de Lessa et al., (2009).....	15
Figura 7 - Médias mensais estimadas de entrada de água doce no corpo principal da BTS, consideradas as descargas de água meteórica e fluvial. Extraído de Lessa et al., (2009).	16
Figura 8 - Localização das estações de monitoramento de marés e correntes na BTS. Os números referem-se à numeração das estações, adotada pelo CRA (2001). Extraído de Lessa et al., (2009).....	17
Figura 9 - Registro simultâneo da maré no oceano (13) e nas estações 19 (Mar Grande), 20 (Ilha dos Frades) e 18 (Baía de Iguape). Extraído de Lessa et al., (2009).	18
Figura 10 - Variação vertical dos valores médios e dos desvios padrões de temperatura e salinidade em três estações (#8, #5 e #4) alinhadas longitudinalmente à BTS Extraído de Lessa et al., (2009).....	19

Figura 11 - Domínio da grade numérica e batimetria utilizada no cenário atual do modelo. Para fim de visualização a grade foi ilustrada a cada quatro elementos. Extraída de Teixeira (2012).	20
Figura 12 - Batimetrias utilizadas pelo modelo. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença entre as batimetrias, mostra as regiões dragadas. Estão localizadas também as seções para cálculo da circulação residual.	21
Figura 13 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em maio. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.....	23
Figura 14 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em setembro. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.....	24
Figura 15 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em dezembro. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.....	25
Figura 16 - Estratificação em maio. a) Cenário atual, b) Após dragagens, c) Diferença (b – a).....	26
Figura 17 - Estratificação em setembro. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença (b – a).....	27
Figura 18 - Estratificação em dezembro. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença (b – a).....	28
Figura 19 – Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d’água na Seção 1. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	30
Figura 20 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 1. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior)...	31
Figura 21 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 1. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	32

Figura 22 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 1. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).	32
Figura 23 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 2a. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	34
Figura 24 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).	35
Figura 25 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	35
Figura 26 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).	36
Figura 27 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 2b. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	37
Figura 28 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).	38
Figura 29 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	38
Figura 30 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).	39
Figura 31 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3a. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	40
Figura 32 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).	41
Figura 33 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	42

Figura 34 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).	42
Figura 35 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3b. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	44
Figura 36 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).45	45
Figura 37 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	45
Figura 38 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).	46
Figura 39 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3c. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.	47
Figura 40 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).48	48
Figura 41 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).....	49
Figura 42 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).....	49
Figura 43 – Posição inicial dos flutuadores de meia-profundidade. Azul indica o setor superior, vermelho indica o setor central, e preto indica o setor inferior.....	50
Figura 44 - Posição final dos flutuadores de meia-profundidade após um ano. a) cenário atual, b) cenário dragado.	51
Figura 45 – Concentração de partículas dentro de cada setor, para o cenário atual. a) setor superior, b) setor central, c) setor inferior.....	52
Figura 46 - Concentração de partículas dentro de cada setor, para o cenário dragado. a) setor superior, b) setor central, c) setor inferior.....	53

Figura 47 - Concentração de partículas dentro da BTS.54

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 1.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 2 - Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 2a.</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 3 - Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 2b.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 4 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3a.</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 5 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3b.</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 6 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3c.</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 7 – Tempos de descarga dos setores de cada cenário e as suas diferenças.</i>	<i>53</i>

1 INTRODUÇÃO

A Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 1) possui uma área de 1.233 km², sendo a segunda maior baía do Brasil, atrás apenas da baía de São Marcos, no Maranhão (Cirano e Lessa, 2007). Dentre as baías da costa leste brasileira, é a única que apresenta dez terminais portuários de grande porte, um canal de entrada naturalmente navegável e canais internos profundos, os quais a tem tornado um elemento facilitador do desenvolvimento da região (Hatje et al., 2009).

Devido à sua extensão e à sua navegabilidade, a BTS é atrativa para a construção de portos, marinas e estaleiros. Estes empreendimentos lidam com a movimentação de embarcações de grande calado, o que periodicamente requer realizações de dragagens de aprofundamento e manutenção dos canais. O aumento de profundidade e conseqüentemente da área de escoamento causa dois efeitos hidráulicos: a redução da velocidade das correntes de maré e o aumento da circulação baroclínica causado tanto pelas menores capacidades de mistura do fluxo como pelo aumento das profundidades. De acordo com Geyer & MacCready (2014), a velocidade do fluxo baroclínico é proporcional à profundidade elevada à 3ª potência.

A Circulação residual é definida como o movimento de uma partícula de fluido após um ou vários ciclos de maré (Hansen e Rattray 1965), e é de extrema importância na distribuição de material particulado em suspensão e das substâncias dissolvidas (Robinson, 1983). Os mecanismos de troca de massas d'água entre a baía e o oceano são regidos pela circulação estacionária ou não-mareal, a qual é o somatório de fluxos gerados por gradientes de pressão barotrópicos (causados pelo desnível da superfície livre) e gradientes de pressão baroclínicos (causados por gradientes longitudinais de densidade).

O fluxo de água na BTS há pouco tempo era caracterizado como essencialmente barotrópico (CRA, 2001). Trabalhos mais recentes, no entanto, reportam significativas variações do campo termohalino (Cirano e Lessa 2007, Pereira e Lessa 2009) e o estabelecimento de um importante escoamento baroclínico na circulação residual. De modo a investigar a importância das diferentes forçantes no escoamento, Santana (2015) através do modelo numérico *Regional Ocean Modelling System* (ROMS), realizou experimentos de simulação forçados por maré,

vento, fluxo de calor, balanço hídrico e descarga fluvial, e observou que estes três últimos, baroclínicos, foram de fundamental importância para que os valores de circulação residual do modelo se aproximassem dos valores observados.

Tempo de descarga define a quantidade de tempo necessário para substituir uma massa de água determinada, expressa como um escalar, tais como a massa ou o volume, em um estuário. Quando apenas cerca de $1/e$ (37%) do traçador inicial permanece no sistema então diz-se que a bacia foi renovada (Dyer, 1973).

Alterações na circulação residual causam impacto no tempo de descarga (Oliveira e Baptista, 1997), o que afeta a composição química das águas (Dettmann, 2001) e comunidades biológicas (Crump et al. 2004; Josefson and Rasmussen, 2000) no estuário. Identificar os impactos ambientais devidos à urbanização dos sistemas estuarinos é essencial para a manutenção da sua condição ecológica saudável (Meyers et al. 2014).

Há vários relatos na literatura científica sobre consequências de intervenções humanas na morfologia estuarina, Coleman et al. (2009) realizaram estudos de campo antes e depois de um projeto de restauração do Estuário Golden Horn, Turquia, onde a remoção parcial de uma ponte flutuante desencadeou uma melhoria da qualidade da água no estuário. Cuvilliez et al. (2009) observaram a redução do prisma de maré e da área de terras planas vegetadas no estuário do Rio Seine na França, devido a construções em planícies de maré. Um estudo do fluxo no estuário do Rio Sheepscot, EUA, revelou que o fluxo de maré no canal principal aumentou em cerca de 50%, após a remoção de uma ponte (Mcalice e Jaeger, 1983).

A verificação de impactos causados na circulação por mudanças na batimetria pode ser investigada e até antecipada por modelos numéricos que, após calibrados, simulem as alterações batimétricas para novas rodadas de computação do fluxo. Perillo et al. (2005) usaram medições de campo e um modelo numérico para mostrar a característica atual da circulação e sedimentação no estuário do Rio Quequén Grande, Argentina, que sofreu operações de dragagens e alterações do contorno do estuário com construções portuárias. Meyers et al. (2014) usaram o modelo numérico ECOM-3D em Tampa Bay, Estados Unidos, para comparar o cenário atual, após realizações de dragagens e construções de portos e pontes, com o cenário do ano de 1879. As duas simulações foram rodadas de maneira idêntica, com

mudanças apenas na batimetria, e diferenças significativas foram observadas no campo de salinidade e na circulação residual.

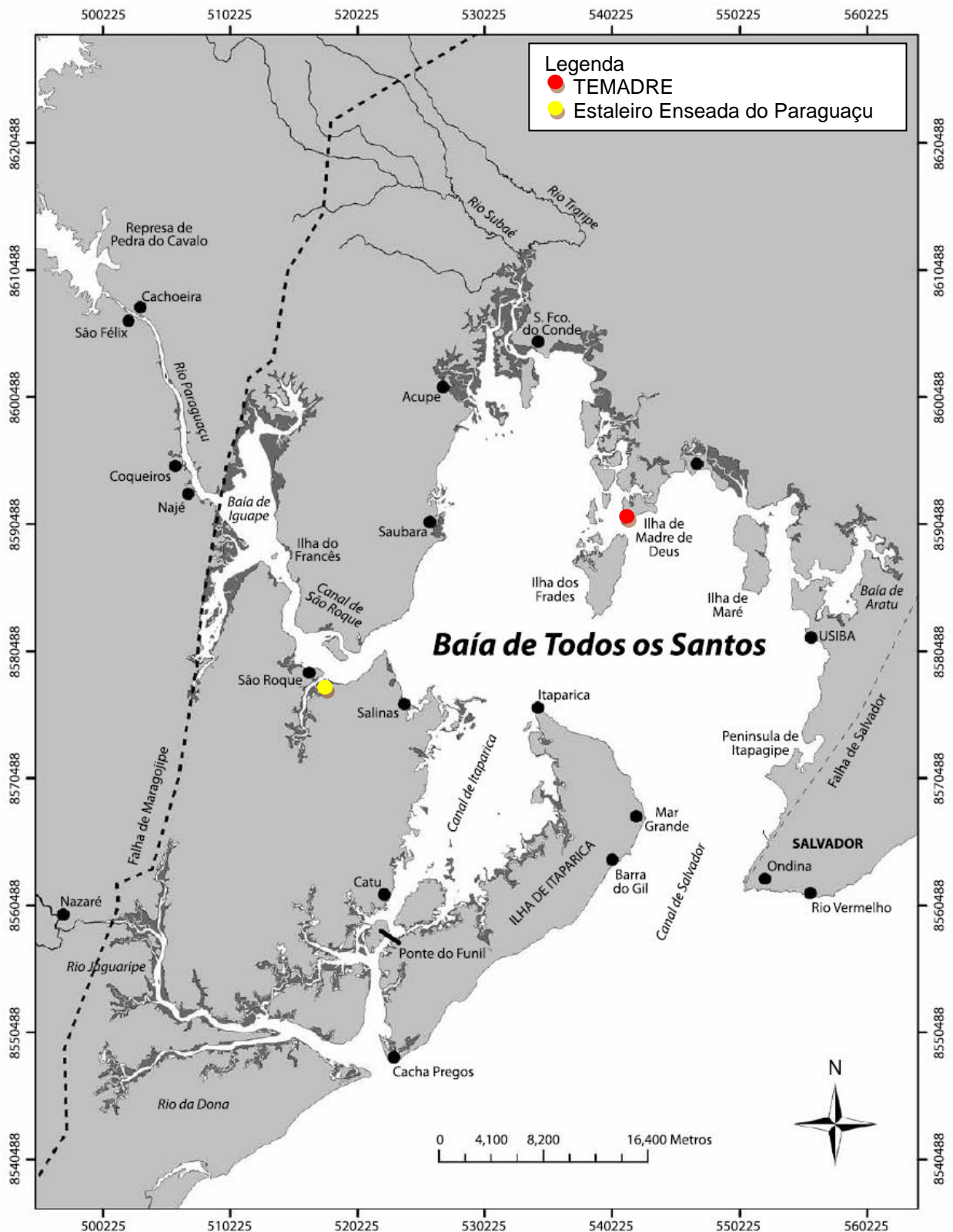


Figura 1 - Baía de Todos os Santos e suas principais localidades. Regiões em cinza escuro representam manguezais. Adaptado de Lessa et al. (2009).

A BTS tem sido alvo de inúmeras iniciativas empresariais relacionadas à área portuária, como a construção de um novo terminal de gás sob o espelho d'água próximo à Ilha dos Frades, e de um estaleiro para construção de plataformas de exploração de petróleo no Canal de São Roque. O aumento do tráfego marítimo e da tonelagem e calado das embarcações gera a necessidade de aprofundamento dos canais, como ocorreu recentemente nos canais de acesso aos portos de Aratu, Salvador e TEMADRE os quais foram dragados a uma profundidade de 15 metros. De modo informal, está sendo também cogitada a dragagem do canal de acesso a São Roque (Figura 1), para facilitar o trânsito de plataformas saindo do estaleiro Enseada do Paraguaçu, e de um canal circundante à Ilha dos Frades de modo a facilitar as manobras de atracação no Terminal Marítimo de Madre de Deus (Figura 1).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, através de dois experimentos de modelagem numérica, alterações na circulação residual devido a possíveis dragagens que venham a ser realizadas para aprofundar os acessos ao canal de São Roque e ao porto de Madre de Deus.

Como objetivos secundários, este trabalho ainda almeja:

- 1 – identificar prováveis alterações do campo de salinidade.
- 2 – investigar as alterações do tempo de descarga.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Geomorfologia e Geologia

A Baía de Todos os Santos está implantada sobre as rochas sedimentares que preenchem a bacia sedimentar do Recôncavo (Dominguez e Bittencourt, 2009), delimitada a leste pela falha de Salvador e a oeste pela falha de Maragogipe. As áreas mais profundas no interior da baía, atingindo profundidades superiores a 60 m, estão associadas com o paleovale do Rio Paraguaçu, que é segmentado (ver isóbata de 20m na Figura 2), devido a acumulações locais de sedimentos à frente do Canal do Paraguaçu (Lessa et al. 2009). Acúmulos significativos de sedimentos

também são observados nos deltas de maré vazante nas duas entradas da baía Canal de Salvador e Canal de Itaparica (Cirano e Lessa, 2007).

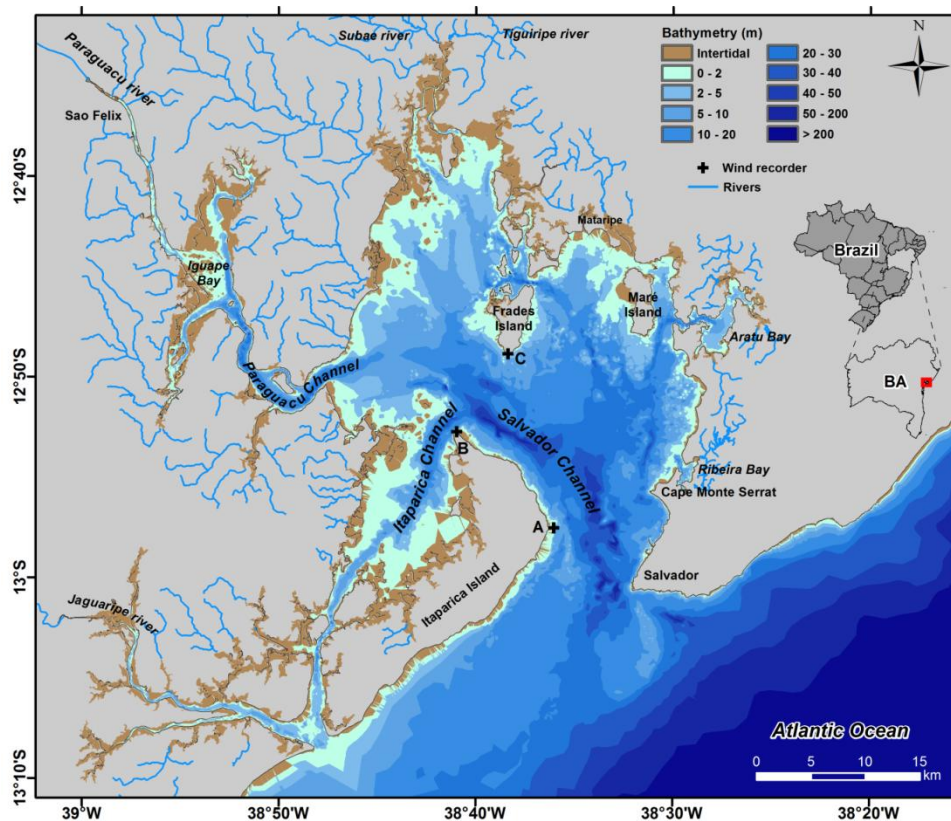


Figura 2 - Mapa que mostra a batimetria da BTS. Extraído de Santana et al, (2015).

A área máxima da baía (em uma maré de sizígia equinocial) e seu perímetro correspondem a 1.223 km² e 1175 km, respectivamente. A baía pode ser considerada como rasa, com profundidade média de 9,8 m. Aproximadamente 94% da sua área está em profundidades inferiores a 25 m. As áreas intermareais correspondem a 327 km² (ou 27% da área da baía), onde 152 km² são ocupados por manguezais, 160 km² por planícies de maré não vegetadas e 15 km² por planícies não vegetadas de supramaré (Cirano e Lessa, 2007). O volume da baía durante marés máximas de sizígia é de aproximadamente 12 × 10⁹ m³, enquanto que o volume abaixo do datum hidrográfico é de 8,9 × 10⁹ m³, resultando em um máximo prisma de maré de cerca de 3,1 × 10⁹ m³ (Cirano e Lessa, 2007).

Na cobertura sedimentar do fundo (Figura 3) prevalecem areia e lama (Lessa e Dias, 2009). A areia na entrada da baía é de origem marinha e tem composição mais carbonática, enquanto que aquela no interior da baía é originada a partir da erosão de depósitos de arenito. Areia carbonática está ainda presente próxima às ilhas de

Maré e Frades. A lama, normalmente associada às atividades de dragagem, ocorre predominantemente na metade norte da baía, oriunda da erosão de folhelhos da bacia do Recôncavo (Lessa et al 2000). O cascalho é encontrado no delta fluvial de Rio Paraguaçu e ao longo Canal do Paraguaçu, provavelmente associado à exposição dos depósitos fluviais durante estágios de nível do mar baixo.

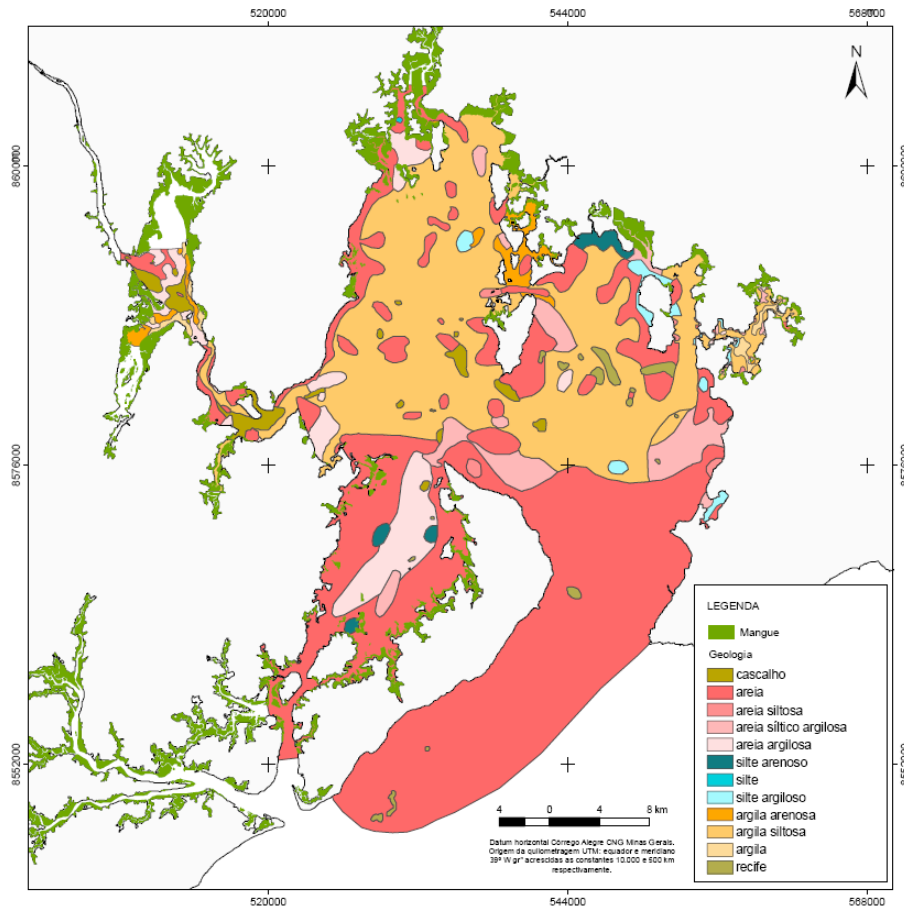


Figura 3 - Mapa de distribuição de textural dos sedimentos de fundo da BTS. Extraído de Lessa e Dias, (2009).

3.2 Clima e Balanço Hídrico

De acordo com os dados da estação meteorológica de Salvador, o clima na entrada da BTS é tropical-úmido, com médias anuais de temperatura, precipitação acumulada e evaporação acumulada de 25,2°C, 2.100 mm e 1.002 mm, respectivamente (INMET, 1992).

Os ventos nesta parte da costa da Bahia têm direção preferencial de ENE no verão e SE no inverno (Figura 4), o que gera correntes costeiras para sul no verão e para norte no inverno (Amorim et al., 2013). Cirano e Lessa (2007) mostram que os ventos dentro da BTS sofrem aceleração e um desvio no sentido horário, simulando

um giro ciclônico, com ventos de leste no verão, associados aos alísios e ventos de sul e sudeste no inverno relacionado às chegadas de frentes frias na região da BTS.

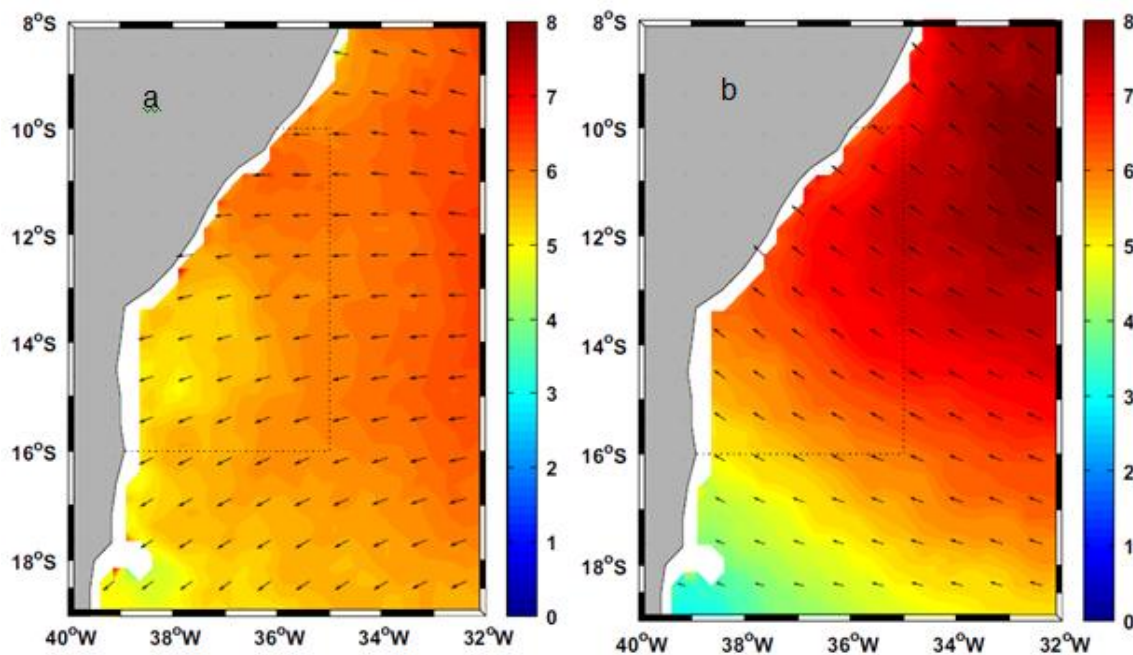


Figura 4 - Médias mensais entre 2004 e 2009 da distribuição dos ventos 10 m acima do nível do mar (vetores) derivados do QuickSCAT (IFREMER, 2011), para os meses de (a) janeiro e (b) julho. As cores representam a intensidade dos ventos (m/s). Extraído de Amorim et al., (2013).

