

*PLANO BÁSICO AMBIENTAL DA  
DRAGAGEM DE APROFUNDAMENTO  
DO CANAL DE NAVEGAÇÃO DO  
PORTO DE SANTOS*



 **FUNDESPA**  
Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas

**Relatório de Monitoramento da Qualidade dos  
Sedimentos no Trecho 4 do Canal de Navegação  
do Porto de Santos**

**RM - 200213**

## **IDENTIFICAÇÃO**

---

**PRODUTO:** RM-200213 – Relatório de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos no Trecho 4 do Canal de Navegação do Porto de Santos

**DATA:** 20 de fevereiro de 2013.

**PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS NO TRECHO 4 DO  
CANAL DE NAVEGAÇÃO DO PORTO DE SANTOS ..... 1**

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2. METODOLOGIA.....	3
3. RESULTADOS.....	8
4. DISCUSSÃO.....	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
7. ANEXOS.....	31

## Programa de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos no Trecho 4 do Canal de Navegação do Porto de Santos

### 1. Introdução e Objetivos

O canal de navegação do Porto de Santos é dividido em quatro trechos, a Figura 1-1 apresenta essa divisão e indica o local de monitoramento deste programa. A Tabela 1-1 indica as coordenadas que delimitam o Trecho 4.

O presente programa visa à avaliação das condições físico-químicas e ecotoxicológicas dos sedimentos ao longo do Trecho 4 do canal de navegação do Porto de Santos, que abrange a área entre o Armazém 5 e a região da Alemoa.

Tabela 1-1. Coordenadas UTM das seções que abrangem o Trecho 4. As letras A e B na coluna *Seção do Canal de Navegação* indicam a delimitação do Trecho 4 na Figura 1-1.

Seção do Canal de Navegação	Zona	Coordenadas UTM (SAD 69)	
		Easting (mE)	Northing (mN)
Seção 193 + 40 (A)	23 J	365.334,2	7.352.778,7
Seção 246 + 00 (B)	23 J	360.382,2	7.354.455,0

