

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **ESTUDO DE MANUTENÇÃO POR DRAGAGEM DO TRECHO 1 DO CANAL DO PORTO DE SANTOS**

*Patrícia Dalsoglio Garcia<sup>1</sup>; Tiago Zenker Gireli<sup>2</sup>; Taís Zuiani Petti<sup>3</sup>, Isabela Azevedo dos Santos<sup>4</sup>, Elisa Cabral Terra<sup>5</sup> & Patricia Strasser Scheltinga<sup>6</sup>*

**Abstract:** The Port of Santos foresees, in the coming years, an increase in the depth of its access channel to allow the passage of Post-Panamax vessels. Since its implementation, the port's channel has been maintained at various design depths. Previous studies indicate an exponential increase in the sedimentation rate as dredging depth increases. In this context, this study expanded the analysis of projected sedimentation rates for the depths of 16m, 17m, and 18m, which are planned for the coming years, and evaluated the increase in the number of trips required by the dredgers operating in the area to handle the new sediment volumes. The results showed that the new projections for the 17m and 18m depths significantly increase the number of dredger trips, making many of them unfeasible to manage the higher sedimentation rates. Additional investments would be necessary to hire more dredgers to operate in this section of the channel, which would certainly impact port operations.

**Resumo:** O Porto de Santos prevê para os próximos anos um aumento da profundidade do canal de acesso para permitir a passagem de navios Post-Panamax. Desde sua implantação o canal do porto já foi mantido em várias profundidades objetivo. Estudos anteriores apontam para um crescimento exponencial da taxa de sedimentação com o aumento do gabarito de dragagem. Neste sentido este trabalho ampliou as análises feitas sobre as projeções das taxas de sedimentação para os gabaritos 16m, 17 e 18m, que são previstos para os próximos anos, e avaliou o crescimento do número de viagens necessárias para que as dragas que operam no local possam atender aos novos volumes sedimentados. Os resultados mostraram que as novas projeções para os gabaritos 17 e 18m aumentam substancialmente as viagens realizadas pelas dragas, tornando boa parte delas inviável para conter as novas taxas de sedimentação. Seriam necessários mais investimentos com a contratação de mais dragas para operar neste trecho do canal, o que certamente comprometeria a operação portuária.

**Palavras-Chave** – dragagem, hidráulica marítima, Porto de Santos

### **INTRODUÇÃO**

O crescimento das dimensões dos navios promoveu a necessidade de adaptação dos terminais portuários para atender as novas profundidades exigidas (DEMIR et al., 2004; ZILINSKAS et al., 2020), especialmente após a conclusão das obras de expansão do Canal do Panamá, em 2016.

1) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2069, pdgarcia@unicamp.br

2) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2360, zenker@unicamp.br

3) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2360, 244464@dac.unicamp.br

4) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2360, 236863@dac.unicamp.br

5) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2360, e196352@dac.unicamp.br

6) Universidade Estadual de Campinas, Av. Albert Einstein 951, Campinas, SP, (19) 3521-2360, p226104@dac.unicamp.br

Devido a proteção natural das ondas, os estuários sempre foram uma região explorada para as atividades portuárias (DEMIR et al., 2004). No entanto, por se tratar de uma região de alta complexidade hidrossedimentológica e de forte tendência deposicional junto a embocadura, exige a manutenção dos fundos por dragagem para manter o canal com profundidades adequadas à navegação (RALSTON et al, 2018). O aumento dos gabaritos de dragagem exigidos faz com que as taxas de sedimentação aumentem, mas sem um padrão definido.

No Brasil, o Porto de Santos encontra-se nesta situação. Localizado no litoral sul do estado de São Paulo, é considerado o maior terminal portuário da América Latina, com aproximadamente 13 km de extensão (Figura 1), e é responsável por 29% da balança comercial brasileira.

