

MAURICIO BERNARDO GASPAR FILHO

**Estudo dos Padrões e Taxas de Sedimentação do Canal de Navegação do
Porto Organizado de Santos**

São Paulo

2023

MAURICIO BERNARDO GASPAR FILHO

**Estudo dos Padrões e Taxas de Sedimentação do Canal de Navegação do
Porto Organizado de Santos**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Orientador: Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques

São Paulo

2023

GASPAR FILHO, Mauricio Bernardo. **Estudo dos Padrões e Taxas de Sedimentação do Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Aprovado em: 19/01/2023.

Versão Corrigida

Banca Examinadora

Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques (IO - USP)

Julgamento_____ Assinatura_____

Prof. Dr. Luiz Antonio Pereira de Souza (IPT)

Julgamento_____ Assinatura_____

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa (UFRGS)

Julgamento_____ Assinatura_____

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha esposa, Renata, pela paciência e amparo em qualquer situação.

Ao Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques, por ter me acolhido como orientando e pela paciência e apoio durante a elaboração do trabalho.

Aos meus pais, pelo incentivo constante ao longo da minha vida profissional e acadêmica.

Aos amigos portuários e não portuários que me auxiliaram no processo de revisão. Agradeço todas as considerações e propostas de melhoria.

À Autoridade Portuária de Santos, pela autorização de uso dos dados para a realização deste trabalho.

RESUMO

GASPAR FILHO, Mauricio Bernardo. **Estudo dos Padrões e Taxas de Sedimentação do Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos**. 2023. 226 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

O presente trabalho teve o objetivo de analisar os padrões e as taxas de sedimentação dos diferentes trechos do canal de navegação do Porto Organizado de Santos (Santos - SP), considerando a conformação geométrica e geomorfológica alcançada com a obra de dragagem de aprofundamento realizada entre 2010 e 2012. Para tanto, foram realizadas avaliações das variações volumétricas e morfológicas a partir de dados gerados em levantamentos batimétricos subsequentes, executados entre 2011 e 2017, em períodos em que, preferencialmente, não ocorreram intervenções de dragagem, permitindo-se observar o comportamento natural do balanço sedimentar de forma mais efetiva. A melhor estimativa considerada neste estudo para o volume resultante do balanço sedimentar anual do canal de navegação do Porto Organizado de Santos foi de, aproximadamente, 3.714.187,00 m³, dos quais 58% (2.172.322,70 m³) remanescem acumulados no Trecho 1, 11% (406.159,06 m³) no Trecho 2, 10% (368.657,61 m³) no Trecho 3 e 21% (767.047,63 m³) no Trecho 4. Os resultados indicam que a dinâmica sedimentar da porção mais externa e retilínea do Trecho 1 está diretamente relacionada com a intensidade das ondas e correntes atuantes na região da Baía de Santos e plataforma ao largo, estando os períodos críticos de assoreamento associados às épocas do ano em que é observada uma maior ocorrência de passagem de frentes frias, com sedimentação predominantemente marinha. Já os processos sedimentares na porção final do Trecho 1 e nos Trechos 2, 3 e 4, situados em regiões estuarinas onde há o confinamento por margens, aparentam ser controlados, de forma geral, pela influência da geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo hidrodinâmico, devendo ser também considerados os efeitos decorrentes do meandramento do sistema. Observa-se o aumento da importância do aporte de sedimentos fluviais nos trechos mais internos do canal de navegação, sendo que pontos críticos de assoreamento no Trecho 3 e, principalmente, no Trecho 4 podem estar associados à atuação de transporte transversal de sedimentos advindos de áreas mais rasas nas regiões dos largos. Em que pese o predomínio de tendências deposicionais em todos os trechos do canal de navegação, deve-se ressaltar a relevância dos processos erosivos no balanço sedimentar, bem como a existência de determinadas regiões na área de estudo com características prevalentemente erosivas, onde geralmente são observadas maiores profundidades naturais.

Palavras-chave: Sedimentação. Canal de navegação. Porto Organizado de Santos. Levantamentos batimétricos. Balanço sedimentar.

ABSTRACT

GASPAR FILHO, Mauricio Bernardo. **Analysis of Sedimentation Patterns and Rates in the Navigation Channel of the Port of Santos (Brazil)**. 2023. 226 p. Dissertation (Master's Program) – Oceanographic Institute, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

The present study aimed to analyze the patterns and rates of the sedimentation processes in the different sections of the navigation channel of the Port of Santos (Brazil), considering the geometric and geomorphological conformation achieved with the deepening dredging work performed between 2010 and 2012. For this purpose, evaluations of volumetric and morphological variations were carried out based on data generated in subsequent bathymetric surveys, performed between 2011 and 2017, in periods in which, preferably, there were no dredging interventions, allowing to observe the natural behavior of the sedimentary balance more effectively. The best estimate considered in this study for the volume resulting from the annual sedimentary balance of the navigation channel of the Port of Santos was approximately 3,714,187.00 m³, of which 58% (2,172,322.70 m³) remain accumulated in Section 1, 11% (406,159.06 m³) in Section 2, 10% (368,657.61 m³) in Section 3 and 21% (767,047.63 m³) in Section 4. The results indicate that the sedimentary dynamics of the outermost and more rectilinear part of Section 1 is directly related to the intensity of the waves and currents acting in the Santos Bay region and offshore platform, making up a scenario where the critical periods of silting are associated with the seasons of the year when a greater occurrence of cold fronts is observed, with predominantly marine sedimentation. The sedimentary processes in the final part of Section 1 and in Sections 2, 3 and 4, located in estuarine regions where there is confinement by margins, seem to be controlled, in general, by the influence of the channel's geomorphology on the intensity of the hydrodynamic flow, in which the effects resulting from the meandering of the system must also be considered. There is an increase in the importance of the supply of riverine sediments in the innermost stretches of the navigation channel, where critical silting points may be associated with the cross transport of sediments from shallow areas located in sediment banks near river inlets, especially in Section 4. Despite the predominance of depositional trends in all sections of the navigation channel, the influence of erosive processes in the sedimentary balance should be highlighted, as well as the existence of certain regions in the study area with predominantly erosive characteristics, where they are generally observed greater natural depths.

Keywords: Sedimentation. Navigation channel. Port of Santos. Bathymetric surveys. Sedimentary balance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do Estuário de Santos (SP).....	23
Figura 2 - Área de estudo compreendida na região do Porto Organizado de Santos, com a delimitação canal de navegação e seus respectivos trechos.	29
Figura 3 - Seção transversal exemplificando a relação entre as superfícies superior e inferior, e os respectivos volumes de assoreamento (volumes positivos) e erosão (volumes negativos). Neste exemplo, a superfície inferior é definida pelo valor constante (Z) de 75 m. Fonte: Adaptado de: Golden Software LLC, 2021.....	42
Figura 4 - Delimitação do Trecho 1 do canal de navegação.....	46
Figura 5 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 1 do canal de navegação.....	47
Figura 6 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 1 do canal de navegação.....	56
Figura 7 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+2.422.255,89 m ³), para o Trecho 1 do canal de navegação.....	57
Figura 8 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 1 (m ³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação (R ² =0,9938).....	57
Figura 9 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 1 do canal de navegação.	59
Figura 10 - Evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar no Trecho 1 entre 20/12/2012 e 05/12/2013.....	60
Figura 11 - Evolução das magnitudes das variações batimétricas nos pontos assoreados do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013.....	64
Figura 12 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 20/12/2012 (inicial) e 05/12/2013 (final) do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	66
Figura 13 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 18/01/2013 (29 dias).	66

Figura 14 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 19/02/2013 (61 dias).	67
Figura 15 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 01/04/2013 (102 dias).	67
Figura 16 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 15/05/2013 (146 dias).	67
Figura 17 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 31/05/2013 (162 dias).	67
Figura 18 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 10/07/2013 (202 dias).	68
Figura 19 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/08/2013 (228 dias).	68
Figura 20 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 08/10/2013 (292 dias).	68
Figura 21 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 29/10/2013 (313 dias).	68
Figura 22 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2021 e 10/11/2013 (325 dias).	69
Figura 23 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013 (350 dias).	69
Figura 24 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/05/2014 e 04/09/2014 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	72
Figura 25 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 17/05/2014 e 04/09/2014 (110 dias).	72
Figura 26 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 22/10/2014 e 31/05/2015 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	73
Figura 27 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 22/10/2014 e 31/05/2015 (221 dias).	73
Figura 28 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 27/10/2015 e 06/02/2016 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao	

longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	74
Figura 29 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 27/10/2015 e 06/02/2016 (102 dias).	74
Figura 30 - Delimitação do Trecho 2 do canal de navegação.....	76
Figura 31 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 2 do canal de navegação.....	77
Figura 32 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 2 do canal de navegação.....	86
Figura 33 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+290.481,02 m ³), para o Trecho 2 do Canal de Navegação.	87
Figura 34 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 2 (m ³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação (R ² =0,9851).....	87
Figura 35 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 2 do canal de navegação.....	89
Figura 36 - Delimitação do Trecho 3 do canal de navegação.....	90
Figura 37 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 3 do canal de navegação.....	91
Figura 38 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 3 do canal de navegação.....	100
Figura 39 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+264.301,46 m ³), para o Trecho 3 do canal de navegação.....	101
Figura 40 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 3 (m ³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de quarto grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação (R ² =0,9967).....	101
Figura 41 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 3 do canal de navegação.....	103
Figura 42 - Delimitação do Trecho 4 do canal de navegação.....	104
Figura 43 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 4 do canal de navegação.....	105

Figura 44 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 4 do canal de navegação.....	113
Figura 45 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+680.547,90 m ³), para o Trecho 4 do canal de navegação.....	114
Figura 46 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 4 (m ³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação (R ² =0,9813).....	115
Figura 47 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 4 do canal de navegação.....	116
Figura 48 - Evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar no Trecho 4 entre 17/09/2012 e 27/08/2013.....	118
Figura 49 - Evolução das magnitudes das variações batimétricas nos pontos nos pontos assoreados do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013.....	122
Figura 50 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/09/2012 (inicial) e 27/08/2013 (final) do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	123
Figura 51 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 30/10/2012 (43 dias).	124
Figura 52 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 09/11/2012 (53 dias).	124
Figura 53 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 29/11/2012 (73 dias).	124
Figura 54 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 14/01/2013 (119 dias).	124
Figura 55 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 31/01/2013 (136 dias).	125
Figura 56 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 19/03/2013 (183 dias).	125
Figura 57 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 08/05/2013 (233 dias).	125
Figura 58 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 17/06/2013 (273 dias).	125

Figura 59 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 09/07/2013 (295 dias).	126
Figura 60 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 06/08/2013 (323 dias).	126
Figura 61 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013 (344 dias).	126
Figura 62 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	128
Figura 63 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (249 dias).	128
Figura 64 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 12/08/2017 e 24/11/2017 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.	129
Figura 65 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 12/08/2017 e 24/11/2017 (104 dias).	129
Figura 66 - Distribuição dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar e estimativas dos volumes médios anuais (m ³) com base nos volumes médios mensais calculados para a série histórica, por trecho do canal de navegação.	130
Figura 67 - Distribuição dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar e estimativas dos volumes médios anuais (m ³) com base na extrapolação das taxas médias diárias calculadas para toda a série histórica, por trecho do canal de navegação.	131
Figura 68 - Gráfico comparativo dos resultados de acúmulo anual (m ³) de sedimentos no canal de navegação do Porto de Santos e seus respectivos trechos, obtidos no presente estudo e na bibliografia especializada correlata.	133
Figura 69 – Distribuição do esforço de dragagem (com base no número de ciclos) por trecho do canal de navegação entre 2013 e 2017.	134
Figura 70 - Comparação da distribuição do acúmulo anual de sedimentos nos diferentes trechos do canal de navegação obtidas no presente estudo e na bibliografia, em relação à distribuição histórica dos volumes dragados (FCTH, 2017) e do esforço de dragagem verificado entre 2013 e 2017.	135
Figura 71 - Volumes mensais resultantes do balanço sedimentar do canal de navegação.	139

Figura 72 - Distribuição dos volumes mensais resultantes do balanço sedimentar ao longo do período de um ano.....	140
Figura 73 - Distribuição granulométrica ao longo do canal de navegação no ano de 2020.	142
Figura 74 - Distribuição granulométrica ao longo do canal de navegação no ano de 2021.	142
Figura 75 - Variação da altura significativa (Hs) de ondas na Baía de Santos entre 17/05/2014 e 04/09/2014.....	150
Figura 76 - Variação da altura significativa (Hs) de ondas na Baía de Santos entre 27/10/2015 e 06/02/2016.....	150
Figura 77 - Rosas de ondas para ocorrência da altura significativa (Hs) em relação a direção de incidência na Baía de Santos de 17/05/2014 a 04/09/2014 (A) e de 27/10/2015 a 06/02/2016 (B).....	151
Figura 78 - Distribuição dos pontos de controle das simulações hidrodinâmicas realizadas no Estudo de Regularização Ambiental do Porto Organizado de Santos (DTA-Engenharia, 2011).	156
Figura 79 - Gráfico de variação de velocidades máximas de corrente superficial ao longo na área de estudo (DTA-Engenharia, 2011). Os dados de verão estão relacionados a simulações efetuados ao longo do mês de janeiro de 2009 e os de inverno no mês de julho de 2009, para um gabarito de 15,00 m DHN.	157
Figura 80 - Nível do mar e correntes marinhas na superfície (0 m), 5 m e 10 m, calculados pelo modelo hidrodinâmico para o mês de janeiro de 2009 (verão), em ponto situado ao largo na antiga Ponte de Inspeção Naval (Ponto 7), nas proximidades da boca do canal estuarino. Adaptado de: DTA-Engenharia, 2011.	158
Figura 81 - Campos hidrodinâmicos para condições de maré vazante (superior) e enchente (inferior) obtidos a partir de simulação realizada para situação de sizígia no dia 27/02/2013. O ponto vermelho no gráfico de nível indica o instante representado no mapa de correntes. Adaptado de: CB&I, 2015.	159
Figura 82 - Valores máximos das velocidades médias das correntes de fundo na porção interna da Baía de Santos e no estuário. Fonte: Speranzini, 2017.....	160
Figura 83 - Valores máximos de tensão de cisalhamento junto ao fundo na porção interna da Baía de Santos e no estuário. Fonte: Speranzini, 2017.	161
Figura 84 - Transporte de sedimentos em suspensão total (coesivos e não coesivos) (m^3s^{-1}/m), ao final de um período de simulação de 30 dias. Fonte: FUNDESPA, 2013.	162
Figura 85 - Representação vetorial do transporte de sedimentos em suspensão total (coesivos e não coesivos) integrada durante 30 dias de simulação. A ordem de grandeza dos vetores é de $10^{-6} m^3s^{-1}/m$. Fonte: FUNDESPA, 2013.....	163
Figura 86 - A) Variação das profundidades na porção final do Trecho 1 em 05/12/2013, destacando-se as zonas naturalmente mais profundas nas proximidades da entrada do canal	

estuarino; B) Variações batimétricas ocorridas entre 20/12/2012 e 05/12/2013 na porção final do Trecho 1; e C) Corte para o segmento do Trecho 1 compreendido na curva interna, com destaque para a concentração das variações mais negativas nas adjacências do lado côncavo da margem.	165
Figura 87 - Corte do mapa de variação batimétrica entre 27/10/2015 e 06/02/2016, com destaque (em vermelho) para possíveis áreas erodidas em decorrência do efeito de ressuspensão gerada pela ação dos hélices dos navios em trânsito.	168
Figura 88 - Volumes mensais resultantes do balanço sedimentar do canal externo (Trecho 1) e do canal interno (Trechos 2, 3 e 4).	169
Figura 89 - Variação dos quantitativos de sedimentos aportados (volumes mensais médios do balanço resultante) nos Trechos 2, 3 e 4 ao longo de um período anual.	171
Figura 90 - Variação mensal dos volumes médios do balanço sedimentar resultante no canal interno do Porto Organizado de Santos, obtidos a partir das somatórias dos quantitativos verificados para este respectivo parâmetro nos Trechos 2, 3 e 4.....	172
Figura 91 - Distribuição dos volumes mensais resultantes do balanço sedimentar no canal interno (Trechos 2, 3 e 4) ao longo do período de um ano.....	172
Figura 92 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 23/11/2013 e 10/09/2014 do Trecho 2 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.....	175
Figura 93 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 09/03/2016 e 11/11/2016 do Trecho 2 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.....	176
Figura 94 - Variação das profundidades do Trecho 2 em 10/09/2014, destacando-se as zonas naturalmente mais profundas nas proximidades na região abarcada pela primeira curva interna e após o cais da Santos Brasil (na direção de montante), onde o canal de navegação é mais estreito.	177
Figura 95 - Variação dos volumes mensais assoreados ao longo do ano no Trecho 2 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).	180
Figura 96 - Variação dos volumes mensais erodidos ao longo do ano no Trecho 2 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).	180
Figura 97 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de precipitação pluviométrica (mm) entre 1931 e 2021.	181

Figura 98 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes assoreados (m ³) no Trecho 2 do canal de navegação.	181
Figura 99 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes erodidos (m ³) no Trecho 2 do canal de navegação.	182
Figura 100 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 15/11/2013 e 08/09/2014 do Trecho 3 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.	188
Figura 101 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 18/07/2017 e 07/12/2017 do Trecho 3 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.	189
Figura 102 - Destaque para a porção final do Trecho 3, extraído do mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 15/11/2013 e 08/09/2014, juntamente com gráfico da variação das elevações batimétricas observadas em seção representada pela linha tracejado.	190
Figura 103 - Variação das profundidades no Trecho 3 em 08/09/2014.	191
Figura 104 - Variação dos volumes mensais assoreados ao longo do ano no Trecho 3 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).	194
Figura 105 - Variação dos volumes mensais erodidos ao longo do ano no Trecho 3 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).	194
Figura 106 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes assoreados (m ³) no Trecho 3 do canal de navegação.	195
Figura 107 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes erodidos (m ³) no Trecho 3 do canal de navegação.	195
Figura 108 - Linhas de tendência polinomiais de 2 ^a ordem para valores médios mensais de volumes assoreados no Trecho 3 e precipitação pluviométrica local (1931 a 2021 - Estação DAEE E3-070).	197
Figura 109 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/09/2012 e 27/08/2013 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.	202

Figura 110 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.....	203
Figura 111 - Infraestrutura aquaviária nas adjacências do terminal da BTP. Fonte: CODESP, 2014b.	204
Figura 112 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 12/08/2017 e 24/11/2017 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.....	206
Figura 113 - Pluma de dispersão gerada em um movimento de desatracação de navio em berço de terminal do Porto de Santos. Fonte: Google Earth.	207
Figura 114 - Variação das profundidades (m) no Trecho 4 em 27/08/2013.....	208
Figura 115 - Características das variações positivas mais expressivas (0,50 m) no Trecho 4 entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (porção oeste).	209
Figura 116 - Características das variações positivas mais expressivas (0,50 m) no Trecho 4 entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (porção leste).	210

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações gerais dos levantamentos batimétricos analisados e catalogados no presente de estudo.	37
Tabela 2 - Dados gerais do Trecho 1 do canal de navegação.	45
Tabela 3 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 1 do canal de navegação.	48
Tabela 4 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação.	49
Tabela 5 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação.	51
Tabela 6 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.	52
Tabela 7 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 1 do canal de navegação.	54
Tabela 8 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 1 do canal de navegação.	58
Tabela 9 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013.	60
Tabela 10 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 20/12/2013 e 05/12/2013, no Trecho 1 do canal de navegação.	61
Tabela 11 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies diretamente subsequentes no Trecho 1 do canal de navegação no período compreendido entre 20/12/2012 e 05/12/2013.	62
Tabela 12 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, no Trecho 1 do canal de navegação de 20/12/2012 a 05/12/2013.	63
Tabela 13 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies do Trecho 1 do canal de navegação obtidas para os períodos compreendidos entre 17/05/2014 e 04/09/2014, 22/10/2014 e 31/05/2015, e 27/10/2015 e 06/02/2016.	70

Tabela 14 - Dados gerais do Trecho 2 do canal de navegação.	75
Tabela 15 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 2 do canal de navegação.	79
Tabela 16 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação.	80
Tabela 17 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação.	81
Tabela 18 - Taxas de assoreamento, de erosão e balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.	83
Tabela 19 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 2 do canal de navegação.	84
Tabela 20 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 2 do canal de navegação.	88
Tabela 21 - Dados gerais do Trecho 3 do canal de navegação.	89
Tabela 22 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 3 do canal de navegação.	92
Tabela 23 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação.	93
Tabela 24 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação.	95
Tabela 25 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.	96
Tabela 26 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 3 do canal de navegação.	98
Tabela 27 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 3 do canal de navegação.	102
Tabela 28 - Dados gerais do Trecho 4 do canal de navegação.	103

Tabela 29 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 4 do canal de navegação.....	106
Tabela 30 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação.....	107
Tabela 31 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação.....	108
Tabela 32 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.	110
Tabela 33 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 4 do canal de navegação.....	111
Tabela 34 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 4 do canal de navegação.....	115
Tabela 35 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013.....	117
Tabela 36 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 17/09/2012 e 27/08/2013, no Trecho 4 do canal de navegação.	119
Tabela 37 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies diretamente subsequentes no Trecho 4 do canal de navegação no período compreendido entre 17/09/2012 e 27/08/2013.....	120
Tabela 38 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, no Trecho 4 do canal de navegação de 17/09/2012 e 27/08/2013.....	122
Tabela 39 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies do Trecho 4 do canal de navegação obtidas para os períodos compreendidos de 11/10/2015 a 16/06/2016 e de 12/08/2017 a 24/11/2017.....	127
Tabela 40 - Volumes calculados nas camadas superiores à profundidade de 15,00 m nas superfícies iniciais de cada um dos períodos de análises considerados para o Trecho 4. .	136
Tabela 41 - Estimativas inferiores, melhores (<i>best estimate</i>) e superiores para o acúmulo anual de sedimentos no canal de navegação e seus respectivos trechos, considerando a conformação geomorfológica alcançada em 2012.	137

Tabela 42 - Compilação dos dados de volumes mensais assoreados, erodidos e resultantes do balanço sedimentar no canal de navegação e respectivas taxas diárias correlatas.	138
Tabela 43 - Dados de balanço sedimentar, variação batimétrica e regime de ondas no Trecho 1 do canal de navegação de 17/05/2014 a 04/09/2014 e de 27/10/2015 a 06/02/2016.....	149
Tabela 44 - Compilação dos dados de volumes mensais assoreados, erodidos e resultantes do balanço sedimentar no Trecho 2 e respectivas taxas diárias (Volumes - m ³ ; Taxas - m ³ /dia), referentes aos períodos compreendidos entre dezembro e março que apresentaram tendências erosivas.	183

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	27
2.1. OBJETIVO GERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3 ÁREA DE ESTUDO	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 COMPILAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS DE DRAGAGEM	34
4.2 COMPILAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS BATIMÉTRICOS	35
4.3 SELEÇÃO DOS PERÍODOS ANALÍTICOS DE INTERESSE	39
4.4 TRATAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS E ANÁLISE DO BALANÇO SEDIMENTAR E EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DE FUNDO	40
4.4.1 <i>Tratamento dos dados batimétricos e análise do balanço sedimentar</i>	40
4.4.2 <i>Avaliação das variações morfológicas</i>	43
4.5 ANÁLISE INTEGRADA DOS RESULTADOS	44
5 RESULTADOS	45
5.1 TRECHO 1 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO	45
5.1.1 <i>Períodos de Análise</i>	46
5.1.2 <i>Diferenças Volumétricas</i>	50
5.1.3 <i>Balanço Sedimentar</i>	52
5.1.3.1. Intervalos de Análise	52
5.1.3.2. Intervalos Mensais	53
5.1.3.4. Taxas Diárias	58
5.1.4 <i>Análise do Ano de 2013</i>	59
5.1.4.1 Padrões e Taxas de Sedimentação	59
5.1.4.2 Variações Morfológicas de Fundo	62
5.2 TRECHO 2 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO	75
5.2.1 <i>Períodos de Análise</i>	76
5.2.2 <i>Diferenças Volumétricas</i>	80
5.2.3 <i>Balanço Sedimentar</i>	82

5.2.3.1 Intervalos de Análise	82
5.2.3.2 Intervalos Mensais	83
5.2.3.3 Taxas Diárias	88
5.3 TRECHO 3 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO	89
5.3.1 <i>Períodos de Análise</i>	91
5.3.2 <i>Diferenças Volumétricas</i>	94
5.3.3 <i>Balanço Sedimentar</i>	96
5.3.3.1 Intervalos de Análise	96
5.3.3.2 Intervalos Mensais	97
5.3.3.3 Taxas Diárias	102
5.4 TRECHO 4 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO	103
5.4.1 <i>Períodos de Análise</i>	104
5.4.2 <i>Diferenças Volumétricas</i>	107
5.4.3 <i>Balanço Sedimentar</i>	109
5.4.3.1 Intervalos de Análise	109
5.4.3.2 Intervalos Mensais	111
5.4.3.3 Taxas Diárias	115
5.4.4 <i>Análise do Período de Setembro/2012 a Agosto/2013</i>	117
5.4.4.1 Padrões e Taxas de Sedimentação	117
5.4.4.2 Variações Morfológicas de Fundo	120
6. DISCUSSÃO	130
6.1 BALANÇO SEDIMENTAR TOTAL	130
6.2 CANAL EXTERNO (TRECHO 1)	140
6.3 CANAL INTERNO (TRECHO 2, 3 E 4)	168
6.3.1 <i>Trecho 2</i>	173
6.3.2 <i>Trecho 3</i>	186
6.3.3 <i>Trecho 4</i>	198
7. CONCLUSÕES	214
7.1 RECOMENDAÇÕES	218
7.2 LIMITAÇÕES	219
8. REFERÊNCIAS	222

1 INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano, formados geralmente em regiões relativamente estreitas entre o mar e as massas continentais em intervalos geológicos muito recentes (escala de séculos a milênios). Suas localizações, formas e extensões dependem do nível do mar, da topografia do litoral e dos rios, bem como das alterações ocasionadas pelos processos sedimentares atuantes (Miranda et al., 2012).

No mundo todo, grandes cidades desenvolveram-se perto de estuários para aproveitar os benefícios do transporte e provisão de insumos (Ralston & Geyer, 2019). Estes ambientes são locais adequados para a instalação de portos e constituem importantes vias de acesso para o interior do continente, sendo que aproximadamente 60% das regiões metropolitanas brasileiras estão localizadas nas proximidades de sistemas estuarinos (Miranda et al., 2012).

O Estuário de Santos (Figura 1), localizado no estado de São Paulo, se distingue por abrigar o maior complexo portuário da América Latina, o Porto de Santos, responsável por mais de 25% do comércio exterior do Brasil, tendo um movimento de cargas no ano de 2020 de 146,6 milhões de toneladas. Trata-se de um complexo multipropósito, com transporte de cargas de diversas categorias (granéis líquidos, sólidos, carga geral e contêiners), além de passageiros (Hortellani et al., 2005; SPA, 2021a, 2021b).

A média anual de movimentação de navios no canal de navegação do Porto de Santos é de 11.600 (navios que entram, saem e mudam de local de atracação), dos quais 34% são de contêineres e 30% graneleiros. Em 2020, o complexo recebeu cerca de 5.000 navios (SPA, 2021b).

O canal de navegação do Porto Organizado de Santos, por onde ocorre o trânsito dos navios e outras embarcações de apoio portuário, possui aproximadamente 24,50 km lineares, se estendendo desde a plataforma continental interna ao largo de Santos até o interior do estuário nas proximidades da região da Alemoa, sobrepondo-se com o canal estuarino que separa as Ilhas de São Vicente, Santo Amaro e a zona continental do município de Santos.

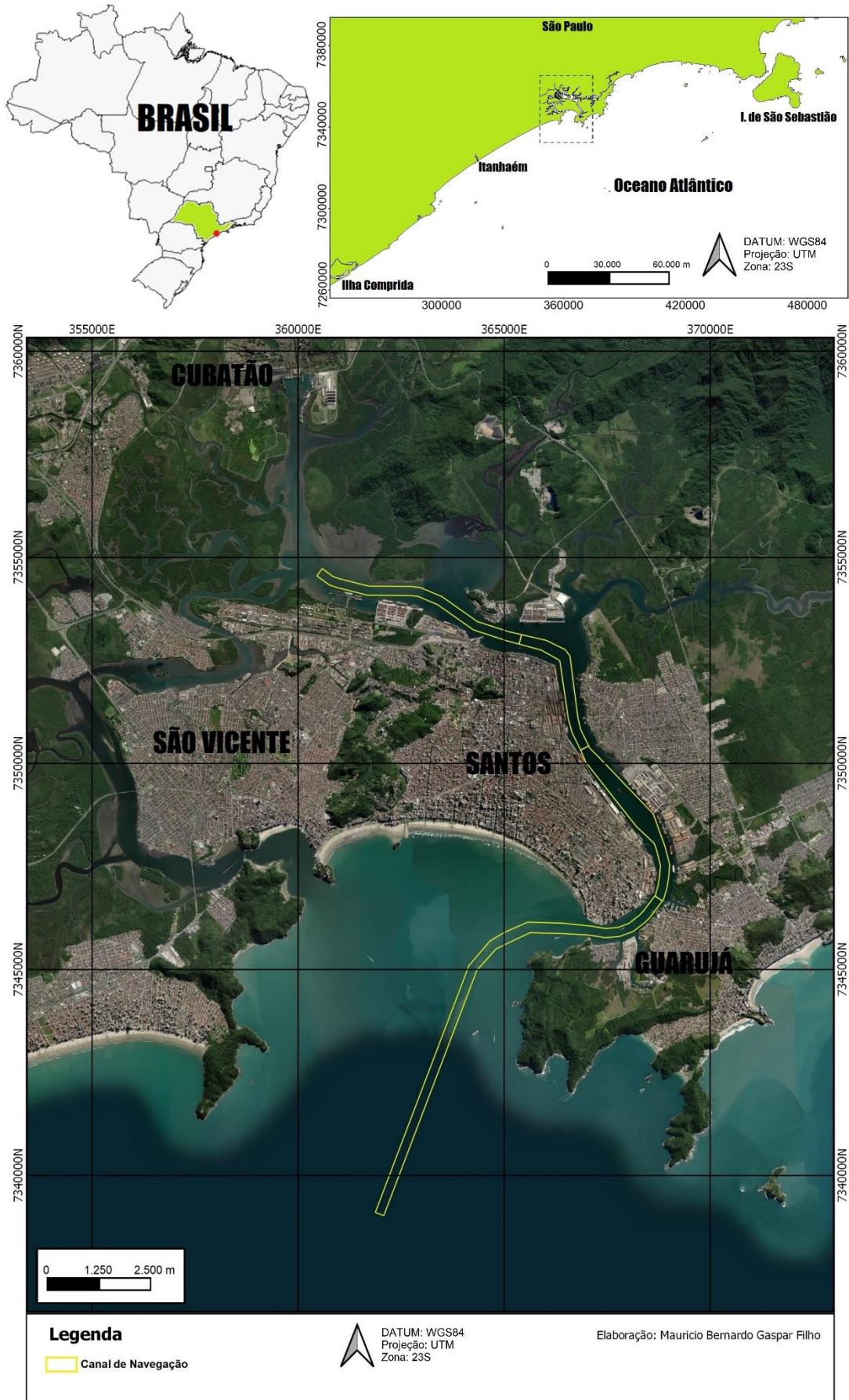


Figura 1 - Localização do Estuário de Santos (SP).

Assim como em qualquer outro complexo portuário do mundo, a limitação da profundidade do canal do Porto de Santos pode restringir a operação à plena carga de navios de maior calado, ocasionando, entre outras consequências, o aumento no custo marginal de cada tonelada movimentada, menor eficiência e diversos impactos negativos na cadeia da linha logística associada. Assim sendo, é imprescindível que o Porto de Santos evolua em nível de infraestrutura de forma concomitante aos avanços da construção naval mundial, que vem se caracterizando pela construção de navios de maior porte e calado, os quais, por sua vez, significam menores custos operacionais relativos (FRF, 2008).

Estima-se que, com relação a um navio porta-contêiner, para cada centímetro a menos de calado, deixa-se de carregar 08 contêineres. Em embarcações graneleiras (tipos *cape size* ou *panamax*), para uma mesma perda, deixa-se de embarcar 100 toneladas (CODESP, 2021). A perda de volumes movimentados no Porto Organizado de Santos pode reduzir a arrecadação de impostos diretos por parte das prefeituras, sendo que o complexo portuário santista atualmente é o maior responsável pela arrecadação em Santos, Guarujá e Cubatão. Calcula-se que cada R\$ 1 milhão reduzido de receita bruta aferida no setor de armazenamento e atividades auxiliares ao transporte resulte em uma diminuição de 5,69 trabalhadores empregados no município de Santos e região (no ano base de 2013) (CEGN, 2016).

Neste contexto, visando à melhoria do sistema aquaviário, de forma a permitir a movimentação de navios de maior porte, como os *post panamax ships*, com a diminuição de frete e atração de novas linhas de navegação (CODESP et al., 2012), o Governo Federal viabilizou a obra de dragagem de aprofundamento do canal de navegação do Porto Organizado de Santos, entre 21 de fevereiro de 2010 e 27 de junho de 2012 (CODESP, 2014a).

O empreendimento supracitado, conduzido pela extinta Secretaria de Portos da Presidência da República - SEP/PR, com o apoio da Autoridade Portuária de Santos, permitiu que se alcançasse de forma gradual uma profundidade de projeto de 15,00 m (DHN) e uma largura de referência de 220,00 m em toda a extensão do canal navegação, possibilitando o tráfego de embarcações com maior calado dentro dos limites de segurança estabelecidos nas normas que regulamentam o tráfego marítimo.

À medida que foi sendo alcançada a profundidade de projeto nos diferentes trechos do canal de navegação, deu-se início, de forma paralela, às atividades de dragagem de manutenção para a preservação da cota atingida (CODESP, 2014a). De

acordo com USACE (2021), dragagens de manutenção consistem basicamente na remoção recorrente do material sedimentar depositado naturalmente sobre a profundidade desejada de um canal existente.

Tendo em vista a ininterrupta ação de processos deposicionais no ambiente em que o Porto de Santos está inserido, intervenções de dragagem de manutenção em seu canal são imprescindíveis e vêm sendo executadas de forma constante, pois as mesmas garantem a segurança na navegação e a viabilidade operacional do cais santista (Gireli & Vendrame, 2012; CODESP, 2014a; ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017).

De acordo com Bray et al. (1997), os gastos envolvidos em obras de dragagem de manutenção dependem da quantidade do material a ser dragado e da frequência com que as operações necessitam ser realizadas. Estes dois fatores, por sua vez, são determinados a partir da taxa de sedimentação da área a ser dragada e das tolerâncias adotadas na dragagem anterior para acomodar o material de assoreamento. Destarte, o conhecimento detalhado das taxas de sedimentação, levando-se em consideração a influência de efeitos sazonais, é imprescindível para que se possa estimar de forma efetiva os custos a serem despendidos com atividades de manutenção em curto e longo prazo.

Outrossim, o conhecimento dos padrões de transporte de sedimentos e das taxas de sedimentação de uma determinada área de dragagem é de suma importância para que o planejamento das operações das dragas seja realizado de forma adequada e eficiente. Entretanto, estudos que visam analisar a dinâmica sedimentar de um local são complexos e requerem um entendimento apurado, dentre outros aspectos, das potenciais fontes de entrada de material. Neste contexto, análises de longo período se fazem necessárias para caracterizar de forma adequada as mudanças sazonais no fluxo de sedimentos (Bray et al., 1997; USACE, 2015).

Diante do exposto, o presente projeto tem o objetivo de investigar os padrões e as taxas de sedimentação dos diferentes trechos do canal de navegação do Porto de Santos, em sua conformação alcançada com a obra de aprofundamento realizada entre 2010 e 2012, com base na reanálise de dados oriundos de levantamentos batimétricos realizados para fins de acompanhamento e controle das obras de dragagem de manutenção executadas entre 2010 e 2017, priorizando-se a avaliação da evolução morfológica do fundo em períodos livres de intervenção.

Estudos desta natureza são realizados nos principais portos do mundo, auxiliando no planejamento de futuros empreendimentos de dragagem e na avaliação da eficiência de obras costeiras já instaladas (Jiang et al., 2012; Dai et al., 2013).

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar os padrões e as taxas de sedimentação dos diferentes trechos do canal de navegação do Porto Organizado de Santos (Santos - SP), considerando a conformação alcançada com a obra de dragagem de aprofundamento realizada entre 2010 e 2012.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar as taxas de assoreamento de cada trecho do canal de navegação do Porto Organizado de Santos.
- Identificar os locais onde o processo de sedimentação ocorre de forma mais intensificada e que demandam, por consequência, maior esforço de dragagem.
- Avaliar a evolução das feições morfológicas do canal frente às variações dos agentes meteoceanográficos atuantes.
- Identificar as principais fontes do material de assoreamento de cada trecho do canal de navegação.
- Determinar quais são as forçantes meteoceanográficas mais influentes nos processos de sedimentação em cada trecho do canal de navegação.
- Estimar a taxa anual resultante do balanço sedimentar de cada trecho do canal de navegação do Porto Organizado de Santos.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, demonstrada na Figura 2, está localizada nas dependências do Porto Organizado de Santos, o qual situa-se na região da Baixada Santista, no Estado de São Paulo, e faz margem com os municípios de Santos e Guarujá. Responsável pela movimentação de quase um terço das trocas comerciais brasileiras anuais, o Porto de Santos configura-se no maior complexo portuário da América Latina (SPA, 2020).

O Porto de Santos tem uma extensão de cais de, aproximadamente, 16,00 km e área útil total de 7,80 milhões de metros quadrados. Conta com 53 terminais marítimos e retroportuários, e 60 berços de atracação. O canal de navegação possui uma profundidade de projeto de 15,00 m DHN, e uma largura de referência de 220,00 m (SPA, 2020), se estendendo pelo Estuário de Santos, Baía de Santos e região costeira adjacente

Para fins operacionais e suporte ao planejamento das atividades de dragagem, o canal de navegação é dividido em 04 (quatro) trechos, a saber: Trecho 1, compreendido entre a Barra e o Entreposto de Pesca; Trecho 2, compreendido entre o Entreposto de Pesca e o Terminal de Passageiros; Trecho 3, compreendido entre o Terminal de Passageiros e o Armazém 07; e Trecho 4, compreendido entre o Armazém 07 e a Alemoa, aproximadamente (CODESP, 2014a).

Analisando a hidrografia do Estuário de Santos, podem-se distinguir três sistemas hidrográficos principais que, apesar de interligados, apresentam características bastante independentes. Assim observam-se os seguintes sistemas: Sistema Estuarino de Santos, Sistema Estuarino de São Vicente e Sistema do Canal de Bertioga. Estes três sistemas comunicam-se ao mar em pontos distintos internamente interligados na mais extensa área de manguezais da costa paulista, integrando uma mesma localidade, ao qual é dado o nome genérico de Estuário de Santos (FRF, 2008).

O padrão característico das condições meteorológicas e circulação atmosférica de baixos níveis na região é dominado pelo Anticiclone semifixo do Atlântico Sul (AAS), mais conhecido como Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de sistemas frontais (Garreaud & Wallace, 1998; Seluchi & Marengo, 2000) e por circulações locais, principalmente associadas à circulação de brisa. A influência da ASAS está associada a ventos de Leste/Nordeste e a condições de

tempo estáveis, devido à subsidência induzida na região de alta pressão (FUNDESPA, 2010).



Figura 2 - Área de estudo compreendida na região do Porto Organizado de Santos, com a delimitação canal de navegação e seus respectivos trechos.

Periodicamente, o padrão da ASAS é perturbado pelo deslocamento de sistemas frontais, forçados por instabilidades atmosféricas. Esses sistemas frontais formam-se geralmente sobre o oceano Pacífico Sul, dirigem-se para Leste até encontrarem os Andes, e, entre 20° S e 40° S, seguem no sentido Sudoeste - Nordeste ao longo da costa Leste sul-americana. As mudanças nas condições meteorológicas observadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil estão geralmente associadas à passagem, formação ou intensificação desses sistemas (Kousky, 1979).

Os sistemas frontais atuam na área de estudo durante o ano todo, sendo observada uma variação da ocorrência de frentes frias entre três e seis por mês ao longo de um período anual. A frequência da ocorrência e a intensidade dos sistemas frontais tende a crescer durante o inverno (Castro et al., 2006).

Destaca-se que o regime de ventos na região interna do Estuário de Santos é influenciado pela complexa configuração do relevo. Nesta região, variações de aproximadamente 1.000,00 m de altura são observadas dentro de um trecho entre 1,00 e 2,00 km, afetando o regime de ventos em certas localidades (CB&I, 2015).

A dinâmica do Estuário de Santos é dominada pela forçante de maré, de modo que o efeito gerado pelo cisalhamento do vento possui influência menor. Deve ser considerada adicionalmente a circulação associada às variações de densidade decorrentes dos aportes fluviais, que é típica de áreas estuarinas, com correntes de superfície predominantemente em direção ao mar aberto e correntes em profundidade em direção ao interior do estuário. A orientação do canal é um fator muito importante no alinhamento das correntes (DTA-Engenharia, 2011).

A maré nas proximidades de Santos é semidiurna com desigualdades diurnas, podendo ser classificada como micromaré (CB&I, 2015). Durante as sizíguas, a oscilação e as correntes de maré apresentam uma amplitude de, aproximadamente, 1,00 m e 0,20 m/s, e durante as quadraturas, de 0,40m e 0,05 m/s, respectivamente, com eixos maiores das elipses preferencialmente na direção Noroeste - Sudeste (Harari & Camargo, 2003; Mesquita & Harari, 2003; DTA-Engenharia, 2011).

Além da maré astronômica, a maré meteorológica exerce influência no nível do mar, sendo que as maiores variações do nível associadas às marés meteorológicas estão relacionadas à passagem de sistemas frontais ciclônicos, ou frentes frias. De modo geral, ao largo do litoral santista, a maré meteorológica ocorre ao longo de todo o ano, havendo uma flutuação sazonal com valores tendendo a ser positivos no período entre verão e inverno, e tendência de valores negativos do inverno para verão.

Valores representativos de maré meteorológica negativa são da ordem de 20,00 cm e maré meteorológica positiva da ordem de 30,00 cm (CB&I, 2015).

A Baía de Santos é um sistema cuja circulação é condicionada pela geometria e topografia do fundo submarino, podendo apresentar características de um estuário. As principais forçantes que influenciam a circulação na baía são: a geomorfologia de fundo, os gradientes baroclínicos de pressão causados pelas descargas fluviais dos dois principais canais existentes, a co-oscilação da maré e os ventos sinóticos (Harari & Camargo, 1998).

Durante todo o ano, a dinâmica do oceano na região da plataforma ao largo de Santos é dominada pelas forçantes de maré e vento, com forte influência batimétrica. Com eixo maior orientado aproximadamente na direção Noroeste - Sudeste, as correntes de maré nesta área são fracas e rotativas no tempo (no sentido anti-horário), enquanto as correntes geradas pelos ventos predominantes são persistentes e mais fortes, com direção para Oeste - Sudoeste (paralelas à costa) em condições normais, tornando-se para Leste - Nordeste (e em geral mais intensas) sob a influência de eventos meteoceanográficos de alta energia (frentes frias) (DTA-Engenharia, 2011).

Correlacionadas com o vento na superfície, as correntes marítimas na plataforma ao largo de Santos são, de forma geral, paralelas às isóbatas e verticalmente homogêneas. As mesmas podem atingir picos de 0,80 m/s a 1,00 m/s, quando geradas por ventos de Sul intensos que acompanham instabilidades atmosféricas na costa Sudeste brasileira. Por outro lado, correntes mais fracas, da ordem de 0,20 m/s, raramente excedendo 0,40 m/s, estão presentes quando a região está sob influência da ASAS, com ventos de Nordeste e Leste (DTA-Engenharia, 2011).

Deve-se ressaltar que a dinâmica da região oceânica da área de estudo é em geral mais energética no inverno do que no verão, devido à maior frequência e intensidade dos sistemas frontais, que se configuram na perturbação meteorológica em escala sinótica mais importante sobre a Plataforma Continental Sudeste. Entretanto, frentes frias também ocorrem no verão e, mesmo em menor frequência, podem, inclusive, chegar a produzir ventos mais intensos que no inverno (Kousky, 1979; Castro et al., 2006; DTA-Engenharia, 2011).

As condições atmosféricas no Atlântico Sul, especialmente nas latitudes menores que 40° não são tão severas quanto no mar do Norte ou mesmo no Pacífico,

onde ocorrem grandes tempestades e furacões. As maiores ondas que atingem a costa Sul-Sudeste brasileira são do tipo marulho. As principais zonas de geração estão abaixo de 40° S onde não são raras as tempestades com ventos de 60 nós (30,00 m/s) e ondas de 9,00 m, com períodos próximos a 20 segundos (FUNDESPA, 2010). As principais ondas presentes no Atlântico Sul são geradas nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão que vêm da Antártica, associados a sistemas frontais (Candella, 1997).

As ondas geradas pelas frentes frias possuem direções que variam entre Sudoeste e Sudeste, atingindo toda a costa Sul do país, até Arraial do Cabo (RJ). Não obstante ao fato de as tempestades mais intensas geralmente estarem relacionadas com ondas das direções Sul-Sudoeste e Sul, algumas delas, vindas de Sudeste, também chegam à costa (Candella, 1997).

Na Baía de Santos, as direções mais frequentes de incidência de ondas são de Sul-Sudoeste, Sul e Sul-Sudeste, na respectiva ordem. As alturas mais frequentes para as ondas incidentes na região variam entre 0,50 e 1,50 m, sendo que 4,00 m é a maior altura de onda observada para um período de análise compreendido entre 2001 e 2010. Os maiores valores de período referem-se às ondas provenientes de Sul (FUNDESPA, 2013).

O Porto Organizado de Santos está predominantemente sobre unidades sedimentares quaternárias marinhas e mistas dos terrenos insulares de Santos e Guarujá. Além desses depósitos, afloramentos de rochas pré-cambrianas ocorrem de forma isolada, em pequenas janelas dos pacotes sedimentares dentro do canal do porto e nas suas margens (DTA-Engenharia, 2011).

No Trecho 1 do canal de navegação, onde a fração granulométrica arenosa é mais expressiva, a estratificação de densidade das águas não é significativa para o transporte de sedimentos. Nesta seção, que se configura na porção mais externa e exposta do canal, a agitação das ondas tem papel dominante na dinâmica sedimentar, principalmente nos períodos de *storm surges*, ou ressacas (ARGONÁUTICA, 2013; TETRA TECH, 2016; FCTH, 2017).

O trecho estuarino, por sua vez, é controlado por um padrão dinâmico confinado pelas margens, sendo o assoreamento do canal constituído prevalentemente pela fração granulométrica do silte. Tal assoreamento tem como fontes sedimentares a embocadura na Baía de Santos, na Ponta da Praia (principalmente no Trecho 2), e predominantemente o aporte oriundo das bacias

hidrográficas contribuintes ao estuário. O processo hidrossedimentológico é regulado em sua maior extensão pelas características planialtimétricas do canal (ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho englobou 05 (cinco) vertentes principais de atividades inter-relacionadas, as quais ocorreram de forma faseada, a saber:

- 1) Construção de banco de dados dos ciclos de dragagem ocorridos entre 2010 e 2017;
- 2) Organização de banco de dados com as informações geradas a partir dos levantamentos batimétricos realizados entre 2010 e 2017 pela extinta Secretaria de Portos da Presidência da República – SEP/PR e Autoridade Portuária de Santos para fins de acompanhamento e controle da evolução das obras de dragagem de aprofundamento e manutenção do canal de navegação;
- 3) Avaliação cronológica dos levantamentos batimétricos e ciclos de dragagem, e seleção dos períodos analíticos de interesse;
- 4) Tratamento dos dados batimétricos e análise do balanço sedimentar e evolução morfológica dos diferentes trechos do canal de navegação a partir da comparação de batimetrias subsequentes, possibilitando a verificação, entre outras informações, das diferenças volumétricas e taxas de sedimentação;
- 5) Análise integrada dos resultados obtidos à luz do comportamento das principais forçantes naturais e antropogênicas que podem influenciar a dinâmica sedimentar do canal de navegação do Porto Organizado de Santos.

4.1 Compilação e organização dos dados de dragagem

Para a execução do presente trabalho, obteve-se acesso aos dados brutos gerados pelos sistemas de rastreamento das dragas que atuaram no Porto Organizado de Santos entre 2010 e 2017, armazenados no banco interno do setor de meio ambiente da Autoridade Portuária. As informações, de forma geral, estavam organizadas em planilhas contendo informações detalhadas de cada ciclo de dragagem executado, a saber: data, equipamento de dragagem, local de dragagem, horários e coordenadas geográficas de abertura e fechamento de cisterna, quadrícula e quadrante utilizados para descarte.

Foi realizado um trabalho de compilação de informações em uma base única, bem como a padronização de nomenclaturas e organização dos dados, tendo em vista que a sistemática de ordenamento e estruturação aparentemente foi se alterando ao longo dos anos. A base única em formato de planilha consolidando os dados gerados

no período de referência supracitado contempla um total de 8.921 (oito mil e novecentos e vinte e um) registros de ciclos de dragagem que envolveram especificamente intervenções no canal de navegação do Porto de Santos.

Após a compilação supracitada, fez-se necessário novo tratamento dos dados para viabilizar a exclusão dos ciclos referentes às operações de dragagem de aprofundamento, tendo em vista que o período em que tal obra estava em andamento não é de interesse para o presente estudo, pelo fato das características geomorfológicas do Canal de Navegação serem distintas das atingidas após o empreendimento.

As datas de término da dragagem de aprofundamento para cada um dos trechos do canal foram obtidas por meio dos Relatórios Consolidados do Subprograma de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem. É importante atentar que a duração da obra de aprofundamento para a profundidade de 15,00 m foi diferente para cada um dos trechos do canal (CODESP, 2014a).

Assim sendo, foi consolidada uma base de dados em formato de planilha contendo informações referentes a todas as intervenções dragagem de manutenção ocorridas no canal de navegação entre 2010 e 2017, contemplando registros de um total de 3.747 (três mil e setecentos e quarenta e sete) ciclos de dragagem, organizados de forma cronológica.

4.2 Compilação e organização dos dados batimétricos

O controle e a medição das atividades de dragagem executadas no Porto Organizado de Santos são realizados através de levantamentos batimétricos que permitem a verificação das profundidades e apuração dos volumes dragados.

De forma geral, anteriormente ao início de uma de dragagem, faz-se necessária a realização de uma batimetria prévia da área a ser dragada para fins de conhecimento da situação do fundo e do volume que efetivamente deverá ser retirado para atingimento da cota de projeto. Tal levantamento é usualmente denominado de Levantamento Hidrográfico Prévio (LH-Pré).

Após a execução das intervenções de dragagem, é realizada uma nova batimetria na mesma área para avaliação da situação de atingimento da cota de projeto estipulada. Tal levantamento, chamado de Levantamento Hidrográfico Pós-Dragagem (LH-Pós), geralmente, é utilizado para homologação e definição de calado,

desde que atingidos os critérios mínimos de qualidade estipulados pela Marinha do Brasil.

Ainda cabe destacar que podem ser realizadas batimetrias intermediárias com o objetivo de permitir o acompanhamento da evolução da obra e o direcionamento das atividades para pontos mais críticos.

Face ao exposto, considerando que o Porto Organizado de Santos necessita passar continuamente por dragagem de manutenção para garantir o seu calado operacional e a segurança da navegação, levantamentos batimétricos das áreas de dragagem necessitam ser realizados de forma constante, sejam eles de natureza prévia, intermediária ou subsecutiva.

Entre 2010 e 2017, foram feitas batimetrias do canal de navegação para acompanhamento das obras de dragagem de aprofundamento e manutenção conduzidas pela extinta SEP/PR e pela antiga CODESP, sendo que todos os dados gerados se encontram sob a guarda da Autoridade Portuária. Neste sentido, no âmbito do presente projeto, foi obtido acesso a estas informações.

Foi efetuada vasta procura de informações no banco de dados dos setores de meio ambiente e de dragagem da Autoridade Portuária, sendo angariada uma elevada quantidade de levantamentos hidrográficos. O processo em questão foi extremamente moroso, tendo em vista a inexistência de um banco organizado, a necessidade de predisposição e auxílio de terceiros para obtenção dos arquivos digitais, e o grande tamanho destes últimos.

Foram levantados e organizados os dados de batimetria obtidos entre 2010 e 2017, sendo que grande parte dos levantamentos mais antigos (2010 a 2013) estavam concentrados em bases de informações advindas da extinta SEP/PR. Cada arquivo foi avaliado individualmente, sendo elaborada uma base única em formato de planilha para fins de organização e referenciamento, especificando as seguintes informações de cada levantamento: ano, código, período de levantamento, empresa responsável, referência, categoria, tipo, frequência, áreas, disponibilidade de plantas, disponibilidade de dados XYZ e observações.

Para obtenção dos detalhes de cada levantamento, foi efetuada a análise de cada um dos relatórios hidrográficos, quando disponíveis. O Anexo I contempla a compilação das informações dos levantamentos hidrográficos disponibilizados para o presente trabalho. Deve-se frisar que foi conferido um código para cada um dos conjuntos de dados batimétricos.

No total, foram levantadas e catalogadas 132 batimetrias realizadas no canal de navegação do Porto Organizado de Santos entre 2010 e 2017, cujas informações gerais encontram-se listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações gerais dos levantamentos batimétricos analisados e catalogados no presente de estudo.

Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Tipo	Frequência	Locais
2010	01_T1A4_25102010	25/10/2010	01/11/2010	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2010	02A_T1A3_20122010	20/12/2010	10/01/2011	Multifeixe	200KHz	Trechos 1, 2 e 3
2010	02_T1A4_27122010	27/12/2010	14/01/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	03_T1A4_27012011	27/01/2011	07/02/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	04_T1A4_23022011	23/02/2011	08/03/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	05_T1A4_29032011	29/03/2011	16/04/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	06_T1A4_24042011	24/04/2011	12/05/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	07_T1A4_23052011	23/05/2011	28/06/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	08_T1A4_28062011	28/06/2011	17/07/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	09_T1A4_18072011	18/07/2011	11/08/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	10_T1A4_25082011	25/08/2011	17/09/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	11_T1A4_27092011	27/09/2011	14/10/2011	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	12_T1A4_23102011	23/10/2011	14/11/2011	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	13_T1A4_03112011	03/11/2011	20/12/2011	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2011	13A_T1A4_24122011	24/12/2011	07/01/2012	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	14A_T2_20022012	20/02/2012	22/02/2012	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2012	14AA_T3_23022012	23/02/2012	24/02/2012	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2012	14_T1A4_27022012	27/02/2012	31/03/2012	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	15_T1A4_26032012	26/03/2012	04/04/2012	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	16_T1A4_15042012	15/04/2012	25/05/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	16A_T2_10052012	10/05/2012	11/05/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trecho 2
2012	17_T1A4_28052012	28/05/2012	23/06/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	17A_T3_05062012	05/06/2012	06/06/2012	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2012	18_T1A4_25062012	25/06/2012	26/07/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	18A_T4D_27062012	27/06/2012	13/08/2012	Multifeixe	200KHz	Trecho 4-D
2012	19_T1A4_25072012	25/07/2012	22/08/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	20_T1A4_27082012	27/08/2012	03/10/2012	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	21_T1A4_04102012	04/10/2012	30/10/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	22_T1A4_27102012	27/10/2012	14/11/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	23_T1A4_23112012	23/11/2012	20/12/2012	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2012	23A_T2_06122012	06/12/2012	08/12/2012	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2013	24_T1A4_08012013	08/01/2013	23/01/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	25_T1A4_23012013	23/01/2013	19/02/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	26_T1A3_27022013	27/02/2013	01/04/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, e 3
2013	27_T1A4_15032013	15/03/2013	14/05/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	28_T1A4_10042013	10/04/2013	31/05/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	28A_T2_06052013	06/05/2013	08/05/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2013	29_T1A4_04062013	04/06/2013	10/07/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	29A_T2_04062013	04/06/2013	24/06/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2013	30_T1A4_19062013	19/06/2013	05/08/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	30A_T3_19062013	19/06/2013	24/06/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2013	30AA_T4_19062013	19/06/2013	29/06/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2013	31_T1A4_30072013	30/07/2013	08/10/2013	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	32_T1A4_21082013	21/08/2013	29/10/2013	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	33_T1A4_12092013	12/09/2013	10/11/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	34_T1A4_17102013	17/10/2013	25/11/2013	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4
2013	35_T1A4_15112013	15/11/2013	05/12/2013	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4

Tabela 1 (Continuação) - Informações gerais dos levantamentos batimétricos analisados e catalogados no presente de estudo.

Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Tipo	Frequência	Locais
2013	04.01_T4_05122013	05/12/2013	06/12/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2013	36_T4_05122013	05/12/2013	06/12/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2013	37_T3_07122013	07/12/2013	09/12/2013	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2014	01.01_T1_28022014	28/02/2014	22/03/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2014	04.02_T4_28042014	28/04/2014	04/05/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2014	01.02_T1_30042014	30/04/2014	17/05/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2014	02.01_T2_23052014	23/05/2014	30/05/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2014	03.01_T3_23052014	23/05/2014	02/06/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2014	04.03_T4_04082014	04/08/2014	04/08/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2014	01.03_T1_27082014	27/08/2014	04/09/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2014	02.02_T2_04092014	04/09/2014	10/09/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2014	03.02_T3_07092014	07/09/2014	08/09/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2014	04.04_T4_09092014	09/09/2014	18/09/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2014	01.04_T1_23092014	23/09/2014	22/10/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2014	03.03_T3_06102014	06/10/2014	11/10/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2014	02.03_T2_08102014	08/10/2014	10/10/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2014	04.05_T4_23102014	23/10/2014	20/11/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2014	02.04_T2_18122014	18/12/2014	19/12/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2015	04.06_T4_29042015	29/04/2015	30/04/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2015	01.05_T1_01052015_INC	01/05/2015	02/05/2014	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2015	01.06_T1_02052015	02/05/2015	31/05/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2015	02.05_T2_04062015	04/06/2015	08/06/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2015	03.04_T3_06062015	06/06/2015	07/06/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2015	02.06_T2_28062015	28/06/2015	06/07/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2015	03.05_T3_30062015	30/06/2015	03/07/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2015	04.07_T4_29042015	02/07/2015	14/07/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2015	04.08_T4_29042015	17/07/2015	19/07/2015	Monofeixe	200KHz	Trecho 4
2015	01.07_T1_26092015_INC	26/09/2015	01/10/2015	Monofeixe	200KHz	Trecho 1
2015	04.09_T4_10102015	10/10/2015	11/10/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2015	01.08_T1_17102015	17/10/2015	27/10/2015	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	02.07_T2_23012016	23/01/2016	23/01/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2016	03.06_T3_24012016	24/01/2016	24/01/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2016	04.10_T4_29012016	29/01/2016	02/02/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	01.09_T1_05022016	05/02/2016	06/02/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	02.08_T2_08032016	08/03/2016	09/03/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2016	03.07_T3_16032016	16/03/2016	16/03/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2016	04.11_T4_17032016	17/03/2016	17/03/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	01.10_T1_19032016	19/03/2016	23/03/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	04.12_T4_14062016	14/06/2016	16/06/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	03.08_T3_16062016	16/06/2016	17/06/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2016	03.09_T3_18072016	18/07/2016	19/07/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2016	01.11_T1_05082016	05/08/2016	09/08/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	04.13_T4_22082016	22/08/2016	23/08/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	04.14_T4_19092016	19/09/2016	19/09/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	01.12_T1_24102016	24/10/2016	27/10/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	02.09_T2_11112016	11/11/2016	11/11/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2016	04.15_T4_14112016	14/11/2016	14/11/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2016	01.13_T1_13122016	13/12/2016	20/12/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2016	02.10_T2_21122016	21/12/2016	21/12/2016	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	03.10_T3_11012017	11/01/2017	12/01/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	02.11_T2_13012017	13/01/2017	13/01/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	03.11_T3_23012017	23/01/2017	23/01/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	02.11A_T2_27012017	27/01/2017	27/01/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	04.16_T4_01022017	01/02/2017	01/02/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4

Tabela 1 (Continuação) - Informações gerais dos levantamentos batimétricos analisados e catalogados no presente de estudo.

Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Tipo	Frequência	Locais
2017	03.12_T3_11022017	11/02/2017	11/02/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	04.17_T4_14022017	14/02/2017	14/02/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	01.14_T1_22052017	22/05/2017	26/05/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	03.13_T3_10062017	10/06/2017	10/06/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	02.12_T2_12062017	12/06/2017	14/06/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	04.18_T4_24062017	24/06/2017	26/06/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	03.14_T3_28062017	28/06/2017	28/06/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	02.13_T2_30062017	30/06/2017	03/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	01.15_T1_04072017	04/07/2017	10/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	04.19_T4_10072017	10/07/2017	12/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	02.13A_T2_18072017	18/07/2017	18/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	03.15_T3_18072017	18/07/2017	18/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	01.16_T1_25072017_INC	25/07/2017	26/07/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	01.17_T1_29072017_INC	29/07/2017	31/07/2018	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	01.18_T1_05082017_INC	05/08/2017	06/08/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	04.20_T4_11082017	11/08/2017	12/08/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	04.21_T4_23082017	23/08/2017	26/08/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	01.19_T1_29082017	29/08/2017	02/09/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	02.13B_T2_07092017	07/09/2017	07/09/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	01.20_T1_15092017	15/09/2017	18/09/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	01.21_T1_26092017	26/09/2017	29/09/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	01.22_T1_04102017	04/10/2017	04/10/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	01.23_T1_10102017	10/10/2017	10/10/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	03.16_T3_20102017	20/10/2017	27/10/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	04.22_T4_24102017	24/10/2017	25/10/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	04.23_T4_23112017	23/11/2017	24/11/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	03.17_T3_07122017	07/12/2017	07/12/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3
2017	01.24_T1_08122017	08/12/2017	11/12/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 1
2017	04.24_T4_13122017	13/12/2017	14/12/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 4
2017	02.14_T2_20122017	20/12/2017	22/12/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 2
2017	03.18_T3_29122017	29/12/2017	30/12/2017	Multifeixe	200KHz	Trecho 3

4.3 Seleção dos períodos analíticos de interesse

Uma vez organizados os bancos de dados de dragagem e de batimetrias, foi efetuado o cruzamento destes dois tipos de informação em bases gráficas cronológicas, específicas para cada trecho do canal de navegação.

A partir da avaliação dos gráficos gerados, tornou-se possível a identificação dos períodos em que os diferentes trechos do canal de navegação permaneceram sem dragagem, bem como as batimetrias realizadas para as respectivas áreas dentro destes mesmos intervalos. Durante estes últimos, o balanço sedimentar do fundo pode ser considerado livre da retirada de material ocasionada pelas atividades de dragagem, podendo-se observar de forma mais efetiva o comportamento natural dos processos de sedimentação.

Deve-se ressaltar que a escolha dos períodos em questão também levou em conta a disponibilidade de dados batimétricos, sendo que, em certas ocasiões,

intervalos potenciais tiveram que ser descartados em decorrência da ausência de dados adequados e/ou completos de determinados levantamentos.

Para alguns casos pontuais, com o objetivo de garantir a maximização do conjunto de informações disponíveis para a realização das análises, foram definidos períodos analíticos com a presença de poucos ciclos de dragagem, cujas quantidades de volumes dragados demonstraram-se irrisórias em face às ordens de grandeza dos volumes inerentes aos cálculos de balanço sedimentar para os intervalos temporais correlatos, não havendo impacto significativo nos resultados.

4.4 Tratamento dos dados batimétricos e análise do balanço sedimentar e evolução morfológica de fundo

4.4.1 Tratamento dos dados batimétricos e análise do balanço sedimentar

Findada a etapa detalhada no Item 4.3, restou possibilitado o início dos cálculos volumétricos e análise do balanço sedimentar de cada trecho, durante períodos preferencialmente livres de intervenções de dragagem. Para tanto, a metodologia empregada consistiu na comparação de superfícies batimétricas subsequentes, as quais foram geradas com dados XYZ pertinentes aos levantamentos hidrográficos, já corrigidos em relação ao nível de redução da Marinha.

Os cálculos volumétricos foram efetuados com o auxílio do software Surfer® Versão 11 (Golden Software). Através de tal ferramenta, a partir dos dados XYZ, pode ser montada uma grade com espaçamento regular, e, posteriormente, realizada uma interpolação para a geração de uma superfície batimétrica para cada levantamento. O método de interpolação que utilizado foi o de Vizinho Natural (“Natural Neighbour”), técnica adequada para interpolar áreas com concentrações de informações e que não interpola áreas sem informações.

Ocorre que o tempo de processamento computacional para a geração das superfícies batimétricas se demonstrou extremamente alto, tendo em vista o tamanho dos arquivos e a enorme quantidade de dados de profundidade mensurados. Neste sentido, para fins de conferir agilidade ao processo, verificou-se a necessidade de segregar os dados batimétricos para cada trecho do canal, para cada levantamento.

Para possibilitar tal separação de dados, foi programada uma rotina através do software MATLAB®, a qual permite a divisão de um arquivo XYZ de um levantamento hidrográfico em quatro outros arquivos, cada um contendo os dados batimétricos separados para cada trecho do canal. Além da separação dos dados, a

programação criada transforma os arquivos para o formato ASCII, padroniza o formato das informações e converte os valores de profundidade para negativo, o que torna o entendimento das análises de evolução de fundo mais prático.

Para garantir a geração de superfícies com uma adequada distribuição de dados de profundidade, inclusive nas regiões limítrofes do canal, optou-se pela utilização de grades com alta resolução, com espaçamento entre pontos de 1,00 m (um metro). Para fins de padronização das grades geradas em relação às dimensões específicas de cada trecho, foi utilizada a função “Blank” do software Surfer®, empregando-se arquivos BLN com as delimitações geográficas de cada trecho do canal, obtidas a partir dos vértices oficiais do canal de navegação.

Uma vez geradas as superfícies batimétricas para os levantamentos disponíveis, foi possível dar início ao processo de análise comparativa de dados, que consistiu no cálculo dos volumes de assoreamento e erosão através da subtração de duas superfícies subsequentes. Para tanto, foi empregada a função “Volume” do software Surfer® Versão 11.

A determinação dos volumes de assoreamento e erosão no software Surfer® é efetuada a partir da subtração entre a grade de uma superfície inferior (*lower surface*) e a grade de uma superfície superior (*upper surface*). No presente trabalho, tendo em vista que os dados verticais (profundidade) foram negativados, a superfície superior foi sempre considerada a oriunda da batimetria mais recente dentre as duas sob análise, sendo que resultados positivos obtidos indicam que a superfície superior está acima da superfície inferior (assoreamento) e resultados negativos indicam que a superfície superior está abaixo da superfície inferior (erosão), conforme exemplificado na Figura 3.

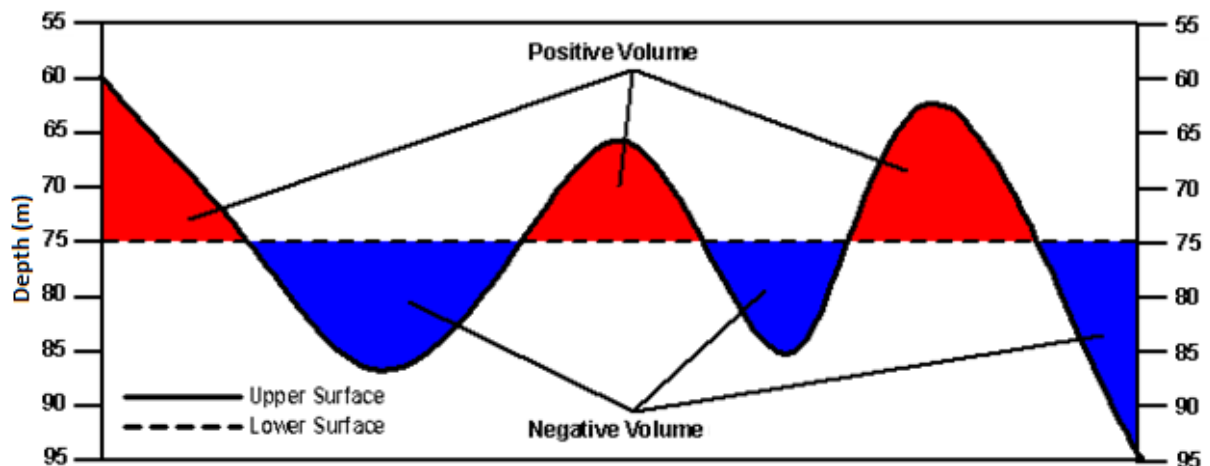


Figura 3 - Seção transversal exemplificando a relação entre as superfícies superior e inferior, e os respectivos volumes de assoreamento (volumes positivos) e erosão (volumes negativos). Neste exemplo, a superfície inferior é definida pelo valor constante (Z) de 75 m. Fonte: Adaptado de: Golden Software LLC, 2021.

Os dados obtidos a partir dos cálculos volumétricos (assoreamento e erosão) foram organizados em planilhas específicas para cada trecho do canal de navegação, sendo determinado o balanço sedimentar resultante para cada subtração de superfícies, que, basicamente, consiste na diferença entre o volume assoreado e o erodido ao final do período.

Um resultado positivo de balanço sedimentar indica que as taxas de assoreamento se sobrepõem sobre as taxas de erosão durante o período avaliado, havendo incremento de material sedimentar no sistema ao final do intervalo de interesse, sendo que o inverso se aplica para um resultado negativo.

Sabendo-se dos intervalos temporais entre duas superfícies batimétricas e das diferenças volumétricas geradas a partir da sua subtração, é possível estimar as taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para os períodos de análise, dividindo-se os respectivos dados volumétricos pelo número de dias de cada período.

Deve-se ressaltar que o número de dias compreendido do início ao fim de cada intervalo foi calculado entre as datas de término dos levantamentos batimétricos subsequentes, especificamente para o trecho em análise. Tal detalhe se faz importante, haja vista que o tempo de execução das campanhas hidrográficas é variável.

A partir da distribuição e somatória das taxas diárias ao longo dos períodos de análise, foi possível calcular os volumes totais de assoreamento e erosão, bem

como os respectivos balanços resultantes, para os meses inteiramente abarcados pelos conjuntos de dados, ou seja, para os meses em que há taxas mensuradas em todos os dias que os compõem.

A partir dos dados de volumes médios mensais do balanço sedimentar resultante, foram obtidas, com o auxílio do software MATLAB®, equações polinomiais de terceiro ou quarto grau e linhas de tendência para fins de representação aproximada da variação natural do balanço sedimentar em cada trecho do canal de navegação ao longo de um período de um ano. Os graus dos polinômios foram selecionados com base nos valores dos respectivos coeficientes de determinação da regressão.

4.4.2 Avaliação das variações morfológicas

Primeiramente, faz-se importante ressaltar que as análises das variações morfológicas foram direcionadas principalmente para os Trechos 1 e 4 do canal de navegação, tendo em vista a maior representatividade do assoreamento em termos quantitativos nestas áreas, conforme será detalhado mais adiante neste estudo.

Para viabilizar as avaliações morfológicas para determinados períodos de interesse para os diferentes trechos, as grades batimétricas com espaçamentos regulares geradas anteriormente foram convertidas para arquivos XYZ por meio da função “Convert” do software Surfer® Versão 11, trazendo maior flexibilidade para o tratamento e avaliação dos dados componentes das respectivas superfícies.

Com o auxílio de rotina programada no software MATLAB®, procedeu-se com a subtração dos dados batimétricos das superfícies subsequentes de cada um dos períodos selecionados, processo que resultou na geração de novos arquivos XYZ cujas variáveis verticais (Z) são constituídas pelos valores das diferenças das profundidades inerentes aos pontos de mesma posição (XY) dos pares de superfícies deduzidas. Valores verticais positivos representam pontos que sofreram assoreamento (perda de profundidade) e negativos que sofreram erosão (ganho de profundidade).

Também por meio de programa criado com o software MATLAB®, os arquivos XYZ oriundos das subtrações foram processados para verificação das porcentagens de pontos que sofreram assoreamento e erosão em relação à totalidade de cada conjunto de dados, bem como para a obtenção de informações quantitativas associadas às magnitudes das alterações nos pontos que sofreram deposição

(elevação), tendo em vista o interesse prioritário no conhecimento do comportamento das variações positivas de profundidade (assoreamento) do ponto de vista operacional.

Através do software Surfer®, os arquivos XYZ resultantes das subtrações foram transformados em superfícies próprias, seguindo-se o mesmo método utilizado para a geração das superfícies correlatas aos levantamentos batimétricos (explicitado no subcapítulo anterior), porém com um maior espaçamento entre os pontos das grades (10,00 m para o Trecho 1 e 5,00 m para o Trecho 4, aproximadamente).

Para possibilitar a visualização efetiva das variações batimétricas ao longo dos trechos selecionados, com o auxílio do Surfer®, foram gerados mapas de contorno a partir das superfícies resultantes das subtrações dos levantamentos subsequentes de determinados períodos considerados mais relevantes. Outrossim, através da ferramenta “Slice”, foram extraídos dados de variação especificamente do eixo central do canal de navegação, traçado no programa QGIS®.

Os gráficos de variação batimétrica no eixo central dos Trechos 1 e 4 foram gerados através do software MATLAB®.

4.5 Análise Integrada dos Resultados

Com base nos resultados alcançados nas etapas anteriores do trabalho, foi procedida com uma análise integrada dos dados gerados à luz do comportamento das principais forçantes naturais e antropogênicas que podem influenciar a dinâmica sedimentar do canal de navegação do Porto Organizado de Santos.

Para tanto, foram obtidos dados de onda representativos para a Baía de Santos (24,02°S e 46,35°O – WGS84) a partir da base de reanálise WAVERYS (*Global Ocean Waves Reanalysis*), produto do CMEMS (*Copernicus Marine Service*) do programa europeu Copernicus, cujas especificações serão apresentadas mais adiante neste trabalho. Outrossim, dados de chuva locais foram obtidos junto à base de dados pública do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), especificamente de estação pluviométrica situada na região da Ponta da Praia, em Santos - SP (DAEE E3-070).

O programa PAST® (PAleontological STatistics) foi utilizado para a realização de análises estatísticas, quando necessário. Para auxiliar na obtenção de um entendimento mais aprofundado dos processos sedimentares em todos os trechos, foram gerados mapas batimétricos e de variações batimétricas complementares com base na mesma metodologia explicitada anteriormente.

5 RESULTADOS

5.1 Trecho 1 do Canal de Navegação

A seguir serão apresentados os resultados obtidos especificamente para o Trecho 1 do canal de navegação, que se configura no trecho mais externo do canal de acesso, estando compreendido aproximadamente entre a barra e o Entrepasto de Pesca do Porto de Santos.

Na Tabela 2, apresentada a seguir, são demonstradas as principais características do Trecho 1 do canal de navegação, considerando a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

Tabela 2 - Dados gerais do Trecho 1 do canal de navegação.

Nome	Trecho 1
Data de Implantação	21/02/2011
Coordenadas do Início	361981,5 E; 7339066,5 N (UTM 23S)
Coordenadas do Término	368741,0 E; 7346702,8 N (UTM 23S)
Extensão	11.560,00 m
Largura de Referência	220,00 m
Área	2.632.209,41 m ²
Profundidade de Projeto	15 m (DHN)

A Figura 4 apresenta os limites espaciais do Trecho 1, tendo em vista a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.



Figura 4 - Delimitação do Trecho 1 do canal de navegação.

5.1.1 Períodos de Análise

Conforme já explicado anteriormente, os períodos de análise selecionados para o presente estudo configuram-se em intervalos temporais em que, preferencialmente, não ocorreram intervenções de dragagem, permanecendo as áreas de interesse sob a natural e contínua ação dos processos sedimentares

atuantes, ao mesmo passo em que houve a realização de levantamentos batimétricos para fins de acompanhamento da evolução do fundo.

A partir do cruzamento dos dados relativos aos ciclos de dragagem com as datas dos levantamentos batimétricos executados no Trecho 1, verifica-se a existência de 09 (nove) períodos que podem ser efetivamente utilizados para a realização das análises previstas. Deve-se ressaltar que a determinação dos períodos de análise em questão também levou em conta a disponibilidade de dados batimétricos, sendo que, em certas ocasiões, intervalos potenciais tiveram que ser descartados em decorrência da ausência de dados de determinados levantamentos.

O gráfico apresentado na Figura 5 elucida os períodos selecionados para a realização das análises em meio à cronologia das atividades de dragagem executadas entre 2011 e 2017.

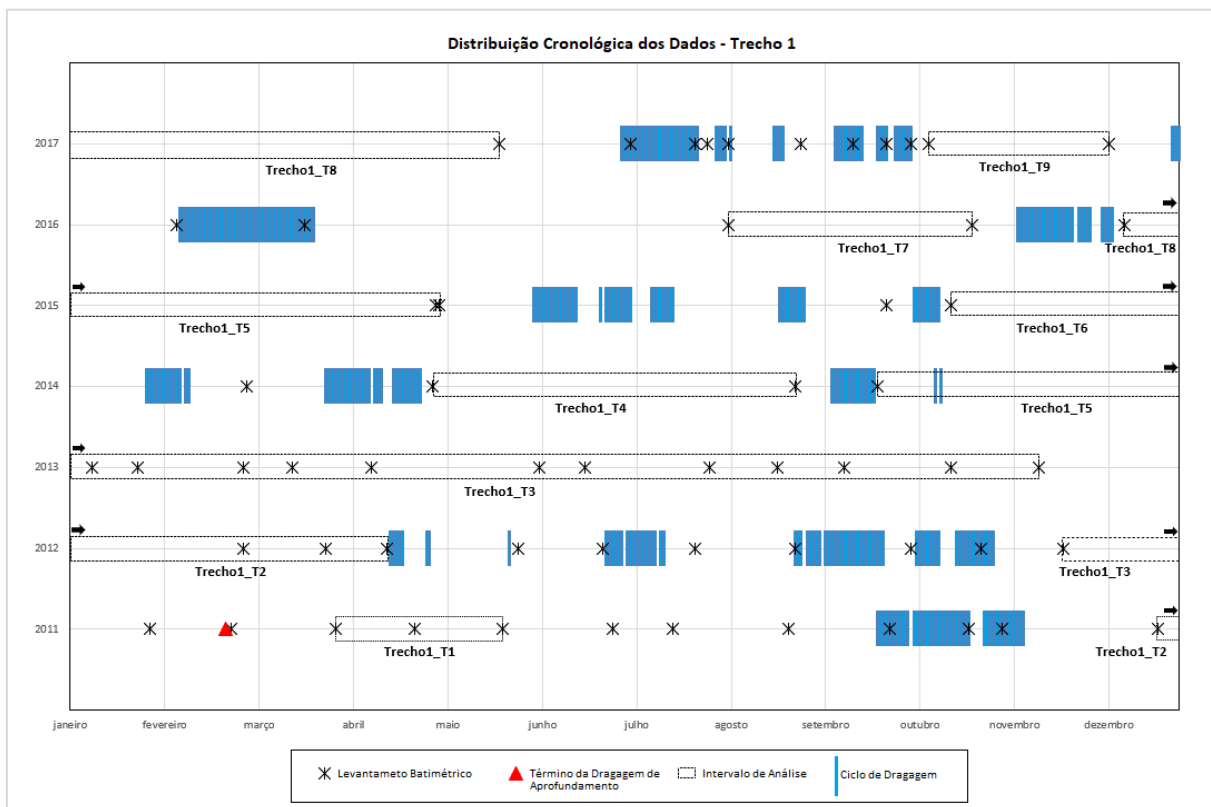


Figura 5 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 1 do canal de navegação.

Na figura acima pode ser observado que as operações de dragagem de manutenção do Trecho 1 do canal de navegação não demonstraram uma distribuição regular ao longo dos anos, também não sendo observadas tendências de

concentração de ciclos em determinadas épocas do ano, considerando o período total de análise (2011 a 2017). Deve-se atentar que no ano 2013, não ocorreram intervenções de dragagem no trecho em questão.

Na Tabela 3, apresentada abaixo, são detalhadas informações pertinentes a cada um dos períodos de análise escolhidos, devendo-se reiterar que o número de dias compreendido do início ao fim de cada intervalo é calculado entre as datas de término dos levantamentos batimétricos subsequentes, especificamente para o trecho em análise. Tal detalhe se faz importante, haja vista que o tempo de execução das campanhas hidrográficas são variáveis.

Tabela 3 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 1 do canal de navegação.

Código	Início	Término	Nº Levantamentos	Cód. Lev.	Intervalo (dias)
Trecho1_T1	12/05/2011	15/07/2011	2	06_T1A4_24042011	64
				08_T1A4_28062011	
Trecho1_T2	09/01/2012	25/05/2012	4	13A_T1A4_24122011	137
				14_T1A4_27022012	
				15_T1A4_26032012	
				16_T1A4_15042012	
Trecho1_T3	20/12/2012	05/12/2013	12	23_T1A4_23112012	350
				24_T1A4_08012013	
				25_T1A4_23012013	
				26_T1A3_27022013	
				27_T1A4_15032013	
				28_T1A4_10042013	
				29_T1A4_04062013	
				30_T1A4_19062013	
				31_T1A4_30072013	
				32_T1A4_21082013	
				33_T1A4_12092013	
35_T1A4_15112013					
Trecho1_T4	17/05/2014	04/09/2014	2	01.02_T1_30042014	110
				01.03_T1_27082014	
Trecho1_T5	22/10/2014	31/05/2015	2	01.04_T1_23092014	221
				01.06_T1_02052015	
Trecho1_T6	27/10/2015	06/02/2016	2	01.08_T1_17102015	102
				01.09_T1_05022016	
Trecho1_T7	09/08/2016	27/10/2016	2	01.11_T1_05082016	79
				01.12_T1_24102016	
Trecho1_T8	20/12/2016	26/05/2017	2	01.13_T1_13122016	157
				01.14_T1_22052017	
Trecho1_T9	10/10/2017	11/12/2017	2	01.23_T1_10102017	62
				01.24_T1_08122017	

Os detalhes de cada um dos levantamentos batimétricos codificados na planilha acima podem ser observados no catálogo contido no Anexo I do presente documento.