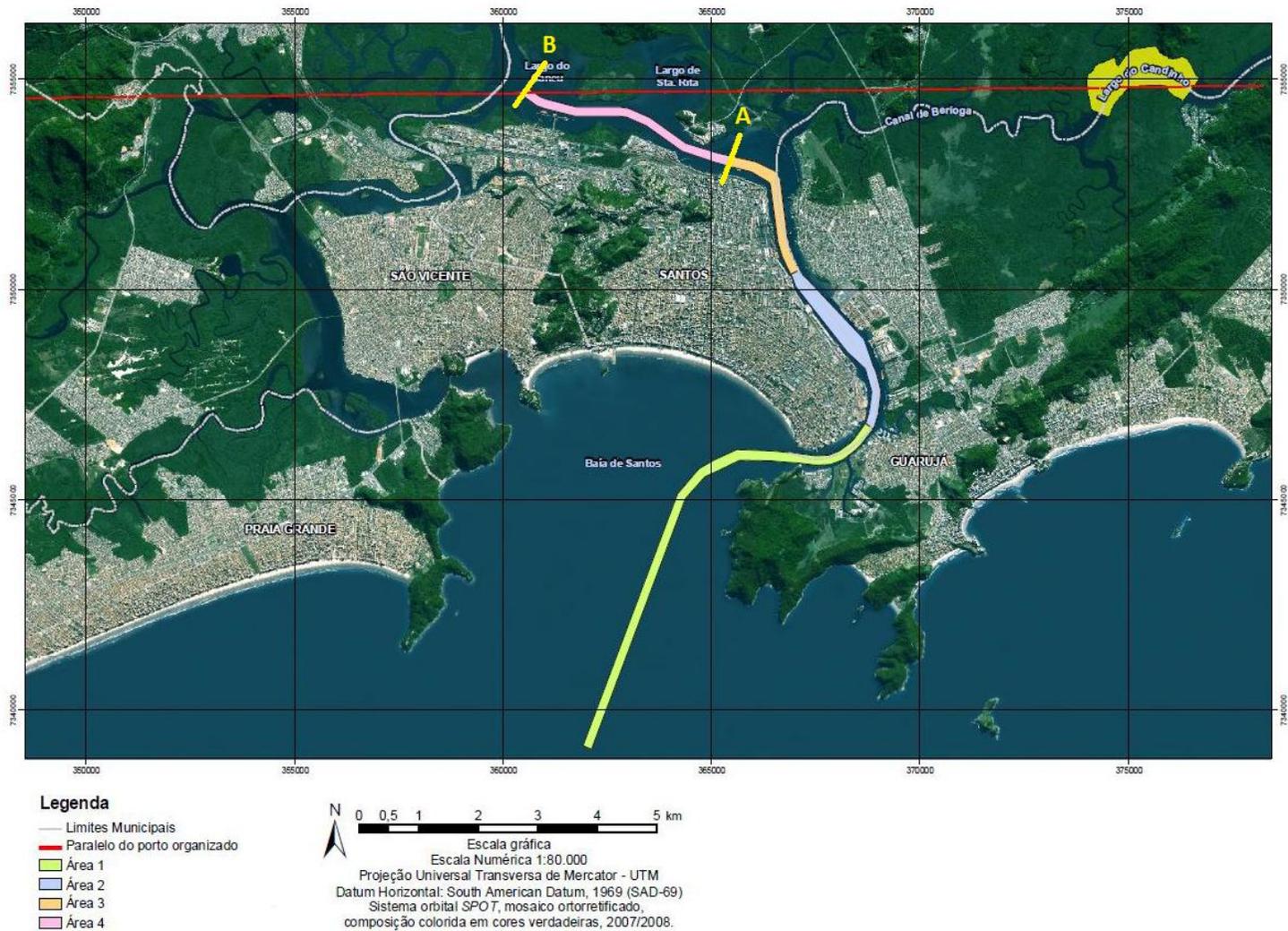


Figura 1-1. Mapa do Canal de Navegação do Porto de Santos, com sua divisão em Trechos. As letras A e B indicam a delimitação do Trecho 4

## 2. Metodologia

### 2.1. Seleção dos Pontos de Amostragem

### 2.2. Procedimentos de Amostragem

As amostras de sedimento superficial são coletadas em tréplica com dragas do tipo *van Veen* de aço inoxidável, podendo contar com o auxílio de mergulhador, caso necessário.

São medidos, em campo os parâmetros pH e  $E_H$  dos sedimentos amostrados. As medidas físico-químicas *in situ* são realizadas em triplicata, com equipamento devidamente calibrado em laboratório acreditado segundo a norma NBR ISO/IEC 17.025:2005 e verificado com padrões rastreáveis ao sistema internacional (SI) de forma a assegurar a calibração do mesmo, a fim de garantir a precisão e exatidão dos resultados de campo. São feitas verificações intermediárias (mínimo de duas ao dia) e os resultados obtidos são plotados em gráficos de controle para avaliação de tendências.

Após a realização das medições *in situ*, as amostras de sedimento, coletadas em triplicata, são homogeneizadas em bandeja de aço inoxidável e armazenadas em frascos específicos para cada analito, previamente etiquetados conforme orientação do laboratório contratado para a realização das análises. As amostras são mantidas sob refrigeração (entre 2 e 6 °C) desde o momento da coleta até a entrega ao laboratório. O preparo de amostras e as respectivas análises são realizadas dentro do *holding time* específico para cada um dos parâmetros investigados em sedimento.

### 2.3. Parâmetros Analisados

Para a avaliação da qualidade físico-química do sedimento na área dragada, os parâmetros analisados compreendem aqueles previstos na Resolução Conama 454/2012 (Brasil, 2012), em vigor durante a elaboração deste programa e da realização das atividades de coleta e análise laboratorial das amostras,

consequentemente, os resultados analíticos obtidos no presente relatório foram comparados aos valores orientadores de Nível 1 e 2 da atual resolução.

Para o monitoramento da qualidade ecotoxicológica são realizados testes de toxicidade crônica, com a água de interface sedimento-água (ISA), utilizando-se embriões de ouriço do mar (*Lytechinus variegatus*) e por recomendação da CETESB, testes de toxicidade aguda, com o sedimento total, utilizando anfípodos escavadores, *Leptocheirus plumulosus*.

A Tabela 2.3-1 apresenta os métodos analíticos e as condições de armazenamento, preservação e prazo de análise para os analitos de interesse.

Tabela 2.3-1. Métodos analíticos para matriz sedimento superficial e as condições de armazenamento, preservação e prazo de análise.

Parâmetros	Método de análise	Prazo para análise	Recipiente de armazenamento	Preservação	Quantidade de amostra
<b>Orgânicos</b>					
Semivoláteis (incluindo HPAs)	EPA 3550C (preparação) ; EPA - SW 846 - 8270C (análise)	14 dias (extração) e 40 dias (análise)	Vidro	Refrigerar a 4 ± 2° C	200 gramas
PCBs	EPA 3550C (preparação) ; EPA SW 846 - 8270C (análise)	14 dias (extração) e 40 dias (análise)	Vidro	Refrigerar a 4 ± 2° C	200 gramas
Carbono Orgânico Total	Apostila 2ª ed - UFRGS (análise)	28 dias (análise)	Plástico ou Vidro	Refrigerar a 4 ± 2 °C	50 gramas
Pesticidas Organoclorados	EPA 3550 (extração) ; EPA 8081B (análise)	14 dias (análise)	Vidro	Refrigerar a 4 ± 2 °C	100 gramas
<b>Química Clássica:</b>					
Nitrogenio Kjeldahl	SM - 4500.Norg.E	28 dias (análise)	Plástico ou Vidro	Refrigerar a 4 ± 2 °C	20 gramas
<b>Geotecnia</b>					
Granulometria	EMBRAPA - 2ª ed - 1997/ ABNT NBR 7181	Não Determinado	Plástico	Não requerida	200 gramas
<b>Metais e P</b>					
Metais totais (exceto Hg)	EPA3050B(preparação) ; EPA 6010C (análise)	6 meses (análise)	Plástico ou Vidro	Refrigerar a 4 ± 2 °C	30 gramas
P total	EPA3050B(preparação) ; EPA 6010C (análise)	28 dias (análise)	Frasco de vidro	Refrigerar a 4±2° C	10 gramas
Mercúrio total	EPA7471B (preparação) ; EPA7471B (análise)	28 dias (análise)	Plástico ou Vidro	Refrigerar a 4 ± 2 °C	30 gramas
<b>Ecotoxicologia</b>					
Toxicidade crônica com ouriço do mar	ABNT NBR 15350	60 dias	saco plástico	Refrigerar entre 4 e 10°C	2 a 3 Kg.
Toxicidade aguda com <i>Leptocheirus plumulosus</i>	ABNT NBR 15638	60 dias	saco plástico	Refrigerar entre 4 e 10°C	2 a 3 Kg.