As temperaturas do ar (Figura 5a) atingem valores mais altos, em torno de 30°C, durante o verão do Hemisfério Sul, principalmente associadas à maior quantidade de radiação solar incidente. As temperaturas mínimas climatológicas, entre 21°C e 22°C, ocorrem no inverno associadas à menor quantidade de radiação incidente e à entrada de frentes frias provenientes do sul.

Os meses com menores valores de precipitação (Figura 5b) são janeiro e setembro, pouco acima dos 100 mm, e os maiores valores, acima dos 310 mm, ocorrem em abril e maio. Janeiro é o mês com maior evaporação (Figura 5b), com aproximadamente 93 mm, devido ao maior número de horas de insolação e altas temperaturas. Em abril, com menos horas de insolação e maior umidade do ar, a evaporação atinge seu mínimo, aproximadamente 72 mm (Lessa et al. 2009).

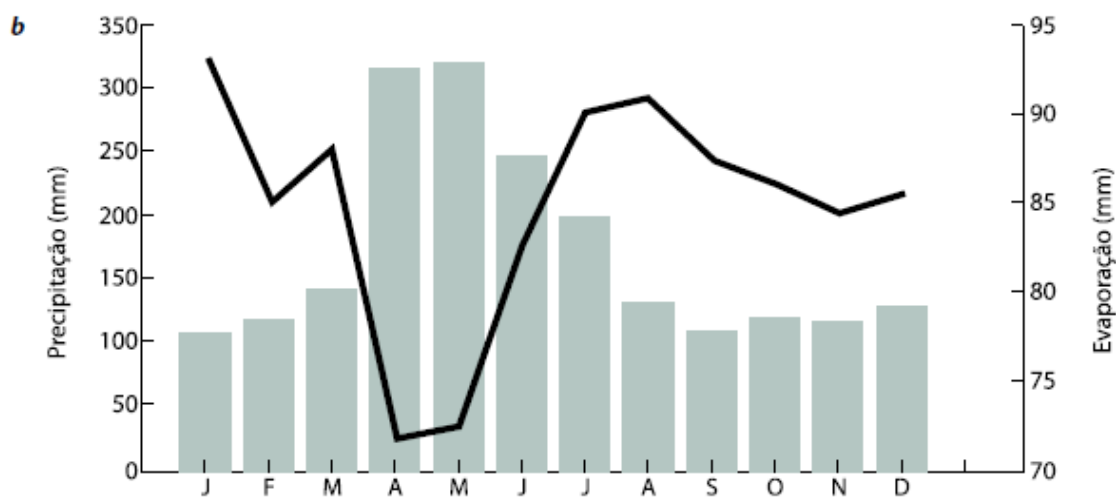
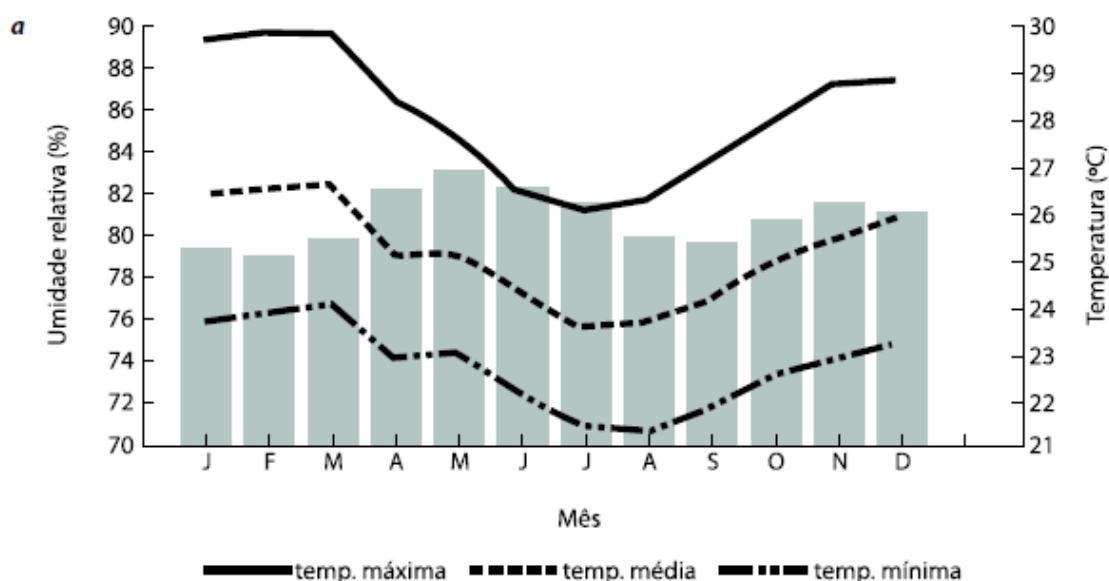


Figura 5 - Climatologia mensal (a) da umidade relativa (barras) e temperaturas máximas, médias e mínimas e (b) da precipitação (barras) e evaporação registradas pela estação meteorológica de Ondina, para o período de 1961- 1990 (INMET, 1992). Extraído de Lessa et al., (2009).

Embora tenha a sua descarga regulada, desde 1986, pela barragem de Pedra do Cavalo, o rio Paraguaçu (Figura 1) é o principal afluente da BTS. A descarga média da represa no período de 1987 a 2003 foi igual a 62,4 m³/s, ou 82% da descarga fluvial afluente à represa (Lessa et al., 2009). Os outros rios costeiros de maior descarga da região são o Jaguaripe e o Subaé (Figura 1), com vazões médias iguais a 9 m³/s e 4,8 m³/s, respectivamente. No entanto, o rio Jaguaripe não contribui de forma expressiva para as águas da BTS, por desaguar ao sul da Ilha de Itaparica (Xavier, 2002). CRA (2001) estimou, através da área, cobertura vegetal e precipitação, a descarga de 96 fontes periféricas à BTS e encontrou uma descarga

média de 33,7 m³/s (excluindo o rio Jaguaripe). A variação sazonal das descargas médias do rio Paraguaçu e das demais bacias costeiras esta apresentada na Figura 6. Devido à diferença climática entre a zona costeira e o interior do estado é possível notar que o período chuvoso na cabeceira do Paraguaçu ocorre principalmente em novembro e dezembro, já as bacias costeiras têm maior descarga nos meses de maiores níveis de precipitação na BTS (Lessa et al., 2009). Lessa et al. (2009) calcularam como descarga total de água doce para a BTS o somatório do balanço atmosférico (precipitação menos evaporação) e da descarga dos rios (exceto o Jaguaripe) (Figura 7).

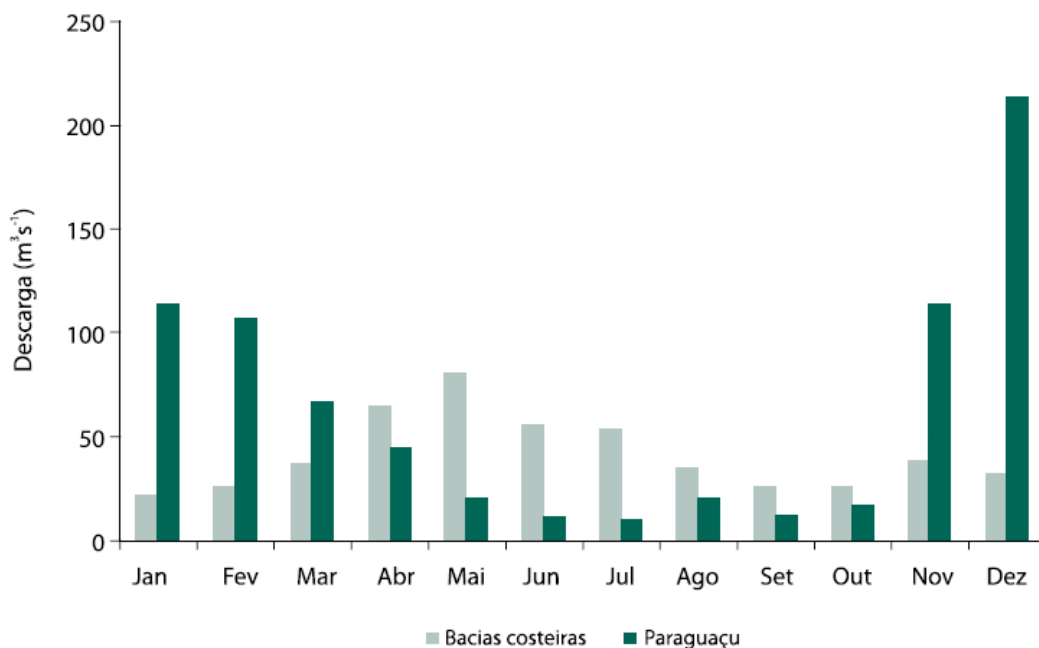


Figura 6 – Descarga fluvial média mensal afluyente à BTS, proveniente do rio Paraguaçu e das bacias costeiras (os rios Jaguaripe e Dona não foram incluídos). Extraído de Lessa et al., (2009).

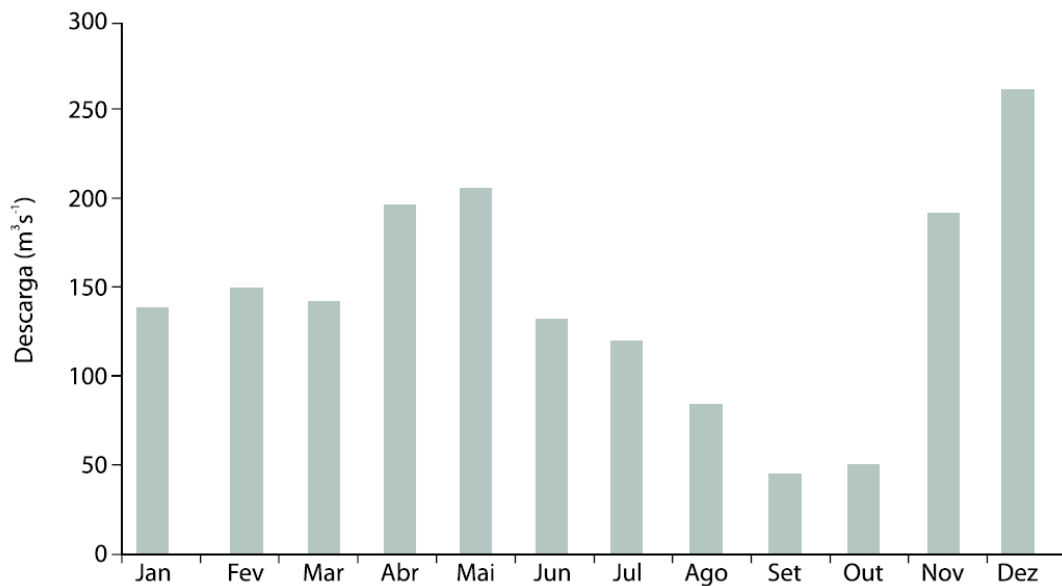


Figura 7 - Médias mensais estimadas de entrada de água doce no corpo principal da BTS, consideradas as descargas de água meteórica e fluvial. Extraído de Lessa et al., (2009).

3.3 Marés

Diversos estudos na BTS realizaram medições de maré em diferentes escalas temporais e espaciais (Figura 8). De acordo com Cirano e Lessa (2007) as marés na BTS são semi-diurnas, com número de forma entre 0,06 nas regiões mais internas da baía e 0,11 na plataforma continental adjacente. Ao entrar na baía, a onda de maré é progressivamente distorcida e amplificada (Figura 9), especialmente nos trechos mais estreitos, sinuosos ou rasos a sua amplitude aumenta 50% em relação ao oceano. A maré astronômica explica 97,5 % da variância do nível d'água no eixo central da BTS.

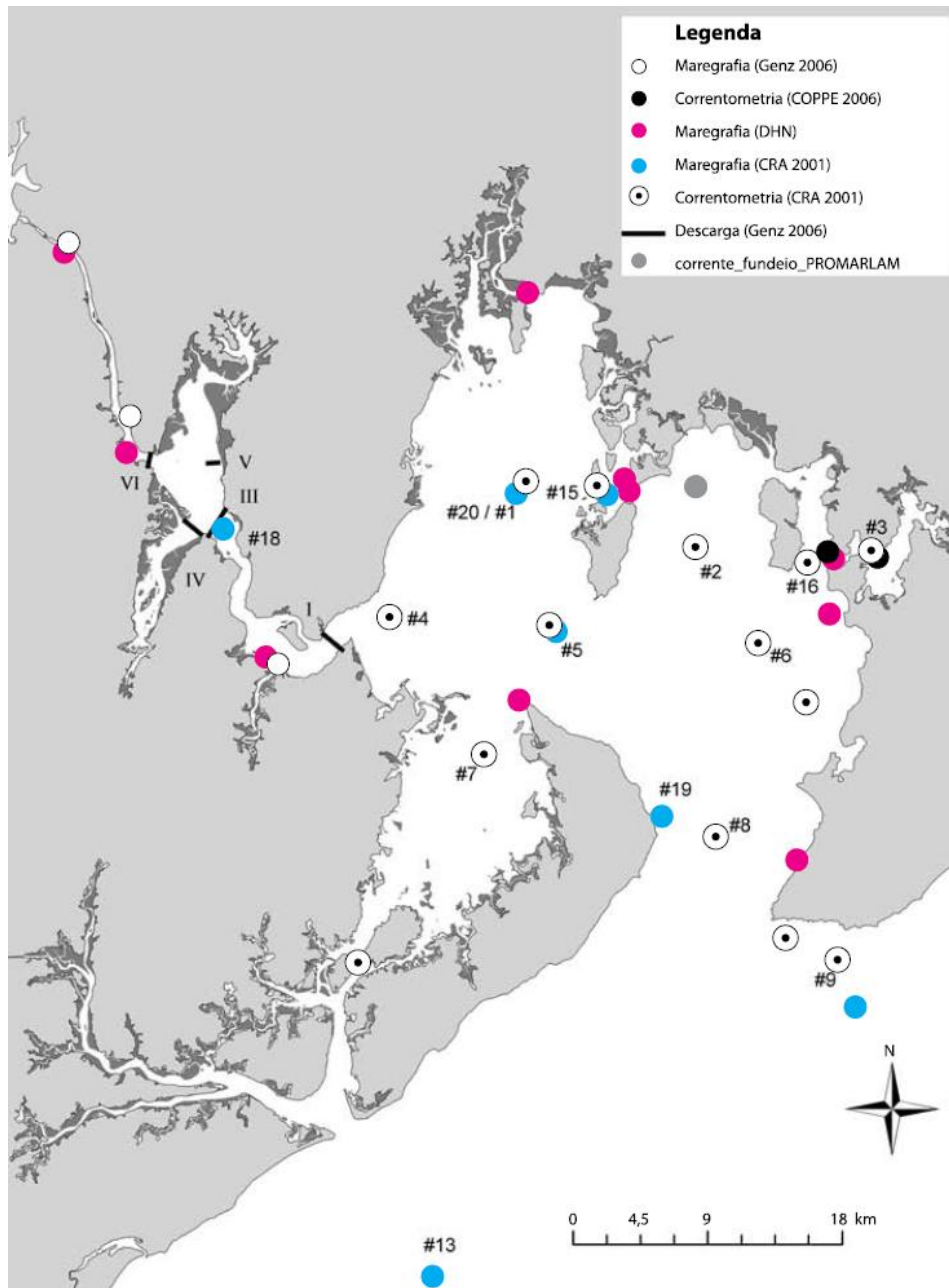


Figura 8 - Localização das estações de monitoramento de marés e correntes na BTS. Os números referem-se à numeração das estações, adotada pelo CRA (2001). Extraído de Lessa et al., (2009).

A distorção da onda de maré na BTS é acentuada em direção aos limites internos da baía, sendo expressa pela diferença de duração das marés de enchente, mais longas, e vazante, mais curtas (Figura 9). O movimento de águas na BTS é primordialmente regido pela maré astronômica, a qual é responsável por pelo menos 86% da variância das correntes instantâneas (Cirano e Lessa, 2007). Variações significativas das velocidades ocorrem entre marés de quadratura e sizígia (com

correntes 50% mais intensas), mas não entre os períodos de verão e de inverno (Xavier, 2002).

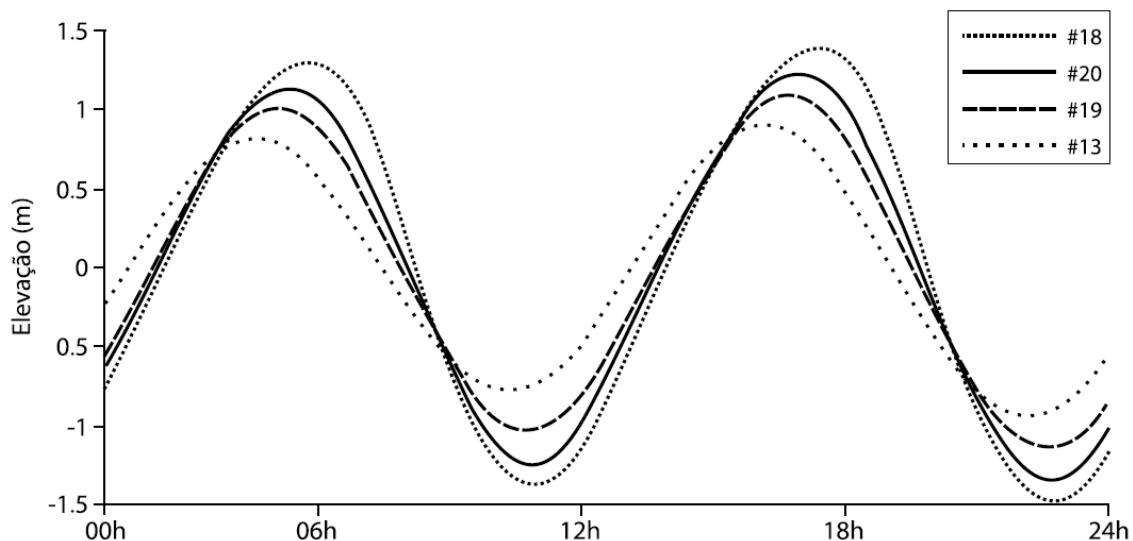


Figura 9 - Registro simultâneo da maré no oceano (13) e nas estações 19 (Mar Grande), 20 (Ilha dos Frades) e 18 (Baía de Iguape). Extraído de Lessa et al., (2009).

As maiores magnitudes de corrente foram observadas nos canais de Salvador e Itaparica, nas estações 8 e 7, e próximo ao canal de Madre de Deus, na estação 15 (Figura 8). As marés de vazante são caracteristicamente de menor duração e associadas às maiores velocidades de fluxo, principalmente próximo à superfície.

3.4 Massa d'água

Cirano e Lessa (2007), ao analisarem os dados de temperatura e salinidade obtidos ao longo do Projeto Bahia Azul, encontraram uma marcada oscilação destas variáveis entre o inverno e o verão. O inverno foi marcado por uma homogeneidade da temperatura média (26,5 °C), tanto na coluna d'água, como no eixo principal da BTS (Figura 10). Contudo, devido à maior entrada de água doce nesta estação do ano, as variações de salinidade média chegam a 3 entre as entradas dos Canais de São Roque (estação 4) e de Salvador (estação 8). No verão a salinidade média foi homogênea na coluna d'água, com exceção do eixo principal da BTS, onde variou em cerca de 1. A temperatura média, por sua vez, foi maior na estação mais interna (29,6 °C na superfície) em relação à estação do Canal de Salvador (28,3 °C na superfície). Esta apresentou também certa estratificação em todas as estações, marcada por uma máxima diferença entre superfície e fundo de 1,5 °C na estação 5.

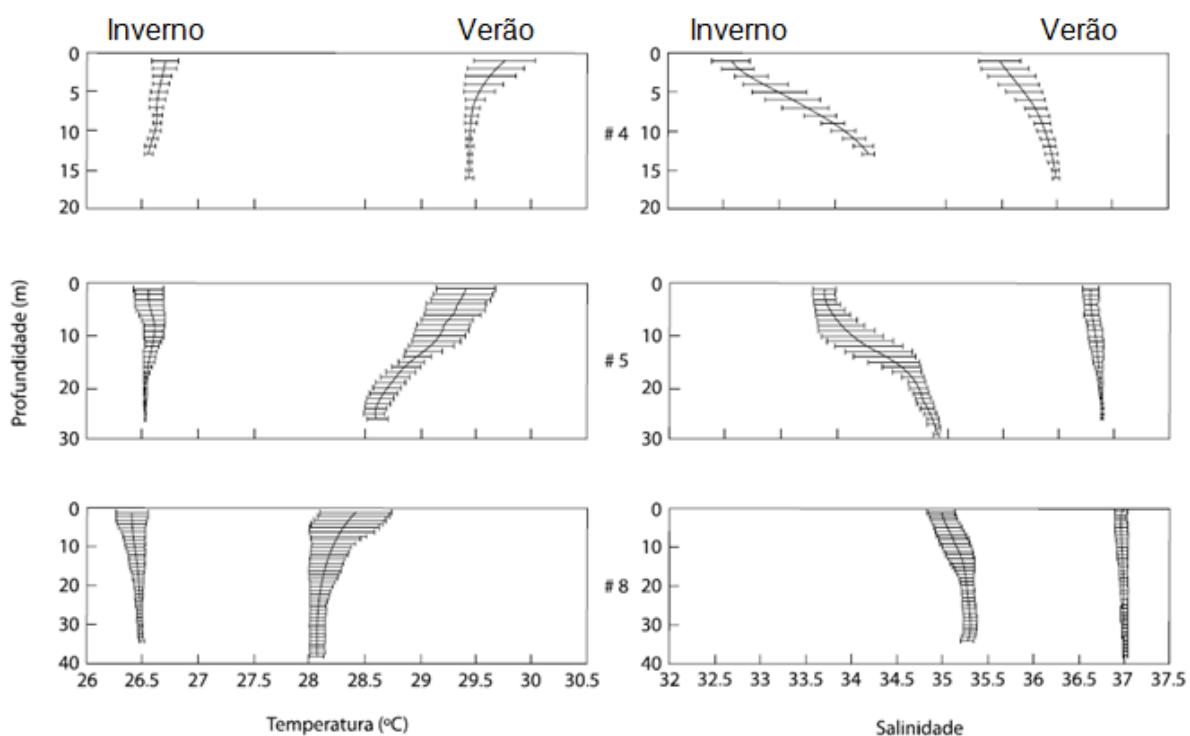


Figura 10 - Variação vertical dos valores médios e dos desvios padrões de temperatura e salinidade em três estações (#8, #5 e #4) alinhadas longitudinalmente à BTS Extraído de Lessa et al., (2009).