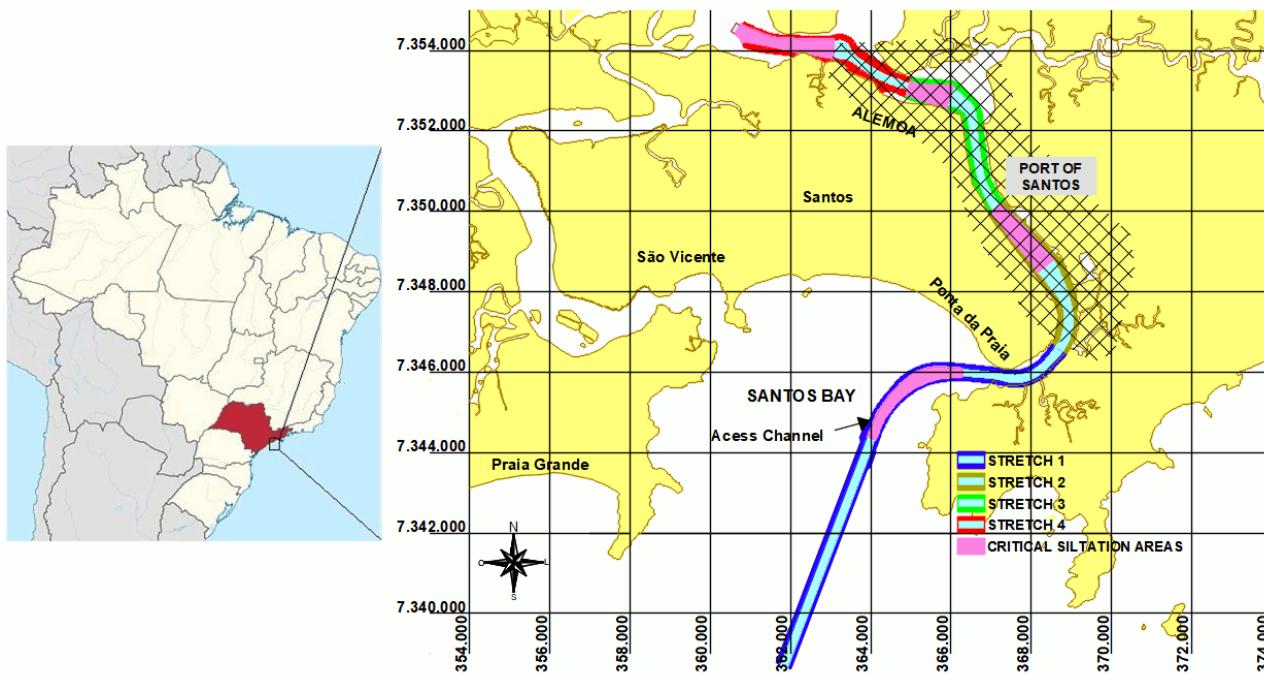


Figura 1 – Localização de Santos (SP). Fonte: Venancio et al (2020)

O canal de acesso do porto passou por várias modificações ao longo dos anos desde sua implantação, quando as profundidades mínimas naturais na barra eram em torno de 8,0m. A última expansão ocorreu em 2010, quando o canal foi aprofundado para o gabarito 15 m e alargado para 220m. A Autoridade Portuária de Santos (SPA) prevê um aumento gradual dos gabaritos de dragagem para as cotas 16, 17 e 18 m para os próximos anos mas hoje o terminal tem dificuldades para manter o gabarito atual dependendo as condições climáticas.

Os estudos iniciais de Gireli e Vendrame (2012) apontavam para um crescimento exponencial das taxas de sedimentação antes mesmo da implantação do gabarito de 15m. Garcia et al. (2024) ampliou estes estudos com dados mais recentes pós dragagem de ampliação em 2010 e confirmaram as expectativas anteriores. Contudo, os novos dados mostraram que a variabilidade das taxas cresceu e que eventos extremos podem aumentar significativamente a deposição de sedimentos em um período curto, podendo comprometer a operação das dragas.

Neste sentido, este trabalho pretende complementar as análises feitas por Garcia et al. (2024), ampliando o período de análise das taxas de sedimentação no trecho 1 do canal acesso do Porto de Santos, refazendo as projeções para os novos gabaritos propostos e calculando o número de viagens necessárias para cada draga manter este trecho na cota objetiva.