Dentre os períodos selecionados, observa-se que o compreendido entre dezembro de 2012 e dezembro de 2013 é que possui maior duração, com 350 dias, e maior número de levantamentos batimétricos subsequentes, com um total de 12 batimetrias aproveitáveis.

Dada a quantidade de informações disponíveis para o período supracitado, que cobre quase que inteiramente o ano de 2013, o mesmo será tratado em item específico, de modo que possam ser avaliados de forma detalhada dos padrões naturais de sedimentação durante um intervalo quase que anual.

Tendo em vista que o número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos, inclusive os de caráter intermediário contemplados dentro de um mesmo período de análise, configura-se em um dado de interesse para o presente projeto, principalmente para o cálculo das taxas de assoreamento, tais informações são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação.

Período de Análise	Batimetria (prévia)	Data	Batimetria (pós)	Data	Intervalo (dias)
Trecho1_T1	06_T1A4_24042011	12/05/2011	08_T1A4_28062011	15/07/2011	64
Trecho1_T2	13A_T1A4_24122011	09/01/2012	14_T1A4_27022012	19/03/2012	70
	14_T1A4_27022012	19/03/2012	15_T1A4_26032012	03/04/2012	15
	15_T1A4_26032012	03/04/2012	16_T1A4_15042012	25/05/2012	52
	13A_T1A4_24122011	09/01/2012	16_T1A4_15042012	25/05/2012	137
Trecho1_T3	23_T1A4_23112012	20/12/2012	24_T1A4_08012013	18/01/2013	29
	24_T1A4_08012013	18/01/2013	25_T1A4_23012013	19/02/2013	32
	25_T1A4_23012013	19/02/2013	26_T1A3_27022013	01/04/2013	41
	26_T1A3_27022013	01/04/2013	27_T1A4_15032013	15/05/2013	44
	27_T1A4_15032013	15/05/2013	28_T1A4_10042013	31/05/2013	16
	28_T1A4_10042013	31/05/2013	29_T1A4_04062013	10/07/2013	40
	29_T1A4_04062013	10/07/2013	30_T1A4_19062013	05/08/2013	26
	30_T1A4_19062013	05/08/2013	31_T1A4_30072013	08/10/2013	64
	31_T1A4_30072013	08/10/2013	32_T1A4_21082013	29/10/2013	21
	32_T1A4_21082013	29/10/2013	33_T1A4_12092013	10/11/2013	12
	33_T1A4_12092013	10/11/2013	35_T1A4_15112013	05/12/2013	25
	23_T1A4_23112012	20/12/2012	35_T1A4_15112013	05/12/2013	350
Trecho1_T4	01.02_T1_30042014	17/05/2014	01.03_T1_27082014	04/09/2014	110
Trecho1_T5	01.04_T1_23092014	22/10/2014	01.06_T1_02052015	31/05/2015	221
Trecho1_T6	01.08_T1_17102015	27/10/2015	01.09_T1_05022016	06/02/2016	102
Trecho1_T7	01.11_T1_05082016	09/08/2016	01.12_T1_24102016	27/10/2016	79
Trecho1_T8	01.13_T1_13122016	20/12/2016	01.14_T1_22052017	26/05/2017	157
Trecho1_T9	01.23_T1_10102017	10/10/2017	01.24_T1_08122017	11/12/2017	62

Dentre os intervalos intermediários de batimetrias dentro de um mesmo período de análise, verifica-se que o apresenta menor duração é o compreendido entre 29/10/2013 e 10/11/2013, com apenas 12 dias, e o maior entre 09/01/2012 e 19/03/2012, com 70 dias.

5.1.2 Diferenças Volumétricas

Uma vez geradas as superfícies batimétricas de cada um dos levantamentos contemplados nos períodos de análise, procedeu-se com o cálculo da diferença volumétrica entre as mesmas a partir da subtração de seus dados verticais.

Para todos os períodos de análise, quando aplicável, houve a subtração das superfícies batimétricas subsequentes relativas aos levantamentos intermediários, bem como entre as superfícies referentes aos levantamentos iniciais e finais de cada período.

Os resultados obtidos através dos procedimentos supracitados são apresentados na Tabela 5. No âmbito da análise dos dados gerados a partir da diferença entre duas superfícies batimétricas, o quantitativo de assoreamento representa o ganho total volumétrico observado nas áreas do Trecho 1 onde ocorreram perdas de profundidade, enquanto o quantitativo de erosão representa a perda total volumétrica observada nas áreas do Trecho 1 onde ocorreram aumentos de profundidade. A diferença entre o volume assoreado e o erodido configura-se no balanço sedimentar observado para o período avaliado.

Tabela 5 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Assoreamento (m³)	Vol. Erosão (m³)	Balanco Sed. (m³)
Trecho1_T1	12/05/2011	15/07/2011	64	1.941.205,41	37.751,00	1.903.454,41
Trecho1_T2	09/01/2012	19/03/2012	70	248.936,55	188.122,93	60.813,62
	19/03/2012	03/04/2012	15	157.838,60	279.939,21	-122.100,61
	03/04/2012	25/05/2012	52	379.482,70	136.085,88	243.396,82
	09/01/2012	25/05/2012	137	380.139,76	198.029,93	182.109,83
Trecho1_T3	20/12/2012	18/01/2013	29	224.169,60	98.262,21	125.907,39
	18/01/2013	19/02/2013	32	226.231,09	84.108,80	142.122,29
	19/02/2013	01/04/2013	41	269.051,71	249.504,73	19.546,98
	01/04/2013	15/05/2013	44	67.403,55	521.653,06	-454.249,51
	15/05/2013	31/05/2013	16	775.167,52	166.908,75	608.258,77
	31/05/2013	10/07/2013	40	168.802,39	176.918,28	-8.115,89
	10/07/2013	05/08/2013	26	81.850,77	169.134,71	-87.283,94
	05/08/2013	08/10/2013	64	967.613,98	23.595,84	944.018,14
	08/10/2013	29/10/2013	21	421.602,18	164.293,36	257.308,82
	29/10/2013	10/11/2013	12	249.425,93	258.411,39	-8.985,46
10/11/2013	05/12/2013	25	440.578,90	108.375,56	332.203,34	
Trecho1_T4	20/12/2012	05/12/2013	350	1.955.405,65	84.584,77	1.870.820,88
Trecho1_T5	17/05/2014	04/09/2014	110	900.587,79	82.960,21	817.627,58
Trecho1_T6	22/10/2014	31/05/2015	221	1.199.561,36	50.155,39	1.149.405,97
Trecho1_T7	27/10/2015	06/02/2016	102	178.843,68	122.001,84	56.841,84
Trecho1_T8	09/08/2016	27/10/2016	79	232.765,42	163.423,60	69.341,82
Trecho1_T9	20/12/2016	26/05/2017	157	2.309.935,48	45.516,59	2.264.418,89
Trecho1_T9	10/10/2017	11/12/2017	62	93.820,80	316.675,22	-222.854,42

É importante reiterar que um resultado positivo de balanço sedimentar indica que as taxas de assoreamento se sobrepõem sobre as taxas de erosão durante o período avaliado, havendo incremento de material sedimentar no sistema, sendo que o inverso se aplica para um resultado negativo.

Neste contexto, é importante observar que foram constatados períodos com balanços negativos, existindo perdas expressivas de material mesmo sem intervenções de dragagem, como o observado entre 01/04/2013 e 15/05/2013. No entanto, de modo geral, verifica-se uma tendência deposicional para o ambiente, sendo que 74% dos intervalos avaliados apresentaram balanço sedimentar positivo.

Dentre os períodos de análise, o período compreendido entre os dias 20/12/2016 e 26/05/2017, com duração de 157 dias, foi o que apresentou o maior volume de assoreamento e de balanço sedimentar resultante, de 2.309.935,48 m³ e +2.264.418,89 m³, respectivamente. Não obstante, proporcionalmente, o maior volume assoreado e a maior variação positiva de balanço sedimentar no menor espaço de tempo, de 775.167,52 m³ e +608.258,77 m³, respectivamente, foram observados entre 15/05/2013 e 31/05/2013.

Outrossim, entre os intervalos de balanço positivo, destaca-se o compreendido entre 12/05/2011 e 15/07/2011, em que se verificou um acúmulo de 1.903.454,41 m³ de sedimentos no Trecho 1.

No tocante aos volumes erodidos, o maior valor foi constatado entre os dias 01/04/2013 e 15/05/2013 (44 dias de duração), com 521.653,06 m³, acompanhado do menor volume de balanço sedimentar resultante, de -454.249,51 m³. Proporcionalmente, o maior volume erodido no menor espaço de tempo é observado entre 29/10/2013 e 10/11/2013, com 258.411,39 m³.

5.1.3 Balanço Sedimentar

5.1.3.1. Intervalos de Análise

Sabendo-se dos intervalos temporais entre duas superfícies batimétricas e das diferenças volumétricas geradas a partir da sua subtração, é possível estimar as taxas diárias de erosão, assoreamento e do balanço sedimentar resultante para os períodos de análise. As taxas obtidas para cada um dos intervalos considerados para o Trecho 1 são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 1 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Tx. Ass. (m ³ /dia)	Tx. Erosão (m ³ /dia)	Tx. Bal. (m ³ /dia)
Trecho1_T1	12/05/2011	15/07/2011	64	30.331,33	-589,86	29.741,48
Trecho1_T2	09/01/2012	19/03/2012	70	3.556,24	-2.687,47	868,77
	19/03/2012	03/04/2012	15	10.522,57	-18.662,61	-8.140,04
	03/04/2012	25/05/2012	52	7.297,74	-2.617,04	4.680,71
	09/01/2012	25/05/2012	137	2.774,74	-1.445,47	1.329,27
Trecho1_T3	20/12/2012	18/01/2013	29	7.729,99	-3.388,35	4.341,63
	18/01/2013	19/02/2013	32	7.069,72	-2.628,40	4.441,32
	19/02/2013	01/04/2013	41	6.562,24	-6.085,48	476,76
	01/04/2013	15/05/2013	44	1.531,90	-11.855,75	-10.323,85
	15/05/2013	31/05/2013	16	48.447,97	-10.431,80	38.016,17
	31/05/2013	10/07/2013	40	4.220,06	-4.422,96	-202,90
	10/07/2013	05/08/2013	26	3.148,11	-6.505,18	-3.357,07
	05/08/2013	08/10/2013	64	15.118,97	-368,69	14.750,28
	08/10/2013	29/10/2013	21	20.076,29	-7.823,49	12.252,80
	29/10/2013	10/11/2013	12	20.785,49	-21.534,28	-748,79
	10/11/2013	05/12/2013	25	17.623,16	-4.335,02	13.288,13
	20/12/2012	05/12/2013	350	5.586,87	-241,67	5.345,20
Trecho1_T4	17/05/2014	04/09/2014	110	8.187,16	-754,18	7.432,98
Trecho1_T5	22/10/2014	31/05/2015	221	5.427,88	-226,95	5.200,93
Trecho1_T6	27/10/2015	06/02/2016	102	1.753,37	-1.196,10	557,27
Trecho1_T7	09/08/2016	27/10/2016	79	2.946,40	-2.068,65	877,74
Trecho1_T8	20/12/2016	26/05/2017	157	14.712,96	-289,91	14.423,05
Trecho1_T9	10/10/2017	11/12/2017	62	1.513,24	-5.107,66	-3.594,43
Média*				11.360,13	-5.408,56	5.951,57

*Foram desconsideradas taxas obtidas sobre as diferenças volumétricas obtidas entre as subtrações das superfícies de início e término dos períodos de análise que possuem levantamentos intermediários.

A maior taxa de assoreamento, de 48.447,97 m³/dia, foi observada entre os dias 15/05/2013 e 31/05/2013, enquanto a taxa mais expressiva de erosão foi constatada entre os dias 29/10/2013 e 10/11/2013, com um valor de -21.534,28 m³/dia.

A taxa resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor coincidiu com o período de maior taxa de assoreamento (15/05/2013 a 31/05/2013), com +38.016,17 m³/dia. Já a menor taxa resultante (-10.323,85 m³/dia) foi observada no período imediatamente antecedente, entre 01/04/2013 e 15/05/2013.

Considerando-se os quantitativos referentes aos períodos de análises, a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 1 do canal de navegação foi de 11.360,13 m³/dia. No entanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de, aproximadamente, +5.951,57 m³/dia.

Em uma situação hipotética onde a taxa média resultante do balanço sedimentar no Trecho 1 se mantivesse constante todos os dias do ano (no caso, o valor livre de arredondamento), o volume total depositado (remanescente) na respectiva seção ao final de um período anual seria de 2.172.322,70 m³.

5.1.3.2. Intervalos Mensais

A partir da distribuição e somatória das taxas diárias ao longo dos períodos de análise, foi possível calcular os volumes totais de assoreamento e erosão, bem como os respectivos balanços resultantes, para os meses inteiramente abarcados pelos conjuntos de dados, ou seja, para os meses em que há taxas mensuradas em todos os dias que os compõem.

A Tabela 7, apresentada abaixo, demonstra os volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses em que foi possível a realização dos cálculos com base na distribuição das taxas diárias entre os anos de 2011 e 2017. Na mesma planilha ainda são apresentados os valores médios encontrados para os respectivos parâmetros.

Tabela 7 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 1 do canal de navegação.

	2011			2012		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	-	-	-
fev	-	-	-	99.574,62	75.249,17	24.325,45
mar	-	-	-	193.839,37	275.013,31	-81.173,93
abr	-	-	-	228.606,81	126.647,82	101.959,00
mai	-	-	-	-	-	-
jun	909.940,04	17.695,78	892.244,25			
jul	-	-	-	-	-	-
ago	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	-	-	-
nov	-	-	-	-	-	-
dez	-	-	-	-	-	-
	2013			2014		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	231.046,13	95.159,54	135.886,59	-	-	-
fev	193.384,84	104.708,93	88.675,91	-	-	-
mar	203.429,34	188.649,92	14.779,42	-	-	-
abr	50.987,30	349.902,27	-298.914,97	-	-	-
mai	798.146,00	344.745,02	453.400,98	-	-	-
jun	126.601,79	132.688,71	-6.086,92	245.614,85	22.625,51	222.989,34
jul	108.310,83	180.838,37	-72.527,54	253.802,01	23.379,70	230.422,32
ago	408.833,71	42.111,72	366.722,00	253.802,01	23.379,70	230.422,32
set	453.569,05	11.060,55	442.508,50	-	-	-
out	584.124,92	210.311,41	373.813,51	-	-	-
nov	560.318,06	302.043,27	258.274,79	162.836,38	6.808,42	156.027,96
dez	-	-	-	168.264,26	7.035,37	161.228,89
	2015			2016		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	168.264,26	7.035,37	161.228,89	54.354,45	37.078,99	17.275,46
fev	151.980,62	6.354,53	145.626,10	-	-	-
mar	168.264,26	7.035,37	161.228,89	-	-	-
abr	162.836,38	6.808,42	156.027,96	-	-	-
mai	168.264,26	7.035,37	161.228,89	-	-	-
jun	-	-	-	-	-	-
jul	-	-	-	-	-	-
ago	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	88.391,93	62.059,59	26.332,34
out	-	-	-	-	-	-
nov	52.601,08	35.882,89	16.718,19	-	-	-
dez	54.354,45	37.078,99	17.275,46	-	-	-
	2017			Média		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	456.101,91	8.987,35	447.114,56	227.441,69	37.065,31	190.376,38
fev	411.963,02	8.117,61	403.845,41	214.225,78	48.607,56	165.618,22
mar	456.101,91	8.987,35	447.114,56	255.408,72	119.921,49	135.487,23
abr	441.388,95	8.697,44	432.691,51	220.954,86	123.013,99	97.940,87
mai	-	-	-	483.205,13	175.890,20	307.314,94
jun	-	-	-	427.385,56	57.670,00	369.715,56
jul	-	-	-	181.056,42	102.109,03	78.947,39
ago	-	-	-	331.317,86	32.745,71	298.572,16
set	-	-	-	270.980,49	36.560,07	234.420,42
out	-	-	-	584.124,92	210.311,41	373.813,51
nov	45.397,16	153.229,95	-107.832,78	205.288,17	124.491,13	80.797,04
dez	-	-	-	111.309,36	22.057,18	89.252,18
Somatória				3.512.698,97	1.090.443,08	2.422.255,89

Dentre o período de análise, observa-se que o mês de junho de 2011 foi o que apresentou o maior quantitativo de volume de assoreamento, com 909.940,04 m³, seguido pelo mês de maio de 2013, com 798.146,00 m³. De maneira oposta, o mês de novembro de 2017 foi o que teve o menor volume assoreado, com apenas 45.397 m³. A média dos volumes mensais de assoreamento apresenta um valor de 268.096,97 m³.

Já para os volumes erodidos, tem-se que o mês de abril de 2013 foi o que apresentou o maior quantitativo, com 349.902,27 m³, enquanto o menor valor pode ser observado no mês de fevereiro de 2015, de 6.354,53 m³. A média obtida para os volumes mensais de erosão é de 86.307,17 m³.

Acompanhando os maiores volumes mensais de assoreamento e erosão identificados na série analisada, o maior valor de balanço sedimentar resultante foi constatado no mês de junho de 2011, com +892.244,25 m³, e o menor no mês de abril de 2013, com -298,914,97 m³. A média obtida para os volumes mensais de balanço sedimentar é de +181.789,80 m³.

Foram calculadas as médias dos volumes assoreados para cada um dos meses do ano, sendo que o maior valor, de 584.124,92 m³, é observado para o mês de outubro, seguido pelo quantitativo observado para o mês de maio, de 483.205,13 m³. O mês de dezembro foi o que apresentou a menor média de volume de assoreamento, com 111.309,36 m³. A partir da somatória das médias mensais encontradas, foi possível estimar o quantitativo médio de assoreamento anual para o Trecho 1 do canal de navegação, que apresentou um valor de 3.512.698,97 m³.

No tocante às médias mensais dos volumes erodidos, igualmente ao que fora observado para os volumes de assoreamento, tem-se que o mês de outubro também apresenta o maior valor, com 210.311,41 m³, enquanto o menor pode ser constatado para o mês de dezembro, com 22.057,18 m³. O volume médio de erosão anual para o Trecho 1 encontrado foi de 1.090.443,08 m³.

Para os volumes decorrentes do balanço sedimentar resultante, demonstrados na Figura 6, o mês que apresentou a maior média mensal foi outubro, com +373.313,51 m³, seguido de perto pelo mês de junho, com +369.715,56 m³. Os menores valores médios são encontrados para os meses de julho e novembro, com +78.947,39 m³ e +80.797,04 m³, respectivamente.

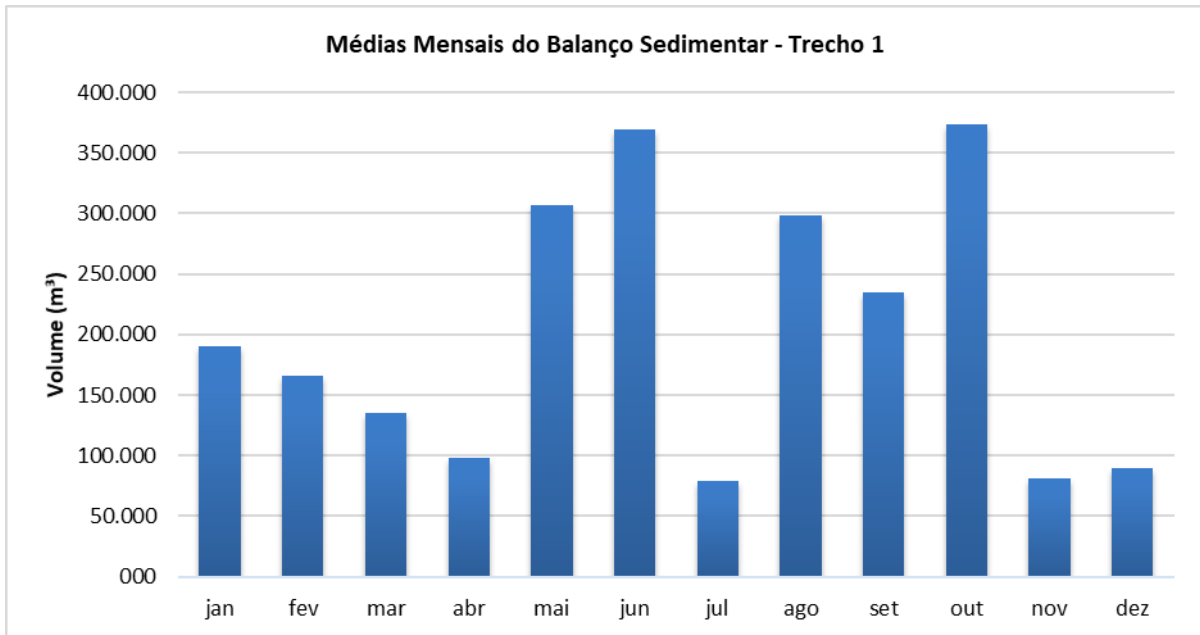


Figura 6 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 1 do canal de navegação.

Deve-se ressaltar que todos os meses do ano apresentaram médias positivas para o balanço sedimentar resultante, o que ratifica a predominância de processos deposicionais no Trecho 1 do canal de navegação. A partir da somatória das médias mensais, observa-se que o quantitativo médio anual do balanço sedimentar resultante para o respectivo trecho é de +2.422.255,89 m³, número este que representa o volume que remanesce depositado na área sob análise após o período de um ano sem dragagem.

Na Figura 7 são apresentadas as porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+2.422.255,89 m³). Observa-se que os volumes associados aos meses de maio a outubro representam 68,64% do quantitativo depositado ao longo de um ano.

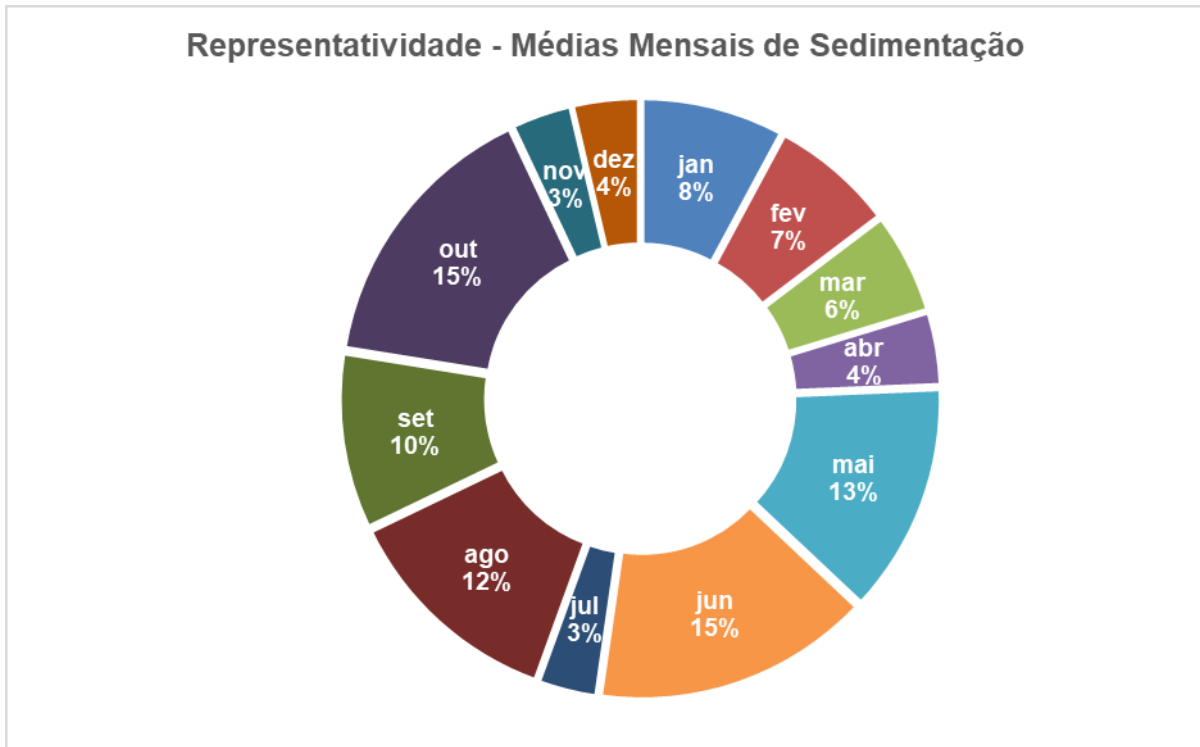


Figura 7 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+2.422.255,89 m³), para o Trecho 1 do canal de navegação.

Na Figura 8 é apresentado gráfico de dispersão contendo a linha de tendência referente à equação polinomial de terceiro grau obtida com base nos valores médios mensais de balanço sedimentar resultante do Trecho 1 do canal de navegação ao longo do período de um ano, estimados no presente estudo.

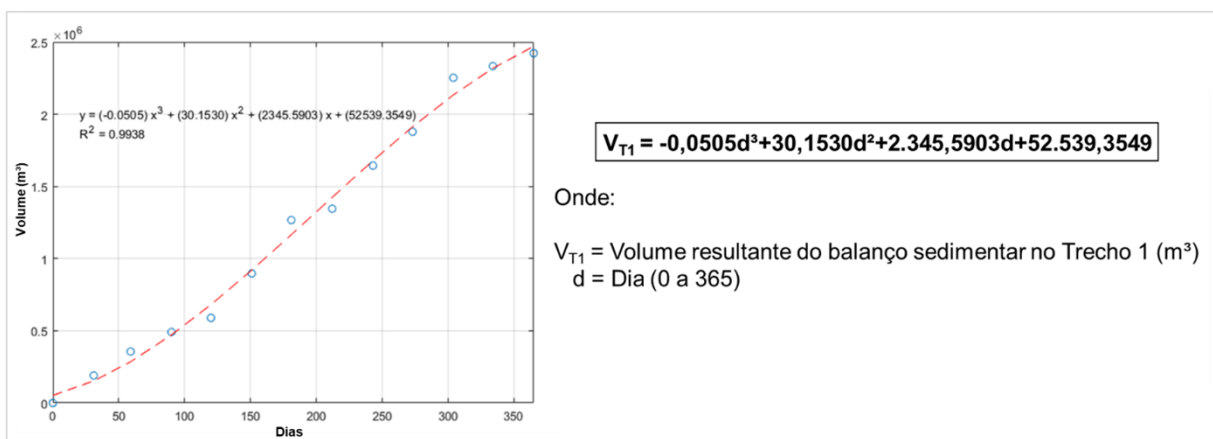


Figura 8 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 1 (m³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação ($R^2=0,9938$).

5.1.3.4. Taxas Diárias

As taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais de toda a série de dados, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 1 do canal de navegação.

Mês	Assoreamento (m³/dia)	Erosão (m³/dia)	Bal. Sedimentar (m³/dia)
Janeiro	7.336,83	-1.195,66	6.141,17
Fevereiro	7.650,92	-1.735,98	5.914,94
Março	8.238,99	-3.868,44	4.370,56
Abril	7.365,16	-4.100,47	3.264,70
Maio	15.587,26	-5.673,88	9.913,39
Junho	14.246,19	-1.922,33	12.323,85
Julho	5.840,53	-3.293,84	2.546,69
Agosto	10.687,67	-1.056,31	9.631,36
Setembro	9.032,68	-1.218,67	7.814,01
Outubro	18.842,74	-6.784,24	12.058,50
Novembro	6.842,94	-4.149,70	2.693,23
Dezembro	3.590,62	-711,52	2.879,10
Média	9.605,21	-2.975,92	6.629,29

Tanto a taxa diária mais expressiva de assoreamento quanto a de erosão foram encontradas para o mês de outubro, de 18.842,74 m³/dia e -6.784,24 m³/dia, respectivamente. Já a taxa diária resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi a observada no mês de junho, com +12.323,85 m³/dia.

Com base nos volumes médios mensais, a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 1 do canal de navegação foi de 9.605,21 m³/dia. Entretanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de +6.629,29 m³/dia.

O gráfico contido na Figura 9 demonstra as taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano.

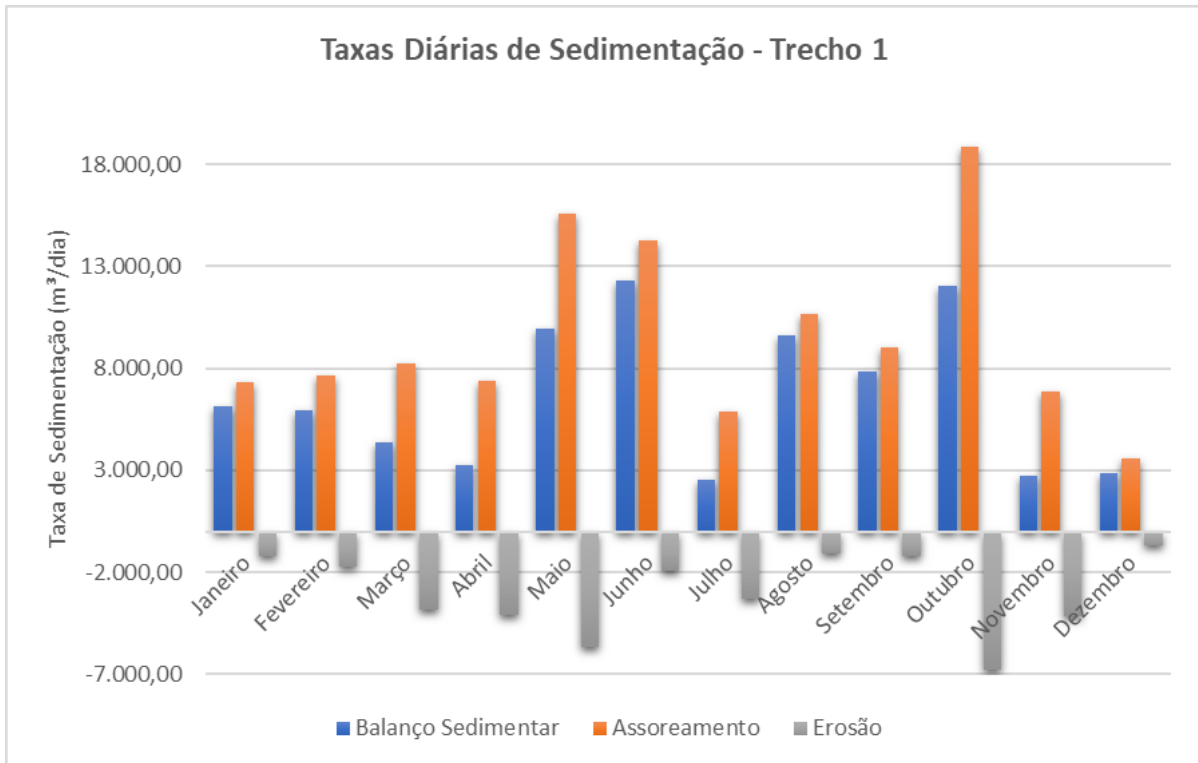


Figura 9 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 1 do canal de navegação.

5.1.4 Análise do Ano de 2013

5.1.4.1 Padrões e Taxas de Sedimentação

Conforme informado anteriormente, a série de dados disponível para o ano de 2013 constitui valioso conjunto de informações para a avaliação do comportamento natural dos processos de sedimentação do Trecho 1 do canal de navegação. O período compreendido entre 20/12/2012 e 05/12/2013 (intervalo 350 dias) conta com 12 levantamentos batimétricos subsequentes aproveitáveis da referida área, não ocorrendo nenhuma atividade de dragagem durante o respectivo intervalo.

A Tabela 9, apresentada a seguir, demonstra os volumes de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante de cada intervalo compreendido entre duas batimetrias subsequentes, bem como a somatória dos valores, excluindo-se os quantitativos obtidos a partir da subtração das superfícies relativas ao primeiro e último levantamento da série.

Tabela 9 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013.

Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Ass. (m ³)	Vol. Erosão (m ³)	Balanco Sed. (m ³)
20/12/2012	18/01/2013	29	224.169,60	98.262,21	125.907,39
18/01/2013	19/02/2013	32	226.231,09	84.108,80	142.122,29
19/02/2013	01/04/2013	41	269.051,71	249.504,73	19.546,98
01/04/2013	15/05/2013	44	67.403,55	521.653,06	-454.249,51
15/05/2013	31/05/2013	16	775.167,52	166.908,75	608.258,77
31/05/2013	10/07/2013	40	168.802,39	176.918,28	-8.115,89
10/07/2013	05/08/2013	26	81.850,77	169.134,71	-87.283,94
05/08/2013	08/10/2013	64	967.613,98	23.595,84	944.018,14
08/10/2013	29/10/2013	21	421.602,18	164.293,36	257.308,82
29/10/2013	10/11/2013	12	249.425,93	258.411,39	-8.985,46
10/11/2013	05/12/2013	25	440.578,90	108.375,56	332.203,34
Somatória		350	3.891.897,62	2.021.166,69	1.870.730,93

Entre 20/12/2012 e 05/12/2013, o volume assoreado no Trecho 1 foi de 3.891.897,62 m³, enquanto o erodido foi de 2.021.166,69 m³, incorrendo em um balanço sedimentar resultante de +1.870.730,93 m³. O gráfico contido na Figura 10, apresentada a seguir, demonstra a evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar ao longo do respectivo período. Para fins comparativos, também foi incluída no gráfico a variação média do balanço sedimentar anual obtida a partir de toda a série histórica de dados considerada para o Trecho 1.

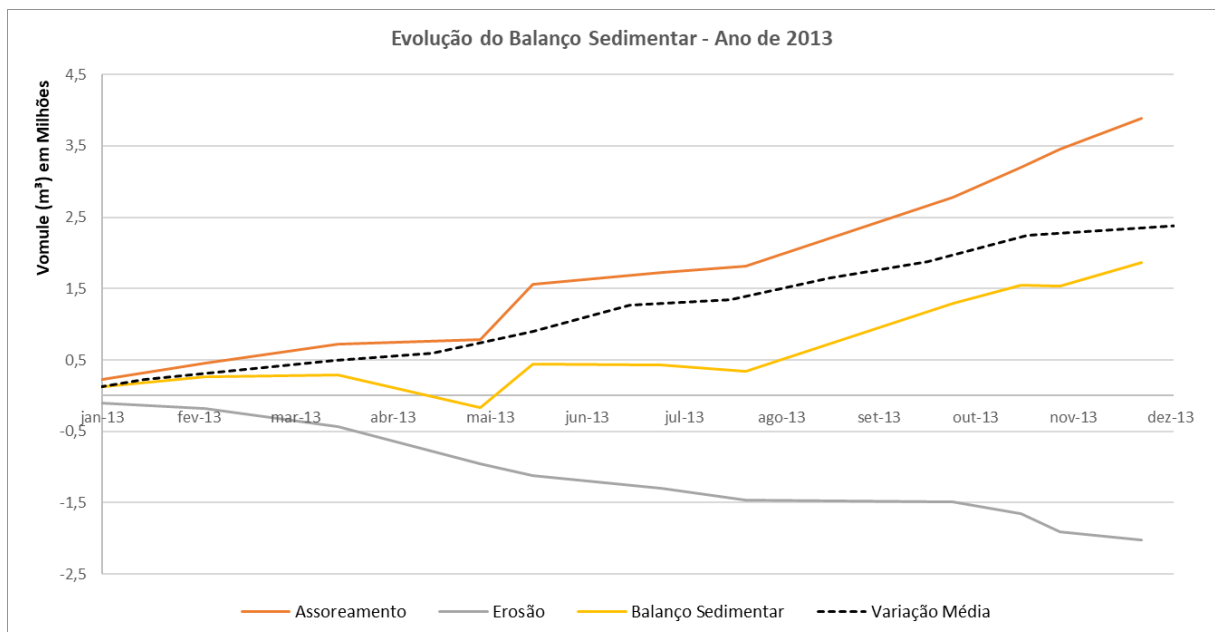


Figura 10 - Evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar no Trecho 1 entre 20/12/2012 e 05/12/2013.

Conforme pode ser observado, a evolução do balanço sedimentar ao longo do ano de 2013 teve menor magnitude do que a variação média do balanço sedimentar anual obtida para o presente trabalho, destacando-se a presença de períodos em que o balanço sedimentar resultante apresentou valores negativos, inclusive em quantitativos expressivos, como o observado para o período de 01/04/2013 e 15/05/2013.

A Tabela 10 apresenta as taxas diárias assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 20/12/2013 e 05/12/2013.

Tabela 10 - Taxas diárias assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 20/12/2013 e 05/12/2013, no Trecho 1 do canal de navegação.

Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Tx. Ass. (m ³ /dia)	Tx. Erosão (m ³ /dia)	Bal. Sed. (m ³ /dia)
20/12/2012	18/01/2013	29	7.729,99	-3.388,35	4.341,63
18/01/2013	19/02/2013	32	7.069,72	-2.628,40	4.441,32
19/02/2013	01/04/2013	41	6.562,24	-6.085,48	476,76
01/04/2013	15/05/2013	44	1.531,90	-11.855,75	-10.323,85
15/05/2013	31/05/2013	16	48.447,97	-10.431,80	38.016,17
31/05/2013	10/07/2013	40	4.220,06	-4.422,96	-202,90
10/07/2013	05/08/2013	26	3.148,11	-6.505,18	-3.357,07
05/08/2013	08/10/2013	64	15.118,97	-368,69	14.750,28
08/10/2013	29/10/2013	21	20.076,29	-7.823,49	12.252,80
29/10/2013	10/11/2013	12	20.785,49	-21.534,28	-748,79
10/11/2013	05/12/2013	25	17.623,16	-4.335,02	13.288,13
Média			13.846,72	-7.216,31	6.630,41

Observa-se que tanto a maior taxa de assoreamento quanto a de balanço sedimentar resultante, de 48.447,97 m³/dia e +38.016,17 m³/dia, respectivamente, foram registradas no mês de maio de 2013, entre 15/05/2013 e 31/05/2013. Já a taxa mais expressiva de erosão é observada entre 29/10/2013 e 10/11/2013, com -21.534,28 m³.

As médias calculadas para as taxas de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para o período compreendido entre 20/12/2012 e 05/12/2013 foram de 13.846,72 m³/dia, -7.216,31 m³/dia e +6.630,31 m³/dia, respectivamente. É importante ressaltar que a taxa de balanço sedimentar encontrada para o referido intervalo se aproxima muito da taxa média encontrada para toda a série de dados analisada (com base nas médias dos volumes mensais), de +6.629,29 m³/dia.

5.1.4.2 Variações Morfológicas de Fundo

Para possibilitar a avaliação das variações morfológicas de fundo, foi efetuado o processamento dos dados batimétricos disponíveis de forma que se pudesse alcançar em nível detalhado as diferenças verticais entre duas superfícies subsequentes. A partir dos tratamentos e análises realizadas, cujas especificidades podem ser consultadas no Capítulo 4, foi possível obter o grau de variação batimétrica entre as superfícies de interesse do Trecho 1 do canal de navegação.

Notadamente para o período de enfoque, compreendido entre 20/12/2012 e 05/12/2013, foram calculadas as variações batimétricas entre as superfícies disponíveis para o período, oriundas de 12 levantamentos hidrográficos distintos.

A Tabela 11, apresentada a seguir, demonstra os resultados obtidos para as análises realizadas entre as superfícies diretamente subsequentes, bem como entre as oriundas do primeiro e último levantamentos do respectivo de intervalo supracitado. Além das porcentagens dos pontos que sofreram assoreamento e erosão em relação à totalidade da malha batimétrica, são apresentadas informações quantitativas associadas às magnitudes das alterações nos locais (pontos da grade batimétrica) que sofreram deposição (elevação), tendo em vista o interesse prioritário no conhecimento do comportamento das variações positivas de profundidade na região sob análise (assoreamento).

Tabela 11 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies diretamente subsequentes no Trecho 1 do canal de navegação no período compreendido entre 20/12/2012 e 05/12/2013.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho1_T3	20/12/2012	18/01/2013	29	63,20	36,80	90,02	9,67	0,29	0,01	0,00	0,00
	18/01/2013	19/02/2013	32	63,08	36,92	82,19	17,58	0,16	0,04	0,02	0,01
	19/02/2013	01/04/2013	41	53,39	46,61	74,68	22,93	2,31	0,05	0,01	0,01
	01/04/2013	15/05/2013	44	14,24	85,76	69,58	27,23	2,97	0,14	0,06	0,02
	15/05/2013	31/05/2013	16	68,94	31,06	20,72	39,25	39,92	0,09	0,00	0,01
	31/05/2013	10/07/2013	40	42,79	57,21	80,12	17,99	1,84	0,03	0,01	0,01
	10/07/2013	05/08/2013	26	37,17	62,83	95,42	3,98	0,57	0,02	0,01	0,00
	05/08/2013	08/10/2013	64	89,94	10,06	37,93	22,88	38,40	0,78	0,01	0,01
	08/10/2013	29/10/2013	21	67,56	32,44	59,71	32,19	8,05	0,03	0,01	0,00
	29/10/2013	10/11/2013	12	44,95	55,05	66,33	24,72	8,89	0,03	0,01	0,02
	10/11/2013	05/12/2013	25	73,97	26,03	62,38	33,99	3,27	0,12	0,11	0,14
	20/12/2012	05/12/2013	350	83,75	16,25	13,62	9,90	36,62	28,76	9,20	1,90

A maior porcentagem de pontos com variação positiva entre superfícies diretamente subsequentes é encontrada no período que se estende entre 05/08/2013 e 08/10/2013, compreendido majoritariamente no inverno, onde 89,94% dos pontos da grade batimétrica sofreram assoreamento e apenas 10,06% sofreram erosão. Para este mesmo período, também são observadas porcentagens significativas de pontos

com magnitudes mais expressivas de assoreamento em relação à totalidade dos pontos que sofreram variação positiva, dos quais 38,40% sofreram uma elevação maior que 0,50 m até 1,00 m.

Por outro lado, a maior porcentagem de pontos com variação negativa é verificada entre 01/04/2013 e 15/05/2013, em que 85,76% dos pontos da grade batimétrica sofreram erosão e apenas 14,24% sofreram assoreamento, o que ratifica a existência de períodos com tendência erosiva no Trecho 1 do canal de navegação, em que pese o predomínio de períodos em que as porcentagens de pontos assoreados se sobrepõem às de pontos erodidos.

É importante notar que os dados mostram a existência de variações batimétricas significantes do ponto de vista operacional mesmo em intervalos curtos de tempo, como para os períodos compreendidos entre 15/05/2013 e 31/05/2013, e entre 29/10/2013 e 10/11/2013. Outrossim, ressalta-se a ocorrência de elevações expressivas (até 1,50 m) para todos os períodos intermediários levados em consideração na análise, fato que denota a importância da atuação dos processos de assoreamento na respectiva área, independente da época do ano.

A fim de viabilizar a visualização da evolução das magnitudes das variações batimétricas na área de estudo ao longo de todo o período de interesse (entre 20/12/2012 e 05/12/2013), foram calculadas as variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, sendo que os resultados obtidos são apresentados na Tabela 12 e Figura 11.

Tabela 12 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, no Trecho 1 do canal de navegação de 20/12/2012 a 05/12/2013.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho1_T3	20/12/2012	18/01/2013	29	63,20	36,80	90,02	9,67	0,29	0,01	0,00	0,00
	20/12/2012	19/02/2013	61	63,97	36,03	57,83	35,22	6,92	0,01	0,01	0,01
	20/12/2012	01/04/2013	102	78,64	21,36	80,26	18,77	0,94	0,02	0,01	0,01
	20/12/2012	15/05/2013	146	34,94	65,06	72,39	18,68	8,74	0,12	0,03	0,03
	20/12/2012	31/05/2013	162	71,49	28,51	33,06	49,19	17,49	0,25	0,01	0,00
	20/12/2012	10/07/2013	202	72,15	27,85	47,79	38,62	13,40	0,19	0,00	0,00
	20/12/2012	05/08/2013	228	68,57	31,43	42,96	45,17	11,73	0,13	0,00	0,00
	20/12/2012	08/10/2013	292	78,12	21,88	14,62	23,54	35,88	24,33	1,59	0,04
	20/12/2012	29/10/2013	313	82,11	17,89	12,46	12,91	48,17	23,73	2,62	0,10
	20/12/2012	10/11/2013	325	80,33	19,67	14,36	14,20	39,31	25,55	6,37	0,20
20/12/2012	05/12/2013	350	83,75	16,25	13,62	9,90	36,62	28,76	9,20	1,90	

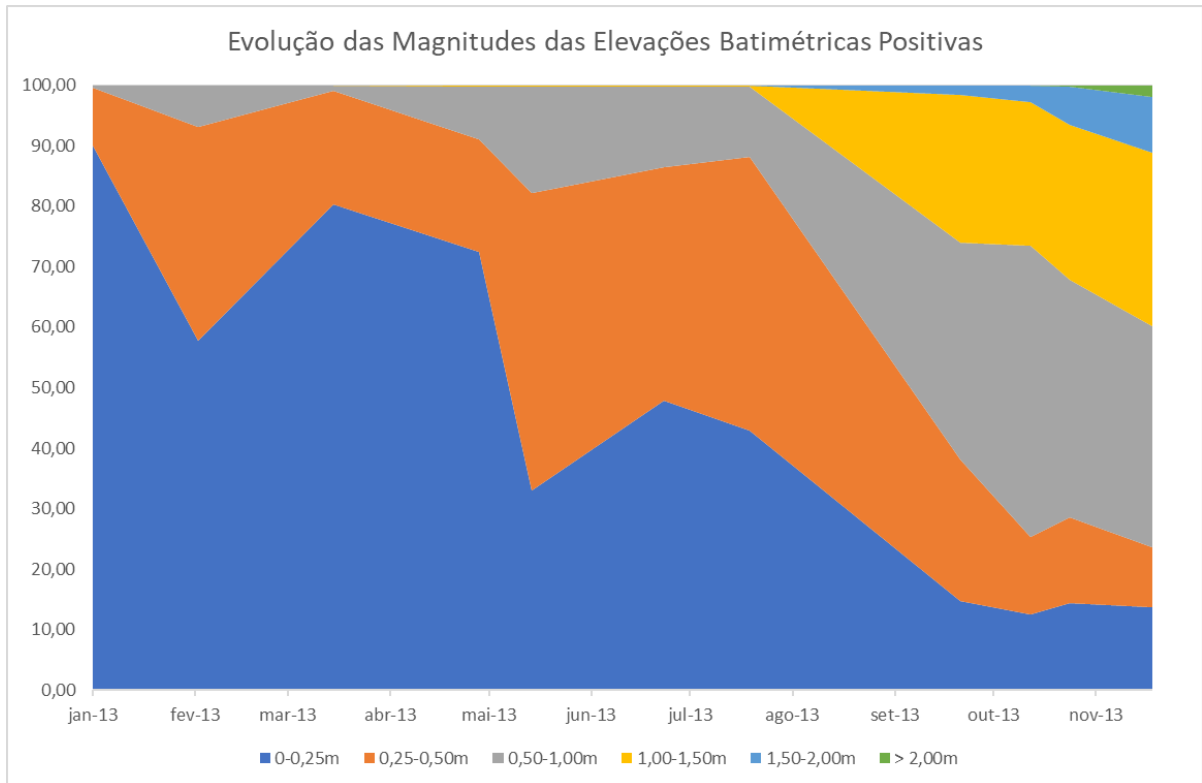


Figura 11 - Evolução das magnitudes das variações batimétricas nos pontos assoreados do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013.

Verifica-se que ao final do período de interesse (350 dias), 83,75% dos pontos da grade batimétrica sofreram um balanço sedimentar positivo e apenas 16,25% um balanço sedimentar negativo. Dentre os pontos que apresentaram variação positiva, 13,62% tiveram uma elevação até 0,25 m, 9,90% maior que 0,25 m até 0,50 m, 36,62% maior que 0,50 m até 1,00 m, 28,76% maior que 1,00 m até 1,50 m, 9,20% maior 1,50 m até 2,00 m, e 1,90% maior que 2,00 m. Neste contexto, observa-se que a maior parte dos pontos da grade batimétrica que tiveram variações batimétricas positivas ao final do intervalo sofreram perdas de profundidades maiores que 0,50 m e menores ou iguais a 1,00 m.

O gráfico contido na Figura 11 demonstra de forma clara uma tendência de aumento das porcentagens das magnitudes de variações batimétricas mais expressivas ao longo do tempo, o que reflete o predomínio dos processos de assoreamento e o aumento paulatino das espessuras das camadas sedimentares depositadas ao longo do Trecho 1.

A Figura 12 contempla o mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 20/12/2012 (inicial) e 05/12/2013 (final). Já na Figura 13 à Figura 23 é demonstrada a evolução das variações

batimétricas ao longo do eixo central do Trecho 1 do canal de navegação no respectivo período (sentido Sul - Norte), obtidas a partir da subtração da superfície gerada a partir do primeiro levantamento do intervalo e as demais superfícies sequenciais. A título de referência, considera-se como final do Trecho 1 o seu limite com o Trecho 2, nas proximidades do Entrepasto de Pesca.

Pode-se observar a partir da análise conjunta das figuras citadas acima a existência de duas zonas no Trecho 1 que, de forma geral, apresentam tendências diferentes no que tange os processos sedimentares atuantes. Na zona que estende entre o início do canal até as proximidades da final da curva externa do canal, com aproximadamente 7.800,00 m de extensão, observa-se o predomínio de variações batimétricas positivas ao longo período analisado, perfazendo uma área com tendência deposicional, onde a maior parte do volume assoreado é concentrado.

Na outra zona, de menor tamanho, situada entre as proximidades do final da curva externa do canal e o final do Trecho 1, com aproximadamente 3.760,00 m de extensão, verifica-se o predomínio de variações batimétricas negativas ao longo período analisado, perfazendo uma área com tendência erosiva onde naturalmente são observadas maiores profundidades.

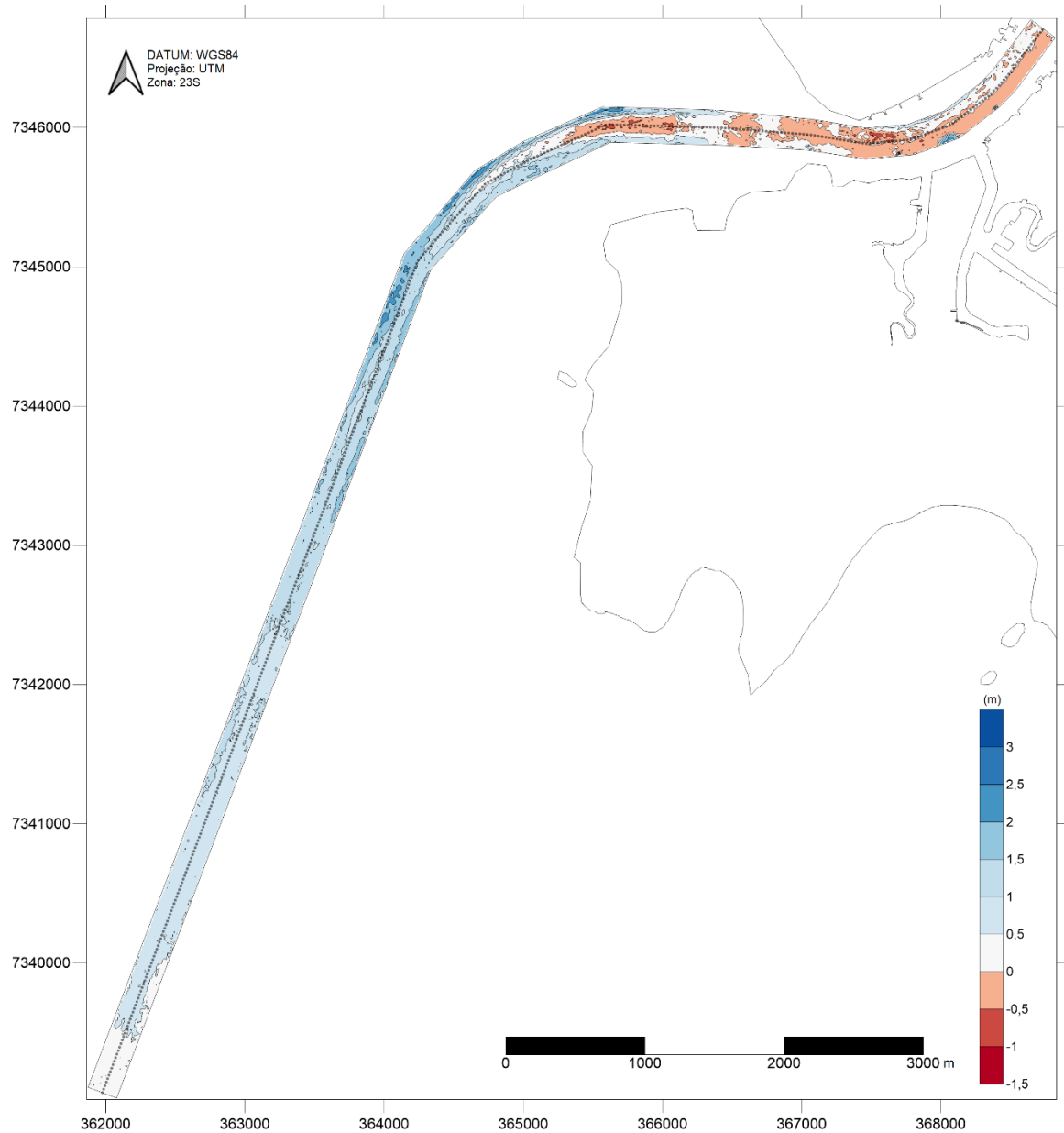


Figura 12 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 20/12/2012 (inicial) e 05/12/2013 (final) do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

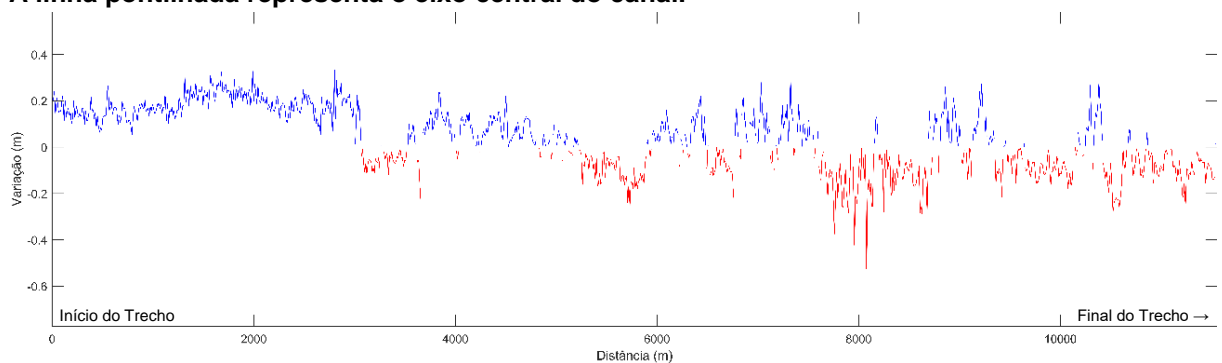


Figura 13 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 18/01/2013 (29 dias).

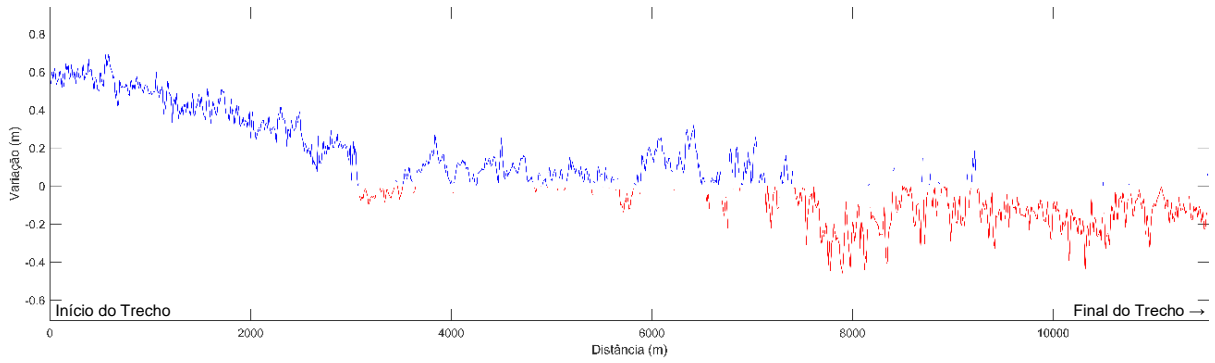


Figura 14 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 19/02/2013 (61 dias).

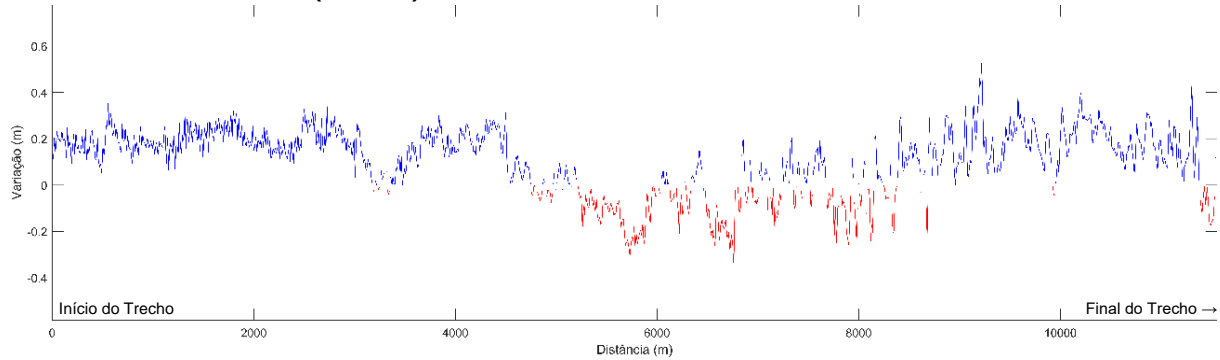


Figura 15 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 01/04/2013 (102 dias).

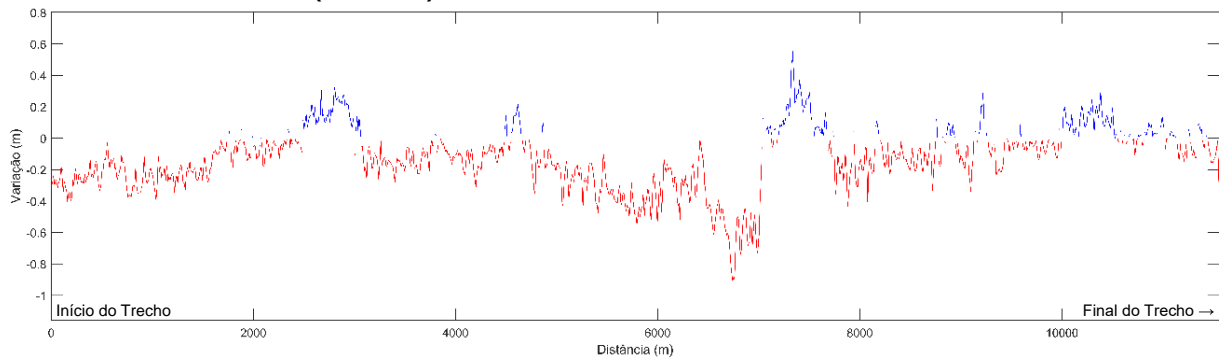


Figura 16 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 15/05/2013 (146 dias).

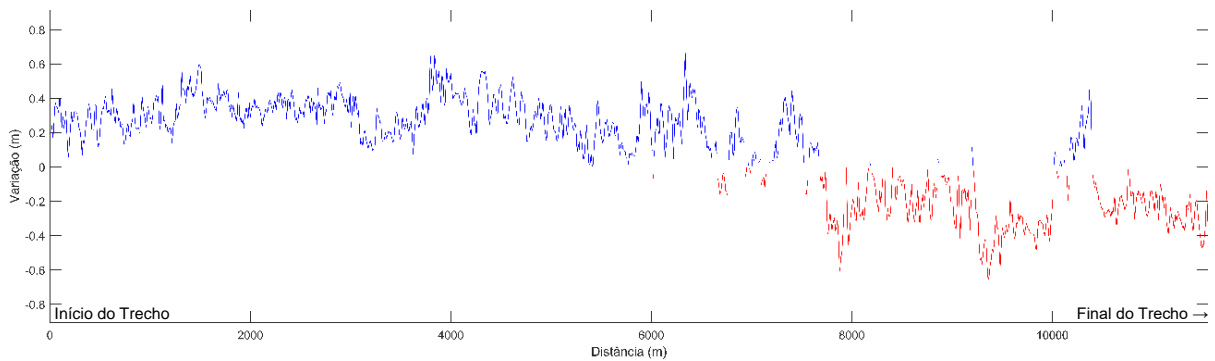


Figura 17 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 31/05/2013 (162 dias).

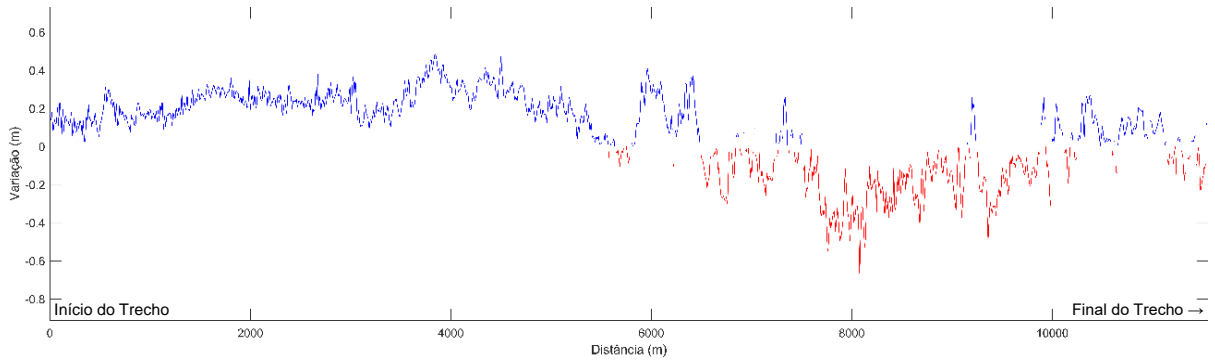


Figura 18 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 10/07/2013 (202 dias).

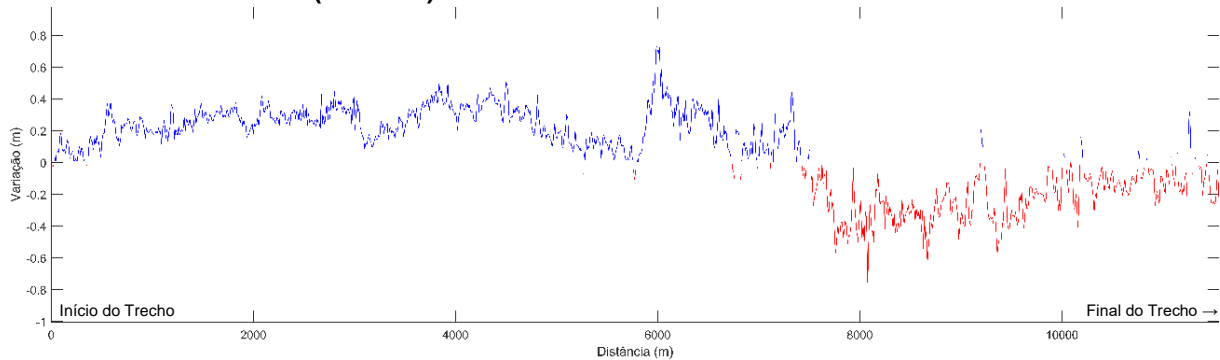


Figura 19 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/08/2013 (228 dias).

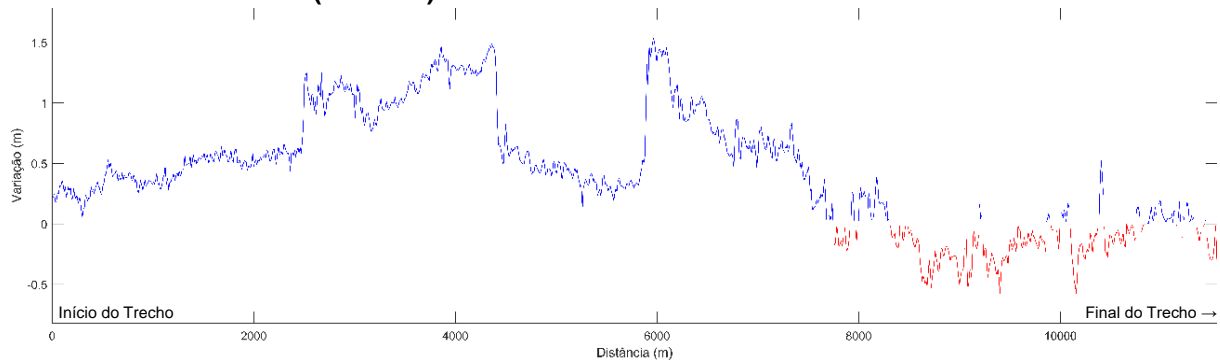


Figura 20 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 08/10/2013 (292 dias).

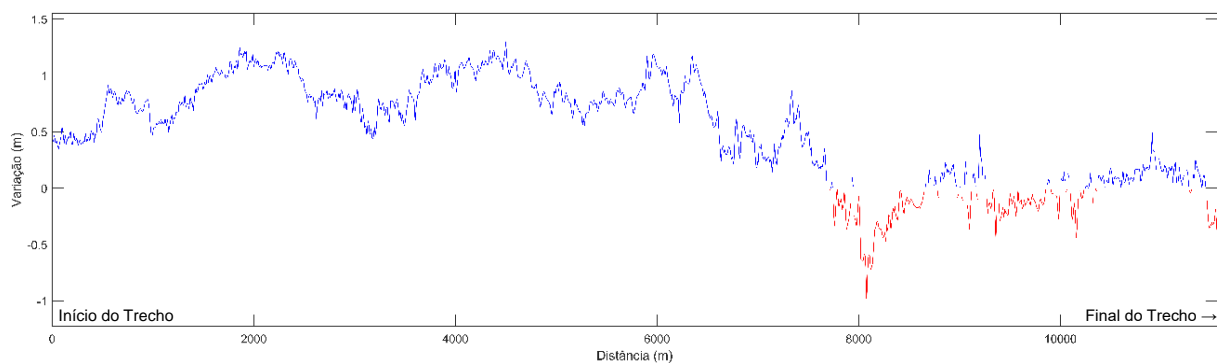


Figura 21 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 29/10/2013 (313 dias).

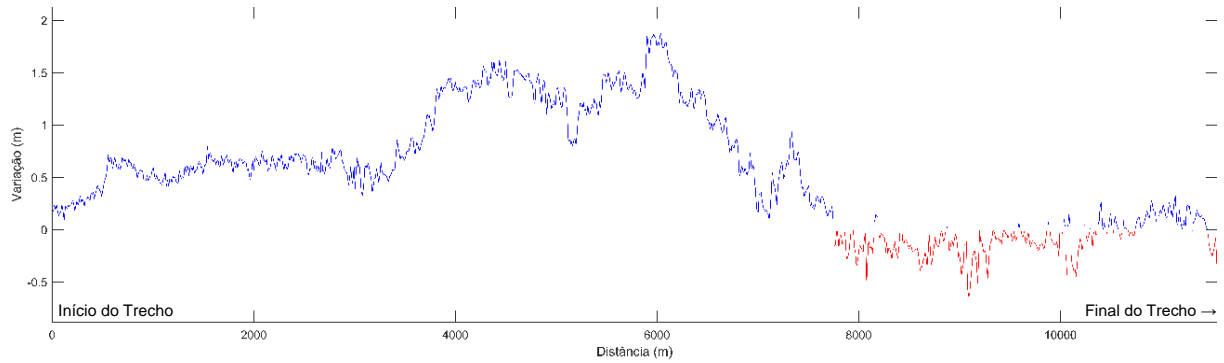


Figura 22 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2021 e 10/11/2013 (325 dias).

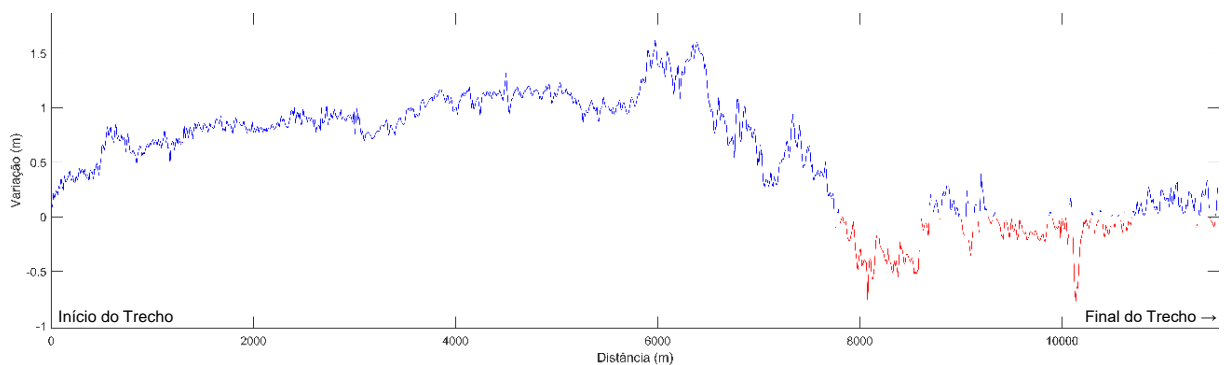


Figura 23 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 20/12/2012 e 05/12/2013 (350 dias).

Não obstante, é importante ressaltar que as tendências gerais distintas destas duas zonas não excluem a possibilidade da atuação de processos sedimentares inversos aos predominantes, chamando-se atenção para o período de 01/04/2013 a 15/05/2013, onde há clara tendência erosiva ao longo da maior parte do Trecho 1, mesmo nos pontos do eixo central onde o assoreamento foi preponderante ao longo da série analisada.

Da mesma forma, observam-se pontos de variação positiva significantes nas proximidades dos taludes das zonas com predomínio de tendência erosiva.

A Figura 12 demonstra que as áreas com as variações batimétricas positivas mais expressivas (maiores que 2,00 m) se concentram nas laterais do canal, em locais onde é observado o avanço dos taludes em direção ao interior da calha. No entanto, variações de magnitudes significantes também podem ser observadas no eixo central do canal, principalmente em área situada nas proximidades do final do trecho retilíneo externo.

A evolução das variações no eixo central representada pela Figura 13 à Figura 23 reforça a existência de alterações batimétricas significantes do ponto de vista operacional em intervalos curtos de tempo.

Com relação às áreas com tendências erosivas, verifica-se que as áreas com as maiores variações negativas ao final do período analisado estão localizadas ao lado das margens côncavas das curvas presentes no Trecho 1, naturalmente mais profundas.

De modo geral, pode ser observado que as variações positivas foram superiores em ordem de grandeza do que as negativas ao longo da série sob análise.

Para fins de comparação dos resultados obtidos para o período de 20/12/2012 e 05/12/2013 com dados referentes a outras épocas abrangidas pelo restante da série disponível, a Tabela 13, complementarmente, demonstra os resultados obtidos para as análises realizadas entre as superfícies oriundas do primeiro e último levantamentos dos intervalos de 17/05/2014 e 04/09/2014, 22/10/2014 e 31/05/2015, e 27/10/2015 e 06/02/2016. Além das porcentagens dos pontos que sofreram assoreamento e erosão em relação à totalidade da malha batimétrica, são apresentadas informações quantitativas associadas às magnitudes das alterações nos locais (pontos da grade batimétrica) que sofreram deposição (elevação).

Tabela 13 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies do Trecho 1 do canal de navegação obtidas para os períodos compreendidos entre 17/05/2014 e 04/09/2014, 22/10/2014 e 31/05/2015, e 27/10/2015 e 06/02/2016.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho1_T4	17/05/2014	04/09/2014	110	79,06	20,94	20,39	38,66	39,38	1,55	0,02	0,00
Trecho1_T5	22/10/2014	31/05/2015	221	86,57	13,43	27,72	17,24	44,66	10,07	0,28	0,05
Trecho1_T6	27/10/2015	06/02/2016	102	55,53	44,47	86,51	11,18	2,27	0,02	0,01	0,01

Os dados contidos na Tabela 13 demonstram que em todos os três períodos contemplados, as porcentagens de pontos assoreados em relação à totalidade da malha batimétrica se sobrepuseram sobre as porcentagens de pontos erodidos. Para o maior período, compreendido entre 22/10/2014 e 31/05/2015 (221 dias), verifica-se que 86,57% dos pontos da grade batimétrica sofreram um balanço sedimentar positivo e apenas 13,43% um balanço sedimentar negativo, valores se aproximam dos obtidos para o período de 20/12/2012 e 05/12/2013 (83,75% e 16,25%, respectivamente), tratado de forma segregada anteriormente.

Em que pese a predominância de pontos com variação batimétrica positiva para os três períodos, são observadas diferenças significantes quanto às proporções dos valores encontrados para os períodos de 17/05/2014 a 04/09/2014 e 27/10/2015 a 06/02/2016, os quais possuem duração aproximada. Para este primeiro período (110 dias), que se estende entre o outono e o inverno, 79,06% dos pontos da grade batimétrica sofreram deposição e 20,94% erosão, enquanto o segundo (102 dias), que se estende entre a primavera e o verão, 55,53% dos pontos da grade batimétrica sofreram deposição e 44,47% erosão.

É importante frisar que as magnitudes de variação dos pontos que sofreram assoreamento são maiores no período compreendido entre maio de 2014 e setembro de 2015, sendo que a maioria dos pontos (39,38%) sofreu uma deposição maior que 0,50 m até 1,00 m. No período de outubro de 2015 a fevereiro de 2016, 86,51% dos pontos assoreados tiveram uma variação positiva de até 0,25 m.

Da Figura 24 à Figura 29 são apresentados os mapas batimétricos correspondentes a subtrações entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/05/2014 e 04/09/2014, 22/10/2014 e 31/05/2015, e 27/10/2015 e 06/02/2016, bem como os respectivos gráficos das variações batimétricas ao longo do eixo central do Trecho 1 do canal de navegação. Deve-se atentar que as informações referentes à uma pequena porção final interna do trecho não estão disponíveis pelo fato desta área não ter sido contemplada nas batimetrias realizadas, o que não prejudica, porém, a análise dos dados existentes para o restante do canal de acesso.

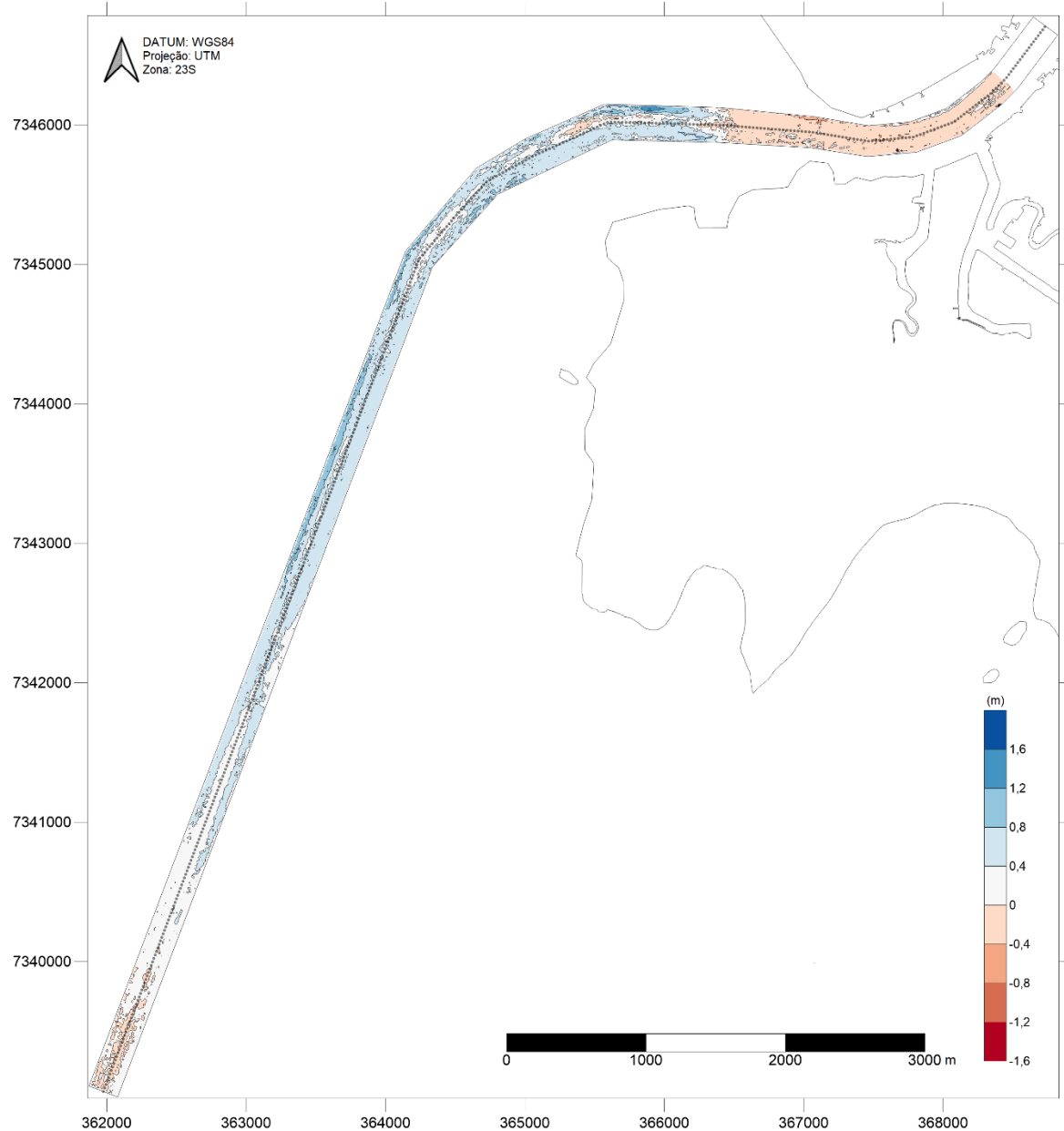


Figura 24 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/05/2014 e 04/09/2014 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

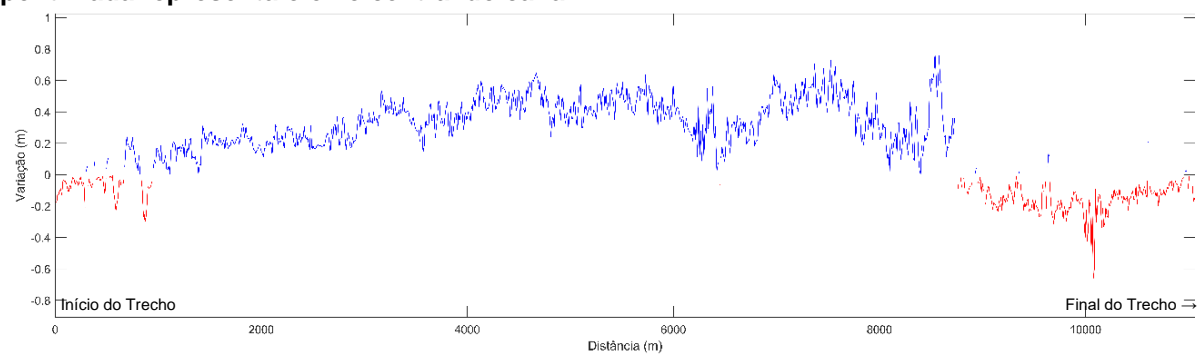


Figura 25 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 17/05/2014 e 04/09/2014 (110 dias).

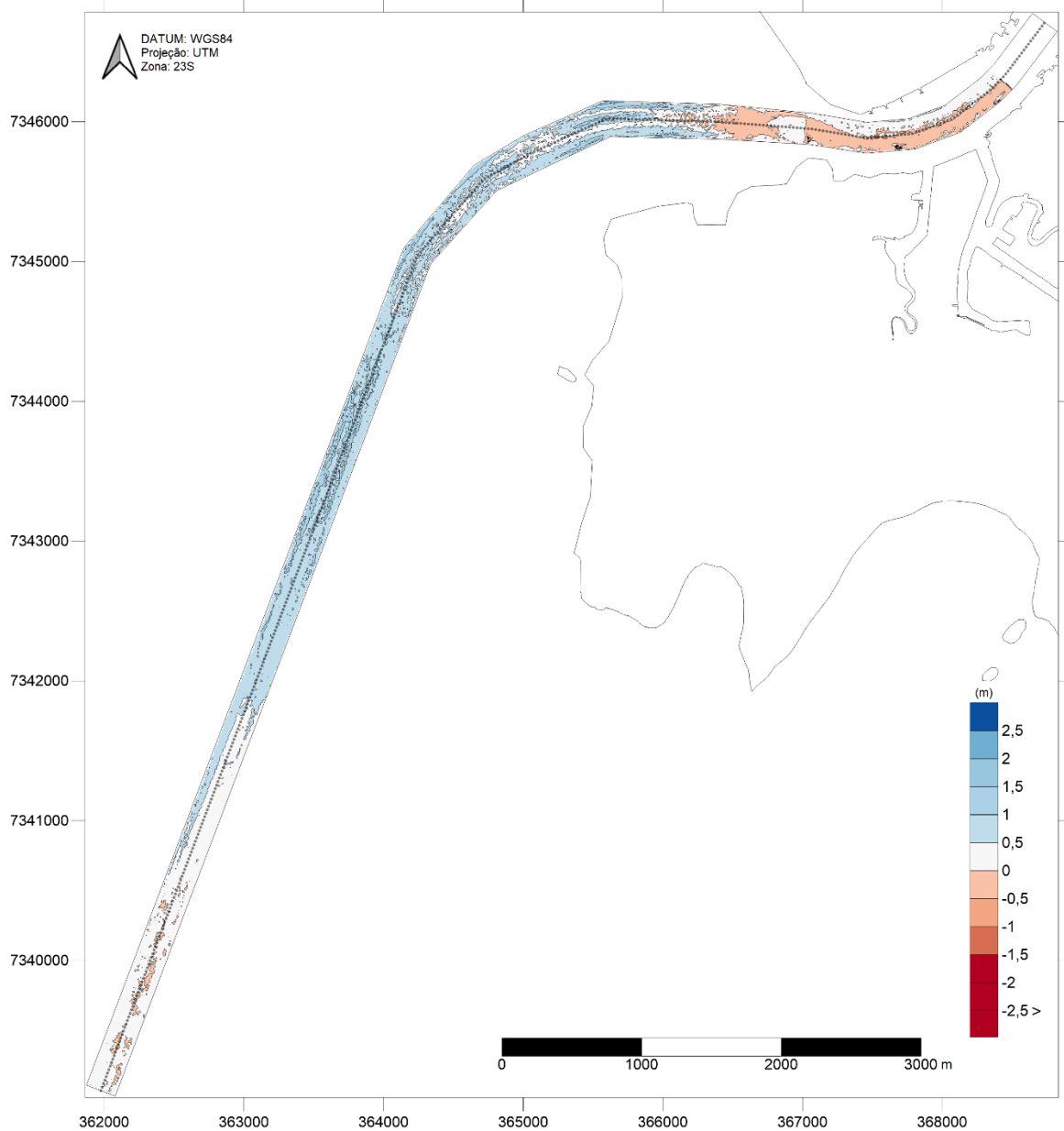


Figura 26 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 22/10/2014 e 31/05/2015 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

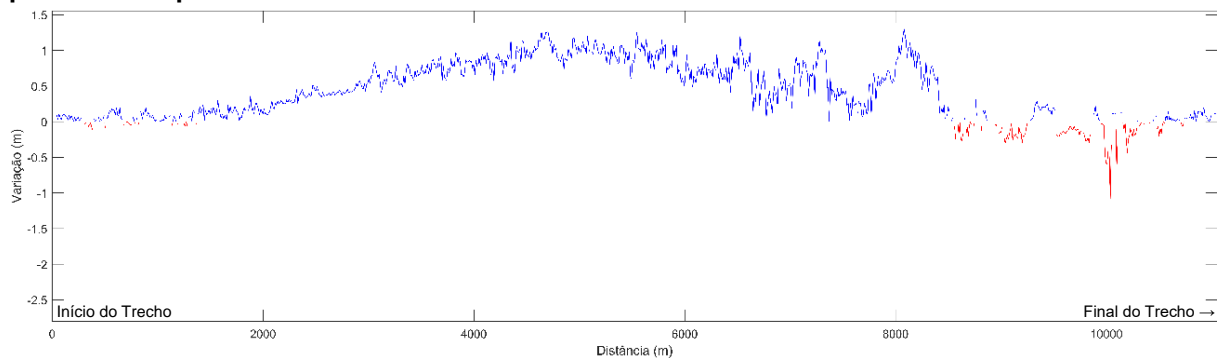


Figura 27 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 22/10/2014 e 31/05/2015 (221 dias).