4 METODOLOGIA

4.1 Modelo Numérico

No presente estudo foi utilizado o ROMS, modelo de acesso público, de superfície livre, de acompanhamento de relevo, de equações primitivas, de diferenças finitas, totalmente não-linear, e que resolve a equação de Navier-Stokes com as médias de Reynolds (Haidvogel et al., 2008). É um modelo amplamente utilizado pela comunidade científica para diversas aplicações (Haidvogel et al., 2000; Hetland e Geyer, 2004; Hetland, 2005; Warner et al., 2005; Wilkin et al., 2005).

A arquitetura da grade e configurações do modelo foram idênticas às utilizadas por Santana (2015). A grade do modelo (Figura 11) tem uma resolução horizontal de 500 m e 20 níveis verticais. O espaçamento da grade não permitiu uma representação completa da baía, e pequenas baías e segmentos estreitos (curso do Rio Paraguaçu, por exemplo) foram deixados de fora. A representação batimétrica foi obtida a partir de cartas náuticas (escalas entre 1:60.000 a 1:30.000) e complementados por levantamentos de campo locais do Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT) ao longo dos últimos 15 anos. O modelo utilizou a área máxima de

preamar, mas adotou -5 m como a profundidade mínima para evitar emersão e submersão do domínio.

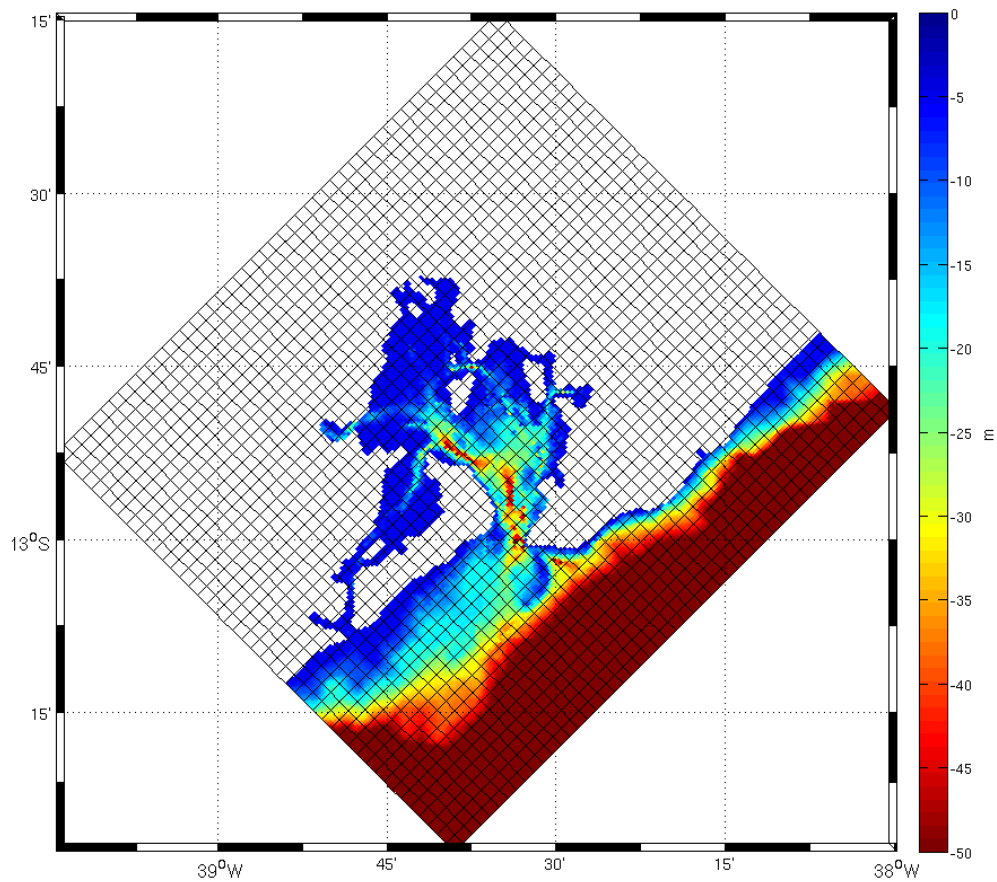


Figura 11 - Domínio da grade numérica e batimetria utilizada no cenário atual do modelo. Para fim de visualização a grade foi ilustrada a cada quatro elementos. Extraída de Teixeira (2012).

O modelo foi inicializado a partir do repouso sem gradiente de elevação de nível da baía e com homogeneidade vertical de densidade. Condições iniciais para a temperatura da água e salinidade foram 28° C e 36,75, respectivamente. O modelo tornou-se estável após três anos de simulação (spin-up) e os resultados do quarto ano de simulação foram usados nas análises.

As forçantes utilizadas pelo modelo foram: maré, vento, fluxo de calor, balanço hídrico, e descarga fluvial. A maré foi forçada com elevações de maré e correntes dos oito constituintes harmônicos principais (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1 e Q1) da solução regional do modelo oceânico de maré TPXO 7.2 (Egbert et al, 1994). As demais forçantes representam médias climatológicas. A entrada de água doce e o fluxo de calor foram obtidos de análises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Kanamitsu et al. 2002). Os dados de precipitação do NCEP

foram interpolados com dados de estações meteorológicas e o fluxo de calor foi corrigido usando dados climatológicos de temperatura da superfície do mar, de Santos et al. (2014). A descarga fluvial foi obtida de dados de pelo menos 21 anos de dados fluviométricos dos tributários principais (Lessa et al. 2009). O fluxo do Rio Paraguaçu está associado a médias mensais de descarga da barragem Pedra do Cavalo entre 1986 e 2008. A descarga dos pequenos tributários (Figura 1) foi reduzida a 8 pontos de descarga, capturando as saídas fluviais difusas ao redor da baía.

As saídas do modelo foram configuradas para intervalos horários. O modelo foi rodado com as condições topográficas atuais (Figura 12a), cujos resultados foram validados por Santana et al. (2015). Em seguida a circulação foi novamente simulada, a partir do repouso, com as alterações de cotas batimétricas, estabelecendo-se como 15 m a profundidade dos canais dragados (Figura 12b). As diferenças de profundidade entre as malhas com topografia real e alterada são apresentadas na Figura 12c.

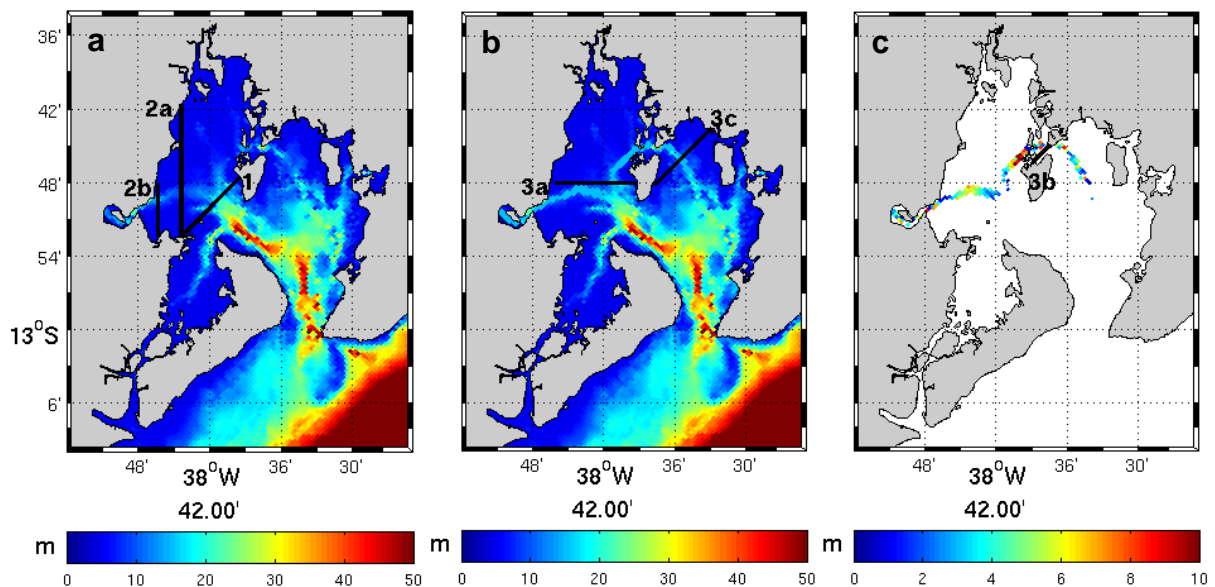


Figura 12 - Batimetrias utilizadas pelo modelo. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença entre as batimetrias, mostra as regiões dragadas. Estão localizadas também as seções para cálculo da circulação residual.

4.2 Cálculo da Circulação Residual

Foram adotadas seis seções de controle transversais ao fluxo: uma no canal principal da BTS (1), duas no canal do Paraguaçu (2a e 2b), e três circundantes à

Ilha dos Frades (3a, 3b e 3c) (Figura 12), de modo que foram avaliados locais cuja profundidade foi alterada e outros que a batimetria não foi alterada, por sua profundidade superior a 15 metros. Para estas seções foi realizado o cálculo da circulação residual mensal, e feitas análises do fluxo residual no talvegue do canal de escoamento. Foram feitos perfis verticais ao longo de todo o ano após filtrar a maré em 50 horas. Para visualizar melhor a tendência, foram feitas médias anuais e mensais para cada seção.

Foi analisado também como a dragagem provoca alterações na salinidade na superfície e no fundo, no grau de mistura da coluna d'água e no tempo de descarga da baía.

Como critério de comparação, foram utilizados os meses de maio, setembro e dezembro por serem meses com regimes notoriamente diferentes de entrada de água para a BTS (Figura 6 e Figura 7), e pretende-se com isso conhecer melhor como as chuvas e descargas fluviais afetam o padrão de circulação.

5 RESULTADOS

5.1 Salinidade

Foram plotados os campos de médias mensais de salinidade na superfície e fundo para os cenários atual e dragado, assim como a diferença entre as duas situações.

Para o mês de maio a salinidade média na superfície da BTS no cenário atual (Figura 13a) foi 34,38. Após as dragagens (Figura 13b) essa média foi 34,45, gerando uma diferença de apenas 0,07. As maiores diferenças na superfície (Figura 13c) foram de 0,57 no Rio Paraguaçu, e de -0,15 a oeste da Ilha dos Frades.

No nível mais próximo ao fundo, a salinidade média da BTS no cenário atual (Figura 13d), foi 34,60. Após as dragagens (Figura 13e) essa média foi 34,67, com a diferença mantendo-se igual àquela encontrada na superfície (0,07). As maiores diferenças foram de 0,93 no Rio Paraguaçu e -0,09 na desembocadura do Subaé. A Figura 13f mostra a diferença espacial de salinidade no fundo entre os dois cenários, onde fica clara a correspondência das regiões com alterações na salinidade de fundo e superfície.

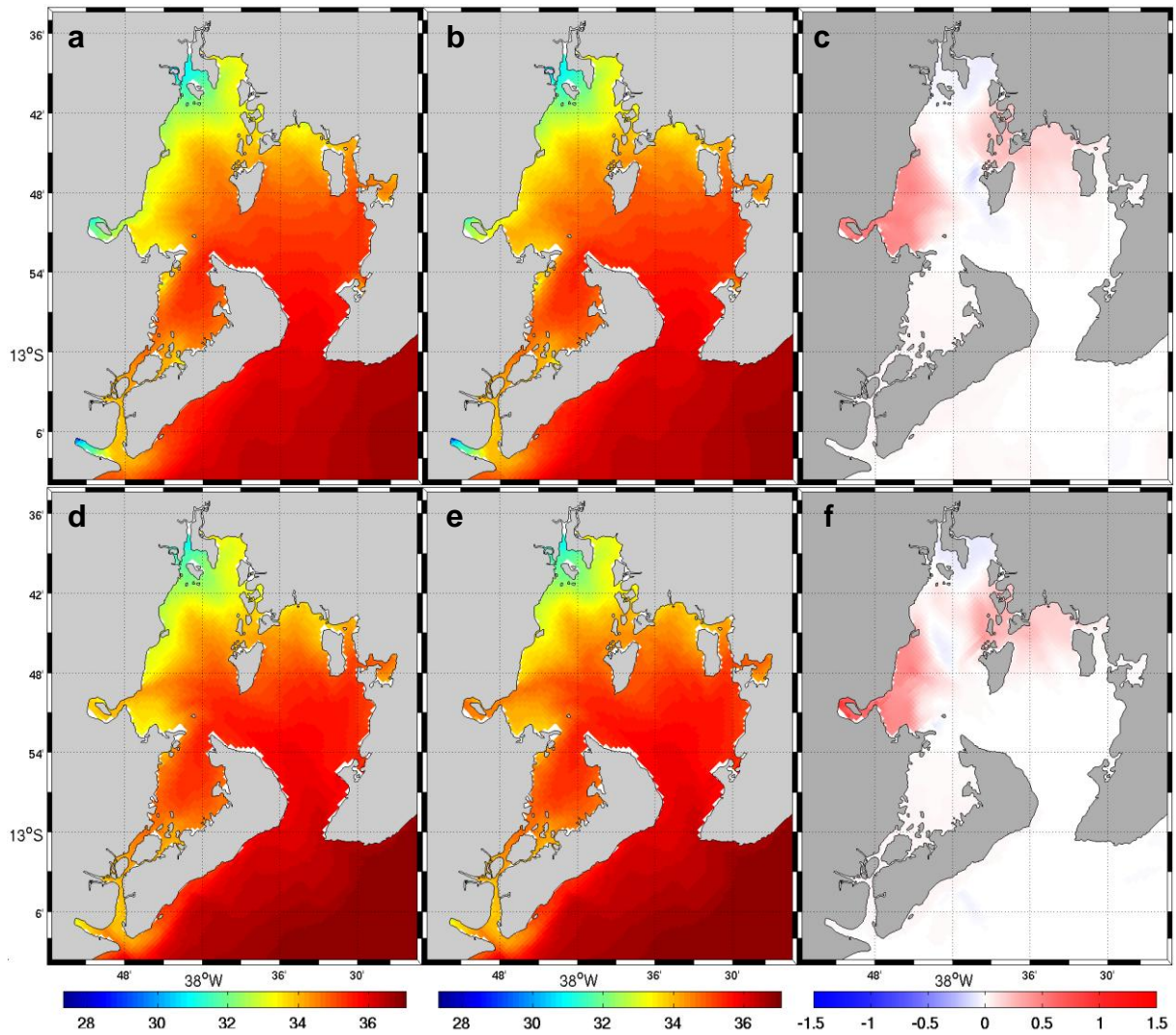


Figura 13 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em maio. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.

Para o mês de setembro a salinidade média na superfície da BTS no cenário atual (Figura 14a) foi 34,42. Após as dragagens (Figura 14b) essa média foi 34,52, gerando uma diferença de 0,10. As maiores diferenças (Figura 14c) foram de 0,55 no Rio Paraguaçu e de -0,05 a noroeste da Ilha dos Frades.

Ainda em setembro, na BTS a salinidade média próxima ao fundo com a batimetria atual (Figura 14d) foi 34,56. Após as dragagens (Figura 14e) essa média foi 34,66, produzindo uma diferença igual à encontrada na superfície (0,10). As maiores diferenças foram de 0,93 no Rio Paraguaçu, e -0,05 entre Saubara e a Ilha dos Frades. A Figura 14f mostra a diferença espacial de salinidade no fundo entre os

dois cenários, onde mais uma vez fica clara a correspondência das regiões com alterações na salinidade de fundo e superfície.

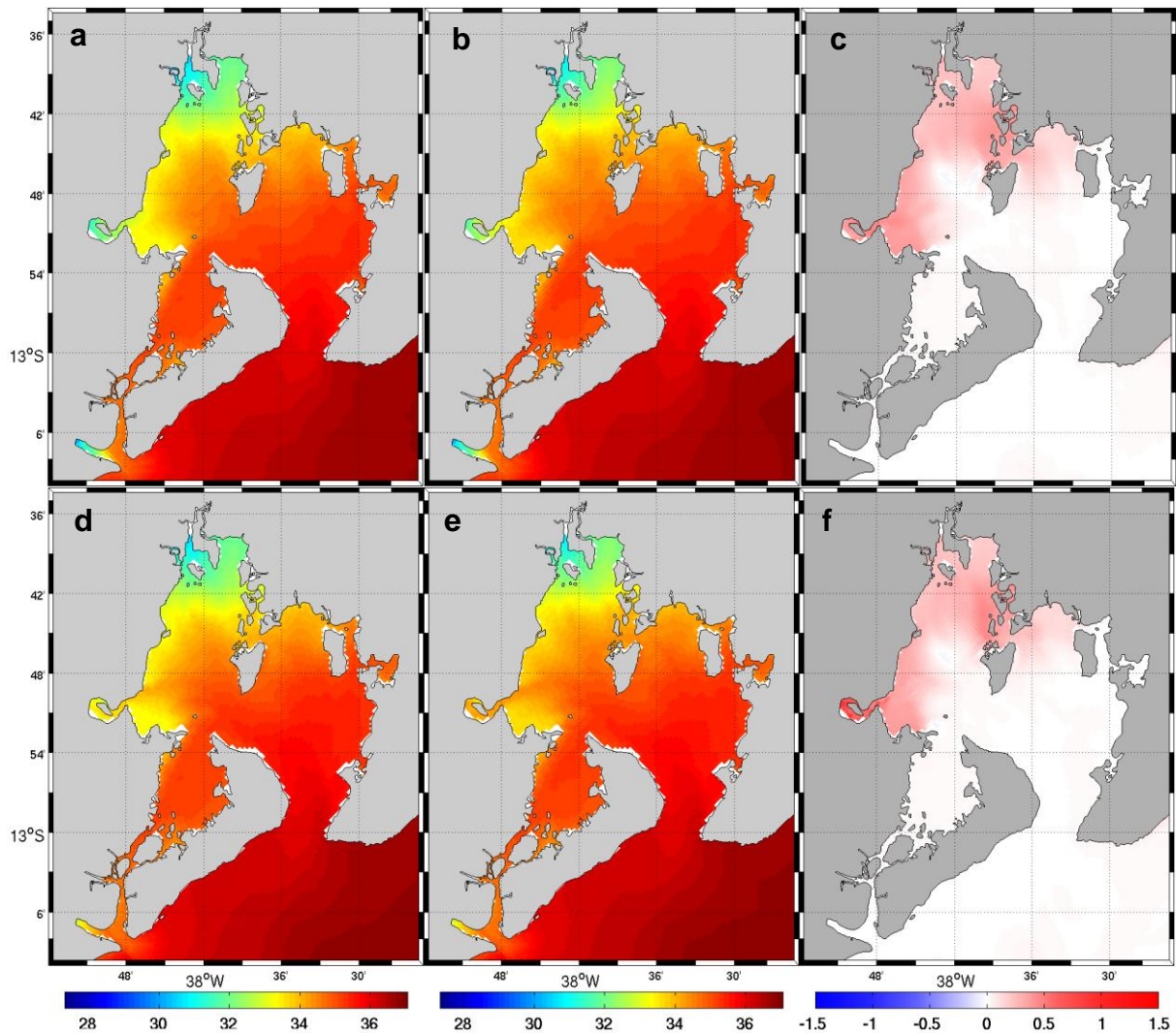


Figura 14 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em setembro. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.

Finalmente em dezembro, na superfície a salinidade média para a BTS encontrada no cenário atual (Figura 15a) foi 34,90. Após as dragagens (Figura 15b) essa média foi 34,95, gerando uma diferença de 0,05. As maiores diferenças (Figura 15c) foram de 0,53 na saída do Rio Paraguaçu e -0,55 no entorno de Saubara.

A salinidade média no fundo com a batimetria atual (Figura 15d) foi 35,22. Após as dragagens (Figura 15e) essa média foi 35,27, produzindo uma diferença também de 0,05. Nesta situação o contraste entre o cenário atual e dragado foi maior, com

diferenças de 2,19 no Rio Paraguaçu, e de -0,60 no entorno de Saubara. A Figura 15f mostra a diferença espacial de salinidade no fundo entre os dois cenários, onde novamente observa-se a correspondência das regiões com alterações na salinidade de fundo e superfície.

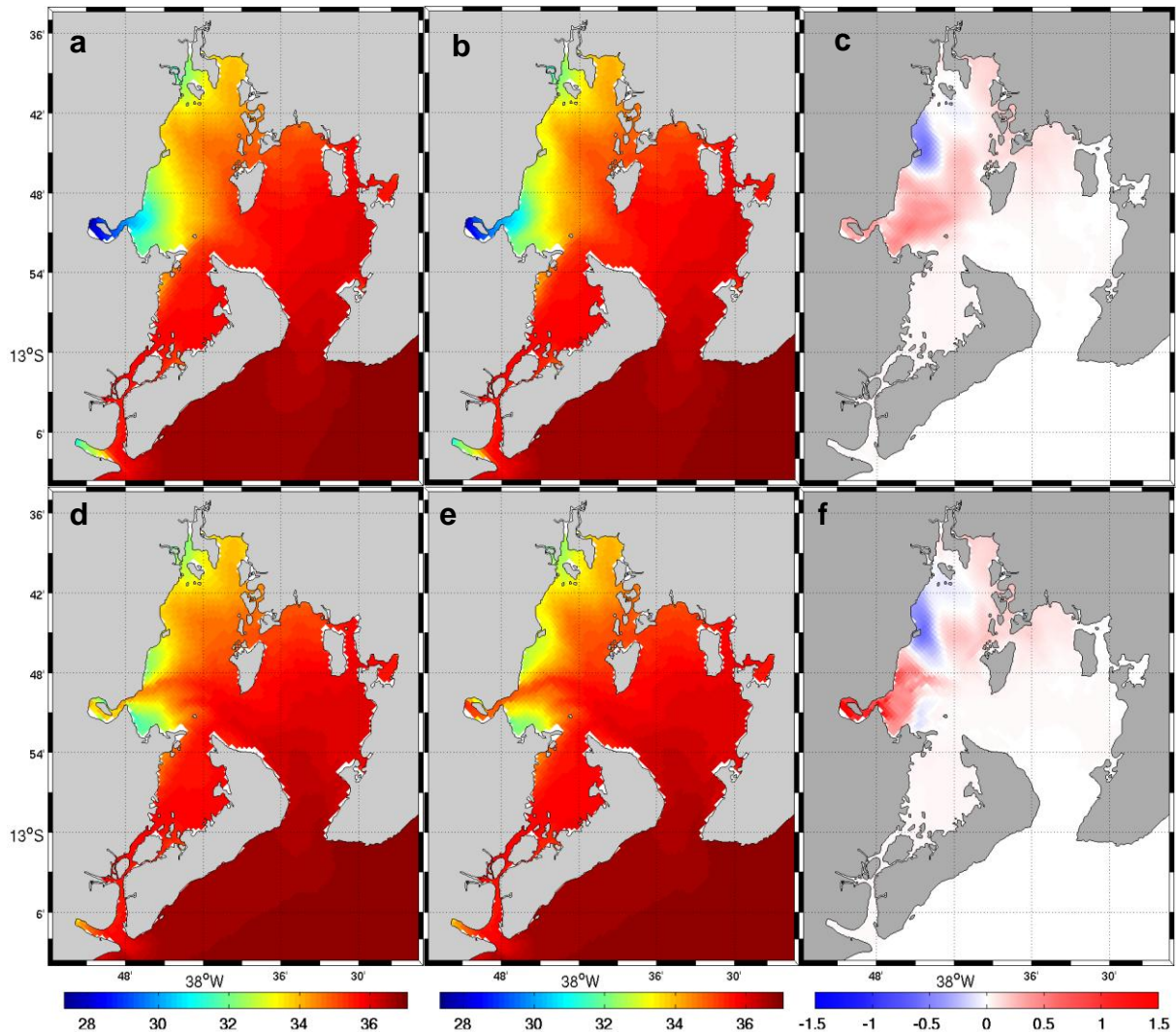


Figura 15 - Salinidade na superfície (imagens superiores) e no fundo (imagens inferiores) em dezembro. a,d) Cenário atual, b,e) Cenário após dragagens, c,f) Diferenças (b – a) e (e – d) respectivamente.