## **Ensaio Ecotoxicológico – Interface sedimento-água (ISA)**

Os testes de toxicidade crônica são realizados segundo metodologia ABNT 15.350 (2006), com o ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus*, coletados por meio de mergulho livre, na Ilha das Palmas na cidade de Santos (São Paulo).

Machos e fêmeas adultos de ouriço do mar (mínimo três de cada sexo), são estimulados para a liberação de gametas por meio de choque elétrico (35v). Os gametas são coletados separadamente e os óvulos, caracterizados pela coloração amarelo alaranjado, são coletados utilizando-se de um béquer de 400ml contendo água de diluição marinha. Uma subamostra dos óvulos de cada fêmea é observado ao microscópio, a fim de confirmar seu formato e tamanho os quais devem ser redondos, lisos e de tamanho homogêneo. Após a sedimentação dos óvulos, é descartado o sobrenadante, filtrado através de malha de 350 µm e acrescentada água marinha filtrada, elevando assim, o volume para 600 ml, este processo de lavagem dos óvulos é repetido por três vezes. Os espermatozoides de coloração branca são coletados diretamente dos gonopóros, utilizando uma micropipeta e depois mantidos em um béquer armazenado em um recipiente com gelo até o momento da fertilização. Uma solução de esperma é preparada utilizando 1 a 2 ml de espermatozóide e 25 ml de água de diluição marinha, homogeneizando-se bem para dissolução dos grumos.

Para a fecundação são acrescentados 1 a 2 ml da solução de espermas ao recipiente contendo os óvulos, sempre mantendo uma leve agitação. Após 10 minutos, são tomadas três subamostras de 1 ml para contagem de ovos com o auxílio de câmara de Sedgwick-Rafter. Calculada a media entre as três subamostras, é estimado o volume da solução que contém 300 ovos. Este volume é acrescentado aos recipientes teste utilizando-se uma pipeta automática, não ultrapassando 1% do volume da solução teste.

Os ensaios são conduzidos em tubos de ensaio de 15 ml nos quais, para cada amostra, são montadas 4 réplicas. Para cada réplica são adicionados 2,0 ml do sedimento utilizando uma seringa de 5 ml, em seguida, sobre o sedimento é colocado uma rede de plâncton (45 µm) fixada por um anel plástico (Figura 2.3-1), sendo então adicionados 8,0 ml de água de diluição marinha, utilizando-se de uma pipeta automática conforme descrito em Cesar *et al.*, 2004.

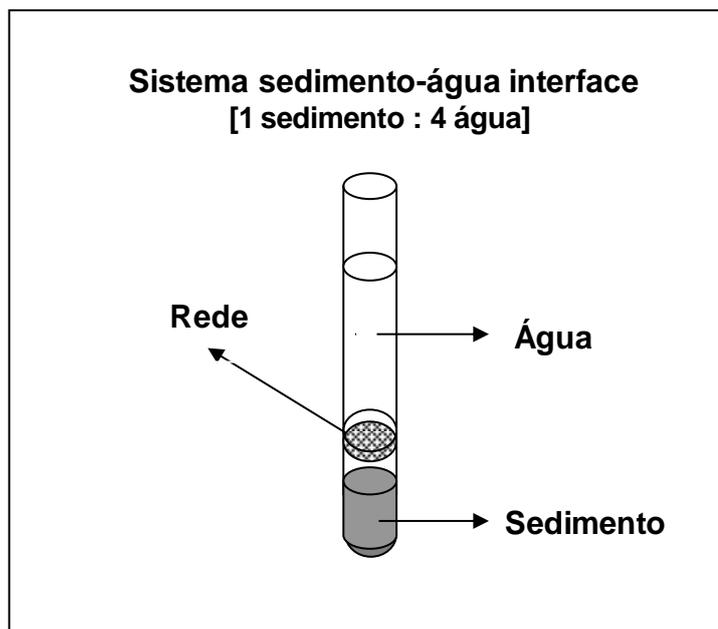


Figura 2.3-1. Sistema para montagem do ISA (Interface Sedimento-Água)