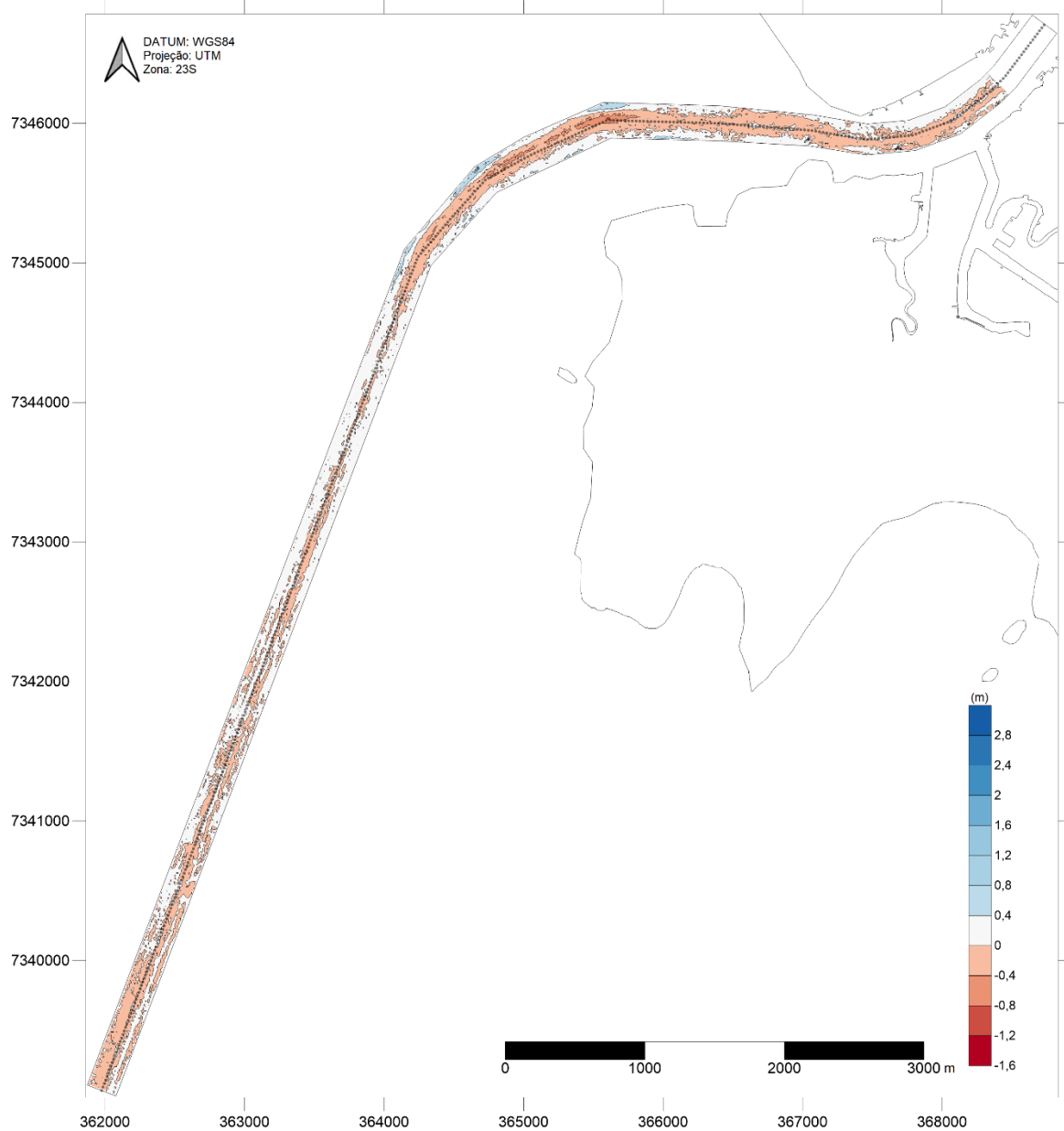


Figura 28 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 27/10/2015 e 06/02/2016 do Trecho 1 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

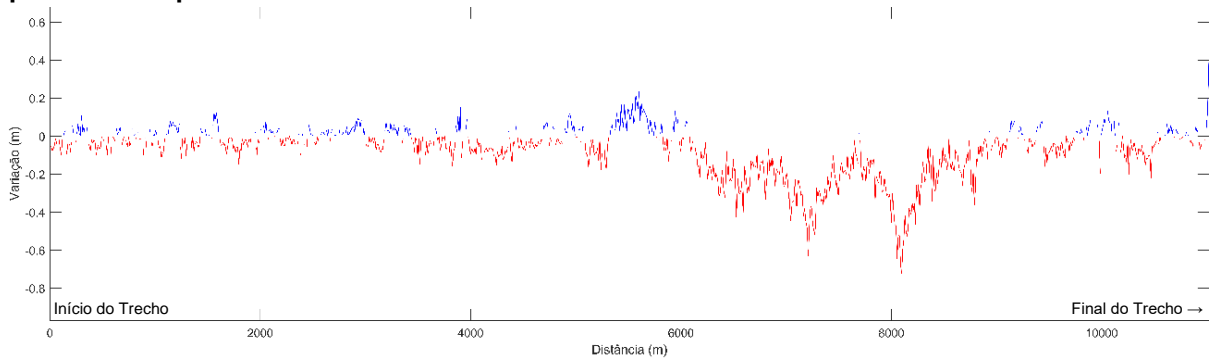


Figura 29 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 1 do canal de navegação entre 27/10/2015 e 06/02/2016 (102 dias).

Por meio da avaliação da Figura 24 à Figura 29 é possível ratificar as considerações apresentadas anteriormente acerca do comportamento das variações morfológicas do Trecho 1, sendo observada a presença de duas zonas no canal de navegação com tendências sedimentares gerais inversas, que ficam mais evidentes principalmente nos períodos de 17/05/2014 a 04/09/2014 e 22/10/2014 a 31/05/2015, bem como a ocorrência de intervalo com intensificação de processos erosivos em várias áreas do canal, representado pelo período de 27/10/2015 a 06/02/2016.

5.2 Trecho 2 do Canal de Navegação

A seguir serão apresentados os resultados obtidos especificamente para o Trecho 2 do canal de navegação, compreendido aproximadamente entre o Entrepasto de Pesca e o Terminal de Passageiros.

Na Tabela 14 e na Figura 30, apresentadas a seguir, são demonstradas as principais características e os limites espaciais do Trecho 2, respectivamente, considerando a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

Tabela 14 - Dados gerais do Trecho 2 do canal de navegação.

Nome	Trecho 2
Data de Implantação	25/10/2010
Coordenadas do Início	368741,0 E; 7346702,8 N (UTM 23S)
Coordenadas do Término	366954,9 E; 7350376,2 N (UTM 23S)
Extensão	4.430,00 m
Largura de Referência	220,00 m
Área	1.575.046,73 m ²
Profundidade de Projeto	15,00 m (DHN)

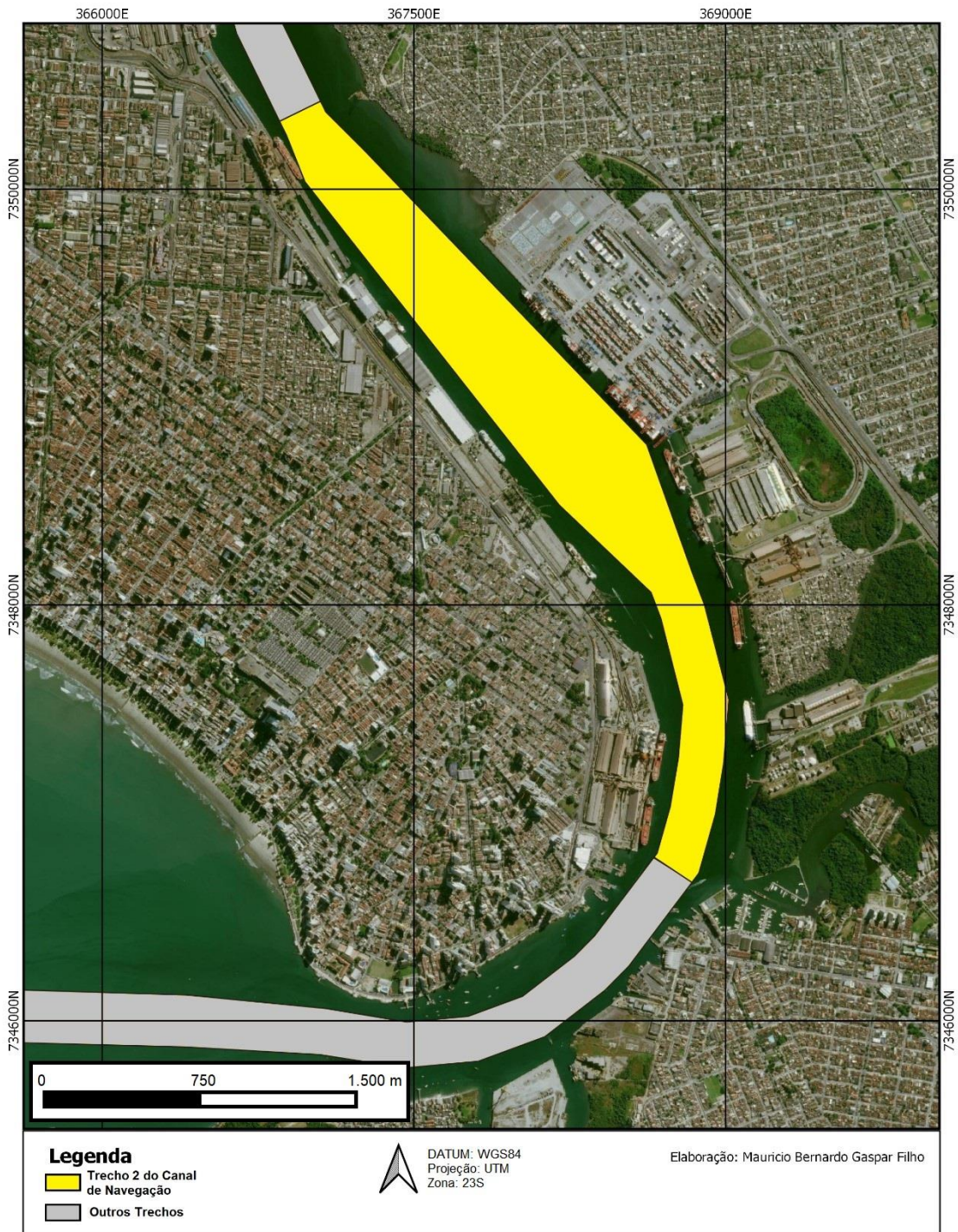


Figura 30 - Delimitação do Trecho 2 do canal de navegação.

5.2.1 Períodos de Análise

Conforme já explicado anteriormente, os períodos de análise selecionados para o presente estudo configuram-se em intervalos temporais onde, preferencialmente, não ocorreram intervenções de dragagem, permanecendo as áreas de interesse sob a natural e contínua ação dos processos sedimentares

atuantes, ao mesmo passo em que houve a realização de levantamentos batimétricos para fins de acompanhamento da evolução do fundo.

A partir do cruzamento dos dados relativos aos ciclos de dragagem com as datas dos levantamentos batimétricos executados no Trecho 2, foi verificada a existência de 06 (seis) períodos que podem ser efetivamente utilizados para a realização das análises previstas. Deve-se ressaltar que a determinação dos períodos de análise em questão também levou em conta a disponibilidade de dados batimétricos, sendo que, em certas ocasiões, intervalos potenciais tiveram que ser descartados em decorrência da ausência de informações de determinados levantamentos.

O gráfico apresentado na Figura 31 elucida os períodos selecionados para a realização das análises do Trecho 2 em meio à cronologia das atividades de dragagem executadas entre 2011 e 2017.

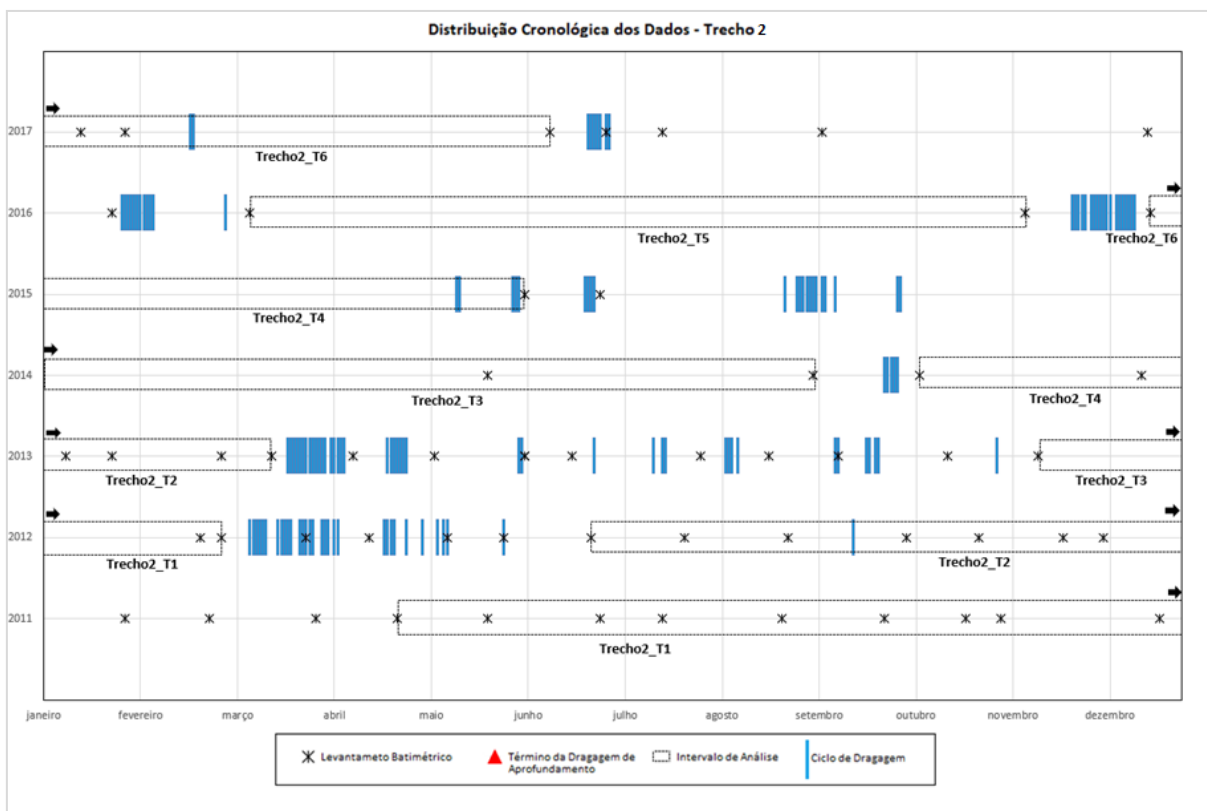


Figura 31 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 2 do canal de navegação.

No que concerne ao Trecho 2 do canal de navegação, pode-se verificar que alguns dos períodos foram definidos mesmo com a presença de ciclos de dragagem

dentro do intervalo temporal abrangido. Tal estratégia foi adotada em função da incipiência do número de ciclos observados nestas ocasiões, o que não justificaria a perda das vantagens associadas à maximização do conjunto de informações disponíveis para a realização das análises. Os volumes dragados estimados nestes poucos ciclos interpostos foram considerados nos cálculos realizados.

Pode ser observado na Figura 31 que as operações de dragagem de manutenção do Trecho 2 não demonstraram uma distribuição regular ao longo dos anos, também não sendo observadas tendências de concentração de ciclos em determinadas épocas do ano, considerando o período total de análise (2011 a 2017). Deve-se atentar que nos anos de 2011, 2014, 2016 e 2017, o trecho em questão enfrentou longos períodos sem passar por intervenções de dragagem.

Na Tabela 15, apresentada na próxima página, são detalhadas as informações pertinentes a cada um dos períodos de análise escolhidos, devendo-se reiterar que o número de dias compreendido do início ao fim de cada intervalo é calculado entre as datas de término dos levantamentos batimétricos subsequentes, especificamente para o trecho em análise. Tal detalhe se faz importante, haja vista que o tempo de execução das campanhas hidrográficas são variáveis.

Tabela 15 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 2 do canal de navegação.

Código	Início	Término	Nº Levantamentos	Cód. Lev.	Intervalo (dias)
Trecho2_T1	12/05/2011	22/02/2012	6	06_T1A4_24042011	286
				07_T1A4_23052011	
				08_T1A4_28062011	
				13_T1A4_03112011	
				13A_T1A4_24122011	
				14A_T2_20022012	
Trecho2_T2	14/07/2012	08/03/2013	9	18_T1A4_25062012	237
				19_T1A4_25072012	
				20_T1A4_27082012	
				21_T1A4_04102012	
				22_T1A4_27102012	
				23A_T2_06122012	
				24_T1A4_08012013	
				25_T1A4_23012013	
				26_T1A3_27022013	
Trecho2_T3	23/11/2013	10/09/2014	3	35_T1A4_15112013	291
				02.01_T2_23052014	
				02.02_T2_04092014	
Trecho2_T4	10/10/2014	08/06/2015	2	02.03_T2_08102014	241
				02.05_T2_04062015	
Trecho2_T5	09/03/2016	11/11/2016	2	02.08_T2_08032016	247
				02.09_T2_11112016	
Trecho2_T6	21/12/2016	14/06/2017	3	02.10_T2_21122016	175
				02.11A_T2_27012017	
				02.12_T2_12062017	

Os detalhes de cada um dos levantamentos batimétricos codificados na planilha acima podem ser observados no catálogo contido no Anexo I do presente documento.

Dentre os períodos selecionados, observa-se que o compreendido entre novembro de 2013 e setembro de 2014 é o que possui maior duração, com 291 dias. Já o que apresenta o maior número de levantamentos batimétricos subsequentes é o compreendido entre julho de 2012 e março de 2013, com um total de 09 batimetrias.

Tendo em vista que o número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos, inclusive os de caráter intermediário contemplados dentro de um mesmo período de análise, configura-se em um dado de interesse para o presente projeto, principalmente para o cálculo das taxas de assoreamento, tais informações são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação.

Período de Análise	Batimetria (prévia)	Data	Batimetria (pós)	Data	Intervalo (dias)
Trecho2_T1	06_T1A4_24042011	12/05/2011	07_T1A4_23052011	28/06/2011	47
	07_T1A4_23052011	28/06/2011	08_T1A4_28062011	17/07/2011	19
	08_T1A4_28062011	17/07/2011	13_T1A4_03112011	02/12/2011	138
	13_T1A4_03112011	02/12/2011	13A_T1A4_24122011	29/12/2011	27
	13A_T1A4_24122011	29/12/2011	14A_T2_20022012	22/02/2012	55
	06_T1A4_24042011	12/05/2011	14A_T2_20022012	22/02/2012	286
Trecho2_T2	18_T1A4_25062012	14/07/2012	19_T1A4_25072012	21/08/2012	38
	19_T1A4_25072012	21/08/2012	20_T1A4_27082012	18/09/2012	28
	20_T1A4_27082012	18/09/2012	21_T1A4_04102012	22/10/2012	34
	21_T1A4_04102012	22/10/2012	22_T1A4_27102012	12/11/2012	21
	22_T1A4_27102012	12/11/2012	23A_T2_06122012	08/12/2012	26
	23A_T2_06122012	08/12/2012	24_T1A4_08012013	23/01/2013	46
	24_T1A4_08012013	23/01/2013	25_T1A4_23012013	08/02/2013	16
	25_T1A4_23012013	08/02/2013	26_T1A3_27022013	08/03/2013	28
18_T1A4_25062012	14/07/2012	26_T1A3_27022013	08/03/2013	237	
Trecho2_T3	35_T1A4_15112013	23/11/2013	02.01_T2_23052014	30/05/2014	188
	02.01_T2_23052014	30/05/2014	02.02_T2_04092014	10/09/2014	103
	35_T1A4_15112013	23/11/2013	02.02_T2_04092014	10/09/2014	291
Trecho2_T4	02.03_T2_08102014	10/10/2014	02.05_T2_04062015	08/06/2015	241
Trecho2_T5	02.08_T2_08032016	09/03/2016	02.09_T2_11112016	11/11/2016	247
Trecho2_T6	02.10_T2_21122016	21/12/2016	02.11A_T2_27012017	27/01/2017	37
	02.11A_T2_27012017	27/01/2017	02.12_T2_12062017	14/06/2017	138
	02.10_T2_21122016	21/12/2016	02.12_T2_12062017	14/06/2017	175

Dentre os intervalos intermediários de batimetrias dentro de um mesmo período de análise, verifica-se que o apresenta menor duração é o compreendido entre 23/01/2013 e 08/02/2013, com apenas 16 dias, e o maior entre 23/11/2013 e 30/05/2014, com 188 dias.

5.2.2 Diferenças Volumétricas

Uma vez geradas as superfícies batimétricas de cada um dos levantamentos contemplados nos períodos de análise, procedeu-se com o cálculo da diferença volumétrica entre as mesmas a partir da subtração de seus dados verticais.

Para todos os períodos de análise, quando aplicável, houve a subtração das superfícies batimétricas subsequentes relativas aos levantamentos intermediários, bem como entre as superfícies referentes aos levantamentos iniciais e finais de cada período.

Os resultados obtidos através dos procedimentos supracitados são apresentados na Tabela 17. No âmbito da análise dos dados gerados a partir da diferença entre duas superfícies batimétricas, o quantitativo de assoreamento representa o ganho total volumétrico observado nas áreas do Trecho 2 onde

ocorreram perdas de profundidade, enquanto o quantitativo de erosão representa a perda total volumétrica observada nas áreas do Trecho 2 onde ocorreram aumentos de profundidade. A diferença entre o volume assoreado e o erodido configura-se no balanço sedimentar observado para o período avaliado.

Tabela 17 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Assoreamento (m³)	Vol. Erosão (m³)	Balanço Sed. (m³)
Trecho2_T1	12/05/2011	28/06/2011	47	256.712,17	24.199,48	232.512,69
	28/06/2011	17/07/2011	19	205.467,35	181.905,17	23.562,18
	17/07/2011	02/12/2011	138	420.942,77	139.638,79	281.303,98
	02/12/2011	29/12/2011	27	216.744,00	30.020,70	186.723,30
	29/12/2011	22/02/2012	55	29.326,57	183.754,15	-154.427,58
	12/05/2011	22/02/2012	286	643.159,78	73.485,23	569.674,55
Trecho2_T2	14/07/2012	21/08/2012	38	55.899,36	157.230,02	-101.330,66
	21/08/2012	18/09/2012	28	141.629,47	44.875,42	96.754,05
	18/09/2012	22/10/2012	34	51.200,46	101.485,78	-50.285,32
	22/10/2012	12/11/2012	21	207.946,40	15.365,16	192.581,24
	12/11/2012	08/12/2012	26	203.872,28	27.181,76	176.690,52
	08/12/2012	23/01/2013	46	56.190,31	123.291,04	-67.100,73
	23/01/2013	08/02/2013	16	59.102,21	96.824,23	-37.722,02
	08/02/2013	08/03/2013	28	31.759,52	121.878,53	-90.119,01
Trecho2_T3	14/07/2012	08/03/2013	237	277.283,68	157.815,61	119.468,07
	23/11/2013	30/05/2014	188	102.430,35	318.270,58	-215.840,23
	30/05/2014	10/09/2014	103	104.929,80	70.022,03	34.907,77
Trecho2_T4	23/11/2013	10/09/2014	291	387.429,66	136.681,68	250.747,98
	10/10/2014	08/06/2015	241	27.1686,52*	30.299,43	241.387,09
Trecho2_T5	09/03/2016	11/11/2016	247	176.601,42	76.542,65	100.058,77
Trecho2_T6	21/12/2016	27/01/2017	37	45.310,44	91.702,17	-46.391,73
	27/01/2017	14/06/2017	138	205.074,73**	154.967,15	50.107,58
	21/12/2016	14/06/2017	175	202.870,62	199.154,78	3.715,84

*Somado o volume estimado dragado em 09 ciclos efetuados pela draga Lelystad entre 13/05 e 02/06/2015, equivalente a 55.679,40m³.

**Somado o volume estimado dragado em 04 ciclos efetuados pela draga Pearl River entre 17 e 18/02/2017, equivalente a 57.912,00m³.

Assim como para o Trecho 1, observa-se a ocorrência de períodos com balanços negativos, existindo perdas expressivas de material mesmo sem intervenções de dragagem, como o observado entre 23/11/2013 e 30/05/2014. No entanto, de modo geral, verifica-se uma tendência deposicional para o ambiente, sendo que aproximadamente 65% dos intervalos avaliados apresentaram balanço sedimentar positivo.

Dentre os períodos de análise, o compreendido entre os dias 12/05/2011 e 22/02/2012, com duração de 286 dias, foi o que apresentou o maior volume de assoreamento e de balanço sedimentar resultante, de 643.159,78 m³ e +569.674,55 m³, respectivamente. Não obstante, proporcionalmente, o maior quantitativo de volume assoreado no menor espaço de tempo foi observado entre 28/06/2011 e 17/07/2011, com 205.467,35 m³, enquanto a maior variação positiva de balanço

sedimentar no menor espaço de tempo, de +192.581,24 m³, foi verificada entre 22/10/2012 e 12/11/2012.

No tocante aos volumes erodidos, o maior valor foi constatado entre os dias 23/11/2013 e 30/05/2014 (188 dias de duração), com 318.270,58 m³, acompanhado do menor volume de balanço sedimentar resultante, de -215.840,23 m³. Proporcionalmente, o maior o volume erodido no menor espaço de tempo é observado entre 28/06/2011 e 17/07/2011, com uma perda de 181.905,17 m³.

5.2.3 Balanço Sedimentar

5.2.3.1 Intervalos de Análise

Sabendo-se dos intervalos temporais entre duas superfícies batimétricas e das diferenças volumétricas geradas a partir da sua subtração, é possível calcular as taxas diárias de erosão e assoreamento para os períodos de análise. As taxas obtidas para cada um dos intervalos considerados para o Trecho 2 são apresentadas na Tabela 18.

A maiores taxas de assoreamento e de erosão foram observadas para o período compreendido entre 28/06/2011 e 17/07/2011, com 10.814,07 m³/dia e -9.573,96 m³/dia, respectivamente.

A taxa resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi observada entre 22/10/2012 e 12/11/2012, com +9.170,54 m³/dia. Já a menor valor de taxa resultante, de -3.218,54 m³/dia, foi observado entre 08/02/2013 e 08/03/2013.

Considerando-se os quantitativos referentes aos períodos de análises, contemplando aqueles em que ocorreram ciclos de dragagem, a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 2 do Canal de Navegação foi de 3.464,84 m³/dia. No entanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de, aproximadamente, +1.067,46 m³/dia. Em uma situação hipotética, onde a respectiva taxa se mantivesse constante todos os dias do ano (no caso, o valor livre de arredondamento), o volume total depositado (remanescente) no Trecho 2 ao final de um período anual seria de 389.622,16 m³.

Desconsiderando dos cálculos os períodos de análise em que ocorreram ciclos de dragagem, tem-se que a taxa média de assoreamento obtida para o Trecho 2 é de 3.718,74 m³/dia, enquanto a taxa média resultante do balanço sedimentar é de, aproximadamente, +1.112,76 m³/dia. Em uma situação hipotética, onde a respectiva

taxa se mantivesse constante todos os dias do ano (no caso, o valor livre de arredondamento), o volume total depositado (remanescente) no Trecho 2 ao final de um período anual seria de 406.159,06 m³.

Tabela 18 - Taxas de assoreamento, de erosão e balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 2 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Tx. Ass. (m ³ /dia)	Tx. Erosão (m ³ /dia)	Tx. Bal. (m ³ /dia)
Trecho2_T1	12/05/2011	28/06/2011	47	5.461,96	-514,88	4.947,08
	28/06/2011	17/07/2011	19	10.814,07	-9.573,96	1.240,11
	17/07/2011	02/12/2011	138	3.050,31	-1.011,88	2.038,43
	02/12/2011	29/12/2011	27	8.027,56	-1.111,88	6.915,68
	29/12/2011	22/02/2012	55	533,21	-3.340,98	-2.807,77
	12/05/2011	22/02/2012	286	2.248,81	-256,94	1.991,87
Trecho2_T2	14/07/2012	21/08/2012	38	1.471,04	-4.137,63	-2.666,60
	21/08/2012	18/09/2012	28	5.058,20	-1.602,69	3.455,50
	18/09/2012	22/10/2012	34	1.505,90	-2.984,88	-1.478,98
	22/10/2012	12/11/2012	21	9.902,21	-731,67	9.170,54
	12/11/2012	08/12/2012	26	7.841,24	-1.045,45	6.795,79
	08/12/2012	23/01/2013	46	1.221,53	-2.680,24	-1.458,71
	23/01/2013	08/02/2013	16	3.693,89	-6.051,51	-2.357,63
	08/02/2013	08/03/2013	28	1.134,27	-4.352,80	-3.218,54
14/07/2012	08/03/2013	237	1.169,97	-665,89	504,08	
Trecho2_T3	23/11/2013	30/05/2014	188	544,84	-1.692,93	-1.148,09
	30/05/2014	10/09/2014	103	1.018,74	-679,83	338,91
	23/11/2013	10/09/2014	291	1.331,37	-469,70	861,68
Trecho2_T4	10/10/2014	08/06/2015	241	1.127,33	-125,72	1.001,61
Trecho2_T5	09/03/2016	11/11/2016	247	714,99	-309,89	405,10
Trecho2_T6	21/12/2016	27/01/2017	37	1.224,61	-2.478,44	-1.253,83
	27/01/2017	14/06/2017	138	1.486,05	-1.122,95	363,10
	21/12/2016	14/06/2017	175	1.159,26	-1.138,03	21,23
Média A*				3.464,84	-2.397,38	1.067,46
Média B**				3.718,74	-2.605,97	1.112,76

*Foram desconsideradas as taxas obtidas sobre as diferenças volumétricas obtidas entre as subtrações das superfícies de início e término dos períodos de análise que possuem levantamentos intermediários.

**Foram desconsideradas as taxas obtidas sobre as diferenças volumétricas obtidas entre as subtrações das superfícies de início e término dos períodos de análise que possuem levantamentos intermediários, bem como aquelas calculadas para períodos onde ocorreram ciclos de dragagem (pontilhadas).

5.2.3.2 Intervalos Mensais

A partir da distribuição e somatória das taxas diárias ao longo dos períodos de análise, é possível calcular os volumes totais de assoreamento e erosão, bem como os respectivos balanços resultantes, para os meses inteiramente abarcados pelos conjuntos de dados, ou seja, para os meses em que há taxas mensuradas em todos os dias que os compõem.

A Tabela 19 demonstra os volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses em que foi possível a realização dos cálculos com base na distribuição das taxas diárias entre os anos de 2011 e 2017. Na mesma planilha

ainda são apresentados os valores médios encontrados para os respectivos parâmetros.

Tabela 19 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 2 do canal de navegação.

	2011			2012		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	16.529,52	103.570,52	-87.041,00
fev	-	-	-	-	-	-
mar	-	-	-	-	-	-
abr	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-
jun	179.915,16	42.623,70	137.291,46	-	-	-
jul	218.779,79	168.361,43	50.418,36	-	-	-
ago	94.559,61	31.368,13	63.191,47	85.060,86	100.382,27	-15.321,41
set	91.509,30	30.356,26	61.153,04	105.565,97	66.049,18	39.516,79
out	94.559,61	31.368,13	63.191,47	130.645,91	69.999,14	60.646,77
nov	91.509,30	30.356,26	61.153,04	257.907,89	27.912,01	229.995,88
dez	221.393,94	41.055,53	180.338,41	84.205,37	71.643,93	12.561,45
	2013			2014		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	60.118,62	113.428,91	-53.310,29	16.890,11	52.480,79	-35.590,68
fev	49.676,86	133.769,50	-84.092,64	15.255,58	47.402,00	-32.146,42
mar	-	-	-	16.890,11	52.480,79	-35.590,68
abr	-	-	-	16.345,27	50.787,86	-34.442,59
mai	-	-	-	17.837,90	50.454,58	-32.616,68
jun	-	-	-	30.562,08	20.394,77	10.167,31
jul	-	-	-	31.580,81	21.074,59	10.506,22
ago	-	-	-	31.580,81	21.074,59	10.506,22
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	-	-	-
nov	-	-	-	33.819,90	3.771,71	30.048,19
dez	16.890,11	52.480,79	-35.590,68	34.947,23	3.897,44	31.049,79
	2015			2016		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	34.947,23	3.897,44	31.049,79	-	-	-
fev	31.565,24	3.520,27	28.044,97	-	-	-
mar	34.947,23	3.897,44	31.049,79	-	-	-
abr	33.819,90	3.771,71	30.048,19	21.449,57	9.296,68	12.152,89
mai	34.947,23	3.897,44	31.049,79	22.164,55	9.606,57	12.557,98
jun	-	-	-	21.449,57	9.296,68	12.152,89
jul	-	-	-	22.164,55	9.606,57	12.557,98
ago	-	-	-	22.164,55	9.606,57	12.557,98
set	-	-	-	21.449,57	9.296,68	12.152,89
out	-	-	-	22.164,55	9.606,57	12.557,98
nov	-	-	-	-	-	-
dez	-	-	-	-	-	-
	2017			Média		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	33.551,10	68.686,35	-35.135,26
fev	-	-	-	34.526,76	54.033,59	-19.506,83
mar	-	-	-	32.634,95	30.396,56	2.238,39
abr	-	-	-	29.049,05	24.386,19	4.662,86
mai	-	-	-	30.254,30	24.692,51	5.561,79
jun	-	-	-	77.308,93	24.105,05	53.203,89
jul	-	-	-	90.841,72	66.347,53	24.494,19
ago	-	-	-	58.341,46	40.607,89	17.733,57
set	145.764,43	9.774,04	135.990,38	72.841,61	35.234,04	37.607,57
out	136.790,90	14.612,02	122.178,88	82.456,69	36.991,28	45.465,41
nov	-	-	-	127.745,70	20.679,99	107.065,70
dez	-	-	-	89.359,16	42.269,42	47.089,74
Somatório				758.911,43	468.430,41	290.481,02

Dentre o período de análise, observa-se que o mês de novembro de 2012 foi o que apresentou o maior quantitativo de volume de assoreamento, com 257.907,89 m³. De maneira oposta, o mês de fevereiro de 2014 foi o que teve o menor volume assoreado, com apenas 15.255,58 m³. A média dos volumes mensais de assoreamento apresentou um valor de 63.242,62 m³.

Já para os volumes erodidos, tem-se que o mês de julho de 2011 foi o que apresentou o maior quantitativo, com 168.361,43 m³, enquanto o menor valor pode ser observado no mês de fevereiro de 2015, de 3.250,27 m³. A média obtida para os volumes mensais de erosão é de 39.035,84 m³.

Acompanhando o maior volume mensal de assoreamento identificado na série analisada, o maior valor de balanço sedimentar resultante foi constatado no mês de novembro de 2012, com +229.995,88 m³, enquanto o menor é encontrado no mês de janeiro de 2012, com -87.041,00 m³. A média obtida para os volumes mensais de balanço sedimentar é de +24.206,75 m³.

Foram calculadas as médias dos volumes assoreados para cada um dos meses do ano, sendo que o maior valor, de 127.745,70 m³, é observado para o mês de novembro, seguido pelo mês de julho com 90.841,72 m³. O mês de abril foi o que apresentou a menor média de volume de assoreamento, com 29.049,05 m³. A partir da somatória das médias mensais encontradas, foi possível estimar o quantitativo médio de assoreamento anual para o Trecho 2 do canal de navegação, que apresentou um valor de 758.911,43 m³.

No tocante às médias mensais dos volumes erodidos, tem-se que o mês de janeiro apresenta o maior valor, com 68.686,35 m³. O menor valor pode ser constatado para o mês de novembro, com 20.679,99 m³. O volume médio de erosão anual para o Trecho 2 encontrado foi de 468.430,41 m³.

Para os volumes decorrentes do balanço sedimentar resultante, demonstrados na Figura 32, o mês que apresentou a maior média mensal foi novembro, com +107.065,70 m³. A menor valor médio foi encontrado para o mês de janeiro, com -35.135,26 m³, seguido pelo mês de fevereiro, com -19.506,83 m³, ambos apresentando uma tendência erosiva.

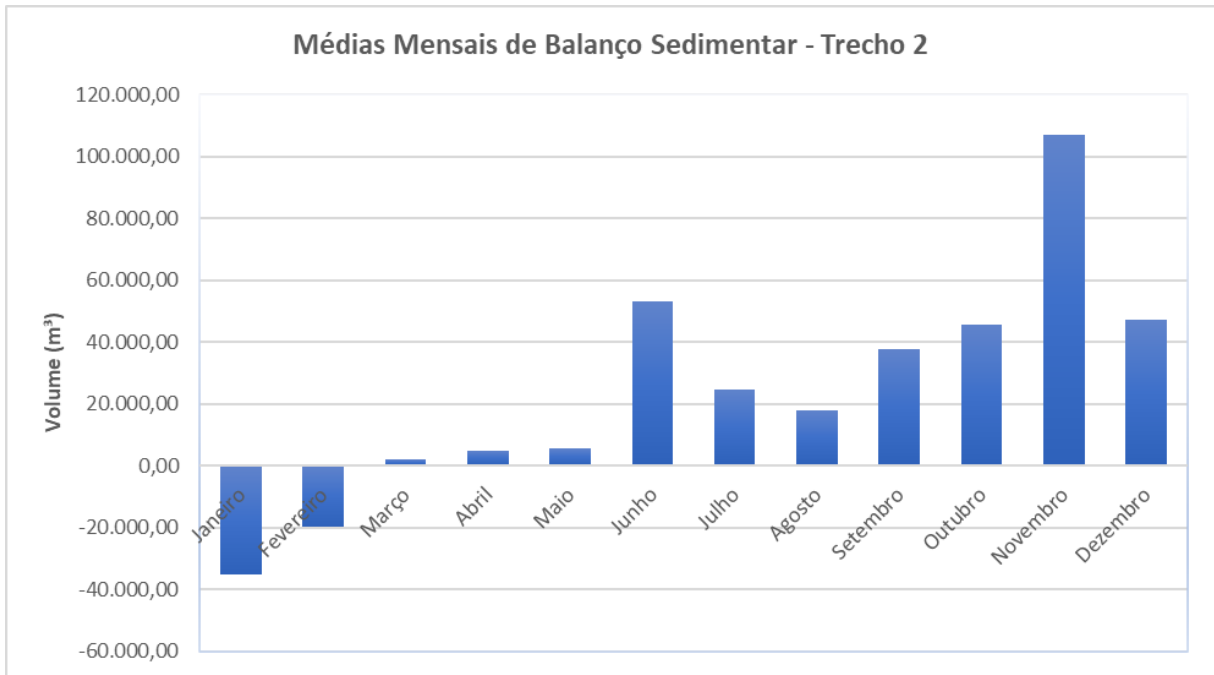


Figura 32 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 2 do canal de navegação.

Observa-se a predominância de médias positivas para o balanço sedimentar resultante, em que pese a verificação da existência de uma tendência erosiva nos meses de janeiro e fevereiro. Valores positivos mais representativos para o balanço sedimentar resultante somente podem ser observados a partir de junho, sendo que os quantitativos médios verificados entre março e maio se demonstram irrisórios.

A partir da somatória das médias mensais, observa-se que o quantitativo médio anual do balanço sedimentar resultante para o respectivo trecho é de +290.481,02 m³, número este que representa o volume estimado que remanesce depositado na área sob análise após o período de um ano sem dragagem.

Na Figura 33 são apresentadas as porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+290.481,02 m³).

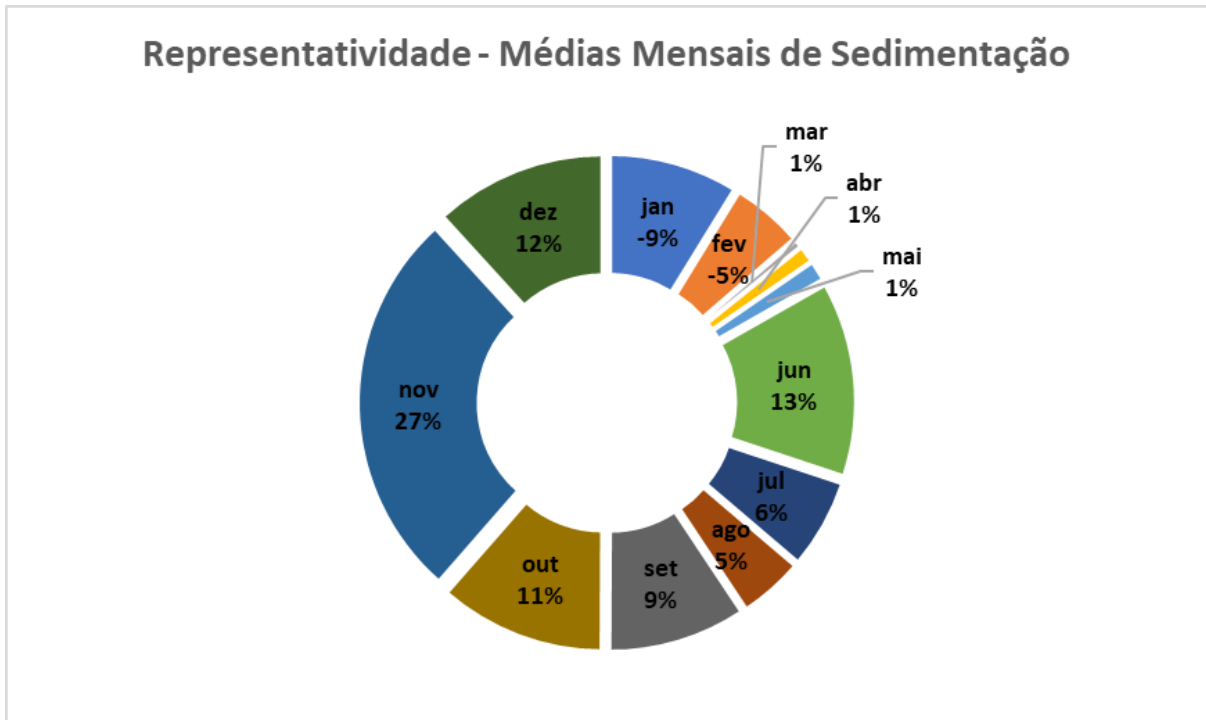


Figura 33 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+290.481,02 m³), para o Trecho 2 do Canal de Navegação.

A Figura 34, apresentada a seguir, demonstra o gráfico de dispersão contendo a linha de tendência referente à equação polinomial de terceiro grau obtida com base nos valores médios mensais de balanço sedimentar resultante do Trecho 2 do canal de navegação ao longo do período de um ano, estimados no presente estudo.

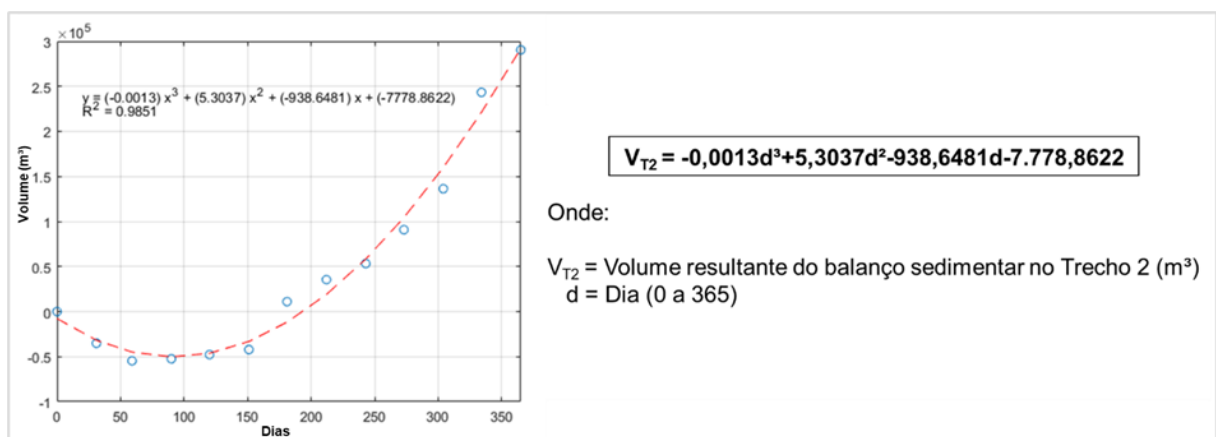


Figura 34 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 2 (m³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação ($R^2=0,9851$).

5.2.3.3 Taxas Diárias

As taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais de toda a série de dados, são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 2 do canal de navegação.

Mês	Assoreamento (m³/dia)	Erosão (m³/dia)	Bal. Sedimentar (m³/dia)
Janeiro	1.082,29	-2.215,69	-1.133,40
Fevereiro	1.233,10	-1.929,77	-696,67
Março	1.052,74	-980,53	72,21
Abril	968,30	-812,87	155,43
Maio	975,95	-796,53	179,41
Junho	2.576,96	-803,50	1.773,46
Julho	2.930,38	-2.140,24	790,14
Agosto	1.881,98	-1.309,93	572,05
Setembro	2.428,05	-1.174,47	1.253,59
Outubro	2.659,89	-1.193,27	1.466,63
Novembro	4.258,19	-689,33	3.568,86
Dezembro	2.882,55	-1.363,53	1.519,02
Média	2.077,53	-1.284,14	793,39

A maior taxa diária de assoreamento, de 4.258,19 m³/dia, foi encontrada para o mês de novembro. Já a taxa de erosão mais expressiva foi verificada no mês de janeiro, com -2.215,69 m³/dia.

A taxa diária resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi a observada no mês de novembro, com +3.568,86 m³/dia, enquanto o menor valor foi verificado no mês de janeiro, com -1.133,40 m³/dia.

A taxa média de assoreamento calculada com base nos volumes médios mensais para o Trecho 2 do canal de navegação foi de 2.077,53 m³/dia. Entretanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar, com base nos volumes médios mensais, é de +793,39 m³/dia.

O gráfico contido na Figura 35 demonstra as taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano.

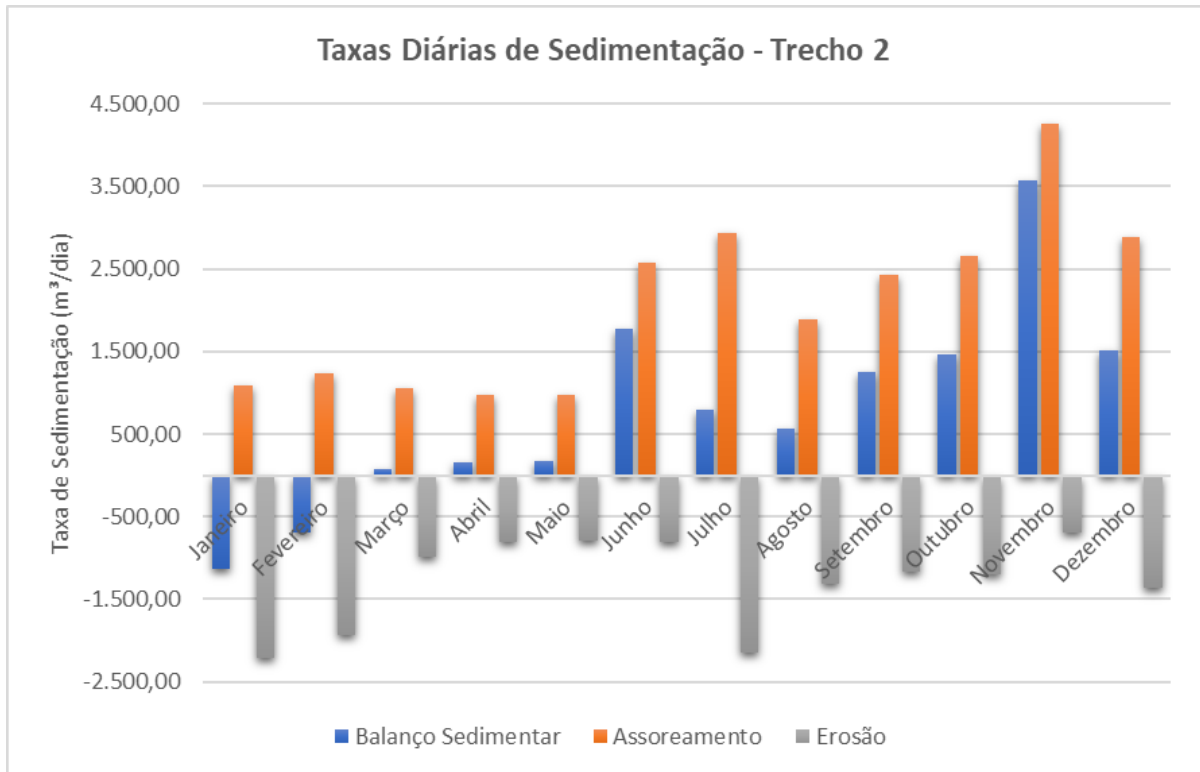


Figura 35 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 2 do canal de navegação.

5.3 Trecho 3 do Canal de Navegação

A seguir serão apresentados os resultados obtidos especificamente para o Trecho 3 do canal de navegação, compreendido aproximadamente entre o Terminal de Passageiros e o Armazém 07.

Na Tabela 21 são demonstradas as principais características do Trecho 3, considerando a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

Tabela 21 - Dados gerais do Trecho 3 do canal de navegação.

Nome	Trecho 3
Data de Implantação	30/12/2010
Coordenadas do Início	366954,9 E; 7350376,2 N (UTM 23S)
Coordenadas do Término	365395,3 E; 7353023,2 N (UTM 23S)
Extensão	3.440,00 m
Largura de Referência	220,00 m
Área	933.151,63 m ²
Profundidade de Projeto	15,00 m (DHN)

A Figura 36 apresenta os limites espaciais do Trecho 3, tendo em vista a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

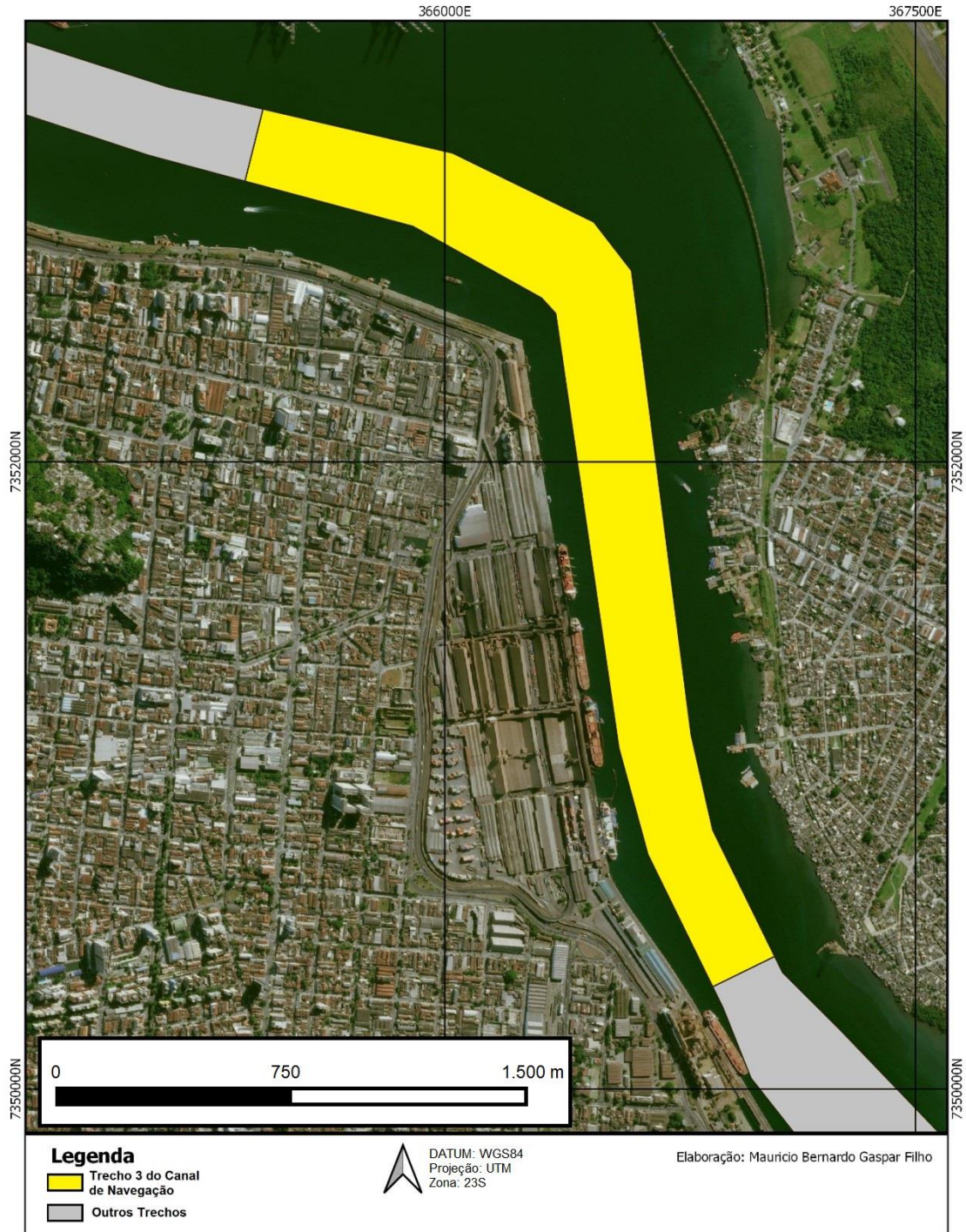


Figura 36 - Delimitação do Trecho 3 do canal de navegação.

5.3.1 Períodos de Análise

Conforme já explicado anteriormente, os períodos de análise selecionados para o presente estudo configuram-se em intervalos temporais em que, preferencialmente, não ocorreram intervenções de dragagem, permanecendo as áreas de interesse sob a natural e contínua ação dos processos sedimentares atuantes, ao mesmo passo em que houve a realização de levantamentos batimétricos para fins de acompanhamento da evolução do fundo.

A partir do cruzamento dos dados relativos aos ciclos de dragagem com as datas dos levantamentos batimétricos executados no Trecho 3, verifica-se a existência de 07 (sete) períodos que podem ser efetivamente utilizados para a realização das análises previstas. Deve-se ressaltar que a determinação dos períodos analíticos também levou em conta a disponibilidade de dados batimétricos, sendo que, em certas ocasiões, intervalos potenciais tiveram que ser descartados em decorrência da ausência de dados de determinados levantamentos.

O gráfico apresentado na Figura 37 elucida os períodos selecionados para a realização das análises em meio à cronologia das atividades de dragagem executadas no Trecho 3 entre 2011 e 2017.

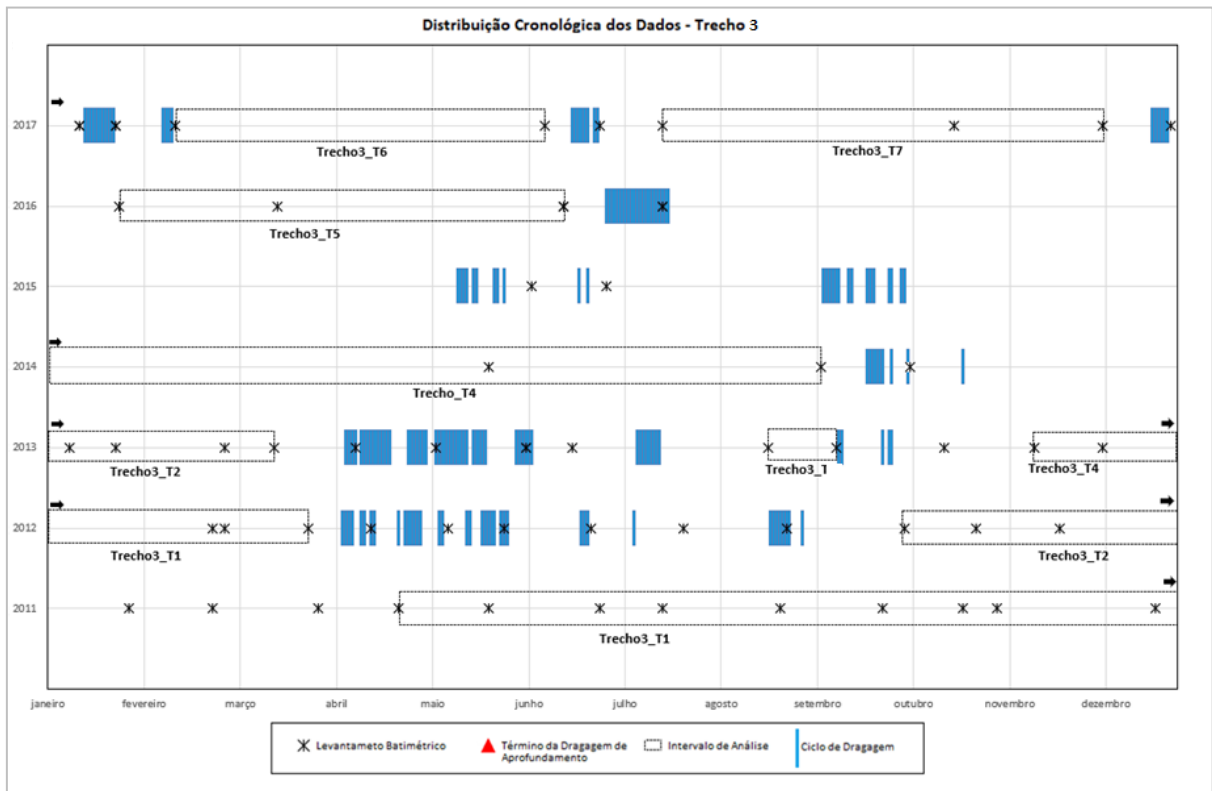


Figura 37 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 3 do canal de navegação.

Pode ser observado na figura acima que as operações de dragagem de manutenção do Trecho 3 do canal de navegação não demonstraram uma distribuição regular ao longo dos anos, também não sendo observadas tendências de concentração de ciclos em determinadas épocas do ano, considerando o período total de análise (2011 a 2017). Deve-se atentar que nos anos de 2011, 2014 e 2015, o trecho em questão passou por longos períodos sem sofrer intervenções de dragagem.

Na Tabela 22, apresentada abaixo, são detalhadas informações pertinentes a cada um dos períodos de análise escolhidos, devendo-se reiterar que o número de dias compreendido do início ao fim de cada intervalo é calculado entre as datas de término dos levantamentos batimétricos subsequentes, especificamente para o trecho em análise. Tal detalhe se faz importante, haja vista que o tempo de execução das campanhas hidrográficas são variáveis.

Tabela 22 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 3 do canal de navegação.

Código	Início	Término	Nº Levantamentos	Cód. Lev.	Intervalo (dias)
Trecho3_T1	04/05/2011	20/03/2012	7	06_T1A4_24042011	321
				07_T1A4_23052011	
				08_T1A4_28062011	
				13_T1A4_03112011	
				13A_T1A4_24122011	
				14AA_T3_23022012	
				14_T1A4_27022012	
Trecho3_T2	09/10/2012	22/03/2013	6	21_T1A4_04102012	164
				22_T1A4_27102012	
				23_T1A4_23112012	
				25_T1A4_23012013	
				26_T1A3_27022013	
27_T1A4_15032013					
Trecho3_T3	29/08/2013	19/09/2013	2	32_T1A4_21082013	21
				33_T1A4_12092013	
Trecho3_T4	26/11/2013	08/09/2014	4	35_T1A4_15112013	286
				37_T3_07122013	
				03.01_T3_23052014	
				03.02_T3_07092014	
Trecho3_T5	24/01/2016	17/06/2016	3	03.06_T3_24012016	145
				03.07_T3_16032016	
				03.08_T3_16062016	
Trecho3_T6	11/02/2017	10/06/2017	2	03.12_T3_11022017	119
				03.13_T3_10062017	
Trecho3_T7	18/07/2017	07/12/2017	3	03.15_T3_18072017	142
				03.16_T3_20102017	
				03.17_T3_07122017	

Os detalhes de cada um dos levantamentos batimétricos codificados na planilha acima podem ser observados no catálogo contido no Anexo I do presente estudo.

Dentre os períodos selecionados, observa-se que o compreendido entre maio de 2011 e março de 2012 é que possui maior duração, com 321 dias, apresentando também o maior número de levantamentos batimétricos subsequentes, com um total de 07 batimetrias.

Tendo em vista que o número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos, inclusive os de caráter intermediário contemplados dentro de um mesmo período de análise, configura-se em um dado de interesse para o presente projeto, principalmente para o cálculo das taxas de assoreamento, tais informações são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação.

Período de Análise	Batimetria (prévia)	Data	Batimetria (pós)	Data	Intervalo (dias)
Trecho3_T1	06_T1A4_24042011	04/05/2011	07_T1A4_23052011	13/06/2011	40
	07_T1A4_23052011	13/06/2011	08_T1A4_28062011	09/07/2011	26
	08_T1A4_28062011	09/07/2011	13_T1A4_03112011	20/12/2011	164
	13_T1A4_03112011	20/12/2011	13A_T1A4_24122011	04/01/2012	15
	13A_T1A4_24122011	04/01/2012	14AA_T3_23022012	24/02/2012	51
	14AA_T3_23022012	24/02/2012	14_T1A4_27022012	20/03/2012	25
	06_T1A4_24042011	04/05/2011	14_T1A4_27022012	20/03/2012	321
Trecho3_T2	21_T1A4_04102012	09/10/2012	22_T1A4_27102012	12/11/2012	34
	22_T1A4_27102012	12/11/2012	23_T1A4_23112012	04/12/2012	22
	23_T1A4_23112012	04/12/2012	25_T1A4_23012013	24/01/2013	51
	25_T1A4_23012013	24/01/2013	26_T1A3_27022013	08/03/2013	43
	26_T1A3_27022013	08/03/2013	27_T1A4_15032013	22/03/2013	14
	21_T1A4_04102012	09/10/2012	27_T1A4_15032013	22/03/2013	164
Trecho3_T3	32_T1A4_21082013	29/08/2013	33_T1A4_12092013	19/09/2013	21
Trecho3_T4	35_T1A4_15112013	26/11/2013	37_T3_07122013	09/12/2013	13
	37_T3_07122013	09/12/2013	03.01_T3_23052014	02/06/2014	175
	03.01_T3_23052014	02/06/2014	03.02_T3_07092014	08/09/2014	98
	35_T1A4_15112013	26/11/2013	03.02_T3_07092014	08/09/2014	286
Trecho3_T5	03.06_T3_24012016	24/01/2016	03.07_T3_16032016	16/03/2016	52
	03.07_T3_16032016	16/03/2016	03.08_T3_16062016	17/06/2016	93
	03.06_T3_24012016	24/01/2016	03.08_T3_16062016	17/06/2016	145
Trecho3_T6	03.12_T3_11022017	11/02/2017	03.13_T3_10062017	10/06/2017	119
Trecho3_T7	03.15_T3_18072017	18/07/2017	03.16_T3_20102017	27/10/2017	101
	03.16_T3_20102017	27/10/2017	03.17_T3_07122017	07/12/2017	41
	03.15_T3_18072017	18/07/2017	03.17_T3_07122017	07/12/2017	142

Dentre os intervalos intermediários de batimetrias dentro de um mesmo período de análise, verifica-se que o que apresenta menor duração é o compreendido

entre 27/11/2013 e 09/12/2013, com apenas 13 dias, e o maior entre 09/12/2013 e 02/06/2014, com 175 dias.

5.3.2 Diferenças Volumétricas

Uma vez geradas as superfícies batimétricas de cada um dos levantamentos contemplados nos períodos de análise elencados no subcapítulo anterior, foi procedido o cálculo da diferença volumétrica entre as mesmas a partir da subtração de seus dados verticais.

Para todos os períodos de análise, quando aplicável, houve a subtração das superfícies batimétricas subsequentes relativas aos levantamentos intermediários, bem como entre as superfícies referentes aos levantamentos iniciais e finais de cada período.

Os resultados obtidos por meio das subtrações são apresentados na Tabela 24. No âmbito da análise dos dados gerados a partir da diferença entre duas superfícies batimétricas, o quantitativo de assoreamento representa o ganho total volumétrico observado nas áreas do Trecho 3 onde ocorreram perdas de profundidade, enquanto o quantitativo de erosão representa a perda total volumétrica observada nas áreas do Trecho 3 onde ocorreram aumentos de profundidade. A diferença entre o volume assoreado e o erodido configura-se no balanço sedimentar observado para o período avaliado.

Tabela 24 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Assoreamento (m³)	Vol. Erosão (m³)	Balanco Sed. (m³)
Trecho3_T1	04/05/2011	13/06/2011	40	110.551,71	113.062,72	-2.511,01
	13/06/2011	09/07/2011	26	104.648,85	53.733,08	50.915,77
	09/07/2011	20/12/2011	164	202.605,49	59.926,82	142.678,67
	20/12/2011	04/01/2012	15	102.404,49	98.801,92	3.602,57
	04/01/2012	24/02/2012	51	137.727,25	68.509,71	69.217,54
	24/02/2012	20/03/2012	25	152.184,52	43.437,82	108.746,70
Trecho3_T2	04/05/2011	20/03/2012	321	415.450,50	42.800,26	372.650,24
	09/10/2012	12/11/2012	34	86.443,72	19.650,11	66.793,61
	12/11/2012	04/12/2012	22	102.295,24	35.158,69	67.136,55
	04/12/2012	24/01/2013	51	98.290,03	55.848,04	42.441,99
	24/01/2013	08/03/2013	43	59.260,14	33.961,67	25.298,47
	08/03/2013	22/03/2013	14	49.932,89	28.291,46	21.641,43
Trecho3_T3	09/10/2012	22/03/2013	164	276.938,90	53.626,87	223.312,03
Trecho3_T3	29/08/2013	19/09/2013	21	46.552,04	57.849,98	-11.297,94
Trecho3_T4	26/11/2013	09/12/2013	13	42.879,93	34.096,67	8.783,26
	09/12/2013	02/06/2014	175	203.908,87	107.942,31	95.966,56
	02/06/2014	08/09/2014	98	52.619,59	35.675,50	16.944,09
	26/11/2013	08/09/2014	286	249.376,14	127.682,22	121.693,92
Trecho3_T5	24/01/2016	16/03/2016	52	97.094,59	8.374,63	88.719,96
	16/03/2016	17/06/2016	93	46.252,25	40.766,01	5.486,24
	24/01/2016	17/06/2016	145	115.137,08	20930,88	94.206,20
Trecho3_T6	11/02/2017	10/06/2017	119	71.573,70	213010,7	-141.437,00
Trecho3_T7	18/07/2017	27/10/2017	101	132.588,48	21604,07	110.984,41
	27/10/2017	07/12/2017	41	52.016,30	12215,31	39.800,99
	18/07/2017	07/12/2017	142	169.772,52	18987,12	150.785,40

Deve-se ressaltar que foram observados períodos com balanços negativos, existindo perdas expressivas de material mesmo sem intervenções de dragagem, como o observado entre 11/02/2017 e 10/06/2017. No entanto, de modo geral, observa-se uma tendência deposicional para o ambiente, sendo que aproximadamente 88% dos intervalos avaliados apresentaram balanço sedimentar positivo.

Dentre os períodos de análise, verifica-se que o período compreendido entre os dias 04/05/2011 e 20/03/2012, com duração de 286 dias, foi o que apresentou os maiores volumes de assoreamento e de balanço sedimentar resultante, de 415.450,50 m³ e +372.650,24 m³, respectivamente. Não obstante, proporcionalmente, o maior quantitativo de volume assoreado no menor espaço de tempo foi observado entre 20/12/2011 e 04/01/2012 (15 dias), com um ganho 102.404,49 m³, enquanto a maior variação positiva de balanço sedimentar no menor espaço de tempo, de +108.746,70 m³, foi verificada entre 24/02/2012 e 20/03/2012 (25 dias).

No tocante aos volumes erodidos, o valor mais expressivo foi constatado entre os dias 11/02/2017 e 10/06/2017 (119 dias de duração), em que foi quantificada uma perda de 213.010,70 m³, acompanhado do menor volume de balanço sedimentar

resultante, de -141.437,00 m³. Proporcionalmente, o maior o volume erodido no menor espaço de tempo pode ser observado entre 20/12/2011 e 04/01/2012, com 98.801,92 m³.

5.3.3 Balanço Sedimentar

5.3.3.1 Intervalos de Análise

Sabendo-se dos intervalos temporais entre duas superfícies batimétricas e das diferenças volumétricas geradas a partir da sua subtração, é possível calcular as taxas diárias de erosão, assoreamento e balanço sedimentar resultante para os períodos de análise. As taxas obtidas para cada um dos intervalos considerados para o Trecho 3 são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 3 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Tx. Ass. (m ³ /dia)	Tx. Erosão (m ³ /dia)	Tx. Bal. (m ³ /dia)
Trecho3_T1	04/05/2011	13/06/2011	40	2.763,79	-2.826,57	-62,78
	13/06/2011	09/07/2011	26	4.024,96	-2.066,66	1.958,30
	09/07/2011	20/12/2011	164	1.235,40	-365,41	869,99
	20/12/2011	04/01/2012	15	6.826,97	-6.586,79	240,17
	04/01/2012	24/02/2012	51	2.700,53	-1.343,33	1.357,21
	24/02/2012	20/03/2012	25	6.087,38	-1.737,51	4.349,87
Trecho3_T2	04/05/2011	20/03/2012	321	1.294,24	-133,33	1.160,90
	09/10/2012	12/11/2012	34	2.542,46	-577,94	1.964,52
	12/11/2012	04/12/2012	22	4.649,78	-1.598,12	3.051,66
	04/12/2012	24/01/2013	51	1.927,26	-1.095,06	832,20
	24/01/2013	08/03/2013	43	1.378,14	-789,81	588,34
	08/03/2013	22/03/2013	14	3.566,64	-2.020,82	1.545,82
Trecho3_T3	09/10/2012	22/03/2013	164	1.688,65	-326,99	1.361,66
Trecho3_T4	29/08/2013	19/09/2013	21	2.216,76	-2.754,76	-538,00
	26/11/2013	09/12/2013	13	3.298,46	-2.622,82	675,64
	09/12/2013	02/06/2014	175	1.165,19	-616,81	548,38
	02/06/2014	08/09/2014	98	536,93	-364,04	172,90
Trecho3_T5	26/11/2013	08/09/2014	286	871,94	-446,44	425,50
	24/01/2016	16/03/2016	52	1.867,20	-161,05	1.706,15
	16/03/2016	17/06/2016	93	497,34	-438,34	58,99
Trecho3_T6	24/01/2016	17/06/2016	145	794,05	-144,35	649,70
	11/02/2017	10/06/2017	119	601,46	-1.790,01	-1.188,55
Trecho3_T7	18/07/2017	27/10/2017	101	1.312,76	-213,90	1.098,86
	27/10/2017	07/12/2017	41	1.268,69	-297,93	970,76
	18/07/2017	07/12/2017	142	1.195,58	-133,71	1.061,87
Média*				2.523,41	-1.513,38	1.010,02

*Foram desconsideradas as taxas obtidas sobre as diferenças volumétricas obtidas entre as subtrações das superfícies de início e término dos períodos de análise que possuem levantamentos intermediários.

A taxas mais expressivas de assoreamento e de erosão foram observadas para o período compreendido entre 20/12/2011 e 04/01/2012, com 6.826,97 m³/dia e -6.586,79 m³/dia, respectivamente.

A taxa resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi observada entre 24/02/2012 e 20/03/2012, com +4.349,87 m³/dia. Já a menor taxa resultante, de -1.188,55 m³/dia, foi observada entre 11/02/2017 e 10/06/2017.

Considerando-se os quantitativos referentes aos períodos de análises, a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 3 do canal de navegação foi de +2.523,41 m³/dia. No entanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de +1.010,02 m³/dia, aproximadamente.

Em uma situação hipotética onde a taxa média resultante do balanço sedimentar se mantivesse constante todos os dias do ano (no caso, considerando o valor sem arredondamento), o volume total depositado (remanescente) no Trecho 3 ao final de um período anual seria de 368.657,61 m³.

5.3.3.2 *Intervalos Mensais*

A partir da distribuição e somatória das taxas diárias ao longo dos períodos de análise, é possível calcular os volumes totais de assoreamento e erosão, bem como os respectivos balanços resultantes, para os meses inteiramente abarcados pelos conjuntos de dados, ou seja, para os meses em que as referidas taxas foram mensuradas em todos os dias que os compõem.

A Tabela 26, apresentada abaixo, demonstra os volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses em que foi possível a realização dos cálculos com base na distribuição das taxas diárias entre os anos de 2011 e 2017. Na mesma planilha ainda são apresentados os valores médios encontrados para os respectivos parâmetros.

Tabela 26 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 3 do canal de navegação.

	2011			2012		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	96.095,86	57.373,56	38.722,30
fev	-	-	-	92.549,19	39.584,10	52.965,09
mar	-	-	-	-	-	-
abr	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-
jun	105.614,72	71.118,64	34.496,08	-	-	-
jul	60.613,83	24.937,63	35.676,20	-	-	-
ago	38.297,38	11.327,63	26.969,75	-	-	-
set	37.061,98	10.962,22	26.099,76	-	-	-
out	38.297,38	11.327,63	26.969,75	-	-	-
nov	37.061,98	10.962,22	26.099,76	116.312,97	36.721,71	79.591,26
dez	105.396,18	85.984,28	19.411,90	67.912,50	35.456,04	32.456,47
	2013			2014		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	55.352,02	31.504,82	23.847,20	36.121,00	19.121,21	16.999,79
fev	38.588,00	22.114,58	16.473,42	32.625,42	17.270,77	15.354,65
mar	-	-	-	36.121,00	19.121,21	16.999,79
abr	-	-	-	34.955,81	18.504,40	16.451,41
mai	-	-	-	36.121,00	19.121,21	16.999,79
jun	-	-	-	16.736,30	11.173,85	5.562,45
jul	-	-	-	16.644,97	11.285,11	5.359,87
ago	-	-	-	16.644,97	11.285,11	5.359,87
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	-	-	-
nov	-	-	-	-	-	-
dez	53.187,10	35.169,27	18.017,83	-	-	-
	2015			2016		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	-	-	-
fev	-	-	-	52.281,70	4.509,42	47.772,29
mar	-	-	-	37.335,30	9.151,97	28.183,33
abr	-	-	-	14.920,08	13.150,33	1.769,75
mai	-	-	-	15.417,42	13.588,67	1.828,75
jun	-	-	-	-	-	-
jul	-	-	-	-	-	-
ago	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	-	-	-
nov	-	-	-	-	-	-
dez	-	-	-	-	-	-
	2017			Média		
	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)	Vol. Ass.(m³)	Vol. Ero.(m³)	Bal. Sed.(m³)
jan	-	-	-	62.522,96	35.999,86	26.523,10
fev	-	-	-	54.011,08	20.869,72	33.141,36
mar	41.928,85	55.490,18	-13.561,33	38.461,72	27.921,12	10.540,60
abr	40.576,31	53.700,18	-13.123,87	30.150,73	28.451,63	1.699,10
mai	41.928,85	55.490,18	-13.561,33	31.155,76	29.400,02	1.755,74
jun	-	-	-	61.175,51	41.146,24	20.029,26
jul	-	-	-	38.629,40	18.111,37	20.518,03
ago	40.695,47	6.630,95	34.064,52	31.879,28	9.747,90	22.131,38
set	39.382,72	6.417,05	32.965,67	38.222,35	8.689,64	29.532,71
out	40.475,14	7.051,12	33.424,02	39.386,26	9.189,37	30.196,89
nov	38.060,71	8.938,03	29.122,68	63.811,89	18.873,99	44.937,90
dez	-	-	-	75.498,59	52.203,19	23.295,40
Somatório				564.905,52	300.604,05	264.301,46

Dentre o período de análise, observa-se que o mês de novembro de 2012 foi o que apresentou o maior quantitativo de volume de assoreamento, com 116.312,97 m³. De maneira oposta, o mês de abril de 2016 foi o que teve o menor volume assoreado, com apenas 14.920,08 m³. A média dos volumes mensais de assoreamento apresenta um valor de 47.075,46 m³.

Já para os volumes erodidos, tem-se que o mês de dezembro de 2011 foi o que apresentou o maior quantitativo, com 85.984,28 m³, enquanto o menor valor pode ser observado no mês de fevereiro de 2016, de 4.509,42 m³. A média obtida para os volumes mensais de erosão foi de 25.050,34 m³.

Acompanhando o maior volume mensal de assoreamento identificado na série analisada, o maior valor de balanço sedimentar resultante foi constatado no mês de novembro de 2012, com +79.591,26 m³, enquanto o menor é encontrado nos meses de março e maio de 2017, com -13.561,33 m³. A média obtida para os volumes mensais resultantes do balanço sedimentar foi de +22.025,12 m³.

Foram calculadas as médias dos volumes assoreados para cada um dos meses do ano, sendo que o maior valor, de 75.498,59 m³, é observado para o mês de dezembro, seguido pelo mês de novembro com 63.811,89 m³. O mês de abril foi o que apresentou a menor média de volume de assoreamento, com 30.150,73 m³. A partir da somatória das médias mensais encontradas, foi possível estimar o quantitativo médio de assoreamento anual para o Trecho 3 do canal de navegação, que apresentou um valor de 564.905,52 m³.

No tocante às médias mensais dos volumes erodidos, tem-se que o mês de dezembro também apresenta o maior valor, com 68.686,35 m³, seguido pelo mês de junho com 41.146,24 m³. O menor valor pode ser constatado para o mês de setembro, com 8.689,64 m³. O volume médio de erosão anual para o Trecho 3 encontrado foi de 300.604,05 m³.

Para os volumes decorrentes do balanço sedimentar resultante, demonstrados na Figura 38, o mês que apresentou a maior média mensal foi novembro, com +44.937,90 m³. A menor valor médio foi encontrado para o mês de abril, com +1.699,10 m³, seguido pelo mês de maio, com +1.755,74 m³.

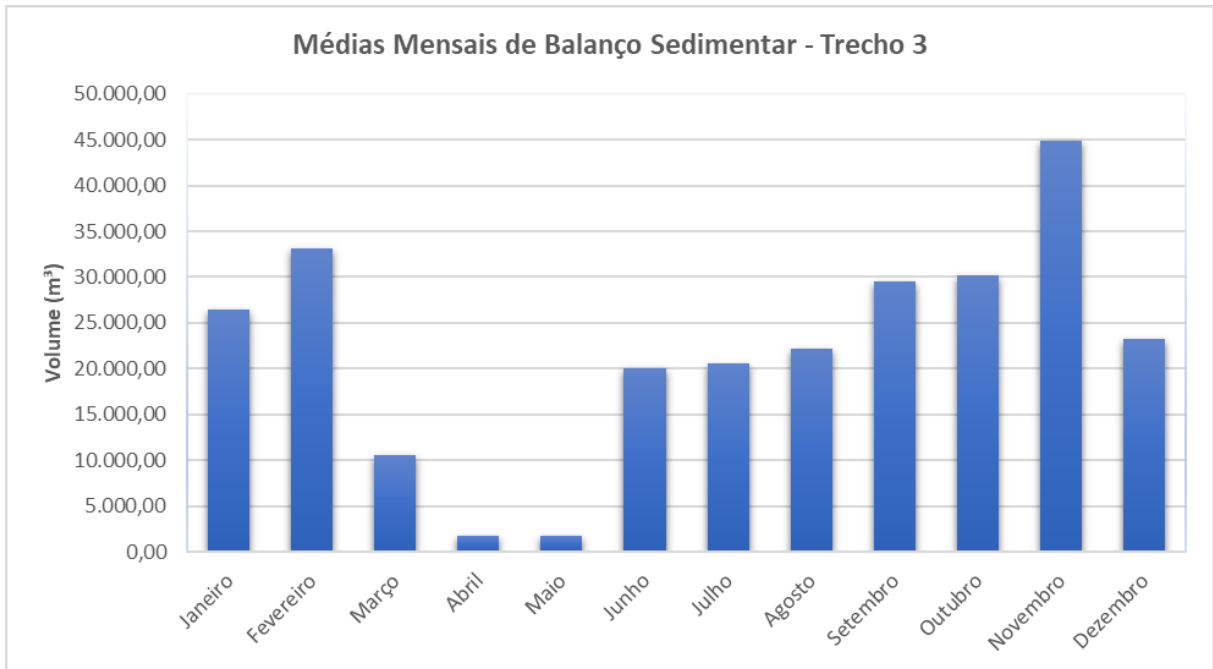


Figura 38 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 3 do canal de navegação.