5.2 Grau de mistura

O grau de mistura foi calculado pela subtração entre o valor das médias mensais de salinidade próxima ao fundo e da superfície, de modo que, quanto maior esta diferença, mais estratificado é o perfil, e quanto mais próxima de zero, maior a

homogeneidade da massa d'água. Foram plotadas as diferenças verticais de salinidade para os meses de maio, setembro e dezembro, para os resultados do modelo antes e depois da dragagem.

As máximas diferenças verticais foram encontradas na saída do Rio Jaguaripe nos dois cenários, para o mês de maio, e no cenário atual, em setembro. Porém, este rio não contribui de maneira significativa para a circulação de toda a baía, é a região com pior cobertura batimétrica de toda a BTS e onde a qualidade dos dados não pode ser avaliada por falta de monitoramentos. Desta forma estes resultados serão ignorados nos parágrafos seguintes.

No mês de maio o local que apresentou as maiores diferenças verticais de salinidade foi a saída do Rio Paraguaçu, tanto no cenário de batimetria atual, 2,97 (Figura 16a), quanto após as dragagens, 3,28 (Figura 16b). A Figura 16c mostra a diferença de mistura, situação pós-dragagem menos a situação atual, com valor máximo de 0,43 dentro do Paraguaçu, e mínimo de -0,17 à frente do mesmo canal. Nos locais onde ocorre aumento da diferença vertical de salinidade, ocorre aumento das velocidades dos fluxos baroclínicos, e quanto menor a diferença os fluxos tendem a ficar mais lentos.

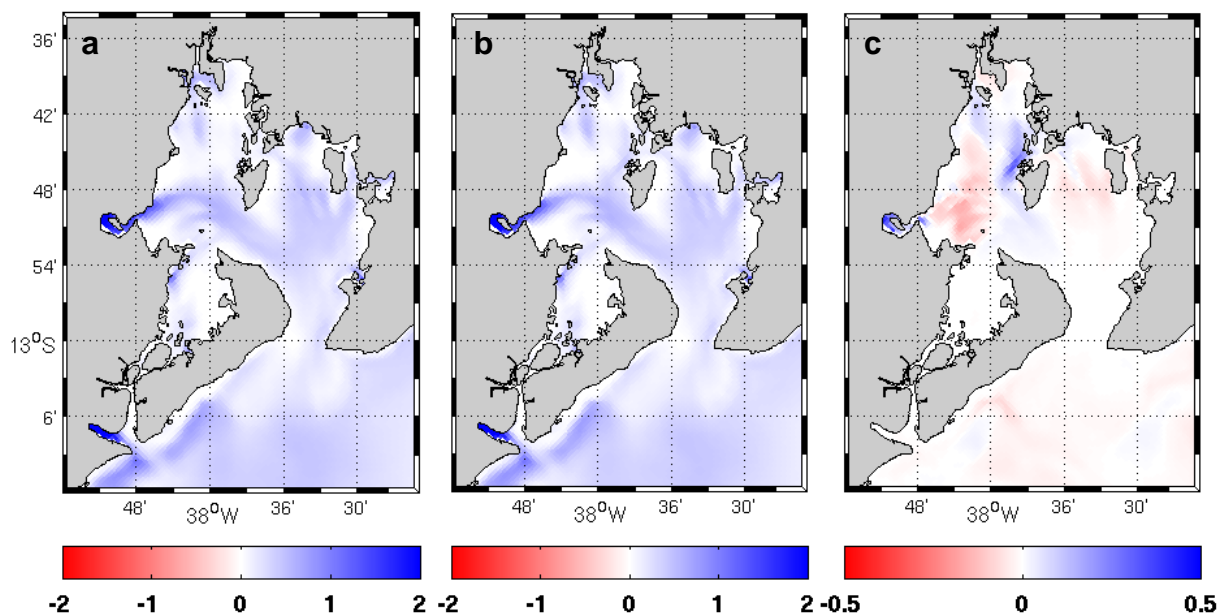


Figura 16 - Estratificação em maio. a) Cenário atual, b) Após dragagens, c) Diferença (b – a).

Para o mês de setembro as maiores estratificações também ocorreram na saída do Rio Paraguaçu, tanto no cenário de batimetria atual, 2,39 (Figura 17a), quanto após

as dragagens, 2,90 (Figura 17b). A Figura 17c mostra a diferença do padrão de estratificação, situação após dragagens menos a situação atual, com valor máximo de 0,62 dentro do Paraguai, e mínimo de -0,13 a Sul do canal do mesmo rio. Pode-se ver que o grau de estratificação para a baía como um todo, em setembro é menor que em maio, concordante com o regime de entrada de água doce.

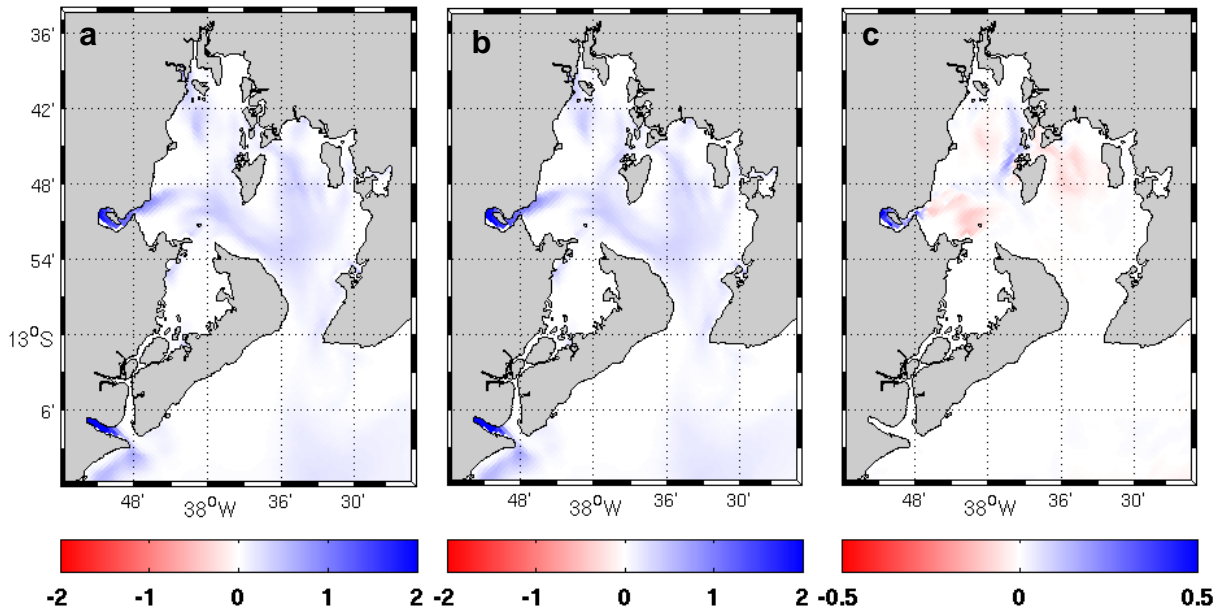


Figura 17 - Estratificação em setembro. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença (b - a).

Em dezembro, os valores máximos de diferença vertical de salinidade foram encontrados também na saída do Rio Paraguai, tanto no cenário de batimetria atual, 6,82 (Figura 18a), quanto após as dragagens, 7,68 (Figura 18b). A Figura 18c mostra a diferença do padrão de estratificação, situação após dragagens menos a situação atual, com valor máximo de 1,94 dentro do Paraguai, e mínimo de -0,50 a Sul do canal do mesmo rio. Novamente pode-se relacionar esses padrão com o regime de entrada de água doce, visto que em dezembro a descarga do Paraguai é bastante elevada.

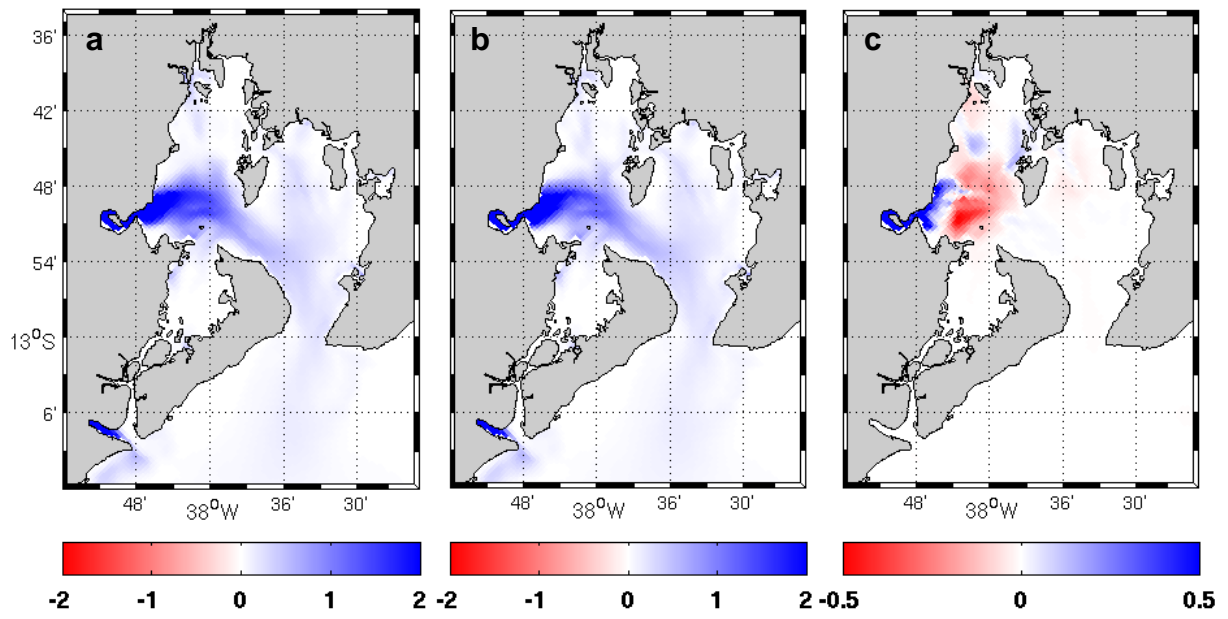


Figura 18 - Estratificação em dezembro. a) Cenário atual, b) Cenário após dragagens, c) Diferença (b – a).

5.3 Circulação Residual

Seções transversais aos canais de circulação foram produzidas a fim de verificar a estrutura dos fluxos longitudinais aos canais. Fluxos positivos indicam entrada de água para a baía e negativos indicam saída.

Os valores do fluxo residual mensal na Seção 1 (associada ao acesso a São Roque e Madre de Deus - Figura 12a) estão listados na Tabela 1. Pode-se notar que para os meses de maio e setembro as diferenças são pequenas, já em dezembro o valor de entrada sofre variação de 0,013.

Tabela 1 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 1.

Seção 1	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,053	0,068	-0,053	0,070
Setembro	-0,057	0,054	-0,053	0,054
Dezembro	-0,078	0,054	-0,076	0,067

A Figura 19 mostra o campo de velocidades do fluxo residual para os meses de maio, setembro e dezembro, com as condições de batimetria atual e a situação após as dragagens na seção 1. Pode-se perceber que, após as dragagens, alterações perceptíveis ocorreram em maio, quando há um pequeno aumento dos fluxos de saída na margem NE da seção, e em dezembro, quando ocorre uma diminuição do fluxo de vazante do lado direito e aumento dos valores positivos na superfície. A estratificação lateral do fluxo residual é mais bem desenvolvida que a estratificação vertical, e ocorre em todos os meses. As dragagens causam um ligeiro aumento em maio e bem acentuado em dezembro, quando uma estratificação vertical tende a ser mais proeminente.

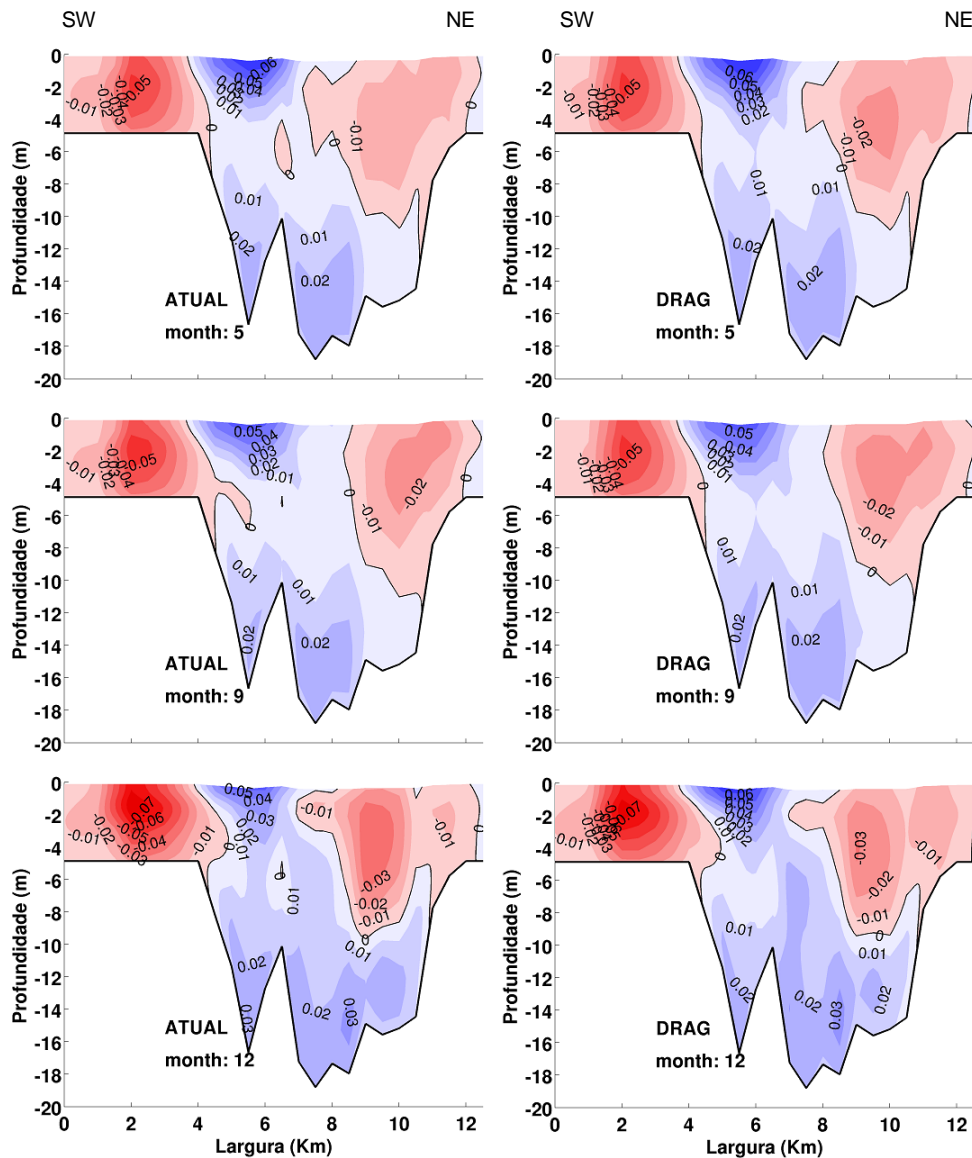


Figura 19 – Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 1. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

A variação temporal do perfil vertical de correntes estacionárias no talvegue da Seção 1 (Figura 20) indica pouca alteração após a dragagem, com aumento da velocidade dos fluxos de entrada, especialmente nos meses de verão associados à maior descarga do rio Paraguai. Observa-se a manutenção da tendência de estratificação em três camadas (fluxos positivos no fundo e superfície e negativos no meio) nos períodos de maré de quadratura. As magnitudes máximas dos fluxos de entrada e de saída foram de 0,064 e -0,082, respectivamente, no cenário atual, e 0,075 e -0,088, respectivamente, no cenário dragado, em m/s.

O mesmo ocorre com os perfis de média anual (Figura 21) e médias mensais (Figura 22), onde se observa o predomínio de fluxos de enchente e que no mês de menores

descargas o fluxo por toda a coluna d'água tende a ser de entrada, enquanto nos meses de maiores descargas em subsuperfície os fluxos são de saída. Após a dragagem o fluxo de entrada na superfície ganha força nos meses de maiores descargas (Figura 22).

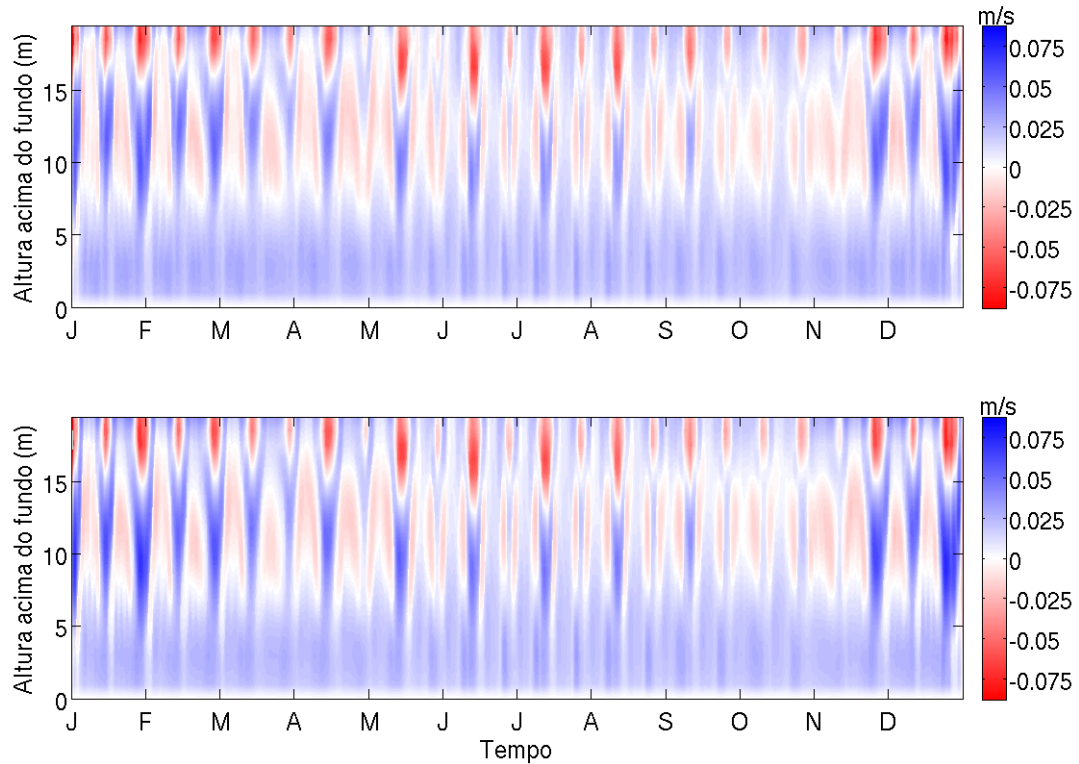


Figura 20 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 1. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

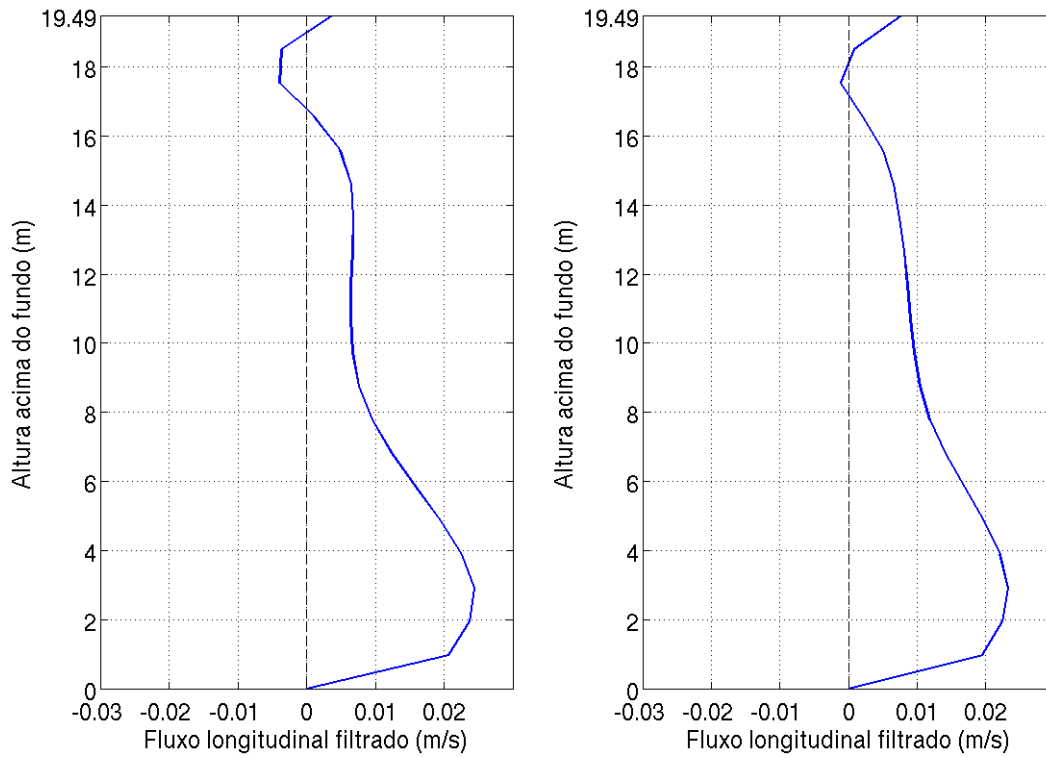


Figura 21 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 1. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

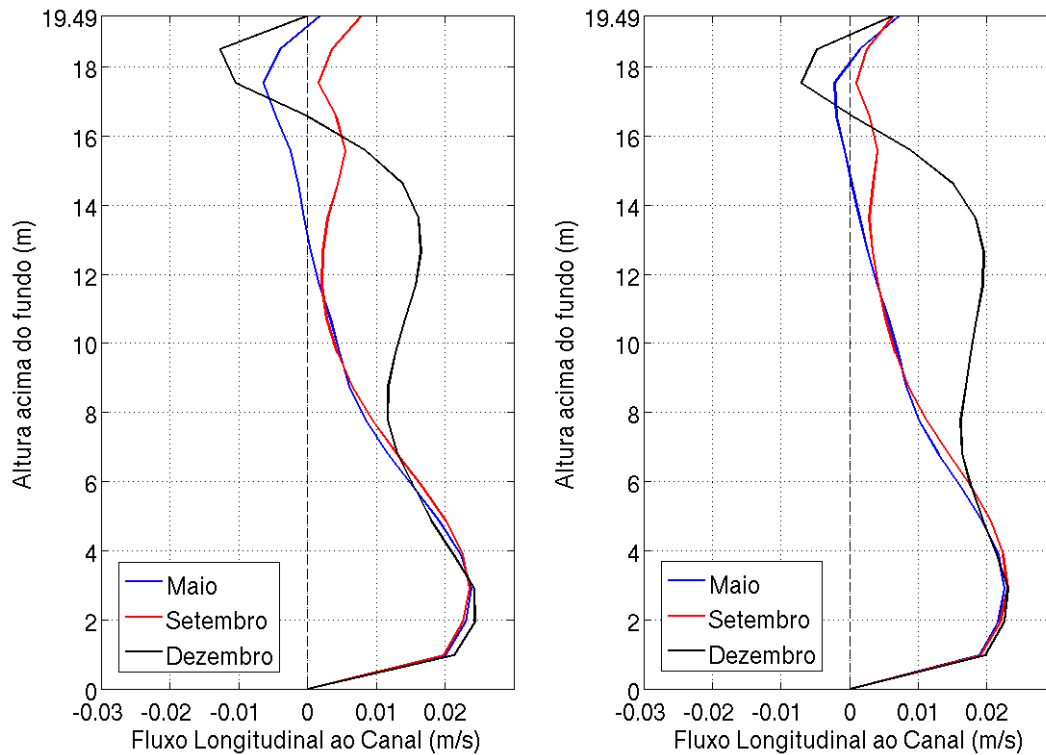


Figura 22 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 1. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

A Tabela 2 apresenta os valores do fluxo residual de saída e de entrada na Seção 2a (associada ao acesso a São Roque - Figura 12a) para os dois cenários, verifica-se que ocorreram diminuições significativas nos valores de saída em todos os meses, e em dezembro o valor de entrada teve o maior aumento.