## METODOLOGIA

Utilizando-se da variação batimétrica entre levantamentos sucessivos fornecidos pela SPA (Santos Authority Port) e dados de volumes dragados (fornecidos pela SPA) foi calculado o balanço sedimentar à partir da Equação 1, tal como proposto por SONDOTÉCNICA (1977) e Gireli e Vendrame (2012), utilizado também por Garcia et al. (2024). Nesta equação o volume “in situ” de aporte de sedimentos totais (Ve) é a soma do volume de sedimentos “in situ” removidos do estuário por dragagem (Vd) e variação do volume “in situ” de depósitos ( $\Delta V$ ).

$$Vd + \Delta V = Ve \quad [1]$$

Foram analisados os dados de 2020 a 2023 e somados aos dados de 2014 à 2019 que foram analisados por Garcia et al. (2024), tal como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos levantamentos utilizados para análise do balanço sedimentar

Levantamento	Data	Levantamento	Data	Levantamento	Data
1	22/03/2014	17	18/08/2017	33	29/10/2019
2	17/05/2014	18	02/09/2017	34	19/12/2019
3	04/09/2014	19	18/09/2017	35	23/07/2020
4	07/10/2014	20	29/09/2017	36	13/11/2020
5	06/05/2015	21	04/10/2017	37	22/01/2021
6	31/05/2015	22	10/10/2017	38	10/07/2021
7	01/08/2015	23	11/10/2017	39	12/09/2021
8	15/09/2015	24	16/01/2018	40	23/06/2022
9	27/10/2015	25	25/03/2018	41	05/08/2022
10	05/02/2016	26	24/04/2018	42	25/09/2022
11	23/03/2016	27	05/05/2018	43	09/05/2023
12	09/08/2016	28	21/07/2018	44	04/07/2023
13	24/10/2016	29	26/08/2018	45	01/08/2023
14	20/12/2016	30	29/09/2018	46	12/01/2024
15	26/05/2017	31	24/01/2019	47	23/06/2024
16	06/07/2017	32	15/05/2019		

As superfícies de nível e as superfícies de subtração, bem como os valores dos volumes sedimentados e erodidos entre levantamentos sucessivos foram obtidos a partir da ferramenta computacional Autocad Civil3D®. Os valores dos volumes dragados “in situ” foram obtidos com base nos valores medidos nas cisternas das dragadas e convertidos a partir de um coeficiente de correlação correspondente a 77% e 80%, dependendo da draga.

As taxas de sedimentação anual foram obtidas somando o volume de aporte de sedimentos total nos períodos compreendidos em um ano de base e fazendo uma proporcionalidade entre analisados neste período e 365 dias/ano. Foram calculados também dos desvios padrão em relação a média anual obtida.

Por fim, utilizando a metodologia proposta por Gireli e Vendrame (2012) as taxas foram extrapoladas para os gabaritos 16, 17 e 18m, considerando curvas de tendência exponenciais e de potência. As seguintes premissas foram adotadas:

- A cota de fundo natural do trecho era de - 8,0m DHN;
- taxa de sedimentação de 10.000 m<sup>3</sup>/ano (extrapolação de potência) e 31.500 m<sup>3</sup>/ano (extrapolação exponencial) para cota de - 8,0m DHN como um artifício matemático, de

forma a fosse possível analisar a extração das taxas para equações de potência e exponencial (que não permitem valores iguais a zero);

- A taxa média de evolução das cotas de fundo (m/ano) se mantém constante apesar do aumento do volume sedimentado ser maior em função do aumento da largura do canal. Sendo assim, a taxa de sedimentação seria diretamente proporcional a área, ou seja, os valores de taxa obtidos são referenciados a largura ampliada do canal de acesso. Esta hipótese é essencial para análise de extração das taxas de sedimentação pois o canal de acesso não apenas foi aprofundado como também alargado.

Para o cálculo do número de viagens das dragas a serem feitas para suprir a taxa de sedimentação calculada, foi empregado o mesmo método utilizado por Gireli e Vendrame (2012).