Os experimentos são mantidos em câmara incubadora sob temperatura constante de  $25 \pm 2$  °C e fotoperíodo de 12h/12h. Entre o período de 24 a 28 h, as larvas dos controles são analisadas quanto ao desenvolvimento. Os testes são encerrados assim que 80% das larvas atingiram o estágio de *Pluteus*, sendo os embriões fixados pela adição de 0,5 ml de formaldeído tamponado com borax aos frascos teste.

Após a fixação, procede-se a leitura do estágio de desenvolvimento dos 100 primeiros organismos de cada réplica, onde é avaliado o desenvolvimento normal das larvas até o estágio equinopluteus. É anotado o número de larvas normais, bem como o número de larvas mal formadas ou com desenvolvimento anômalo para posterior análise estatística (teste t - Bioequivalência).

### Ensaio Ecotoxicológicos – Sedimento Total

A metodologia utilizada para a execução dos testes de toxicidade aguda segue os procedimentos recomendados pela ABNT 15.638 (2008). Os testes de toxicidade aguda, com o anfípoda *Leptocheirus plumulosus*, são realizados utilizando-se três réplicas para cada amostra. São transferidas alíquotas de cerca de 175,0 ml de sedimento em cada frasco-teste e adicionados 725,0 ml de água

de diluição com auxílio de um disco plástico para minimizar a ressuspensão dos sedimentos. Em cada frasco é introduzida aeração suave na superfície da água e o conjunto é mantido sob repouso por 24 horas antes do início do teste.

Animais em boas condições são distribuídos aleatoriamente nos frascos-teste, sendo utilizados vinte animais em cada réplica. Grupos de vinte animais em três réplicas são colocados em um sedimento-controle, o mesmo utilizado na manutenção dos organismos.

Ao final de 10 dias de exposição, o sedimento contido em cada réplica é peneirado, através de uma malha de 0,5 mm, os organismos sobreviventes são contados e os organismos não encontrados são considerados mortos.

Nos dias 0, 7, 9 e 10 são realizadas análises de pH, salinidade e teor de oxigênio dissolvido da água de interface do controle e de cada amostra. As alíquotas de água para estas análises são cuidadosamente coletadas na interface água-sedimento, cerca de 1 cm acima da superfície do sedimento, formando uma amostra composta por alíquotas de cada réplica.

É preparada uma réplica adicional do controle e de cada amostra, sem adição de animais, para realização de análises de pH, salinidade, teor de oxigênio dissolvido da água intersticial do sedimento no início e no final dos testes, além de nitrogênio amoniacal e amônia não ionizada, no início do teste. Estas amostras de água intersticial são obtidas através da centrifugação do sedimento por 30 minutos a 3.500 rpm.

Os valores de amônia não ionizada são obtidos por cálculo a partir dos valores de nitrogênio amoniacal, pH, salinidade e temperatura de cada amostra conforme descrito por Bower & Bidwell (1978).

Após 10 dias de exposição, a mortalidade dos organismos das amostras é comparada com a do controle, utilizando-se as seguintes análises estatísticas:

- Teste de normalidade do Chi-Quadrado (Zar, 1999);
- Teste-F para homogeneidade de variância (Zar, 1999), e

- Teste de hipóteses por bioequivalência (Erickson & McDonald, 1995), com aplicação da constante de proporcionalidade (“r”) de 0,80, calculada para a espécie *Leptocheirus plumulosus* (Prósperi *et al.*, 2008).

### 3. Resultados

A campanha de amostragem no Trecho 4 foi realizada no dia 18 de dezembro de 2012. A Figura 3-1 apresenta a localização dos pontos amostrais ao longo do Trecho 4.