Tabela 2 - Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 2a.

Seção 2a	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,039	0,040	-0,031	0,039
Setembro	-0,033	0,026	-0,027	0,031
Dezembro	-0,063	0,054	-0,053	0,067

A Figura 23 mostra as velocidades do fluxo residual na Seção 2a para os meses de maio, setembro e dezembro, com as condições de batimetria atual e a situação após as dragagens. O ponto mais fundo da seção tinha 8,54m de profundidade, após a dragagem este local passou a ter 15,0m, nota-se que as maiores velocidades ocorrem entre a margem sul e o talvegue do canal, região mais alinhada com a saída do rio Paraguaçu. A dragagem no local aumenta consideravelmente a área de escoamento do fluxo, que alcança maiores velocidades no mês de dezembro (>0,05 m/s). A estratificação vertical tende a predominar no canal principal de escoamento, pelo fato de ser a região mais profunda é o local onde a água de maior densidade ocupa.

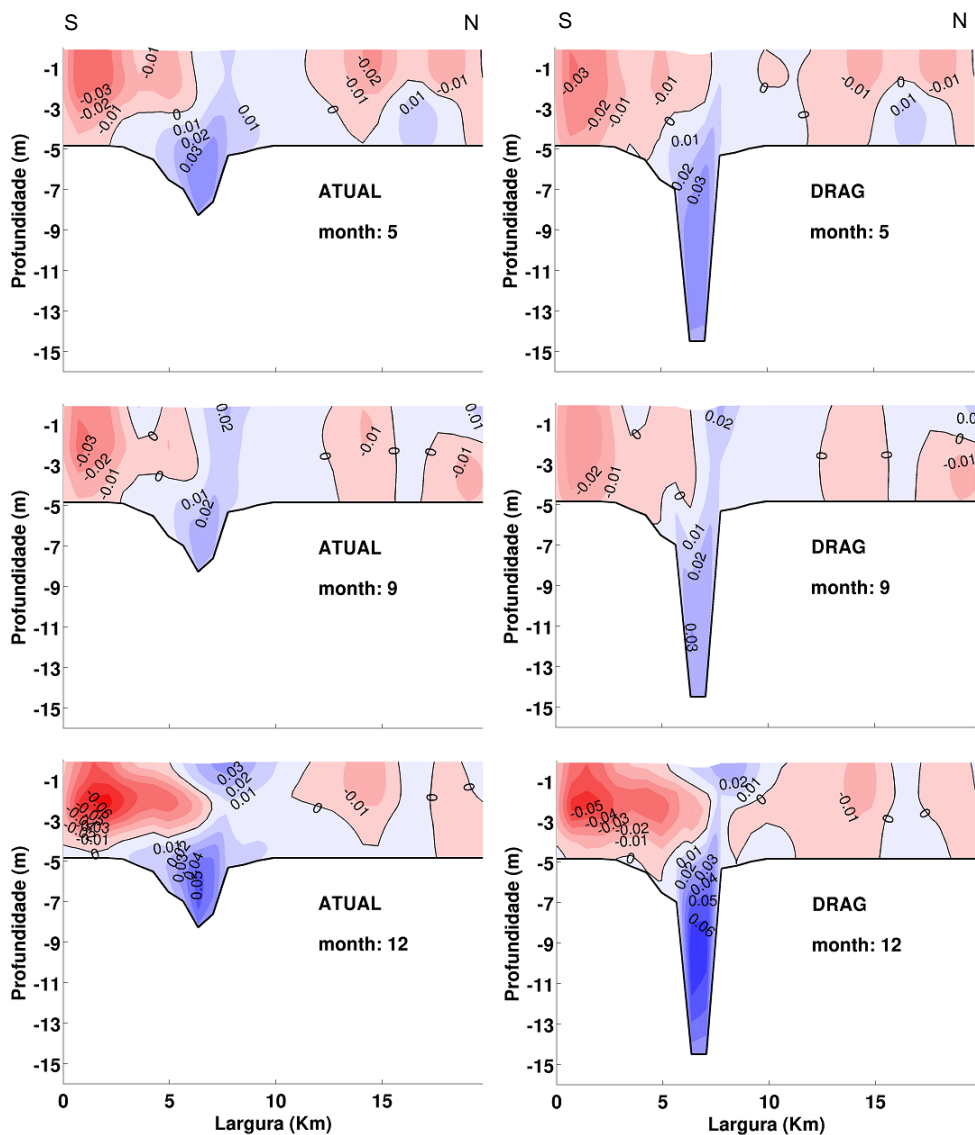


Figura 23 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 2a. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

Da série temporal (Figura 24) pode-se perceber que ocorreu uma diminuição dos valores positivos de superfície para todo o ano, e consequentemente a tendência de estratificação em três camadas é reduzida após a dragagem, percebe-se também que as diferenças entre sizígias e quadraturas consecutivas ficaram mais discretas. A magnitude máxima dos fluxos positivo e negativo foi de 0,12 e -0,085, respectivamente, para o cenário atual, e 0,11 e -0,076, respectivamente, para o cenário dragado, em m/s.

A partir dos perfis de média anual (Figura 25) e médias mensais (Figura 26), percebe-se que o fluxo tende a ficar mais positivo nas camadas inferiores e mais negativo nas camadas superiores, desta maneira a circulação anual se aproxima de

um padrão de apenas duas camadas, dezembro e setembro são os meses com maiores aumentos.

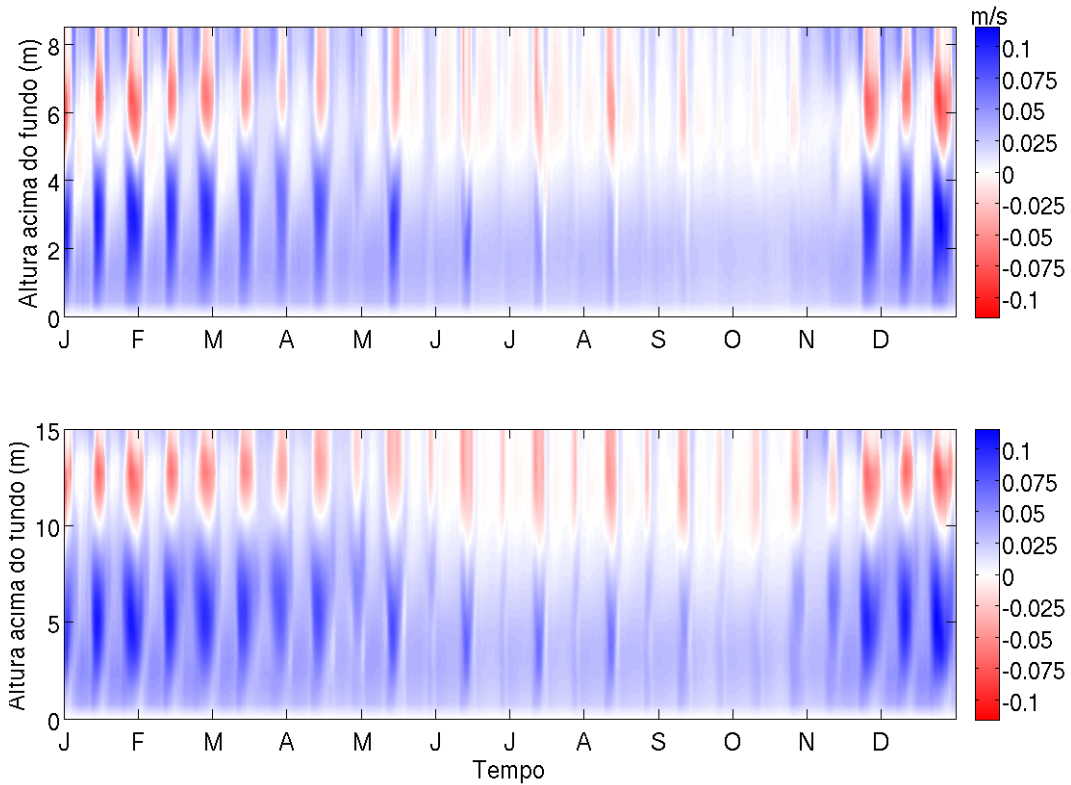


Figura 24 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

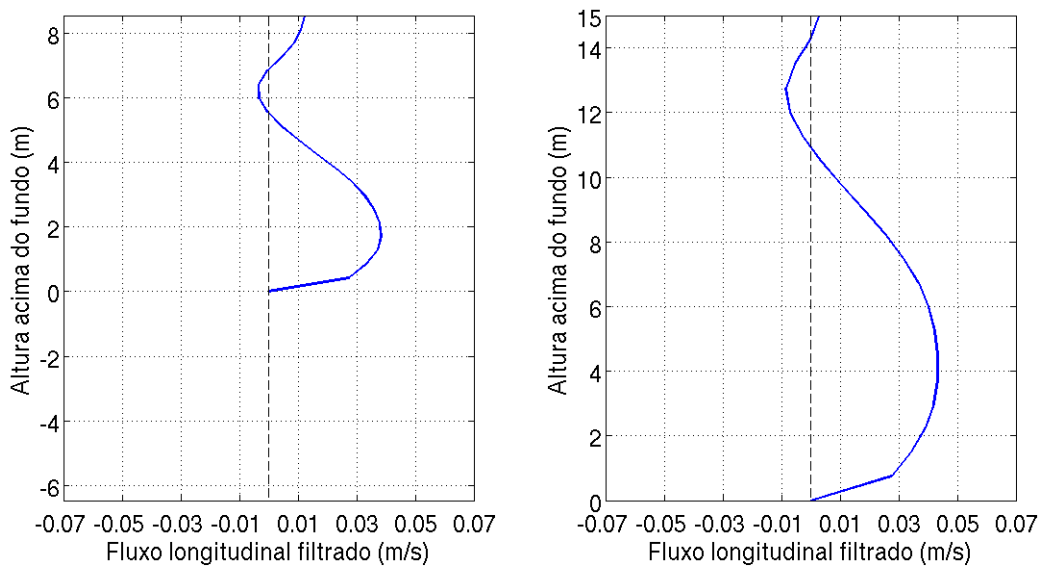


Figura 25 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

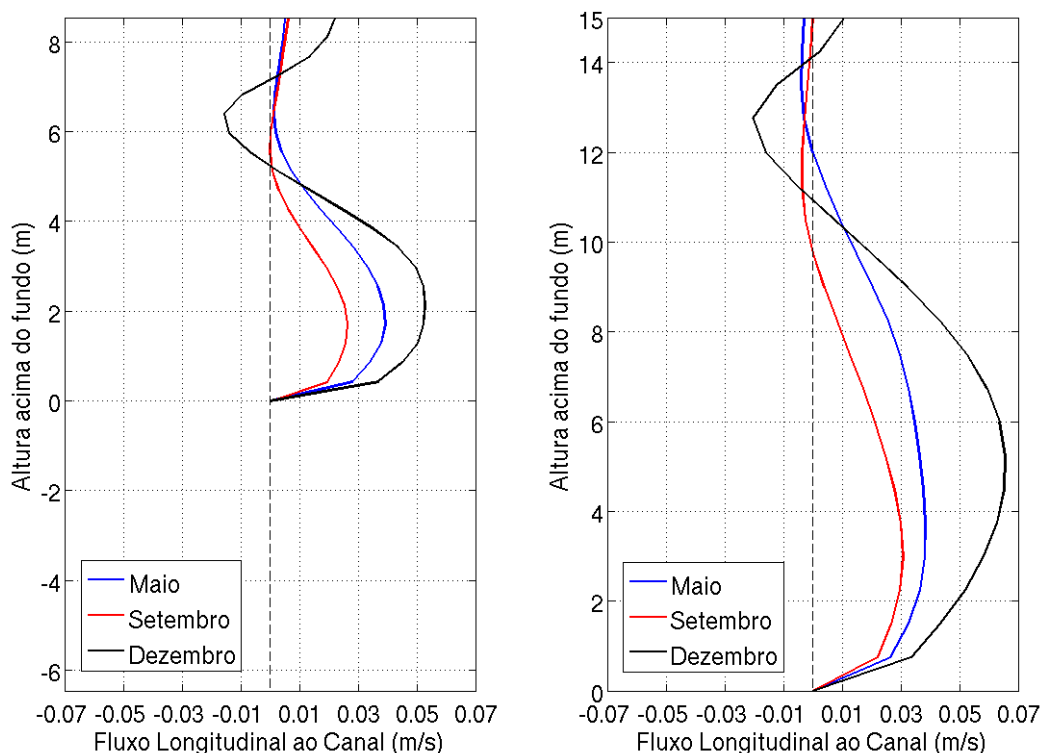


Figura 26 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 2a. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

A Tabela 3 apresenta os valores do fluxo residual de saída e entrada na Seção 2b (associada ao acesso a São Roque - Figura 12a) nos dois cenários. Observa-se que todos os valores sofreram diminuição, que foi mais acentuada nos valores positivos.

Tabela 3 - Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 2b.

Seção 2b	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,057	0,073	-0,053	0,062
Setembro	-0,036	0,067	-0,034	0,058
Dezembro	-0,088	0,089	-0,077	0,074

A Figura 27 mostra as velocidades do fluxo residual na Seção 2a para os meses de maio, setembro e dezembro, com as condições de batimetria atual e a situação após as dragagens. Pode-se perceber que, após as dragagens, ocorreu um enfraquecimento nos fluxos de fundo e de superfície em todos os meses, mais

acentuado em dezembro, porém apesar disso o padrão é bem similar nos dois cenários.

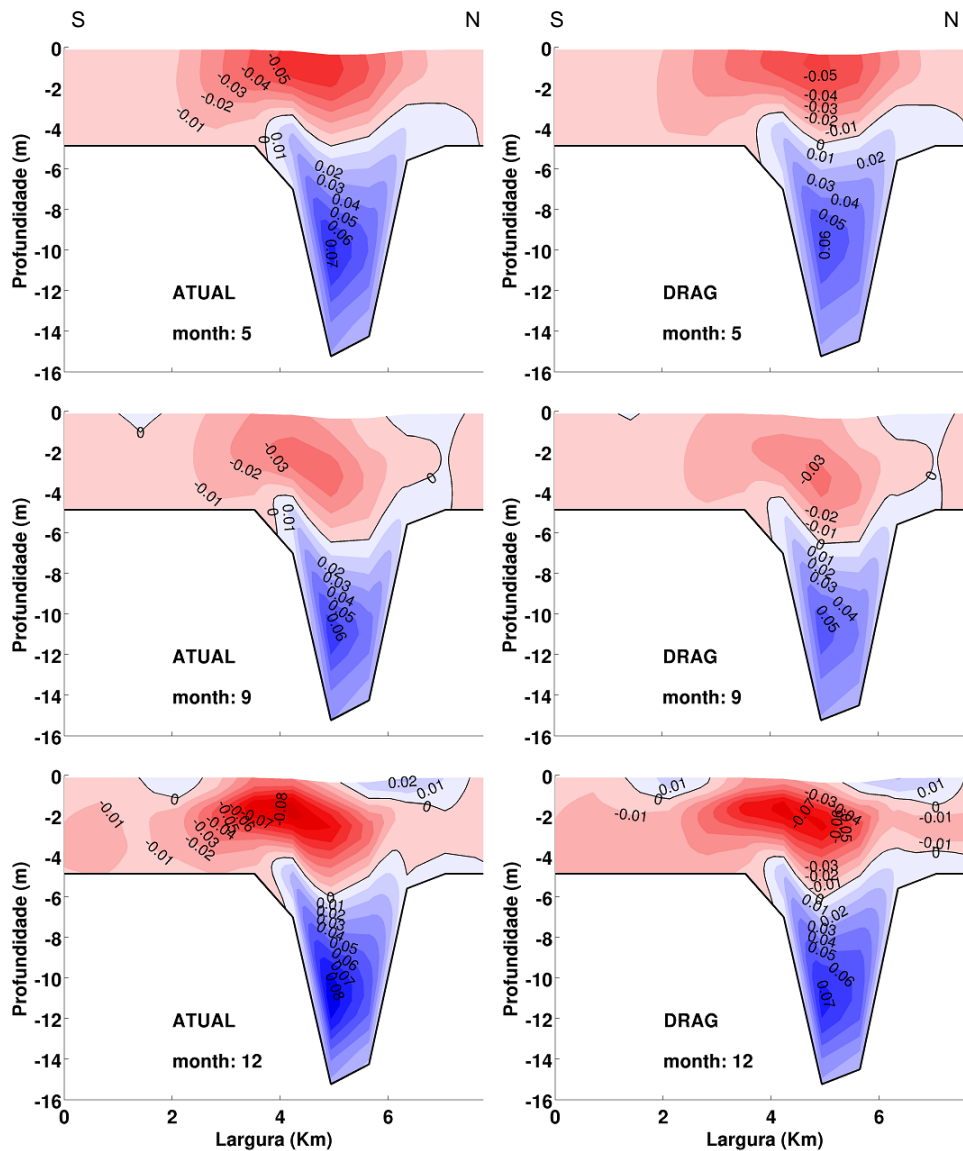


Figura 27 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 2b. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

Pelos perfis temporais (Figura 28) pode-se perceber que para todos os meses do ano a tendência de enfraquecimento dos fluxos é mantida. A magnitude máxima dos fluxos positivo e negativo foi de 0,074 e -0,061, respectivamente, para o cenário atual, e 0,069 e -0,046, para o cenário após dragagem, em m/s.

A partir dos perfis de média anual (Figura 29) e médias mensais (Figura 30) pode-se perceber que a redução do fluxo é pequena no padrão anual bem como nos padrões mensais, e estas reduções são maiores nos meses de maiores descargas.

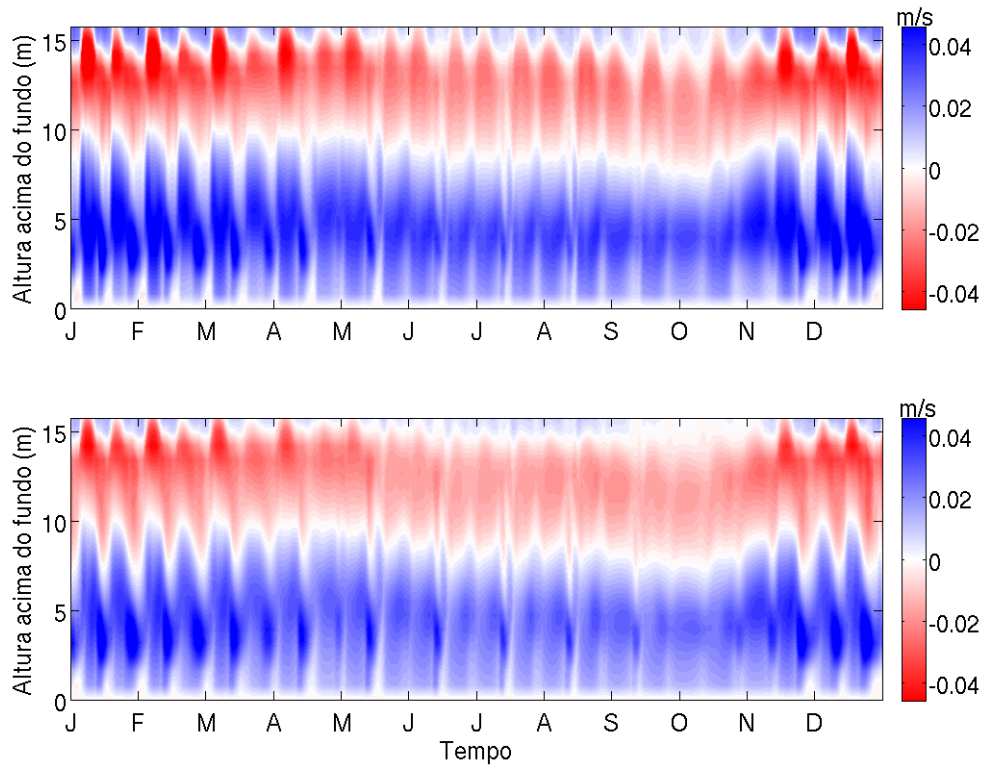


Figura 28 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

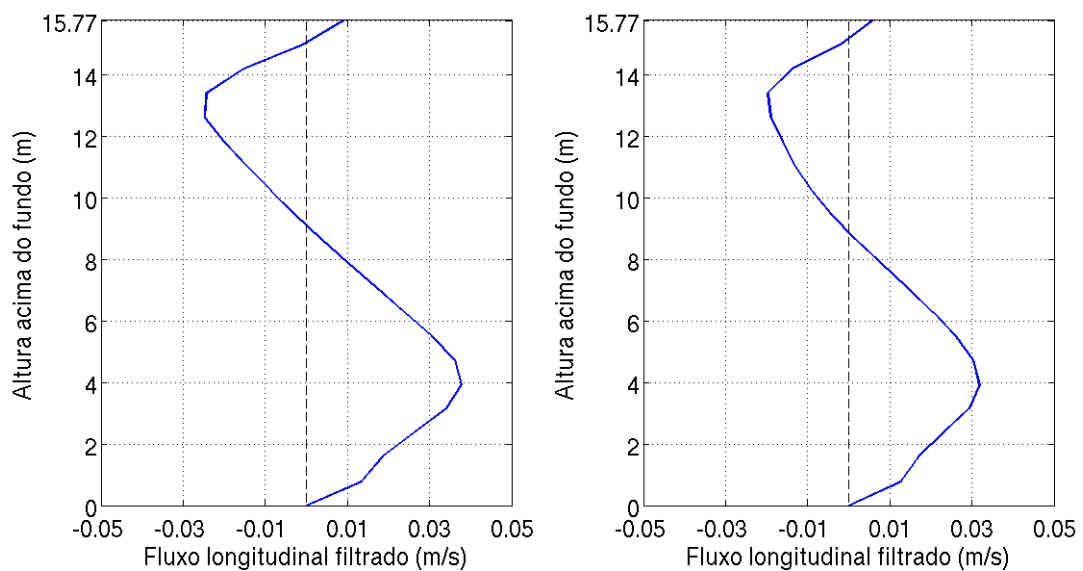


Figura 29 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

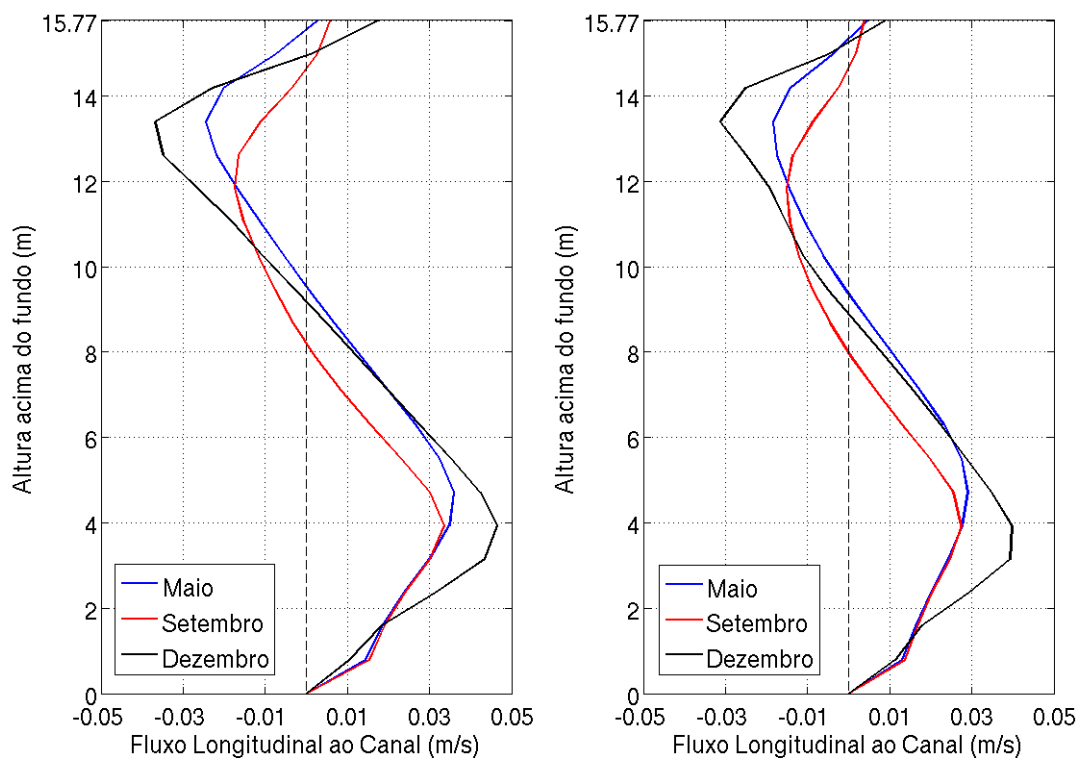


Figura 30 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 2b. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