O cálculo para obter o número de viagens é apresentado na Equação 2 abaixo:

$$N = S/C_{lq} \quad [2]$$

na qual: N = número de viagens da draga; S = taxa de sedimentação;  $C_{lq}$  = capacidade líquida da draga in situ, que corresponde à sua capacidade nominal multiplicada pela eficiência no carregamento e pela relação situ x cisterna.

Foi adotada a eficiência no carregamento de 85% e relação situ x cisterna de 77% (Gireli e Vendrame, 2012; Dredgepoint.org, 2013; Dredgepoint.org, 2021; Van Oord e Boskalis, 2018).

As análises foram feitas com as dragas utilizadas entre 2020 e 2023, tal como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados das dragas utilizadas

Ano contrato	Dragas	capacidade nominal na cisterna (m <sup>3</sup> )	velocidade média (nós)
2023	HAM 316	9.602	15
2023	Lelystad	10.329	15,2
2022	De Bougainville	3.700	12,2
2022	HAM 318	23.697	16,6
2021	Seine	4.317	8,9
2021	Ham Jan 4011	4.200	12
2021	Elbe	2.741	11
2020	Seine	4.317	8,9
2020	Afonso de Albuquerque	3.500	11,3
2020	Volvox Olympia	4.883	12,5

Para avaliar o número de viagens diárias realizados pelas dragas foi adotado que (Dredgepoint.org, 2013; Dredgepoint.org, 2021; Van Oord e Boskalis, 2018):

- O tempo de ciclo da draga é a soma do tempo de enchimento da cisterna, tempo de manobra na área (adotado 0,08h), o tempo de viagem de ida/volta do despejo e tempo de descarga (adotado 0,08h);
- O tempo de enchimento da draga foi calculado considerando a carga líquida da draga e uma taxa média de enchimento de 24500 m<sup>3</sup>/h, estimado a partir dos dados obtidos para outras dragas apresentadas em Dredgepoint.org, 2013; Dredgepoint.org, 2021; Van Oord e Boskalis, 2018;

- O tempo de viagem de ida/volta foi calculado considerando a velocidade média da draga dividida pela distância entre o trecho 1 e o despejo (8,71 MN), multiplicado por 2;

O número médio de viagens diárias foi estimado a partir da taxa de sedimentação anual calculada para a cota atual do canal (gabarito 15m) e para as projeções para os gabaritos 16, 17 e 18m, considerando que as dragas operam 24h/dia, 365 dias / ano, de forma que os valores de viagens diárias calculados para uma dada taxa de sedimentação anual correspondem a uma condição hipotética. Além disso, como as taxas de sedimentação não são constantes ao longo do ano, ressalta-se que estas estimativas podem ser bem superiores, dependendo as condições em um dado período.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados o balanço sedimentar, o volume “in situ” de aporte de sedimentos ( $V_e$ ) para todos os períodos analisados. Ressalta-se que o ano de 2019 não será utilizado nas análises por corresponder a uma condição em que o canal estava em processo de alargamento e acomodação do perfil.

Tabela 3 – Balanço sedimentar de todo o período de análise

Item	Lev. inicial	Lev. final	Intervalo (Dias)	$\Delta V$ ( $\times 10^3$ m $^3$ )	$V_d$ ( $\times 10^3$ m $^3$ )	$V_e$ ( $\times 10^3$ m $^3$ )
1	LEV 1	LEV2	56	-923	1861	939
2	LEV 2	LEV 3	110	826	0	826
3	LEV 3	LEV4	33	-493	699	207
4	LEV 4	LEV5	211	-131	16	-115
5	LEV 5	LEV6	25	507	0	507
6	LEV 6	LEV7	62	-952	1676	724
7	LEV 7	LEV8	45	370	693	1064
8	LEV 8	LEV9	42	-992	541	-451
9	LEV 9	LEV10	101	-42	0	-42
10	LEV 10	LEV11	47	-1073	2301	1227
11	LEV 11	LEV12	139	1602	0	1602
12	LEV 12	LEV13	76	95	0	95
<b>13</b>	<b>LEV 13</b>	<b>LEV14</b>	<b>57</b>	<b>-541</b>	<b>2903</b>	<b>2362</b>
14	LEV 14	LEV15	157	1893	0	1893
15	LEV 15	LEV16	41	-522	340	-182
<b>16</b>	<b>LEV 16</b>	<b>LEV17</b>	<b>43</b>	<b>-672</b>	<b>2888</b>	<b>2215</b>
17	LEV 17	LEV18	15	-161	293	132
<b>18</b>	<b>LEV 18</b>	<b>LEV19</b>	<b>16</b>	<b>27</b>	<b>1297</b>	<b>1324</b>
19	LEV 19	LEV20	11	-363	432	70
20	LEV 20	LEV21	5	-25	139	114
21	LEV 21	LEV22	6	-1	0	-1
22	LEV 22	LEV23	62	-365	0	-365
23	LEV 23	LEV24	36	-65	340	275
24	LEV 24	LEV25	68	47	0	47
25	LEV 25	LEV26	30	-221	149	-72