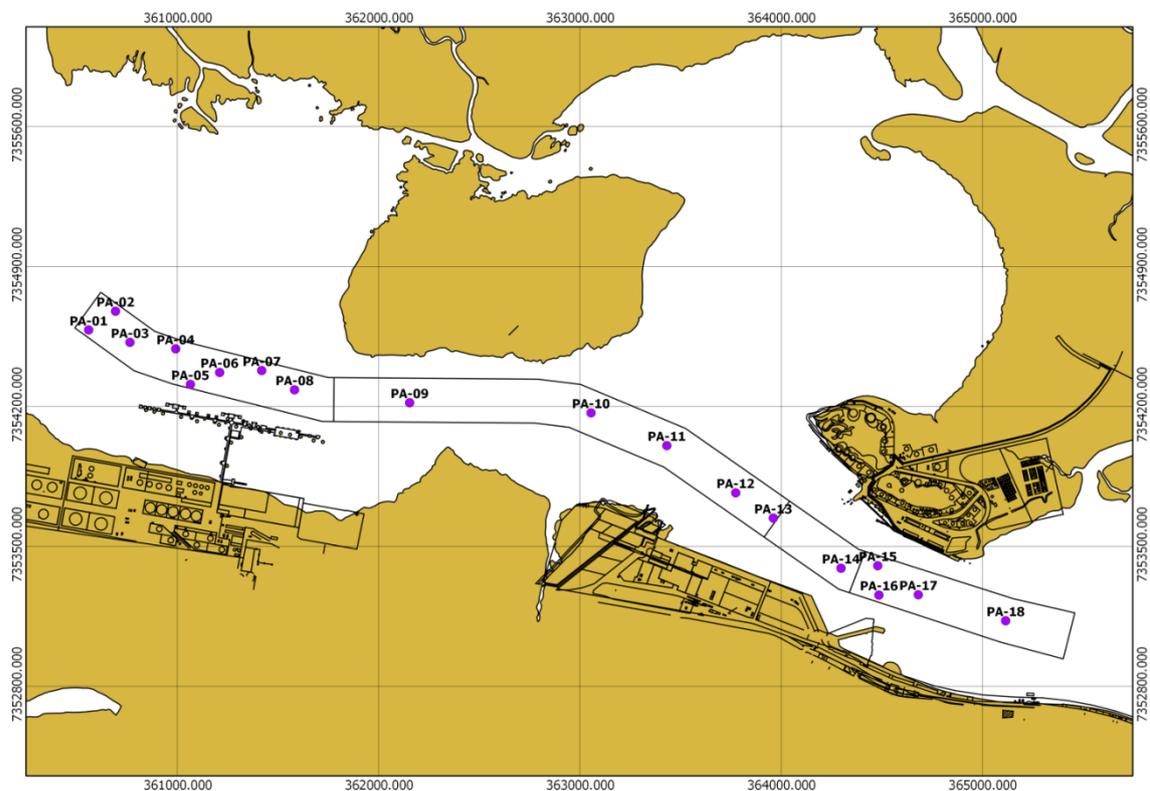


Figura 3-1. Localização dos pontos de coleta de sedimento, Trecho 4.

A seguir são apresentados os resultados das análises das amostras de sedimento coletadas no Trecho 4.

### Análise físico-química *in situ* (sedimento)

A Tabela 3-1 apresenta a média dos resultados das medições físico-químicas realizadas *in situ* nas amostras de sedimento coletadas no Trecho 4. Os parâmetros físico-químicos não apresentaram variações entre as amostras, o pH apresentou valores entre 6,09 e 7,14, característicos de ambientes estuarinos com influência de aporte continental. A temperatura média dentre as 15 amostras foi de 24,5°C.

Os valores de  $E_H$  observados, entre -206,4 e -136,5 mV, são característicos de ambientes estuarinos redutores, como já observado nas amostras tanto de superfície como de profundidade (até 2 metros) analisadas durante o EIA/RIMA (FRF,2008). No entanto, embora ainda com características redutoras ( $E_H$  médio de -175,8 mV) o sedimento amostrado durante esta caracterização apresenta-se menos anóxico, com valores superiores de  $E_H$  comparado aos valores observados no EIA/RIMA ( $E_H$  médio de -293 mV, com mínimo de -415 mV).

Tabela 3-1. Resultados das medições de parâmetros físico-químicos *in situ* do sedimento do Trecho 4.

Ponto	$E_H$ (mV)	pH (unidade)	Temperatura (°C)
PA-01	-205,1	6,86	24,6
PA-02	-166,5	7,10	24,6
PA-03	-206,4	6,96	24,3
PA-04	-172,1	7,07	24,5
PA-05	-196,4	6,99	23,7
PA-06	-166,0	6,98	24,2
PA-07	-179,3	7,05	24,3
PA-08	-184,9	7,09	23,6
PA-09	-201,7	7,11	24,2
PA-10	-173,1	7,03	24,3
PA-11	-161,7	6,99	24,7
PA-12	-181,8	6,09	24,3
PA-13	-198,0	7,12	24,6
PA-14	-151,5	7,10	25,1
PA-15	-183,3	7,07	24,5
PA-16	-147,6	7,12	25,3
PA-17	-136,5	7,14	25,2
PA-18	-151,8	7,10	24,6

### **Análises químicas e granulométrica**

A seguir são apresentados os resultados da análise química e granulométrica das amostras de sedimento coletadas no Trecho 4, estes resultados foram comparados com a Resolução Conama 454/2012 (Brasil, 2012), publicada no DOU em 08 de novembro de 2012, a qual revoga a Resolução Conama 344/2004. Com a publicação desta nova resolução, novos valores orientadores para classificação do material a ser dragado passam a ser adotados a fim de direcionar o gerenciamento do material dragado.

Os laudos das análises químicas das 18 amostras coletadas encontram-se no Anexo 7-1.