Observa-se a predominância de médias positivas para o balanço sedimentar resultante ao longo de todo o ano. Os valores positivos mais expressivos para o balanço sedimentar resultante podem ser observados em meses da primavera e verão, enquanto os menos expressivos são verificados nos meses do outono e inverno, sendo que os quantitativos médios verificados entre abril e maio se demonstram irrisórios.

A partir da somatória das médias mensais, observa-se que o quantitativo médio anual do balanço sedimentar resultante para o respectivo trecho é de + 264.301,46 m³, número este que representa o volume estimado que remanesce depositado na área sob análise após o período de um ano sem dragagem.

Na Figura 39 são apresentadas as porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+264.301,46 m³). Observa-se que os volumes associados aos meses de setembro a fevereiro representam 70% do quantitativo depositado ao longo de um ano.

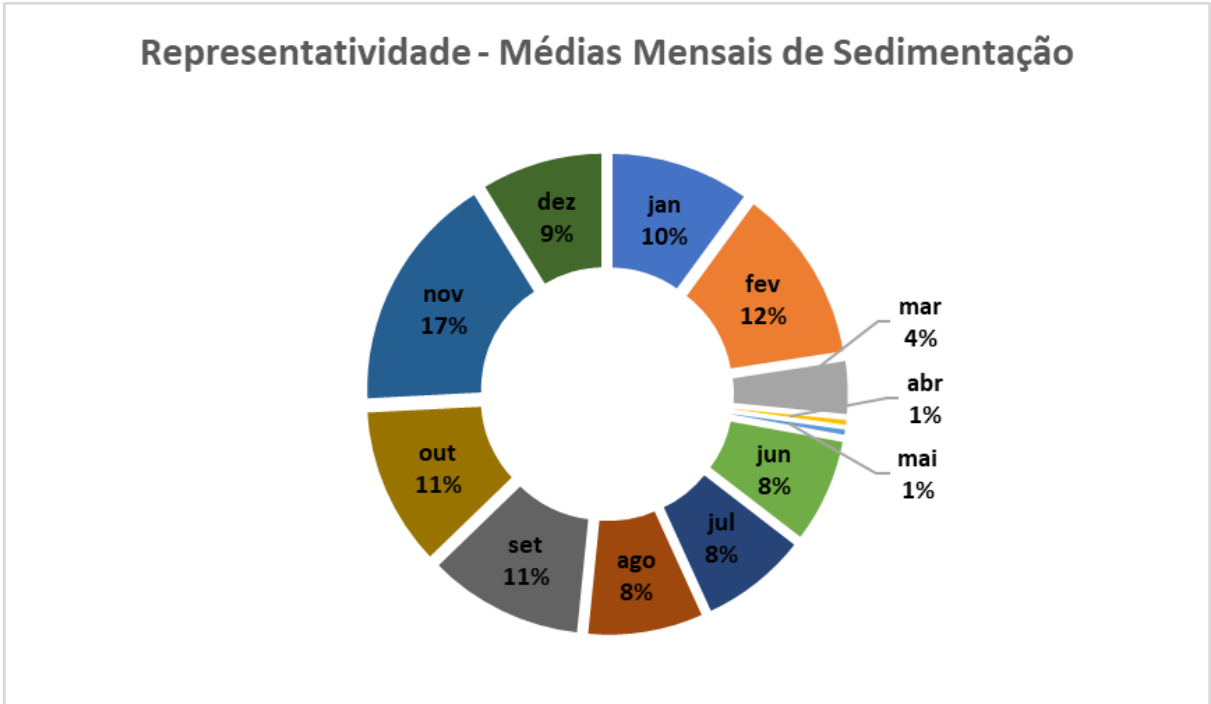


Figura 39 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+264.301,46 m³), para o Trecho 3 do canal de navegação.

Na Figura 40 é apresentado gráfico de dispersão contendo a linha de tendência referente à equação polinomial de quarto grau obtida com base nos valores médios mensais de balanço sedimentar resultante do Trecho 3 do canal de navegação ao longo do período de um ano, estimados no presente estudo.

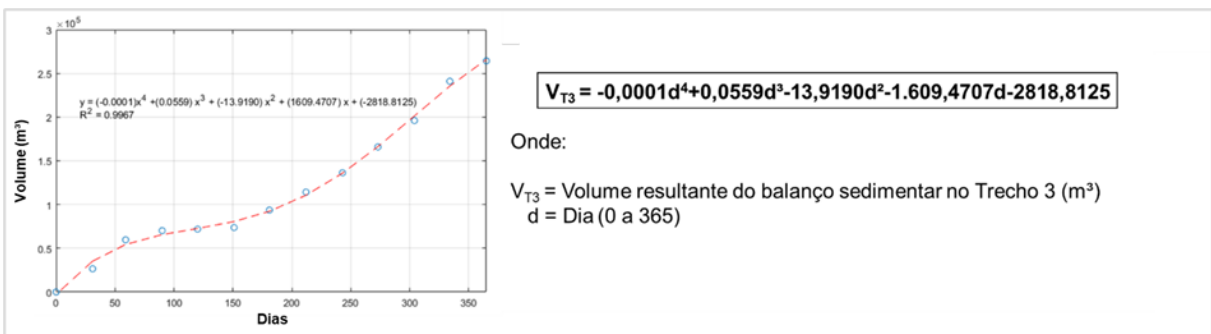


Figura 40 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 3 (m³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de quarto grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação ($R^2=0,9967$).

5.3.3.3 Taxas Diárias

As taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais de toda a série de dados, são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 3 do canal de navegação.

Mês	Assoreamento (m³/dia)	Erosão (m³/dia)	Bal. Sedimentar (m³/dia)
Janeiro	2.016,87	-1.161,29	855,58
Fevereiro	1.928,97	-745,35	1.183,62
Março	1.240,70	-900,68	340,02
Abril	1.005,02	-948,39	56,64
Maio	1.005,02	-948,39	56,64
Junho	2.039,18	-1.371,54	667,64
Julho	1.246,11	-584,24	661,87
Agosto	1.028,36	-314,45	713,92
Setembro	1.274,08	-289,65	984,42
Outubro	1.270,52	-296,43	974,09
Novembro	2.127,06	-629,13	1.497,93
Dezembro	2.435,44	-1.683,97	751,46
Média	1.551,45	-822,79	728,65

As maiores taxas diárias de assoreamento e de erosão são encontradas para o mês de dezembro, com 2.435,44 m³/dia e -1.683,97 m³/dia, respectivamente.

A taxa diária resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi a observada no mês de novembro, com +1.497,93 m³/dia, enquanto o menor valor foi verificado nos meses de abril e maio, com +56,64 m³/dia.

A taxa média de assoreamento calculada com base nos volumes médios mensais para o Trecho 3 do canal de navegação foi de 1.551,45 m³/dia. Entretanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar, com base nos volumes médios mensais, é de +728,65 m³/dia, aproximadamente.

O gráfico contido na Figura 41 demonstra as taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano.

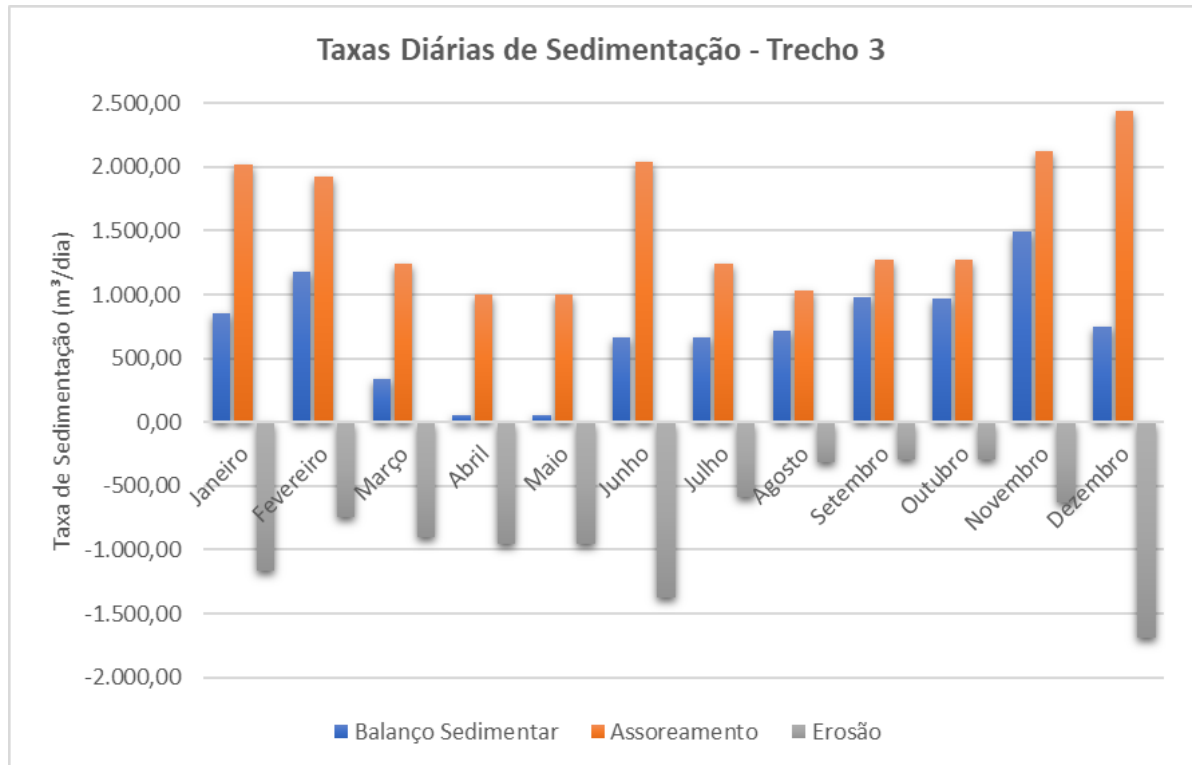


Figura 41 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 3 do canal de navegação.

5.4 Trecho 4 do Canal de Navegação

A seguir serão apresentados os resultados obtidos especificamente para o Trecho 4 do canal de navegação, que se configura no trecho mais interno, estando compreendido aproximadamente entre o Armazém 07 e o final da região da Alemoa.

Na Tabela 28 são demonstradas as principais características do Trecho 4, considerando a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

Tabela 28 - Dados gerais do Trecho 4 do canal de navegação.

Nome	Trecho 4
Data de Implantação	08/08/2011
Coordenadas do Início	365395,3 E; 7353023,2 N (UTM 23S)
Coordenadas do Término	360523,9 E; 7354648,7 N (UTM 23S)
Extensão	5.260,00 m
Largura de Referência	220,00 m
Área	1.278.971,19 m ²
Profundidade de Projeto	15,00 m (DHN)

A Figura 42 apresenta os limites espaciais do Trecho 4, tendo em vista a conformação de projeto aplicada durante o período de referência do presente estudo.

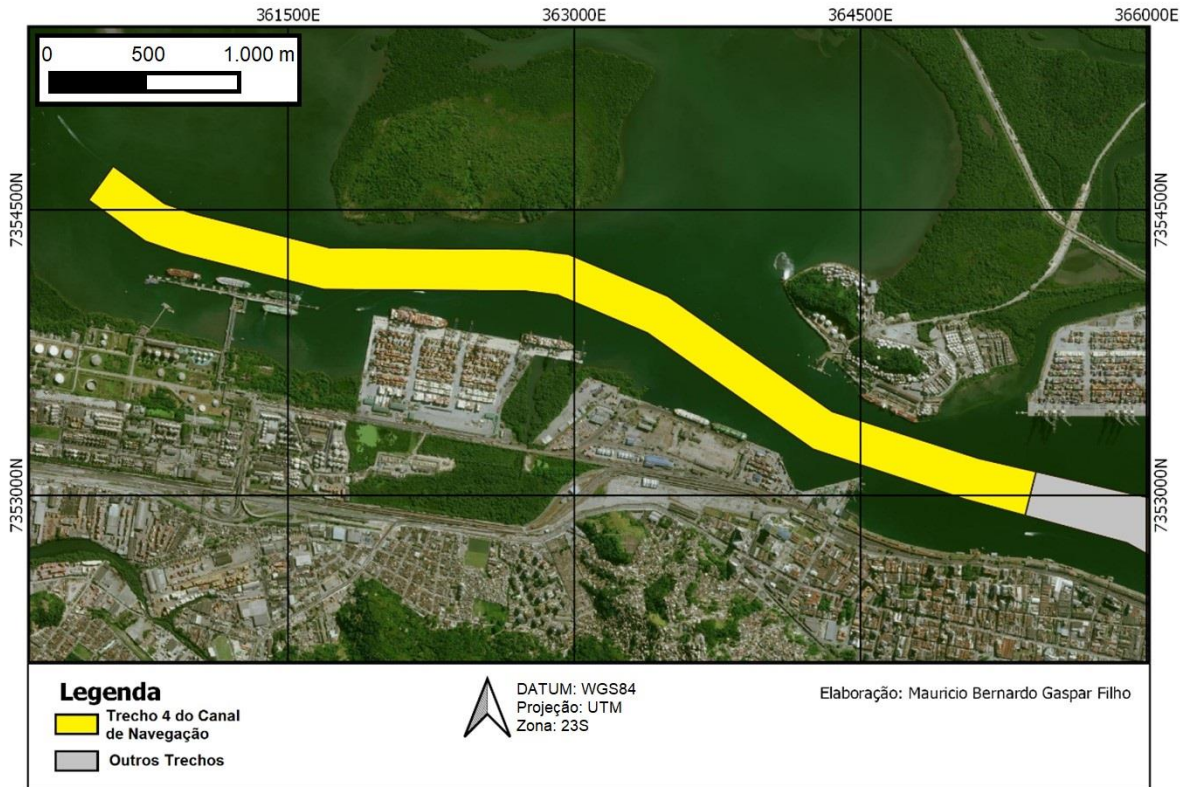


Figura 42 - Delimitação do Trecho 4 do canal de navegação.

5.4.1 Períodos de Análise

Conforme já explicado anteriormente, os períodos de análise selecionados para o presente estudo configuram-se em intervalos temporais em que, preferencialmente, não ocorreram intervenções de dragagem, permanecendo as áreas de interesse sob a natural e contínua ação dos processos sedimentares atuantes, ao mesmo passo em que houve a realização de levantamentos batimétricos para fins de acompanhamento da evolução do fundo.

A partir do cruzamento dos dados relativos aos ciclos de dragagem com as datas dos levantamentos batimétricos executados no Trecho 4, verifica-se a existência de 05 (cinco) períodos que podem ser efetivamente utilizados para a realização das análises previstas. Deve-se ressaltar que a determinação dos períodos analíticos em questão também levou em conta a disponibilidade de dados batimétricos, sendo que,

em certas ocasiões, intervalos potenciais tiveram que ser descartados em decorrência da ausência de dados de determinados levantamentos.

O gráfico apresentado na Figura 43 elucida os períodos selecionados para a realização das análises em meio à cronologia das atividades de dragagem realizadas no Trecho 4 entre 2011 e 2017.

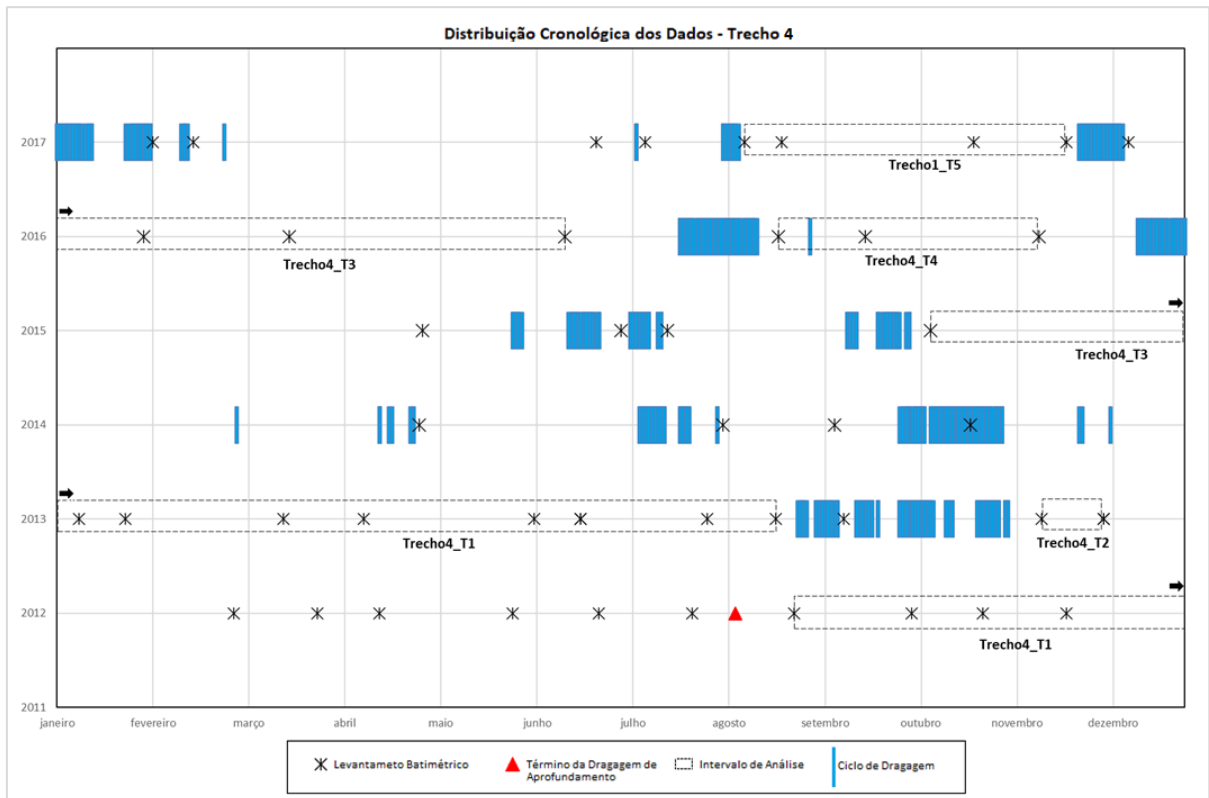


Figura 43 - Distribuição cronológica dos dados disponíveis para o Trecho 4 do canal de navegação.

Na figura acima pode ser observado que as operações de dragagem de manutenção do Trecho 4 do canal de navegação não demonstraram uma distribuição regular ao longo dos anos, também não sendo observadas tendências de concentração de ciclos em determinadas épocas do ano, considerando o período total de análise (2011 a 2017). Deve-se atentar que entre o término da dragagem de aprofundamento do respectivo trecho (08/08/2011) até o segundo semestre do ano de 2013, o Trecho 4 passou por um longo período sem receber intervenções de manutenção.

Na Tabela 29 são detalhadas informações pertinentes a cada um dos períodos de análise escolhidos, devendo-se reiterar que o número de dias

compreendido do início ao fim de cada intervalo é calculado entre as datas de término dos levantamentos batimétricos subsequentes, especificamente para o trecho em análise. Tal detalhe se faz importante, haja vista que o tempo de execução das campanhas hidrográficas são variáveis.

Tabela 29 - Detalhamento das informações dos períodos selecionados para análise do Trecho 4 do canal de navegação.

Código	Início	Término	Nº Levantamentos	Cód. Lev.	Intervalo (dias)
Trecho4_T1	17/09/2012	27/08/2013	12	20_T1A4_27082012	344
				21_T1A4_04102012	
				22_T1A4_27102012	
				23_T1A4_23112012	
				24_T1A4_08012013	
				25_T1A4_23012013	
				27_T1A4_15032013	
				28_T1A4_10042013	
				29_T1A4_04062013	
				30_T1A4_19062013	
				31_T1A4_30072013	
				32_T1A4_21082013	
Trecho4_T2	16/11/2013	06/12/2013	2	35_T1A4_15112013	20
				36_T4_05122013	
Trecho4_T3	11/10/2015	16/06/2016	3	04.09_T4_10102015	249
				04.11_T4_17032016	
				04.12_T4_14062016	
Trecho4_T4	23/08/2016	14/11/2016	3	04.13_T4_22082016	83
				04.14_T4_19092016	
				04.15_T4_14112016	
Trecho4_T5	12/08/2017	24/11/2017	4	04.20_T4_11082017	104
				04.21_T4_23082017	
				04.22_T4_24102017	
				04.23_T4_23112017	

Os detalhes de cada um dos levantamentos batimétricos codificados na planilha acima podem ser observados no catálogo contido no Anexo I do presente documento.

Dentre os períodos selecionados, observa-se que o compreendido entre setembro de 2012 e agosto de 2013 é que possui a maior duração, com 344 dias, e o maior número de levantamentos batimétricos subsequentes, com um total de 12 batimetrias.

Dada a quantidade de informações disponíveis para o período supracitado, que cobre quase que inteiramente um intervalo anual, o mesmo será tratado em item específico, de modo que possam ser avaliados de forma detalhada os padrões naturais de sedimentação durante um período quase que anual.

Tendo em vista que o número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos, inclusive os de caráter intermediário contemplados dentro de um mesmo período de análise, configura-se em um dado de interesse para o presente projeto, principalmente para o cálculo das taxas de sedimentação, tais informações são apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 - Diferenças do número de dias entre cada um dos levantamentos batimétricos subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação.

Período de Análise	Batimetria (prévia)	Data	Batimetria (pós)	Data	Intervalo (dias)
Trecho4_T1	20_T1A4_27082012	17/09/2012	21_T1A4_04102012	30/10/2012	43
	21_T1A4_04102012	30/10/2012	22_T1A4_27102012	09/11/2012	10
	22_T1A4_27102012	09/11/2012	23_T1A4_23112012	29/11/2012	20
	23_T1A4_23112012	29/11/2012	24_T1A4_08012013	14/01/2013	46
	24_T1A4_08012013	14/01/2013	25_T1A4_23012013	31/01/2013	17
	25_T1A4_23012013	31/01/2013	27_T1A4_15032013	19/03/2013	47
	27_T1A4_15032013	19/03/2013	28_T1A4_10042013	08/05/2013	50
	28_T1A4_10042013	08/05/2013	29_T1A4_04062013	17/06/2013	40
	29_T1A4_04062013	17/06/2013	30_T1A4_19062013	09/07/2013	22
	30_T1A4_19062013	09/07/2013	31_T1A4_30072013	06/08/2013	28
	31_T1A4_30072013	06/08/2013	32_T1A4_21082013	27/08/2013	21
Trecho4_T2	20_T1A4_27082012	17/09/2012	32_T1A4_21082013	27/08/2013	344
Trecho4_T2	35_T1A4_15112013	16/11/2013	36_T4_05122013	06/12/2013	20
Trecho4_T3	04.09_T4_10102015	11/10/2015	04.11_T4_17032016	17/03/2016	158
	04.11_T4_17032016	17/03/2016	04.12_T4_14062016	16/06/2016	91
	04.09_T4_10102015	11/10/2015	04.12_T4_14062016	16/06/2016	249
Trecho4_T4	04.13_T4_22082016	23/08/2016	04.14_T4_19092016	19/09/2016	27
	04.14_T4_19092016	19/09/2016	04.15_T4_14112016	14/11/2016	56
	04.13_T4_22082016	23/08/2016	04.15_T4_14112016	14/11/2016	83
Trecho4_T5	04.20_T4_11082017	12/08/2017	04.21_T4_23082017	26/08/2017	14
	04.21_T4_23082017	26/08/2017	04.22_T4_24102017	25/10/2017	60
	04.22_T4_24102017	25/10/2017	04.23_T4_23112017	24/11/2017	30
	04.20_T4_11082017	12/08/2017	04.23_T4_23112017	24/11/2017	104

Dentre os intervalos intermediários de batimetrias dentro de um mesmo período de análise, verifica-se que o que apresenta menor duração é o compreendido entre 30/10/2012 e 09/11/2012, com apenas 10 dias, e o maior entre 11/10/2015 e 17/03/2016, com 158 dias.

5.4.2 Diferenças Volumétricas

Uma vez geradas as superfícies batimétricas de cada um dos levantamentos contemplados nos períodos de análise, procedeu-se com o cálculo da diferença volumétrica entre as mesmas a partir da subtração de seus dados verticais.

Para todos os períodos de análise, quando aplicável, houve a subtração das superfícies batimétricas subsequentes relativas aos levantamentos intermediários,

bem como entre as superfícies referentes aos levantamentos iniciais e finais de cada período.

Os resultados obtidos através dos procedimentos supracitados são apresentados na Tabela 31. No âmbito da análise dos dados gerados a partir da diferença entre duas superfícies batimétricas, o quantitativo de assoreamento representa o ganho total volumétrico observado nas áreas do Trecho 4 onde ocorreram perdas de profundidade, enquanto o quantitativo de erosão representa a perda total volumétrica observada nas áreas do Trecho 4 onde ocorreram aumentos de profundidade. A diferença entre o volume assoreado e o erodido configura-se no balanço sedimentar observado para o período avaliado.

Tabela 31 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Assoreamento (m³)	Vol. Erosão (m³)	Balanço Sed. (m³)
Trecho4_T1	17/09/2012	30/10/2012	43	89.308,23	53.058,71	36.249,52
	30/10/2012	09/11/2012	10	98.736,95	36.184,17	62.552,78
	09/11/2012	29/11/2012	20	148.592,64	15.957,61	132.635,03
	29/11/2012	14/01/2013	46	170.619,23	50.947,53	119.671,70
	14/01/2013	31/01/2013	17	50.240,59	89.462,93	-39.222,34
	31/01/2013	19/03/2013	47	139.265,30	11.118,91	128.146,39
	19/03/2013	08/05/2013	50	246.768,14	38.448,26	208.319,88
	08/05/2013	17/06/2013	40	141.853,75	33.107,72	108.746,03
	17/06/2013	09/07/2013	22	27.938,97	178.640,97	-150.702,00
	09/07/2013	06/08/2013	28	148.343,98	16.698,60	131.645,38
	06/08/2013	27/08/2013	21	178.580,01	23.374,94	155.205,07
Trecho4_T2	17/09/2012	27/08/2013	344	922.694,78	29.447,33	893.247,45
Trecho4_T3	16/11/2013	06/12/2013	20	109.903,16	54.743,39	55.159,77
Trecho4_T3	11/10/2015	17/03/2016	158	224.546,54	37.499,82	187.046,72
	17/03/2016	16/06/2016	91	182.342,16	16.194,92	166.147,24
	11/10/2015	16/06/2016	249	385.504,04	32.310,07	353.193,97
Trecho4_T4	23/08/2016	19/09/2016	27	30.614,38	74.552,22	-43.937,84
	19/09/2016	14/11/2016	56	120.653,76	10.886,28	109.767,48
	23/08/2016	14/11/2016	83	106.501,68	40.672,13	65.829,55
Trecho4_T5	12/08/2017	26/08/2017	14	44.515,35	65.452,65	-20.937,30
	26/08/2017	25/10/2017	60	291.528,85	19.548,09	271.980,76
	25/10/2017	24/11/2017	30	86.482,99	29.111,93	57.371,06
	12/08/2017	24/11/2017	104	342.722,60	34.305,94	308.416,66

Deve-se ressaltar que um resultado positivo de balanço sedimentar indica que as taxas de assoreamento se sobrepõem às taxas de erosão durante o período avaliado, havendo incremento de material sedimentar no sistema, sendo que o inverso se aplica para um resultado negativo.

Neste contexto, deve-se atentar que foram constatados períodos com balanços negativos, existindo perdas expressivas de material mesmo sem intervenções de dragagem, como o observado entre 17/06/2013 e 09/07/2013. No

entanto, de modo geral, observa-se uma tendência deposicional para o ambiente, sendo que aproximadamente 83% dos intervalos avaliados apresentaram balanço sedimentar positivo.

Dentre os períodos de análise, verifica-se que o período compreendido entre os dias 17/09/2012 e 27/08/2013, com duração de 344 dias, foi o que apresentou os maiores volumes decorrentes do assoreamento e do balanço sedimentar resultante, de 922.694,78 m³ e +893.247,45 m³, respectivamente. Não obstante, proporcionalmente, o maior valor de volume assoreado no menor espaço de tempo foi observado entre 30/10/2012 e 09/11/2012, com 98.736,95 m³, enquanto a maior variação positiva de balanço sedimentar no menor espaço de tempo, de +155.205,07 m³, foi verificada entre 06/08/2013 e 27/08/2013.

Com relação aos volumes erodidos, o maior valor foi constatado entre os dias 17/06/2013 e 09/07/2013 (22 dias de duração), com 178.640,97 m³, acompanhado do menor volume de balanço sedimentar resultante, de -150.702,00 m³. Proporcionalmente, a maior volume erodido no menor espaço de tempo é observado também para o respectivo período.

5.4.3 Balanço Sedimentar

5.4.3.1 Intervalos de Análise

Sabendo-se dos intervalos temporais entre duas superfícies batimétricas e das diferenças volumétricas geradas a partir da sua subtração, é possível calcular as taxas diárias de assoreamento, erosão e decorrentes do balanço sedimentar resultante para os períodos de análise. As taxas obtidas para cada um dos intervalos considerados são apresentadas na Tabela 32.

Tabela 32 - Taxas de assoreamento, de erosão e de balanço sedimentar resultante obtidas a partir das diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes, por período de análise do Trecho 4 do canal de navegação. As cores verde e laranja-rosado indicam os maiores e menores valores encontrados para cada um dos parâmetros, respectivamente.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Tx. Ass. (m³/dia)	Tx. Erosão (m³/dia)	Tx. Bal. (m³/dia)
Trecho4_T1	17/09/2012	30/10/2012	43	2.076,94	-1.233,92	843,01
	30/10/2012	09/11/2012	10	9.873,70	-3.618,42	6.255,28
	09/11/2012	29/11/2012	20	7.429,63	-797,88	6.631,75
	29/11/2012	14/01/2013	46	3.709,11	-1.107,56	2.601,56
	14/01/2013	31/01/2013	17	2.955,33	-5.262,53	-2.307,20
	31/01/2013	19/03/2013	47	2.963,09	-236,57	2.726,52
	19/03/2013	08/05/2013	50	4.935,36	-768,97	4.166,40
	08/05/2013	17/06/2013	40	3.546,34	-827,69	2.718,65
	17/06/2013	09/07/2013	22	1.269,95	-8.120,04	-6.850,09
	09/07/2013	06/08/2013	28	5.298,00	-596,38	4.701,62
	06/08/2013	27/08/2013	21	8.503,81	-1.113,09	7.390,72
Trecho4_T2	17/09/2012	27/08/2013	344	2.682,25	-85,60	2.596,65
Trecho4_T2	16/11/2013	06/12/2013	20	5.495,16	-2.737,17	2.757,99
Trecho4_T3	11/10/2015	17/03/2016	158	1.421,18	-237,34	1.183,84
	17/03/2016	16/06/2016	91	2.003,76	-177,97	1.825,79
	11/10/2015	16/06/2016	249	1.548,21	-129,76	1.418,45
Trecho4_T4	23/08/2016	19/09/2016	27	1.133,87	-2.761,19	-1.627,33
	19/09/2016	14/11/2016	56	2.154,53	-194,40	1.960,13
	23/08/2016	14/11/2016	83	1.283,15	-490,03	793,13
Trecho4_T5	12/08/2017	26/08/2017	14	3.179,67	-4.675,19	-1.495,52
	26/08/2017	25/10/2017	60	4.858,81	-325,80	4.533,01
	25/10/2017	24/11/2017	30	2.882,77	-970,40	1.912,37
	12/08/2017	24/11/2017	104	3.295,41	-329,86	2.965,54
Média*				3.983,74	-1.882,24	2.101,50

*Foram desconsideradas taxas obtidas sobre as diferenças volumétricas obtidas entre as subtrações das superfícies de início e término dos períodos de análise que possuem levantamentos intermediários.

A maior taxa de assoreamento, de 9.873,70 m³/dia, foi observada entre os dias 30/10/2012 e 09/11/2012, enquanto a maior taxa de erosão foi constatada entre os dias 17/06/2013 e 09/07/2013, com um valor de -8.120,04 m³/dia.

A taxa resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi observada entre 06/08/2013 e 27/08/2013, com +7.390,72 m³/dia. Já a menor taxa resultante (-6.850,09 m³/dia) coincidiu com o período de maior taxa de erosão (17/06/2013 a 09/07/2013).

Considerando-se os quantitativos referentes aos períodos de análises, a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 4 do canal de navegação foi de 3.983,74 m³/dia. No entanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de, aproximadamente, +2.101,50 m³/dia.

Em uma situação hipotética onde a taxa média resultante do balanço sedimentar obtida para o Trecho 4 se mantivesse constante todos os dias do ano (no caso, considerando-se o valor sem arredondamento), o volume total depositado

(remanescente) na respectiva seção ao final de um período anual seria de 767.047,63 m³.

5.4.3.2 Intervalos Mensais

A partir da distribuição e somatória das taxas diárias ao longo dos períodos de análise, é possível calcular os volumes totais de assoreamento e erosão, bem como os respectivos balanços resultantes, para os meses inteiramente abarcados pelos conjuntos de dados, ou seja, para os meses em que há mensuração de taxas em todos os dias que os compõem.

A Tabela 33, apresentada abaixo, demonstra os volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses em que foi possível a realização dos cálculos com base na distribuição das taxas diárias entre os anos de 2011 e 2017. Na mesma planilha ainda são apresentados os valores médios encontrados para os respectivos parâmetros.

Tabela 33 - Volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 4 do canal de navegação.

	2011			2012		
	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)
jan	-	-	-	-	-	-
fev	-	-	-	-	-	-
mar	-	-	-	-	-	-
abr	-	-	-	-	-	-
mai	-	-	-	-	-	-
jun	-	-	-	-	-	-
jul	-	-	-	-	-	-
ago*	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	79.978,52	43.020,62	36.957,91
nov	-	-	-	235.000,43	47.120,06	187.880,37
dez	-	-	-	114.982,52	34.334,21	80.648,32
	2013			2014		
	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)
jan	101.422,16	104.097,72	-2.675,56	-	-	-
fev	82.966,56	6.624,03	76.342,53	-	-	-
mar	117.495,36	14.254,85	103.240,51	-	-	-
abr	148.060,88	23.068,96	124.991,93	-	-	-
mai	119.659,79	25.247,39	94.412,40	-	-	-
jun	74.520,84	126.923,71	-52.402,86	-	-	-
jul	132.013,61	78.677,06	53.336,55	-	-	-
ago*	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	-	-	-
out	-	-	-	-	-	-
nov	-	-	-	-	-	-
dez	-	-	-	-	-	-

Tabela 33 (Continuação) - Volumes mensais de assoreamento, erosão e o balanço resultante nos meses da série histórica em que foi possível a realização dos cálculos, e valores médios encontrados para os respectivos parâmetros no Trecho 4 do canal de navegação.

	2015			2016		
	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)
jan	-	-	-	44.056,60	7.357,56	36.699,04
fev	-	-	-	39.793,06	6.645,54	33.147,52
mar	-	-	-	52.212,71	6.526,32	45.686,39
abr	-	-	-	60.112,80	5.338,98	54.773,82
mai	-	-	-	62.116,56	5.516,95	56.599,61
jun	-	-	-	-	-	-
jul	-	-	-	-	-	-
ago*	-	-	-	-	-	-
set	-	-	-	46.263,96	52.034,25	-5.770,29
out	-	-	-	66.790,47	6.026,33	60.764,14
nov	42.635,42	7.120,22	35.515,20	-	-	-
dez	44.056,60	7.357,56	36.699,04	-	-	-
	2017			Média		
	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)	Vol. Ass.(m ³)	Vol. Ero.(m ³)	Bal. Sed.(m ³)
jan	-	-	-	72.739,38	55.727,64	17.011,74
fev	-	-	-	61.379,81	6.634,78	54.745,03
mar	-	-	-	84.854,04	10.390,59	74.463,45
abr	-	-	-	104.086,84	14.203,97	89.882,87
mai	-	-	-	90.888,17	15.382,17	75.506,01
jun	-	-	-	74.520,84	126.923,71	-52.402,86
jul	-	-	-	132.013,61	78.677,06	53.336,55
ago*	-	-	-	114.013,90	54.790,60	59.223,30
set	145.764,43	9.774,04	135.990,38	96.014,20	30.904,15	65.110,04
out	136.790,90	14.612,02	122.178,88	94.519,97	21.219,66	73.300,31
nov	-	-	-	138.817,92	27.120,14	111.697,79
dez	-	-	-	79.519,56	20.845,88	58.673,68
Somatória				1.143.368,25	462.820,34	680.547,90

*Tendo em vista que o conjunto de dados contemplados no presente estudo não permitiu que o mês de agosto fosse inteiramente abrangido por taxas diárias, os volumes médios mensais de assoreamento, erosão e balanço resultante para esse mês foram calculados com base nas médias dos valores médios encontrados para os meses imediatamente adjacentes (julho e agosto).

Dentre o período de análise, observa-se que o mês de novembro de 2012 foi o que apresentou o maior quantitativo de volume de assoreamento, com 235.000,43 m³. De maneira oposta, o mês de novembro de 2015 foi o que teve o menor volume assoreado, com apenas 42.635,42 m³. A média dos volumes mensais de assoreamento apresentou um valor de 95.280,69 m³.

Já para os volumes erodidos, tem-se que o mês de junho de 2013 foi o que apresentou o maior quantitativo, com 126.923,71 m³, enquanto o menor valor pode ser observado no mês de maio de 2016, de 5.338,98 m³. A média obtida para os volumes mensais de erosão foi de 38.568,36 m³.

Acompanhando os maiores volumes mensais de assoreamento e erosão identificados na série analisada, o maior valor de balanço sedimentar resultante foi constatado no mês de novembro de 2012, com +187.880,37 m³, e o menor no mês de junho de 2013, com -52.402,86 m³. A média obtida para os volumes mensais de balanço sedimentar foi de +56.712,32 m³.

Foram calculadas as médias dos volumes assoreados para cada um dos meses do ano, sendo que o maior valor, de 138.817,92 m³, é observado para o mês de novembro. O mês de fevereiro foi o que apresentou a menor média de volume de assoreamento, com 61.379,81 m³. A partir da somatória das médias mensais encontradas, foi possível estimar o quantitativo médio de assoreamento anual para o Trecho 4 do canal de navegação, que apresentou um valor de 1.143.368,25 m³.

No tocante às médias mensais dos volumes erodidos, tem-se que o mês de junho também apresenta o maior valor, com 126.923,71 m³, seguido pelo mês de julho, com 78.677,06 m³. O menor valor pode ser constatado para o mês de fevereiro, com 6.634,78 m³. O volume médio de erosão anual para o Trecho 4 encontrado foi de 462.820,34 m³.

Para os volumes decorrentes do balanço sedimentar resultante, demonstrados na Figura 44, o mês que apresentou a maior média mensal foi novembro, com +111.697,79 m³. A menor valor médio foi encontrado para o mês de junho, com -52.402,86 m³, apresentando uma tendência erosiva.

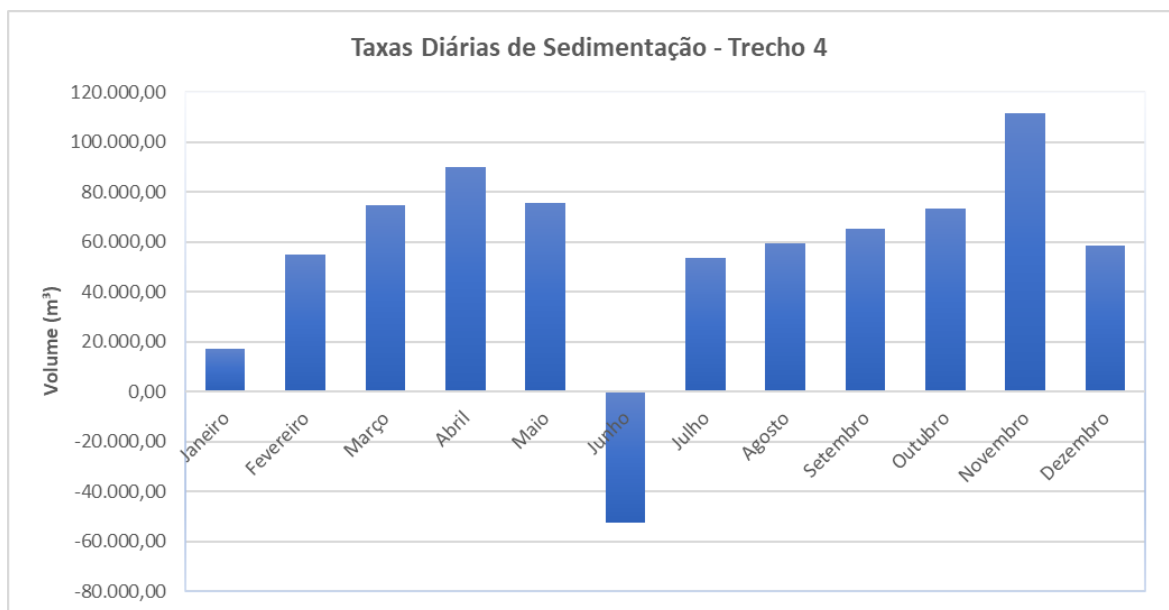


Figura 44 - Médias mensais do balanço sedimentar resultante no Trecho 4 do canal de navegação.

Deve-se atentar para a predominância de médias positivas para o balanço sedimentar resultante, em que pese a verificação da existência de uma tendência erosiva no mês de junho. A partir da somatória das médias mensais, observa-se que o quantitativo médio anual do balanço sedimentar resultante para o trecho em questão é de +680.547,90 m³, número este que representa o volume estimado que remanesce depositado na área sob análise após o período de um ano sem dragagem.

Na Figura 45 são apresentadas as porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+680.547,90 m³).

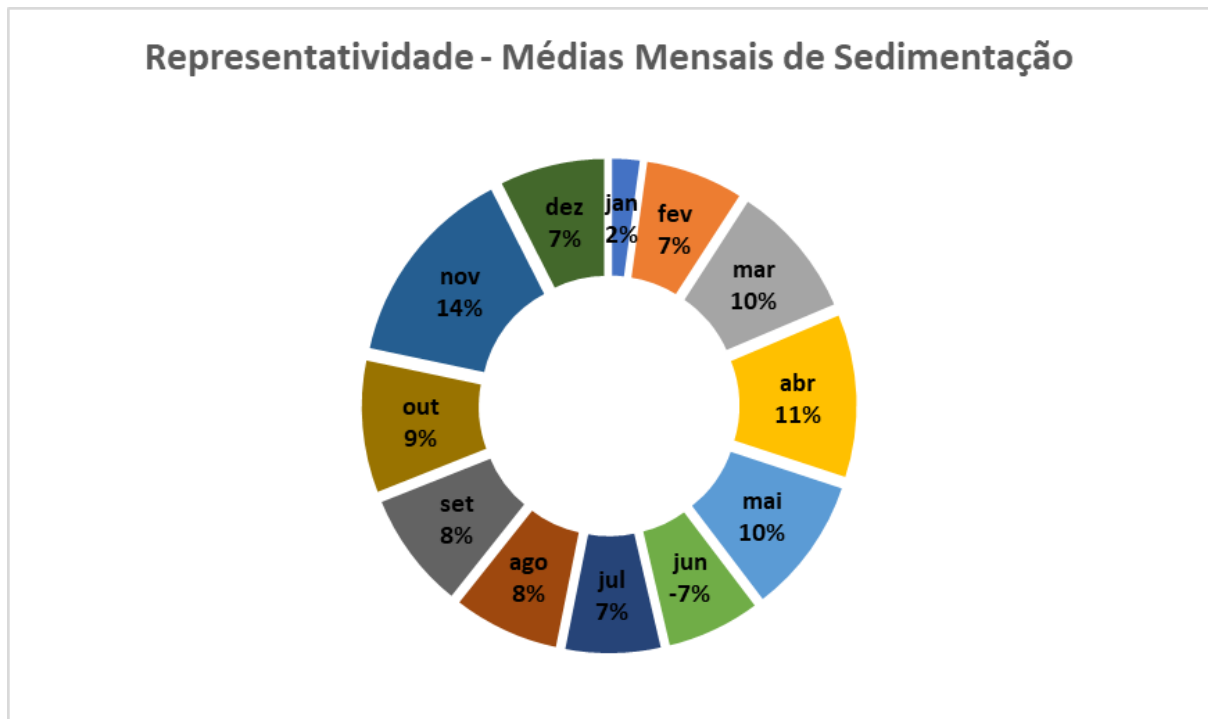


Figura 45 - Porcentagens das médias mensais do balanço sedimentar resultante com relação à sua somatória, que corresponde ao quantitativo anual (+680.547,90 m³), para o Trecho 4 do canal de navegação.

A Figura 46 demonstra o gráfico de dispersão contendo a linha de tendência referente à equação polinomial de terceiro grau obtida com base nos valores médios mensais de balanço sedimentar resultante do Trecho 4 do canal de navegação ao longo do período de um ano, estimados no presente estudo.

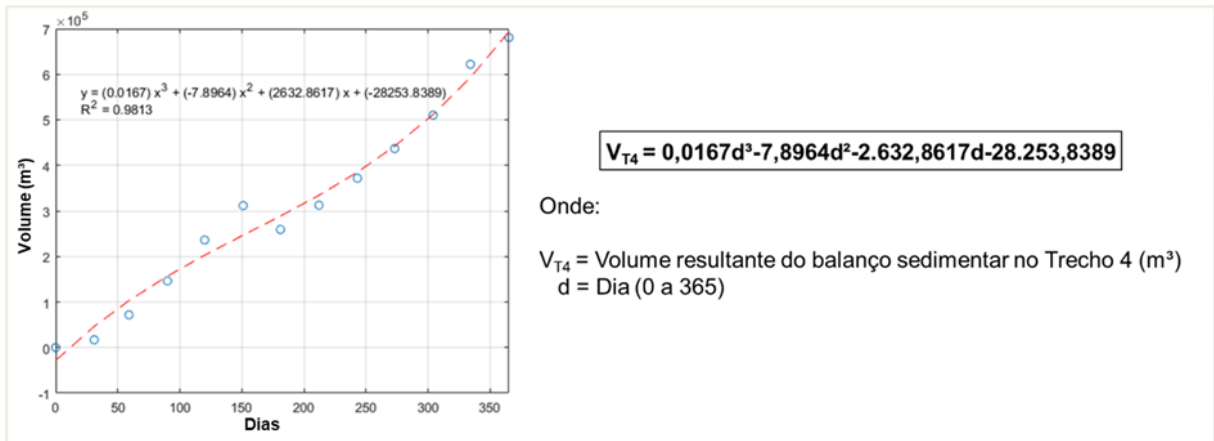


Figura 46 - Gráfico de dispersão dos volumes médios mensais de balanço sedimentar resultante no Trecho 4 (m³), contendo linha de tendência (tracejada em vermelho) referente à equação polinomial de terceiro grau obtida a partir do conjunto de dados, cujas especificidades são explicitadas à direita. No gráfico também pode ser visualizado o coeficiente de determinação da equação ($R^2=0,9813$).

5.4.3.3 Taxas Diárias

As taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais de toda a série de dados, são apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 - Taxas diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, obtidas a partir dos volumes médios mensais, no Trecho 4 do canal de navegação.

Mês	Assoreamento (m ³ /dia)	Erosão (m ³ /dia)	Bal. Sedimentar (m ³ /dia)
Janeiro	2.346,43	-1.797,67	548,77
Fevereiro	2.192,14	-236,96	1.955,18
Março	2.737,23	-335,18	2.402,05
Abril	3.469,56	-473,47	2.996,10
Maio	2.931,88	-496,20	2.435,68
Junho	2.484,03	-4.230,79	-1.746,76
Julho	4.258,50	-2.537,97	1.720,53
Agosto	3.677,87	-1.767,44	1.910,43
Setembro	3.200,47	-1.030,14	2.170,33
Outubro	3.049,03	-684,51	2.364,53
Novembro	4.627,26	-904,00	3.723,26
Dezembro	2.565,15	-672,45	1.892,70
Média	3.128,30	-1.263,90	1.864,40

A maior taxa diária de assoreamento, de 4.627,26 m³/dia, foi encontrada para o mês de novembro. Já a taxa de erosão mais expressiva foi verificada no mês de junho, com -4.230,79 m³/dia, seguida pelo mês de julho, com -2.537,97 m³/dia. Deve-se atentar para a existência de um período contínuo com altas taxas de erosão entre junho e setembro.

A taxa diária resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi a observada no mês de novembro, com +3.723,26 m³/dia, enquanto o menor valor foi verificado no mês de junho, com -1.746,76 m³/dia.

No que tange os resultados alcançados a partir do volume médios mensais, ressalta-se que a taxa média de assoreamento calculada para o Trecho 4 do canal de navegação foi de 3.128,30 m³/dia. Entretanto, tendo em vista a atuação de processos erosivos na área de enfoque, tem-se que a taxa média resultante do balanço sedimentar é de +1.864,40 m³/dia.

O gráfico contido na Figura 47 demonstra as taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano.

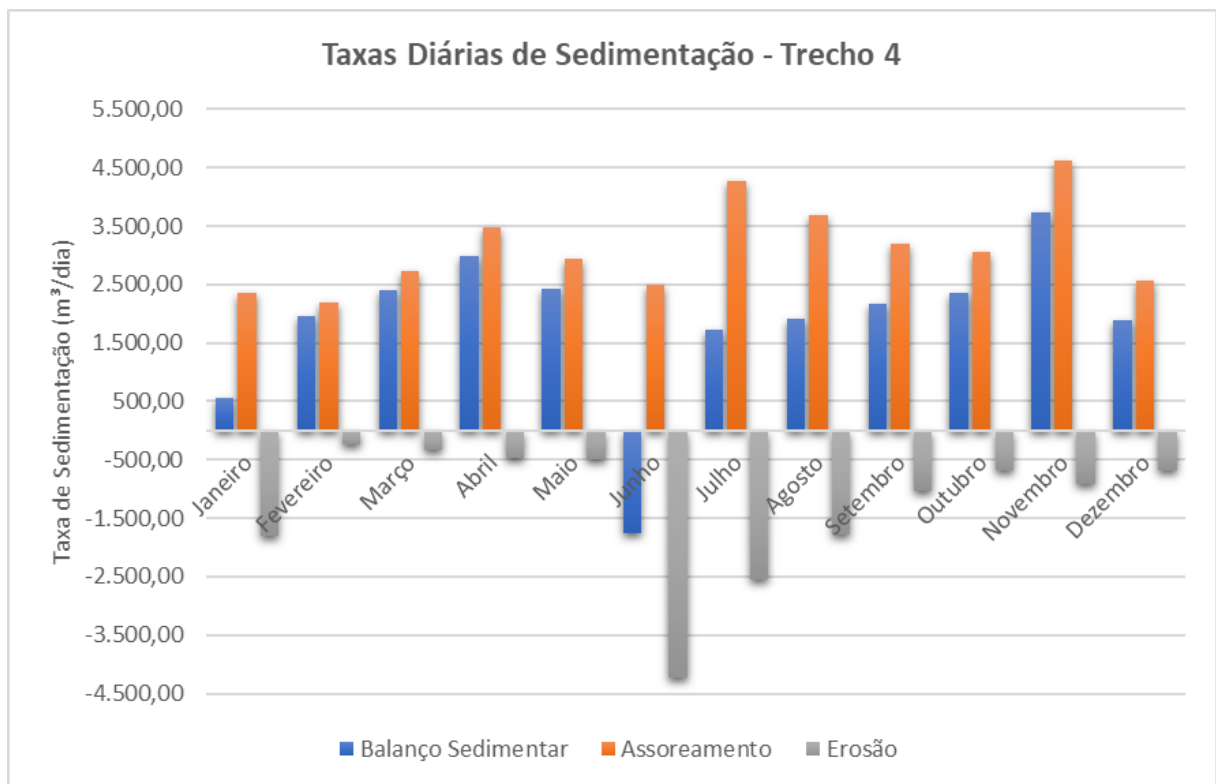


Figura 47 - Taxas médias diárias de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada mês do ano, no Trecho 4 do canal de navegação.

5.4.4 Análise do Período de Setembro/2012 a Agosto/2013

5.4.4.1 Padrões e Taxas de Sedimentação

Conforme informado anteriormente, a série de dados disponível para o período compreendido entre setembro de 2012 e agosto de 2013 constitui valioso conjunto de informações para a avaliação do comportamento natural dos processos de sedimentação do Trecho 4 do canal de navegação. Entre 17/09/2012 e 27/08/2013 (344 dias), foram realizados 12 levantamentos batimétricos subsequentes da referida área, não ocorrendo nenhuma atividade de dragagem durante o respectivo intervalo.

A Tabela 35, apresentada a seguir, demonstra os volumes de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante de cada intervalo compreendido entre duas batimetrias subsequentes, bem como a somatória dos valores, excluindo-se os quantitativos obtidos a partir da subtração das superfícies relativas ao primeiro e último levantamento da série.

Tabela 35 - Diferenças volumétricas entre cada uma das superfícies batimétricas subsequentes do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013.

Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Vol. Ass. (m ³)	Vol. Erosão (m ³)	Balanço Sed. (m ³)
17/09/2012	30/10/2012	43	89.308,23	53.058,71	36.249,52
30/10/2012	09/11/2012	10	98.736,95	36.184,17	62.552,78
09/11/2012	29/11/2012	20	148.592,64	15.957,61	132.635,03
29/11/2012	14/01/2013	46	170.619,23	50.947,53	119.671,70
14/01/2013	31/01/2013	17	50.240,59	89.462,93	-39.222,34
31/01/2013	19/03/2013	47	139.265,30	11.118,91	128.146,39
19/03/2013	08/05/2013	50	246.768,14	38.448,26	208.319,88
08/05/2013	17/06/2013	40	141.853,75	33.107,72	108.746,03
17/06/2013	09/07/2013	22	27.938,97	178.640,97	-150.702,00
09/07/2013	06/08/2013	28	148.343,98	16.698,60	131.645,38
06/08/2013	27/08/2013	21	178.580,01	23.374,94	155.205,07
Somatória		344	1.440.247,79	547.000,35	893.247,44

Durante o período de enfoque, o volume assoreado no Trecho 4 foi de 1.440.247,79 m³, ao passo que o erodido foi de 547.000,35 m³, incorrendo em um balanço sedimentar resultante de +893.247,44 m³. O gráfico contido na Figura 48, demonstra a evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar ao longo do respectivo período. Para fins comparativos, também foi incluída no gráfico a variação média do balanço sedimentar anual obtida a partir de toda a série histórica de dados considerada para o Trecho 4.

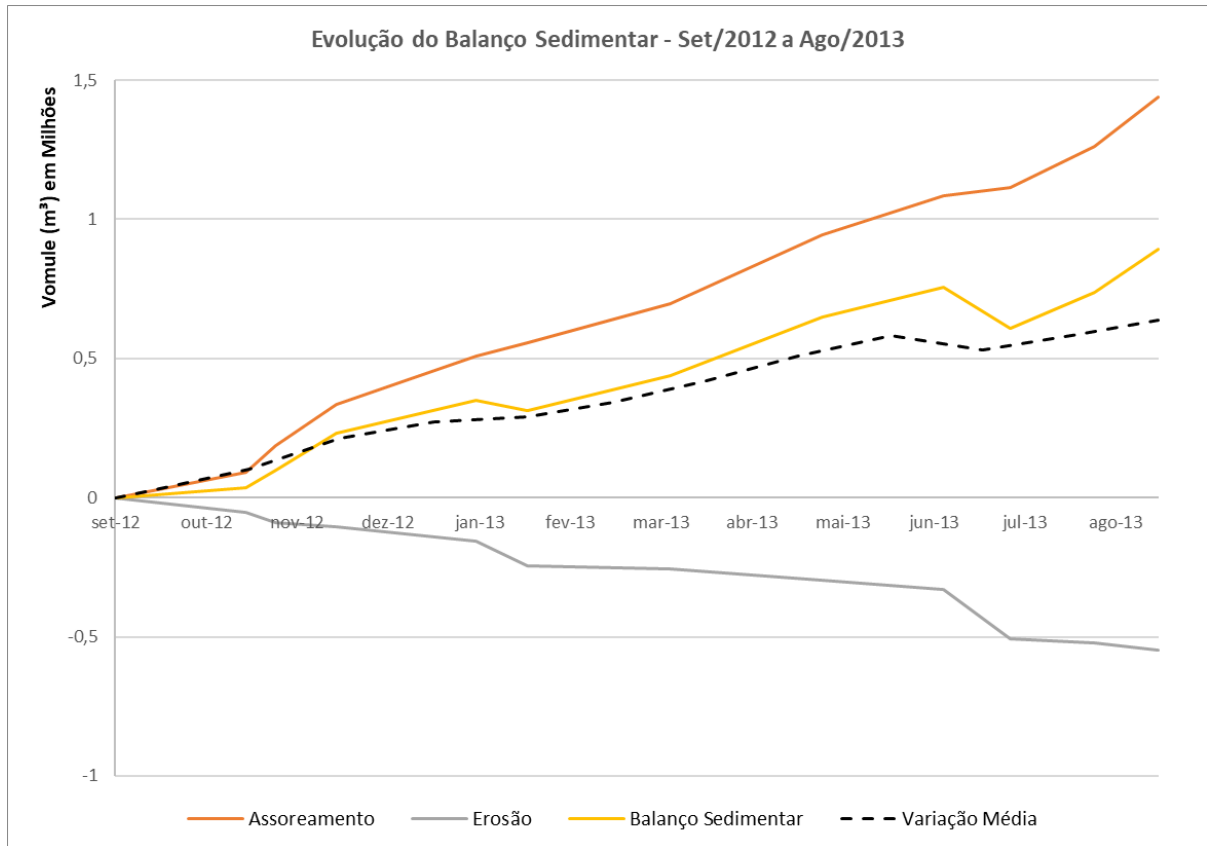


Figura 48 - Evolução dos volumes acumulados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar no Trecho 4 entre 17/09/2012 e 27/08/2013.

Conforme pode ser observado, a evolução do balanço sedimentar ao longo do período sob análise teve maior magnitude do que a variação média do balanço sedimentar anual obtida para o presente trabalho.

A Tabela 36 apresenta as taxas diárias assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 17/09/2012 e 27/08/2013.

Tabela 36 - Taxas diárias assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para cada um dos intervalos entre as batimetrias subsequentes realizadas entre 17/09/2012 e 27/08/2013, no Trecho 4 do canal de navegação.

Data-Pré	Data-Pós	Int. (dias)	Tx. Ass. (m³/dia)	Tx. Erosão (m³/dia)	Bal. Sed. (m³/dia)
17/09/2012	30/10/2012	43	2.076,94	-1.233,92	843,01
30/10/2012	09/11/2012	10	9.873,70	-3.618,42	6.255,28
09/11/2012	29/11/2012	20	7.429,63	-797,88	6.631,75
29/11/2012	14/01/2013	46	3.709,11	-1.107,56	2.601,56
14/01/2013	31/01/2013	17	2.955,33	-5.262,53	-2.307,20
31/01/2013	19/03/2013	47	2.963,09	-236,57	2.726,52
19/03/2013	08/05/2013	50	4.935,36	-768,97	4.166,40
08/05/2013	17/06/2013	40	3.546,34	-827,69	2.718,65
17/06/2013	09/07/2013	22	1.269,95	-8.120,04	-6.850,09
09/07/2013	06/08/2013	28	5.298,00	-596,38	4.701,62
06/08/2013	27/08/2013	21	8.503,81	-1.113,09	7.390,72
Somatória		344	4.778,30	-2.153,00	2.625,30

Observa-se que a maior taxa de assoreamento, de 9.873,70 m³/dia, foi registrada entre 30/10/2012 e 09/11/2012, na primavera, e a menor, de 1.269,95 m³/dia, entre 17/06/2013 e 09/07/2013, período que abarca o final do outono e o início do inverno.

A taxa mais expressiva de erosão, de -8.120,04 m³/dia, foi registrada entre 17/06/2013 e 09/07/2013, em que foi observada a menor taxa de assoreamento. A taxa de erosão menos expressiva entre 31/01/2013 e 19/03/2013, com -236,57 m³/dia.

A taxa diária resultante do balanço sedimentar que apresentou o maior valor foi a observada entre 06/08/2013 e 27/08/2013, com +7.390,72 m³/dia, enquanto o menor valor foi verificado entre 17/06/2013 e 09/07/2013, com -6.850,09 m³/dia.

As médias calculadas para as taxas de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para o período compreendido 17/09/2012 e 27/08/2013 são de 4.778,30 m³/dia, -2.153,00 m³/dia e +2.625,29m³/dia, respectivamente. A taxa de balanço sedimentar encontrada para o referido intervalo é superior à taxa média encontrada a partir dos volumes médios mensais, de +1.864,40 m³/dia.

5.4.4.2 Variações Morfológicas de Fundo

Para possibilitar a avaliação das variações morfológicas de fundo na área de enfoque, foi efetuado o processamento dos dados batimétricos disponíveis de forma que se pudesse alcançar em nível detalhado as diferenças verticais entre duas superfícies subsequentes. A partir dos tratamentos e análises realizadas, cujas especificidades podem ser consultadas no Capítulo 3, foi possível obter o grau de variação batimétrica entre as superfícies de interesse do Trecho 4 do canal de navegação.

Notadamente para o período de enfoque, compreendido entre 17/09/2012 e 27/08/2013, foram calculadas as variações batimétricas entre as superfícies disponíveis para o intervalo, oriundas de 12 levantamentos hidrográficos distintos.

A Tabela 37, apresentada a seguir, demonstra os resultados obtidos para as análises realizadas entre as superfícies diretamente subsequentes, bem como entre as oriundas do primeiro e último levantamentos do intervalo supracitado. Além das porcentagens dos pontos que sofreram assoreamento e erosão em relação à totalidade do conjunto de dados, são apresentadas informações quantitativas associadas às magnitudes das alterações nos locais (pontos da grade batimétrica) que sofreram deposição (elevação), tendo em vista o interesse prioritário no conhecimento do comportamento das variações positivas de profundidade na região sob análise (assoreamento).

Tabela 37 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies diretamente subsequentes no Trecho 4 do canal de navegação no período compreendido entre 17/09/2012 e 27/08/2013.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho4_T1	17/09/2012	30/10/2012	43	56,16	43,84	86,30	10,59	3,04	0,06	0,01	0,00
	30/10/2012	09/11/2012	10	69,93	30,07	89,70	9,77	0,49	0,04	0,01	0,00
	09/11/2012	29/11/2012	20	85,89	14,11	87,34	12,16	0,46	0,04	0,00	0,00
	29/11/2012	14/01/2013	46	61,21	38,79	60,65	26,49	12,79	0,06	0,00	0,00
	14/01/2013	31/01/2013	17	42,05	57,95	93,01	6,57	0,38	0,04	0,00	0,00
	31/01/2013	19/03/2013	47	83,44	16,56	82,12	16,31	1,52	0,05	0,00	0,00
	19/03/2013	08/05/2013	50	83,49	16,51	58,74	33,15	7,08	0,44	0,29	0,31
	08/05/2013	17/06/2013	40	83,76	16,24	87,22	11,95	0,75	0,05	0,02	0,00
	17/06/2013	09/07/2013	22	22,69	77,31	92,95	3,62	2,12	1,02	0,28	0,02
	09/07/2013	06/08/2013	28	86,09	13,91	84,00	15,62	0,37	0,01	0,00	0,00
	06/08/2013	27/08/2013	21	88,76	11,24	79,00	18,90	1,71	0,39	0,00	0,00
	17/09/2012	27/08/2013	344	86,96	13,04	14,76	17,40	35,91	13,45	9,52	8,97

A maior porcentagem de pontos com variação positiva entre superfícies diretamente subseqüentes é encontrada no período que se estende entre 06/08/2013 e 27/08/2013, onde 88,76% dos pontos da grade batimétrica sofreram assoreamento e apenas 11,24% sofreram erosão.

Nos períodos de 29/11/2012 a 14/01/2013 e de 19/03/2013 a 08/05/2013 são observadas as maiores porcentagens de pontos com magnitudes de assoreamento mais expressivas em relação à totalidade dos pontos que sofreram variação positiva, dos quais 12,79% e 7,08% dos pontos assoreados sofreram uma elevação maior que 0,50 m até 1,00 m, respectivamente.

A maior porcentagem de pontos com variação negativa é verificada entre 17/06/2013 e 09/07/2013, onde 77,31% dos pontos da grade batimétrica sofreram erosão e apenas 22,69% sofreram assoreamento, o que indica a possibilidade de existência de períodos com tendência erosiva no Trecho 4 do canal de navegação, ainda que haja o predomínio de períodos em que as porcentagens de pontos assoreados se sobrepõem sobre as de pontos erodidos.

Os dados mostram a existência de variações batimétricas significantes do ponto de vista operacional mesmo em períodos curtos. Ressalta-se a ocorrência de elevações maiores que 1,00 m até 1,50 m para todos os períodos intermediários levados em consideração na análise, fato que denota a importância da atuação dos processos de assoreamento na respectiva área, independente da época do ano.

A fim de viabilizar a visualização da evolução das magnitudes das variações batimétricas na área de estudo ao longo de todo o período de interesse (entre 17/09/2012 e 27/08/2013), foram calculadas as variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, sendo que os resultados obtidos são apresentados na Tabela 38 e Figura 49.

Tabela 38 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre a superfície gerada a partir do primeiro levantamento do período e as demais superfícies sequenciais, no Trecho 4 do canal de navegação de 17/09/2012 e 27/08/2013.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho4_T1	17/09/2012	30/10/2012	43	56,16	43,84	86,30	10,59	3,04	0,06	0,01	0,00
	17/09/2012	09/11/2012	53	63,89	36,11	70,56	22,38	6,90	0,14	0,01	0,00
	17/09/2012	29/11/2012	73	85,44	14,56	60,35	29,73	8,31	1,58	0,02	0,00
	17/09/2012	14/01/2013	119	81,41	18,59	45,43	24,04	22,43	6,47	1,61	0,03
	17/09/2012	31/01/2013	136	70,09	29,91	42,09	21,81	23,68	9,20	3,06	0,15
	17/09/2012	19/03/2013	183	76,02	23,98	36,38	24,31	19,79	12,40	5,29	1,83
	17/09/2012	08/05/2013	233	84,59	15,41	21,37	28,33	28,27	10,36	6,94	4,74
	17/09/2012	17/06/2013	273	88,31	11,69	17,50	23,48	34,78	11,09	7,53	5,61
	17/09/2012	09/07/2013	295	74,95	25,05	22,65	24,58	25,06	11,93	8,67	7,10
	17/09/2012	06/08/2013	323	84,26	15,74	18,37	23,13	32,29	11,50	8,12	6,59
17/09/2012	27/08/2013	344	86,96	13,04	14,76	17,40	35,91	13,45	9,52	8,97	

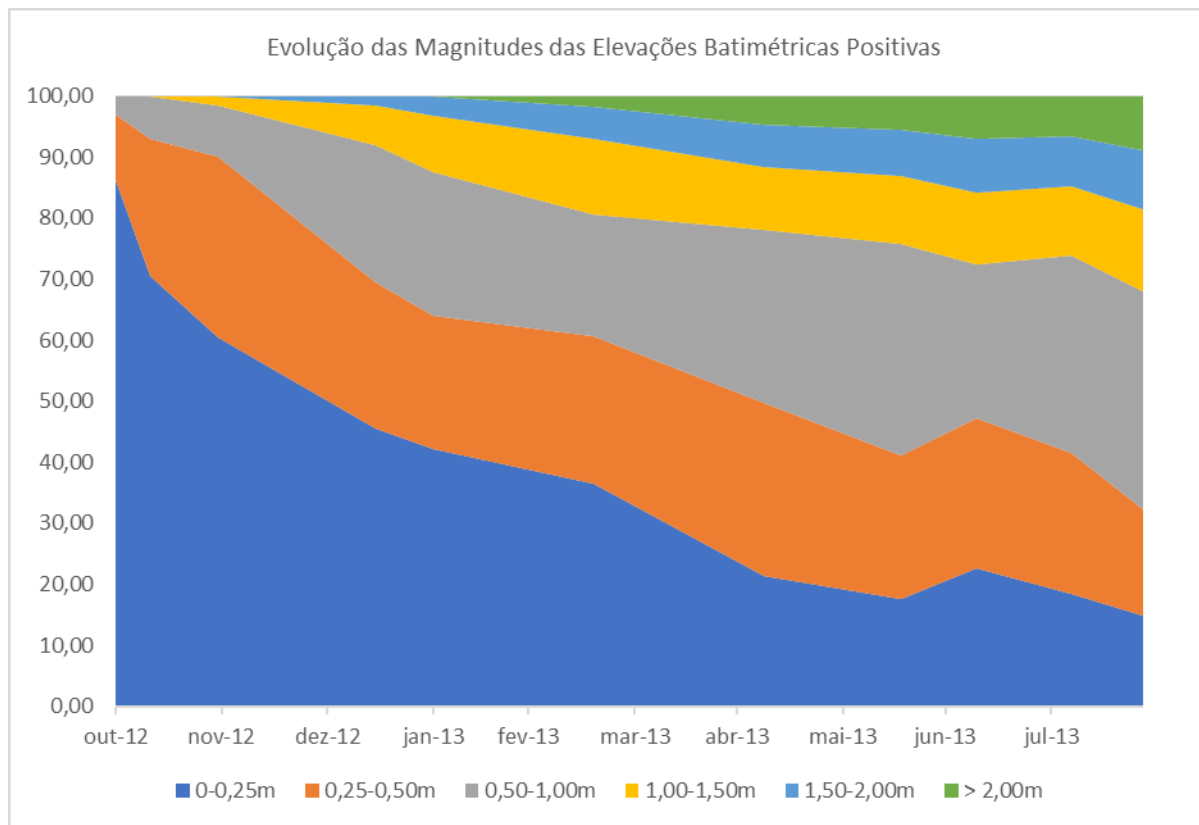


Figura 49 - Evolução das magnitudes das variações batimétricas nos pontos nos pontos assoreados do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013.

Ao final do período de interesse (344 dias), 86,96% dos pontos da grade batimétrica sofreram um balanço sedimentar positivo e apenas 13,04% um balanço sedimentar negativo. Dentre os pontos que apresentaram variação positiva, 14,76% tiveram uma elevação até 0,25 m, 17,40% maior que 0,25 m até 0,50 m, 35,91% maior que 0,50 m até 1,00 m, 13,45% maior que 1,00 m até 1,50 m, 9,52% maior que 1,50 m até 2,00 m, e 8,97% maior que 2,00 m. Neste contexto, observa-se que a maior

parte dos pontos da grade batimétrica que tiveram variações batimétricas positivas ao final do intervalo sofreram perdas de profundidades maiores que 0,50m e menores ou iguais a 1,00 m.

O gráfico contido na Figura 49 demonstra de forma clara uma tendência de aumento das porcentagens das magnitudes de variações batimétricas mais expressivas ao longo do tempo, o que reflete o predomínio dos processos de assoreamento e o aumento paulatino das espessuras das camadas sedimentares depositadas sobre o Trecho 4.

A Figura 50, apresentada a seguir, contempla o mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/09/2012 (inicial) e 27/08/2013 (final). Já na Figura 51 à Figura 61 é demonstrada a evolução das variações batimétricas ao longo do eixo central do Trecho 4 do canal de navegação no respectivo período (sentido montante jusante), obtidas a partir da subtração entre a superfície relativa ao primeiro levantamento do intervalo e as demais superfícies sequenciais. Para fins de referência, considera-se como final do Trecho 4 o término do canal de navegação do Porto Organizado de Santos.

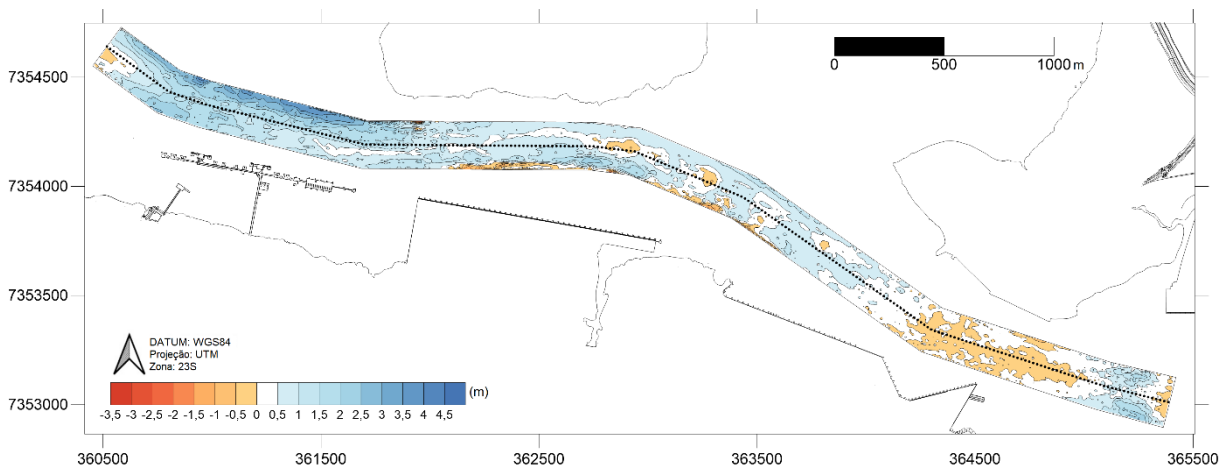


Figura 50 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/09/2012 (inicial) e 27/08/2013 (final) do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

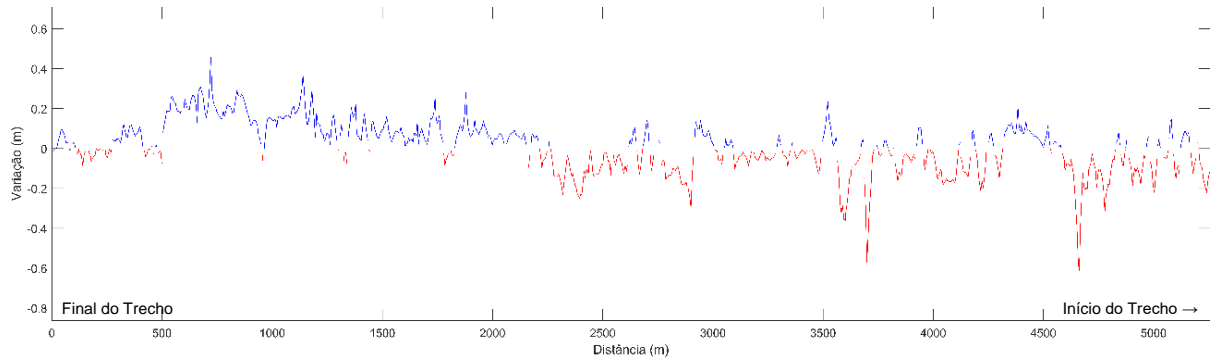


Figura 51 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 30/10/2012 (43 dias).

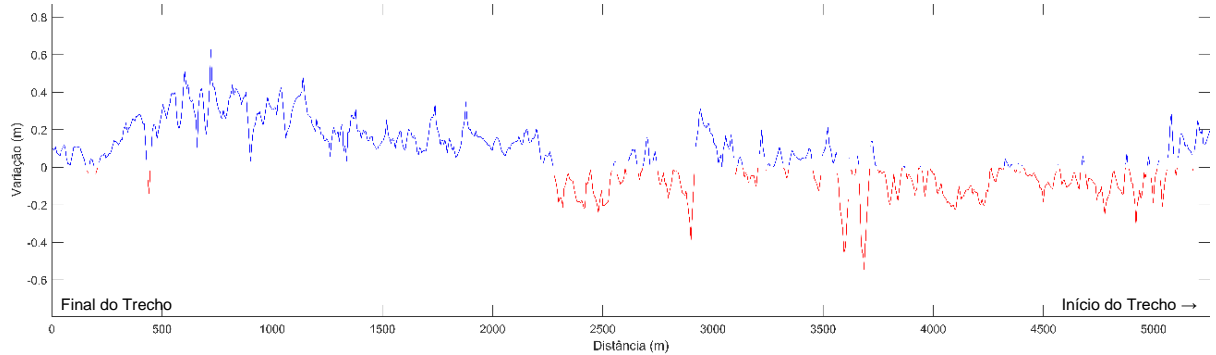


Figura 52 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 09/11/2012 (53 dias).

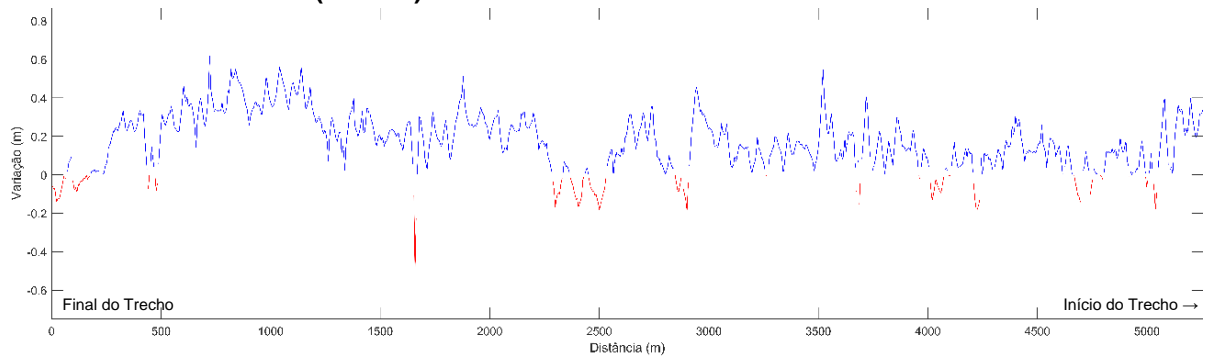


Figura 53 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 29/11/2012 (73 dias).

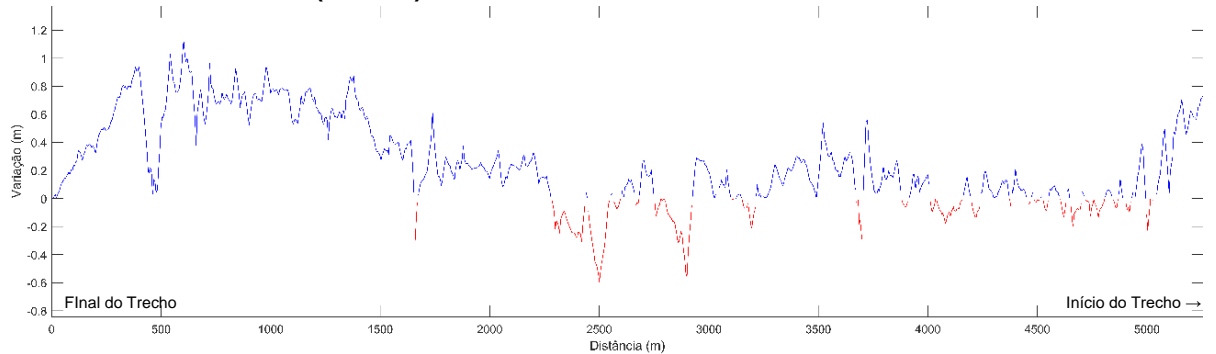


Figura 54 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 14/01/2013 (119 dias).

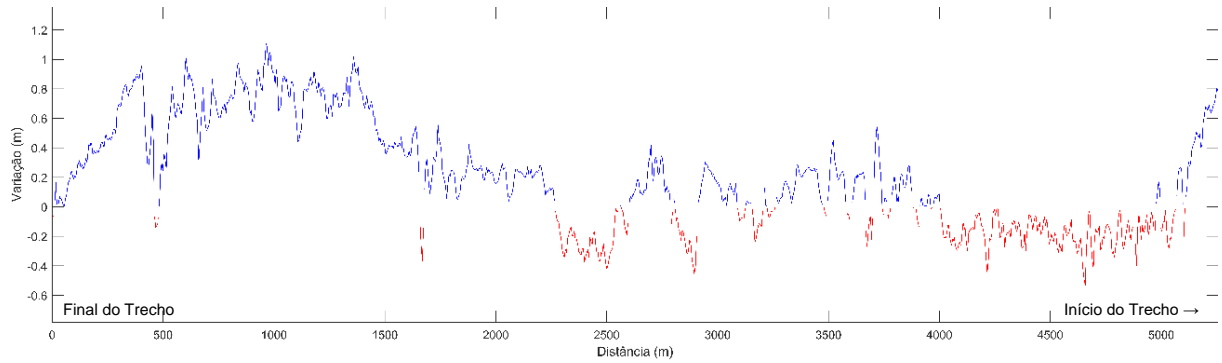


Figura 55 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 31/01/2013 (136 dias).

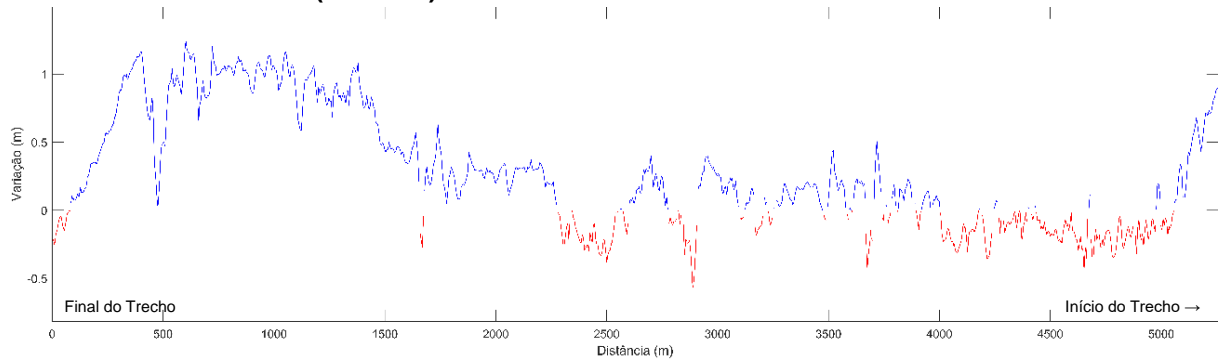


Figura 56 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 19/03/2013 (183 dias).