Item	Lev. inicial	Lev. final	Intervalo (Dias)	$\Delta V$ (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	$V_d$ (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	$V_e$ (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
26	LEV 26	LEV27	11	0	0	0
27	LEV 27	LEV28	77	2000	18	2018
<b>28</b>	<b>LEV 28</b>	<b>LEV29</b>	<b>36</b>	<b>-1942</b>	<b>3787</b>	<b>1846</b>
29	LEV 29	LEV30	34	-280	393	113
30	LEV 30	LEV31	117	185	2432	2616
31	LEV 31	LEV32	111	0	428	428
32	LEV 32	LEV33	167	985	0	985
33	LEV 33	LEV34	51	202	0	202
34	LEV 34	LEV35	217	-924	4601	3677
35	LEV 35	LEV36	113	488	430	918
36	LEV 36	LEV37	70	-837	652	-185
37	LEV 37	LEV38	169	1376	89	1464
38	LEV 38	LEV39	64	113	326	440
39	LEV 39	LEV40	101	-468	1007	539
40	LEV 40	LEV41	183	1530	0	1530
41	LEV 41	LEV42	43	-498	631	134
42	LEV 42	LEV43	51	-1257	2046	789
43	LEV 43	LEV44	226	710	0	710
44	LEV 44	LEV45	56	246	1241	1487
45	LEV 45	LEV46	28	-766	1049	284
46	LEV 46	LEV47	164	569	206	775

Na Tabela 4 é apresentada a análise da taxa de sedimentação anual, levando em conta que foram considerados para o ano de 2014 os períodos 1 a 3, para o ano de 2015 os períodos de 5 a 8, para o ano de 2016 os períodos de 10 a 13, para o ano de 2017 os períodos 14 a 23, para o ano de 2018 os períodos 24 a 31, para o ano de 2020 os períodos 34 a 36, para o ano de 2021 os períodos 37 a 39, para o ano de 2022 os períodos de 40 a 42 e para o ano de 2023 os períodos de 44 a 47 (períodos de referência da Tabela 7).

Tabela 4 – Taxas de sedimentação anuais

Número de dias considerados	Ano base	Área (x 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> )	Taxa de sedimentação anual (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)
199	2014	2521,88	3,61
174	2015	2215,19	3,87
319	2016	2516,79	6,05
392	2017	2524,83	5,10
373	2018	2565,31	6,43
400	2020	2745,75	4,02
334	2021	2863,65	2,67
277	2022	2863,79	2,68
248	2023	2866,35	2,78
<b>Média</b>			<b>4,13</b>
<b>Desvio padrão</b>			<b>1,43</b>

Primeiramente em todos os anos de análise foram considerados um número representativo de dias. Observa-se que as taxas de sedimentação obtidas por Gireli & Vendrame (2012) e Carvalho

(2016), de 3,2 e 2,9 milhões de  $m^3/ano$  respectivamente, estão dentro do intervalo médio calculado, mostrando coerência das estimativas realizada por outros autores. As análises de Garcia et al. (2024) que consideraram apenas os anos de 2014, 2017, 2108 e 2019 apontam para uma média de 3,79 milhões de  $m^3/ano$ , que se mostra um pouco menor que a obtida no presente estudo. Contudo, a variabilidade das taxas ao longo dos anos é alta, o que pode ser devido, em parte, à grande diferença entre a cota atualmente mantida por dragagem e a cota de fundo natural da região.