### **Metais e semimetais**

Os resultados analíticos determinados para metais e semimetais nas amostras de sedimento coletadas no Trecho 4 são apresentados na Tabela 3-2, em comparação a Resolução Conama 454/2012 (Brasil, 2012).

Foram quantificados os metais: chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco em todas as amostras coletadas, e todos apresentaram concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 454/2012 (Tabela 3-3).

Os metais mercúrio e cádmio e o semimetal arsênio apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação do método analítico em todas as amostras analisadas.

Tabela 3-2. Resultados da análise de metais e semimetal arsênio (mg/Kg) para as amostras de sedimento do Trecho 4.

Metais e Arsênio												
Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04		Pontos de Coleta								
		Nível 1	Nível 2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Arsênio Total	mg/kg	19	70	< 1,37	< 1,07	< 1,43	< 1,32	< 1,38	< 1,48	< 1,26	< 1,49	< 1,25
Cádmio Total	mg/kg	1,2	7,2	< 0,916	< 0,714	< 0,951	< 0,877	< 0,919	< 0,984	< 0,839	< 0,996	< 0,836
Chumbo Total	mg/kg	46,7	218	18,7	13,3	19,3	18,4	23	26,8	20,7	20,3	18,4
Cobre Total	mg/kg	34	270	13,9	11,7	16,5	13,5	18,5	15,6	14,5	14,7	12,7
Cromo Total	mg/kg	81	370	30,2	22,2	31,4	25,7	30,6	30,6	27,4	29,7	25,3
Mercúrio Total	mg/kg	0,3	1	< 0,110	< 0,0857	< 0,114	< 0,105	< 0,110	< 0,118	< 0,101	< 0,120	< 0,100
Níquel Total	mg/kg	20,9	51,6	10,7	8,33	11,1	9,13	10,7	10,8	9,84	10,2	8,89
Zinco Total	mg/kg	150	410	67,3	50,9	74,6	61,6	72,2	74,7	64,7	67,7	60,1

Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04		Pontos de Coleta								
		Nível 1	Nível 2	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Arsênio Total	mg/kg	19	70	< 0,966	< 1,01	< 0,974	< 1,14	< 1,37	< 1,10	< 0,938	< 1,00	< 0,919
Cádmio Total	mg/kg	1,2	7,2	< 0,644	< 0,673	< 0,649	< 0,758	< 0,916	< 0,735	< 0,625	< 0,668	< 0,613
Chumbo Total	mg/kg	46,7	218	10,5	13	11,7	16,4	19,9	15,9	13,7	15,2	12,1
Cobre Total	mg/kg	34	270	7,06	8,82	8,48	11	11,5	12,2	8,5	9,08	7,66
Cromo Total	mg/kg	81	370	18,5	21,2	21,1	24,8	30,6	26,4	19	21,1	19,5
Mercúrio Total	mg/kg	0,3	1	< 0,0773	< 0,0808	< 0,0779	< 0,0909	< 0,0750	< 0,0882	< 0,0750	< 0,0802	< 0,0735
Níquel Total	mg/kg	20,9	51,6	6,93	7,4	7,27	8,3	10,5	8,61	6,53	7,65	6,65
Zinco Total	mg/kg	150	410	36,6	47	44,3	55,6	61,1	56,9	40,5	45,7	43,9

**Legenda:** Valor Entre Nível 1 e Nível 2.  
 Valor Acima do Nível 2.

### Demais parâmetros analisados

A análise das amostras de sedimento em relação aos compostos de bifenilas policloradas totais (PCB) e pesticidas organoclorados (POC) apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação (LQ) do método analítico utilizado para todas as amostras (Tabela 3-3).

Tabela 3-3. Resultados da análise de bifenilas policloradas totais (PCB) e Pesticidas Organoclorados ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) nas amostras de sedimento do Trecho 4.

Pesticidas Organoclorados												
Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04		Pontos de Coleta								
		Nível 1	Nível 2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
a-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
b-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
d-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
g-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
a-Clordano	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,26	4,79	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
g-Clordano	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,26	4,79	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
DDD	$\mu\text{g}/\text{kg}$	1,22	7,81	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
DDE	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,07	374	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
DDT	$\mu\text{g}/\text{kg}$	1,19	4,77	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
Dieldrin	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,71	4,3	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
Endrin	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,67	62,4	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2013	< 0,2390
Bifenilas Policloradas ou PCBs												
Bifenilas Policloradas Totais	$\mu\text{g}/\text{kg}$	22,7	180	< 0,2198	< 0,1714	< 0,2281	< 0,2105	< 0,2206	< 0,2362	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2007