A Tabela 4 apresenta os valores do fluxo residual de saída e entrada na Seção 3a (associada ao acesso a Madre de Deus - Figura 12b), para os dois cenários, verifica-se que os valores que indicam fluxo de saída aumentam significativamente em termos percentuais, e que os aumentos são maiores nos meses de maio e setembro.

Tabela 4 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3a.

Seção 3a	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,013	0,029	-0,028	0,024
Setembro	-0,025	0,020	-0,042	0,022
Dezembro	-0,021	0,024	-0,032	0,027

A Figura 31 mostra que, após as dragagens, houve aumento na magnitude do fluxo negativo do lado direito da seção em todos os meses, e do lado esquerdo, em dezembro, o fluxo negativo aumenta e se aproxima do talvegue. O ponto mais fundo

da seção tinha 14,33m de profundidade, após a dragagem este local passou a ter 15,0m.

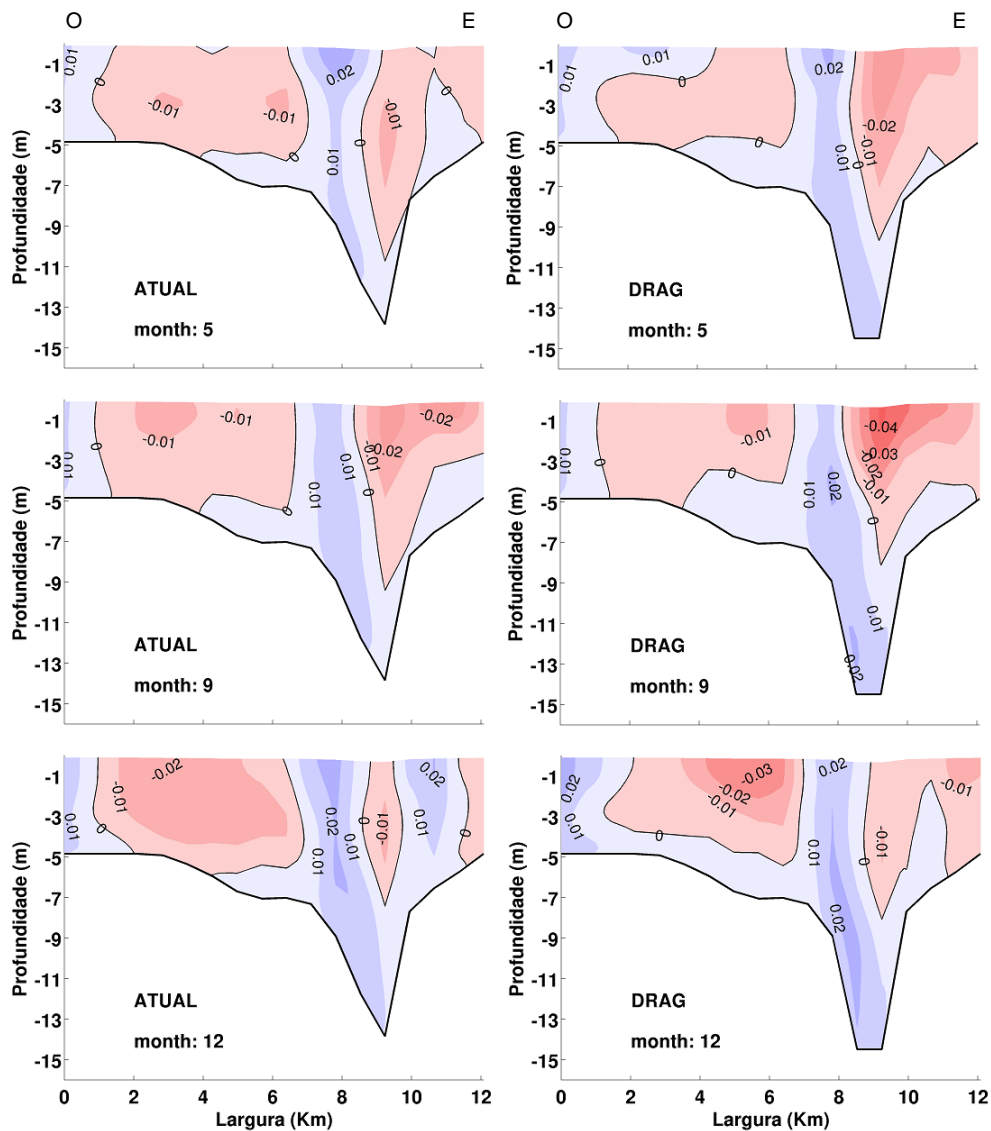


Figura 31 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3a. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

Pelas séries temporais (Figura 32), observa-se que o aumento nas magnitudes do fluxo no talvegue ocorre predominantemente nos meses de abril a outubro, meses com maiores taxas de precipitação, já entre dezembro e março os fluxos tem seus valores um pouco reduzidos. A magnitude máxima dos fluxos positivo e negativo foi de 0,039 e -0,069, respectivamente, para o cenário atual, e 0,063 e -0,076, respectivamente, para o cenário dragado, em m/s.

Nos perfis de média anual (Figura 33) e médias mensais (Figura 34) pode-se ver que a tendência anual é de aumento dos fluxos de entrada, no fundo, e de saída, na

superfície. Os meses de maio e setembro apresentam um aumento de aproximadamente 0,02m/s no módulo da velocidade na superfície, já a média anual tem aumento de cerca de 0,01m/s.

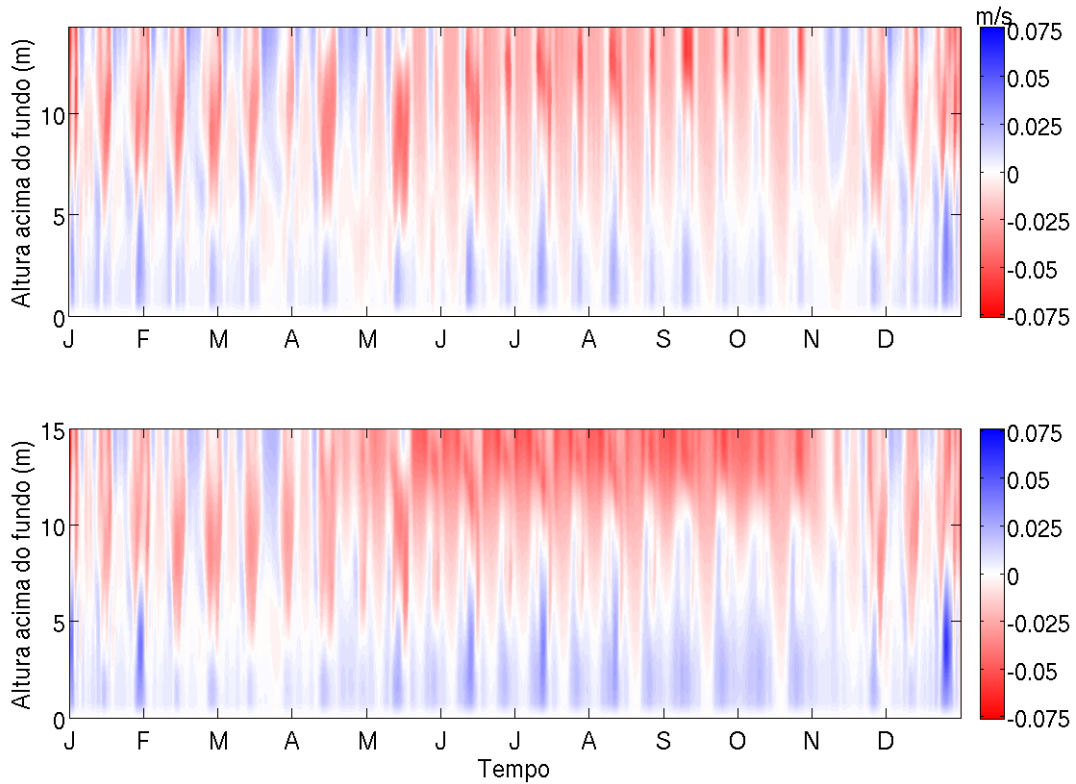


Figura 32 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

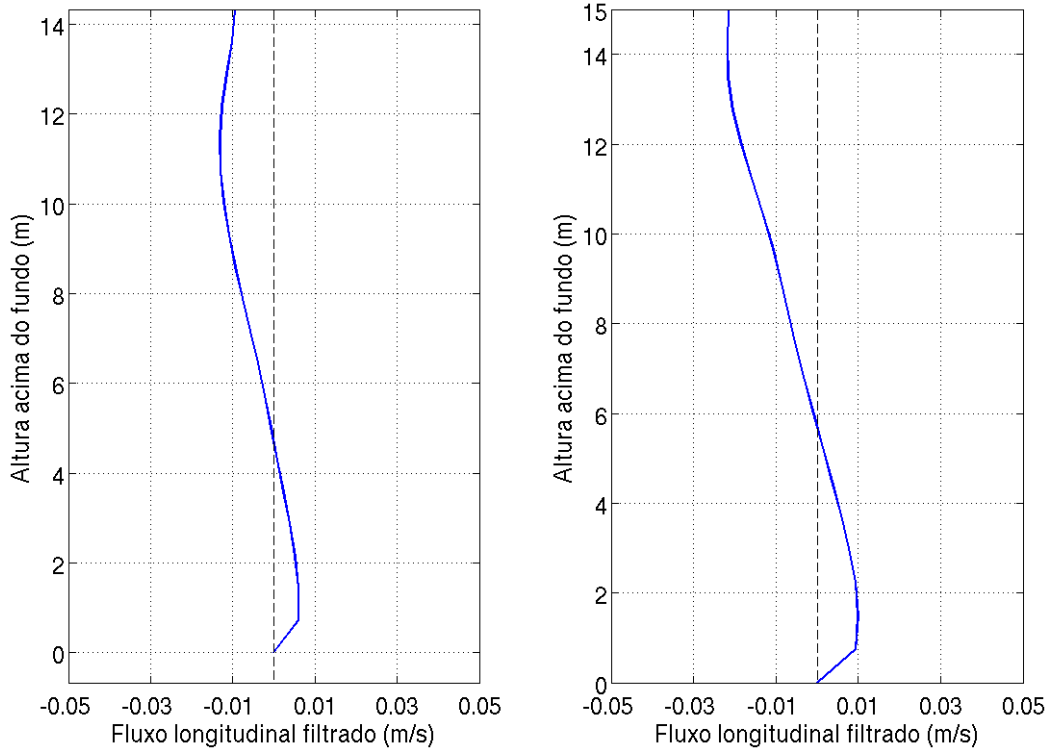


Figura 33 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

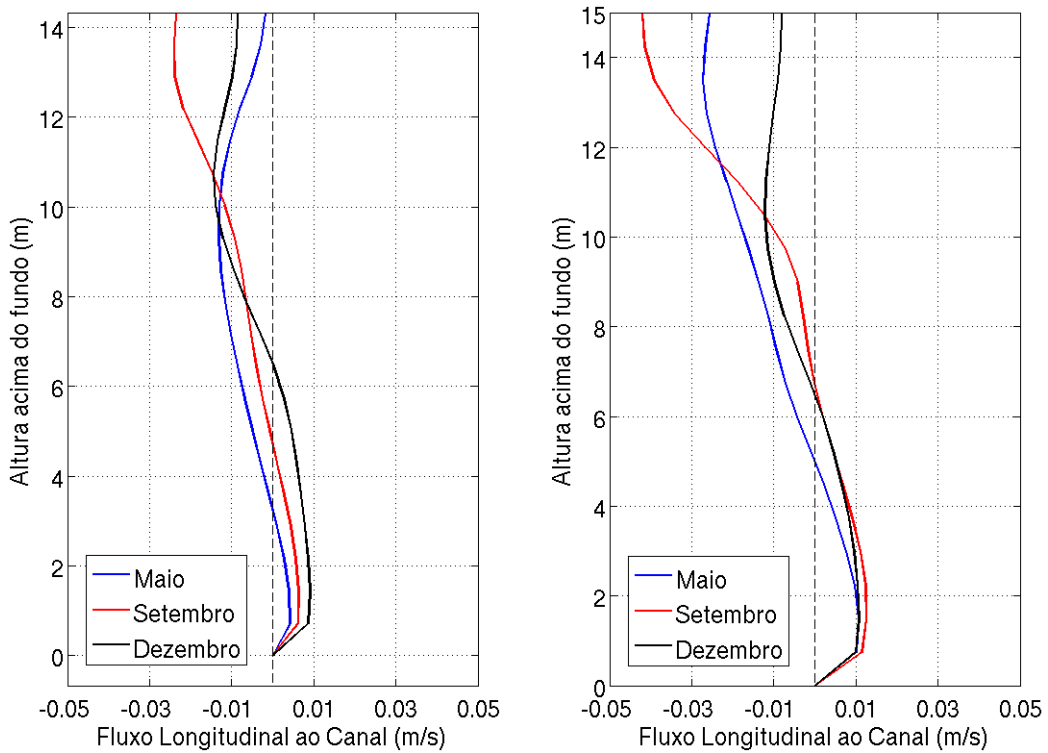


Figura 34 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3a. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

A Tabela 5 apresenta os valores do fluxo residual de saída e entrada para os três meses avaliados nos dois cenários para a Seção 3b (associada ao acesso a Madre de Deus - Figura 12c). Pode-se perceber que houve grande redução dos valores, para ambos os sentidos de fluxo e para todos os meses. Os valores dos três meses ficam mais próximos, ou seja, a sazonalidade foi reduzida.

Tabela 5 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3b.

Seção 3b	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,065	0,070	-0,044	0,053
Setembro	-0,068	0,072	-0,040	0,053
Dezembro	-0,056	0,064	-0,038	0,048

A Figura 35 mostra que a Seção 3b é estratificada horizontalmente quanto às velocidades, do lado sudoeste os fluxos são de saída, enquanto no nordeste são de entrada. Pode-se ver claramente que ocorre uma diminuição significativa nos valores de fluxo, tanto de entrada quanto de saída.

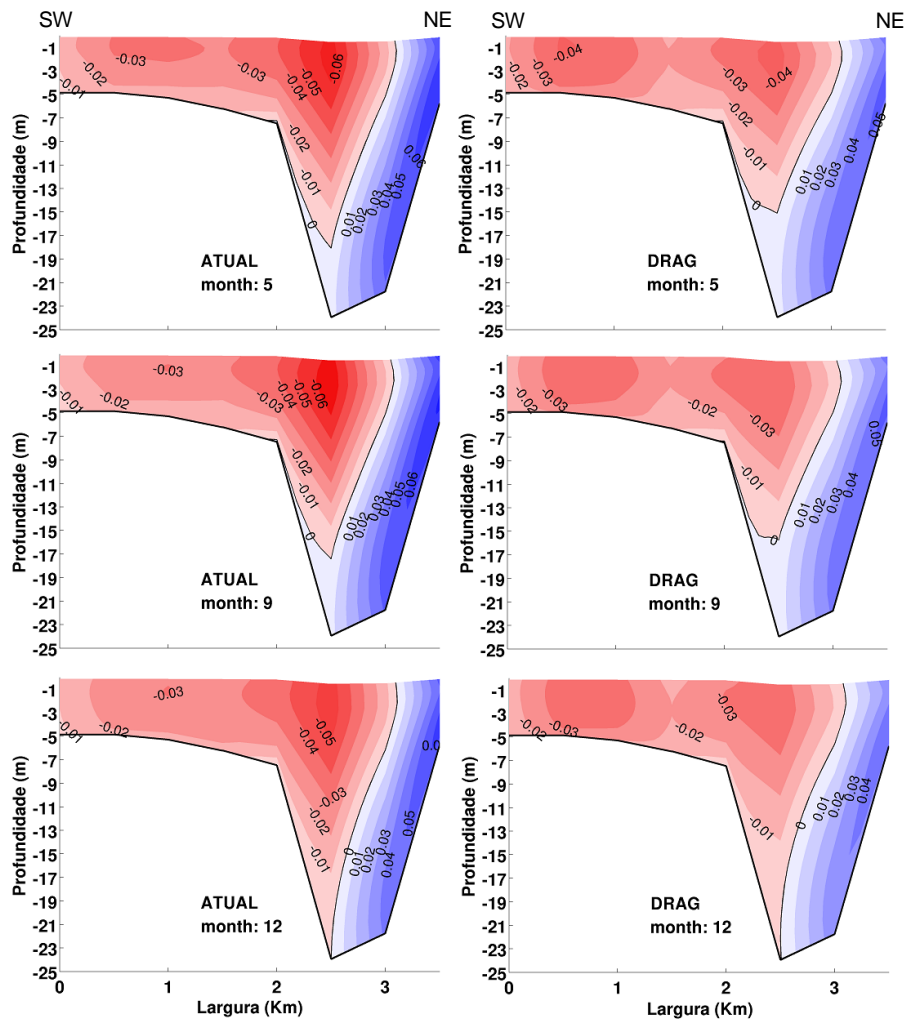


Figura 35 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3b. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

Pelo perfil vertical da velocidade residual no talvegue ao longo do ano (Figura 36), pode-se perceber que, os meses com os maiores valores de precipitação coincidem com os meses de maior intensidade de fluxo, e que após a dragagem a diferença sazonal é reduzida. A magnitude máxima dos fluxos positivo e negativo foi de 0,018 e -0,097, respectivamente, para o cenário atual, e 0,012 e -0,084, para o cenário após dragagem, em m/s.

A partir dos perfis de média anual (Figura 37) e médias mensais (Figura 38) vê-se que a redução da magnitude do fluxo é grande na média anual, cerca de 33%, e essa redução é bem distribuída ao longo do ano, todos os meses seguem o mesmo padrão, e as curvas dos meses se aproximam.