Dada a grande variabilidade das taxas de sedimentação calculadas, foram avaliadas 3 condições de extração das taxas: considerando o valor da taxa de sedimentação para o gabarito 15m igual a média, a média mais o desvio padrão e a média menor o desvio padrão. Sendo assim, nas Tabelas a seguir são apresentados estes resultados.

Tabela 5 – Projeções de taxas de sedimentação para as cotas desejadas considerando a taxa de sedimentação média de  $4,13 \cdot 10^6 m^3/ano$  para cota -15,0 m

profundidade	taxa de sedimentação ( $m^3/ano$ )	área ( $m^2$ )	Taxa de Evolução dos fundos (m/ano)
<b>análise exponencial (<math>R^2 = 0,97</math>)</b>			
16,0	6.856.758	2.683.247	2,56
17,0	12.542.524	2.683.247	4,67
18,0	22.943.044	2.683.247	8,55
<b>análise potência (<math>R^2 = 0,97</math>)</b>			
16,0	6.425.555	2.683.247	2,39
17,0	10.769.847	2.683.247	4,01
18,0	17.526.053	2.683.247	6,53

Tabela 6 – Projeções de taxas de sedimentação para as cotas desejadas considerando a taxa de sedimentação de  $2,71 \cdot 10^6 m^3/ano$  para cota -15,0 m

profundidade	taxa de assoreamento ( $m^3/ano$ )	área ( $m^2$ )	Taxa de Evolução dos fundos (m/ano)
<b>análise exponencial (<math>R^2 = 0,92</math>)</b>			
16,0	6.027.415	2.683.247	2,25
17,0	10.792.682	2.683.247	4,02
18,0	19.325.361	2.683.247	7,20
<b>análise potência (<math>R^2 = 0,92</math>)</b>			
16,0	5.727.826	2.683.247	2,13
17,0	9.477.729	2.683.247	3,53
18,0	15.237.503	2.683.247	5,68

Tabela 7 – Projeções de taxas de sedimentação para as cotas desejadas considerando a taxa de sedimentação de  $5,56 \cdot 10^6 m^3/ano$  para cota -15,0 m

profundidade	taxa de assoreamento ( $m^3/ano$ )	área ( $m^2$ )	Taxa de Evolução dos fundos (m/ano)
<b>análise exponencial (<math>R^2 = 0,87</math>)</b>			
16,0	7.503.486	2.683.247	2,80
17,0	13.932.130	2.683.247	5,19
18,0	25.868.543	2.683.247	9,64
<b>análise potência (<math>R^2 = 0,81</math>)</b>			
16,0	6.963.179	2.683.247	2,60
17,0	11.776.501	2.683.247	4,39
18,0	19.327.567	2.683.247	7,20

Nota-se que, apesar da análise exponencial apresentar um valor de R2 ligeiramente maior, as projeções para as cotas -17,0 e -18,0m DHN parecem estar superestimadas, de forma que as projeções por potência parecem mais coerentes.

Reforça-se que, tal como já explicado anteriormente, como os gabaritos atual e propostos são muito maiores que a profundidade natural do canal, há uma tendência que as taxas médias não refletem adequadamente o que ocorre ao longo do tempo, especialmente em períodos de maior aporte de sedimentos fluviais e de maior incidência de ondas energéticas. Sendo assim, todas as taxas estimadas são apenas uma referência, de forma que é preciso monitorar os fundos continuamente após qualquer intervenção no gabarito. Além disso, seria muito importante que os volumes dragados fossem discretizados pelas áreas de influência do trecho 1 do canal, visto que a sedimentação é muito diferente para cada uma. Estas análises por áreas de influência menores podem auxiliar no controle das dragagens e indicar taxas mais representativas.

Na Tabela 8 são apresentados os números de viagens anuais e diárias necessários para manter o trecho 1 do canal de acesso dragado considerando as taxas sedimentação de 4,13 milhões de  $m^3$  / ano (média), 2,71 milhões de  $m^3$ /ano (média - desvio padrão) e 5,56 milhões de  $m^3$ /ano (média + desvio padrão).