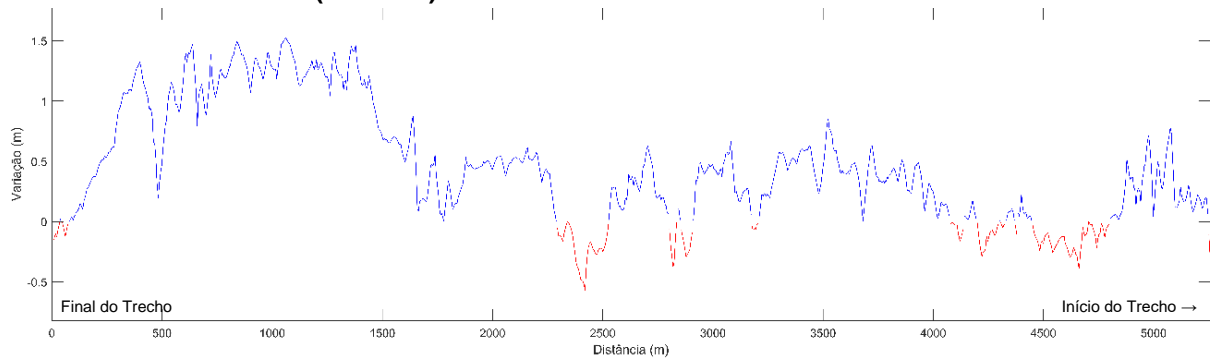


Figura 57 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 08/05/2013 (233 dias).

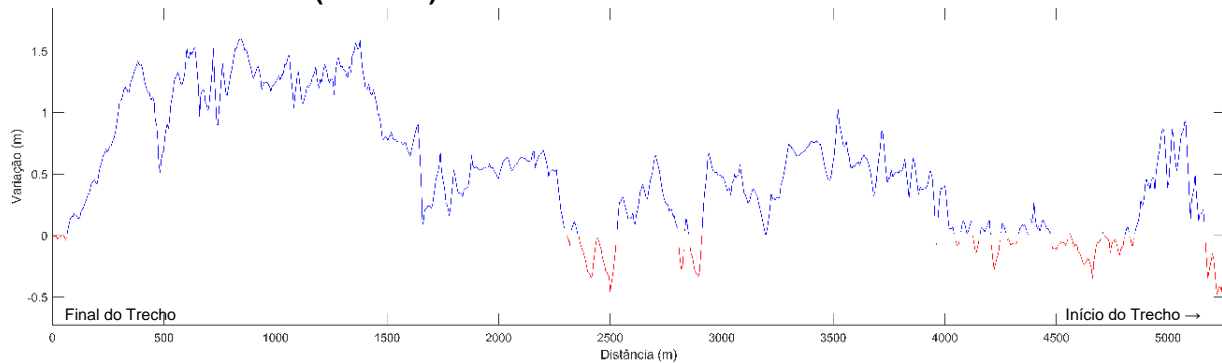


Figura 58 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 17/06/2013 (273 dias).

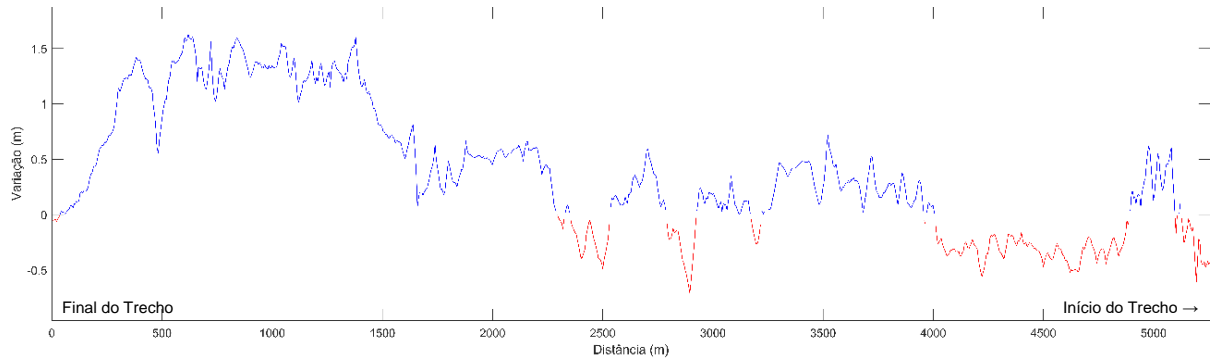


Figura 59 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 09/07/2013 (295 dias).

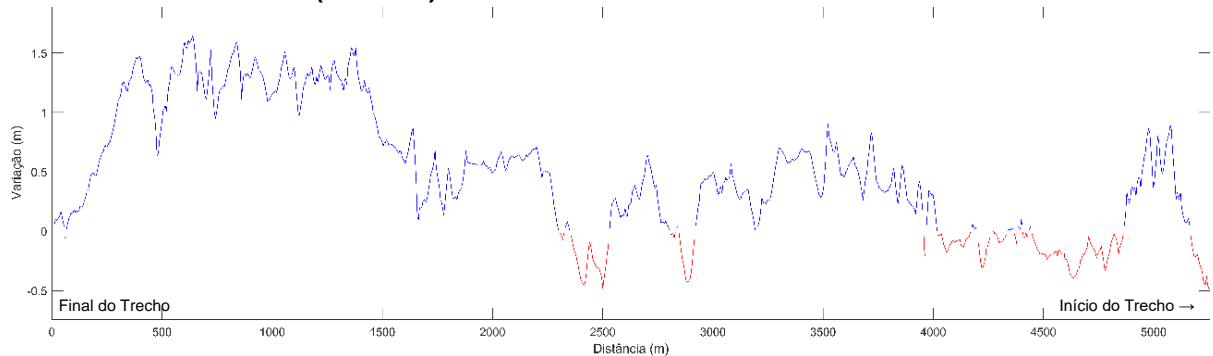


Figura 60 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 06/08/2013 (323 dias).

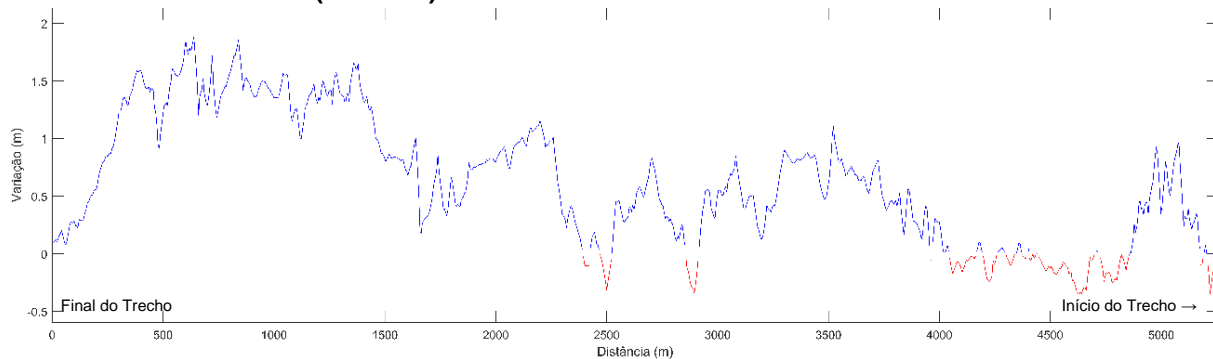


Figura 61 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013 (344 dias).

Pode-se observar a partir da análise conjunta das figuras acima a existência de uma área onde as perdas de profundidade ao longo do período foram mais acentuadas, localizada na porção mais a montante do Trecho 4, nas adjacências da reentrância formada entre Ilha dos Bagres e a entrada do Canal de Piaçaguera (Largo do Canéu). As maiores variações positivas são encontradas nas proximidades do talude que margeia o segmento superior da calha, sendo que as magnitudes das alterações tendem a diminuir em direção ao lodo oposto do canal, o que pode indicar um transporte transversal progradante de sedimentos de direção norte-sul nesta região em específico.

A existência da zona supracitada com tendências deposicionais mais expressivas é ratificada pelos gráficos de variações batimétricas do eixo central do canal, que demonstram pontos com quase 02,00 m de assoreamento ao final do período, situados entre uma distância de aproximadamente 530,00 e 1.350,00 m da seção final do Trecho 4.

Por outro lado, são observadas algumas áreas menores com predominância de tendências erosivas ao longo do período de análise, localizadas ao largo do cais da Brasil Terminal Portuário – BTP e do cais da Ilha Barnabé. Especificamente para esta última área, que se estende entre uma distância de aproximada de 4.000,00 a 4.850,00 m da seção final do Trecho 4, as variações negativas foram constantes quase que ao longo de toda a série analisada.

De modo geral, pode ser observado que as variações positivas foram superiores em ordem de grandeza do que as negativas ao longo da série sob análise.

Para fins de comparação dos resultados obtidos para o período de 17/09/2012 e 27/08/2013 com dados referentes a outras épocas abrangidas pelo restante da série, a Tabela 39 demonstra, complementarmente, os resultados obtidos para as análises realizadas entre as superfícies oriundas dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016, e de 12/08/2017 e 24/11/2017. Além das porcentagens dos pontos que sofreram assoreamento e erosão em relação à totalidade da malha batimétrica, são apresentadas informações quantitativas associadas às magnitudes das alterações nos locais (pontos da grade batimétrica) que sofreram deposição (elevação).

Tabela 39 - Informações quantitativas das variações batimétricas entre superfícies do Trecho 4 do canal de navegação obtidas para os períodos compreendidos de 11/10/2015 a 16/06/2016 e de 12/08/2017 a 24/11/2017.

Período	Data-Pré	Data-Pós	Intervalo (dias)	Ass. (%)	Ero. (%)	Magnitudes das Elevações (%)					
						0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
Trecho4_T3	11/10/2015	16/06/2016	249	72,17	27,83	42,03	23,25	22,70	8,39	2,28	1,36
Trecho4_T5	12/08/2017	24/11/2017	104	83,71	16,29	51,60	22,30	19,85	5,54	0,66	0,05

Os dados contidos na Tabela 39 demonstram que nos dois períodos contemplados, as porcentagens de pontos assoreados em relação à totalidade da malha batimétrica se sobrepuseram às porcentagens de pontos erodidos. Para o maior período, compreendido entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (249 dias), verifica-se que 72,17% dos pontos da grade batimétrica sofreram um balanço sedimentar positivo e apenas 27,83% um balanço sedimentar negativo.

Na Figura 62 à Figura 65 são apresentados os mapas batimétricos correspondentes à subtrações entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016, e de 12/08/2017 e 24/11/2017, bem como os respectivos gráficos das variações batimétricas ao longo do eixo central do Trecho 4 do canal de navegação.

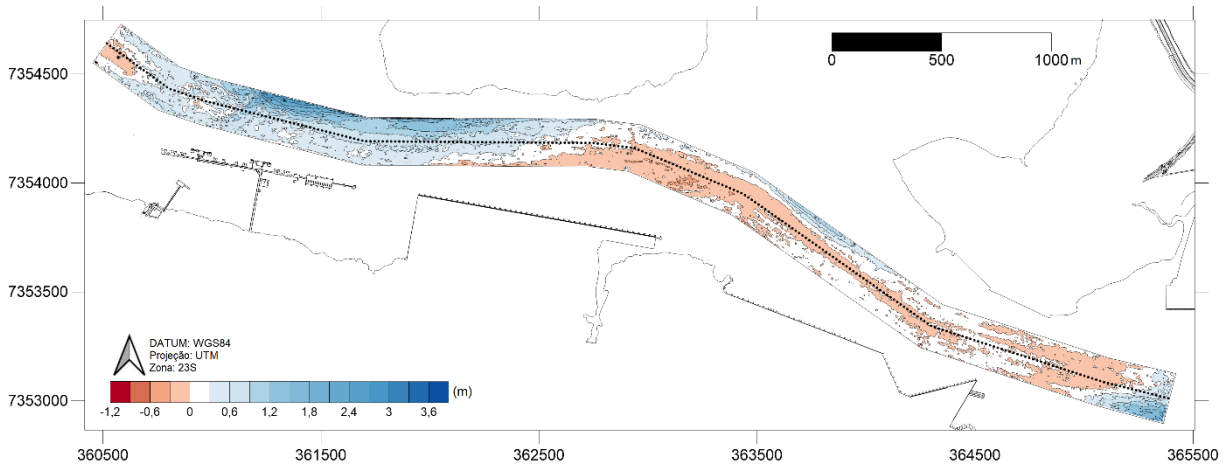


Figura 62 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

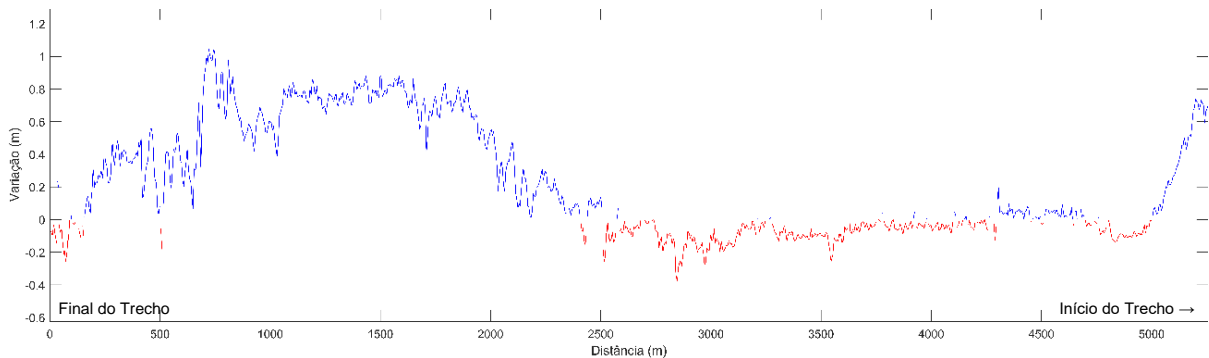


Figura 63 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (249 dias).

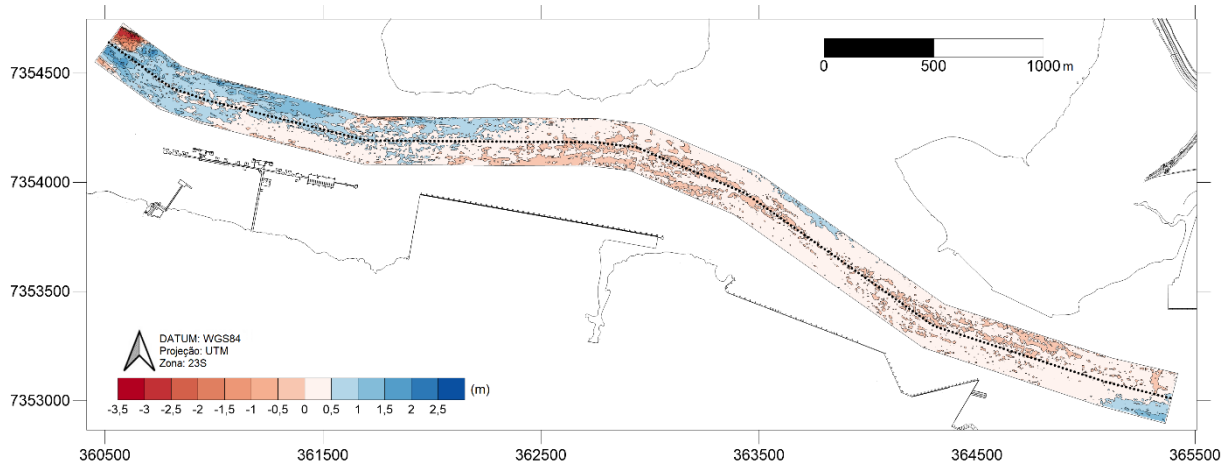


Figura 64 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 12/08/2017 e 24/11/2017 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo. A linha pontilhada representa o eixo central do canal.

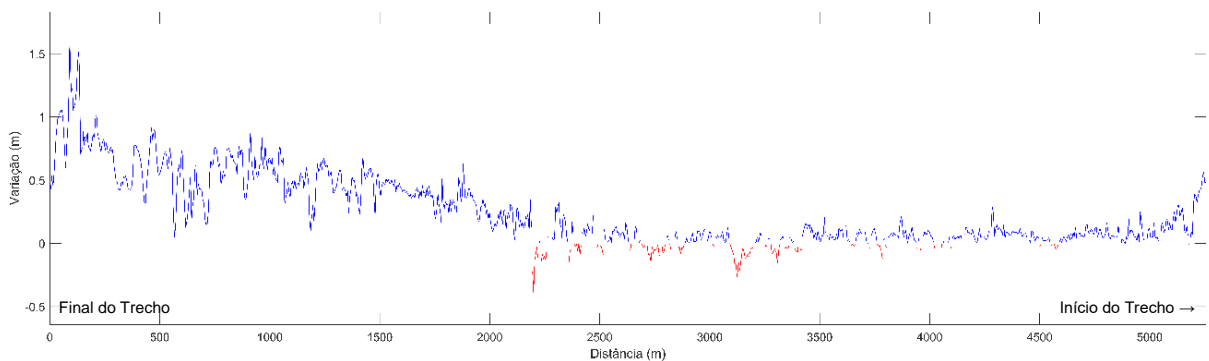


Figura 65 - Variação batimétrica no eixo central do Trecho 4 do canal de navegação entre 12/08/2017 e 24/11/2017 (104 dias).

A avaliação das figuras acima reforça a existência de uma área com tendência deposicional mais acentuada na porção final do Trecho 4, ao largo da reentrância formada entre a Ilha dos Bagres e o Canal de Piaçaguera (Largo na Canéu). Pode-se observar notável aumento das zonas com balanço sedimentar negativo principalmente nas proximidades do terminal da BTP, inaugurado em agosto de 2013, momento a partir do qual passaram a circular navios de maiores dimensões em áreas situadas a montante do cais do Saboó.

Principalmente na Figura 62 e na Figura 64 é possível notar que as duas áreas com tendências erosivas que se apresentavam segregadas ao final de agosto de 2013, passaram a se mostrar unidas longitudinalmente nos demais períodos posteriores, devendo-se atentar que sua extensão acompanha, de forma muito próxima e circunscrita, o eixo central do canal nas adjacências do cais do Saboó.

6. DISCUSSÃO

6.1 Balanço Sedimentar Total

Diante dos resultados alcançados para cada um dos trechos, apresentados anteriormente, depreende-se, com base na somatória dos volumes mensais resultantes do balanço sedimentar, que o volume total que remanesce depositado no canal de navegação ao final do período de um ano é de 3.662.811,83 m³. A distribuição do acúmulo sedimentar anual em cada um dos trechos, com base na somatória das médias mensais, é demonstrada no gráfico contido na Figura 66.

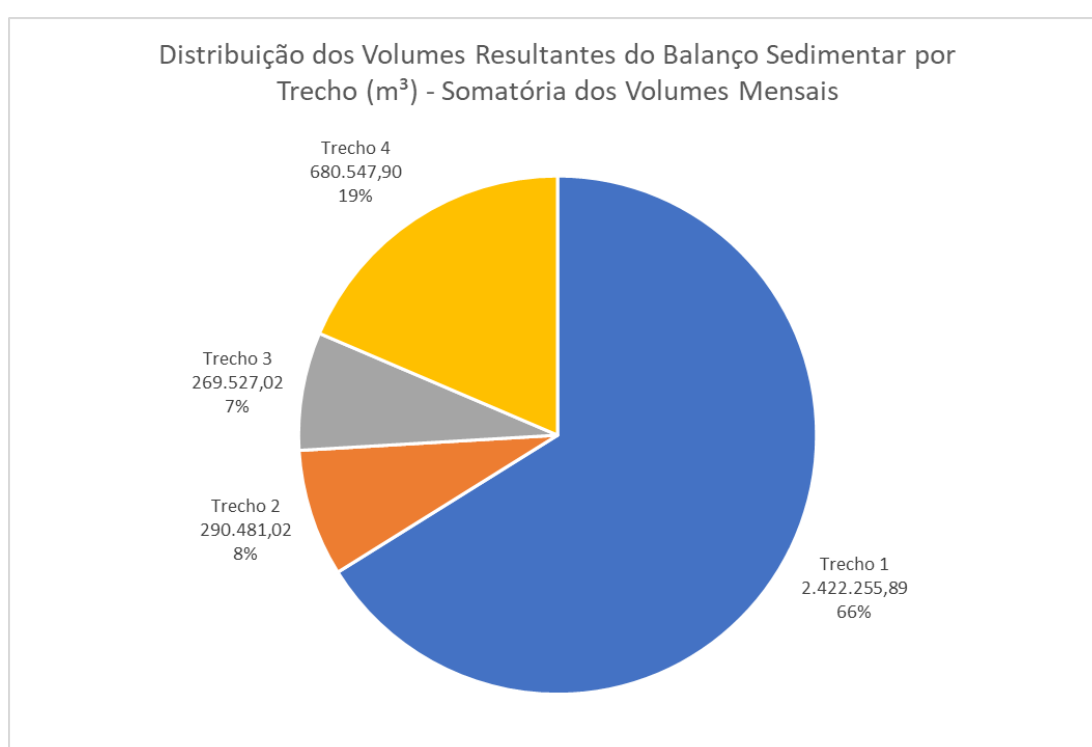


Figura 66 - Distribuição dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar e estimativas dos volumes médios anuais (m³) com base nos volumes médios mensais calculados para a série histórica, por trecho do canal de navegação.

Avaliando a figura acima, verifica-se que a maior parte do volume depositado se concentra no Trecho 1, representando 66% do volume total acumulado anualmente em todo o canal de navegação. O segundo maior quantitativo é observado no Trecho 4, que representa 19% do volume anual acumulado, seguido pelos Trechos 2 (8%) e 3 (7%), nesta respectiva ordem.

É importante observar que as estimativas dos volumes médios mensais foram efetuadas somente para os meses da série de dados que foram inteiramente abarcados pelos períodos de análise, ou seja, para os cálculos das respectivas

médias somente foram considerados os meses em que existiam taxas diárias mensuradas para todos os seus dias. Assim sendo, nem todos os dados extraídos através dos cálculos volumétricos puderam ser empregados para a composição dos valores médios mensais.

Neste sentido, a fim de garantir o aproveitamento integral dos resultados gerados a partir de toda a série de dados disponível, entende-se como pertinente a utilização das taxas médias diárias obtidas com base em cada uma das comparações entre superfícies batimétricas para auxiliar no entendimento da distribuição do balanço sedimentar nos diferentes trechos do canal. Por se tratarem de valores médios de todo um conjunto histórico de resultados, os mesmos levam em consideração as variações associadas às sazonalidades, perfazendo informações úteis para estimar valores médios para períodos mais longos, quando extrapoladas.

Mediante a extrapolação para um período de um ano das taxas médias diárias resultantes do balanço sedimentar calculadas para cada um dos trechos com base em toda a série histórica de dados, tem-se que a deposição média anual no canal de navegação é de 3.714.187,00 m³, aproximadamente. A distribuição do acúmulo sedimentar anual por trecho, com base nas taxas médias diárias do balanço resultante, é demonstrada no gráfico contido na Figura 67.

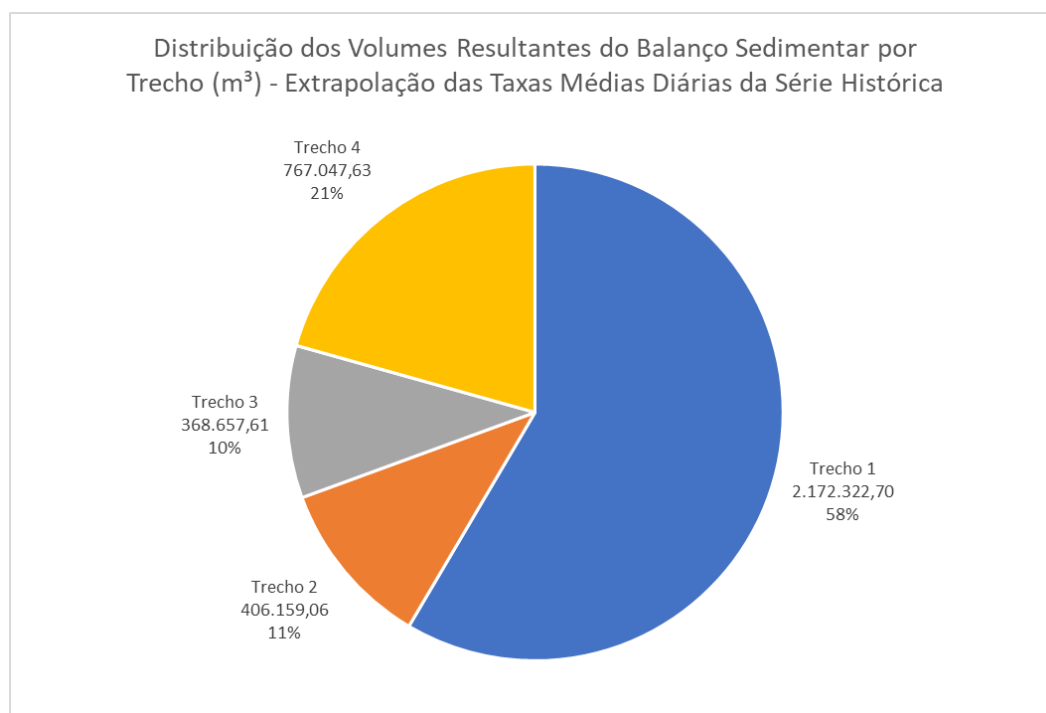


Figura 67 - Distribuição dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar e estimativas dos volumes médios anuais (m³) com base na extrapolação das taxas médias diárias calculadas para toda a série histórica, por trecho do canal de navegação.

Com relação aos volumes médios anuais de balanço sedimentar estimados a partir das taxas médias diárias do balanço sedimentar resultante, verifica-se que cerca 58% do volume depositado se acumula no Trecho 1. O segundo maior volume remanesce depositado no Trecho 4 (21%), seguido pelos Trechos 2 (11%) e 3 (10%), nesta ordem.

Verifica-se uma diferença pouco representativa (51.375,18 m³) em ordem de grandeza entre os volumes médios anuais resultantes do balanço sedimentar calculados a partir dos volumes médios mensais e das taxas diárias. Tal fato denota robustez para os resultados das diferentes análises empreendidas no presente estudo.

Em estudo realizado pelo FCTH (2017) visando avaliar as mudanças nos volumes de assoreamento no canal devido a alterações em seu gabarito, foi estimado, a partir de modelagem matemática considerando uma profundidade de projeto de 15,00 m (DHN), um volume anual de depósito sedimentar equivalente a 2.088.000,00 m³ no Trecho 1, 438.000,00 m³ no Trecho 2, 210.000,00 m³ no Trecho 3 e 1.068.000,00 m³ no Trecho 4, totalizando um acúmulo anual de aproximadamente 3.804.000,00 m³.

Já em estudo executado por ARGONÁUTICA (2013) para estimar a taxa de dragagem anual de manutenção do canal de acesso e bacias de evolução após a obra de aprofundamento do Porto Organizado de Santos para 15,00 m (DHN), calculou-se um aporte sedimentar anual médio (a dragar) de 1.900.985,00 m³ no Trecho 1, 499.682,00 m³ no Trecho 2, 360.085,00 m³ no Trecho 3 e 811.577,00 m³ no Trecho 4, totalizando 3.572.329,00 m³.

Deve-se ressaltar que os volumes estimados em ARGONÁUTICA (2013) estão associados diretamente aos quantitativos de dragagem, que se configuram nos volumes depositados acima da profundidade de projeto, levando-se em consideração também a respectiva tolerância. Não obstante, tendo em vista que os processos de assoreamento tendem a ser mais intensos em áreas com maior aprofundamento artificial, onde as cotas batimétricas estão mais afastadas do equilíbrio natural (Bray et al., 1997; ARGONÁUTICA, 2013), e que os cálculos foram efetuados após o término de campanhas de aprofundamento ou manutenção para a maioria dos trechos, entende-se que os resultados obtidos possam ser utilizados para fins comparativos no âmbito do presente estudo.

O gráfico apresentado abaixo (Figura 68) contempla a comparação dos resultados obtidos neste trabalho com os dois estudos acima mencionados, que constituem a principal bibliografia especializada recente relativa ao tema sob análise.

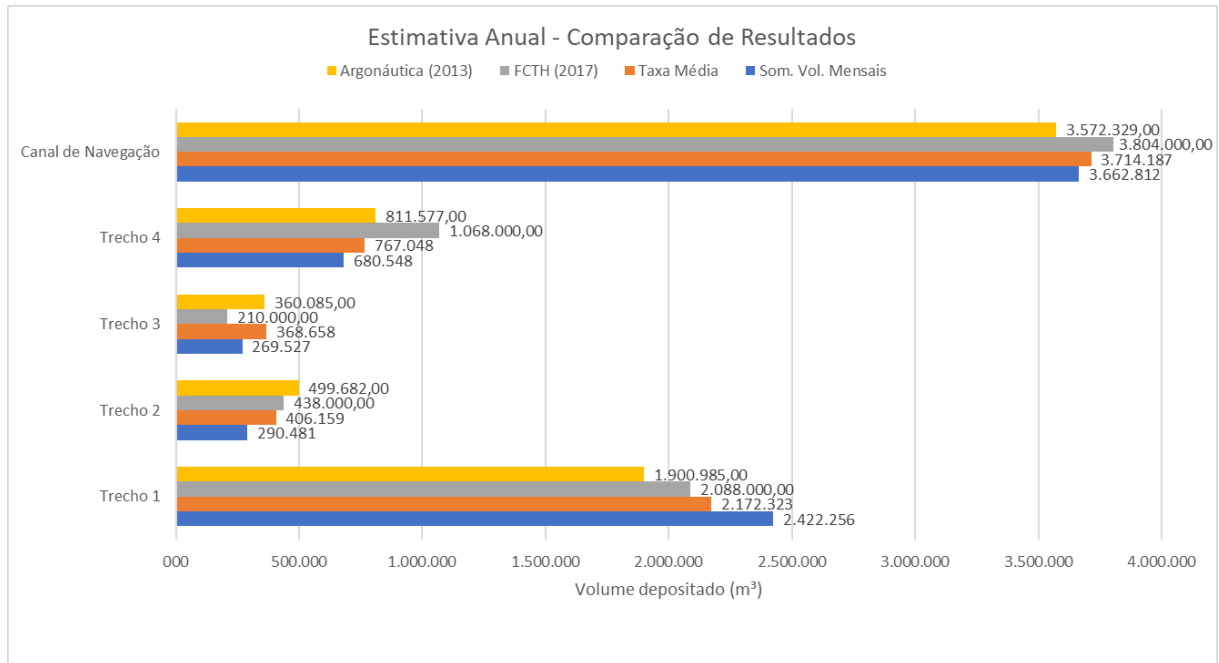


Figura 68 - Gráfico comparativo dos resultados de acúmulo anual (m³) de sedimentos no canal de navegação do Porto de Santos e seus respectivos trechos, obtidos no presente estudo e na bibliografia especializada correlata.

Analisando de forma integrada as informações demonstradas na figura acima, observa-se que as estimativas de acúmulo anual para o canal de navegação variaram entre 3.572.329,00 m³ (ARGONÁUTICA, 2013) e 3.804.000,00 m³ (FCTH, 2017), estando os dois valores médios totais de balanço sedimentar aqui obtidos compreendidos dentro desta faixa de variação. São encontrados baixos valores de desvio padrão (96.877,14 m³) e coeficiente de variação (2,63%) para o respectivo conjunto de dados.

Destarte, entende-se que as ordens de grandeza dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar do canal de navegação estimados no presente estudo estejam aderentes com os resultados alcançados nos principais trabalhos recentes executados para avaliar as taxas de sedimentação do Porto de Santos, considerando a conformação geométrica do canal de navegação implantada entre 2010 e 2012.

Na Figura 69, é apresentada a distribuição do esforço de dragagem entre os anos de 2013 e 2017, que representa o período de análise compreendido no presente estudo em que não ocorreram intervenções de aprofundamento, apenas de manutenção. De forma simplificada, considera-se nesse trabalho como esforço de dragagem o número total de ciclos realizados pelas dragas em cada um dos trechos do canal de navegação ao longo do intervalo temporal supracitado, desconsiderando-se as diferenças volumétricas de cisterna e os volumes dragados.

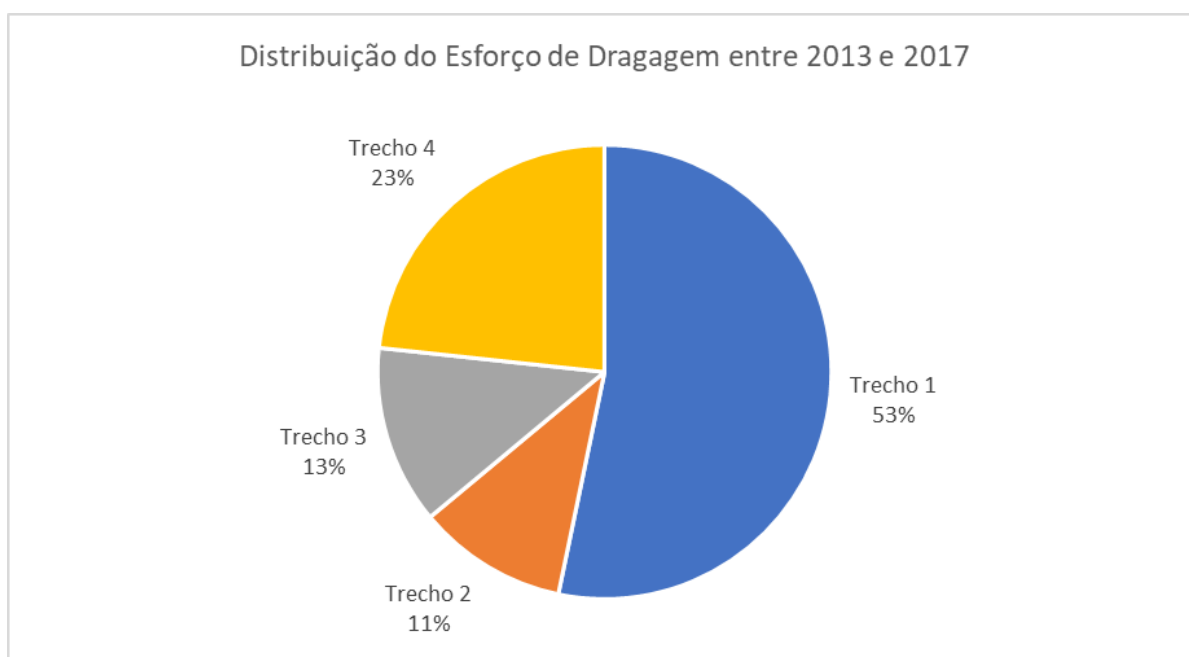


Figura 69 – Distribuição do esforço de dragagem (com base no número de ciclos) por trecho do canal de navegação entre 2013 e 2017.

Ainda que os dados utilizados para a confecção do gráfico acima não traduzam efetivamente volumes dragados, mas sim os ciclos empreendidos, pode-se notar que a distribuição do esforço de dragagem entre 2013 e 2017 se aproxima bastante das porcentagens apresentadas anteriormente na Figura 66 e na Figura 67, principalmente com a distribuição do balanço sedimentar no canal de navegação com base nos valores estimados a partir das taxas médias diárias por trecho.

A Figura 70, apresentada abaixo, contempla a comparação da distribuição do acúmulo anual de sedimentos nos diferentes trechos do canal de navegação obtidas no presente estudo e na bibliografia, em relação à distribuição histórica dos volumes dragados, cujos valores foram obtidos de FCTH (2017), e do esforço de dragagem verificado entre 2013 e 2017.

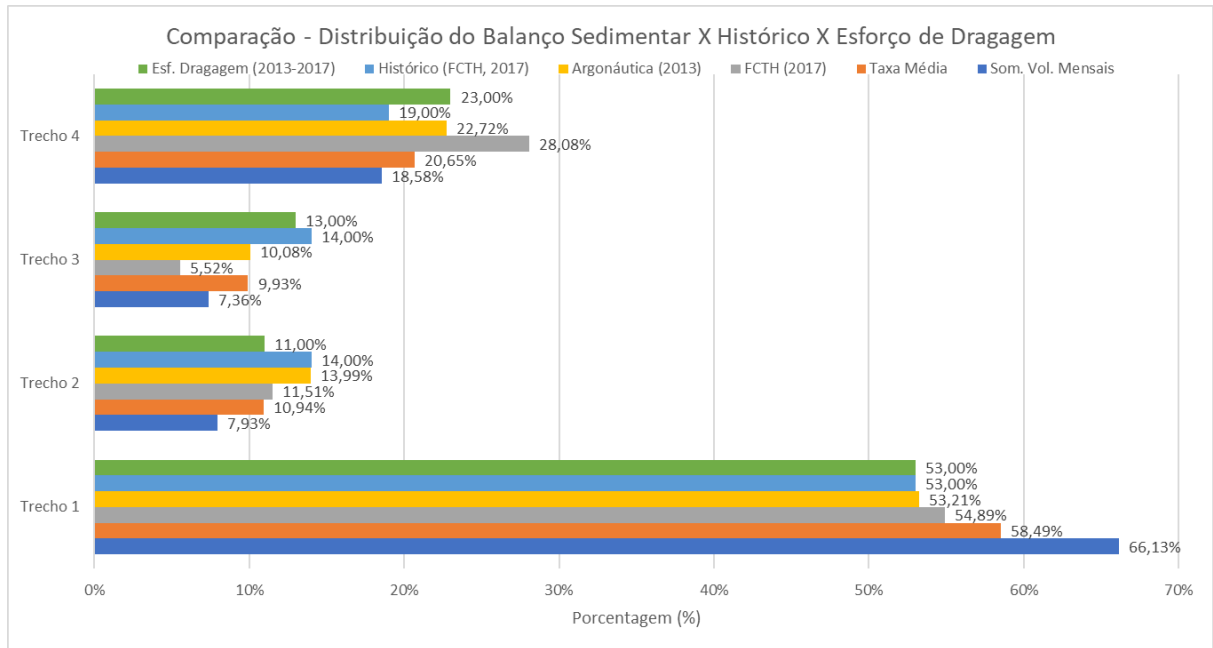


Figura 70 - Comparação da distribuição do acúmulo anual de sedimentos nos diferentes trechos do canal de navegação obtidas no presente estudo e na bibliografia, em relação à distribuição histórica dos volumes dragados (FCTH, 2017) e do esforço de dragagem verificado entre 2013 e 2017.

No que compete aos resultados obtidos no presente estudo, mais uma vez se observa uma boa aderência em relação aos valores preconizados na bibliografia especializada e aos próprios dados relativos à distribuição do esforço de dragagem, principalmente quando considerados os volumes anuais obtidos a partir da extrapolação das taxas médias diárias calculadas a partir da série histórica.

A maior discrepância em relação ao conjunto de dados é observada no Trecho 1, especificamente levando-se em conta o balanço anual médio obtidos a partir da somatória das médias mensais. No entanto, em termos volumétricos, conforme apresentado anteriormente, entende-se que tal variação não seja relevante, principalmente quando considerada a ordem de grandeza dos acúmulos anuais no canal da barra.

É importante considerar ainda que três das seis bases de dados de distribuição, utilizadas na comparação acima, estão relacionadas a volumes e esforços de dragagem, associados intrinsecamente aos quantitativos que são removidos das camadas acima da profundidade de projeto, enquanto os resultados de balanço sedimentar aqui alcançados representam os acúmulos totais em cada trecho, mesmo que estes ocorram abaixo das cotas dragadas. Neste sentido, ainda

que pouco relevante do ponto de vista operacional, é esperada que haja discrepância entre estes dois tipos de informação de natureza distintas.

Outra diferença mais significativa, tanto em termos de distribuição quanto de volume, pode ser observada na estimativa de acúmulo anual obtida por FCTH (2017) para o Trecho 4, em comparação às explicitadas nas demais bases de dados. Infere-se que os maiores quantitativos encontrados neste trabalho estão relacionados com o fato de as simulações matemáticas terem sido realizadas para uma profundidade de 15,00 m nesta área.

Na maior parte dos levantamentos batimétricos utilizados para os cálculos volumétricos do presente estudo, o Trecho 4 se demonstrou com profundidades aquém da de projeto, principalmente nas regiões a montante do cais da BTP, onde o calado operacional praticado (12,70 m na baixa-mar) é menor do que o adotado para o restante do canal (13,50 m na baixa-mar) (SPA, 2021c). Ademais, o estudo de ARGONÁUTICA (2013) foi realizado em momento em que a dragagem de aprofundamento ainda não estava finalizada.

A Tabela 40 demonstra os volumes verificados acima da profundidade de 15,00 m nas superfícies iniciais de cada um dos períodos de análise considerados para o Trecho 4.

Tabela 40 - Volumes calculados nas camadas superiores à profundidade de 15,00 m nas superfícies iniciais de cada um dos períodos de análises considerados para o Trecho 4.

Cód. Período de Análise	Superfície Pré (Cód. Batimetria)	Vol>15m (m³)
Trecho4_T1	20_T1A4_27082012	720.984,37
Trecho4_T2	35_T1A4_15112013	987.219,45
Trecho4_T3	04.09_T4_10102015	325.227,70
Trecho4_T4	04.13_T4_22082016	350.791,21
Trecho4_T5	04.20_T4_11082017	94.747,89

Neste sentido, tendo em vista que a taxa de evolução dos fundos tende a aumentar de forma não linear à medida que a cota batimétrica se afasta da profundidade de equilíbrio natural, deve ser considerada a possibilidade de que os volumes médios resultantes estimados neste estudo e em ARGONÁUTICA (2013) para o Trecho 4 reflitam valores menores do que os que seriam efetivamente observados caso toda a área fosse inteiramente mantida com uma profundidade de 15,00 m.

Ressalta-se, porém, que o estudo de FCTH (2017) também contemplou a realização de simulações para as condições batimétricas observadas durante o mês de março de 2016, momento no qual eram verificadas profundidades menores do que as de projeto no Trecho 4 do canal de navegação, situação esta que mais se parece com as condições observadas no presente trabalho. Para este trecho e cenário de modelagem em específico, foi estimado um volume anual de depósito sedimentar de 954.000,00 m³, menor do que o calculado para o gabarito de 15,00 m (DHN) e mais próximo dos estimados nos demais estudos.

No entanto, ainda assim, verifica-se que a diferença obtida entre os cenários simulados, de 114.000,00 m³, não se mostra tão expressiva quando considerado o volume total aportado no canal de navegação. Outrossim, pode ser observado que a dragagem integral do Trecho 4 para 15,00 m não se mostrou uma realidade ao longo da série histórica, possivelmente em função das diferenças de calados operacionais praticados nesta área.

Diante do exposto, à luz da análise integrada dos resultados obtidos no presente estudo e nas demais fontes externas de informações, apresentam-se na Tabela 41, as estimativas inferiores, melhores (*best estimate*) e superiores para o acúmulo anual de sedimentos no canal de navegação e seus respectivos trechos. Deve-se ressaltar os volumes anuais obtidos a partir da extrapolação das taxas médias diárias foram considerados como os melhores resultados, dada a robusta e extensa série histórica que os amparam e a maior aderência com os dados disponíveis na bibliografia e relativos aos esforços de dragagem.

Tabela 41 - Estimativas inferiores, melhores (*best estimate*) e superiores para o acúmulo anual de sedimentos no canal de navegação e seus respectivos trechos, considerando a conformação geomorfológica alcançada em 2012.

Área	Estimativa Inferior (m ³)	Melhor Estimativa (m ³)	Estimativa Superior (m ³)
Trecho 1	1.900.985,00	2.172.322,70	2.422.255,89
Trecho 2	290.481,02	406.159,06	499.682,00
Trecho 3	210.000,00	368.657,61	368.657,61
Trecho 4	680.547,90	767.047,63	1.068.000,00
Canal de Navegação	3.082.013,92	3.714.187,00	4.358.595,50

A Tabela 42 expõe a compilação dos volumes mensais assoreados, erodidos e resultantes do balanço sedimentar no canal de navegação, bem como as taxas

diárias correlatas. Também são apresentadas as somatórias dos volumes mensais e as médias estimadas para cada um dos parâmetros.

Tabela 42 - Compilação dos dados de volumes mensais assoreados, erodidos e resultantes do balanço sedimentar no canal de navegação e respectivas taxas diárias correlatas.

Canal de Navegação (Volumes - m³; Taxas - m³/dia)						
Mês	Vol. Ass.	Tx. Ass.	Vol. Ero.	Tx. Erro.	Vol. M. Bl.	Tx. Bl.
Jan	396.255,13	12.782,42	197.479,17	6.370,30	198.775,96	6.412,13
Fev	364.143,42	13.005,12	130.145,65	4.648,06	233.997,77	8.357,06
Mar	411.359,43	13.269,66	188.629,76	6.084,83	222.729,67	7.184,83
Abr	384.241,49	12.808,05	190.055,78	6.335,19	194.185,70	6.472,86
Mai	635.503,36	20.500,11	245.364,90	7.915,00	390.138,46	12.585,11
Jun	640.390,85	21.346,36	249.845,00	8.328,17	390.545,85	13.018,19
Jul	442.541,15	14.275,52	265.244,99	8.556,29	177.296,16	5.719,23
Ago	536.588,00	17.309,29	135.924,72	4.384,67	400.663,27	12.924,62
Set	476.937,63	15.897,92	109.097,28	3.636,58	367.840,34	12.261,34
Out	799.366,17	25.786,01	275.274,72	8.879,83	524.091,44	16.906,18
Nov	528.425,53	17.614,18	186.901,21	6.230,04	341.524,32	11.384,14
Dez	345.817,35	11.155,40	124.794,48	4.025,63	221.022,87	7.129,77
Somatória	5.961.569,50	-	2.298.757,66	-	3.662.811,83	-
Média	496.797,46	16.312,50	191.563,14	6.282,88	305.234,32	10.029,62

Deve-se notar que, em termos totais, como o esperado (Coelho, 2011; ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017; Speranzini, 2017), o canal de navegação do Porto Organizado de Santos apresenta uma tendência deposicional ao longo de todo o ano, sendo que os volumes assoreados mensalmente se sobrepõem aos volumes erodidos, resultando em valores positivos de balanço sedimentar. No entanto, deve-se observar a importância dos processos erosivos atuantes em todos os trechos do canal, sendo que montas significativas de sedimentos são removidas continuamente do fundo (2.298,757,66 m³ em um período de um ano) em condições naturais (Speranzini, 2017; Demarco, 2019), não se configurando a dragagem o único fator capaz de promover o aumento de profundidades da área de estudo.

Considerando os quantitativos obtidos a partir da volumes médios mensais, tem-se que o volume total assoreado no canal de navegação em um período de um ano é estimado em 5.961.539,50 m³. No entanto, devido a ação de processos erosivos, estima-se um valor médio anual do balanço sedimentar resultante de 3.662.811,83 m³, o qual reforça-se que é aderente ao observado nas demais bases de dados, conforme discutido anteriormente.

A taxa média diária resultante do balanço sedimentar do canal de navegação com base nos volumes médios mensais foi calculada em +10.029,62 m³/dia, valor este congruente com a taxa média obtida a partir de toda a série histórica (+10.175,85 m³/dia) e as estimadas a partir dos resultados de ARGONÁUTICA (2013) e FCTH (2017) por meio da divisão dos volumes totais por períodos anuais, de +10.421,92 m³/dia e +9.787,20 m³/dia, respectivamente.

As taxas de acúmulo de sedimentos em um canal e suas alterações em função da sazonalidade são informações cruciais para um adequado dimensionamento do parque de equipamentos de dragagem que irão atuar para a manutenção das cotas de projeto (Bray et. al, 1997). Neste sentido, é importante destacar a constatação de uma variação das taxas resultantes do balanço sedimentar em determinados períodos do ano, sendo que entre dezembro e abril foram verificados valores mais baixos, que perfazem uma média de +7.111,33 m³/dia (29% menor do que a média anual), enquanto que entre maio e novembro foram observados valores mais expressivos, os quais perfazem uma média de +12.114,12 m³/dia (20% maior do que a média anual).

Para elucidar a distribuição mensal dos volumes depositados no canal de navegação ao longo de um período anual, são apresentados na Figura 71 e Figura 72 gráficos demonstrando, respectivamente, os volumes resultantes do balanço sedimentar para cada mês do ano, obtidos a partir das somatórias das médias mensais inerentes a cada um dos trechos, e sua distribuição ao longo de um período anual.

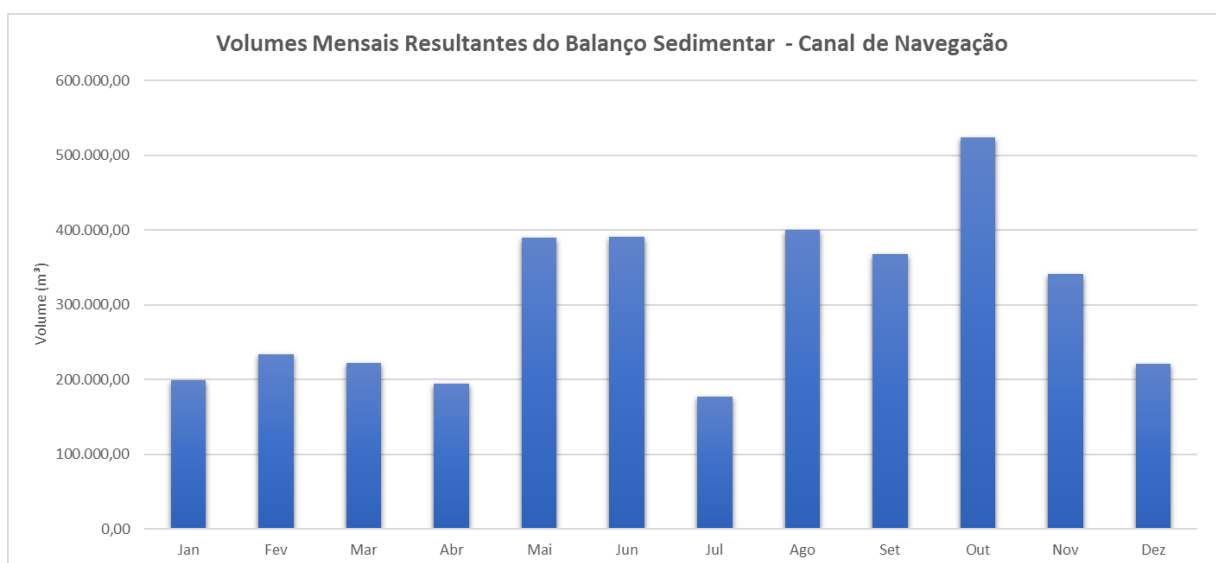


Figura 71 - Volumes mensais resultantes do balanço sedimentar do canal de navegação.

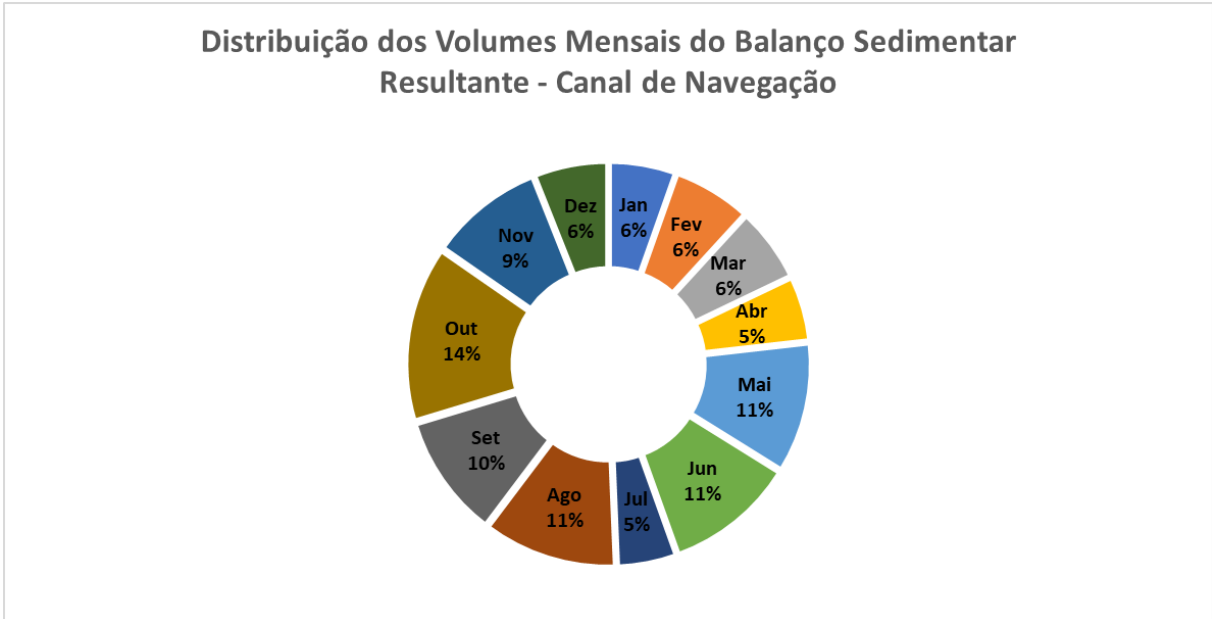


Figura 72 - Distribuição dos volumes mensais resultantes do balanço sedimentar ao longo do período de um ano.

Conforme pode ser observado nas figuras acima, 62% do volume anual depositado no canal de navegação é acumulado entre maio e outubro, acompanhando os maiores valores resultantes do balanço sedimentar estimados para o Trecho 1 para este mesmo período, demonstrados na Figura 7, que abrange prevalentemente os meses de inverno.

Considerando que, com base na melhor estimativa estipulada no presente trabalho, 58% do material acumulado no canal de navegação em um ano é depositado no Trecho 1, e que os volumes resultantes do balanço sedimentar associados aos meses de maio a outubro representaram 68,64% do quantitativo acumulado anualmente neste mesmo trecho, é possível efetuar a asserção de que, neste respectivo período, são depositados 1.491.082,30 m³ de sedimentos somente no canal da barra. Este último valor representa aproximadamente 40% do total acumulado em todo o canal de navegação anualmente.

6.2 Canal Externo (Trecho 1)

De acordo com FTCH (2017), mais da metade do volume depositado anualmente no canal de navegação se acumula no Trecho 1, principalmente no período de inverno, quando é verificada uma maior ocorrência de passagem de sistemas frontais, provocando ressacas, ou *storm surges*, e a incidência de ondas

mais intensas na região da Baía de Santos, cuja ação é mais efetiva no transporte de sedimentos. Neste contexto, o trabalho realizado por ARGONÁUTICA (2013) ressalta que os períodos críticos de assoreamento no canal da barra estão ligados ao estado do mar, aproximadamente entre abril e setembro.

A agitação das ondas tem papel dominante na dinâmica sedimentar no Trecho 1, que compreende a porção mais externa e exposta do canal de navegação. Trata-se de uma área marítima não confinada sob influência de processos físicos associados à ação de ondas e dos ventos, o que incorre em uma grande variabilidade direcional de correntes (ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017; Speranzini, 2017).

O transporte de sedimentos no Trecho 1 é severamente afetado pela passagem de eventos meteorológicos extremos, que exercem uma forte influência, porém com duração limitada, nas ondas, correntes e regime de maré (ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017). Os autores Gireli & Vendrame (2012) apontam para a possibilidade da ocorrência de incrementos da cota de fundo do canal externo da ordem de metros durante a passagem de uma única frente fria.

Diferentemente do observado nos trechos mais internos do canal de navegação, os sedimentos que compõem o fundo do Trecho 1 possuem frações arenosas mais significativas (FRF, 2008; ARGONÁUTICA, 2013; TETRA TECH, 2016; FCTH, 2017; INPH, 2020; MCA, 2021; MCA, 2022). Tal constatação, somada ao fato de o estuário não ter competência para transportar areias em suspensão para fora do mesmo (Coelho, 2011), reforça o entendimento de que o aporte sedimentar nesta região pode ser atribuído predominantemente à agitação de ondas, tendo a fonte do material principalmente origem marinha (Speranzini, 2017).

O gráficos contidos na Figura 73 e na Figura 74, apresentadas mais abaixo, demonstram dados de caracterização granulométrica dos sedimentos do canal de navegação obtidos em campanhas realizadas nos anos de 2020 e 2021, respectivamente (MCA, 2021; MCA, 2022). Conforme pode ser observado, frações arenosas de sedimentos são mais representativas no Trecho 1, principalmente em suas porções iniciais.

O assoreamento do Trecho 1 está associado prevalentemente à combinação da ação de ondas e correntes durante a passagem de sistemas frontais, condições nas quais existe um processo combinado de remobilização e transporte de sedimentos na Baía de Santos e plataforma adjacente, limitado à zona litorânea,

aproximadamente até a isóbata de 20,00 m (SONDOTÉCNICA, 1977; Coelho, 2011; DTA-Engenharia, 2011).

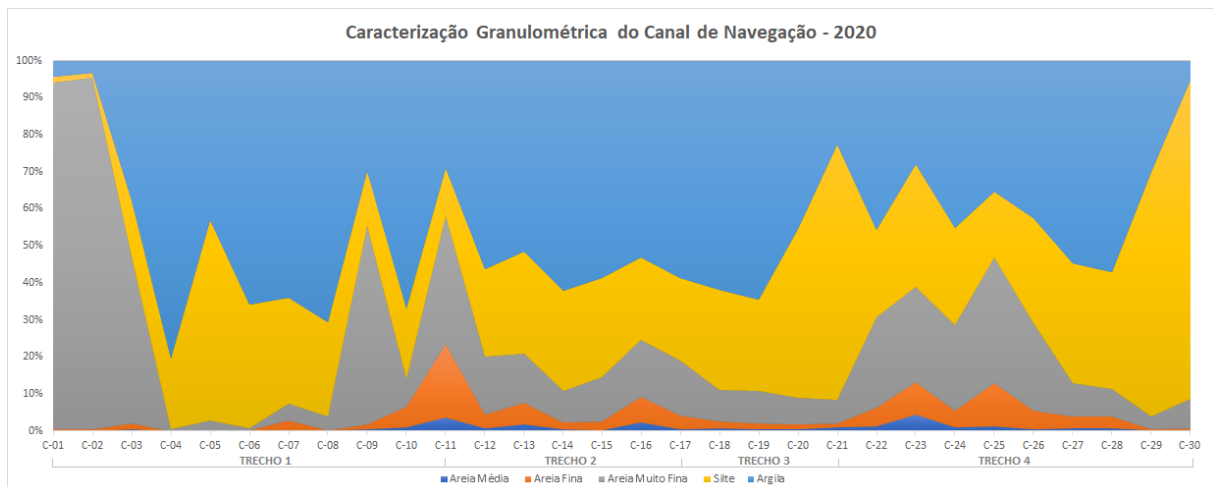


Figura 73 - Distribuição granulométrica ao longo do canal de navegação no ano de 2020.

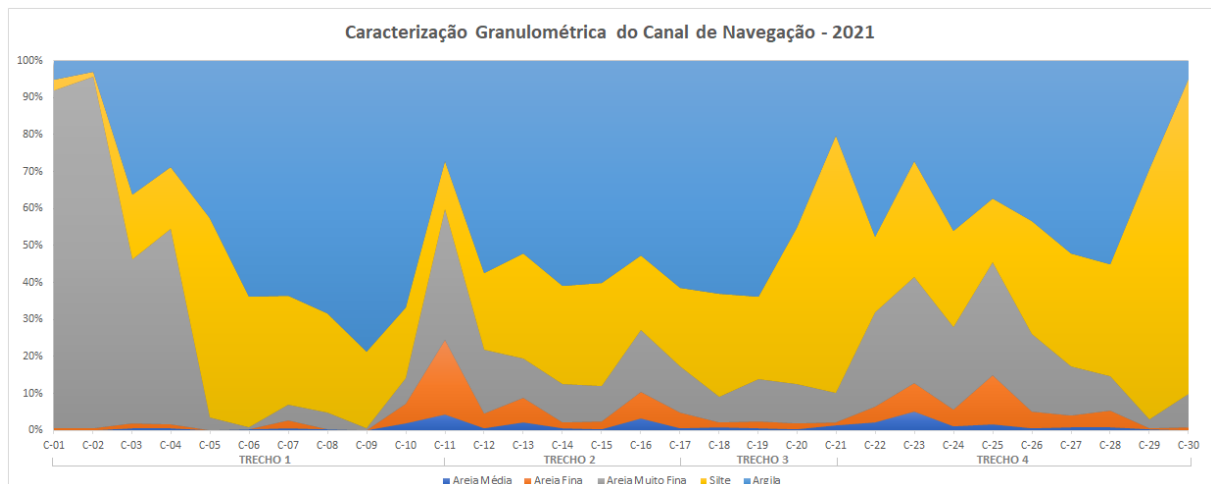


Figura 74 - Distribuição granulométrica ao longo do canal de navegação no ano de 2021.

Com forte influência batimétrica, a dinâmica do oceano na região da plataforma ao largo de Santos é dominada pela ação dos ventos e, em menor magnitude, pela maré. Sob influência da ASAS, na região Sudeste brasileira prevalecem ventos na superfície do quadrante Leste e Nordeste moderados. No entanto, instabilidades provocam um padrão de condições atmosféricas típico da evolução de sistemas frontais frios, associados à ocorrência de ventos mais intensos do quadrante Sudeste e Sul.

Sistemas frontais, ou frentes frias, se configuram na perturbação meteorológica em escala sinótica mais importante sobre a Plataforma Continental Sudeste (Kousky, 1979; Castro et al., 2006). Típicos de latitudes médias, os sistemas frontais, associados aos distúrbios de grande-escala, deslocam-se acompanhados de

ciclones e anticiclones móveis, gerando alterações nos campos de pressão atmosférica, vento e outras variáveis atmosféricas, ao longo da sua trajetória (Wallace & Hobbs, 1977).

Entre as latitudes de 20° S e 34° S, observa-se uma variação da ocorrência de sistemas frontais ao longo do ano entre três e seis por mês, resultando em escalas de tempo entre cinco de dez dias. A frequência da ocorrência de sistemas frontais tende a crescer durante o inverno, sendo que entre 20° S e 25° S, a mínima ocorrência é observada em fevereiro, três por mês, e a máxima em outubro, cinco por mês, em média (Castro et al., 2006).

Persistentes e mais fortes quando comparadas às correntes de maré, as correntes geradas pelo vento na região marítima nas proximidades de Santos são, em geral, verticalmente homogêneas e paralelas às isóbatas. Em condições normais, são observadas correntes mais fracas, da ordem 0,20 m/s, raramente excedendo 0,40 m/s, com direções para Oeste - Sudoeste. Sob influência de sistemas frontais, as correntes, em geral, são mais intensas, podendo atingir picos de 0,80 m/s a 1,00 m/s, com direções para Leste - Nordeste (Camargo & Harari, 1994; DTA-Engenharia, 2011).

Ressalta-se que na plataforma Sul-Sudeste brasileira, a passagem de frentes frias, além de gerar alteração nos padrões das correntes marítimas, pode provocar elevações significativas do nível do mar conhecidas como marés meteorológicas (Camargo & Harari, 1994). Possuindo um comportamento temporal estocástico e períodos mais longos em relação às principais componentes de marés astronômicas (na ordem de alguns dias), as marés meteorológicas positivas, associadas aos sistemas frontais, estão relacionadas, de modo geral, ao empilhamento de águas junto à costa causado por ventos provenientes do quadrante Sul.

As características das ondas de gravidade, por sua vez, como altura e período, são regidas pela velocidade e duração do vento que as origina e pelo tamanho da pista, que é formada pela distância sobre a água e o vento que sopra. Neste sentido, quanto mais forte o vento soprar, maiores serão as ondas geradas por ele (Wright et al., 1999).

As ondas de gravidade mais energéticas, presentes no Atlântico Sul, são geradas, nas médias e altas latitudes, por tempestades originadas nos centros de baixa pressão provenientes da Antártica, associados às frentes frias, sendo que as maiores ondas que atingem a costa Sul-Sudeste brasileira são do tipo marulho. As

ondas geradas pelas frentes frias têm direção que varia, de maneira geral, entre Sudoeste e Sudeste (Candella, 1997).

Em estudo realizado pela FUNDESPA (2010) foi verificado que, para um período compreendido entre 2001 e 2010, nas proximidades da Baía de Santos, as direções mais frequentes de incidência de ondas foram de Sul-Sudoeste, Sul e Sul-Sudeste, na respectiva ordem. As alturas mais frequentes para as ondas incidentes na região variaram entre 0,50 m e 1,50 m, sendo que 4,00 m foi a maior altura de onda observada no intervalo considerado. Os maiores valores de período referem-se às ondas provenientes de Sul.

É importante frisar que as ondas incidentes de águas profundas passam a ser modificadas pelo fundo quando a profundidade local é menor do que a metade do seu comprimento. A partir deste ponto, um dos processos básicos que opera sobre as ondas é o de refração, fenômeno através do qual os seus raios são orientados pela batimetria, tendendo o alinhamento das cristas a se tornar paralelo à direção das isóbatas (Wright et al., 1999).

Devido à configuração geográfica da Baía de Santos, as ondas incidentes no seu interior sofrem refração e difração ao longo do deslocamento, com tendência de propagação, principalmente, como ondas provenientes de Sul à medida que são atingidas zonas mais rasas, de forma que o trem se redirecione buscando o paralelismo em relação à linha de costa (FUNDESPA, 2010).

O estudo de SONDOTÉCNICA (1977) explicita que a Baía de Santos, situada entre os pontos fixos da Pontas de Itaipú e Monduba, e aberta ao sul, está sujeita a movimentos de material sólido por transporte litorâneo e a movimentos transversais provocados pelas ondas que nela penetram. Neste contexto, o material é movimentado através de um processo misto de ondas e correntes, em que as primeiras são responsáveis pelo arraste das partículas de maior diâmetro e pelo levantamento das mais finas, e as segundas pelo transporte destas últimas em suspensão.

Estudo realizado por Coelho (2011) complementa que, basicamente, existem duas situações que determinam a direção do transporte de sedimentos na região costeira ao largo de Santos:

- 1) Situações de tempo bom, com ondas oriundas do setor Leste-Sudeste e ventos e correntes predominantemente para Sudoeste. Nesta situação, o transporte do sedimento por carga de fundo tem direção preferencial Sudoeste;

- 2) Situação de passagem de frentes frias, onde é verificada uma maior intensidade dos ventos e correntes, com direção predominante para Nordeste, bem como o aumento de altura de ondas do setor Sudeste-Sul. Nestas condições, o transporte tem direção preferencial para Nordeste.

Verifica-se que uma porção considerável do Trecho 1 localiza-se ao sul da Ponta do Itaipu, onde prevalece a influência dos efeitos decorrentes da hidrodinâmica associada aos eventos meteorológicos (Harari & Camargo, 2008; DTA-Engenharia, 2011). Nestas áreas, em função da inexistência de barreiras geográficas ao transporte das correntes para Nordeste, infere-se que as maiores taxas de assoreamento estejam ligadas mais diretamente à dinâmica do transporte litorâneo associados à passagem de sistemas frontais, regida pela interação das correntes associadas aos ventos e ondas.

Por se tratar de áreas com profundidades menos distantes das observadas nas regiões adjacentes não dragadas, naturalmente mais profundas, as seções iniciais do Trecho 1 tendem a sofrer processos de assoreamento menos intensos em termos volumétricos, por estarem mais próximas do equilíbrio natural.

Não obstante, o transporte de sedimentos no interior na Baía de Santos, cuja dinâmica apresenta maior grau de dominância da forçante de maré (Harari & Camargo, 1998), e, conseqüentemente, o aporte de sedimentos para as porções do Trecho 1 nele compreendidas, demonstram um padrão mais complexo. Tratam-se de áreas que se estendem ao longo de regiões que seriam naturalmente mais rasas, em que, entre uma distância de 3.000,00 m e 7.000,00 m do início do canal, são observadas, geralmente, as maiores variações positivas de profundidade no decorrer do eixo central, assim como nos flancos.

Analisando-se os estudos de Ponçano (1985), SONDOTÉCNICA (1977) e DTA-Engenharia (2011), depreende-se que existe um padrão preferencial para o transporte de sedimentos advindos do Sul-Sudoeste da Baía de Santos com passagem preferencial pela porção Oeste da mesma, predominantemente ao largo da Ponta do Itaipu, região a partir da qual, já sob influência da hidrodinâmica associada à variação da maré, o material é transportado em direção ao canal de acesso. O respectivo processo está associado a condições de passagens de sistemas frontais, no qual os sedimentos, com frações significativas de areia muito fina (Ponçano, 1985), são remobilizados e transportados pela agitação das ondas e ação das correntes mais

intensas (transporte litorâneo no sentido Nordeste) de área ao Sul-Sudoeste da baía em direção à sua porção Oeste.

De acordo com Coelho (2011), o padrão de distribuição de areia muito fina em suspensão na coluna d'água na área de estudo apresenta, predominantemente, maiores concentrações nas camadas próximas ao fundo, principalmente na região central da Baía de Santos e na plataforma adjacente. Tal fato deve-se à ação simultânea de correntes e ondas que permite que a tensão de cisalhamento no fundo seja superior à tensão crítica de cisalhamento para a erosão desta classe de sedimentos, disponibilizando-os para a coluna d'água; bem como à falta de competência do fluxo para manter sedimentos mais grossos em suspensão nas camadas mais superficiais da coluna d'água, incorrendo na presença de areia muito fina apenas nas camadas mais próximas ao fundo.

Neste sentido, o nível de energia das condições meteoceanográficas de contorno influi diretamente na quantidade e características dos sedimentos disponibilizados para a coluna e suscetíveis ao transporte, sendo que em situações de passagem de frente fria, por exemplo, as concentrações de areia muito fina nas porções centrais da Baía de Santos chegam a mais que dobrar em relação às observadas em condições de tempo bom de sizígia (Coelho, 2011).

Ademais, o ângulo de incidência de ondas que adentram o interior da Baía de Santos faz com que as diferentes porções da mesma fiquem menos ou mais expostas a ondas de maior altura significativa (maior energia) e, conseqüentemente, com maior competência para transportar sedimentos (Coelho, 2011; FUNDESPA, 2013). De forma geral, principalmente para ondulações provenientes de Sudeste, dada a configuração geográfica da Baía, há uma menor exposição da porção Leste quando comparada com a porção Oeste, relativamente menos abrigada. Tal cenário incorre em uma maior presença de sedimentos (incluindo concentrações significativas de areia muito fina junto ao fundo) na coluna d'água na porção ocidental da Baía de Santos em relação a sua porção oriental, (SONDOTÉCNICA, 1977; Ponçano, 1985; Coelho, 2011), podendo tais sedimentos passarem para a região Leste, adentrando o canal de acesso e o próprio estuário (SONDOTÉCNICA, 1977; Ponçano, 1985; Speranzini, 2017).

Ponçano (1985) aponta que a ocorrência de feldspato no setor Oeste da baía pode ser interpretada como indicativo de que os sedimentos de fundo dessa área são provenientes da plataforma continental, trazidos por transporte litorâneo, sendo

plausível a admissão de que existe um transporte de Sul para o Norte da baía, com inflexão em seu interior contornando a Ponta do Itaipú.

No interior da Baía de Santos, os sedimentos trazidos pelo transporte litorâneo em condições de maior energia passam a sofrer maior influência da circulação hidrodinâmica associada à variação da maré, cujas correntes apresentam rotação anti-horária ao longo do ciclo (Harari & Camargo, 1998). De acordo com SONDOTÉCNICA (1977), o regime de circulação nesta área mostra que as desembocaduras dos estuários de Santos e São Vicente têm papel preponderante no regime hidrodinâmico, funcionando como pontos de atração e dispersão de fluxos, que comandam a orientação local das correntes.

SONTOTÉCNICA (1977) sugere que parte da reponsabilidade do transporte de sedimentos no interior da baía que chegam ao Trecho 1 poderia ser atribuída à corrente de vazante advinda do canal estuarino de São Vicente, que apresenta sua componente dirigida para o centro da baía, de onde os materiais em suspensão poderiam ser movimentados, na enchente seguinte, em direção ao canal de acesso e à boca do Estuário de Santos.

Uma vez no campo de atracação do Estuário de Santos, os materiais em suspensão depositam-se no canal de acesso, por condicionantes geométricas traduzidas na diminuição das velocidades das correntes em função das maiores profundidades e, conseqüentemente das menores tensões tangenciais no fundo, sendo que os elementos mais finos tendem a ser movimentados para longe até a boca deste último, onde são captados pela circulação residual. Desta forma, consubstancia-se um processo natural de seleção diâmetros, ficando os sedimentos mais grossos retidos no canal externo e os mais finos até o canal interno (SONDOTÉCNICA, 1977).

De acordo com Speranzini (2017), depósitos de sedimentos finos existentes no fundo da Baía de Santos podem ser remobilizados pelas correntes de maré e pela agitação das ondas, perfazendo uma potencial fonte de sedimentos finos para o canal externo e estuarino. A autora complementa que sedimentos finos em suspensão na coluna d'água podem ser transportados estuário acima através do transporte residual.

Outro fator importante associado ao processo de assoreamento canal de navegação do Porto Organizado de Santos é o desbarrancamento dos taludes, principalmente após a dragagem dos mesmos. Possíveis instabilidades decorrentes do grau de inclinação acentuado destes taludes podem gerar um processo de

acomodação do sedimento na borda, em direção ao centro dos canais (DTA-Engenharia, 2011).

Os resultados obtidos no presente trabalho a partir das análises volumétricas e a respectiva distribuição do balanço sedimentar ao longo dos meses, por si só, já denotam uma relação positiva entre os períodos do ano em que, conforme vastamente demonstrado na bibliografia, é observada uma maior ocorrência de eventos de maior energia (sistemas frontais), e o intervalo temporal em que são observados maiores acúmulos de sedimentos no Trecho 1. Conforme exposto anteriormente, quase 70% do depósito sedimentar no canal de acesso ocorre entre maio e outubro, período que abrange predominantemente o inverno, estação na qual é observada uma alta incidência de frentes frias.

Não obstante, a fim de investigar com mais detalhe a efetiva influência dos eventos de alta energia no aporte sedimentar no Trecho 1, foi efetuada uma comparação entre as variações de balanço de sedimentos e de regime de ondas entre dois períodos de duração aproximada da série histórica, porém compreendidos em épocas do ano diferentes, a saber: entre 17/05/2014 e 04/09/2014 (duração de 110 dias), que se estende prevalentemente ao longo do inverno; e entre 27/10/2015 e 06/02/2016 (102 dias de duração), situado entre o final da primavera e o verão. Deve-se ressaltar a alta qualidade das superfícies batimétricas inerentes aos respectivos períodos, geradas a partir de dados obtidos a partir de sondagens multifeixe, fato que confere maior precisão aos cálculos volumétricos.

Para a caracterização do regime de ondas na região durante os períodos selecionados, foram utilizadas séries de dados provenientes da base de reanálise WAVERYS (*Global Ocean Waves Reanalysis*), produto do CMEMS (*Copernicus Marine Service*) do programa europeu Copernicus. A base do WAVERYS é amparada pelo modelo MFWAM, um modelo espectral de terceira geração, com resolução espacial de $1/5^\circ$ e temporal de três horas, que simula processos de geração/propagação de ondas a partir de dados meteorológicos de reanálise, com assimilação de dados de satélite. A série temporal utilizada apresenta valores de altura significativa e direção de pico a cada três horas. O ponto utilizado como referência para obtenção da série é localizado nas coordenadas $24,02^\circ$ S e $46,35^\circ$ O (WGS84), situado no interior da Baía de Santos.

A Tabela 43 compila os dados de maior relevância de balanço sedimentar, variações batimétricas e de regime de ondas para os dois períodos acima citados, no

que tange especificamente o Trecho 1 do canal de navegação. Na sequência, na Figura 75 e na Figura 76 são apresentados gráficos de variação da altura significativa de ondas para os intervalos de 17/05/2014 a 04/09/2014 e de 27/10/2015 a 06/02/2016, bem como as respectivas rosas de ondas (Figura 77) para ocorrência da altura significativa em relação à direção de incidência para o ponto selecionado na Baía de Santos.

Tabela 43 - Dados de balanço sedimentar, variação batimétrica e regime de ondas no Trecho 1 do canal de navegação de 17/05/2014 a 04/09/2014 e de 27/10/2015 a 06/02/2016.

Período de 17/05/2014 a 04/09/2014 (110 dias)							
Volumes Totais (m ³)							
Volume Assoreado		Volume Erodido		Balanço Sedimentar			
900.587,79		82.960,21		817.627,58			
Magnitudes das Elevações (%)							
Ass. (%)	Ero. (%)	0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
79,06	20,94	20,39	38,66	39,38	1,55	0,02	0,00
Regime de Ondas - Altura Significativa (%)							
<0,5m	0,5-1,0m	1,0-1,5m	1,5-2,0m	2,0-2,5m	2,5-3,0m	3,0-3,5m	>3,5m
0,10	47,76	34,44	13,11	4,58	0,00	0,00	0,00
Regime de Ondas - Direção (%)							
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0,00	0,00	1,04	54,94	44,02	0,00	0,00	0,00
Período de 27/10/2015 a 06/02/2016 (102 dias)							
Volumes Totais (m ³)							
Volume Assoreado		Volume Erodido		Balanço Sedimentar			
178.843,68		122.001,84		56.841,84			
Magnitudes das Elevações (%)							
Ass. (%)	Ero. (%)	0-0,25m	0,25-0,50m	0,50-1,00m	1,00-1,50m	1,50-2,00m	> 2,00m
55,53	44,47	86,51	11,18	2,27	0,02	0,01	0,01
Regime de Ondas - Altura Significativa (%)							
<0,5m	0,5-1,0m	1,0-1,5m	1,5-2,0m	2,0-2,5m	2,5-3,0m	3,0-3,5m	>3,5m
3,18	49,82	42,11	4,77	0,12	0,00	0,00	0,00
Regime de Ondas - Direção (%)							
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0,00	0,00	1,83	68,91	29,25	0,00	0,00	0,00

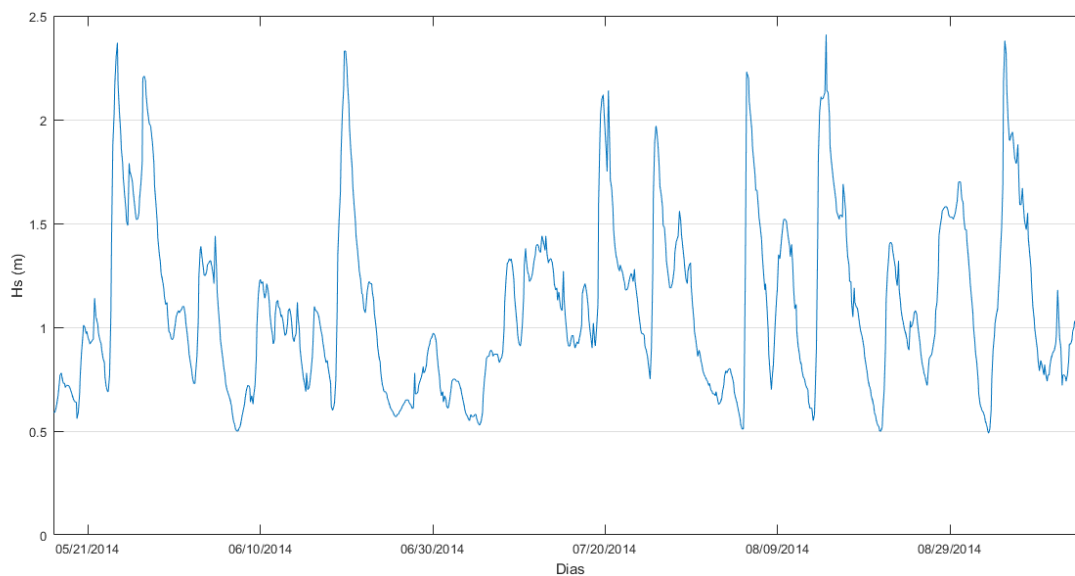


Figura 75 - Variação da altura significativa (Hs) de ondas na Baía de Santos entre 17/05/2014 e 04/09/2014.

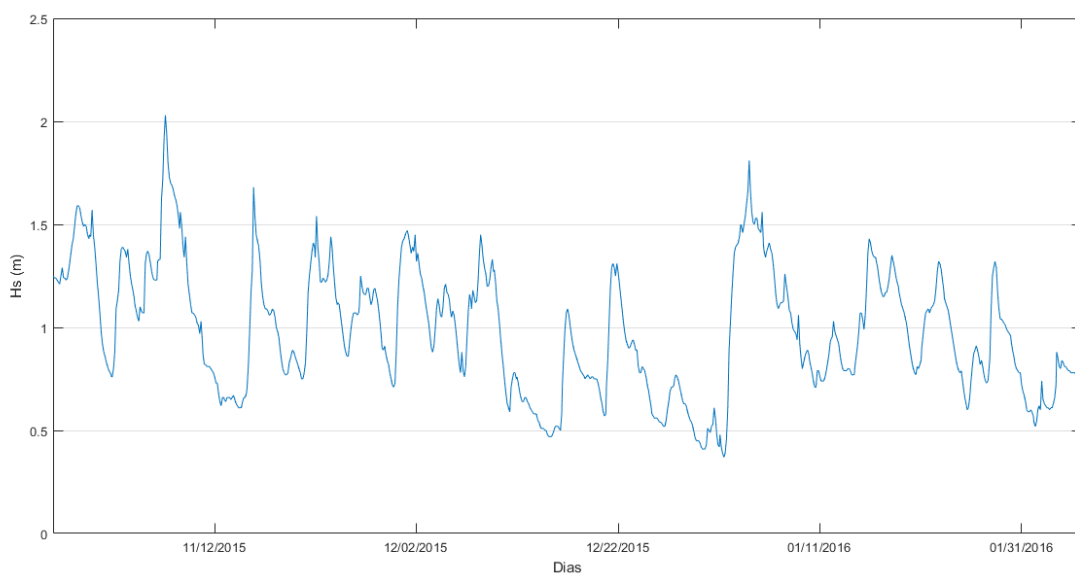


Figura 76 - Variação da altura significativa (Hs) de ondas na Baía de Santos entre 27/10/2015 e 06/02/2016.