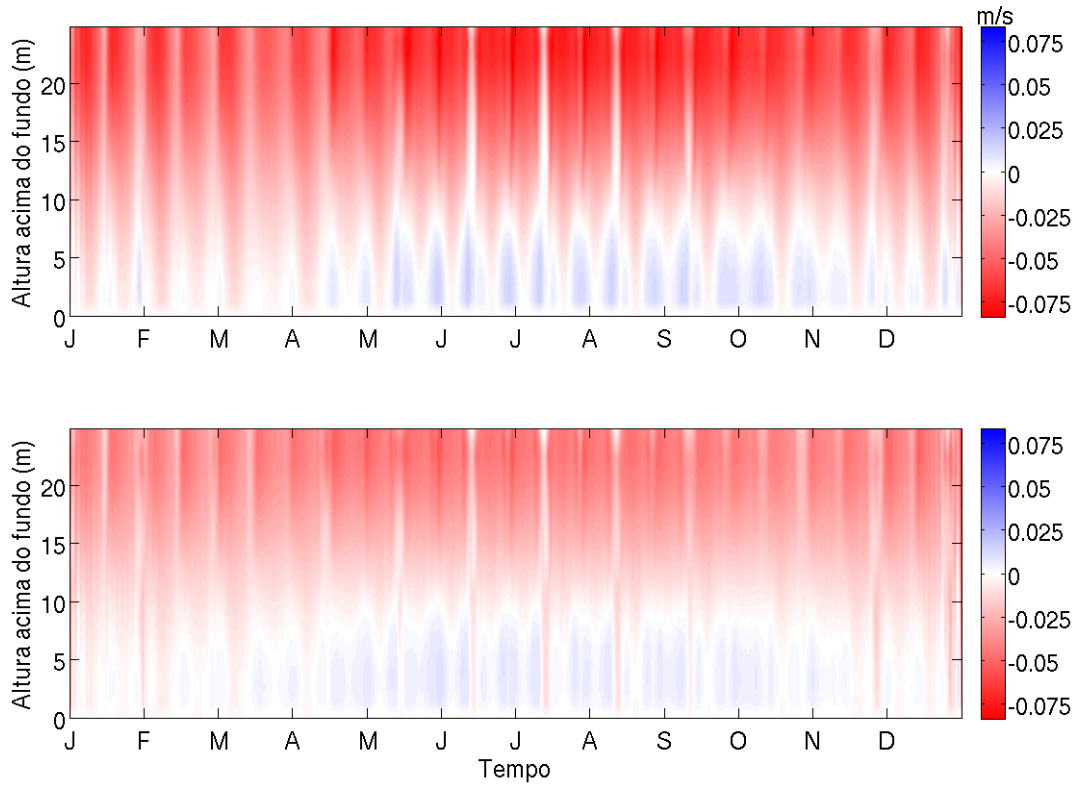


Figura 36 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

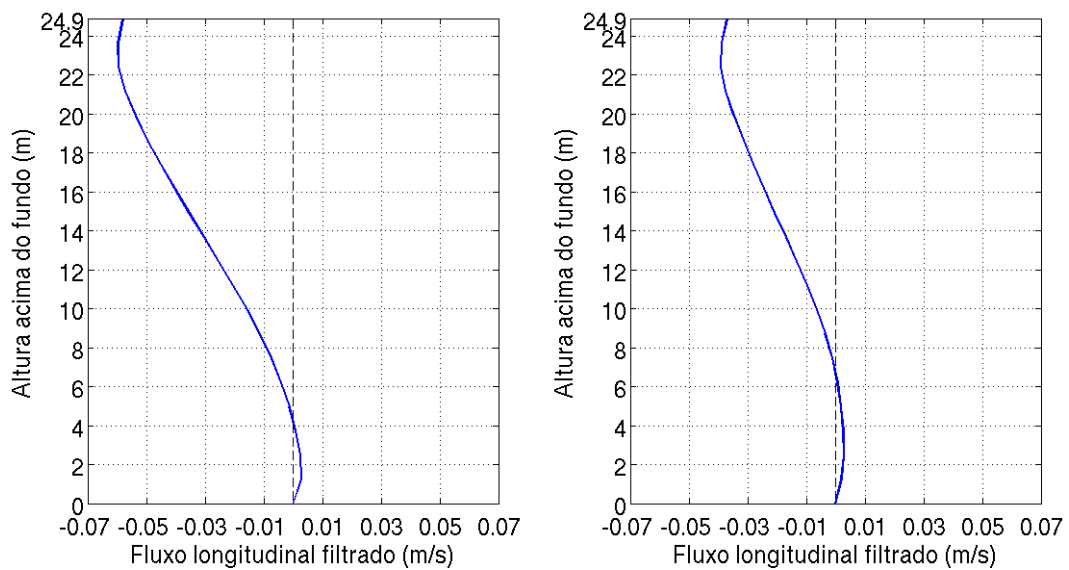


Figura 37 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

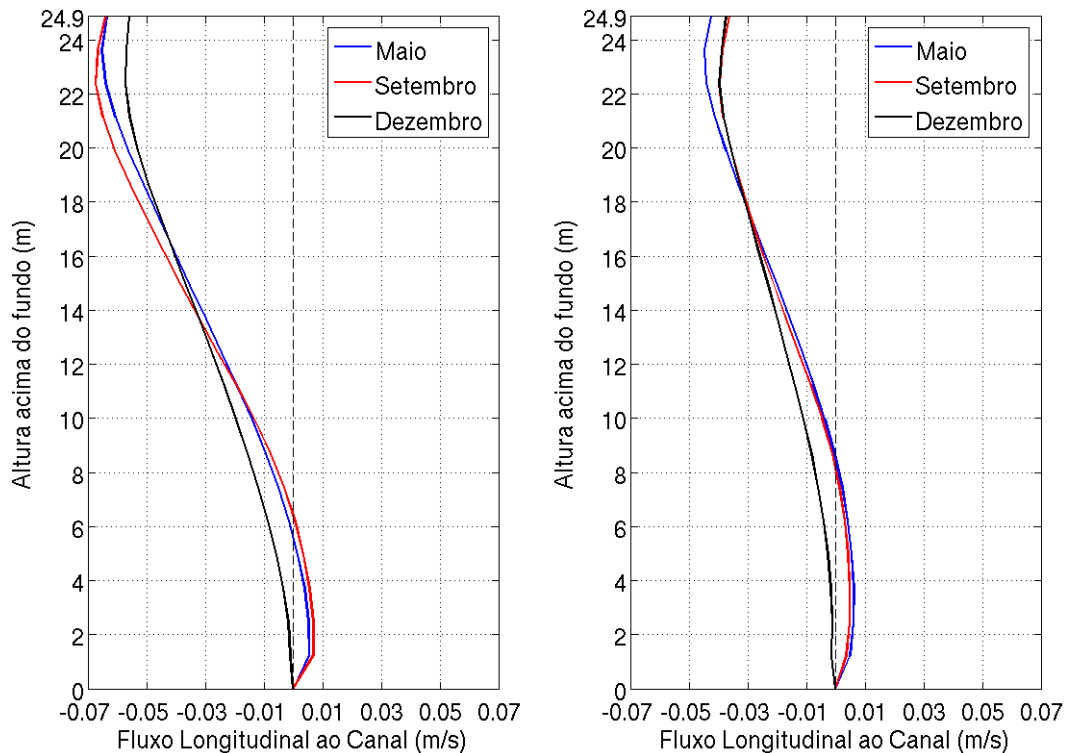


Figura 38 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3b. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

A Tabela 6 apresenta os valores de saída e entrada para os três meses avaliados nos dois cenários para a Seção 3c (associada ao acesso a Madre de Deus - Figura 12b). Nota-se que houve redução em todos os valores, porém redução de poucos pontos percentuais.

Tabela 6 – Médias mensais das velocidades do fluxo residual para a Seção 3c.

Seção 3c	Atual		Após dragagens	
	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)	Fluxo de saída (m/s)	Fluxo de entrada (m/s)
Maio	-0,044	0,035	-0,041	0,033
Setembro	-0,053	0,036	-0,048	0,033
Dezembro	-0,055	0,032	-0,051	0,030

A Figura 39 mostra que, após as dragagens, ocorreu diminuição dos fluxos tanto positivo quanto negativo, porém a redução é pequena. Os valores são pequenos devido à grande área do canal, devido a isso o fluxo sofre espalhamento. O ponto

mais fundo da seção tinha 12,15m de profundidade, após a dragagem este local passou a ter 15,0m.

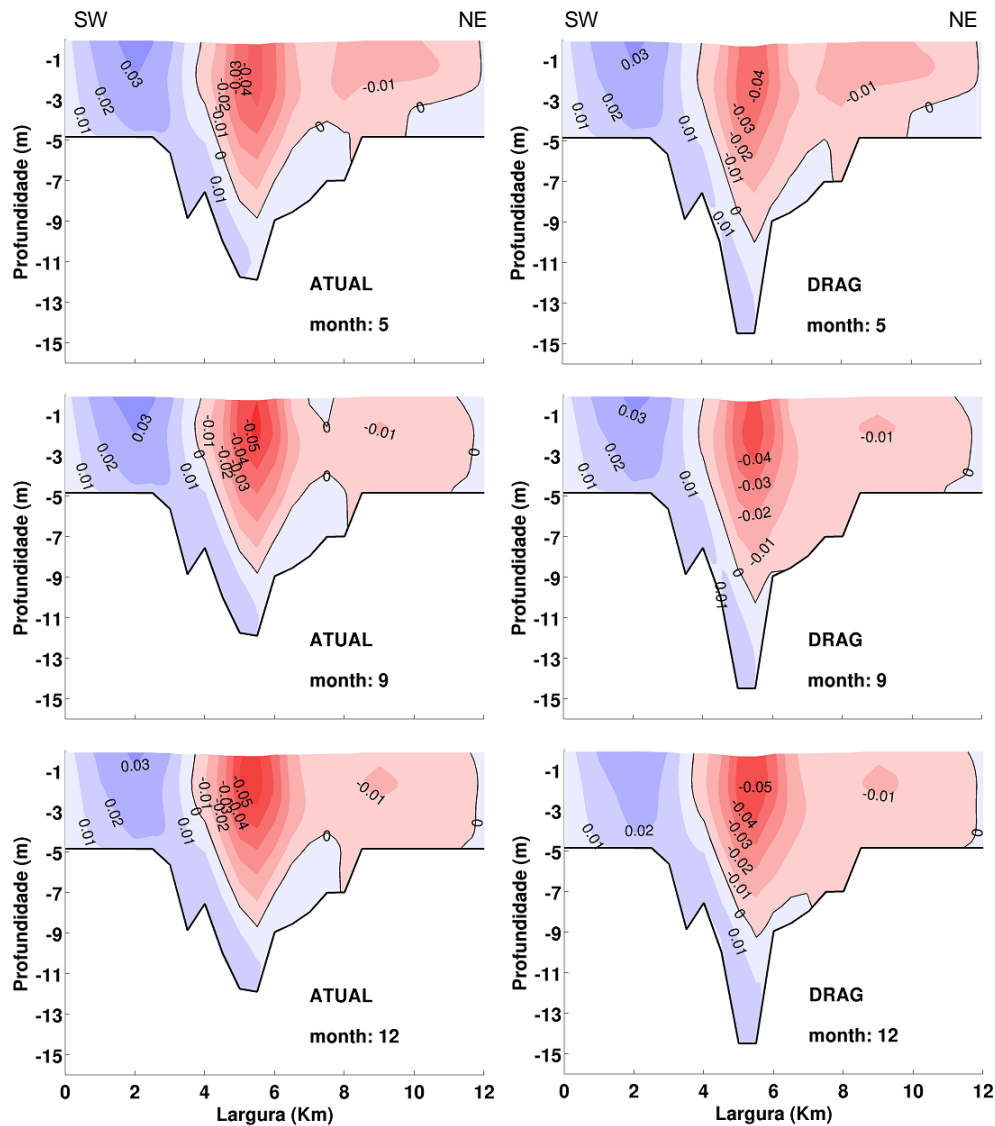


Figura 39 - Médias mensais da velocidade residual em (m/s) ao longo da coluna d'água na Seção 3c. Do lado esquerdo, o cenário atual, e do lado direito, o cenário após dragagens. De cima para baixo os meses de maio, setembro e dezembro, respectivamente.

Dos perfis verticais (Figura 40) pode-se perceber que as diferenças entre sizígias e quadraturas consecutivas ficam mais acentuadas. A magnitude máxima dos fluxos positivo e negativo foi de 0,067 e -0,11, respectivamente, para o cenário atual, e 0,070 e -0,11, respectivamente, para o cenário após dragagem, em m/s.

A partir dos perfis de média anual (Figura 41) e médias mensais (Figura 42) é possível perceber que o fluxo perde intensidade na superfície e ganha no fundo, porém numa escala pequena, e que o fluxo de fundo teve a sua área aumentada.

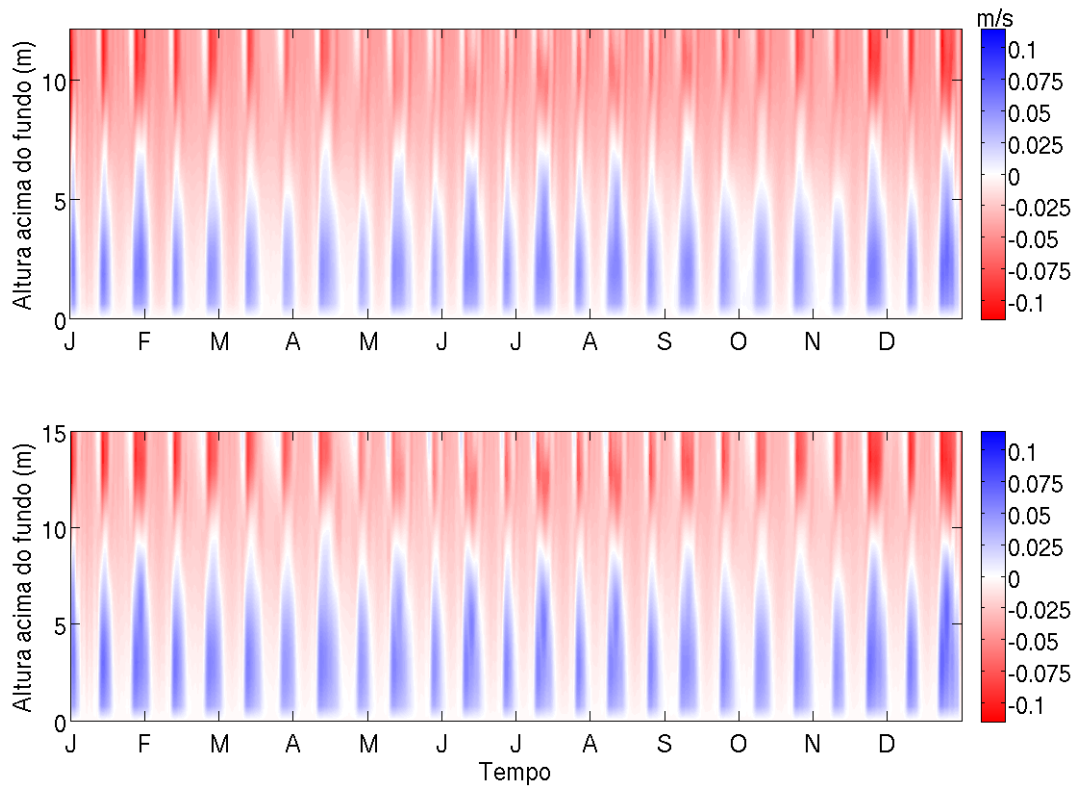


Figura 40 – Variação temporal do perfil vertical de velocidades não-mareais no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (superior) e cenário após dragagem (inferior).

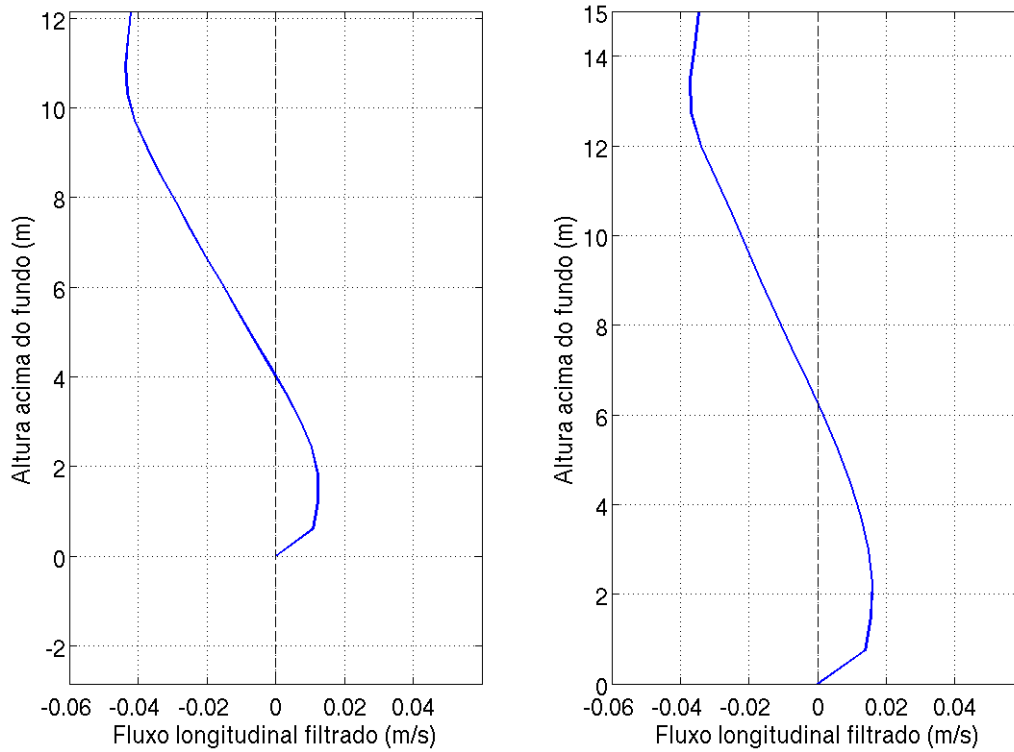


Figura 41 – Perfil vertical da média anual das velocidades no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (esquerda) e cenário após as dragagens (direita).

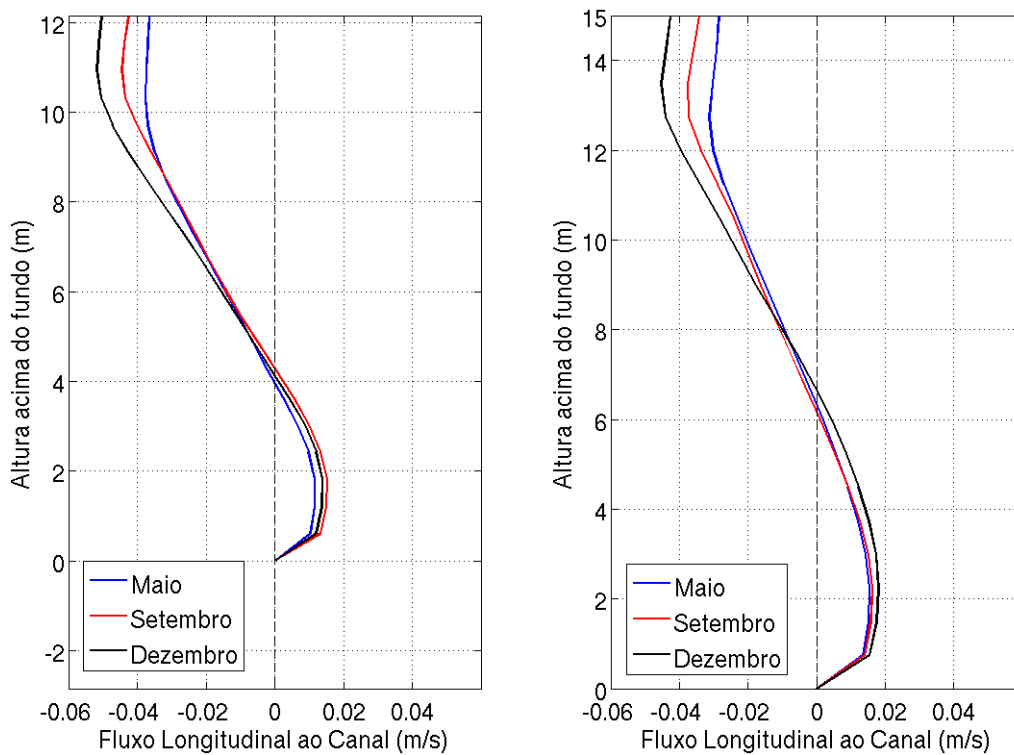


Figura 42 - Perfil vertical das médias mensais das velocidades no talvegue da Seção 3c. Cenário atual (esquerda) e cenário após dragagem (direita).

5.4 Tempo de descarga

O tempo de descarga foi avaliado utilizando um método lagrangeano de cálculo do deslocamento de partículas, estas simuladas por flutuadores posicionados inicialmente a meia-profundidade e liberados no início do modelo. Suas posições são tomadas em intervalos horários até o final do ano modelado. O processo foi feito nos dois cenários, atual e pós-dragagem. A BTS foi dividida em três setores, superior, central e inferior (Figura 43), para melhor visualização do processo de dispersão das partículas. A Figura 44 mostra a posição das partículas ao final de um ano no cenário atual (a) e no cenário pós-dragagem (b). Pode-se notar que, ao final do ano, no cenário atual, predominam as partículas vermelhas, enquanto no cenário dragado predominam as azuis, o que indica uma mudança no padrão de dispersão.

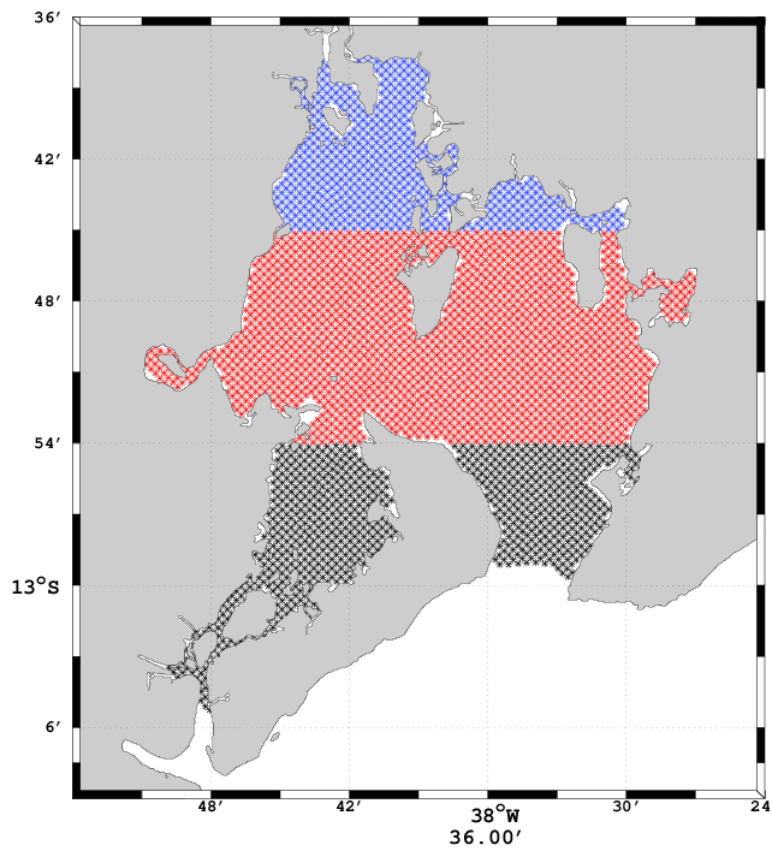


Figura 43 – Posição inicial dos flutuadores de meia-profundidade. Azul indica o setor superior, vermelho indica o setor central, e preto indica o setor inferior.

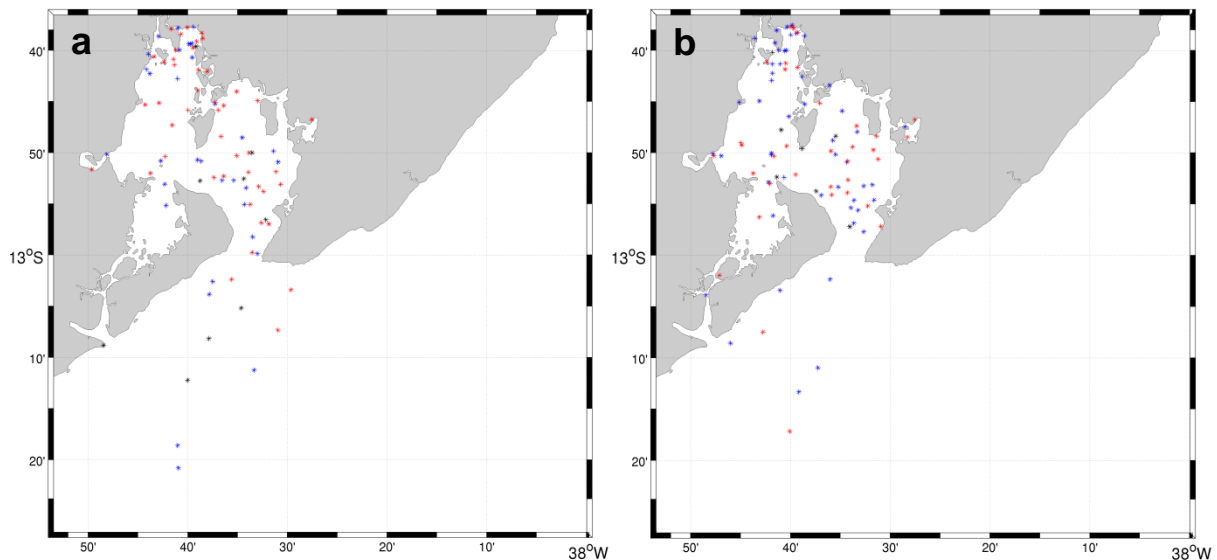


Figura 44 - Posição final dos flutuadores de meia-profundidade após um ano. a) cenário atual, b) cenário dragado.