Tabela 8 – Número médio de viagens necessários para dragar o trecho 1 do canal de acesso para condição atual (gabarito 15,0m)

Draga	Taxa de sedimentação média $4,13 \times 10^6 m^3/ano$		Taxa de sedimentação média $2,71 \times 10^6 m^3/ano$		Taxa de sedimentação média $5,56 \times 10^6 m^3/ano$		nº máximo de viagens diárias	nº viagens diárias (8h/dia)
	viagens / ano	viagens / dia	viagens / ano	viagens / dia	viagens / ano	viagens / dia		
HAM 316	658	2	431	2	885	3	14	4
Lelystad	612	2	400	2	823	3	13	4
De Bougainville	1707	5	1117	4	2297	7	13	4
HAM 318	267	1	174	1	359	1	11	3
Seine	1463	5	958	3	1969	6	10	3
Ham Jan 4011	1504	5	984	3	2024	6	13	4
Elbe	2305	7	1508	5	3101	9	12	4
Afonso de Albuquerque	1805	5	1181	4	2428	7	10	3
Volvox Olympia	1294	4	847	3	1741	5	13	4

Nota-se que, apesar de todas as dragas atenderem as taxas atuais de sedimentação considerando que operem 24h/ dia, 365 dias/ ano, em uma situação mais realista as dragas menores não conseguiram manter sozinhas o gabarito na condição desejada. Outro ponto a se ressaltar é que considerando que a taxa anual é constante ao longo do ano, não está se avaliando situações presentes nas análises apresentadas anteriormente, em que em poucos dias há uma sedimentação muito elevada (mais de 300% superior à média mensal), de forma que a operação para retirada do material depositado necessitaria de um tempo maior que estes apresentados na Tabela 8.

Considerando agora as taxas de sedimentação estimadas para os gabaritos 16,0, 17,0 e 18,0m a partir da taxa média anual de 4,13 milhões de  $m^3$  / ano para o gabarito de 15,0m, os valores obtidos estão apresentados na Tabela 9 (valores em vermelho correspondem a números de viagens superiores ao número máximo diário).

Tabela 9 – Número médio de viagens necessários para dragar o trecho 1 do canal de acesso para os gabaritos projetados

Draga	viagens / dia					
	projeção gabarito 16 m		projeção gabarito 17 m		projeção gabarito 18 m	
	exponencial	potência	exponencial	potência	exponencial	potência
HAM 316	4	3	9	5	19	8
Lelystad	4	3	8	5	17	8
De Bougainville	11	8	22	13	48	20
HAM 318	2	2	4	2	8	4
Seine	9	7	19	11	41	17
Ham Jan 4011	9	7	20	11	42	18
Elbe	14	10	30	17	64	27
Afonso de Albuquerque	11	8	23	13	50	21
Volvox Olympia	8	6	17	10	36	15

Nota-se que para os gabaritos 17,0 e 18,0m os números de viagens necessários para realizar a dragagem do trecho são muito altos, de forma que apenas dragas de maior porte seriam capazes de manter sozinhas as taxas médias esperadas. Levando em consideração a variabilidade das taxas ao longo do tempo e a capacidade efetiva de operação, estes valores podem ser substancialmente maiores, aumentando consideravelmente o número de viagens necessárias para cada draga.

## CONCLUSÃO

As análises de sedimentação realizadas para o gabarito atual no Porto (-15m DHN) mostram que há uma grande variabilidade das taxas. Esta variabilidade não ocorria anteriormente, quando o gabarito de dragagem era menor. Espera-se, portanto, que não somente as taxas de sedimentação cresçam com as projeções de gabarito de dragagem para as cotas -16m, -17m e -18m DHN como também essa variabilidade, de forma que podem ocorrer períodos de intensa sedimentação, decorrentes de eventos extremos. Nestes períodos, o parque de dragas previamente contratado pode não ser capaz de atuar de forma rápida para devolver os fundos às cotas exigidas, podendo, com isso, comprometer temporariamente o pleno funcionamento do terminal.