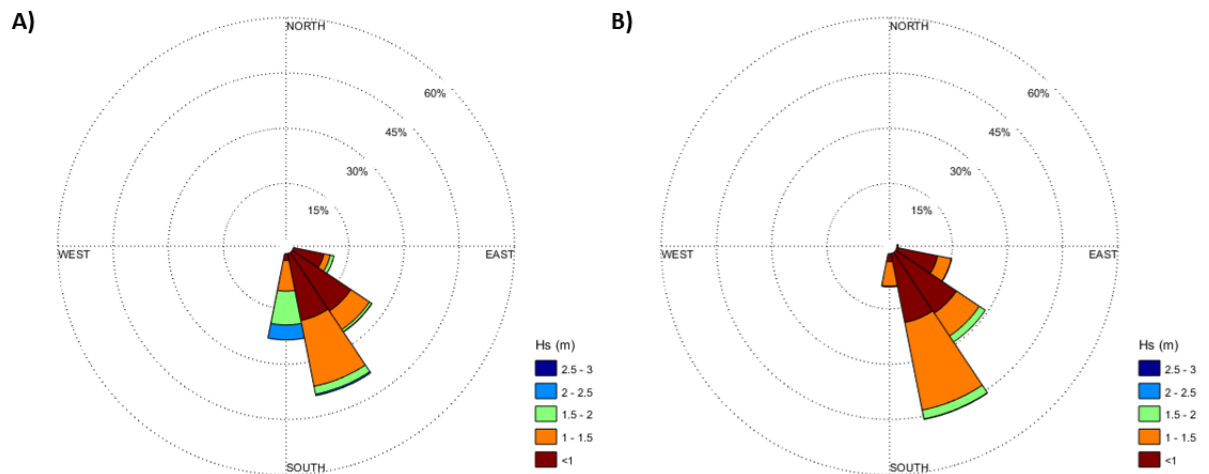


Figura 77 - Rosas de ondas para ocorrência da altura significativa (Hs) em relação a direção de incidência na Baía de Santos de 17/05/2014 a 04/09/2014 (A) e de 27/10/2015 a 06/02/2016 (B).

Com relação ao balanço sedimentar, no período de 17/05/2014 a 04/09/2014, que se estende entre o outono e o inverno, o Trecho 1 teve um acúmulo de sedimentos de 817.627,58 m³, enquanto que entre 27/10/2015 e 06/02/2016, intervalo compreendido entre a primavera e o verão, o acúmulo foi de apenas 56.841,84 m³. Os valores mais expressivos de balanço resultante aparentam refletir nas magnitudes das elevações batimétricas positivas, sendo que neste primeiro período 40,95% das elevações tiveram magnitude entre 0,50 e 2,00 m, ao passo que no segundo apenas 2,30% das variações positivas superaram 0,50 m.

Há uma notável diferença entre as porcentagens totais de pontos assoreados e erodidos das malhas batimétricas ao longo dos dois períodos. Entre 17/05/2014 e 04/09/2014, 79,06% tiveram variação positiva e 20,94% negativa ao final do intervalo, com volumes totais assoreados e erodidos de 900.587,79 m³ e 82.960,21 m³, respectivamente. Já entre 27/10/2015 e 06/02/2016, são observados valores mais expressivos associados aos processos erosivos, sendo que 55,53% dos pontos tiveram variação positiva e 44,47% negativa ao final do intervalo, com volumes totais assoreados e erodidos de 178.843,68 m³ e 122.004,84 m³, respectivamente.

Diante do exposto, depreende-se que o período que se estende entre o outono e o inverno teve uma tendência deposicional muito mais expressiva em termos volumétricos e batimétricos do que o compreendido entre a primavera e o verão, o qual, por sua vez, demonstrou ganhos nos parâmetros associados aos processos erosivos.

No tocante ao regime de ondas, para ambos os períodos analisados, é observado que as direções mais frequentes são de Sudeste e Sul, sendo esta primeira a direção com as maiores porcentagens de ocorrência (54,94% entre 17/05/2014 e 04/09/2014, e 68,91% entre 27/10/2015 e 06/02/2016). No entanto, o que se observa é um aumento da ocorrência de ondas vindas de Sul no intervalo que se estende entre o outono e o inverno, com 44,02%, em comparação ao período abrangido pela primavera e o verão, com 29,25%.

Da mesma forma, verificam-se que ondas com alturas significativas entre 0,50 e 1,00 m são as mais frequentes para ambos os períodos (47,76% entre 17/05/2014 e 04/09/2014, e 49,82% entre 27/10/2015 e 06/02/2016). A principal diferença entre os intervalos está nas porcentagens de ocorrência de ondas com altura significativa acima de 1,50 m, com maior potencial para a remobilização de sedimentos, sendo que de 17/05/2014 a 04/09/2014, cerca de 13,11% das ondas apresentaram alturas entre 1,50 e 2,00 m, e 4,58% entre 2,00 e 2,50 m, o que significa que 17,69% dos registros são compostos por ondas com alturas de 1,50 a 2,50 m. Já entre 27/10/2015 e 06/02/2016, a ocorrência de ondas com maiores alturas é significativamente menor, ao passo que apenas 4,77% e 0,12% das ondas tiveram alturas de 1,50 a 2,00 m e de 2,00 a 2,50 m, respectivamente.

Analisando o gráfico contido na Figura 75, observa-se a ocorrência de, ao menos, seis eventos em que as ondas apresentaram alturas significativas acima de 2,00 m, enquanto na Figura 76 verifica-se apenas uma ocorrência. Assim sendo, no período compreendido entre 17/05/2014 e 04/09/2014, a Baía de Santos foi submetida mais vezes a eventos oceanográficos de maior energia do que no intervalo de 27/10/2015 a 06/02/2016.

Ainda, a partir da avaliação das rosas de ondas apresentadas na Figura 77, é importante observar que as maiores porcentagens de ocorrência de alturas significativas entre 1,50 e 2,50 m estiveram associadas às ondas advindas de Sul.

Destarte, entende-se que a análise comparativa dos dados referentes aos dois períodos supracitados permite tecer a seguintes considerações:

- a) A maior ocorrência de ondas com alturas significativas acima de 1,50 m na Baía de Santos, associada a uma maior incidência de ondas provenientes de Sul, demonstra incorrer em um acúmulo sedimentar mais expressivo no Trecho 1 do canal de navegação, reforçando o entendimento de que o assoreamento e, conseqüentemente, as maiores perdas de profundidade nesta área estão

predominantemente relacionados à ocorrência de eventos meteoceanográficos de alta energia, em que o transporte de sedimentos é intensificado pela ação conjunta de ondas e correntes;

- b) De outro lado, as menores ocorrências de ondas com alturas significativas maiores que 1,50 m ou provenientes de Sul aparentam favorecer a magnitude dos processos erosivos atuantes ao longo do Trecho 1 do canal de navegação, em que pese sua tendência geral de balanço positivo;
- c) Independentemente das épocas do ano abrangidas pela avaliação comparativa e dos volumes decorrentes do balanço resultante, são verificadas variações batimétricas positivas significativas do ponto de vista operacional, com ocorrências de elevações de fundo acima de 0,50 m para ambos os períodos selecionados. Tal fato denota a importância do monitoramento das profundidades do canal da barra de forma contínua, mesmo nos intervalos do ano em que prevalece o tempo bom.

Não obstante ao fato de predominarem tendências deposicionais no Trecho 1, sendo os fatores que levam ao assoreamento já bem discutidos neste trabalho e na bibliografia, é importante notar que os processos erosivos nesta área se demonstraram expressivos em vários períodos de análise, inclusive apresentando balanços resultantes negativos em algumas ocasiões. A título de exemplo, comparando os dois intervalos temporais acima, pode ser observado que entre 27/10/2015 e 06/02/2016 houve um maior volume e área erodidos em relação ao verificado entre 17/05/2014 e 04/09/2014.

Conforme exposto nos resultados apresentados no Item 5.1.4.2 deste trabalho, é verificada a existência de duas zonas no Trecho 1 que, de forma geral, apresentam tendências diferentes no que tange os processos sedimentares atuantes, a saber:

- a) Uma zona que se estende entre o início do canal até as proximidades do final da curva externa do canal, com aproximadamente 7.800,00 m de extensão, em que se observa o predomínio de variações batimétricas positivas ao longo dos períodos analisados, perfazendo uma área com tendência deposicional, onde a maior parte do volume assoreado é concentrado;
- b) Outra zona, de menor tamanho, situada, no sentido Sul-Norte, entre as proximidades do final da curva externa do canal e o final do Trecho 1, com aproximadamente 3.760,00 m de extensão, onde verifica-se o predomínio de

variações batimétricas negativas ao longo período analisado, em que naturalmente são observadas maiores profundidades.

A diferenciação das zonas supracitadas é corroborada por SONDOTÉCNICA (1977) e Demarco (2019). O processo de assoreamento da zona mais extensa, elencada no primeiro item acima, demonstra estar relacionado predominantemente à atuação conjunta de ondas e correntes durante a passagem de frentes frias, conforme já apontado neste estudo e na bibliografia correlata. Não obstante, tais condições de contorno não aparentam aplicar-se de forma efetiva à dinâmica sedimentar desta outra porção do Trecho 1, citada no segundo item acima, com tendências naturais mais erosivas e de maiores profundidades.

De acordo com SONTÉCNICA (1977), o trecho do canal nas proximidades da boca do Estuário de Santos, que se estende entre o final da Conceiçãozinha e o início da curva da barra, apresenta uma dinâmica complexa, não se verificando ao longo do mesmo assoreamento expressivo, com indícios de erosão.

Demarco (2019), por sua vez, reforça que o Trecho 1 apresenta dois setores com comportamentos distintos, cujas delimitações se aproximam das delineadas neste trabalho, a saber:

- a) Uma zona denominada no trabalho como “Setor A”, que se estende entre o início da curva externa do canal da barra e o final do Trecho 1, e compreende uma área naturalmente mais profunda, onde não são depositadas grandes quantidades de material sedimentar devido à intensidade das correntes que ali ocorrem. De acordo com o estudo, existe uma área restrita de assoreamento nesse setor devido à diminuição das correntes que passam pelo estrangulamento causado pelos promontórios da embocadura, porém, de acordo com a autora, o domínio de maré vazante não favorece a deposição sedimentar de forma geral.

Especificamente para a curva da barra, é colocada a hipótese de que uma intensificação de fluxo ao lado da margem côncava poderia incorrer em um processo erosivo de sedimentos nesse lado da margem.

- b) Uma segunda zona denominada pelo trabalho de “Setor B”, que compreende a porção do Trecho 1 que se estende desde o início do mesmo até o início da curva externa do canal da barra, com velocidades de correntes menores do que as observadas no Setor A, com tendência de assoreamento.

Assim sendo, reforça-se a asserção de que existe uma porção do Trecho 1, situada nas proximidades da entrada do Estuário de Santos, em que os processos erosivos aparentam se sobressair aos de deposição. De acordo com Demarco (2019), seções naturalmente mais profundas nesta parte do canal podem ter correlação com as velocidades de correntes atuantes, havendo um fluxo mais intenso ocasionado pelo estrangulamento entre os promontórios. Tais condições favorecem condições de remobilização de sedimentos e subsequente transporte para outras áreas.

A fim de verificar a variação da intensidade das correntes ao longo do canal de navegação, foram analisados dados de velocidade de correntes apresentados em estudo elaborado por DTA-Engenharia (2011) que contemplou a avaliação das condições hidrodinâmicas do Estuário e Baía de Santos. No âmbito do trabalho em questão, foi efetuada a realização de modelagens matemáticas para simular o comportamento das correntes na área de estudo em um mês de verão (janeiro de 2009) e em um mês de inverno (junho de 2009), para um gabarito de 15,00 m DHN no canal de navegação.

No estudo supracitado, foram obtidos dados de velocidades máximas de corrente superficial em pontos distribuídos ao longo da Baía de Santos até o canal de Piaçaguera, no entanto, considerado o escopo do presente trabalho, somente foram considerados os pontos situados exclusivamente ao longo e nas adjacências do canal de navegação do Porto Organizado (Figura 78). O gráfico contido na Figura 79 demonstra as velocidades máximas calculadas ao longo dos pontos de interesse.

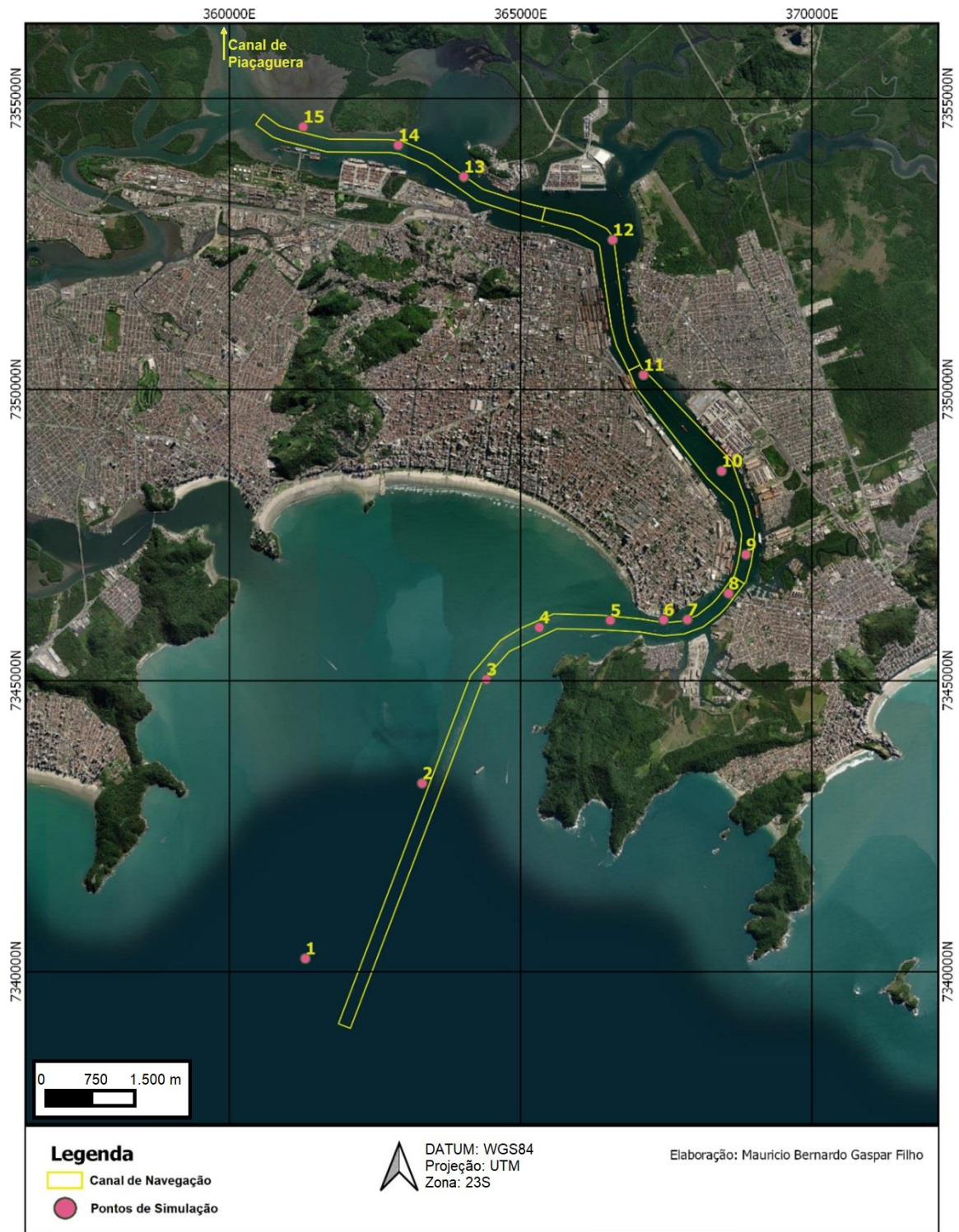


Figura 78 - Distribuição dos pontos de controle das simulações hidrodinâmicas realizadas no Estudo de Regularização Ambiental do Porto Organizado de Santos (DTA-Engenharia, 2011).

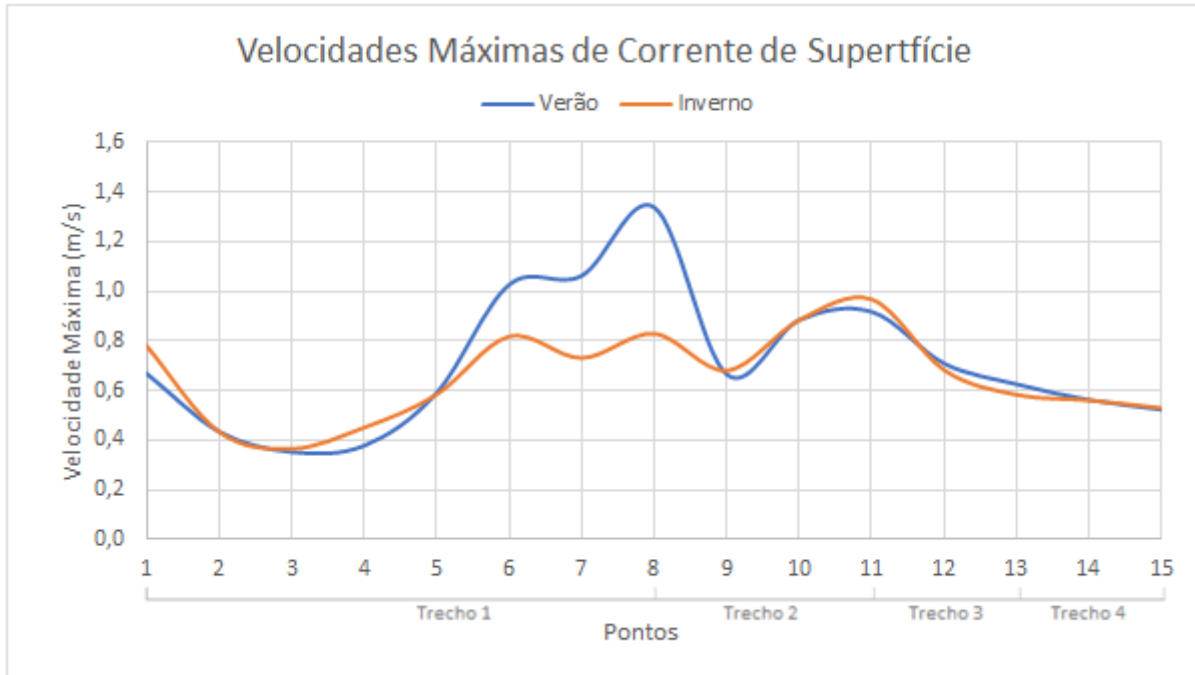


Figura 79 - Gráfico de variação de velocidades máximas de corrente superficial ao longo na área de estudo (DTA-Engenharia, 2011). Os dados de verão estão relacionados a simulações efetuados ao longo do mês de janeiro de 2009 e os de inverno no mês de julho de 2009, para um gabarito de 15,00 m DHN.

Conforme demonstrado no gráfico acima, verifica-se que, de fato, são observadas correntes de superfície mais intensas na porção final do Trecho 1, entre a entrada do canal estuarino e o Ferry-Boat, com certo aumento de velocidades no período de verão. Observam-se velocidades próximas de 1,40 m/s nas proximidades dessa última localidade. Na Figura 80 são apresentados os resultados da simulação (verão) para ponto situado ao largo da antiga Ponte de Inspeção Naval (Ponto 7), também nas adjacências da boca do canal.

Os gráficos contidos na Figura 80, adaptada de DTA-Engenharia (2011), mostram um padrão de correntes com alinhamento controlado pelas margens do canal (Harari & Camargo, 1998), com fluxos mais intensos em superfície durante as marés vazantes, principalmente em condições de sizígia. A diferença entre as intensidades das correntes superficiais de enchente e vazante são elucidadas de forma mais clara na Figura 81, adaptada de CB&I (2015), que demonstram os campos hidrodinâmicos em instantes de subida e descida da maré, respectivamente. Estas últimas figuras também demonstram as áreas onde há intensificação das correntes superficiais ao longo de todo o canal do Estuário de Santos, devendo-se atentar para os maiores valores identificados entre as porções finais do Trecho 1 até a curva ao largo do Armazém 12.

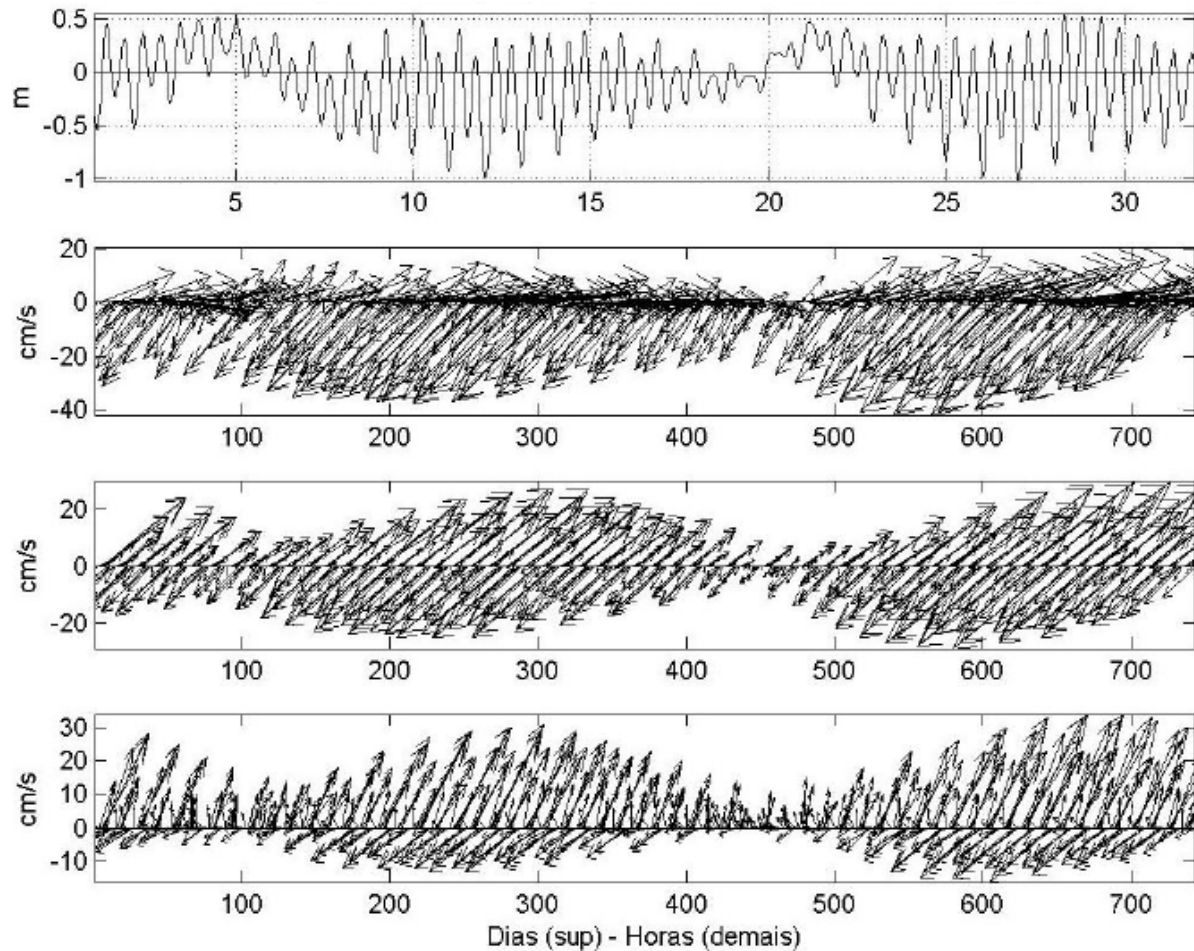


Figura 80 - Nível do mar e correntes marinhas na superfície (0 m), 5 m e 10 m, calculados pelo modelo hidrodinâmico para o mês de janeiro de 2009 (verão), em ponto situado ao largo na antiga Ponte de Inspeção Naval (Ponto 7), nas proximidades da boca do canal estuarino. Adaptado de: DTA-Engenharia, 2011.

Não obstante, é importante notar um padrão inverso nas camadas mais profundas, onde as componentes de velocidade da corrente de enchente são maiores do que as de superfície, principalmente nos períodos de sizígia. Destarte, deve-se ressaltar que, em termos gerais, as correntes de fundo possuem um comportamento hidrodinâmico distinto das correntes superficiais, fato considerado de suma importância para o entendimento do transporte sedimentar na área de estudo, principalmente para as classes granulométricas mais grossas, cuja remobilização é limitada às camadas mais profundas (Coelho, 2011).

Em trabalho realizado por Speranzini (2017) para investigar a origem dos volumes de sedimentação do Porto de Santos, é apontado, com base em resultados de modelagem matemática, que as correntes de fundo da área de estudo possuem velocidades médias com magnitudes de até 0,50 m/s.

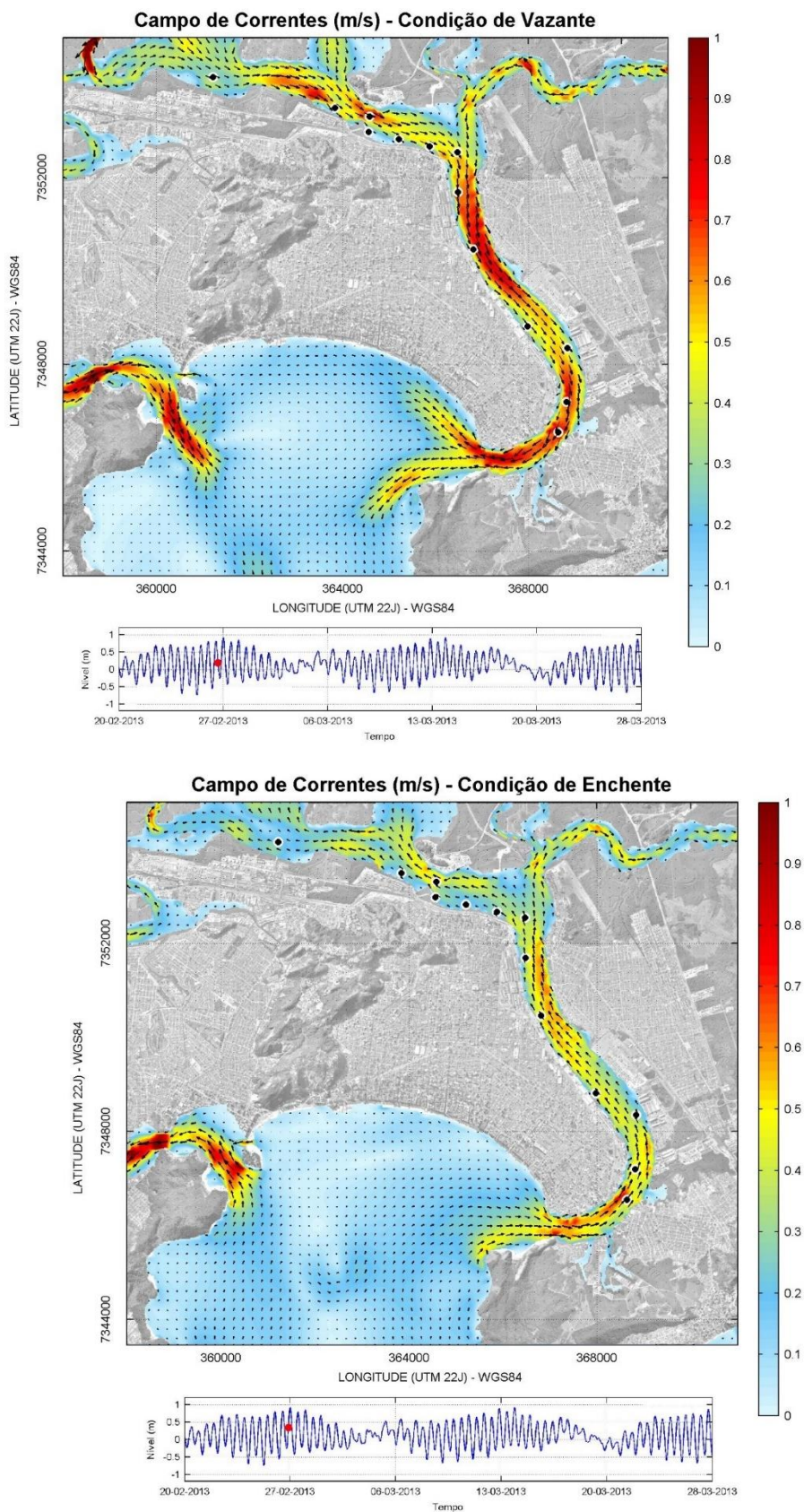


Figura 81 - Campos hidrodinâmicos para condições de maré vazante (superior) e enchente (inferior) obtidos a partir de simulação realizada para situação de sizígia no dia 27/02/2013. O ponto vermelho no gráfico de nível indica o instante representado no mapa de correntes. Adaptado de: CB&I, 2015.

A Figura 82, extraída do trabalho de Speranzini (2017), contempla mapa com a representação dos valores máximos das velocidades médias das correntes de fundo ao longo da área de estudo, abrangendo a parte mais interna da Baía de Santos e o sistema estuarino. Verificam-se maiores velocidades principalmente nas proximidades da entrada do canal e em determinadas áreas dos Trecho 2 e 3.

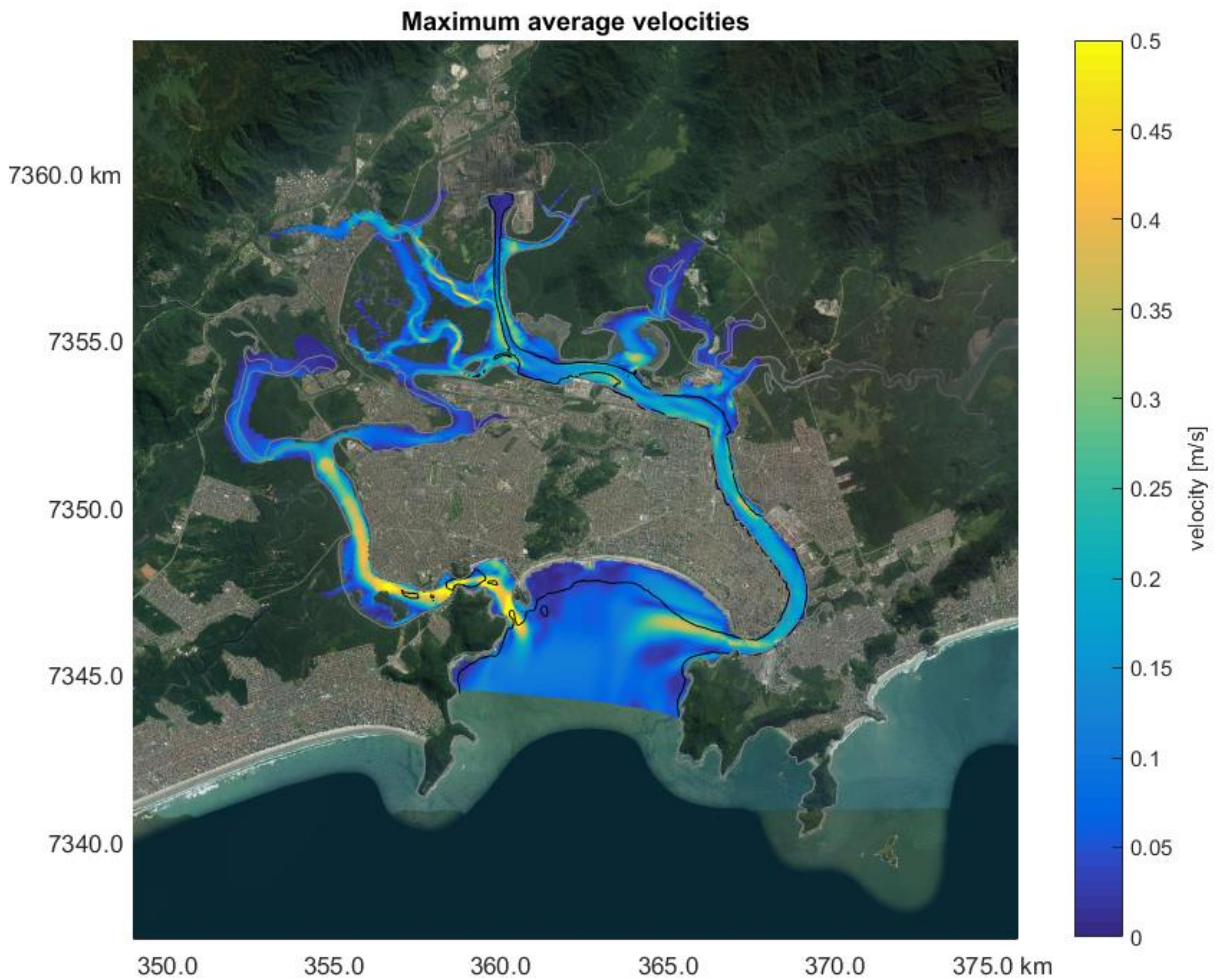


Figura 82 - Valores máximos das velocidades médias das correntes de fundo na porção interna da Baía de Santos e no estuário. Fonte: Speranzini, 2017.

A velocidade do fluxo junto ao fundo tem influência direta no transporte dos sedimentos do leito marinho e estuarino, os quais passam a ser movimentados quando a tensão de cisalhamento no fundo é superior à tensão crítica de cisalhamento (Wright et al., 1999). A Figura 83, oriunda do trabalho de Speranzini (2017), apresenta os valores máximos de tensão de cisalhamento calculados para o estuário.

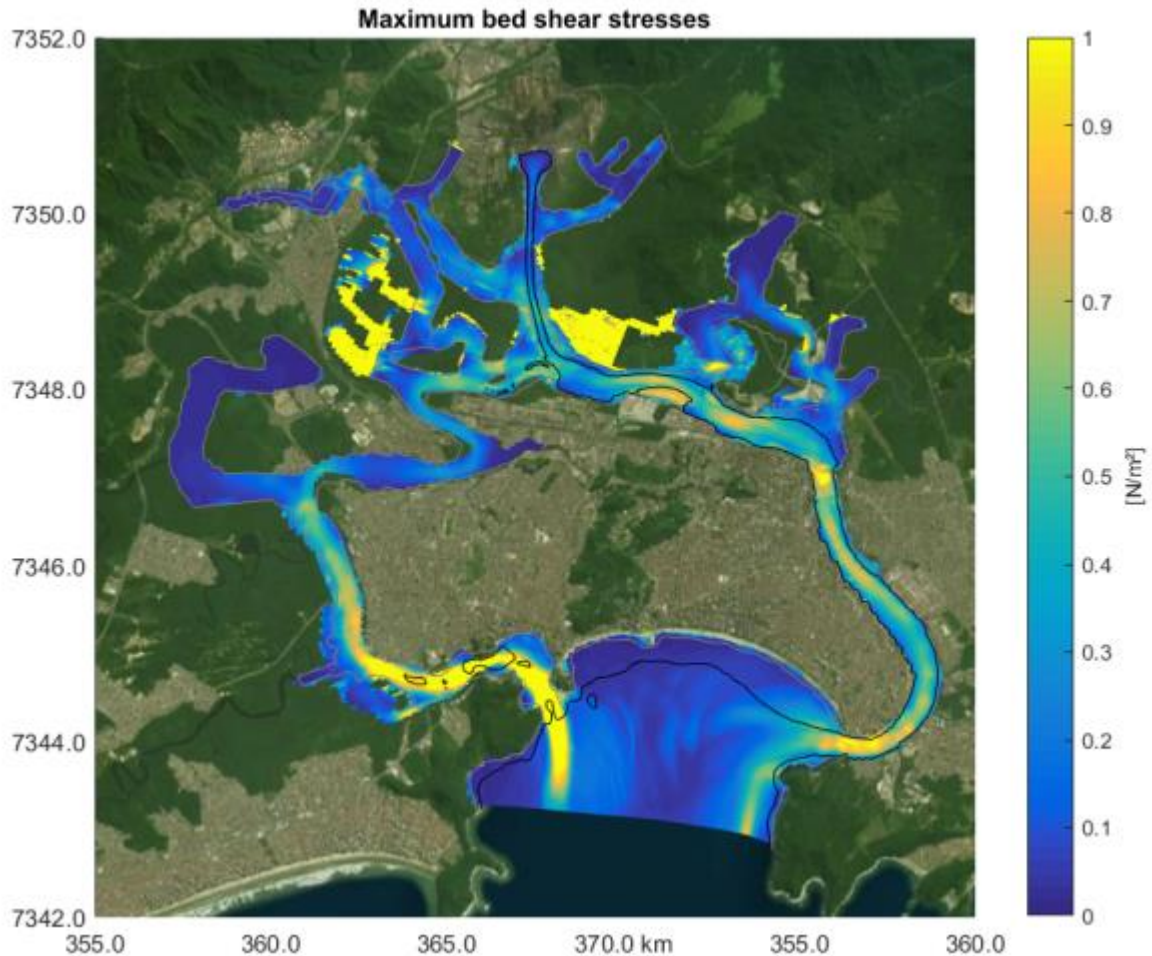


Figura 83 - Valores máximos de tensão de cisalhamento junto ao fundo na porção interna da Baía de Santos e no estuário. Fonte: Speranzini, 2017.

Verifica-se que, ao longo do canal de navegação, a tensão de cisalhamento junto ao fundo é superior a $0,10 \text{ N/m}^2$ quase que em sua totalidade. Considerando que a tensão de cisalhamento necessária para a erosão de sedimentos lamosos com deposição recente geralmente varia entre $0,10$ e $0,50 \text{ N/m}^2$, Speranzini (2017) aponta que esse tipo de material fica sujeito ao transporte a cada ciclo de maré. A autora destaca que, considerando as velocidades de corrente de fundo na área de estudo e a duração de um ciclo de maré, uma partícula de sedimento em suspensão nas camadas mais profundas da entrada do canal de navegação pode ser transportada por até $7,60 \text{ km}$ durante a metade de um ciclo, alcançando o Trecho 3 na metade subsequente durante a enchente.

É importante notar maiores valores do parâmetro em questão principalmente na porção final do Trecho 1 até as proximidades do Armazém 12, no Trecho 3, além de algumas áreas no Trecho 4. Os valores mais expressivos observados no Trecho 1 corroboram com a zona de tendência erosiva constatada no presente estudo.

De acordo com Speranzini (2017), o sistema estuarino de Santos apresenta dominância de maré enchente, sendo que sedimentos finos com origem marinha podem ser transportados estuário acima através do transporte residual. Neste contexto, sedimentos remobilizados durante eventos de alta energia na Baía de Santos podem se configurar em uma das principais fontes para o assoreamento nos demais trechos internos do canal, apontando-se a possibilidade de que esse tipo de suprimento pode ser mais representativo no balanço sedimentar do que a própria contribuição fluvial.

Em estudo realizado pela FUNDESPA (2013), foi observado, com base em resultados obtidos a partir de modelagem matemática, que o transporte de sedimentos em suspensão (fração total) é relativamente maior nas porções mais estreitas do estuário (ordem de $10^{-6} \text{ m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$) em comparação às porções mais largas do estuário, onde a hidrodinâmica é menos efetiva no transporte de sedimentos (ordem de $10^{-9} \text{ m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$) (Figura 84). A diferença observada na ordem de grandeza, de aproximadamente 1.000 vezes, foi considerada expressiva e corrobora a alta influência da geomorfologia do estuário sobre a hidrodinâmica e, conseqüentemente, na eficiência no transporte dos sedimentos aos longos dos diferentes trechos do canal.

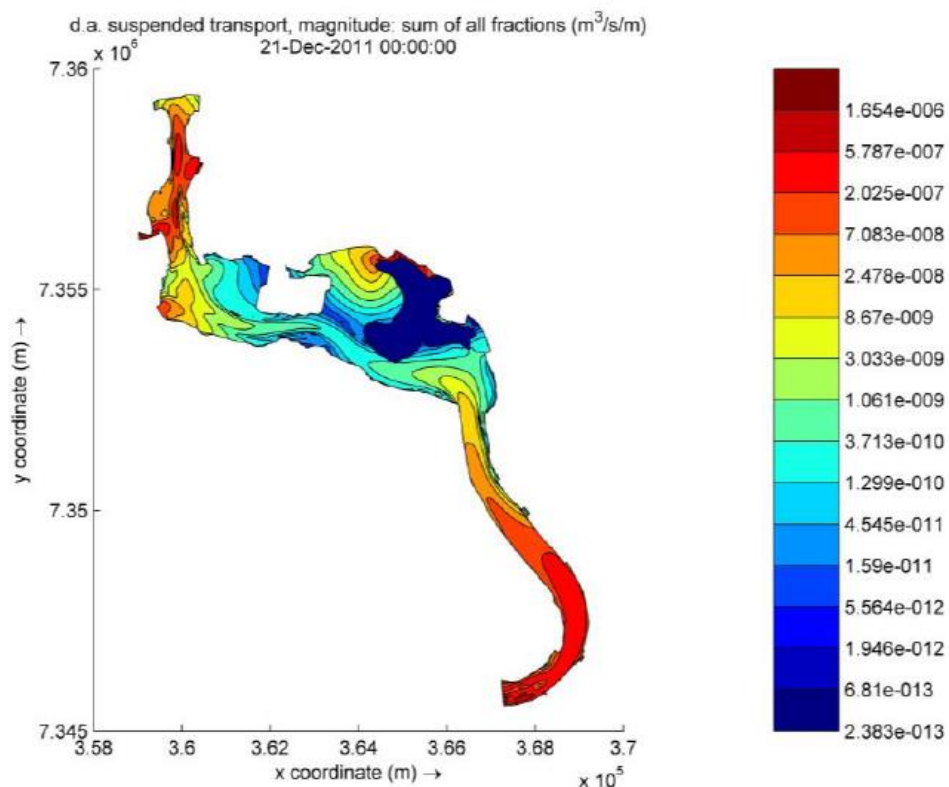


Figura 84 - Transporte de sedimentos em suspensão total (coesivos e não coesivos) ($\text{m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$), ao final de um período de simulação de 30 dias. Fonte: FUNDESPA, 2013.

É importante notar na figura acima os maiores valores encontrados no canal de navegação do Porto Organizado de Santos entre a porção final do Trecho 1 e as proximidades do término do Trecho 3, onde o fluxo é mais confinado pelas margens do canal estuarino, sem a presença de largos.

De acordo com FUNDESPA (2013), o valor mais expressivo de transporte de sedimentos para a área contemplada pelo estudo é observado na entrada do canal estuarino (ordem de $10^{-6} \text{ m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$) e tem sentido estuário acima (Figura 85), sugerindo que o ambiente recebe uma quantidade mais expressiva de sedimentos oriundos da zona costeira e não dos tributários.

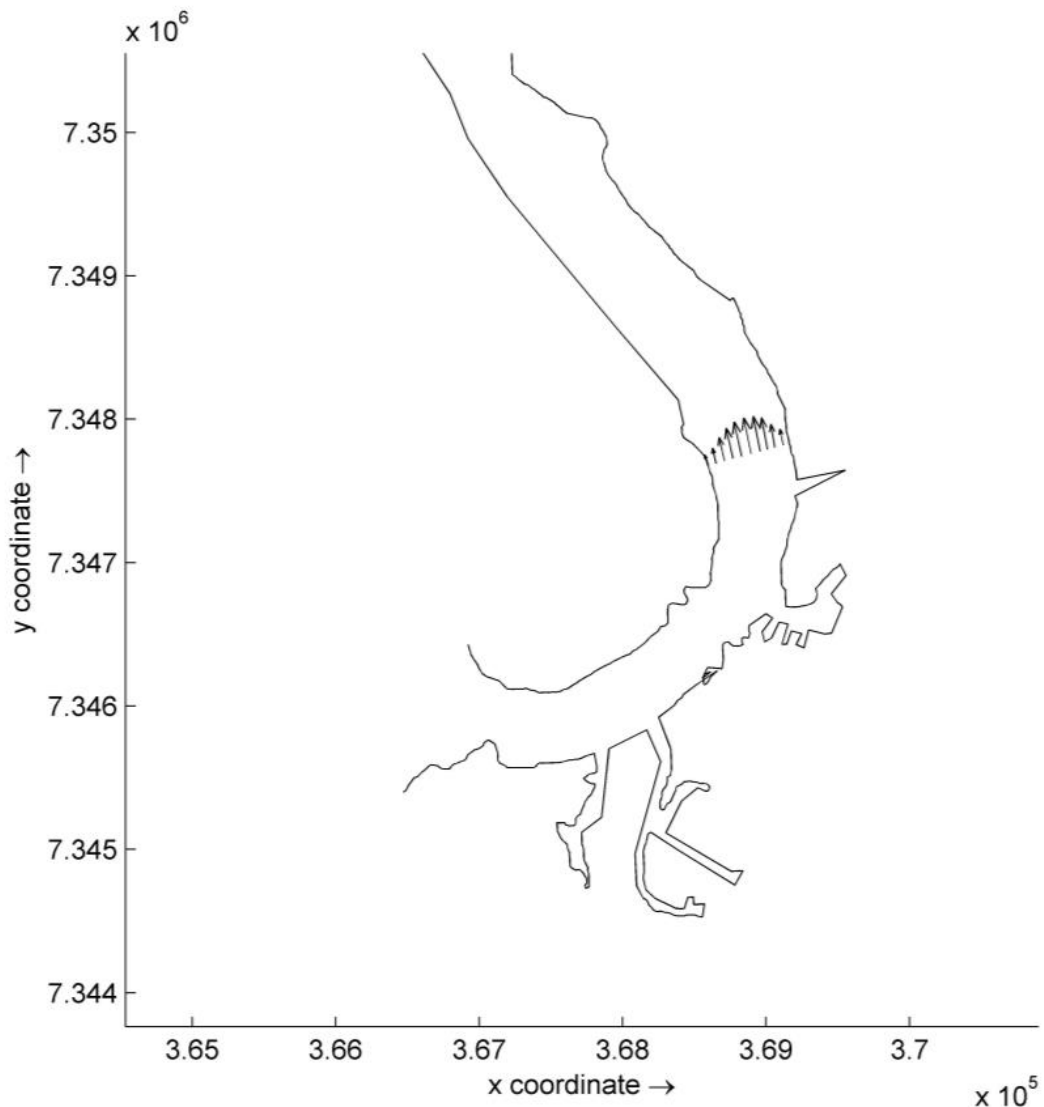


Figura 85 - Representação vetorial do transporte de sedimentos em suspensão total (coesivos e não coesivos) integrada durante 30 dias de simulação. A ordem de grandeza dos vetores é de $10^{-6} \text{ m}^3\text{s}^{-1}/\text{m}$. Fonte: FUNDESPA, 2013.

Outro fato importante a ser considerado para os processos erosivos, principalmente entre seções transversais de uma mesma área, está relacionada ao meandramento do sistema, o qual, a partir do término do trecho retilíneo do canal da barra, é composto, de forma geral, por um conjunto de curvas e contracurvas, sendo algumas delas com raio muito pequeno, como a situada nas proximidades da Fortaleza da Barra, onde são verificadas as correntes mais intensas (SONDOTÉCNICA, 1977).

A presença de curvas incorre na geração de uma força centrífuga segundo a normal do escoamento, o que leva os filetes de água a se afastarem para o lado externo das mesmas. Tais condições podem gerar assimetria das seções transversais, como consequência da formação de um fluxo helicoidal, que transporta o material de fundo, da porção da curva adjacente ao lado côncavo da margem para a porção adjacente ao lado convexo (SONDOTÉCNICA, 1977).

No caso do estuário santista, formado por curvas e contracurvas praticamente sem tangentes intermediárias, a circulação interna transversal e, conseqüentemente, os eixos de enchente e vazante são comandados pela inércia de massa líquida. Em curvas com maior isolamento, tanto a enchente quanto a vazante tendem para o mesmo lado (margem externa da curva), onde podem ser observadas maiores profundidades (SONDOTÉCNICA, 1977).

A intensificação do fluxo e, conseqüentemente, taxas de erosão mais expressivas podem ser verificadas de forma clara na primeira curva interna, onde constatam-se as variações de negativas de fundo mais expressivas de todo o Trecho 1. Os mapas batimétricos apresentados na Figura 86 elucidam os apontamentos em questão, a saber:

- a) No Mapa A, gerado a partir de dados de levantamento realizado em 05/12/2013, data na qual o Trecho 1 já estava 350 dias sem dragagem, deve-se atentar a existência de zonas naturalmente mais profundas nas proximidades da boca do canal estuarino, principalmente em seu trecho mais estreito, ao largo da Fortaleza da Barra, onde o promontório avança em direção ao canal, bem como na porção da primeira curva interna ao lado da margem côncava, locais em que, conforme já exposto, é esperada uma intensificação das velocidades das correntes.

É importante atentar que na curva externa também são verificadas tendências de maiores profundidades na porção ao lado da margem côncava do canal

projetado, o que pode indicar ainda que, mesmo livre da influência do confinamento pelas margens continentais, a geomorfologia do próprio canal de navegação apresenta certa influência na distribuição do fluxo após a saída do estuário e, conseqüentemente, nos processos sedimentares associados.

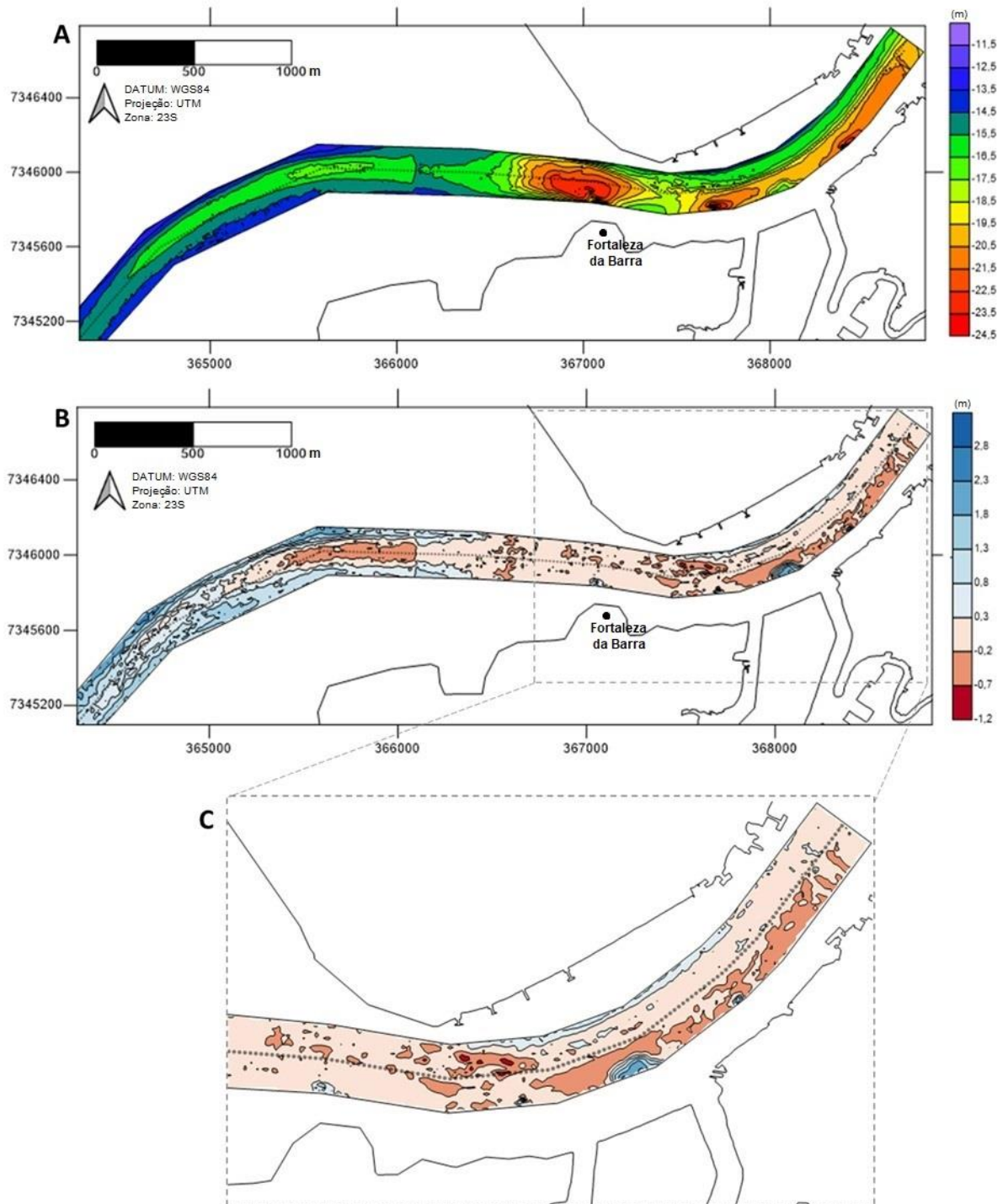


Figura 86 - A) Variação das profundidades na porção final do Trecho 1 em 05/12/2013, destacando-se as zonas naturalmente mais profundas nas proximidades da entrada do canal estuarino; B) Variações batimétricas ocorridas entre 20/12/2012 e 05/12/2013 na porção final do Trecho 1; e C) Corte para o segmento do Trecho 1 compreendido na curva interna, com destaque para a concentração das variações mais negativas nas adjacências do lado côncavo da margem.

b) No Mapa B, gerado a partir da subtração das batimetrias de 20/12/2012 e 05/12/2013 (intervalo de 350 dias), pode-se observar que a porção final do Trecho 1 é ocupada, basicamente, com áreas de maior estabilidade em termos de balanço sedimentar (variações pequenas) ou com maior tendência erosiva, corroborando com SONTOTÉCNICA (1977) e Demarco (2019). Na área de maiores profundidades situada ao largo da Fortaleza da Barra não são observadas grandes variações batimétricas em si, verificando-se, porém, a concentração de áreas com variações negativas mais expressivas ao lado da margem côncava da curva interna e na parte final da curva externa.

Os efeitos da meandramento desta parte do canal são notados principalmente na curva interna, onde são verificados pontos assoreados ao lado na margem continental convexa e erodidos ao lado da côncava, corroborando com a distribuição natural de profundidades verificada no Mapa A.

No tocante aos aspectos de deposição de sedimentos, dadas as variações mais abruptas na parte da curva interna ao lado margem continental côncava, acredita-se que as variações positivas nestas áreas podem, eventualmente, estar associadas ao desbarrancamento de taludes, sendo que possíveis instabilidade decorrentes do atingimento de inclinação acentuado, por ação da erosão, podem gerar um processo de acomodação do sedimento na borda, em direção ao centro dos canais. A presença de instabilidades no talude do canal na margem localizada próxima ao Morro da Barra (Guarujá) foi constatada no trabalho de Demarco (2019).

Diante do exposto, e ainda considerando os padrões semelhantes das variações batimétricas verificadas em outros períodos de análise, demonstrados na Figura 24, Figura 26 e Figura 28, pode-se efetuar a asserção de que os processos erosivos no Trecho 1 do canal de navegação demonstram estar associados, de forma geral, à interação da geomorfologia do canal e das margens continentais com o fluxo hidrodinâmico, sendo que nos locais onde há condições para favorecimento para intensificação das velocidades das correntes, podem ser observadas variações negativas mais expressivas e/ou maiores profundidades naturais.

Não obstante, deve-se frisar que os processos erosivos não são limitados espacialmente ao setor do Trecho 1 compreendido entre a curva externa e o seu limite superior, sendo que foram constatadas variações negativas ao longo da porção retilínea do canal da barra, como demonstrado claramente no mapa gerado a partir

da subtração das batimetrias de 27/10/2015 e 06/02/2016 (Figura 28), período que abrange a primavera e o verão, já analisado com detalhe anteriormente.

Conforme explicitado na Tabela 43, em que pese o balanço sedimentar positivo obtido para o período supracitado (+56.841,84 m³), constatou-se que 44,47% dos pontos da grade de cálculo apresentaram uma variação batimétrica negativa, ou seja, quase a metade da superfície do Trecho 1 sofreu erosão. Excetuando-se a zona compreendida entre a curva externa e o final do trecho, cujos processos erosivos associados à intensificação do fluxo já foram discutidos com detalhe acima, acredita-se que as variações negativas do restante do canal da barra estejam associadas aos seguintes fatores:

- a) Diminuição do aporte sedimentar em períodos de tempo bom, situação que permite que os processos erosivos não sejam mascarados pelo intenso assoreamento associado à passagem de sistemas frontais;
- b) Retrabalhamento e ressuspensão de sedimentos finos no interior da própria calha. De acordo com SONTÉCNICA (1977) e Speranzini (2017), esse material pode ser direcionado sentido estuário acima pelo transporte residual, perfazendo fonte de assoreamento para os trechos internos ao passo que há uma seleção natural de diâmetros dos sedimentos de fundo principalmente nas áreas mais externas, onde acabam por ficar retidos sedimentos mais grossos;
- c) Atuação do transporte litorâneo com sentido Sudoeste na porção mais externa e menos abrigada do canal da barra (com menor influência da forçante de maré), em situações de tempo bom;
- d) Ressuspensão de sedimentos ocasionada pela passagem dos navios, processo este conhecido como efeito de auto-dragagem. De acordo com Minnee et al. (2015), tal fenômeno é ocasionado pelas correntes induzidas pelas hélices dos navios que fazem com que os sedimentos de fundo sejam ressuspensos. Uma vez na coluna da água, tais sedimentos podem ser transportados para outros locais pela ação ativa de correntes marítimas e/ou estuarinas.

As marcas decorrentes deste tipo de processo erosivo, também conhecidas usualmente como “trilhas”, demonstram se configurar em variações negativas longitudinais pouco expressivas, finas e alongadas, que geralmente acompanham extensões do eixo central da calha. Infere-se que algumas variações demonstradas no mapa gerado a partir da subtração das batimetrias

de 27/10/2015 e 06/02/2016 (Figura 28) possam representar indícios do efeito de auto-dragagem. A Figura 87 contempla uma visão mais aproximada destas áreas.

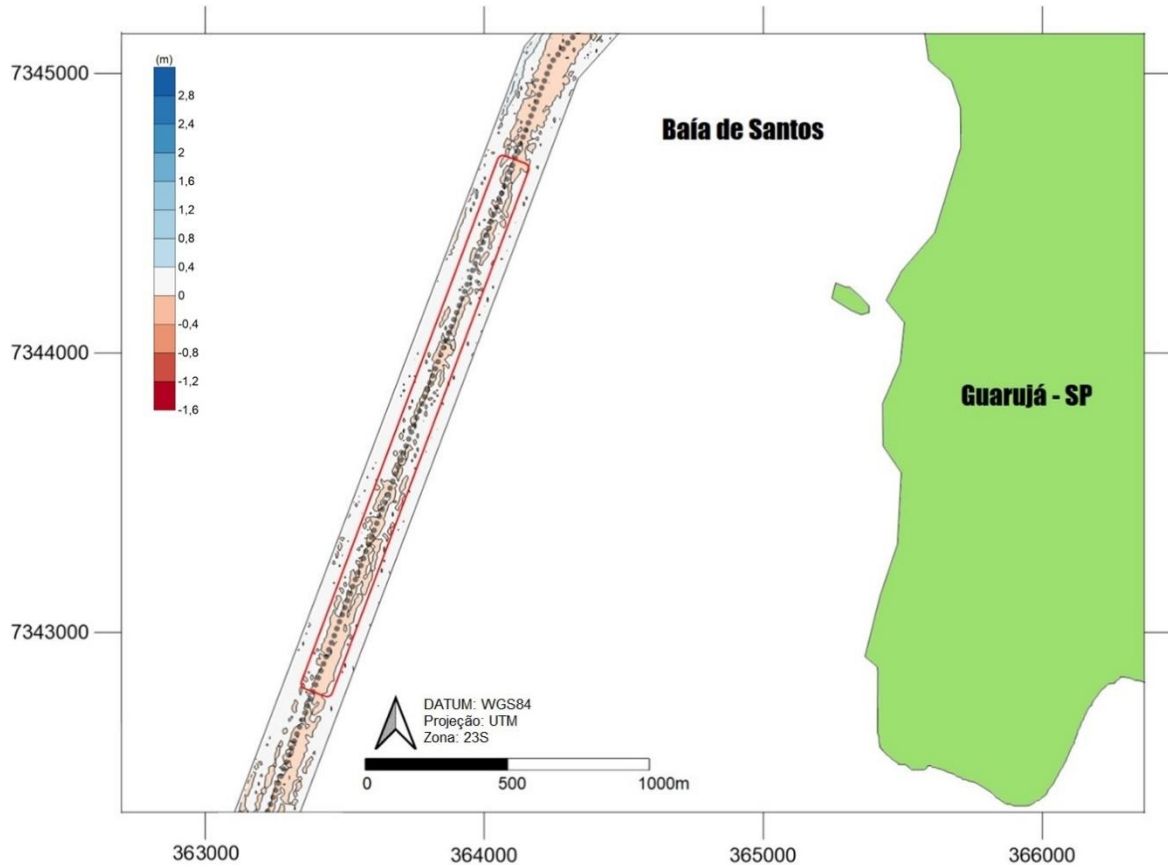


Figura 87 - Corte do mapa de variação batimétrica entre 27/10/2015 e 06/02/2016, com destaque (em vermelho) para possíveis áreas erodidas em decorrência do efeito de ressuspensão gerada pela ação dos hélices dos navios em trânsito.

6.3 Canal Interno (Trecho 2, 3 e 4)

De acordo com ARGONÁUTICA (2013), o canal interno do Porto Organizado de Santos, constituído por seus Trechos 2, 3 e 4, possui um comportamento hidrossedimentológico distinto daquele observado no canal externo (Trecho 1). Para fins comparativos, a Figura 88 demonstra os volumes médios mensais distribuídos ao longo do ano nos dois compartimentos do canal (interno e externo).

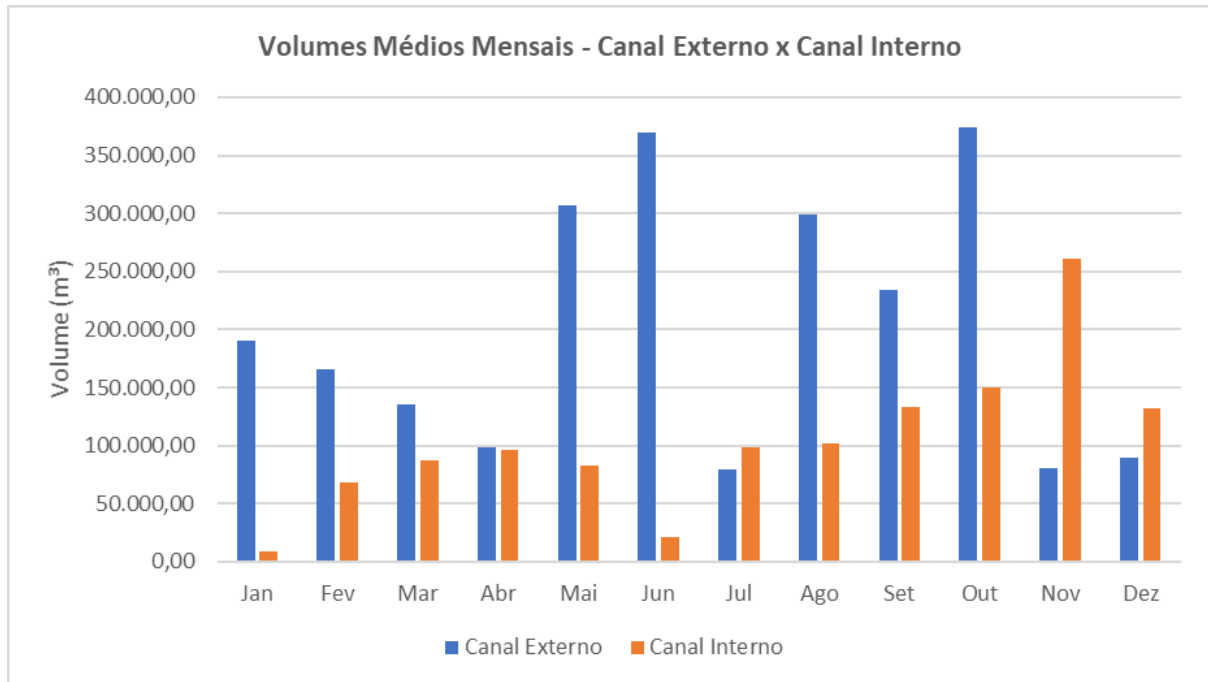


Figura 88 - Volumos mensais resultantes do balanço sedimentar do canal externo (Trecho 1) e do canal interno (Trechos 2, 3 e 4).

Conforme pode ser observado, os volumes médios mensais resultantes do balanço sedimentar no canal interno são menores do que os verificados no canal externo quase ao longo de todo o ano. Para a série histórica considerada no presente trabalho, constata-se apenas uma superação do acúmulo sedimentar nos trechos estuarinos em relação ao canal externo (Trecho 1) nos meses de julho, novembro e dezembro, existindo de forma clara uma diferença mais expressiva nestes últimos dois meses.

A existência de volumes significativos de acúmulo sedimentar no Trecho 1 ao longo de todo o período anual, e não apenas no inverno, demonstra estar relacionada com o fato da passagem de sistemas frontais ocorrer todos os meses, independentemente da época do ano, mesmo nas estações com maior tendência de tempo bom, como no verão (Castro et al., 2006). O que é verificado, de fato, é a variação da frequência de ocorrência destes eventos em função da sazonalidade, sendo que, em períodos mais energéticos associados a um maior número de ocorrência de frentes frias, são esperadas maiores taxas de acúmulo sedimentar no canal da barra.

Não é esperada a superação do acúmulo sedimentar no canal interno sobre o canal externo no mês de julho, que é abrangido por um período do ano em que tipicamente há uma maior frequência de eventos de alta energia na área de estudo.

Acredita-se que o baixo valor de balanço sedimentar resultante encontrado em julho no Trecho 1 não reflita a realidade, dado o padrão observado nos meses vizinhos. O valor calculado para este mês em específico pode refletir unicamente o comportamento observado nos períodos abrangidos pela série histórica ou ainda um conjunto amostral pouco representativo para este intervalo do ano.

Em termos volumétricos, considerando os valores que perfazem as melhores estimativas deste estudo, verifica-se que são depositados anualmente no canal interno um total de 1.541.864,30 m³ de sedimentos, dos quais 406.159,06 m³ são depositados no Trechos 2, 368.657,61 m³ no Trecho 3, e 767.047,63 m³ no Trecho 4. Destarte, verifica-se que a maior parte do aporte sedimentar na porção estuarina do canal de navegação se concentra em seu trecho mais a montante (Trecho 4).

De acordo com ARGONÁUTICA (2013), diferentemente da parte mais externa do Trecho 1, o trecho interno do canal de navegação é controlado por um padrão dinâmico confinado pelas margens, sendo o assoreamento predominantemente composto por sedimentos siltsos. O aporte sedimentar tem como fontes sedimentares a embocadura da Baía de Santos (fonte marinha), principalmente para o Trecho 2, e predominantemente a contribuição das bacias hidrográficas contribuintes do estuário. Ainda, o estudo aponta que as características planialtimétricas são os fatores dominantes do processo hidrossedimentológico na maior extensão do canal interno.

O trabalho de FCTH (2017) complementa que nos canais do sistema estuarino os processos físicos dominantes são a oscilação de maré astronômica e a descarga dos rios. Tendo em vista que a área de estudo é caracterizada por dois períodos hidrológicos distintos, seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março), e que o aporte de sedimentos de origem fluvial apresenta relação direta com a precipitação, os autores apontam que este segundo período abrange a maior parte da contribuição sedimentar fluvial aos espaços náuticos do Porto de Santos.

Ambos os estudos supracitados corroboram que os intervalos críticos de assoreamento do canal interno estão ligados aos períodos de maiores taxas pluviométricas, principalmente no Trecho 4.

Por sua vez, os resultados de Speranzini (2017) trazem um entendimento de que a principal fonte de assoreamento para as seções internas do canal de navegação pode ter origem marinha e não fluvial, sendo que sedimentos advindos da Baía de Santos são transportados para o interior do estuário pela ação do transporte residual,

dada a dominância da maré de enchente em grande parte do canal. A possibilidade de que o sistema receba uma quantidade mais expressiva de sedimentos oriundos da zona costeira e não dos tributários também é corroborada por FUNDESPA (2013).

Para elucidar a distribuição mensal dos volumes depositados no canal de navegação ao longo de um período anual, com base nos resultados alcançados no presente estudo, são apresentados na Figura 89, Figura 90 e Figura 91 gráficos demonstrando, respectivamente, os volumes médios mensais obtidos para os Trechos 2, 3 e 4, os volumes resultantes do balanço sedimentar para cada mês do ano, obtidos a partir das somatórias da médias mensais inerentes a cada um dos trechos do canal interno, e sua distribuição ao longo de um período anual.

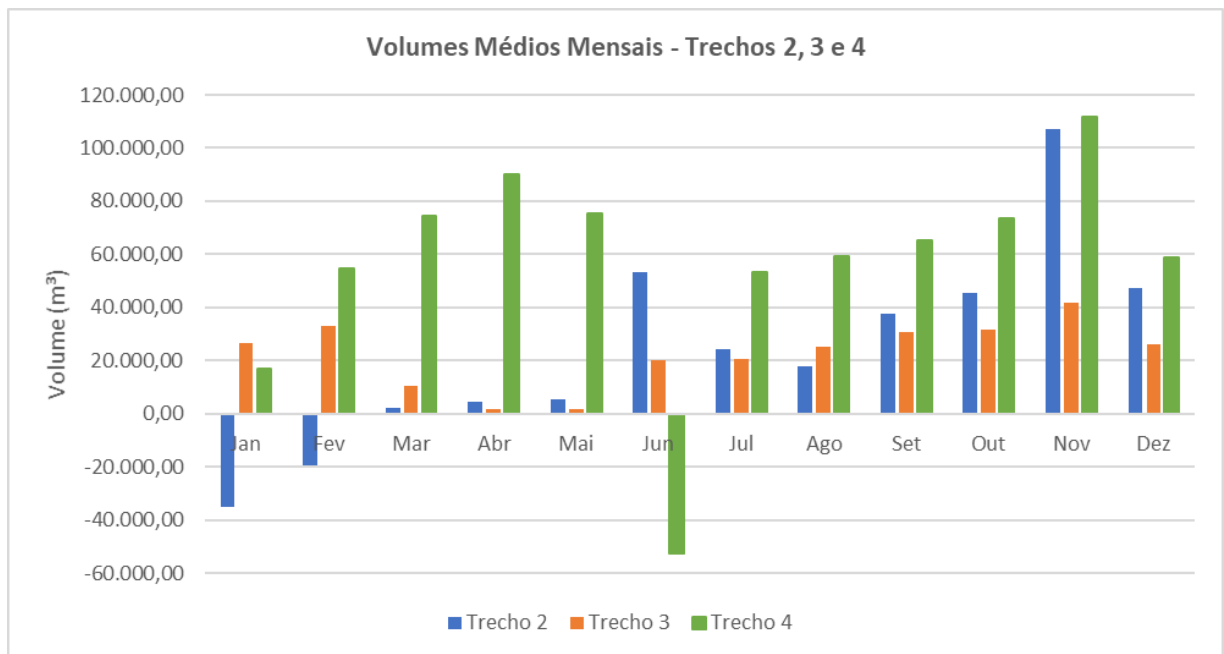


Figura 89 - Variação dos quantitativos de sedimentos aportados (volumes mensais médios do balanço resultante) nos Trechos 2, 3 e 4 ao longo de um período anual.

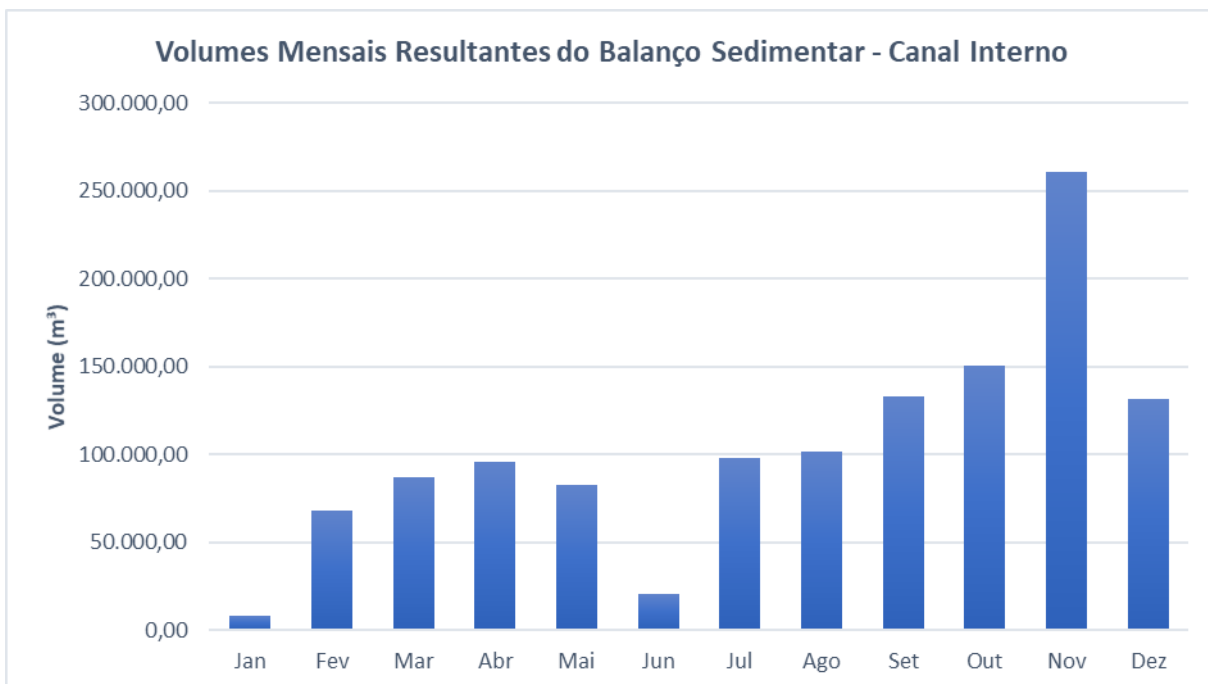


Figura 90 - Variação mensal dos volumes médios do balanço sedimentar resultante no canal interno do Porto Organizado de Santos, obtidos a partir das somatórias dos quantitativos verificados para este respectivo parâmetro nos Trechos 2, 3 e 4.

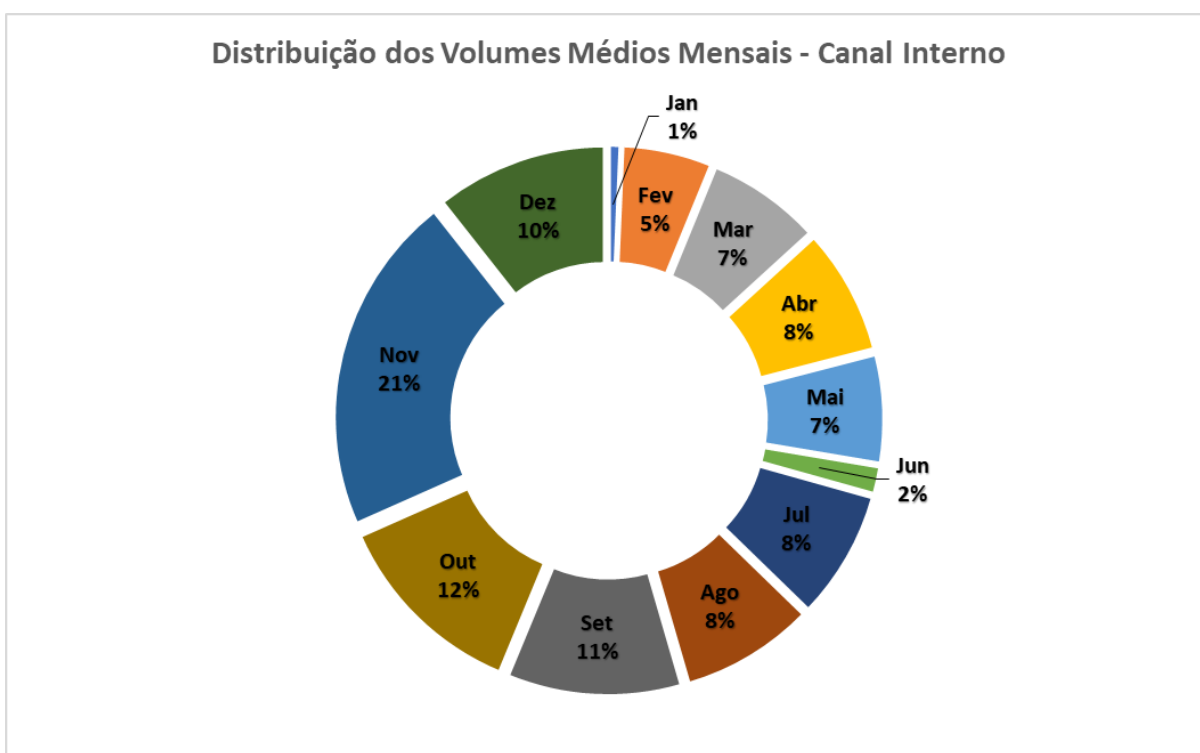


Figura 91 - Distribuição dos volumes mensais resultantes do balanço sedimentar no canal interno (Trechos 2, 3 e 4) ao longo do período de um ano.

Verifica-se que 56% dos sedimentos depositados nos trechos internos ao longo de um ano se acumularam entre outubro e março, o que não demonstra

explicitamente que o balanço sedimentar nestas áreas acompanha de forma estrita o período chuvoso estipulado em FCTH (2017), e muito menos a estação do verão. Neste sentido, observa-se que o conjunto de dados denota uma maior complexidade para o entendimento da variação do balanço sedimentar médio ao longo do ano na porção estuarina do canal, não estando os efeitos da sazonalidade marcados de forma tão clara, como o observado para o Trecho 1.

Observando o gráfico contido na Figura 89, é possível notar que os processos erosivos aparentam exercer forte influência no balanço sedimentar do canal interno, tendo sido verificados períodos em que a saída de sedimentos superou a entrada em determinados trechos, como nos meses de janeiro e fevereiro no Trecho 2, e em junho no Trecho 4. Ainda, podem ser constatados meses em que o balanço positivo resultante nos Trechos 2 e 3 é irrisório, como entre março e maio.

Diante do exposto, dada a complexidade do cenário apresentado, entende-se que seja pertinente efetuar uma avaliação individual dos padrões dos processos sedimentares em cada um dos trechos internos do canal de navegação, bem como das condições de contorno que podem influenciar a dinâmica de sedimentação.

6.3.1 Trecho 2

O Trecho 2 fica situado em uma região protegida de ondas, onde o escoamento é confinado e, conseqüentemente, são encontradas maiores velocidades de correntes, cuja capacidade de transporte de sedimentos é superior (Harari et al., 2000; ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017; Speranzini, 2017). De acordo com FCTH (2017), as maiores intensidades do fluxo hidrodinâmico nesta área incorrem em menores taxas de deposição, fato que é corroborado pelos resultados do presente trabalho, tendo em vista que o Trecho 2 responde por apenas 11% do balanço sedimentar total do canal de navegação.

Speranzini (2017) aponta que a tensão crítica de cisalhamento para sedimentos lamosos no Trecho 2 é excedida a maior parte do tempo, indicando que camadas de deposição recente de materiais finos podem ser remobilizadas durante um único ciclo de maré, situação que pode favorecer a formação de lama fluída na área. A Figura 81 e a Figura 83 mostram, respectivamente, maiores valores de velocidade de correntes e tensão de cisalhamento junto ao fundo nas regiões deste trecho próximas à primeira curva interna e após o cais da Santos Brasil (na direção de montante), onde o canal de navegação é mais estreito.

O gráfico contido na Figura 79 demonstra uma variação de velocidade das correntes circunscrita ao longo do próprio Trecho 2, a qual entende-se que esteja relacionada com o alargamento do canal de navegação na parte mais central do trecho devido à presença de bacias de evolução, onde este último atinge sua largura máxima (512,00 m até 2018, ao largo do terminal da Santos Brasil) (INPH, 2013). Nestas seções mais largas do canal, à luz do princípio de conservação de massa (continuidade) (Miranda et al., 2012), é esperada uma redução da intensidade do escoamento, favorecendo a ocorrência de processos deposicionais (DHI, 2008).

Destarte, em que pese a verificação de altos valores de velocidades de correntes na maior parte do Trecho 2, é importante notar a existência de uma área em sua porção mais central onde há uma diminuição da intensidade do fluxo hidrodinâmico em decorrência do alargamento das seções transversais. Por outro lado, nas regiões a montante e a jusante, devido ao efeito da continuidade, são verificadas correntes mais intensas (Harari et al., 2000; DHI, 2008).

Para elucidar o padrão de distribuição dos pontos de erosão e deposição ao longo do Trecho 2, são apresentados na Figura 92 e na Figura 93 os mapas batimétricos obtidos a partir das subtrações de levantamentos hidrográficos realizados em 23/11/2013 e 10/09/2014 (intervalo de 291 dias), e em 09/03/2016 e 11/11/2016 (intervalo de 247 dias), respectivamente. Os volumes calculados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para este primeiro período foram de 387.429,66 m³, 135.681,68 m³ e +250.747,98 m³, enquanto que no segundo foram de 176.601,42 m³, 76.542,65 m³ e +100.058,77 m³, nesta ordem.

Conforme pode ser observado nas figuras supracitadas, verifica-se que as áreas que sofreram assoreamento se concentram predominantemente ao longo das seções mais largas do canal de navegação, onde estão instaladas as bacias de evolução. Já os locais erodidos estão situados mais à jusante, acompanhando a primeira curva interna, em porção mais confinada do canal, e à montante, nas proximidades do limite superior do Trecho 2, onde há novo afinamento das seções em retomada à largura de referência de projeto.

Assim como para a zona erosiva do Trecho 1, também são constatados possíveis efeitos de meandramento do sistema sobre a simetria das seções nos pontos de curva, com notada tendência de deposição nas adjacências do lado convexo da margem.