Foram realizados cálculos do tempo de descarga para cada setor nos dois cenários e também para a BTS como um todo.

A Figura 45a mostra a variação da quantidade relativa de partículas (0 a 100%) no setor superior (em azul), onde no início da modelagem temos 100% das partículas presentes neste setor. A linha rosa indica a porcentagem das partículas originais que deixou o setor superior, tendo alcançado cerca de 98% ao final da simulação. As linhas vermelha (setor médio) e preta (setor inferior) mostram a quantidade relativa de partículas originadas do setor superior que adentraram estes setores. Obviamente as concentrações são iguais a 0 no início da simulação. A Figura 45b e Figura 45c seguem a mesma estratégia de representação gráfica e representam os setores médio e inferior, respectivamente.

O tempo de descarga é definido como o tempo que a concentração de partículas se reduz a 0,37 da concentração inicial (Dyer, 1973). Pode ser visto na Figura 45 que, em ordem cronológica, os setores que decrescem até a linha pontilhada de 0,37, são o inferior, o superior e por último o central.

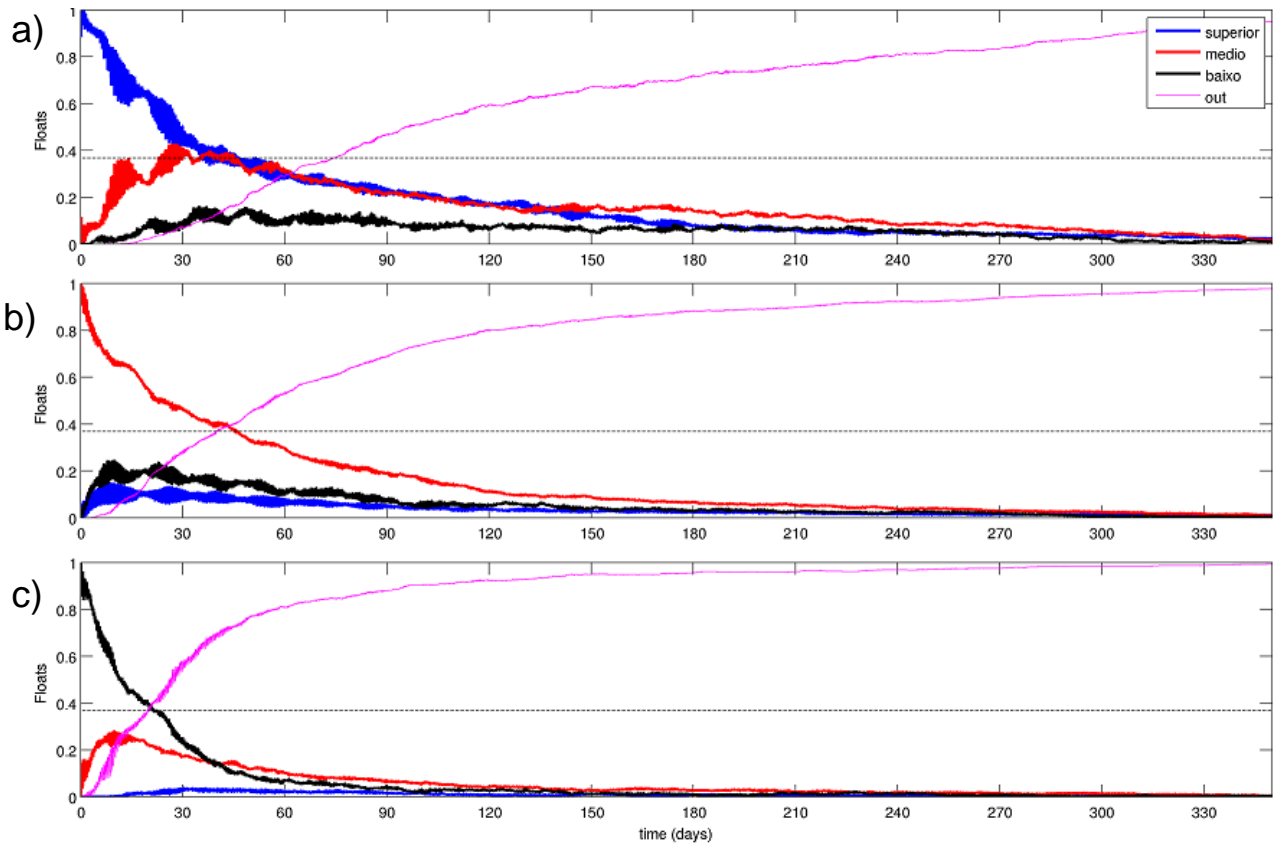


Figura 45 – Concentração de partículas dentro de cada setor, para o cenário atual. a) setor superior, b) setor central, c) setor inferior.

A Figura 46 mostra a progressão da dispersão das partículas nos três setores após a dragagem. Nota-se que, em ordem cronológica, os setores preto, vermelho e azul chegam em 0,37 da sua concentração inicial.

Para o setor superior, ao final do ano, no cenário atual, a concentração de partículas que deixou o setor é maior que a concentração no cenário dragado. Já para o setor central, ao final do ano, no cenário atual, a concentração de partículas que deixou o setor é menor que a concentração no cenário dragado. Isto mostra que ocorre uma troca, partículas que, antes da dragagem, se encontravam na porção central da baía, após a dragagem passam a se encontrar na porção superior.

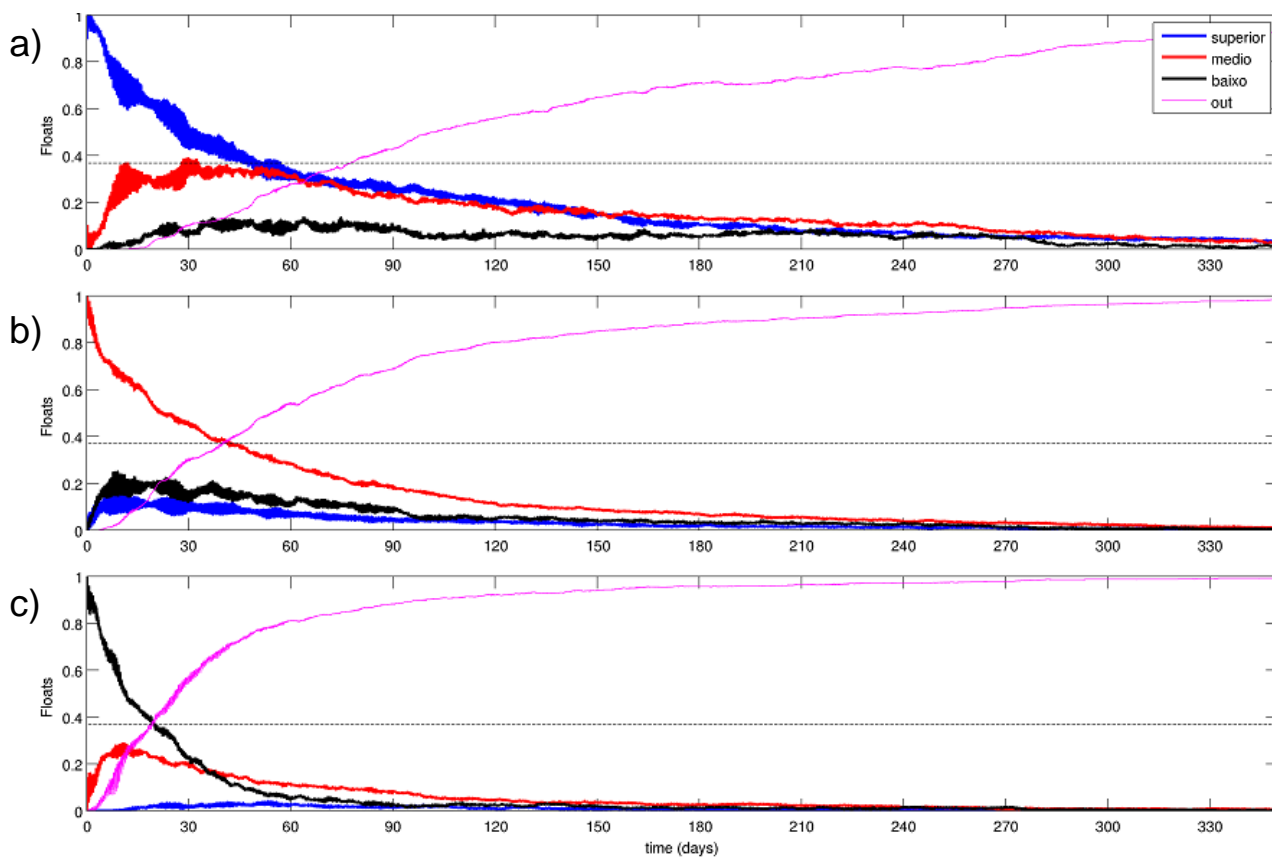


Figura 46 - Concentração de partículas dentro de cada setor, para o cenário dragado. a) setor superior, b) setor central, c) setor inferior.

A

Tabela 7 mostra que para o setor superior da BTS, o tempo de descarga aumenta em 9 dias após a dragagem, de 35 dias para 45 dias. Já para os setores central e inferior há uma diminuição de 4 e 1 dias respectivamente.

Tabela 7 – Tempos de descarga dos setores de cada cenário e as suas diferenças.

	Atual	Dragado	Dragado - Atual
Superior	35 dias e 21h	45 dias e 16h	+ 9 dias e 19h
Central	45 dias e 2h	41 dias e 1h	- 4 dias e 1h
Inferior	20 dias e 19h	19 dias e 16h	- 1 dia e 3h

O tempo de descarga para a BTS como um todo, está representado na Figura 47, nota-se que os dois cenários possuem perfis muito semelhantes, a curva azul mostra

o cenário atual, e a curva vermelha mostra o dragado. Os valores de tempo de descarga encontrados para os cenários são, 69 dias e 12 horas, e, 70 dias e 1 hora, respectivamente para atual e dragado.

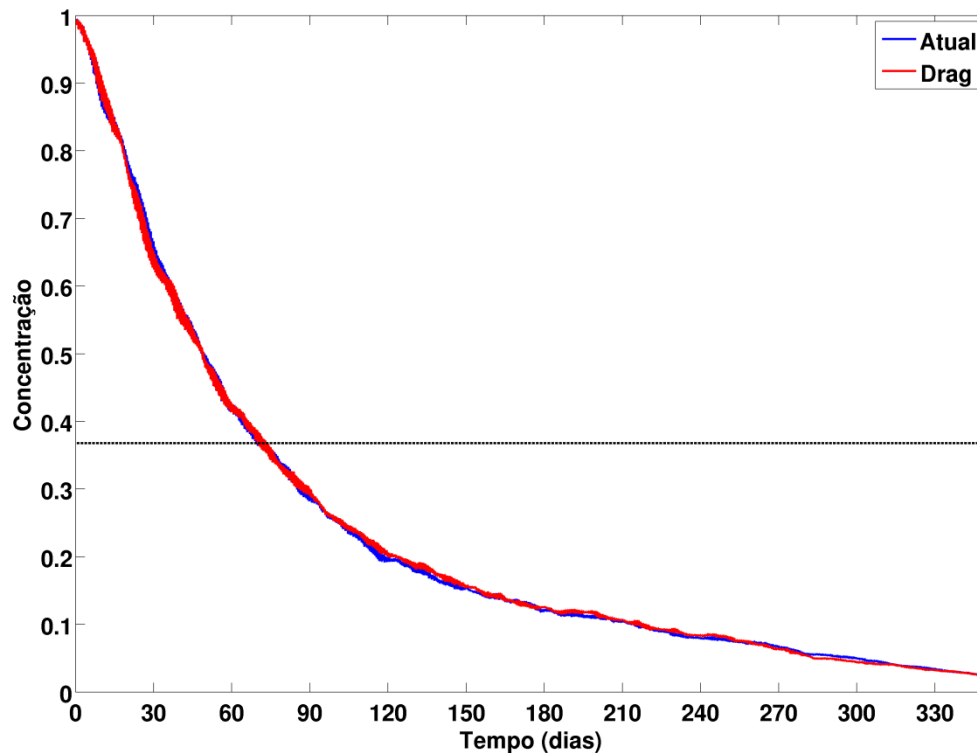


Figura 47 - Concentração de partículas dentro da BTS.

Nota-se que o tempo de descarga para a BTS inteira variou pouco, porém os setores indicam que o padrão de retenção dessa massa d'água varia bastante, o setor que levava mais tempo para renovar 63% da sua água era o setor central, após a dragagem esse posto passou para o setor superior, esta mudança pode causar efeitos não desejados com relação à biota marinha.

6 DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

O evento da dragagem além de causar mudanças nas regiões que eram mais rasas e foram aprofundadas a 15 metros, causou variações também em regiões que já eram mais profundas, como pôde ser visto para salinidade, grau de mistura e correntes, concordante com os trabalhos de Jay (2010) e Meyers et al. (2014).

Esta alteração batimétrica foi capaz de alterar os perfis de salinidade para três situações diferentes: a de índices pluviométricos elevados e descargas fluviais bem distribuídas, a de menores índices de chuvas e descargas fluviais, e a de uma

descarga fluvial vigorosa concentrada em uma região. Para os meses chuvosos as dragagens acentuaram o fluxo não-mareal de vazante no lado oeste da ilha dos Frades, e conseqüentemente enfraqueceram o mesmo ao longo do canal de Madre de Deus. No verão as alterações relativas ao Paraguaçu são intensas, e isto está relacionado com a descarga da represa de Pedra do Cavalo.

Na literatura científica brasileira foram encontrados trabalhos sobre dragagens, entretanto estes trabalhos possuíam foco na distribuição e tipo de sedimentos encontrados em suspensão e depositados após os eventos de dragagens. Os trabalhos carecem de dados a respeito da circulação residual.

Pelo fato de conseguir mudar a direção dos fluxos baroclínicos, a dragagem causou também diferenças nos padrões de mistura da BTS. É importante conhecer os locais com maiores velocidades de fluxo e o grau de mistura relacionado.

Em relação ao Rio Paraguaçu, a dragagem no local aumenta consideravelmente a área de escoamento do fluido, isto provavelmente acarretará num maior transporte de material que entra pelas camadas inferiores. Já um pouco após a boca do Paraguaçu, pode ser visto um aumento na mistura, isto quer dizer que as velocidades tendem a diminuir, isto ocorre no local onde hoje é um centro deposicional, pode-se inferir disso que para manter constante a profundidade do canal, dragagens deverão ser realizadas periodicamente.

A análise do tempo de descarga mostra que a água vai tender a ficar presa nas porções mais a norte da baía, onde se encontram regiões de manguezais, que podem sofrer com variações de salinidade ou com a retenção de algum poluente.

O transporte de material em suspensão é profundamente afetado pela circulação residual, assim como o transporte de poluentes e de plâncton. Assim, a antecipação de alterações causadas pela dragagem é importante para o exercício da gestão costeira na baía, como balizamento para estudos de impactos ambientais associados.

A dragagem causou mudanças na circulação residual, o que pode levar a mudanças no transporte de material particulado ao longo do estuário e mudanças no tempo de descarga. Compreender os impactos da ação antrópica em grande escala sobre o transporte estuarino é um componente essencial de qualquer medida de

conservação estuarina ou programa de recuperação. Os resultados podem ser levados em conta para avaliar de que maneira a descarga de uma represa influencia no estuário, e prever os resultados decorrentes da alteração batimétrica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, F. N., CIRANO, M., MARTA-ALMEIDA, M., MIDDLETON J. F., CAMPOS, E. D. J. (2013). The seasonal circulation of the Eastern Brazilian shelf between 10°S and 16°S: A modeling approach. *Continental Shelf Research*, vol. 65, p. 121–140.

CHENG P. e VALLE-LEVINSON A. (2010). Residual Currents Induced by Asymmetric Tidal Mixing in Weakly Stratified Narrow Estuaries. *American Meteorological Society Bull.* 40:2135-2147.

CIRANO, M. e LESSA, G. C. (2007). Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 25, p. 363-387.

COLEMAN, H.M., G. KANAT, AND F.I. AYDINOL TURKDOGAN. (2009). Restoration of the Golden Horn Estuary (Halic). *Water Research* 43: 4989–5003.

CRA. Centro de Recursos Ambientais. (2001). Saneamento ambiental da Baía de Todos os Santos. Modelamento e avaliação ambiental. Desenvolvimento de modelos computacionais de circulação hidrodinâmica, de transporte de contaminantes e de qualidade da água da BTS. Prognóstico dos efeitos do Programa Bahia Azul com relação à balneabilidade das praias. Technical Report RT-257-05-MA-003-RF, 262 pp., Centro de Recursos Ambientais, Salvador, Bahia.

CRUMP, B.C., C.S. HOPKINSON, M.L. SOGIN, AND J.E. HOBBI. (2004). Microbial biogeography along an estuarine salinity gradient: combined influences of bacterial growth and residence time. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 1494–1505.

CUVILLIEZ, A., J. DELOFFRE, R. LAFITE, AND C. BESSINETON. (2009). Morphological responses of an estuarine intertidal mudflat to constructions since 1978 to 2005: the Seine estuary (France). *Geomorphology* 104: 165–174.

DETTMANN, E. (2001). Effect of water residence time on annual export and denitrification of nitrogen in estuaries: a model analysis. *Estuaries and Coasts* 24: 481–490.

DOMINGUEZ, J. M. L. e BITTENCOURT, A. C. S. P. (2009). Geologia – cap. II. In: HATGE, V.; ANDRADE, J. B. Baía de Todos os Santos – aspectos oceanográficos. EDUFBA, Salvador. p. 42.

DYER, K. R. (1973). *Estuaries: A Physical Introduction*. London, Wiley, pp. 140.

EGBERT GD, BENNETT AF, FOREMAN MGG (1994) TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research: Oceans* doi: 10.1029/94JC01894

GEYER, W. R., & MACCREADY, P. (2013). The Estuarine Circulation. Annual Review of Fluid Mechanics, 46(1), 130829112240001. doi:10.1146/annurev-fluid-010313-141302.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). (1992). Normais Climatológicas – 1961 a (1990). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 155 p.

HAIKVOGEL, D. B., H. G. ARANGO, K. HEDSTROM, A. BECKMANN, P. MALANOTTE-RIZZOLI, AND A. F. SHCHEPETKIN, (2000). Model evaluation experiments in the north atlantic basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates, Dyn. Atmos. Oceans, 32(3-4), 239–281.

HAIKVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SHCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, (2008). Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. Journal of Computational Physics, 227, 3595-3624.

HANSEN, D.V., RATTRAY, M. Jr. (1965). Gravitational circulation in straits and estuaries. Journal of Marine Research 23(2):104–122.

HATJE, V. e ANDRADE, J. B. Introdução. In: VANESSA HATJE; JAILSON B. DE ANDRADE. (Org.). (2009). Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos. Salvador: EDUFBA, v. 1, p. 15-24.

HETLAND, R. D. (2005). Relating river plume structure to vertical mixing, J. Phys. Oceanogr., 35(9), 1667–1688.

IFREMER. (2011) .Near Real Time Blended Surface Winds. Relatório Técnico, Center for Satellite Exploitation and Research — CERSAT <http://cersat.ifremer.fr/data/discovery/by_product_type/gridded_products/mwf_blended>.

JAY, D.A. (2010). Estuarine Variability In: VALLE-LEVINSON, A. (Ed.), Contemporary Issues in Estuarine Physics. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 100-124.

JOSEFSON, A.B., AND B. RASMUSSEN. (2000). Nutrient retention by benthic macrofaunal biomass of Danish estuaries: importance of nutrient load and residence time. Estuarine, Coastal and Shelf Science 50: 205–216.

KANAMITSU M, EBISUZAKI W, WOOLLEN J, YANG SK, HNILO JJ, FIORINO M, POTTER GL (2002) NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). Bulletin of the American Meteorological Society, 83:1631–1643.

LESSA, G e DIAS, K. (2009). Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os Santos. Quaternary and Environmental Geosciences, 1:84-97.

LESSA, G ; CIRANO, M ; GENZ, F ; TANAJURA, C ; SILVA, R (2009). Oceanografia física. In:. Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos. Salvador: EDUFBA, v. 1, p. 15-24.

- MCALICE, B.J., AND G.B. JAEGER. (1983). Circulation changes in the Sheepscot River Estuary, Maine, following removal of a causeway. *Estuaries* 6: 190–199.
- MEYERS, S. D., A. LINVILLE, and M. E. LUTHER (2014), Alteration of Residual Circulation Due to Large-Scale Infrastructure in a Coastal Plain Estuary. *Estuaries and Coasts*, 37: 493-507.
- OLIVEIRA, A., AND A.M. BAPTISTA. (1997). Diagnostic modeling of residence times in estuaries. *Water Resources Research* 33: 1935–1946.
- PEREIRA M. e LESSA G.C. (2009). Varying patterns of water circulation in Canal de Cotegipe, Baía de Todos os Santos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27:1-17.
- PERILLO, G.M.E., D.E. PÉREZ, M.C. PICCOLO, E.D. PALMA, AND D.G. CUADRADO. (2005). Geomorphologic and physical characteristics of a human impacted estuary: Quequén Grande River Estuary, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62: 301–312.
- RIBEIRO, C., WANIEK J.J. E SHARPLES J. (2004). Observations of the springneap modulation of the gravitational. *Ocean Dynamics* 54:299306.
- ROBINSON, I.S. (1983). Tidally induced residual flow. In: Johns B (ed) *Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas*, Elsevier, Amsterdam pp 321–356.
- SANTANA, R.; TEIXEIRA, C.; LESSA, G, C. (2015). The impact of different forcing agents on the residual circulation in a tropical well mixed estuary: Baía de Todos os Santos, Brazil 13°S. Submitted to *Ocean Dynamics*.
- SANTOS F.M., LESSA G.C., CIRANO M., LENTINI C.A.D. (2014). Localized coastal upwelling at the Brazil Current formation zone (13° S). In: *Proceedings of 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS)*.
- SHCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIAMS (2003), A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.
- SHCHEPETKIN, A. F. e J. C. McWILLIAMS (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- WARNER, J. C., W. R. GEYER, AND J. A. LERCZAK, (2005). Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment, *J. Geophys. Res. Oceans*, 110(C5), 5001.
- WILKIN, J. L., H. G. ARANGO, D. B. HAIDVOGEL, C. S. LICHTENWALNER, S. M. GLENN, AND K. S. HEDSTRÖM, (2005). A regional ocean modeling system for the long-term ecosystem observatory, *J. Geophys. Res. Oceans*, 110(C06S91), doi:10.1029/2003JC002,218.
- XAVIER, A. G. (2002) *Análise hidrodinâmica da Baía de Todos os Santos*. Tese de doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 222 p.

YAMAZAKI, Y. E RAO, V. B. (1977) Tropical cloudiness over South Atlantic ocean.
Journal of the Meteorological Society of Japan, v. 55, p. 205-207.