As análises de projeção das taxas de sedimentação para os gabaritos de dragagem nas cotas -16, -17 e -18m DHN mostram-se elevados, especialmente quando são utilizadas as projeções exponenciais. Contudo, mesmo considerando as variações da taxa de -15m DHN entre a média, a média mais o desvio padrão e a média menos o desvio padrão, as taxas previstas para a cota -16m DHN se altera pouco e está coerente com os resultados obtidos nos períodos em que o terminal dragou o canal em cotas próximas a este valor. Já para as cotas -17 e -18m DHN há uma variabilidade maior. Os valores estimados de número de viagens necessários para manter o trecho 1 dragado reforçam as conclusões anteriores e evidenciam a dificuldade técnica em manter o canal apenas por dragagem para os gabaritos de 17 e 18m.

Reforça-se que estas taxas correspondem a valores médios anuais e toda a análise feita para a cota -15m DHN aponta que em períodos específicos houve uma sedimentação mais intensa que chegou a ordem de grandeza dos valores estimados no ano, de forma que os esforços de dragagem necessários tiveram que ser substancialmente maiores que os previstos em contrato. A tendência é que para gabaritos maiores esta situação se agrave, sendo necessário que os contratos prevejam

situações como esta, evitando que o porto fique um período longo operando com profundidades no canal inferiores a cota desejada.

## REFERÊNCIAS

- Demir, H., Otay, E.N., Work, P.A., Börekçi, O.S., 2004. Impacts of Dredging on Shoreline Change. *J. Waterway, Port, Coast., Ocean Eng.* 130 (4), 170—178, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2004\)130:4\(170\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2004)130:4(170)).
- DNIT, D. N. d. I. d. T., Van Oord , M. I. & Boskalis, D. & M. E., 2017. Relatório Diário de Obras. Santos: Contrato 02/2017.
- DREDGEPOINT.ORG. Geopotes 15. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.dredgepoint.org/dredging-database/equipment/geopotes-15-0>. Acesso em: 5 nov. 2023.
- DREDGEPOINT.ORG. Volvox Atalanta. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.dredgepoint.org/dredging-database/equipment/volvox-atalanta>. Acesso em: 6 ago. 2023.
- SPA, S. P. A. & Dragabras, D. E. e. A., 2017. Relatório Diário de Obras. Santos: Contrato DIPRE 98/2016.
- Garcia, P. D., Matheus, D. M., Gireli, T. Z., 2024. Sedimentation analysis of the maritime stretch after dredging activities for widening and deepening Santos' Port Channel. *Ocean & Coastal Management*, Volume 258, ISSN 0964-5691. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107383>.
- Gireli, T. Z. & Vendrame , . R. F., 2012. “Aprofundamento do Porto de Santos Uma Análise Crítica”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* , pp. Volume 17 n.3 - Jul/Set 2012, 49-59.
- Ralston, D. K., Talke, S., Geyer, W. R., Al-Zubaidi, H. A. M., & Sommerfield, C. K. (2019). Bigger tides, less flooding: Effects of dredging on barotropic dynamics in a highly modified estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 196– 211. <https://doi.org/10.1029/2018JC014313>
- SONDOTÉCNICA, 1977. Comportamento hidráulico e sedimentológico do Estuário Santista.
- VAN OORD; BOSKALIS. Projeto De Dragagem Por Resultado Para Readequação Da Geometria Do Canal De Acesso Aquaviário E Dos Berços De Acostagem Do Complexo Portuário De Santos/Sp: Projeto Executivo de Dragagem. 2018. 74 p. v. 1.
- Venancio, K. K., Garcia, P. D., Gireli, T. Z. & Corrêa, T. B., 2020. Hydrodynamic modeling with scenario approach in the evaluation of dredging impacts on coastal erosion in Santos (Brazil). *Ocean and Coastal Management*.
- Žilinskas G., Janušaitė R., Jarmalavičius D., Pupienis D. “The impact of Klaipėda Port entrance channel dredging on the dynamics of coastal zone, Lithuania”, *Oceanologia*, Volume 62, Issue 4, Part A, 2020, Pages 489-500, ISSN 0078-3234. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.08.002>.