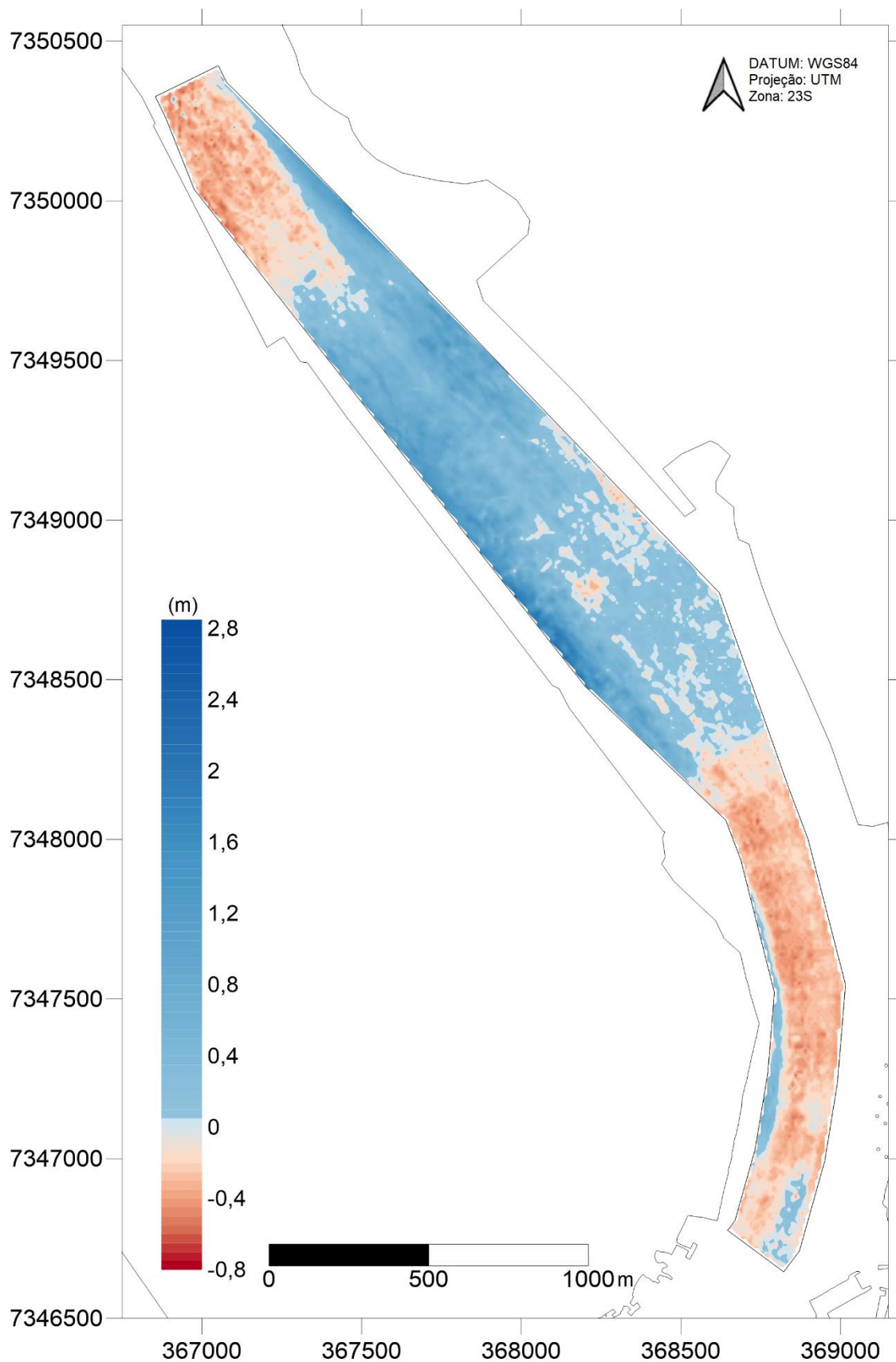


Figura 92 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 23/11/2013 e 10/09/2014 do Trecho 2 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

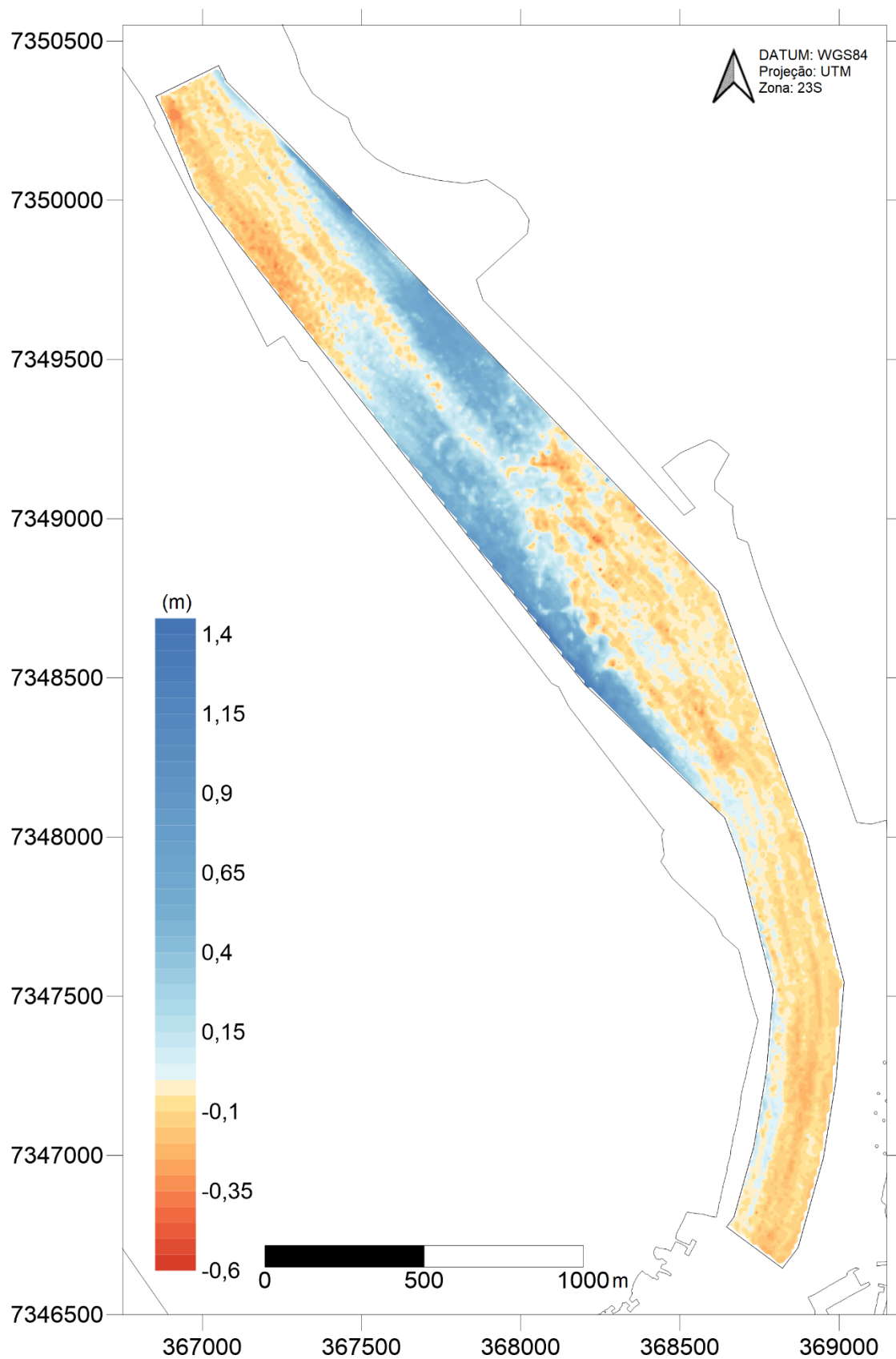


Figura 93 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 09/03/2016 e 11/11/2016 do Trecho 2 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

No mapa batimétrico contido na Figura 94, gerado a partir de dados de levantamento realizado em 10/09/2014, data na qual o Trecho 2 já estava 291 dias sem dragagem, deve-se atentar para a existência de zonas naturalmente mais profundas nas áreas com tendências erosivas acima descritas, principalmente na porção da primeira curva interna situada ao lado da margem continental côncava.

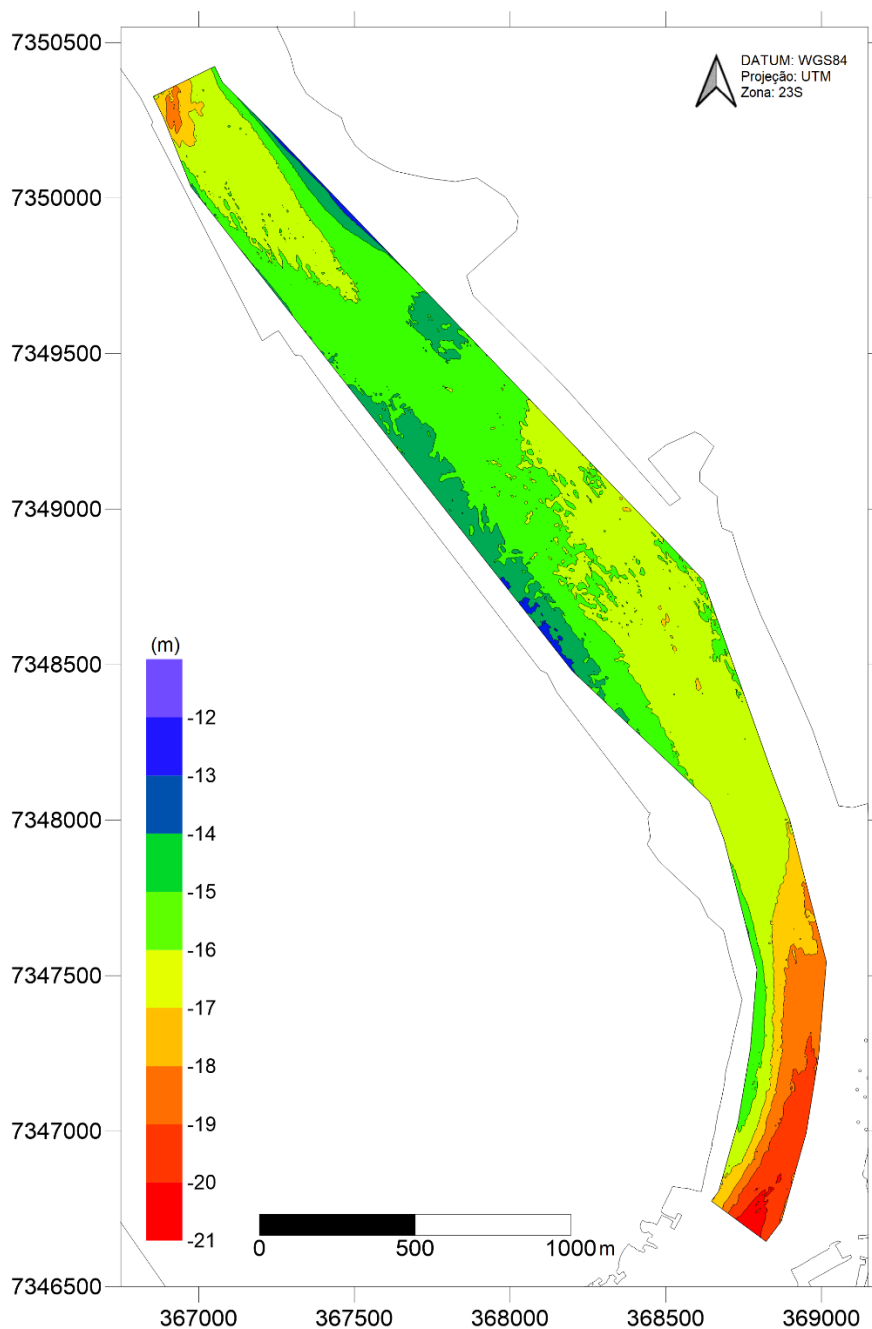


Figura 94 - Variação das profundidades do Trecho 2 em 10/09/2014, destacando-se as zonas naturalmente mais profundas nas proximidades na região abarcada pela primeira curva interna e após o cais da Santos Brasil (na direção de montante), onde o canal de navegação é mais estreito.

Diante do exposto, depreende-se que, localmente, a dinâmica sedimentar no Trecho 2 está diretamente associada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo, sendo que, ao que tudo indica, o grau de confinamento de uma seção pode favorecer ou não a ocorrência de deposição de sedimentos na mesma. Ainda, deve-se frisar que a distribuição espacial das prováveis áreas de assoreamento ou erosão demonstra ser afetada pelos efeitos de meandramento do sistema.

As constatações acima elucidadas são corroboradas por ARGONÁUTICA (2013), que aponta que os trechos estuarinos são controlados por um padrão dinâmico confinado pelas margens, sendo os processos hidrossedimentológicos regulados predominantemente pelas características planialtimétricas do canal, em sua maior extensão.

O constatado também é congruente com o assinalado no trabalho de SONDOTÉCNICA (2013), que conclui que o assoreamento ocorre preferencialmente na zona de largos, ou onde existam alargamentos da seção que produzam diminuições de correntes. Os autores complementam que, neste compartimento interno do canal, não é constatado o caso de assoreamento induzido pela salinidade, mas sim de assoreamento determinado pela geometria do estuário. As partículas sólidas depositam-se nas seções onde existem alargamentos, que fazem diminuir as velocidades e, portanto, as tensões tangenciais no fundo, preferivelmente em estofas.

Com relação à origem e sazonalidade do material depositado no Trecho 2, com base nas informações disponíveis na bibliografia especializada (SONDOTÉCNICA, 1977; ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017; Speranzini, 2017), em que pese divergências de entendimento existentes entre os trabalhos quanto à representatividade das fontes de aporte, aventam-se as seguintes possibilidades:

- a. Origem fluvial, tratando-se de sedimentos advindos das bacias hidrográficas contribuintes do sistema estuarino. Neste caso, em sendo os rios da região uma fonte relevante de sedimentos para o Trecho 2, é esperada uma relação direta das taxas de assoreamento com a precipitação, estando os períodos críticos de aporte associados aos intervalos mais chuvosos do ano, conforme apontado por ARGONÁUTICA (2013) e FCTH (2017);
- b. Origem marinha, tratando-se de sedimentos advindos da Baía de Santos, com provável passagem pelo Trecho 1, conforme descrito anteriormente neste trabalho. Esta fonte sedimentar para o aporte de Trecho 2 é apontada nos

trabalhos de SONDOTÉCNICA (1977), ARGONÁUTICA (2013) e, principalmente, Speranzini (2017), cujas conclusões indicam alta representatividade de sedimentos marinhos (trazidos por transporte residual) no balanço do canal interno, principalmente em seu primeiro trecho mais próximo à embocadura do estuário.

Em sendo a Baía de Santos uma fonte relevante de sedimentos para o Trecho 2, é esperada uma relação direta das taxas de assoreamento com os períodos de maior frequência de eventos de alta energia, haja vista que a remobilização de sedimentos nas porções marinhas da área de estudo e o transporte em direção ao canal de navegação são intensificados durante a passagem de frentes frias, em função da interação da ação de ondas e correntes.

Não obstante, o gráfico contido na Figura 32 e na Figura 89, demonstrando a variação mensal do balanço sedimentar no Trecho 2 ao longo do ano, não permite, em primeira análise, uma visualização clara de um padrão de intensificação de acúmulo especificamente nos períodos onde há maior influência das possíveis forçantes de contorno (pluviometria e/ou eventos de alta energia). Assim sendo, faz-se importante analisar separadamente o comportamento dos processos de assoreamento e erosão para que se alcancem entendimentos mais efetivos.

O gráficos contidos na Figura 95 e na Figura 96 contemplam a variação mensal dos volumes médios assoreados e erodidos no Trecho 2, na respectiva ordem, juntamente com o pluviograma de estação localizada na Ponta da Praia de Santos mantida pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE do Estado de São Paulo (DAEE E3-070), gerado a partir da série histórica de dados de 1937 a 2021.

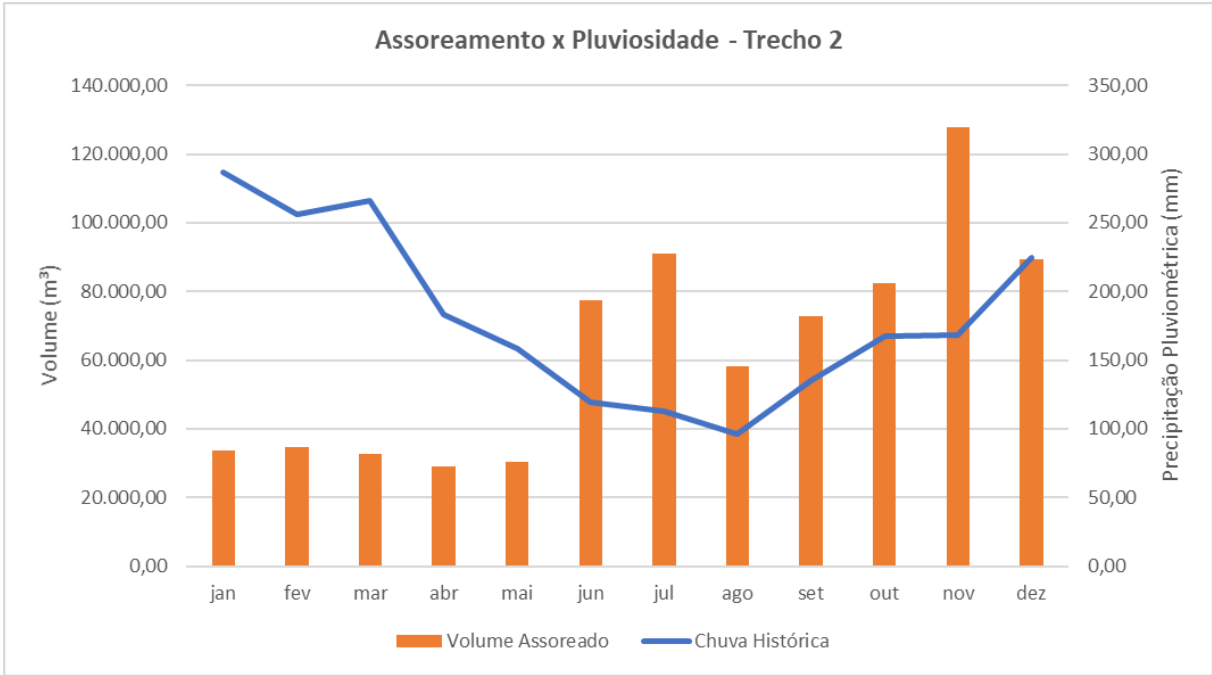


Figura 95 - Variação dos volumes mensais assoreados ao longo do ano no Trecho 2 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).

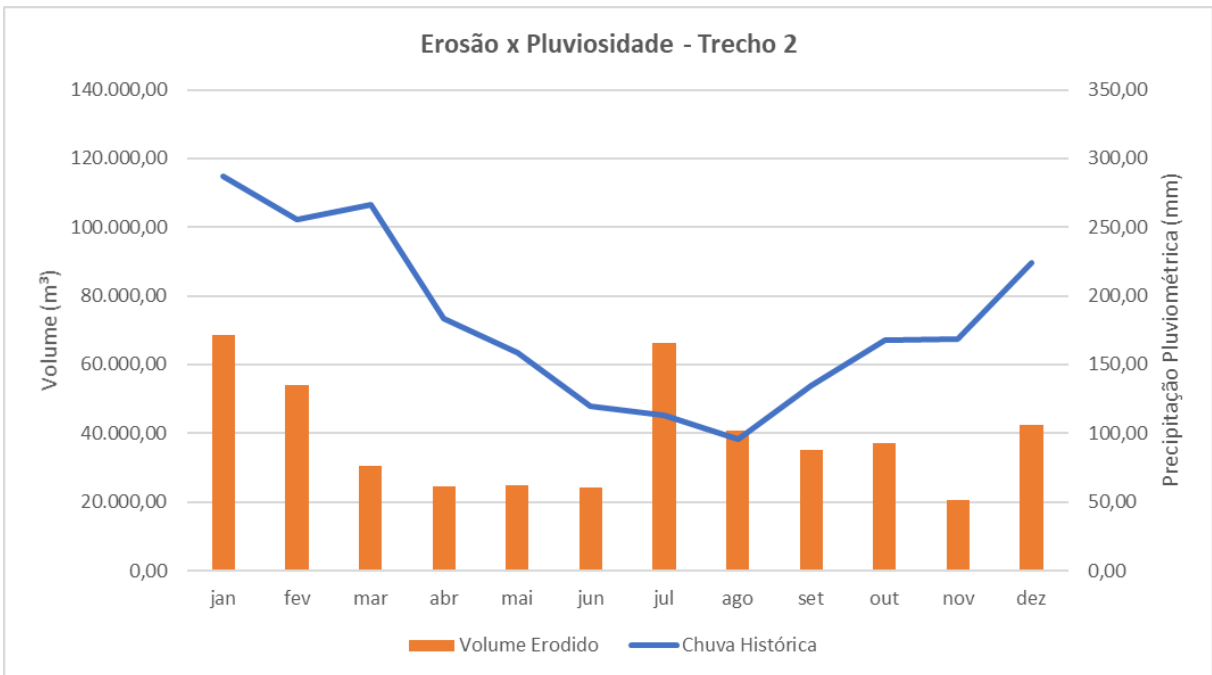


Figura 96 - Variação dos volumes mensais erodidos ao longo do ano no Trecho 2 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).

Da Figura 97 à Figura 99 são apresentados os diagramas de Pareto para valores médios mensais de pluviosidade local, volumes assoreados e volumes erodidos no Trecho 2 do canal de navegação.

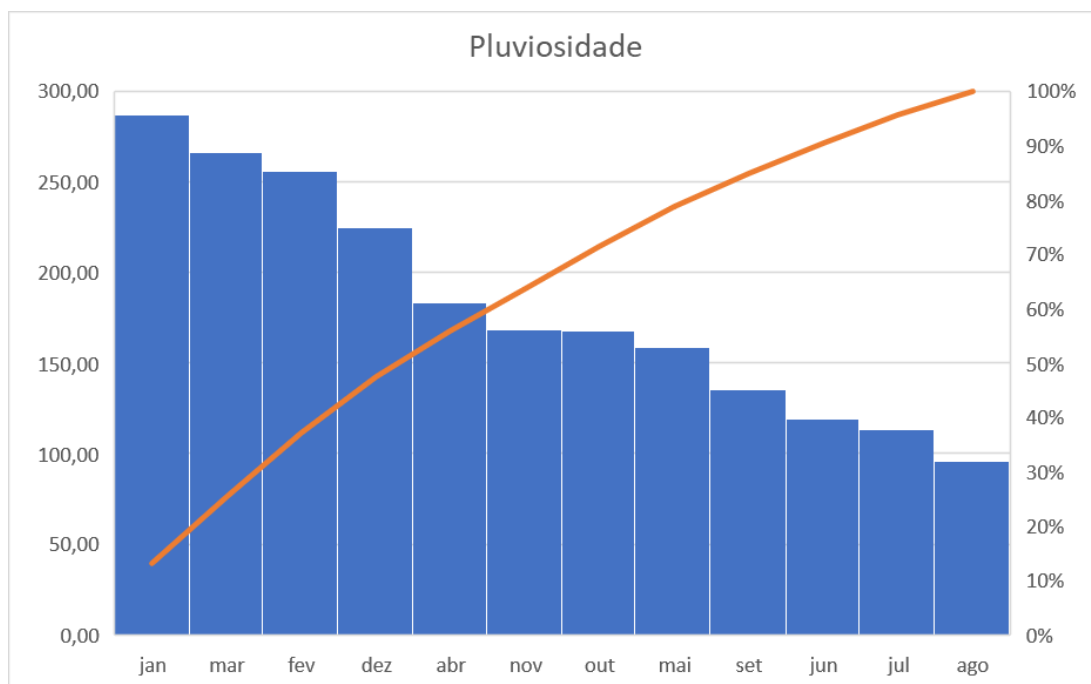


Figura 97 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de precipitação pluviométrica (mm) entre 1931 e 2021.

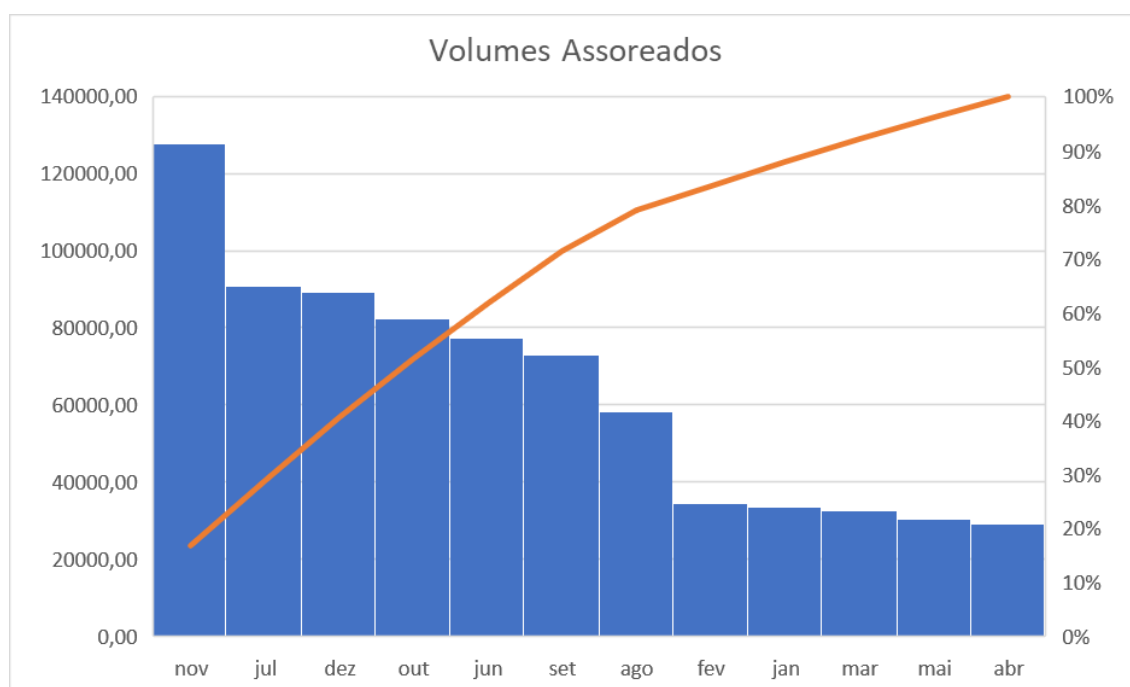


Figura 98 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes assoreados (m³) no Trecho 2 do canal de navegação.

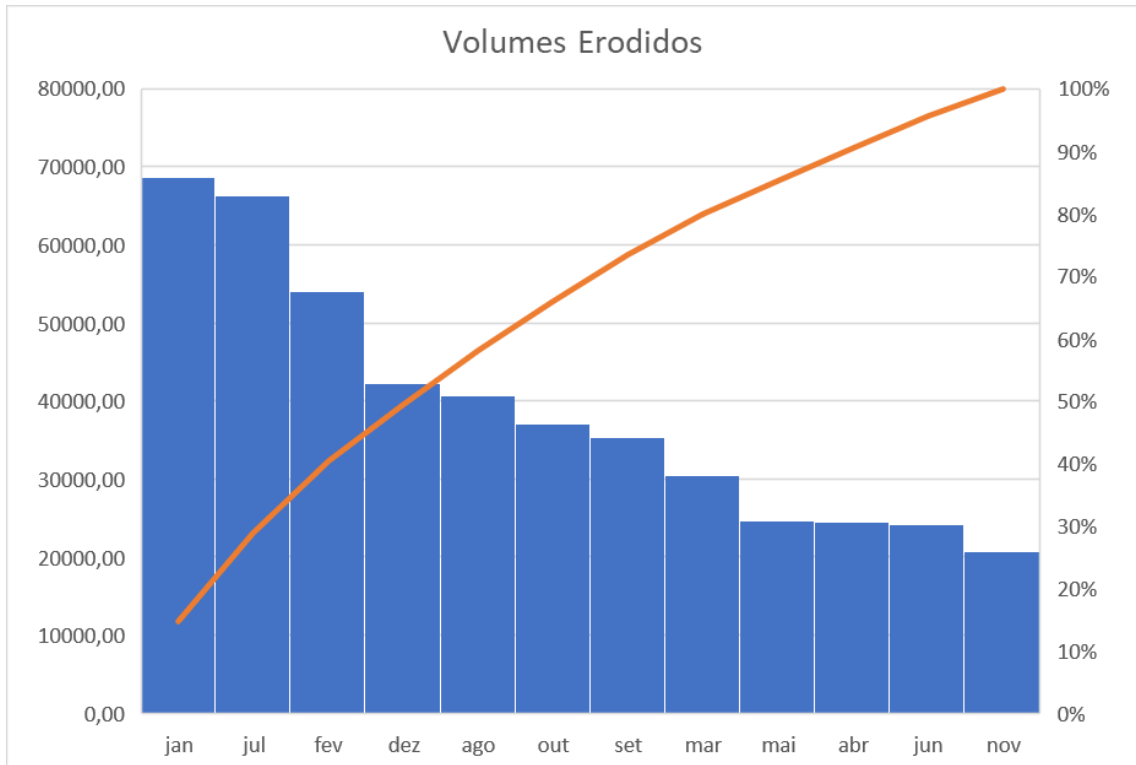


Figura 99 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes erodidos (m³) no Trecho 2 do canal de navegação.

A partir da análise do conjunto de gráficos acima apresentados, é possível efetuar as seguintes constatações:

- a. Foram encontrados baixos volumes de assoreamento entre janeiro e maio, não sendo verificada uma tendência de acompanhamento deste parâmetro em relação às precipitações pluviométricas mensais ao menos até o mês de agosto;
- b. As taxas mensais de assoreamento dos meses de julho, outubro, novembro e dezembro no Trecho 2 representam aproximadamente 51% do volume total assoreado ao longo de um ano, verificando-se claro aumento das taxas mensais a partir de junho, mês em que se inicia o inverno;
- c. Os maiores volumes relativos de assoreamento, no que concerne ao Trecho 2, são verificados entre junho e dezembro, com um valor máximo constatado no mês de novembro;
- d. Os valores máximos de volume erodido e precipitação pluviométrica são constatados no mês de janeiro, sendo que, dos 04 meses com maiores taxas mensais de erosão, 03 são abarcados pelo verão (dezembro, janeiro e fevereiro), nos quais são verificados altos índices históricos de chuva;

- e. Com vistas aos resultados alcançados para o Trecho 1 do canal de navegação, entende-se que os meses de junho a outubro configurem um intervalo de tempo marcado pelo aumento da frequência de eventos de alta energia e, conseqüentemente, um maior aporte de sedimentos da Baía de Santos para o canal de navegação. Por sua vez, nos meses de novembro e dezembro são registrados valores significantes de precipitação pluviométrica, quando é esperado maior aporte sedimentar de origem fluvial.

Diante do exposto, inobstante à origem do aporte sedimentar, os dados indicam a existência de um intervalo do ano em que as condições de contorno no Trecho 2 não se demonstram favoráveis para a deposição de sedimentos, o qual aparenta estar relacionado à estação do verão, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, em que são verificadas, ao mesmo tempo, maiores taxas de erosão e taxas pouco representativas de assoreamento.

A série de dados de variações volumétricas obtida no presente trabalho ratifica tal constatação, sendo identificados 05 períodos analíticos compreendidos entre os meses de dezembro e março em que o balanço sedimentar resultante foi negativo no Trecho 2. A Tabela 44 compila os dados volumétricos pertinentes aos respectivos períodos.

Tabela 44 - Compilação dos dados de volumes mensais assoreados, erodidos e resultantes do balanço sedimentar no Trecho 2 e respectivas taxas diárias (Volumes - m³; Taxas - m³/dia), referentes aos períodos compreendidos entre dezembro e março que apresentaram tendências erosivas.

Início	Término	Intervalo	Vol. Ass.	Tx. Ass.	Vol. Ero.	Tx. Ero.	Vol. Bal.	Tax. Bal.
29/12/2011	22/02/2012	55	29.326,57	533,21	183.754,15	-3.340,98	-154.427,58	-2.807,77
08/12/2012	23/01/2013	46	56.190,31	1.221,53	123.291,04	-2.680,24	-67.100,73	-1.458,71
23/01/2013	08/02/2013	16	59.102,21	3.693,89	96.824,23	-6.051,51	-37.722,02	-2.357,63
08/02/2013	08/03/2013	28	31.759,52	1.134,27	121.878,53	-4.352,80	-90.119,01	-3.218,54
21/12/2016	27/01/2017	37	45.310,44	1.224,61	91.702,17	-2.478,44	-46.391,73	-1.253,83

De acordo com Speranzini (2017), correntes de fundo residuais mais fortes são verificadas durante o verão, notadamente em condições de sizígia, devido ao aumento da descarga dos rios relacionadas às maiores precipitações pluviométricas verificadas nesta estação. De acordo com a autora, o transporte acumulado de sedimentos de origem marinha nas porções iniciais do Trecho 2 durante o verão é duas vezes maior do que no inverno, constatação esta que provavelmente está

associada à existência de condições mais energéticas resultantes do aumento da descarga fluvial, incorrendo na erosão deste tipo de sedimento e subsequente transporte para outras áreas.

O gráfico contido na Figura 79 demonstra uma clara diferença de intensidades de correntes superficiais entre o verão e o inverno nas dependências da primeira curva interna do canal de navegação.

Os maiores valores relativos de assoreamento e, conseqüentemente, de balanço sedimentar resultante entre junho e setembro, podem estar associados ao período de aumento de ocorrência de passagem de frentes frias, da mesma forma como verificado para o Trecho 1, seção vizinha. Conforme já discutido anteriormente, a ação conjunta de ondas e correntes durante eventos de alta energia incorre no aporte de sedimentos marinhos para canal da barra, os quais (principalmente as frações mais finas) podem ser remobilizados e transportados estuário acima (SONDOTÉCNICA, 1977; ARGONÁUTICA, 2013; Speranzini, 2017).

Em que pese a existência de taxas de erosão relativamente altas em determinados meses deste intervalo supracitado, como em julho, acredita-se que, de forma geral, condições menos energéticas de correntes possam favorecer a deposição de sedimentos no Trecho 2, principalmente de origem marinha, haja vista os menores valores de precipitações pluviométricas verificadas para esta época do ano (menor descarga fluvial).

Para os meses de novembro e dezembro, em que, com base nos resultados obtidos para o Trecho 1, não é esperado um aporte sedimentar tão expressivo advindo da Baía de Santos, pode-se inferir que taxas pluviométricas relativamente menores e, conseqüentemente, fluxos menos intensos, em comparação aos três primeiros meses do ano, possam favorecer a deposição de sedimentos de origem fluvial. Especificamente no mês de novembro, foi constatado, ao mesmo tempo, o maior volume médio mensal de assoreamento e o menor volume erodido.

No entanto, com o esperado aumento da descarga dos rios em dezembro, ainda que menor do que em janeiro e fevereiro, já pode ser observada uma tendência de aumento dos processos erosivos e de diminuição do volume mensal resultante do balanço sedimentar.

Faz-se de suma importância ressaltar que as considerações apresentadas neste trabalho trazem uma tentativa de interpretação para o cenário delineado com base nos dados disponíveis da série histórica considerada. Desta forma, não se pode

esperar que o comportamento dos processos sedimentares no Trecho 2 sigam exatamente o que fora aqui modulado em termos de balanço, haja vista que o ambiente natural é extremamente dinâmico, não respeitando limites temporais imaginários para a ocorrência de fenômenos que impactam diretamente nas condições de contorno que regem a dinâmica da área de estudo (chuvas, ressacas, etc.).

O que realmente se busca é a constatação de padrões e tendências gerais, em termos quantitativos e qualitativos, para os processos sedimentares, podendo, neste contexto, serem efetuadas as seguintes asserções com base nos resultados alcançados para o Trecho 2 do canal de navegação:

- a. O trecho aparenta receber um aporte híbrido de sedimentos fluviais e marinhos, cuja representatividade em termos de deposição parece variar de acordo com a época do ano;
- b. Altas taxas pluviométricas e, conseqüentemente, maiores descargas de água doce dos contribuintes no estuário podem não estar relacionadas, necessariamente, a um maior acúmulo de sedimentos fluviais no Trecho 2. Nestas condições, é verificada uma intensificação do fluxo hidrodinâmico, principalmente nas proximidades da primeira curva interna, que, a partir de um determinado limiar, pode favorecer que o ambiente passe a ter condições erosivas e não deposicionais. Ou seja, ainda que seja esperado um maior aporte de sedimentos fluviais em épocas de maior pluviosidade, dependendo da grandeza da descarga líquida associada, podem não existir condições propícias para a deposição dos mesmos devido à alta energia de correntes no Trecho 2.

Diante dos resultados apresentados no presente estudo, infere-se que, aproximadamente, entre dezembro e março, o aumento da intensidade do fluxo relacionado ao período mais chuvoso pode incorrer em balanços sedimentares negativos no Trecho 2, onde a taxa de erosão da respectiva área é maior do que a taxa deposição;

- c. Maiores taxas de assoreamento nos meses mais energéticos em níveis meteoceanográficos, principalmente no inverno, em que há uma maior ocorrência da passagem de frentes frias, aparentam estar relacionadas com um maior aporte de sedimentos marinhos no Trecho 2, advindos da Baía de Santos, transportados estuário acima. Volumes relativamente mais altos de

assoreamento e balanço sedimentar resultante em meses em que é observada menor ocorrência de precipitações pluviométricas, como junho e julho, aparentam corroborar com tal inferência;

- d. Em uma situação de relativo equilíbrio, onde os índices pluviométricos são suficientemente altos para aumentar a descarga sólida fluvial no sistema estuarino e, ao mesmo passo, não incorrerem em um aumento demasiado da intensidade do fluxo de forma que o mesmo se torne capaz de imputar tendências majoritariamente erosivas para o ambiente, podem ser esperados maiores índices de deposição no Trecho 2. Acredita-se que tais condições estejam relacionadas com o cenário observado para o mês de novembro.

6.3.2 Trecho 3

Assim como o trecho tratado no item anterior, o Trecho 3 fica situado em uma região protegida de ondas, onde o escoamento é confinado e, conseqüentemente, são encontradas maiores velocidades de correntes, cuja capacidade de transporte de sedimentos é superior (Harari et al., 2000; ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017; Speranzini, 2017). De acordo com FCTH (2017), as maiores intensidades do fluxo hidrodinâmico nesta área incorrem em menores taxas de deposição, fato que é corroborado pelos resultados do presente trabalho, tendo em vista que o Trecho 3 responde por apenas 10% do balanço sedimentar total do canal de navegação.

Os campos hidrodinâmicos apresentados na Figura 81 demonstram velocidades mais intensas de correntes nas áreas do Trecho 3 compreendidas entre o término do Trecho 2 e o início da curva situada nas proximidades da região do Armazém 12 ("Curva do 12"), em concordância com a área onde é observado um maior confinamento pelas margens. A distribuição dos valores mais expressivos de tensão de cisalhamento junto ao fundo elucidada na Figura 83 acompanha os locais em que se verificam maiores velocidades de fluxo, onde é esperada maior competência hidrodinâmica para o transporte sedimentos.

De modo oposto, na porção do Trecho 3 situada nas adjacências do largo localizado próximo ao terminal da Empresa Brasileira de Terminais Portuários – EMBRAPORT (Largo de Bertioga), onde há menor grau de confinamento, verifica-se uma tendência de diminuição de velocidade das correntes. No gráfico contido na Figura 79, pode ser observada uma clara diferença de intensidade de fluxo entre os pontos situados nas proximidades do início do respectivo trecho e imediatamente após

a curva do Armazém 12, sendo mensurada uma menor de velocidade máxima nesta última localidade.

Para elucidar o padrão de distribuição dos pontos de erosão e deposição ao longo do Trecho 3, são apresentados na Figura 100 e na Figura 101 os mapas batimétricos obtidos a partir das subtrações de levantamentos hidrográficos realizados em 15/11/2013 e 08/09/2014 (intervalo de 286 dias), e em 18/07/2017 e 07/12/2017 (intervalo de 142 dias), respectivamente. Os volumes calculados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para este primeiro período foram de 249.376,14 m³, 127.682,22 m³ e +121.693,92 m³, enquanto que no segundo foram de 169.772,52 m³, 18.987,12 m³ e +150.785,40 m³, nesta ordem.

Avaliando-se as figuras supracitadas, verifica-se que o Trecho 3 concentra zonas com tendência de maior estabilidade (com variações de pouca magnitude) e/ou de erosão em sua porção entre o início do trecho até o término da curva próxima ao Armazém 12, com notável assimetria transversal nas regiões do canal que apresentam maior curvatura. Na parte final do trecho, aproximadamente a partir do Armazém 11 até o seu término, verifica-se uma área com maior tendência deposicional, com variações positivas de maior magnitude constatadas na porção inferior do canal voltada para a margem de Santos (Figura 102).

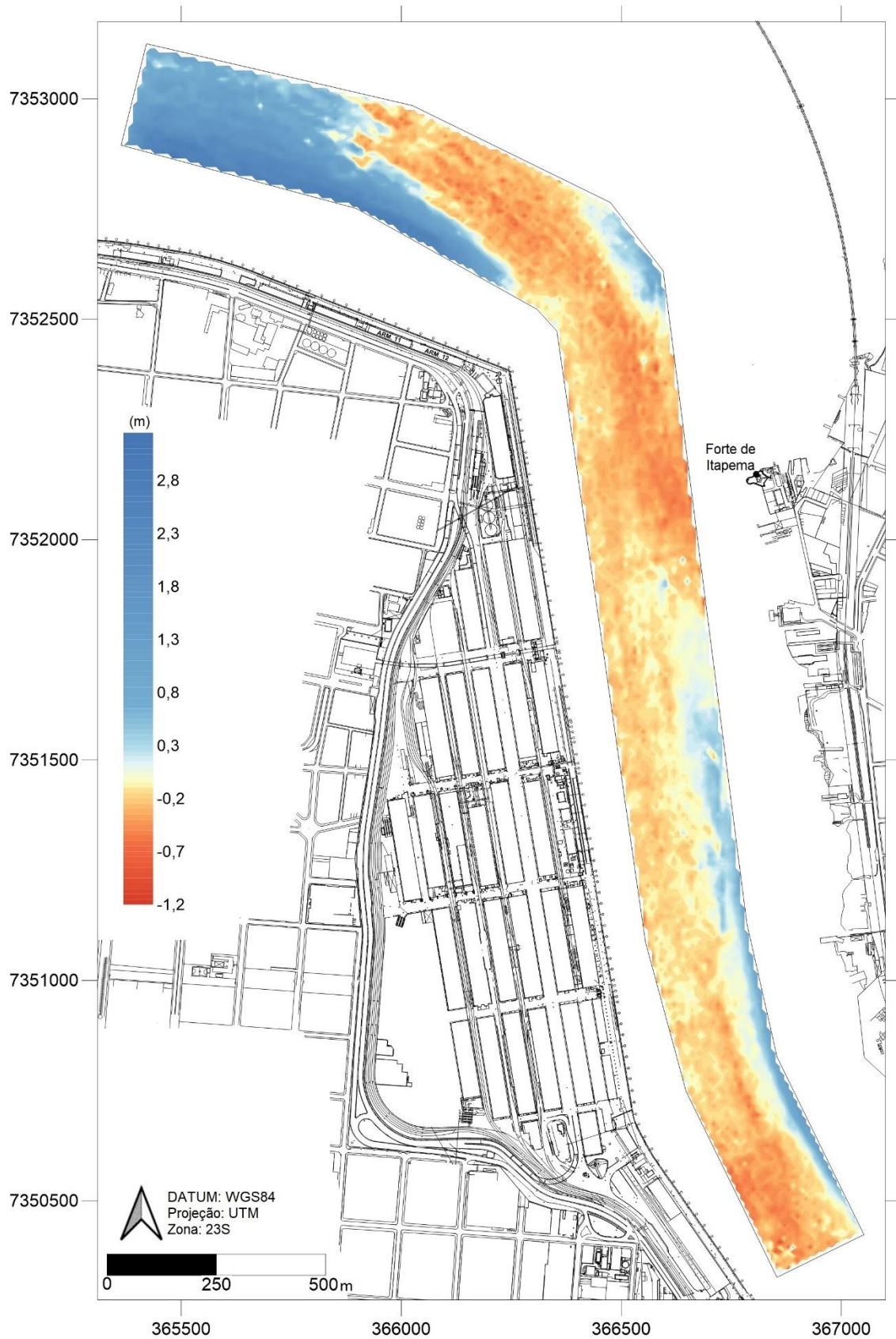


Figura 100 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 15/11/2013 e 08/09/2014 do Trecho 3 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

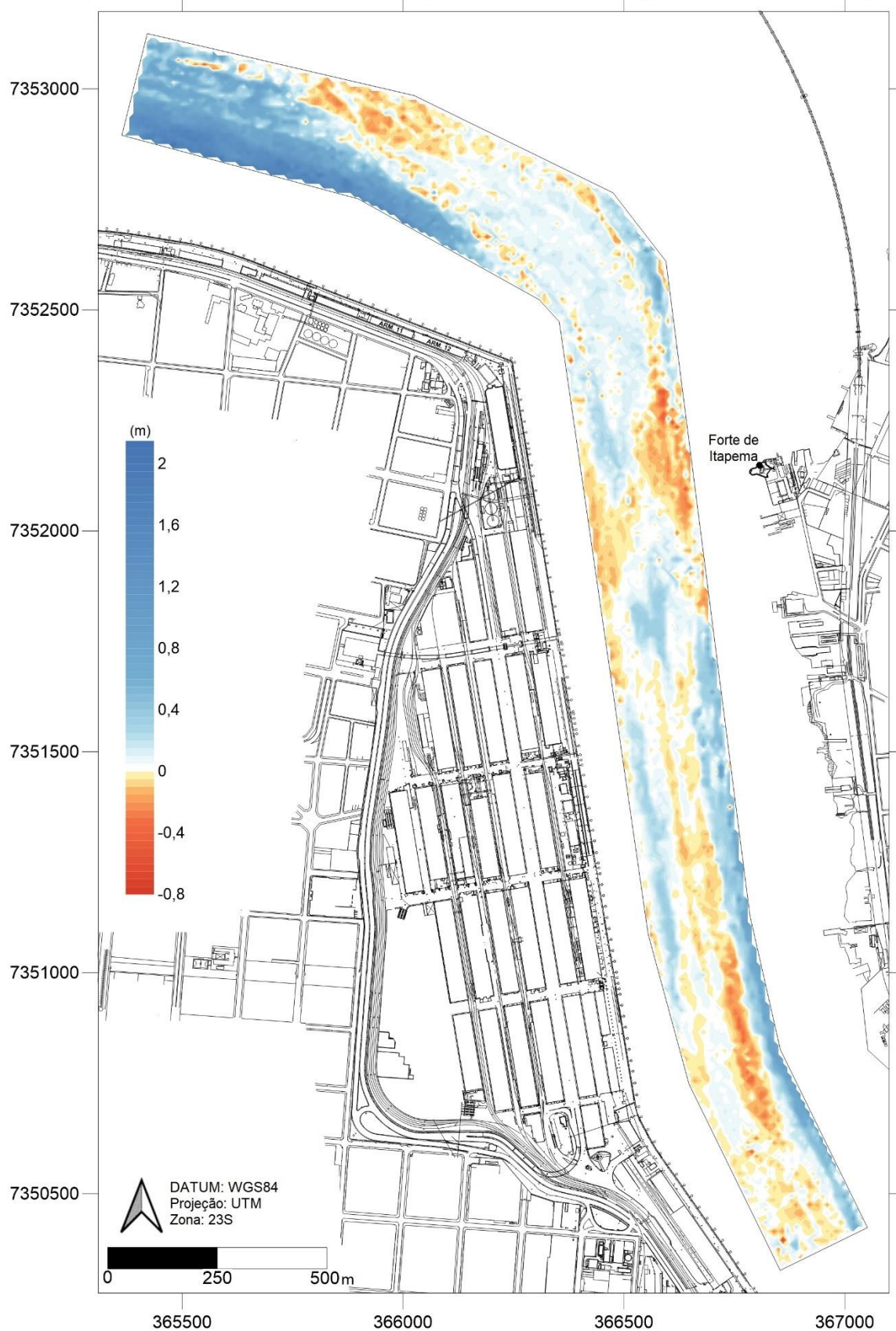


Figura 101 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 18/07/2017 e 07/12/2017 do Trecho 3 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

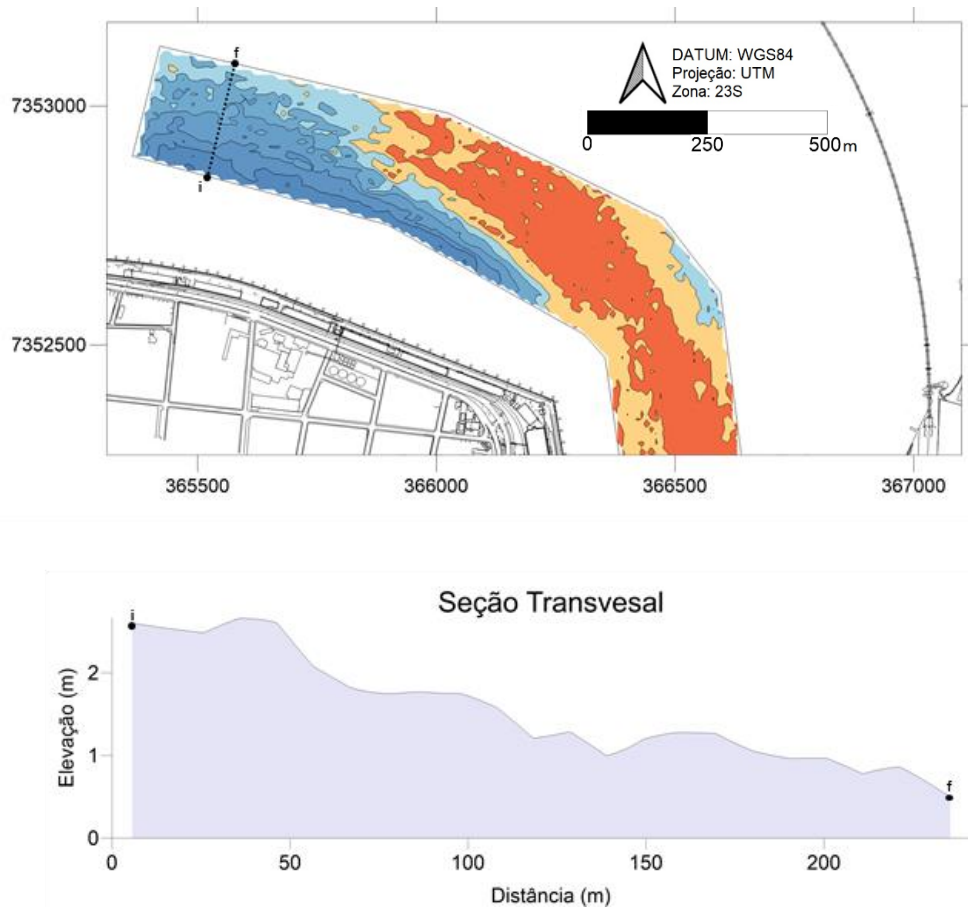


Figura 102 - Destaque para a porção final do Trecho 3, extraído do mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 15/11/2013 e 08/09/2014, juntamente com gráfico da variação das elevações batimétricas observadas em seção representada pela linha tracejada.

Áreas com variações batimétricas negativas mais expressivas são verificadas no início do Trecho 3, em continuidade à área erosiva já apontada para o Trecho 2, situada após as bacias de evolução, onde o canal sofre afinamento para a sua largura de referência; bem como entre o Forte de Itapema e o término da curva ao largo do Armazém 12, com indícios erosivos de maior magnitude observados mais próximos desta primeira localidade.

Chama-se atenção para uma linha mais tênue de deposição estendendo-se ao longo da metade do canal voltada para o lado convexo da margem, nas dependências da seção curvada compreendida entre, aproximadamente, o término cais da Santos Brasil e pouco antes do Forte de Itapema (na altura da Travessia de Barcas). Também pode ser constatada uma área com tendência de variação positiva na porção superior na contracurva imediatamente subsequente, situada ao lado do Armazém 12.

No mapa batimétrico contido na Figura 103, gerado a partir de dados de levantamento realizado em 08/09/2014, data na qual o Trecho 3 já estava 286 dias sem dragagem, deve-se atentar para a existência de zonas naturalmente mais profundas coincidindo com as áreas com tendências erosivas acima descritas.

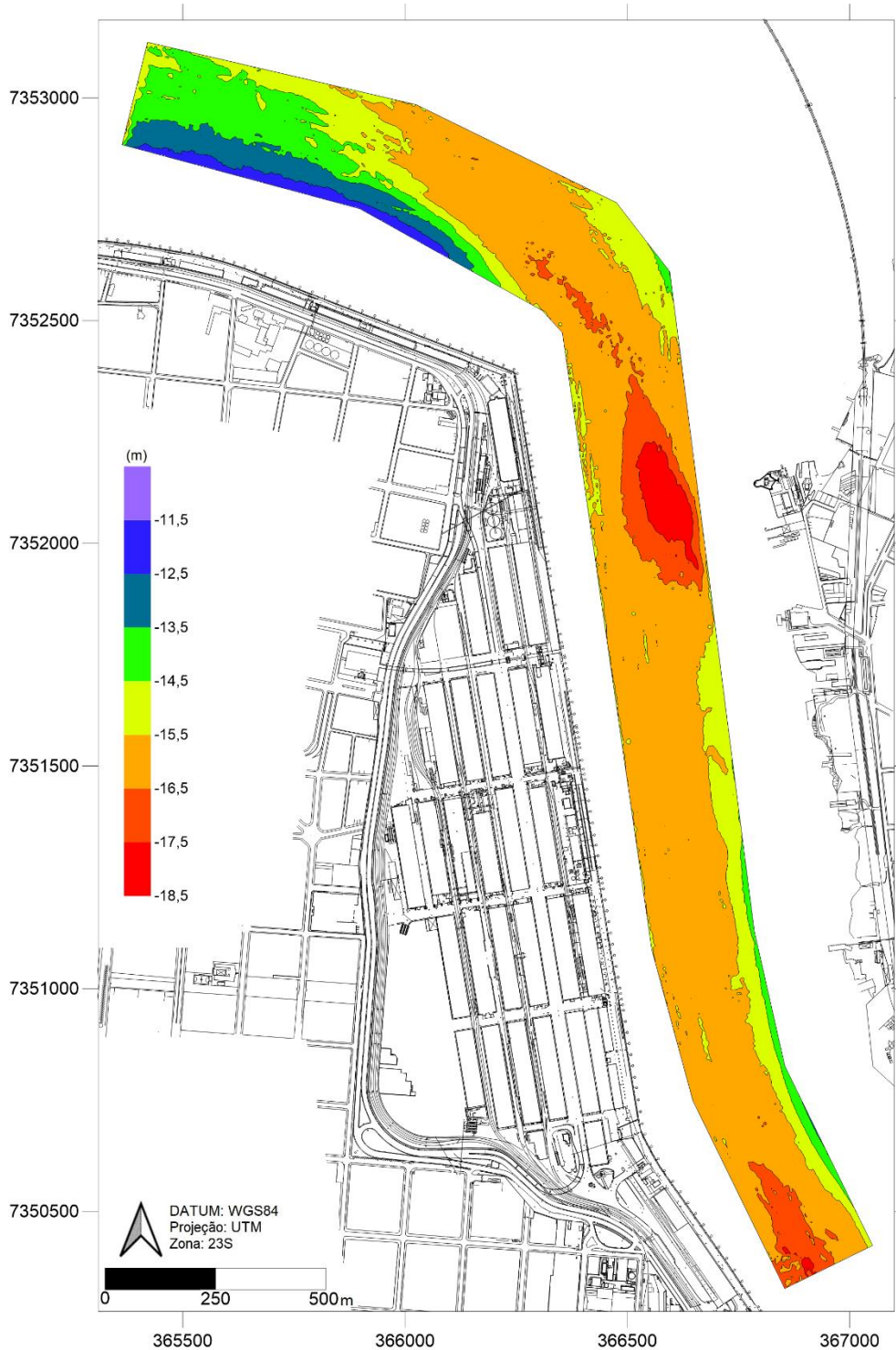


Figura 103 - Variação das profundidades no Trecho 3 em 08/09/2014.

Infere-se que a extensão das áreas com tendência de erosão e/ou de maior estabilidade para fora da área confinada do Trecho 3 até o final da curva próxima do Armazém 12 podem ser indicativos da influência de altas intensidades de correntes, não favoráveis para processos deposicionais, para aquém desta primeira zona. As maiores profundidades naturais nestas áreas ratificam tal asserção.

Acredita-se na possibilidade de que o fluxo canalizado de enchente seja projetado por inércia com eixo direcionado para a região de acesso aos berços da EMBRAPORT, haja vista que não existe margeamento nesta área. As marcas erosivas diagonais na curva próxima do Armazém 12 em direções concordantes com esse direcionamento podem ser indícios de tal processo.

Por outro lado, a respectiva conformação do padrão de circulação hidrodinâmica aparenta favorecer processos deposicionais nas áreas mais próximas dos limites finais do Trecho 3, principalmente nas porções inferiores da calha, em região com menor grau de confinamento, onde são esperados fluxos menos intensos.

Assim sendo, é possível fazer a inferência de que a porção final do Trecho 3 com tendências mais fortes de assoreamento, onde são observadas as variações positivas de maiores magnitude, esteja associada à presença de menores velocidades de correntes, favoráveis à deposição.

Ainda, é possível que a intensidade do assoreamento na região supracitada possa ser favorecida pela presença de áreas mais rasas ao sul do limite inferior do canal, as quais perfazem os acessos aos berços de menor calado dos Armazéns 07 ao 12, ao passo que ao norte do lado superior encontra-se o acesso ao berço da EMBRAPORT, com profundidade de projeto compatível com a do canal de navegação. Tal condição pode incorrer em eventual evolução de fundos advindos destas primeiras áreas mais rasas em direção ao centro do canal, incrementando as elevações na porção do canal que margeia Santos. Tal cenário aparenta resultar na assimetria transversal de deposição nesta localidade.

Especificamente na área com tendência de assoreamento circunscrita à porção superior na curva situada nas proximidades do Armazém 12, acredita-se que a mesma possa estar relacionada com possível transporte transversal de carga advinda do Largo de Bertioga em direção ao canal de navegação, haja vista que esta porção do Trecho 2 não é protegida pelo efeito de armadilha que possivelmente é exercido pelas áreas de acesso aos berços do terminal da EMBRAPORT.

Inferese-se que a área com uma tendência erosiva de maior magnitude ao largo do Forte de Itapema possa estar relacionada com um possível encontro dos eixos das correntes de enchente e vazante, favorecendo processos erosivos.

Diante de todo o exposto, depreende-se que a dinâmica sedimentar nas dependências do Trecho 3 está, predominantemente, associada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo, bem como, mais localmente, de provável transporte transversal de carga advindo das regiões mais rasas ao largo. Ainda, deve-se frisar que a distribuição espacial das prováveis áreas de assoreamento ou erosão demonstra ser afetada pelos efeitos de meandramento do sistema, sendo que as linhas de deposição na metade leste do Trecho 3, entre o seu início até a altura do Armazém 16/17, aparentemente podem servir como exemplo das consequências deste processo.

As constatações acima elucidadas são corroboradas por ARGONÁUTICA (2013), que aponta que os trechos estuarinos são controlados por um padrão dinâmico confinado pelas margens, sendo os processos hidrossedimentológicos regulados predominantemente pelas características planialtimétricas do canal, em sua maior extensão.

O constatado também é congruente com o assinalado no trabalho de SONDOTÉCNICA (1977), que conclui que o assoreamento no trecho estuarino ocorre preferencialmente na zona de largos, ou onde existam alargamentos da seção que produzam diminuições de correntes. Os autores complementam que, neste compartimento do canal, não é verificado o caso de assoreamento induzido pela salinidade, mas sim de assoreamento determinado pela geometria do estuário. As partículas sólidas depositam-se nas seções onde existem alargamentos, que fazem diminuir as velocidades e, portanto, as tensões tangenciais no fundo, preferivelmente em estofas.

Em termos de acúmulo sedimentar, acredita-se que uma boa parte do material depositado no Trecho 3 se concentre em sua região terminal, nos limites com o Trecho 4 do canal de navegação, já sob maior influência dos largos.

Para auxiliar no entendimento da origem e sazonalidade do aporte de sedimentos no Trecho 3, são apresentados, respectivamente, gráficos na Figura 104 e na Figura 105 demonstrando a variação mensal dos volumes assoreados e erodidos neste trecho do canal de navegação, juntamente com o pluviograma de estação

localizada na Ponta da Praia de Santos (DAEE E3-070), gerado a partir da série histórica de dados de 1937 a 2021.

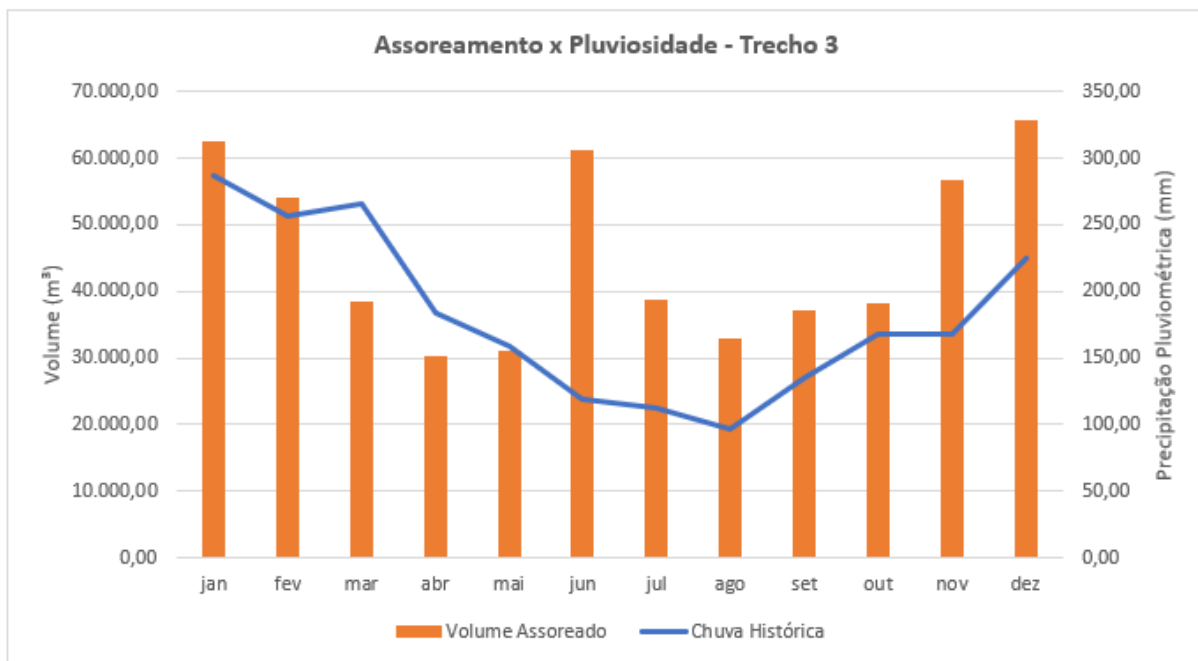


Figura 104 - Variação dos volumes mensais assoreados ao longo do ano no Trecho 3 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).

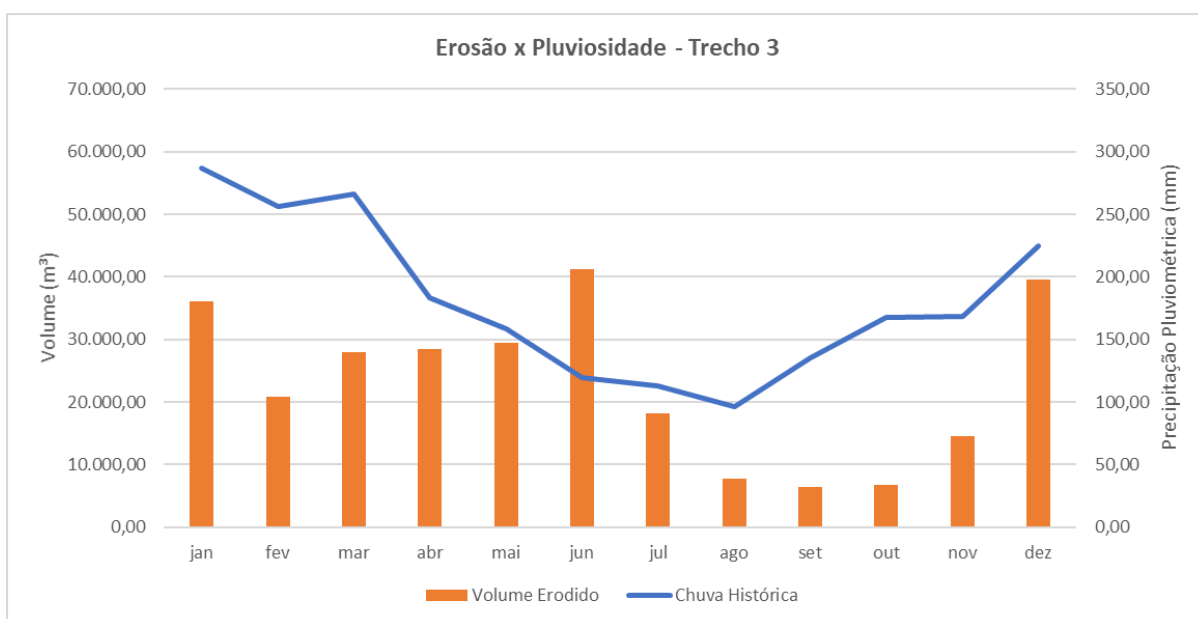


Figura 105 - Variação dos volumes mensais erodidos ao longo do ano no Trecho 3 e pluviograma obtido a partir de série histórica de dados de 1931 a 2021, na Ponta da Praia de Santos (Estação DAEE E3-070).

Na Figura 106 e na Figura 107, são apresentados os diagramas de Pareto para valores médios mensais de volumes assoreados e volumes erodidos no Trecho 3 do canal de navegação.

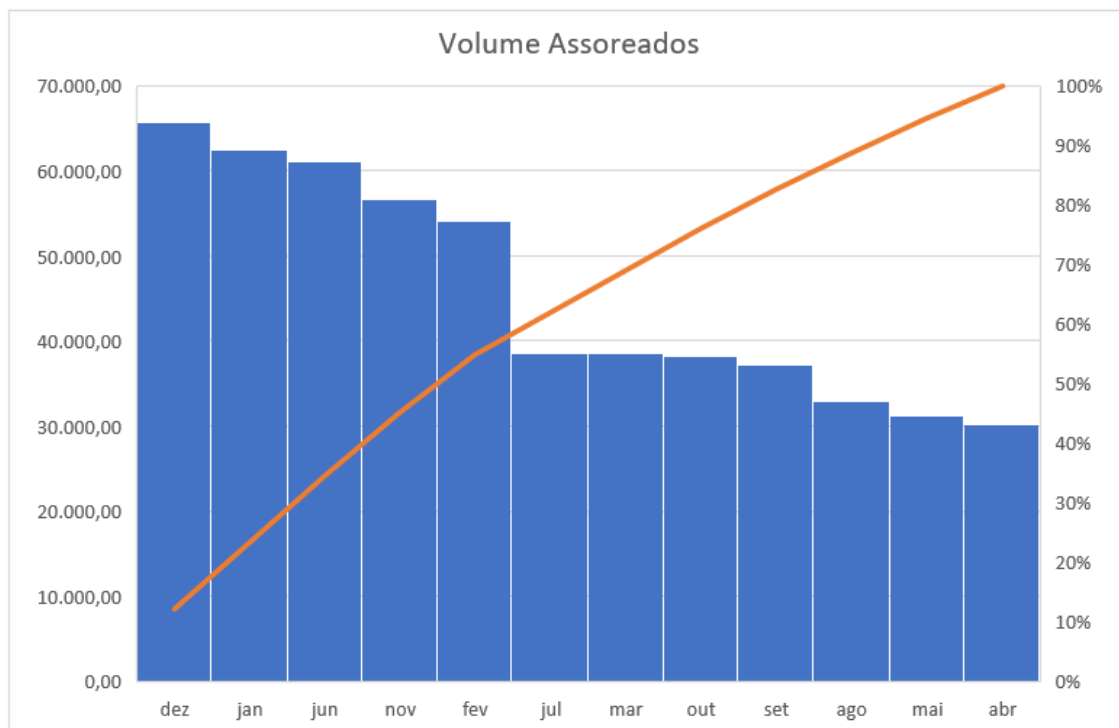


Figura 106 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes assoreados (m³) no Trecho 3 do canal de navegação.

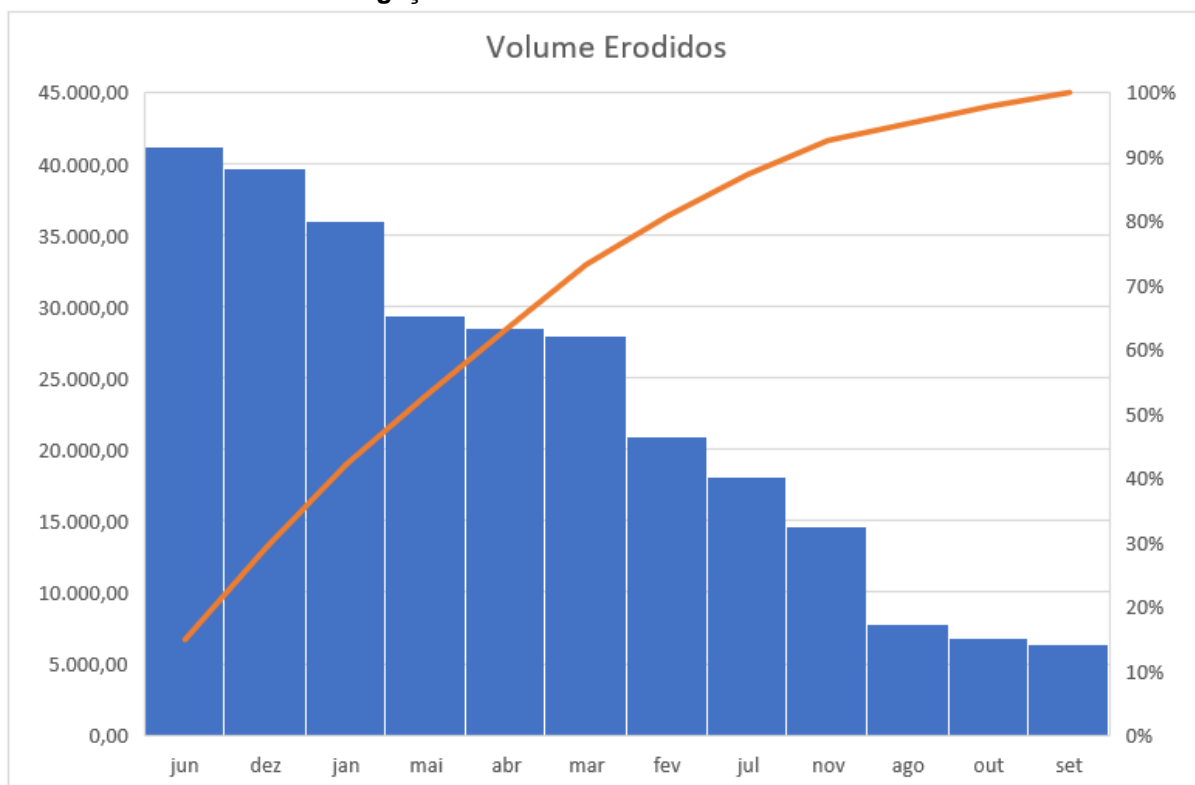


Figura 107 - Diagrama de Pareto para os valores médios mensais de volumes erodidos (m³) no Trecho 3 do canal de navegação.

Para fins comparativos, deve-se frisar que o diagrama de Pareto para pluviosidade local encontra-se na Figura 97.

A partir da análise do conjunto de gráficos acima apresentados, é possível efetuar as seguintes constatações:

- a. Há uma concentração clara de maiores valores relativos de volumes assoreados entre os meses de novembro e fevereiro, período que responde por aproximadamente 43,67% do volume total de assoreamento anual no Trecho 3, obtido a partir da somatória das médias mensais. A somatória das médias mensais de precipitação pluviométrica para este mesmo intervalo temporal é de 43,03%;
- b. O alto valor médio mensal de assoreamento obtido para o mês de junho, destoante dos meses vizinhos, com condições ambientais de contorno semelhantes, pode configurar um *outlier* e não ser representativo para o que é esperado para esta época do ano. O incremento de uma maior quantidade de dados para este mês na série histórica demonstra-se necessário para que se chegue a valores mais precisos;
- c. Não obstante, avaliando-se a tendência geral de variação dos dados de assoreamento, pode ser observada certa consonância com o pluviograma obtido a partir de dados históricos de chuva. A Figura 108 demonstra as linhas de tendência obtidas a partir da regressão polinomial dos dados mensais de assoreamento e de precipitação pluviométrica local, devendo-se atentar para a semelhança de comportamento das mesmas;
- d. De forma geral, diferentemente do observado para o Trecho 2, não foram encontradas, ao menos de forma mais explícita, possíveis evidências de uma eventual contribuição de aporte de sedimentos marinhos durante o período que abrange os meses mais energéticos do ponto de vista meteoceanográfico;
- e. Entre os meses de julho e novembro são observados menores valores mensais de volumes erodidos. Ressalta-se que os meses de julho, agosto e setembro possuem as menores médias mensais de precipitação pluviométrica de todo o período anual;
- f. Nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, em que pese o fato de serem observados valores de volumes assoreados relativamente não tão altos quanto os verificados nos períodos tipicamente mais chuvosos, o balanço sedimentar resultante é menos afetado pelos quantitativos erodidos.

Destarte, acabam por ser encontrados neste período volumes relativamente significativos de balanço sedimentar resultante, sendo que, à título de exemplo, o valor obtido para este respectivo parâmetro em outubro supera os calculados para os meses de janeiro e dezembro, em que foram verificados os volumes mais altos de assoreamento.

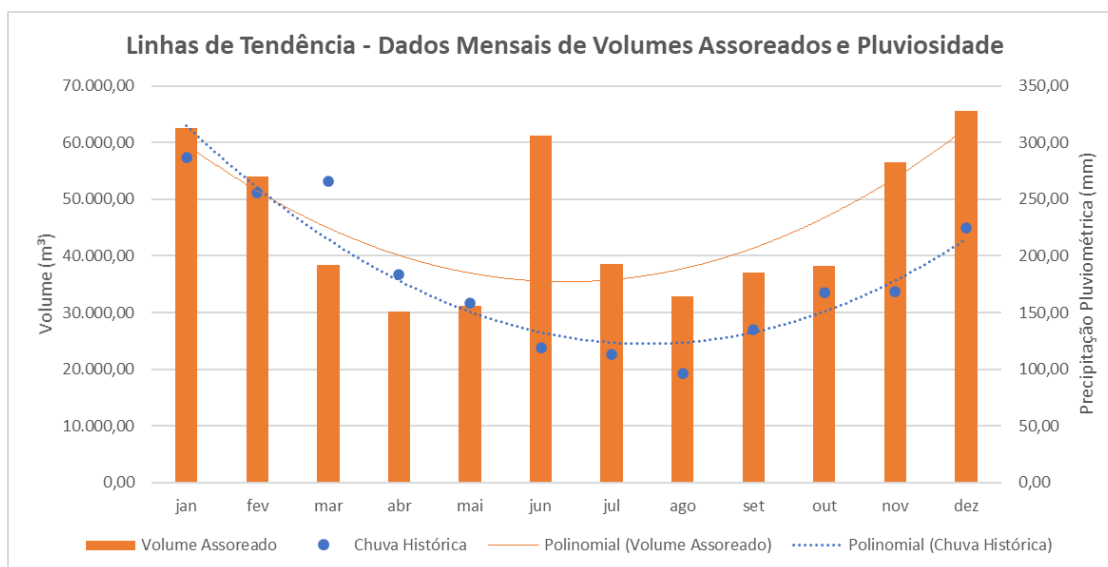


Figura 108 - Linhas de tendência polinomiais de 2ª ordem para valores médios mensais de volumes assoreados no Trecho 3 e precipitação pluviométrica local (1931 a 2021 - Estação DAEE E3-070).

Tendo em vista a aparente consonância das variações mensais de assoreamento e chuvas no Trecho 3, foi procedida com análise de correlação entre os respectivos parâmetros. Desconsiderando-se o provável *outlier* constatado para o mês de junho, o teste de Pearson aponta para uma correlação significativa positiva ($p=0,049$) entre os dados de assoreamento e precipitação pluviométrica.

Assim sendo, partindo-se da premissa de que o aporte de sedimentos de origem fluvial nesta região apresenta relação direta com a precipitação (ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017), os resultados obtidos para o Trecho 3 corroboram que a principal fonte do material assoreado neste setor é advinda das bacias hidrográficas contribuintes do estuário.

No entanto, assim como o observado para o Trecho 2, porém aparentemente em menor magnitude, condições mais energéticas de correntes, associadas às épocas do ano com maior pluviosidade (Speranzini, 2017), demonstram favorecer processos erosivos, mascarando os valores relativamente mais expressivos de

volumes assoreados constatados nestes períodos, e impactando negativamente volumes resultantes de balanço sedimentar. O oposto é observado em períodos mais secos.

A relação positiva entre as precipitações pluviométricas e as taxas de erosão é corroborada estatisticamente, sendo que, desconsiderando-se o provável *outlier* constatado para o mês de junho, o teste de Pearson aponta para uma correlação significativa positiva ($p=0,023$) entre os dois parâmetros (dados mensais de chuva histórica e volumes erodidos).

6.3.3 Trecho 4

O Trecho 4 configura-se na seção mais interna do canal de navegação, localizada na região dos largos, onde o transporte sedimentar não é condicionado pela ação de ondas. Assim como nos demais trechos estuarinos, os processos físicos dominantes são a oscilação de maré astronômica e a descarga dos rios (ARGONÁUTICA, 2013; FCTH, 2017).

De acordo com ARGONÁUTICA (2013), o Trecho 4 encontra-se no compartimento do canal controlado por um padrão dinâmico confinado pelas margens, em que o assoreamento é predominantemente siltoso e os processos hidrossedimentológicos são regulados prevalentemente pelas características planialtimétricas do canal, em sua maior extensão.

ARGONÁUTICA (2013) e FCTH (2017) indicam que os períodos críticos de assoreamento no Trecho 4 estão ligados aos períodos de maiores precipitações pluviométricas. Não obstante, em que pese a importância do aporte fluvial, Speranzini (2017) aponta para a possibilidade de sedimentos advindos de áreas marinhas, transportados estuário acima, configurarem importante fonte sedimentar para a respectiva seção.

De acordo com SONDOTÉCNICA (1977), os largos do Canéu e Santa Rita, os quais fazem divisa direta com o Trecho 4 do canal de navegação, perfazem locais de deposição com tendência progressiva de perda de profundidades. Neste mesmo estudo, é apontado que a suspensão constitui o modo dominante de transporte de sedimento no complexo estuarino, tendo em vista as pequenas dimensões e as propriedades coesivas dos grãos de silte, sendo que o transporte sólido por arrasto dos rios que descem a Serra do Mar fica retido nos limites mais a montante.

Neste contexto, o estudo de SONDOTÉCNICA (1977) assinala que apenas os sedimentos mais finos, transportados em suspensão, penetram no complexo estuarino por seus limites mais a montante. ARGONÁUTICA (2013) complementa que o sedimento introduzido no sistema pelos rios é parcialmente retido pelos manguezais, que ocupam grande parte do sistema, constituindo-se principalmente por quase toda a areia e o silte mais grosso.

Conforme Ponçano (1985), apesar de existir uma forte influência da maré dentro do estuário, o mesmo apresenta um padrão de baixa competência para transportar sedimentos ao longo do canal estuarino, fazendo com que as maiores concentrações de sedimentos sejam observadas no alto estuário. O autor ainda indica que uma grande quantidade de sedimentos finos é drenada do continente para o sistema estuarino, porém, nas dependências do canal do Porto de Santos, o processo de deposição devido à baixa intensidade de correntes é mais importante do que o relacionado à floculação dos materiais finos, sendo o padrão de circulação o fator determinante na dinâmica sedimentar nesta região.

No estudo elaborado por Ponçano (1985) ainda é apontado que na porção terminal do canal do porto são verificadas condições favoráveis à agregação de partículas em função do aumento local de concentração de sólidos em suspensão. No entanto, o trabalho de SONDOTÉCNICA (1977) traz a indicação que tais zonas de turbidez máximas não são verificadas ao menos até o término do canal de navegação do Porto Organizado de Santos, provavelmente se situando mais a montante da área de estudo, em concordância os padrões de penetração da cunha salina (FUNDESPA, 2013).

Assim sendo, SONDOTÉCNICA (1977) corrobora que a deposição de sedimentos na região dos largos do estuário (Bertioga, Santa Rita e Canéu) é comandada por razões geométricas, traduzidas na redução das velocidades das correntes e, conseqüentemente, das tensões tangenciais do fundo, e não por razões hidráulico-salinas, haja vista que os pontos de velocidade residual nula junto ao fundo não se encontram nesta zona, e sim muito mais a montante. Os autores concluem que o assoreamento ocorre preferencialmente na zona de largos, ou onde existam alargamentos da seção que produzam diminuições de correntes.

No Trecho 4 do canal de navegação é observado o segundo maior valor de acúmulo de sedimentos em um período anual, sendo que, de acordo com a melhor estimativa deste estudo, tal seção apresenta um volume resultante de balanço

sedimentar equivalente à 767.047,63 m³, respondendo por aproximadamente 21% do volume que remanesce depositado anualmente no canal de navegação.

Não obstante, é importante reforçar que o volume acima explicitado fora calculado, predominantemente, com base em batimetrias em que o Trecho 4 se demonstrava com profundidades aquém da de projeto, principalmente nas regiões a montante do cais da BTP, onde o calado operacional praticado (12,70 m na baixa-mar) é menor do que o adotado para o restante do canal (13,50 m na baixa-mar) (SPA, 2021c).