Pesticidas Organoclorados												
Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04		Pontos de Coleta								
		Nível 1	Nível 2	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
a-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
b-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
d-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
g-BHC	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,32	0,99	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
a-Clordano	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,26	4,79	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
g-Clordano	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,26	4,79	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
DDD	$\mu\text{g}/\text{kg}$	1,22	7,81	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
DDE	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,07	374	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
DDT	$\mu\text{g}/\text{kg}$	1,19	4,77	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
Dieldrin	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,71	4,3	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
Endrin	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2,67	62,4	< 0,2007	< 0,1546	< 0,2013	< 0,2390	< 0,2362	< 0,2206	< 0,2390	< 0,2020	< 0,1770
Bifenilas Policloradas ou PCBs												
Bifenilas Policloradas Totais	$\mu\text{g}/\text{kg}$	22,7	180	< 0,1546	< 0,1616	< 0,1558	< 0,1818	< 0,1500	< 0,1765	< 0,1500	< 0,1604	< 0,1471

Entre os 17 compostos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) analisados, todos apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do método analítico utilizado (Tabela 3-4).

Tabela 3-4. Resultados da análise de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) (µg/Kg) nas amostras de sedimento do Trecho 4.

Parâmetros	Unidade	Resolução		Pontos de Coleta																		
		CONAMA 454/04		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
		Nível 1	Nível 2																			
Benzo(a)antraceno	Grupo A	µg/kg	74,8	693,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Benzo(a)pireno		µg/kg	88,8	763,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Criseno		µg/kg	108,0	846,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Dibenzo(a,h)antraceno		µg/kg	6,2	135,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Acenafteno	Grupo B	µg/kg	16,0	500,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Acenaftileno		µg/kg	44,0	640,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Antraceno		µg/kg	85,3	1100,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Fenantreno		µg/kg	240,0	1500,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Fluoranteno		µg/kg	600,0	5100,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Fluoreno		µg/kg	19,0	540,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
2-Metilnaftaleno		µg/kg	70,0	670,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Naftaleno		µg/kg	160,0	2100,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Pireno		µg/kg	665,0	2600,0	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Benzo(k)fluoranteno		µg/kg	-	-	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Benzo(g,h,i)perileno		µg/kg	-	-	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Indeno(1,2,3-cd)pireno		µg/kg	-	-	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35
Benzo(b)fluoranteno		µg/kg	-	-	< 10,99	< 8,57	< 11,41	< 10,53	< 11,03	< 11,81	< 10,07	< 11,95	< 10,03	< 7,73	< 8,08	< 7,79	< 9,09	< 7,50	< 8,82	< 7,50	< 8,02	< 7,35

Conforme a Resolução Conama 454/2012, o composto Tributilestanho foi analisado nas 18 amostras e apresentou concentração abaixo do limite de quantificação em todos os 18 pontos de coleta.

As amostras analisadas apresentaram concentrações de COT, NKT e fósforo total inferiores aos valores de alerta estabelecidos na Resolução Conama 454/2012, com concentrações entre 2,56 e 5,03 % para carbono orgânico total, entre 271,6 a 724,7 mg/Kg para fósforo total e entre 666,8 a 2029,2 mg/Kg para nitrogênio Kjeldahl total (Tabela 3-5).

Tabela 3-5. Resultados da análise de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Kjeldahl Total e Fósforo Total nas amostras de sedimento do Trecho 4.

Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04	Pontos de Coleta								
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Carbono Orgânico Total	%	10	4,65	2,61	5,03	4,11	4,79	4,94	4,54	4,82	3,78
Fósforo Total	mg/kg	2000	575,9	417,9	682,7	558,9	724,7	665,2	545,3	581,9	495,3
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/kg	4800	1612,5	1025,9	1684,9	1590,6	2029,2	1633,1	1345,8	1656,1	1386,8

Parâmetros	Unidade	Resolução CONAMA 454/04	Pontos de Coleta									
			P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
Carbono Orgânico Total	%	10	2,82	3,81	3,02	4,34	2,95	2,96	3,44	2,91	2,56	
Fósforo Total	mg/kg	2000	271,6	344,8	340,8	460,2	523,4	428,2	304,4	360	320,2	
Nitrogênio Kjeldahl Total	mg/kg	4800	666,8	851,9	969,9	1288,6	1284,9	1056,8	866,3	1008	785,6	

### Análise granulométrica

As análises para caracterização física dos sedimentos, considerando as 18 amostras obtidas no Trecho 4, indicam que na maioria dos pontos amostrais ocorreu um predomínio de frações mais finas de sedimento (argila, silte e areia muito fina), sendo que a fração dominante ao longo dos pontos amostrais correspondeu à fração silte (Tabela 3-6).

Os resultados da atual caracterização física do sedimento são similares àqueles observados durante as amostragens realizadas em 2006 para a elaboração do EIA/RIMA para o aprofundamento do Canal de navegação do Porto de Santos (FRF, 2008) para profundidades de até 2 metros, considerando cota batimétrica anterior ao início das atividades de dragagem, com alteração apenas

do predomínio da fração de argila, como dominante ao longo dos pontos amostrais durante o EIA/RIMA para predomínio da fração de silte ao longo deste monitoramento.