Em que pese o fato de, ao menos para a série histórica considerada neste estudo, a dragagem integral do Trecho 4 para a profundidade de projeto para 15,00 m não ter se mostrado uma realidade, possivelmente em função das diferenças de calados operacionais praticados nesta área, é esperado que o volume supracitado tenha tendência de ser maior partindo-se de um cenário onde a cota de projeto seja atingida em sua plenitude.

Os resultados obtidos por FCTH (2017) em estudo baseado em simulações matemáticas indica que a estimativa anual de depósito sedimentar no Trecho 4, considerando o gabarito de 15m,00 DHN, seria de 1.068.000,00 m³. Não obstante, em termos práticos, entende-se que a estimativa apresentada no presente estudo seja mais aderente à realidade operacional praticada entre 2012 e 2017.

Os campos hidrodinâmicos apresentados na Figura 81 demonstram velocidades mais intensas de correntes nas áreas do Trecho 4 compreendidas localmente nas adjacências da Ilha Barnabé, bem como, aproximadamente entre o cais da BTP e o segundo berço do cais do Saboó (na direção de jusante).

A distribuição dos valores mais expressivos de tensão de cisalhamento junto ao fundo elucidada na Figura 83, de forma geral, acompanha os locais em que se verificam maiores velocidades de fluxo, onde é esperada maior competência hidrodinâmica para o transporte sedimentos. Outrossim, deve-se atentar para a constatação de maiores valores deste último parâmetro na porção do canal ao lado da Ilha dos Bagres, na seção curvada adjacente ao lado côncavo da margem.

Conforme elucidado na Figura 50 à Figura 65, os resultados obtidos neste estudo demonstram uma área onde as perdas de profundidade ao longo os períodos analisados foram mais acentuadas, localizada na porção mais a montante do Trecho 4, nas adjacências do Largo Canéu. As maiores variações positivas são encontradas nas proximidades do talude que margeia o segmento superior da calha, sendo que as

magnitudes das alterações tendem a diminuir em direção ao lado oposto do canal, o que pode indicar a existência de transporte transversal de sedimentos.

Por outro lado, foram observadas algumas áreas relativamente bem definidas com predominância de tendências erosivas ao longo do período de análise, localizadas ao largo do cais da BTP e do cais da Ilha Barnabé. Notadamente para esta última área, que se estende entre uma distância de aproximada de 4.000,00 a 4.850,00 m da seção final do Trecho 4, as variações negativas foram verificadas de forma constante quase que em todos os períodos analisados.

Foi possível constatar nas análises procedidas para períodos compreendidos após implantação do cais da BTP uma união longitudinal dessas duas áreas erosivas supracitadas por meio de uma faixa tênue de variações negativas, que acompanha de forma muito próxima o eixo central do canal de navegação.

A fim de melhor elucidar a delimitação das áreas com tendências deposicionais e erosivas do Trecho 4, são apresentados na Figura 109 e na Figura 110 os mapas batimétricos obtidos a partir das subtrações de levantamentos hidrográficos realizados em 17/09/2012 e 27/08/2013 (intervalo de 344 dias), e em 11/10/2015 e 16/06/2016 (intervalo de 249 dias), respectivamente. Os volumes calculados de assoreamento, erosão e balanço sedimentar resultante para este primeiro período foram de 922.694,78 m³, 29.447,33 m³ e +893.247,45 m³, enquanto que no segundo foram de 385.507,07 m³, 32.310,07 m³ e +353.193,97 m³, nesta ordem.

As figuras supracitadas reforçam a existência de uma zona com maior estabilidade (variações batimétricas de pequena magnitude) e/ou com maior tendência erosiva nas adjacências do cais público da Ilha Barnabé. Dado o estrangulamento do canal especificamente nesta região, ocasionada pelo avanço do cais da Valongo em direção deste último, é possível fazer a inferência de que, em função do confinamento localizado de fluxo, são geradas maiores velocidades de correntes ao largo com maior competência para o transporte de sedimentos, que atuam em desfavor de processos deposicionais. Os comportamentos dos campos hidrodinâmicos e os valores máximos de tensão de cisalhamento junto ao fundo nesta área, apresentados na Figura 81 e Figura 83, respectivamente, são congruentes com tal asserção.

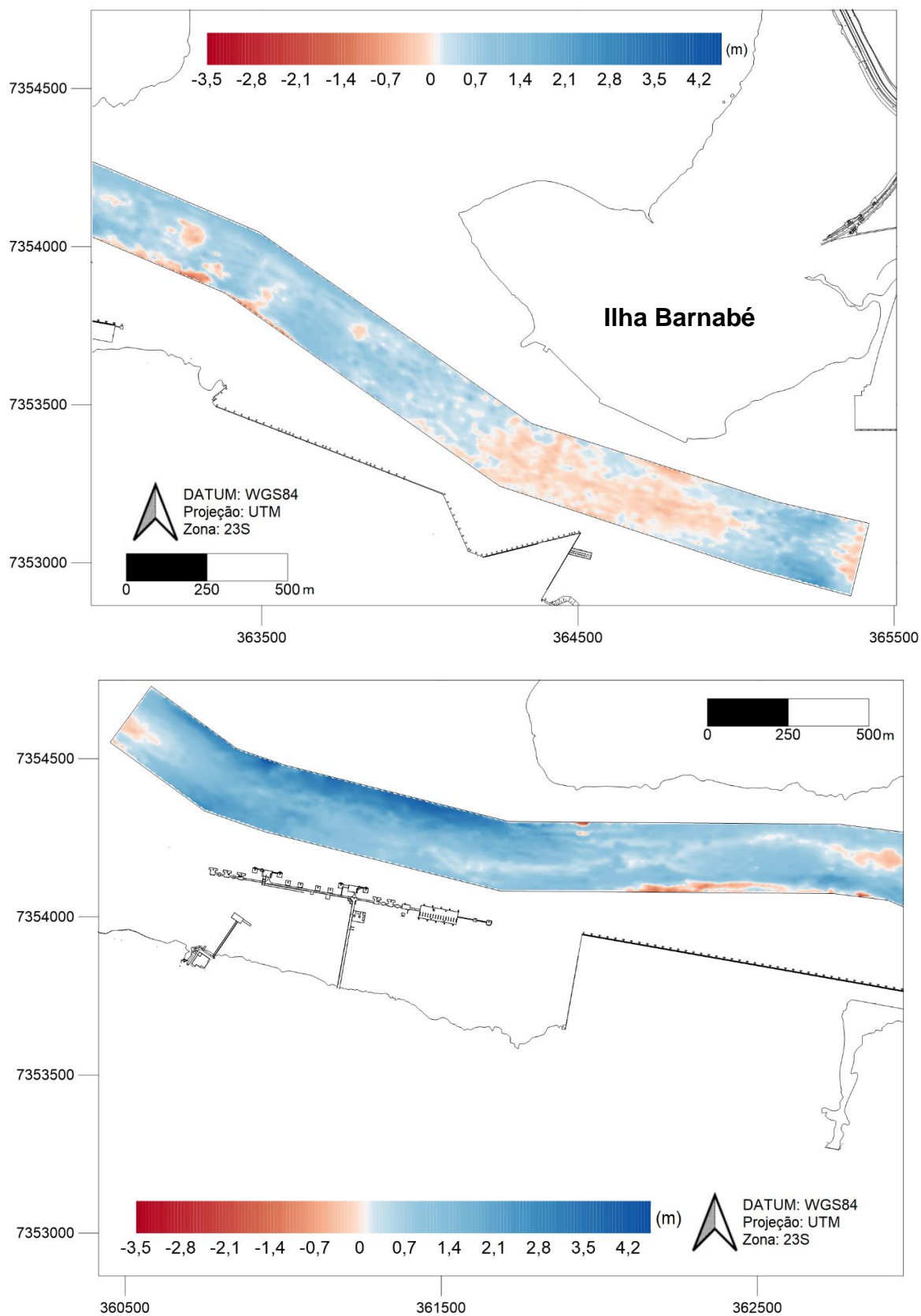


Figura 109 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 17/09/2012 e 27/08/2013 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

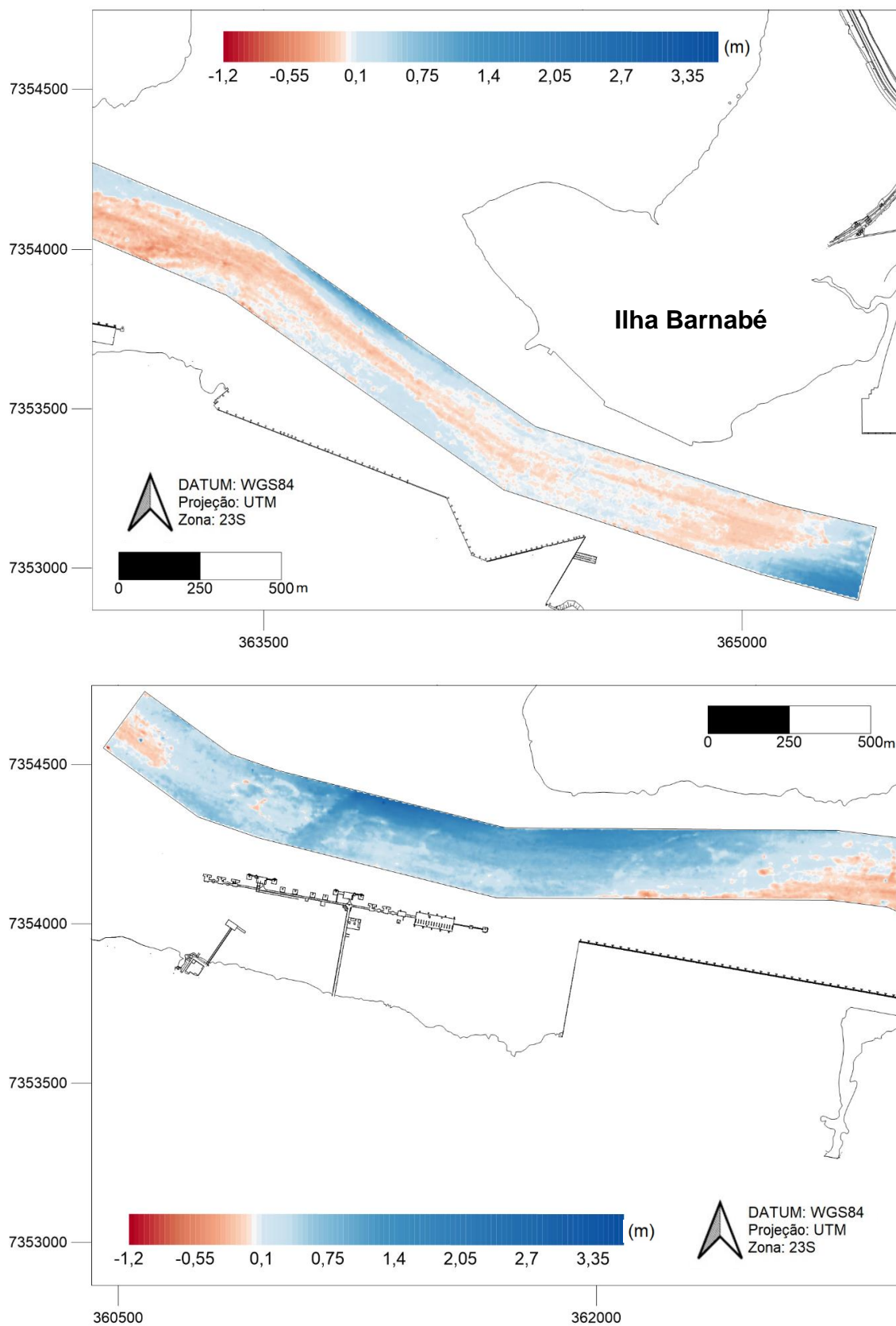


Figura 110 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 11/10/2015 e 16/06/2016 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

Avaliando-se o mapa batimétrico contido na Figura 109, acredita-se que as pequenas áreas erodidas situadas exatamente nos limites das zonas de acesso aos berços da BTP (Figura 111) estejam relacionadas às atividades de dragagem executadas dentro do respectivo período de análise (17/09/2012 a 27/08/2013) para a implantação da infraestrutura aquaviária do terminal (CODESP, 2014a; 2014b). Destarte, entende-se que tais áreas erosivas não estejam associadas à ação de forçantes ambientais, mas sim antrópicas, devendo ser desconsideradas para fins de entendimento de processos naturais.

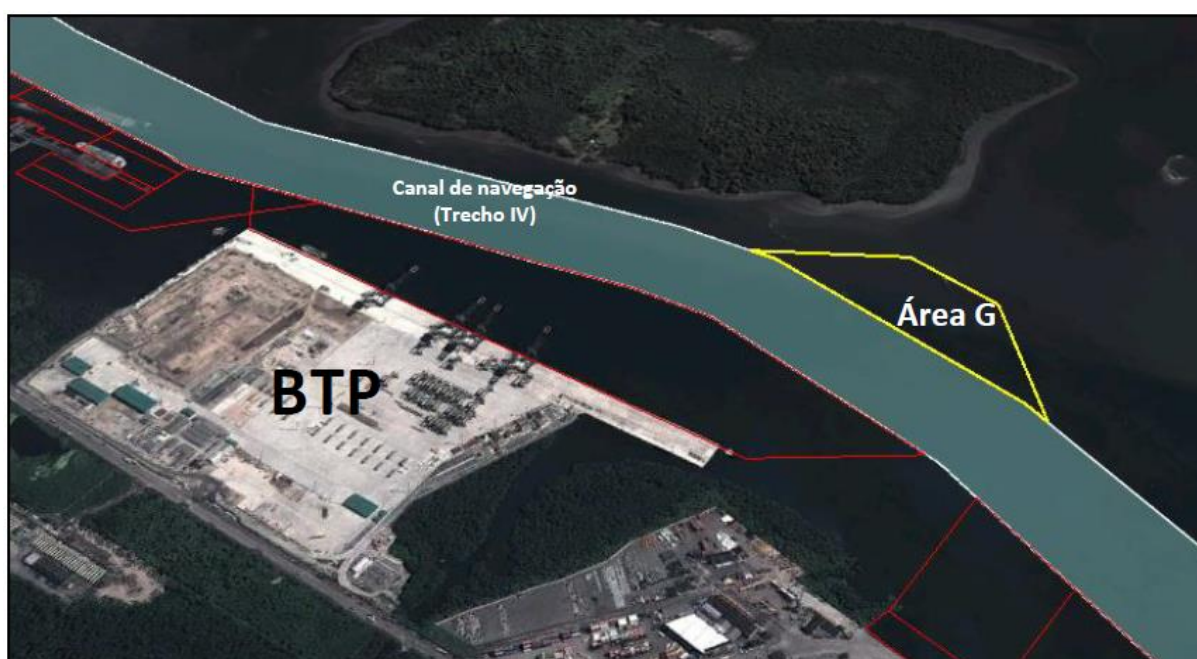


Figura 111 - Infraestrutura aquaviária nas adjacências do terminal da BTP. Fonte: CODESP, 2014b.

É importante ressaltar que a obra de implantação dos berços e acessos do terminal da BTP foi considerada como encerrada em 12/10/2013, enquanto que a bacia de evolução ao largo, à época denominada de “Área G”, teve sua implantação finalizada em 12/12/2013 (CODESP, 2014b).

Ainda com relação ao demonstrado na Figura 109, algumas pequenas áreas erosivas ou ainda mais estáveis situadas na porção central-superior do canal, cujas delineações podem ser mais bem observadas na Figura 50, podem estar associadas a maiores velocidades de correntes atuantes nesta região durante o período.

No que tange ainda à avaliação da dinâmica erosiva, e ainda considerando que os dois períodos envolvidos possuem alta abrangência, observa-se que uma clara

diferença no padrão de distribuição dos pontos com variações negativas no mapa contido na Figura 110 em comparação ao contido na Figura 109. Chamam atenção as feições erosivas lineares acompanhando de forma circunscrita o eixo do canal, entre a BTP e as proximidades da Ilha Barnabé, podendo-se inclusive, em primeiro momento, pressupor a ocorrência de intervenções de dragagem dentro do intervalo temporal considerado (11/10/2015 e 16/06/2016). No entanto, os relatórios de acompanhamento da dragagem expedidos pela Autoridade Portuária confirmam que o Trecho 4 não foi dragado no período (CODESP, 2016; 2017), não sendo apontada a existência de volumes removidos entre 03/10/2015 até 30/06/2016.

Outra diferença marcante entre os dois mapas é a expansão da área erosiva na região do canal de navegação ao largo da BTP (principalmente no lado interno da curva), com tendência de afunilamento para leste em direção ao eixo central do canal. À luz dos preceitos técnicos considerados até então neste trabalho que relacionam positivamente a intensidade de fluxo com o grau de confinamento da seção, tendo em vista que, com a implantação da infraestrutura aquaviária da BTP (berços e acessos), houve o alargamento desta seção em específico do canal do Porto, não é esperado que tenham surgido condições para o favorecimento da amplificação dos processos erosivos nesta região.

Em análise ao mapa contido na Figura 64, representativo para as diferenças batimétricas entre 12/08/2017 e 24/11/2017, período em que também há a confirmação de que não houve operações de dragagem no Trecho 4 (CODESP, 2018), verifica-se o mesmo padrão de distribuição desta área erosiva em questão, cuja visão aproximada é demonstrada na Figura 112. Destarte, constata-se que a distribuição nos pontos assoreados e erosivos em questão não é exclusiva para o período de 11/10/2015 e 16/06/2016.

Assim sendo, dadas as características das feições erosivas supracitadas, e ainda considerando que os dados demonstram seu aparecimento para períodos posteriores à implantação efetiva do terminal da BTP (final de 2013), o presente estudo entende ser pertinente que seja levada em conta a possibilidade de que as mesmas não estejam relacionadas a processos naturais, mas sim antrópicos.

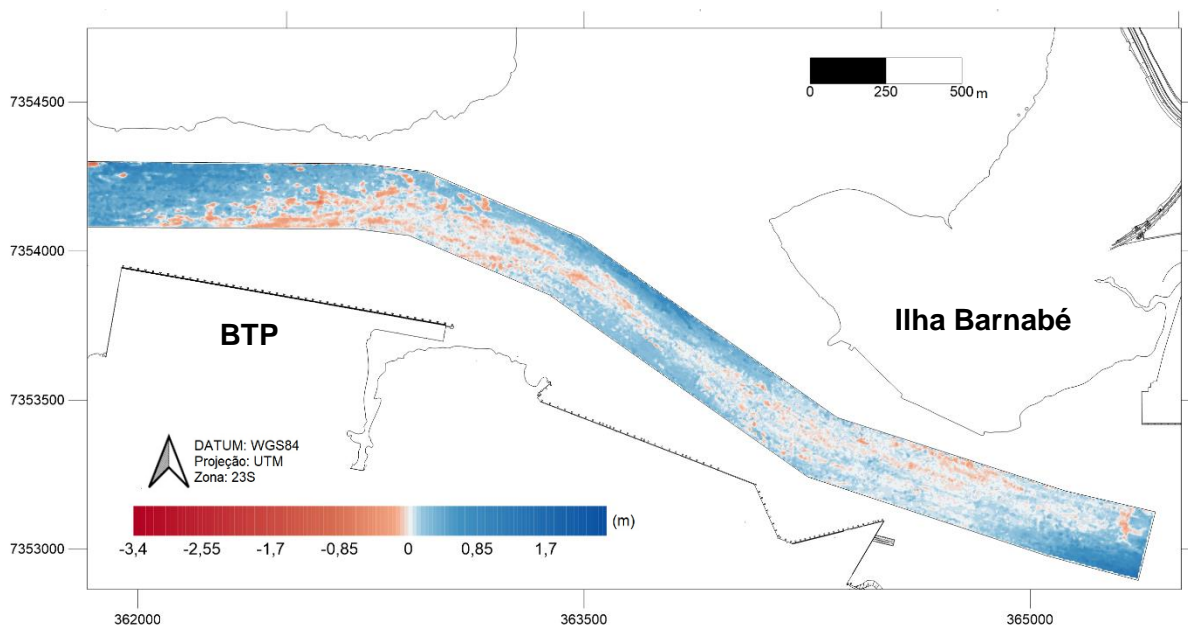


Figura 112 - Mapa batimétrico correspondente à subtração entre as superfícies geradas a partir dos levantamentos de 12/08/2017 e 24/11/2017 do Trecho 4 do canal de navegação. As cores frias representam, em escala métrica, as áreas que sofreram balanço sedimentar positivo ao longo do período e as cores quentes as que sofreram balanço sedimentar negativo.

Os berços da BTP, localizados no Trecho 4, estão entre os mais movimentados de todo o Porto Organizado de Santos, sendo que, entre 21/10/2018 e 20/10/2019, os berços BTP 01, 02 e 03 tiveram, respectivamente, 468, 536 e 460 movimentos (atracação e desatracação) de navios, incorrendo em taxas de 39, 45 e 38 movimentos/mês (TETRA TECH, 2019). Somado a isso, é importante frisar o fato de que o terminal recebe também os navios de maiores dimensões que fazem o uso do complexo portuário santista, possuindo os respectivos berços um calado operacional de 14,20 m na baixa-mar (SPA, 2021c).

Em trabalho desenvolvido por Clarke et al. (2015), tendo como área de estudo o canal de Newark Bay (EUA), foram constatadas evidências de que navios de maior calado representam uma fonte significativa de ressuspensão de sedimentos, sendo que as plumas geradas persistem por períodos relativamente longos na coluna da água, inclusive não se dissipando completamente entre a passagem de navios. Ressalta-se que os levantamentos feitos no referido estudo se relacionam com tipos de navios e dimensões de canal de navegação com características compatíveis com as do Porto Organizado de Santos.

Em estudo desenvolvido por TETRA TECH (2019) para acompanhar a variação da turbidez e dos níveis de sólidos suspensos totais durante um movimento

de desatracação de um navio com 13,20 m de calado no Armazém 38 do Porto Organizado de Santos, foi verificado que os efeitos de ressuspensão gerados podem se equiparar com os detectados em processos de dragagem continuada.

A Figura 113 contempla imagem de satélite por meio da qual é possível observar a pluma de dispersão gerada em um movimento de desatracação de navio em berço de terminal do Porto de Santos.

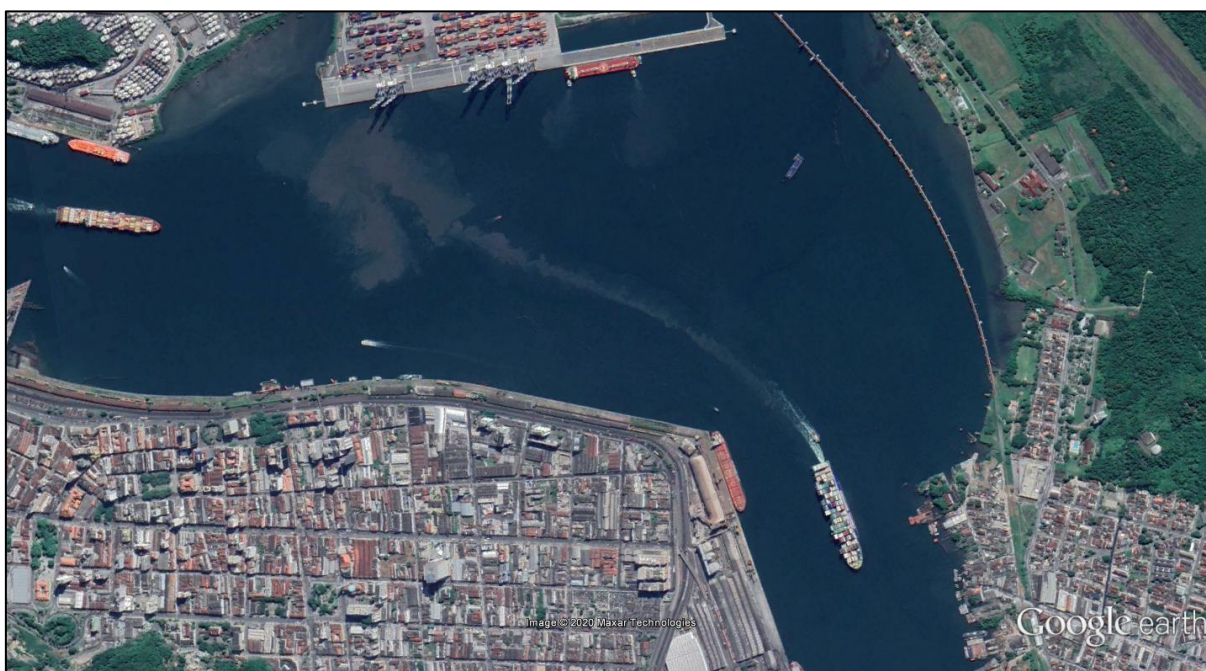


Figura 113 - Pluma de dispersão gerada em um movimento de desatracação de navio em berço de terminal do Porto de Santos. Fonte: Google Earth.

Minnee et al. (2015) desenvolveram trabalho para avaliar as possibilidades de aperfeiçoamento das condições de acesso do Rio da Prata (Argentina) através do Canal de Magdalena. Em meio às análises e levantamentos efetuados, foi constatada a possibilidade de que os montantes a serem dragados nas obras de manutenção estariam sendo constatados abaixo do previsto em função do efeito de auto-dragagem ocasionado por navios, já explicitado anteriormente durante a discussão dos resultados do Trecho 1. De acordo com o estudo, os sedimentos ressuspensos pela circulação induzida pelo movimento das hélices dos navios poderiam estar sendo transportados para fora do canal por ação das correntes atuantes da região.

Dentre todas as seções do canal, o Trecho 4 é a que apresenta as menores profundidades naturais recorrentes, conforme demonstrado na Figura 114, sendo que tal cenário possivelmente está associado às menores velocidades de corrente

verificadas de forma geral nesta área, cujo fundo é constituído predominantemente por sedimentos finos. A própria zona com tendência erosiva entre o as regiões do Saboó/Valongo e a Ilha Barnabé não apresenta profundidades tão expressivas quanto às observadas nos demais locais dos trechos internos onde há intensificação de fluxo.

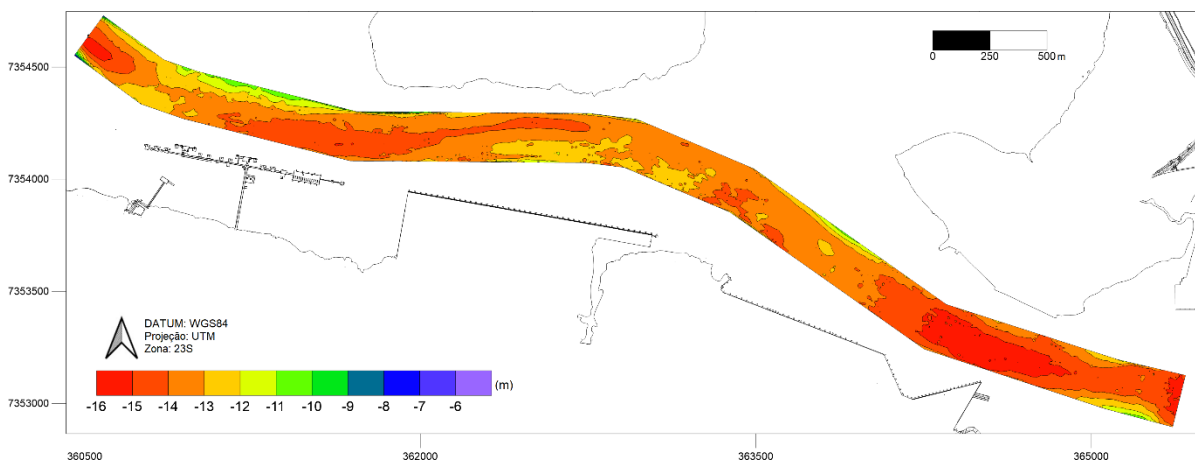


Figura 114 - Variação das profundidades (m) no Trecho 4 em 27/08/2013.

Deve-se ressaltar que o mapa batimétrico apresentado acima, gerado a partir de levantamento batimétrico datado de 27/08/2013, elucida a situação do trecho mais interno do canal de navegação após um período de 344 dias sem dragagem.

Considerando o cenário acima exposto, entende-se como pertinente a possibilidade de que o Trecho 4 tenha passado a sentir efeitos de fenômenos de auto-dragagem em função dos navios de maiores calados que passaram a acessar pela área após o final do ano de 2013, não sendo possível, porém, somente com o conjunto de dados disponíveis no presente estudo mensurar de forma efetiva a influência desse processo em termos quantitativos. Não obstante, deve-se ressaltar que os valores totais anuais dos processos sedimentares aqui calculadas não restam prejudicados, haja vista que as perdas foram absorvidas na série de análises efetuadas.

No tocante aos padrões de distribuição dos pontos de assoreamento, cabe frisar que, eliminando-se as zonas com tendência erosivas supracitadas e ainda uma pequena área situada na porção final do canal com variações negativas, provavelmente associada à curva de ligação afunilada com o Canal de Piaçaguera, o restante das localidades do Trecho 4 demonstra possuir caráter deposicional.

Nas seções adjacentes aos largos, é marcante a assimetria transversal das variações positivas com tendências de elevações mais expressivas em direção da

margem superior. A Figura 115 e a Figura 116 elucidam de forma bem clara as características das áreas deposicionais com variações positivas mais expressivas (acima de 0,50 m) verificadas entre 11/10/2015 e 16/06/2016. Além dos mapas batimétricos, é explicitada a representação vetorial da direção das isóbatas, bem como as variações das elevações em determinadas seções transversais.

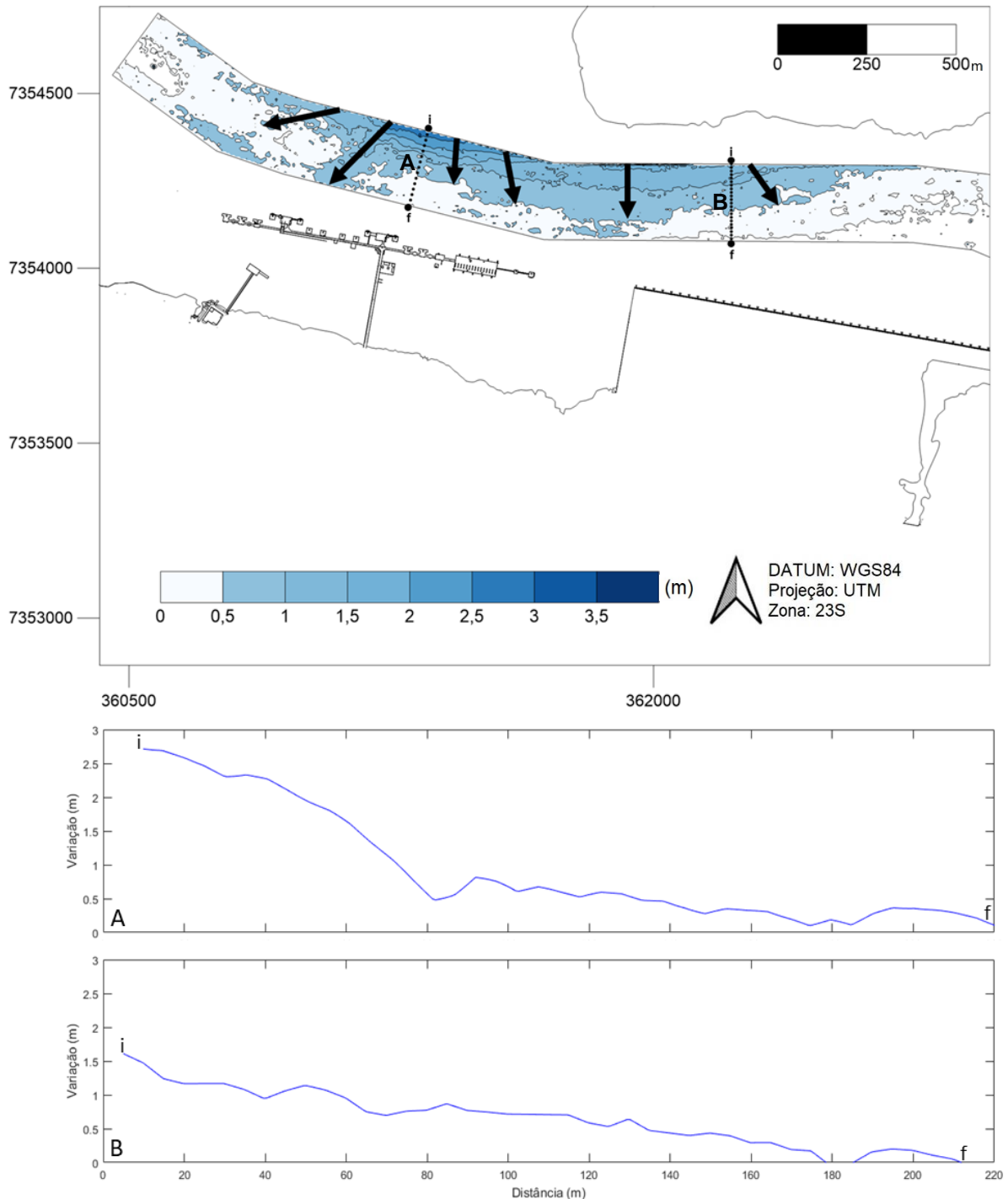


Figura 115 - Características das variações positivas mais expressivas (0,50 m) no Trecho 4 entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (porção oeste).

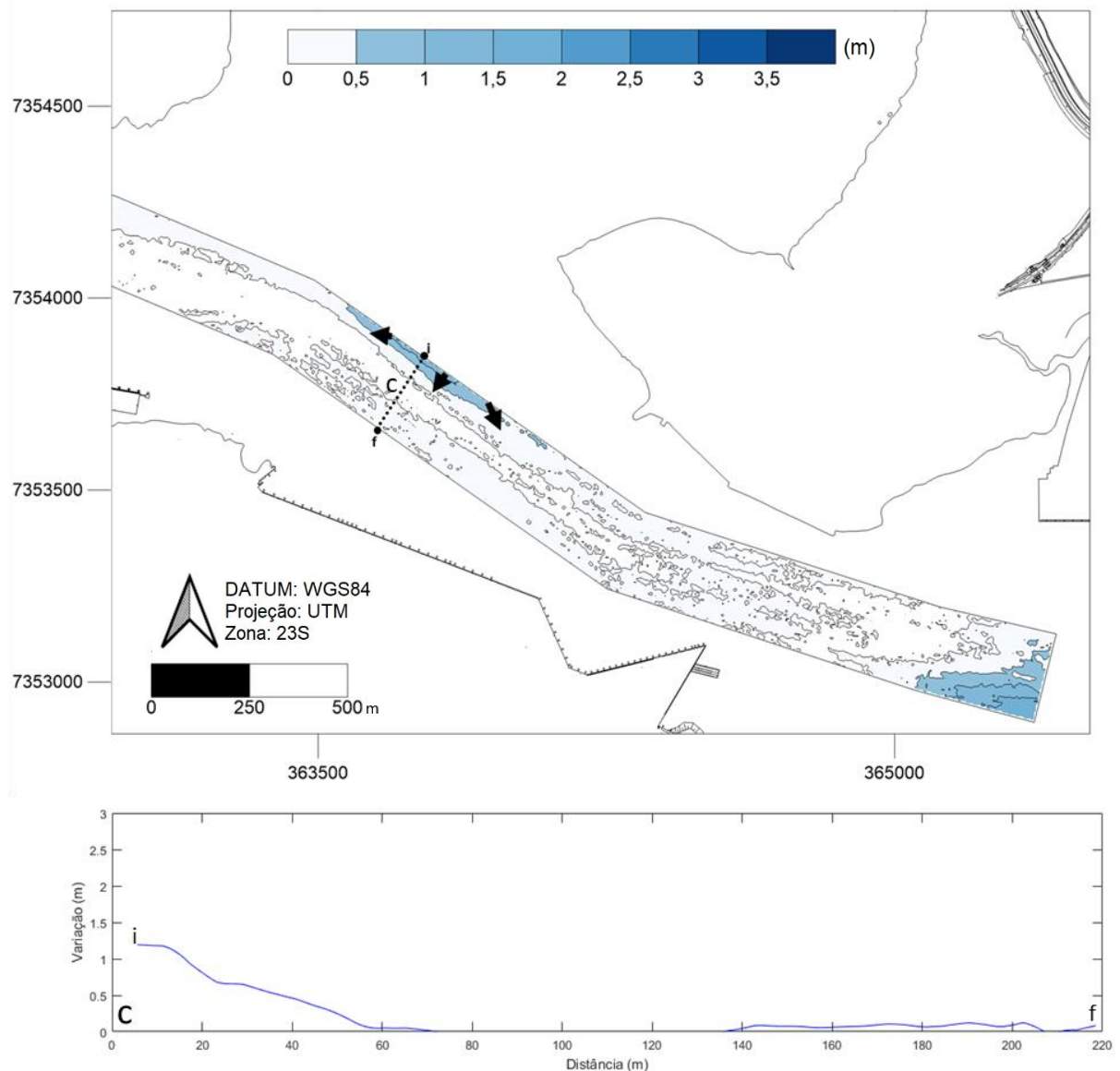


Figura 116 - Características das variações positivas mais expressivas (0,50 m) no Trecho 4 entre 11/10/2015 e 16/06/2016 (porção leste).

Em que pese a predominância de processos deposicionais na maior parte do Trecho 4 do canal navegação, as figuras acima tornam nítido que os maiores acúmulos de sedimentos estão estritamente localizados nas adjacências das regiões dos largos, principalmente na zona limítrofe do Largo de Canéu, onde são observadas as variações positivas de maior magnitude.

Outro indicativo que reforça a constatação supracitada é a inexistência de faixas deposicionais nos limites da margem superior especificamente nas proximidades da bacia de evolução de frente à BTP (“Área G”), a qual aparenta exercer um papel de armadilha.

O padrão morfológico das feições deposicionais adjacentes aos largos e as respectivas seções apontam para a possível existência de um transporte transversal de sedimentos advindos destes primeiros em direção ao canal de navegação, incorrendo em relevantes perdas de profundidades de forma progradante.

É importante notar na Figura 73 e Figura 74 os altos teores das frações siltsosas de sedimento nas partes finais do Trecho 4, em proporções que destoam de outros pontos do canal de navegação.

Destarte, em meio a aparentes condições de circulação de baixa energia que se demonstram favoráveis para os processos deposicionais, depreende-se que os pontos de assoreamento mais intenso do Trecho 4 do canal de navegação estejam associados a um possível transporte transversal de sedimentos de origem fluvial advindos das regiões dos largos, principalmente do Largo do Canéu.

Deve-se frisar que a área que, igualmente, apresenta tendências de variações positivas de profundidade no início do Trecho 4 trata da continuidade de área com características análogas localizada no final do Trecho 3, cujas forçantes associadas já foram discutidas mais acima neste estudo.

Com relação à sazonalidade do aporte sedimentar no Trecho 4 do canal de navegação, considerando que os resultados indicam a possibilidade da ocorrência de efeitos erosivos de natureza continuada por forçantes antrópicas, e ainda a implantação de grandes empreendimentos de infraestrutura aquaviária com alto potencial de afetar a hidrodinâmica local durante o período de referência da série histórica levada em consideração neste estudo, entende-se que resta tecnicamente prejudicada qualquer análise a ser empreendida neste sentido.

Não obstante, reforça-se que as demais vertentes de avaliação efetuadas com relação ao trecho mais interno do canal guardam respaldo técnico, inclusive com relação às estimativas de volumes anuais, as quais foram corroboradas pela bibliografia e dados operacionais, sendo que eventuais perdas quantitativas associadas aos processos antrópicos supracitados foram absorvidas pela longa série histórica de dados, cujas médias totais refletem as variações reais observadas.

Assim sendo, por prudência, recomenda-se cautela e discernimento para eventual aplicação prática dos resultados contidos nos Itens 5.4.3.2 e 5.4.3.3 do presente estudo, não sendo recomendado que os mesmos sejam utilizados para planejamento de operações de dragagem. Faz-se necessária a construção e análise de um maior banco de dados com informações mais recentes, que melhor reflitam os

processos sedimentares hoje atuantes no Trecho 4, para que se alcancem dados com maior grau de confiança.

Feitas as ressalvas acima, existindo indicativos de que os pontos críticos de assoreamento no Trecho 4 estão relacionados com aporte de sedimentos fluviais oriundos das regiões dos largos, faz-se possível efetuar a asserção de que as maiores taxas de assoreamento ocorram nos períodos com maiores precipitações pluviométricas, em concordância com o assinalado por ARGONÁUTICA (2013) e FCTH (2017). Ainda, tendo em vista que este trecho mais interno, em comparação aos demais, está menos propenso a maiores velocidades de correntes quase que em toda a sua extensão, que, por sua vez, é marcada por expressivas seções transversais, é esperada uma relação mais positiva entre o balanço sedimentar e as taxas de pluviosidade.

Neste contexto, chama-se atenção para o gráfico contido na Figura 49, que apresenta a evolução das magnitudes das variações batimétricas nos pontos nos pontos assoreados do Trecho 4 do canal de navegação entre 17/09/2012 e 27/08/2013. As informações apresentadas refletem a nítida tendência de predomínio dos processos de assoreamento, envolvendo o aumento progressivo das espessuras das camadas sedimentares depositadas sobre a seção.

Em complemento, os dados intercorrentes apresentados na Tabela 37 mostram a existência no Trecho 4 de variações batimétricas significantes do ponto de vista operacional em períodos curtos, notadamente mesmo em escala mensal. Ressalta-se a ocorrência de elevações maiores que 1,00 m até 1,50 m para todos os períodos intermediários levados em consideração na análise da série quase que anual, fato que denota a importância da atuação dos processos de assoreamento na respectiva área e da necessidade de monitoramento de suas profundidades, independente da época do ano.

Diante de todo o exposto, é possível chegar ao entendimento de que a dinâmica sedimentar nas dependências do Trecho 4 está, de forma geral, associada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo, bem como pelo transporte transversal de carga de origem fluvial advinda das regiões mais rasas ao largo, sendo este último processo o principal responsável pelos níveis mais críticos de assoreamento. Em termos erosivos, além da ação das correntes mais intensas, bem demarcada na região compreendida entre a Ilha Barnabé e o Valongo/Saboó, existem indícios de que o trecho mais interno do canal de navegação

vem sofrendo de efeitos de auto-dragagem, ocasionados pela circulação de navios de grande porte na região.

Em derradeiro, julga-se pertinente chamar a atenção para possíveis impactos no balanço sedimentar do Trecho 4 que poderão vir a ser ocasionados em decorrência da implantação da infraestrutura aquaviária do Terminal de Regaseificação de GNL de São Paulo (TRSP). Tal empreendimento se encontra localizado no Largo do Canéu, o qual acredita-se ser umas das principais fontes de aporte sedimentar para a seção mais interna do canal de navegação, de forma que os berços e acessos do terminal poderão desempenhar uma função de armadilha de sedimentos, assim como aparentemente é verificado para os acessos da EMBRAPORT e para a bacia de evolução ao largo da BTP.

Destarte, o presente estudo, no que concerne ao Trecho 4, traz a recomendação de que seja procedida uma reavaliação das estimativas do balanço sedimentar desta seção considerando a presença da infraestrutura supracitada, sendo esperada uma redução do acúmulo de sedimentos na calha das porções finais do canal de navegação, região esta que, ao menos até o ano de 2017, abrangeu pontos críticos de assoreamento.

7. CONCLUSÕES

O trabalho realizado conduziu às seguintes conclusões:

- A melhor estimativa considerada neste estudo para o volume resultante do balanço sedimentar anual do canal de navegação do Porto Organizado de Santos, considerando sua conformação morfológica alcançada em 2012, é de, aproximadamente, 3.714.187,00 m³, dos quais 58% (2.172.322,70 m³) são acumulados no Trecho 1, 11% (406.159,06 m³) no Trecho 2, 10% (368.657,61 m³) no Trecho 3 e 21% (767.047,63 m³) no Trecho 4.
- As taxas médias diárias resultantes do balanço sedimentar obtidas a partir de toda a série histórica de dados foram de, aproximadamente, 5.951,57 m³/dia para o Trecho 1, 1.112,16 m³/dia para o Trecho 2, 1.010,02 m³/dia para o Trecho 3 e 2.101,50 m³/dia para o Trecho 4. A somatória desses valores é equivalente a 10.175,85 m³/dia, a qual representa a taxa média diária resultante do balanço sedimentar do canal de navegação em termos totais.
- As ordens de grandeza e a distribuição dos volumes anuais resultantes do balanço sedimentar do canal de navegação estimadas no presente estudo demonstraram uma boa aderência com informações disponíveis na bibliografia especializada e aos próprios dados relativos ao esforço de dragagem.
- Entre os meses de maio e outubro, foi observado um período mais crítico de acúmulo sedimentar no canal de navegação, acompanhando os maiores valores resultantes do balanço sedimentar estimados para o Trecho 1 para este mesmo intervalo temporal, que abrange prevalentemente os meses de inverno.
- A somatória dos volumes resultantes do balanço sedimentar do Trecho 1 verificados para os meses de maio a outubro representa quase 70% do quantitativo total acumulado nesta seção ao longo de um ano, sendo que o aporte de sedimentos no canal externo aparenta estar diretamente relacionado à ocorrência de eventos meteoceanográficos de maior energia associados à passagem de frentes frias, com sedimentação predominantemente de origem de marinha.
- O aumento da ocorrência de maiores alturas significativas de ondas na Baía de Santos, associadas a uma maior incidência de ondas provenientes de Sul, demonstra incorrer em um acúmulo sedimentar mais expressivo no Trecho 1

do canal de navegação, reforçando o entendimento de que o assoreamento e, conseqüentemente, as maiores perdas de profundidade nesta área estão relacionadas à intensificação da ação conjunta de ondas e correntes, que se tornam mais competentes para o transporte de sedimentos em eventos de alta energia.

- Em que pese a predominância de processos deposicionais no Trecho 1 do canal de navegação, foi observada a presença constante de uma zona que se estende, aproximadamente, entre a curva externa e o final da respectiva seção, onde prevalecem variações batimétricas negativas (erosão) e/ou situações de maior estabilidade em termos de sedimentação. Nesta região são verificadas profundidades naturalmente maiores.
- A dinâmica sedimentar do Trecho 1, em sua porção mais retilínea e externa, livre do confinamento por margens, demonstra ser controlada pela intensidade da ação conjunta de ondas e correntes, que varia principalmente em função da ocorrência de passagem de sistemas frontais. Já na porção mais interna do respectivo trecho, situada nas proximidades da entrada do estuário, em região já sob os efeitos do confinamento, a dinâmica sedimentar aparenta ser controlada pela influência da geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo hidrodinâmico, devendo ser também considerados os efeitos decorrentes do meandramento do sistema.
- Assim como como pode ser observado para a porção mais interna do Trecho 1, a dinâmica sedimentar do Trecho 2 parece estar diretamente relacionada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo hidrodinâmico, sendo que, ao que tudo indica, o grau de confinamento de uma seção do canal pode favorecer ou não a ocorrência de deposição de sedimentos na mesma. Ainda, deve-se frisar que a distribuição espacial das prováveis áreas de assoreamento ou erosão demonstra ser afetada pelos efeitos de meandramento do sistema.
- A existência de uma área com tendências deposicionais na parte mais central do Trecho 2 provavelmente está relacionada com o alargamento do canal de navegação devido à presença das bacias de evolução, sendo esperada nestas localidades uma diminuição das velocidades das correntes. De modo oposto, o maior confinamento observado nas porções inicial e final do trecho favorece o

aumento da intensidade do fluxo e, conseqüentemente, a ocorrência de processos erosivos e maiores profundidades naturais.

- O Trecho 2 aparenta receber um aporte híbrido de sedimentos fluviais e marinhos, cuja representatividade em termos de deposição pode variar de acordo com a época do ano.
- Altas taxas pluviométricas e, conseqüentemente, maiores descargas de água doce dos contribuintes no estuário podem não estar relacionadas, necessariamente, a um maior aporte de sedimentos fluviais no Trecho 2. Nestas condições, infere-se existir uma intensificação do fluxo hidrodinâmico, principalmente nas proximidades da primeira curva interna, que, a partir de um determinado limiar, pode favorecer que o ambiente passe a ter condições erosivas e não deposicionais. Ou seja, ainda que seja esperado um maior aporte de sedimentos fluviais em épocas de maior pluviosidade, dependendo da grandeza da descarga líquida associada, podem não existir condições propícias para a deposição dos mesmos devido à alta energia de correntes no Trecho 2.
- Diante dos resultados apresentados no presente estudo, foi possível efetuar a asserção de que, aproximadamente, entre dezembro e março, o aumento da intensidade do fluxo relacionado ao período mais chuvoso pode incorrer em balanços sedimentares negativos no Trecho 2, onde a taxa de erosão da respectiva área é maior do que a taxa assoreamento.
- Maiores taxas de assoreamento nos meses mais energéticos em níveis meteoceanográficos, principalmente no inverno, em que há uma maior ocorrência da passagem de frentes frias, aparentam estar relacionadas com um maior aporte de sedimentos marinhos no Trecho 2, advindos da Baía de Santos, transportados estuário acima. Volumes relativamente mais altos de assoreamento e balanço sedimentar resultante em meses em que é observada menor ocorrência de precipitações pluviométricas, como junho e julho, aparentam corroborar com tal inferência.
- Infere-se que em determinadas situações onde os índices pluviométricos são suficientemente altos para aumentar a descarga sólida fluvial no sistema estuarino e, ao mesmo passo, não incorrerem em um aumento demasiado da intensidade do fluxo de forma que o mesmo se torne capaz de imputar

tendências majoritariamente erosivas para o ambiente, podem ser esperados os índices mais expressivos de acúmulo sedimentar no Trecho 2. Acredita-se que tais condições estejam relacionadas com o cenário observado para o mês de novembro no presente trabalho.

- Depreende-se que a dinâmica sedimentar nas dependências do Trecho 3 está, predominantemente, associada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo, bem como, mais localmente, de provável transporte transversal de carga advindo das regiões mais rasas ao largo. Ainda, devem ser considerados os efeitos decorrentes do meandramento do sistema sobre os processos sedimentares atuantes.
- Foi observada uma relação positiva entre as taxas de assoreamento no Trecho 3 e as de precipitação pluviométrica local, sendo que os resultados obtidos apontam que a principal fonte do material assoreado neste setor é advinda das bacias hidrográficas contribuintes do estuário, partindo-se da premissa de que o aporte de sedimentos de origem fluvial nesta região está diretamente associado com a pluviosidade.
- Assim como o observado para o Trecho 2, maiores taxas pluviométricas em determinadas épocas do ano aparentam favorecer processos erosivos no Trecho 3, mascarando os valores relativamente mais expressivos de volumes assoreados constatados nestes períodos, e impactando negativamente volumes resultantes de balanço sedimentar. O oposto é observado em períodos mais secos.
- De forma geral, diferentemente do observado para o Trecho 2, não foram encontradas, ao menos de forma mais explícita, possíveis evidências de uma eventual contribuição de aporte de sedimentos marinhos para o Trecho 3.
- Foi possível chegar ao entendimento de que a dinâmica sedimentar nas dependências do Trecho 4 está, de forma geral, associada à influência exercida pela geomorfologia do canal sobre a intensidade do fluxo, bem como de transporte transversal de carga de origem fluvial advinda das regiões mais rasas ao largo, sendo este último processo o principal responsável pelos níveis mais críticos de assoreamento. Em termos erosivos, além da ação das correntes mais intensas, bem demarcada na região compreendida entre a Ilha Barnabé e o Valongo/Saboó, existem indícios de que o trecho mais interno do

canal de navegação esteja sofrendo de efeitos de auto-dragagem, ocasionados pela circulação de navios de grande porte na região.

- Além dos resultados terem indicado a possibilidade da ocorrência de efeitos erosivos de natureza continuada por forçantes antrópicas no Trecho 4, deve-se atentar que, durante o período de referência da série histórica levada em consideração neste estudo, houve a implantação de grandes empreendimentos de infraestrutura aquaviária com alto potencial de afetar a hidrodinâmica da respectiva seção, em específico. Destarte, entende-se que resta tecnicamente prejudicada qualquer análise a ser empreendida no âmbito do presente trabalho para tratar da sazonalidade do aporte sedimentar no Trecho 4 do canal de navegação.
- No entanto, existindo indicativos que os pontos críticos de assoreamento no Trecho 4 estão relacionados com o aporte de sedimentos fluviais oriundos das regiões dos largos, faz-se possível efetuar a asserção de que as maiores taxas de assoreamento ocorram nos períodos com maiores precipitações pluviométricas. Ainda, tendo em vista que este trecho mais interno, em comparação aos demais, está menos propenso a maiores velocidades de correntes quase que em toda a sua extensão, a qual, por sua vez, é marcada por expressivas seções transversais, é esperada uma relação mais positiva entre o balanço sedimentar e as taxas de pluviosidade.
- As análises de variações morfológicas empreendidas para os Trecho 1 e 4 mostram a existência de variações batimétricas significantes do ponto de vista operacional em períodos curtos, notadamente mesmo em escala mensal. Ressalta-se a ocorrência de elevações entre 1,00 e 1,50 m para todos os períodos intermediários levados em consideração na análise das séries contínuas de dados quase que anuais disponíveis para ambos os trechos, fato que denota a importância da atuação dos processos de assoreamento nas respectivas áreas e da necessidade de atenção e monitoramento batimétrico constante, independente da época do ano.

7.1 Recomendações

Diante dos resultados alcançados no presente estudo, apresentam-se as seguintes recomendações:

- Continuidade da aplicação da sistemática de análises adotada neste trabalho por parte da Administração do Porto Organizado de Santos, considerando a conformação morfológica/geométrica atual do canal de navegação, de modo que haja a formação e a contínua alimentação de um banco único de dados batimétricos e de dragagem, e que sejam alcançados resultados cada vez mais precisos para as estimativas do balanço sedimentar e respectivas taxas resultantes para cada um dos trechos, levando-se em conta a influência da sazonalidade interanual que aparenta afetar a dinâmica sedimentar da área de estudo.
- Expansão das análises supracitadas para as áreas dos berços de atracação, respectivos acessos e bacias de evolução, visando a obtenção de dados de balanço sedimentar para toda a infraestrutura aquaviária do Porto Organizado de Santos.
- Manutenção de contínuo monitoramento batimétrico do canal do Porto Organizado de Santos, devendo ser avaliada a possibilidade de adoção de métodos geofísicos complementares para auxiliar no entendimento dos processos sedimentares, como perfilagem sísmica.
- Realização de estudo para avaliar os impactos do empreendimento portuário em implantação no Largo do Canéu sobre o balanço sedimentar no Trecho 4.
- Realização de estudo para analisar a ocorrência do fenômeno de auto-dragagem no Trecho 4, avaliando a sua real existência e os possíveis efeitos sobre o balanço sedimentar nesta seção e em outras do canal.
- Realização de estudo valendo-se do levantamento de dados atualizados e aplicação de metodologias contemporâneas para analisar a dinâmica sedimentar na Baía de Santos e plataforma ao largo com o objetivo de que seja alcançado um melhor entendimento acerca do aporte de sedimentos marinhos no canal externo, haja vista que as principais bibliografias de referência existentes versam de décadas passadas.

7.2 Limitações

Deve-se atentar para as seguintes premissas e limitações do presente estudo:

- As análises empreendidas neste trabalho consideram a conformação morfológica/geométrica do canal de navegação alcançada em 2012, com o

término da obra de dragagem de aprofundamento para a profundidade de projeto de 15 m (DHN). Ou seja, a base deste estudo não reflete um cenário atualizado no que tange à infraestrutura aquaviária do Porto Organizado de Santos, sendo que em 2018 o traçado geométrico do canal de navegação foi retificado, havendo, de forma geral, aumento de área e suavização das feições lineares em todos os trechos. Assim sendo, recomenda-se cautela e discernimento quanto à aplicação prática dos resultados apresentados neste estudo, os quais podem não ser condizentes com a realidade atual.

- As análises empreendidas neste trabalho não consideram as áreas dos berços de atracação e seus respectivos acessos, sendo que as avaliações volumétricas e morfológicas tiveram enfoque limitado para a calha do canal de navegação.
- As considerações apresentadas neste trabalho trazem uma tentativa de interpretação para os cenários delineados com base nos dados disponíveis na série histórica considerada. Desta forma, não se pode esperar que o comportamento dos processos sedimentares nos diferentes trechos do canal siga exatamente o que fora aqui modulado em termos de balanço, haja vista que o ambiente natural é extremamente dinâmico, não respeitando limites temporais imaginários para a ocorrência de fenômenos que impactam diretamente nas condições de contorno que regem a dinâmica da área de estudo (chuvas, ressacas, etc.). O que realmente se buscou foi o entendimento dos padrões e tendências gerais, em termos quantitativos e qualitativos, para os processos sedimentares da área de estudo.
- Como em qualquer trabalho, os métodos aqui utilizados trazem erros embutidos, que vão desde os associados às imprecisões dos levantamentos hidrográficos que geraram os dados de profundidade até os relacionados à discretização/interpolação das informações utilizadas para a geração das superfícies batimétricas. Desta forma, os resultados alcançados em hipótese alguma devem ser considerados como absolutos ou irrefutáveis.
- A presença de material em suspensão junto ao fundo pode, eventualmente, afetar a capacidade dos levantamentos batimétricos de identificar o fundo verdadeiro de forma exata, o que pode impactar na ocorrência e/ou magnitudes das variações batimétricas observadas no âmbito dos processos de comparação de superfícies subsequentes. Em que pese a alta qualidade

inerente às campanhas hidrográficas que geraram os dados de profundidade utilizados no presente trabalho, tal fator não pode ser desconsiderado na interpretação dos resultados gerados.

- Variações batimétricas entre superfícies subsequentes eventualmente podem estar relacionadas com a presença de material particulado junto ao fundo
- O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de exclusiva responsabilidade do autor e não refletem opiniões das instituições às quais o mesmo tenha vínculo profissional.

8. REFERÊNCIAS

ARGONÁUTICA. **Estimativa da Taxa de Dragagem Anual de Manutenção do Canal de Acesso e Bacias de Evolução do Porto de Santos após a Obra de Dragagem de Aprofundamento para Cota -15,00 m (DHN) e Alargamento.** 35 p. São Paulo, 2013.

BRAY, R. N.; BATES, A. D. e LAND, J. M. **Dredging, a Handbook for Engineers.** 2. ed. 434 p. Nova York: John Wiley & Son, Inc, 1997.

CAMARGO, R.; HARARI, J. Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície. **Boletim do Instituto Oceanográfico da USP.** v. 42, n. 1, p. 19-34, 1994.

CANDELLA, R. N. Estudos de Casos de Ondas no Atlântico Sul através de Modelagem Numérica. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A; MIRANDA, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil.** p. 11-120. São Paulo: Edusp, 2006.

CB&I. **Modelagem Numérica de Derramamento de Óleo para Baía de Santos e Região Oceânica Adjacente.** 178 p. Florianópolis, 2015.

CEGN, CENTRO DE ESTUDOS EM GESTÃO NAVAL. **Estudo e pesquisa de obras para a otimização morfológica, náutica e logística do canal de acesso do Porto de Santos: 6º Relatório Mensal – GEGN.** 27 p. São Paulo, 2016.

CLARKE, D.; REINE, K. J.; DICKERSON, C.; ALCOBA, C.; GALLO, J.; WISEMILLER, B.; ZAPPALA, S. **Sediment Resuspension by Ship Traffic in Newark Bay, New Jersey.** 88 p. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, 2015.

CODESP; CETESB; UNISANTOS. **Agenda Ambiental do Porto de Santos.** 212 p. São Paulo: Edidora Universitária Leopoldianum, 2012.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Semestral Consolidado de Atividades (Janeiro/2014 – Junho/2014) do Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem do Porto Organizado de Santos.** 46 p. Santos, 2014a.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Semestral Consolidado de Atividades (Julho/2013 – Dezembro/2013) do Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem do Porto Organizado de Santos**. 18 p. Santos, 2014b.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual Consolidado de Atividades (Janeiro/2015 – Dezembro/2015) do Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem do Porto Organizado de Santos**. 44 p. Santos, 2016.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual Consolidado de Atividades (Janeiro/2016 – Dezembro/2016) do Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem do Porto Organizado de Santos**. 59 p. Santos, 2017.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual Consolidado de Atividades (Janeiro/2017 – Dezembro/2017) do Programa de Gestão Ambiental e Controle da Dragagem do Porto Organizado de Santos**. 53 p. Santos, 2018.

CODESP, COMPANHIA DOCAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Codesp Anuncia Ampliação de Calado para o Porto de Santos**. Disponível em: <<https://www.portodesantos.com.br/2018/07/18/codesp-anuncia-ampliacao-de-calado-para-o-porto-de-santos/>>. Acesso em: 10 out 2021.

COELHO, T. M. **Análise do transporte de sedimentos da região central da Baixada Santista (SP) através de modelagem numérica**. 2011. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

DAI, Z.; LIU, J. T.; FU, G.; XIE, H. A thirteen-year record of bathymetric changes in the North Passage, Changjiang (Yangtze) estuary. **Geomorphology**, v. 187, p. 101-107, 2013.

DEMARCO, L. F. W. **Caracterização dos processos sedimentares em trecho do canal de acesso ao Porto de Santos, por meio de métodos acústicos**. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

DHI. **Porto de Santos: Modelagem do transporte de sedimentos**. 43 p. Hørsholm, 2008.

DTA-ENGENHARIA. **Estudo para Regularização Ambiental do Porto de Santos**. Santos. v. 2, 286 p. São Paulo, 2011.

FCTH, FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Estudo hidráulico para análise das alterações nos volumes de assoreamento no canal devido a alterações em seu gabarito (RT-03-1157-17)**. 47 p. São Paulo, 2017.

FRF, FUNDAÇÃO RICARDO FRANCO. **Estudo de Impacto Ambiental - Relatório de Impacto Ambiental. Dragagem de Aprofundamento do Canal de Navegação e Bacias de Evolução do Porto Organizado de Santos / SP**. 905 p. Rio de Janeiro, 2008.

FUNDESPA, Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. **Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos: 1º Relatório Técnico Semestral – RT-0618-140910: Setembro/2010**. 1447 p. São Paulo, 2010.

FUNDESPA, Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. **Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos: Relatório Técnico de Atividades - Programa de Monitoramento e Modelagem de Parâmetros Hidrodinâmicos e Oceanográficos (RT-030713)**. 71 p. São Paulo, 2013.

GARREAUD, R.; WALLACE, J. M. Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 2713-2733, 1998.

GIRELI, T. Z., & VENDRAME, R. F. Aprofundamento do Porto de Santos: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p. 49-59, 2012.

GOLDEN SOFTWARE LLC. **Surfer® Help - Cut and Fill Volumes**. Disponível em: <http://surferhelp.goldensoftware.com/gridops/cut_and_fill_volumes.htm>. Acesso em: 15 jun 2021.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Modelagem numérica da região costeira de Santos (SP): Circulação de maré. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 46, n. 2, p. 135-156, 1998.

HARARI, J.; CAMARGO, R.; CACCIARI, P. L. Resultados da Modelagem Numérica Hidrodinâmica em Simulações Tridimensionais das correntes de maré na Baixada Santista. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 2, p. 71-87, 2000.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Numerical simulation of the tidal propagation in the coastal region of Santos (Brazil, 24°S 46°W). **Continental Shelf Research**, v. 23, p. 1597-1213, 2003.

HORTELLANI, M.C.; SARKIS, J.E.S.; BONETTI, J. & BONETTI, C. Evaluation of mercury contamination in sediments from Santos - São Vicente estuarine system, São

Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v.16, n.6A, p. 1140-1149, 2005.

INPH, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. **Anteprojeto de Dragagem de Manutenção e de Readequação da Geometria do Canal de Acesso Aquaviário e dos Berços de Acostagem do Complexo Portuário de Santos - SP**. 100 p. Rio de Janeiro, 2013.

INPH, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. **Anteprojeto de Engordamento da Praia do Município de Santos**. 43 p. Rio de Janeiro, 2020.

JIANG, C.; LI, J.; SWART, H. E. Effects of navigational works on morphological changes in the bar area of Yangtze Estuary. **Geomorphology**, v. 139, p. 205-219, 2012.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

MCA, MOCÃ CONSULTORIA AMBIENTAL. **Caracterização dos Sedimentos dos Berços de Atracação, suas Áreas de Acesso e Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos – Relatório Anual 2020**. 175 p. Brasília, 2021.

MCA, MOCÃ CONSULTORIA AMBIENTAL. **Caracterização dos Sedimentos dos Berços de Atracação, suas Áreas de Acesso e Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos – Relatório Anual 2021**. 172 p. Brasília, 2022.

MESQUITA, A. R.; HARARI, J. On the harmonic constants of tides and tidal currents of the South-eastern brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 23, p. 1227-1237, 2003.

MINNEE, K; BRANDT, J.; WINTER, R.; GERRITS, S.; KRAMER, V. **New south exit channel in Río de la Plata: A preliminary design study**. 183 p. TU Delft & Universidade de Buenos Aires, Buenos Aires, 2015.

MIRANDA, L.B., CASTRO, B.M., KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia física de estuários**. 424 p. São Paulo: Edusp, 2012.

PONCANO, W. L. **Sedimentação atual aplicada a portos do Brasil**. 1985. 278 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, São Paulo, 1985.

RALSTON, D. K.; GEYER, W. R. Response to channel deepening of the salinity intrusion, estuarine circulation, and stratification in an urbanized estuary. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 124, p. 4784-4802, 2019.

SELUCHI, M.; MARENGO, J. A. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climate aspects and extreme events. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1167-1190, 2002.

SONDOTÉCNICA. **Comportamento Hidráulico e Sedimentológico do Estuário Santista**. 379 p. 1977.

SPA, SANTOS PORT AUTHORITY. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. 52 p. Santos, 2020.

SPA, SANTOS PORT AUTHORITY. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. 52 p. Santos, 2021a.

SPA, SANTOS PORT AUTHORITY. **Relatório Anual 2020**. 153 p. Santos, 2021b.

SPA, SANTOS PORT AUTHORITY. **Calados Operacionais dos Berços de Atracação**. Disponível em: < <http://www.portodesantos.com.br/informacoes-operacionais/operacoes-portuarias/calados-operacionais-dos-bercos-de-atracacao/> >. Acesso em: 15 out 2021c.

SPERANZINI, B. T. **On physical oceanography of the Santos Estuary**. 2017. 185 f. Dissertação (Mestrado) – Delft University of Technology, Rotterdam, 2017.

TETRA TECH. Caracterização dos Sedimentos dos Berços de Atracação, suas Áreas de Acesso e Canal de Navegação do Porto Organizado de Santos. 3759 p. São Paulo, 2016.

TETRA TECH. Resposta ao Parecer Técnico nº 8/2019-COMAR/CGMAC/DILIC Porto de Santos, Município de Santos (SP). 123 p. São Paulo, 2019.

USACE, U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Dredging and Dredged Material Management**. 920 p. Washington, 2015.

USACE, U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Dredging Operations**. Disponível em: <<https://www.sam.usace.army.mil/Missions/Civil-Works/Navigation/Dredging-operations/>>. Acesso em: 01 out 2021.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 467 p. Londres: Academic Press Inc, 1977.

WRIGHT, J.; COLLING, A.; PARK, D.; & OPEN UNIVERSITY. **Waves, Tides and Shallow-Water Processes**. 227 p. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.

ANEXO I – CATÁLOGO DE BATIMETRIAS

CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Obsações
2010	01_T1A4_25102010	25/10/2010	01/11/2010	HIDROTOP	HCICL-012-2010-X-np06	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2010	02A_T1A3_20122010	20/12/2010	10/01/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-XM-np01	Multifeixe	200KHz	Trechos 1, 2 e 3	Sim	Não	
2010	02_T1A4_27122010	27/12/2010	14/01/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np01	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	03_T1A4_27012011	27/01/2011	07/02/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np02	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	04_T1A4_23022011	23/02/2011	08/03/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np03	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	05_T1A4_29032011	29/03/2011	16/04/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np04	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	06_T1A4_24042011	24/04/2011	12/05/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np05	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2011	07_T1A4_23052011	23/05/2011	28/06/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np06	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2011	08_T1A4_28062011	28/06/2011	17/07/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np07	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2011	09_T1A4_18072011	18/07/2011	11/08/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np08	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	10_T1A4_25082011	25/08/2011	17/09/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np09	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	11_T1A4_27092011	27/09/2011	14/10/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np10	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	
2011	12_T1A4_23102011	23/10/2011	14/11/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-XM-np05 HCICL-012-2011-X-np11	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	XYZ somente para o Trecho 1 Multifeixe no Trecho 1
2011	13_T1A4_03112011	03/11/2011	20/12/2011	HIDROTOP	HCICL-012-2011-XM-np06 HCICL-012-2011-X-np12	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Multifeixe no Trecho 1
2011	13A_T1A4_24122011	24/12/2011	07/01/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2011-X-np13	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 5	Sim	Sim	
2012	14A_T2_20022012	20/02/2012	22/02/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-MB-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Somente Trecho 2
2012	14AA_T3_23022012	23/02/2012	24/02/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-MB-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Somente Trecho 3
2012	14_T1A4_27022012	27/02/2012	31/03/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np02	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2012	15_T1A4_26032012	26/03/2012	04/04/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np03	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2012	16_T1A4_15042012	15/04/2012	25/05/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-MB-np02 HCICL-012-2012-X-np04	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 e 3 Multifeixe nos Trechos 2 e 4 (Cat. A)
2012	16A_T2_10052012	10/05/2012	11/05/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-MB-np03A- rev01	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Somente Trecho 2
2012	17_T1A4_28052012	28/05/2012	23/06/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np05	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	Monofeixe nos Trechos 1 a 4 Multifeixe nos Trechos 4-D
2012	17A_T3_05062012	05/06/2012	06/06/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-10-MB-np04A HCICL-012-2012-11-MB-np03A	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Somente Trecho 3
2012	18_T1A4_25062012	25/06/2012	26/07/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np06	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 2 e 4 Multifeixe nos Trechos 1, 3 e 4-D
2012	18A_T4D_27062012	27/06/2012	13/08/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-14-MB-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 4-D	Sim	Não	Somente Trecho 4-D
2012	19_T1A4_25072012	25/07/2012	22/08/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np07	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1, 2 e 4 Multifeixe no Trecho 3
2012	20_T1A4_27082012	27/08/2012	03/10/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np08	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2012	21_T1A4_04102012	04/10/2012	30/10/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np09	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 a 4 Multifeixe no Trecho 1 (60+00 a 80+00)
2012	22_T1A4_27102012	27/10/2012	14/11/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np10	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 a 4 Multifeixe no Trecho 1 (0+00 a 101+00)
2012	23_T1A4_23112012	23/11/2012	20/12/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np11	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 a 4 Multifeixe no Trecho 1 (0+00 a 30+00)
2012	23A_T2_06122012	06/12/2012	08/12/2012	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-MB-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Somente Trecho 2
2013	24_T1A4_08012013	08/01/2013	23/01/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2012-X-np12	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 a 4 Multifeixe no Trecho 1 (0+00 a 86+00)

CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Observações
2013	25_T1A4_23012013	23/01/2013	19/02/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np01 HCICL-012-2013-X-MB-np01	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 e 2 Multifeixe nos Trechos 3 e 4
2013	26_T1A3_27022013	27/02/2013	01/04/2013	HIDROTOP	-	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, e 3	Não	Sim	Monofeixe nos Trechos 1, 2 e 3 Multifeixe no Trecho 1 (00+00 a 75+00)
2013	27_T1A4_15032013	15/03/2013	14/05/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np03	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 e 2 Multifeixe nos Trechos 3 e 4
2013	28_T1A4_10042013	10/04/2013	31/05/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np04 HCICL-012-2013-X-MB-np01	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1, 3 e 4 Multifeixe no Trecho 2 (Cat. A)
2013	28A_T2_06052013	06/05/2013	08/05/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-MB-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 2			Somente Trecho 2
2013	29_T1A4_04062013	04/06/2013	10/07/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np05	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1, 3 e 4 Multifeixe nos Trechos 1 (00+00 a 84+00) e 2
2013	29A_T2_04062013	04/06/2013	24/06/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-MB-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Somente Trecho 2
2013	30_T1A4_19062013	19/06/2013	05/08/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np06	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 e 4 Multifeixe nos Trechos 1 (0+00 a 86+00), 2 e 3
2013	30A_T3_19062013	19/06/2013	24/06/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-T3MB-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Somente Trecho 3
2013	30AA_T4_19062013	19/06/2013	29/06/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-T4MB-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Somente Trecho 4 (Somente Arquivos Brutos)
2013	31_T1A4_30072013	30/07/2013	08/10/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np07	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2013	32_T1A4_21082013	21/08/2013	29/10/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np08	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2013	33_T1A4_12092013	12/09/2013	10/11/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np09	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	Monofeixe nos Trechos 1 e 4 Multifeixe nos Trechos 2 e 3
2013	34_T1A4_17102013	17/10/2013	25/11/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np10	Multifeixe/Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Não	Sem especificação do tipo de batimetria por trecho
2013	35_T1A4_15112013	15/11/2013	05/12/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-np11	Monofeixe	200KHz	Trechos 1, 2, 3 e 4	Sim	Sim	
2013	36_T4_05122013	05/12/2013	06/12/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-T4-12-MB-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Somente Trecho 4
2013	37_T3_07122013	07/12/2013	09/12/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-X-MB-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Somente Trecho 3

TRECHO 1 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Observações
2014	01.01_T1_28022014	28/02/2014	22/03/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2014	01.02_T1_30042014	30/04/2014	17/05/2014	HIDROTOP	X-Aut076-2014-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Ocorreu recoleta
2014	01.03_T1_27082014	27/08/2014	04/09/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-np05-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2014	01.04_T1_23092014	23/09/2014	22/10/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-np06-rev1	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2015	01.05_T1_01052015_INC	01/05/2015	02/05/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T1-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Somente entre Seções 60+00 A 115+60
2015	01.06_T1_02052015	02/05/2015	31/05/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T1-np01-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Disponível também em R05m
2015	01.07_T1_26092015_INC	26/09/2015	01/10/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T1-np04-High	Monofeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Não	Somente entre Seções 11+00 A 91+00
2015	01.08_T1_17102015	17/10/2015	27/10/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T1-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2016	01.09_T1_05022016	05/02/2016	06/02/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T1-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2016	01.10_T1_19032016	19/03/2016	23/03/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T1-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2016	01.11_T1_05082016	05/08/2016	09/08/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T1-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	
2016	01.12_T1_24102016	24/10/2016	27/10/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T1-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	01.13_T1_13122016	13/12/2016	20/12/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T1-np06-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.14_T1_22052017	22/05/2017	26/05/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.15_T1_04072017	04/07/2017	10/07/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Não	Dados XYZ incorretos
2017	01.16_T1_25072017_INC	25/07/2017	26/07/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np03-rev01	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Somente entre Seções 70+00 A 110+00, Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.17_T1_29072017_INC	29/07/2017	31/07/2018	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Somente entre Seções 00+00 A 70+00, Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.18_T1_05082017_INC	05/08/2017	06/08/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Somente entre Seções 70+00 A 110+00, Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.19_T1_29082017	29/08/2017	02/09/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np05-1	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.20_T1_15092017	15/09/2017	18/09/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np06-1	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.21_T1_26092017	26/09/2017	29/09/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np08-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	01.22_T1_04102017	04/10/2017	04/10/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np08-Rev1	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas, Planta revisada com trabalhos de recoleta
2017	01.23_T1_10102017	10/10/2017	10/10/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np08-Rev2-4	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas, Planta revisada com trabalhos de recoleta
2017	01.24_T1_08122017	08/12/2017	11/12/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T1-np09-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 1	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas

TRECHO 2 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Observações
2014	02.01_T2_23052014	23/05/2014	30/05/2014	HIDROTOP	X-Aut076-2014-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2014	02.02_T2_04092014	04/09/2014	10/09/2014	HIDROTOP	HCICL-0X-2014-CODESP-T2-np02-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2014	02.03_T2_08102014	08/10/2014	10/10/2014	HIDROTOP	HCICL-0X-2014-CODESP-T2-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2014	02.04_T2_18122014	18/12/2014	19/12/2014	HIDROTOP	HCICL-09-2014-CODESP-T2-np04-rev1	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Incompleta. Apenas entre Seções 143+40 e 148+40
2015	02.05_T2_04062015	04/06/2015	08/06/2015	HIDROTOP	HCICL-0X-2015-CODESP-T2-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2015	02.06_T2_28062015	28/06/2015	06/07/2015	HIDROTOP	HCICL-0X-2015-CODESP-T2-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2016	02.07_T2_23012016	23/01/2016	23/01/2016	HIDROTOP	HCICL-0X-2016-CODESP-T2-np01-0X-Aut301-2015-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	02.08_T2_08032016	08/03/2016	09/03/2016	HIDROTOP	HCICL-0X-2016-CODESP-T2-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	
2016	02.09_T2_11112016	11/11/2016	11/11/2016	HIDROTOP	HCICL-0X-2016-CODESP-T2-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	02.10_T2_21122016	21/12/2016	21/12/2016	HIDROTOP	HCICL-0X-2016-CODESP-T2-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	02.11_T2_13012017	13/01/2017	13/01/2017	HIDROTOP	HCICL-08-2017-CODESP-T2-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas. Este levantamento foi complementado pelo posterior.
2017	02.11A_T2_27012017	27/01/2017	27/01/2017	HIDROTOP	HCICL-08-2017-CODESP-T2-np01-rev01	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas. Trata-se recoleta para complementação do levantamento antecedente.
2017	02.12_T2_12062017	12/06/2017	14/06/2017	HIDROTOP	HCICL-0X-2017-CODESP-T2-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	02.13_T2_30062017	30/06/2017	03/07/2017	HIDROTOP	HCICL-0X-2017-CODESP-T2-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	02.13A_T2_18072017	18/07/2017	18/07/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T2-np03-Rev1-X-Aut065-2017-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas. Trata-se recoleta para complementação do levantamento antecedente.
2017	02.13B_T2_07092017	07/09/2017	07/09/2017	HIDROTOP	HCICL-10-2017-CODESP-T2-np03-Rev2	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas. Trata-se recoleta para complementação do levantamento antecedente.
2017	02.14_T2_20122017	20/12/2017	22/12/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T2-np04-High	Multifeixe	200KHz	Trecho 2	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas

TRECHO 3 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Observações
2014	03.01_T3_23052014	23/05/2014	02/06/2014	HIDROTOP	X-Aut076-2014-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2014	03.02_T3_07092014	07/09/2014	08/09/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-T3-np02-NP-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2014	03.03_T3_06102014	06/10/2014	11/10/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-T3-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2015	03.04_T3_06062015	06/06/2015	07/06/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T3-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2015	03.05_T3_30062015	30/06/2015	03/07/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T3-np03-NP-01	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2016	03.06_T3_24012016	24/01/2016	24/01/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T3-np01-X-Aut301-2015-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	03.07_T3_16032016	16/03/2016	16/03/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T3-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2016	03.08_T3_16062016	16/06/2016	17/06/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T3-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	03.09_T3_18072016	18/07/2016	19/07/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T3-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.10_T3_11012017	11/01/2017	12/01/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np01-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.11_T3_23012017	23/01/2017	23/01/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np02-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	
2017	03.12_T3_11022017	11/02/2017	11/02/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np03-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.13_T3_10062017	10/06/2017	10/06/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np04-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.14_T3_28062017	28/06/2017	28/06/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.15_T3_18072017	18/07/2017	18/07/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np05-Rev1-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas. Trata-se recoleta para complementação do levantamento antecedente.
2017	03.16_T3_20102017	20/10/2017	27/10/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np06-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.17_T3_07122017	07/12/2017	07/12/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np07	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	03.18_T3_29122017	29/12/2017	30/12/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T3-np08-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 3	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas

TRECHO 4 DO CANAL DE NAVEGAÇÃO											
Ano	Código	Data - Início	Data - Fim	Empresa	Referência	Tipo	Frequência	Locais	Plantas	XYZ	Observações
2013	04.01_T4_05122013	05/12/2013	06/12/2013	HIDROTOP	HCICL-012-2013-T4-X-2014-MB-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2014	04.02_T4_28042014	28/04/2014	04/05/2014	HIDROTOP	X/Aut78-2014-CHM	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2014	04.03_T4_04082014	04/08/2014	04/08/2014	ZENITH	ZNT-189-2014-001_MB	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	
2014	04.04_T4_09092014	09/09/2014	18/09/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-T4-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2014	04.05_T4_23102014	23/10/2014	20/11/2014	HIDROTOP	HCICL-X-2014-CODESP-MB-T4-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2015	04.06_T4_29042015	29/04/2015	30/04/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T4-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2015	04.07_T4_29042015	02/07/2015	14/07/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T4-np02-1	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2015	04.08_T4_29042015	17/07/2015	19/07/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T4-SB-HIGH-np01	Monofeixe	200KHz/24KHz	Trecho 4	Sim	Não	Dados fragmentados por dia de levantamento
2015	04.09_T4_10102015	10/10/2015	11/10/2015	HIDROTOP	HCICL-X-2015-CODESP-T4-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2016	04.10_T4_29012016	29/01/2016	02/02/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Não	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	04.11_T4_17032016	17/03/2016	17/03/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	
2016	04.12_T4_14062016	14/06/2016	16/06/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	04.13_T4_22082016	22/08/2016	23/08/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np04	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	04.14_T4_19092016	19/09/2016	19/09/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np05	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2016	04.15_T4_14112016	14/11/2016	14/11/2016	HIDROTOP	HCICL-X-2016-CODESP-T4-np06-rev1	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas, Planta revisada com trabalhos de recoleta
2017	04.16_T4_01022017	01/02/2017	01/02/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np01	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.17_T4_14022017	14/02/2017	14/02/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np02	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Sim	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas, dados XYZ só vão até a BTP
2017	04.18_T4_24062017	24/06/2017	26/06/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np03	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.19_T4_10072017	10/07/2017	12/07/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np04-13	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.20_T4_11082017	11/08/2017	12/08/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np04-rev01-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.21_T4_23082017	23/08/2017	26/08/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np05-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.22_T4_24102017	24/10/2017	25/10/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np06-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.23_T4_23112017	23/11/2017	24/11/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np07-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas
2017	04.24_T4_13122017	13/12/2017	14/12/2017	HIDROTOP	HCICL-X-2017-CODESP-T4-np08-X	Multifeixe	200KHz	Trecho 4	Sim	Não	Relatório não disponível, dados oriundos das plantas