Tabela 3-6. Resultados da análise granulométrica para o sedimento do Trecho 4.

Fração	Unidade	Pontos de Coleta								
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Argila	%	37,8	22,8	39,1	36,6	42,9	43,6	42,5	46,4	36,2
Silte	%	50,2	53,8	55,3	53,6	52,6	51,5	52	50,7	47,5
Areia Muito Fina	%	11,7	5,8	5,13	9,43	4,23	4,57	5,19	2,56	15,9
Areia Fina	%	0,166	14,4	0,267	0,206	< 0,100	0,133	0,121	0,11	0,169
Areia Média	%	0,222	2,98	0,163	0,183	< 0,100	0,138	0,118	< 0,100	0,184
Areia Grossa	%	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Areia Muito Grossa	%	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Areia Total	%	12,1	23,2	5,56	9,82	4,35	4,84	5,43	2,77	16,2

Fração	Unidade	Pontos de Coleta								
		P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Argila	%	36,7	29,1	29,5	32,7	27,1	32,4	31,4	30,7	23,8
Silte	%	42,5	43,5	39,3	45,9	34,7	41,8	38,3	46,4	32,2
Areia Muito Fina	%	20,3	26,7	30,2	20,5	36,3	24,5	29	21,4	42,7
Areia Fina	%	0,182	0,349	0,413	0,476	0,722	0,544	0,385	0,667	0,564
Areia Média	%	0,221	0,306	0,45	0,219	0,926	0,259	0,843	0,607	0,608
Areia Grossa	%	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Areia Muito Grossa	%	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Areia Total	%	20,7	27,3	31,1	21,2	38	25,3	30,3	22,7	43,9

### C. Ensaio Ecotoxicológicos – ISA (Interface sedimento-água)

Análises ecotoxicológicas, com o ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus*, foram realizadas em 18 amostras de sedimento de superfície do Trecho 4 do canal do Porto de Santos. Os laudos dos testes de toxicidade crônica, com *Lytechinus variegatus* na interface sedimento-água, encontram-se no Anexo 7-2.

Foram medidos parâmetros físicos e químicos na fração aquosa, no início e no fim do teste de toxicidade crônica, como temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), pH, salinidade, amônia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - mg/L) e amônia não ionizada (NH<sub>3</sub> - mg/L). Nas Tabelas 3-7 e 3-8 são apresentados os parâmetros físicos e químicos e os

resultados do teste de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus*, respectivamente, para a Campanha IV. Na Figura 3-2 são apresentados as porcentagens de larvas normais, com seus respectivos desvios-padrão, calculadas a partir dos dados das quatro réplicas, para cada amostra.

Tabela 3-7. Parâmetros físico-químicos medidos na fração aquosa, no início e no fim do teste de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus*, do sedimento do Trecho 4.

Amostra	Análises Físico-Químicas							
	T °C	O.D (mg/L)	pH	Sal.	S <sup>2-</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> S (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)
Controle	25	6,9	8,04	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	25	6,8	7,99	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P1	25	4,2	7,37	35	n.a.	n.a.	1,75	0,020
	25	3,8	7,27	38	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P2	25	6,1	7,69	34	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.
	25	7,4	7,78	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P3	25	6,0	7,73	34	n.a.	n.a.	1,89	0,046
	25	7,3	7,89	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P4	25	6,6	7,70	34	n.a.	n.a.	1,65	0,040
	25	7,5	7,88	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P5	25	5,9	7,77	34	n.a.	n.a.	1,68	0,040
	25	7,6	7,89	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P6	25	6,3	7,69	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	25	7,2	7,98	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P7	25	6,3	7,72	34	n.a.	n.a.	1,09	0,026
	25	7,3	7,88	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P8	25	6,1	7,81	34	n.a.	n.a.	3,01	0,087
	25	6,6	8,00	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P9	25	4,5	7,51	35	n.a.	n.a.	0,25	n.d.
	25	5,7	7,79	38	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P10	25	5,5	7,77	34	n.a.	n.a.	2,14	0,060
	25	6,3	7,62	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P11	25	7,2	7,48	35	n.a.	n.a.	0,14	0,002
	25	4,2	7,26	37	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P12	25	5,7	7,65	35	n.a.	n.a.	2,03	0,041
	25	6,3	7,97	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P13	25	5,7	7,69	35	n.a.	n.a.	0,18	n.d.
	25	7,1	7,90	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P14	25	5,6	7,76	34	n.a.	n.a.	0,11	n.d.
	25	6,8	7,89	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P15	25	6,1	7,68	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	25	6,6	7,63	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P16	25	6,1	7,80	35	n.a.	n.a.	n.d.	n.d.
	25	7,3	7,68	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P17	25	5,4	7,63	35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	25	4,3	7,29	36	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
P18	25	6,5	7,80	34	n.a.	n.a.	0,35	0,010
	25	7,0	7,95	34	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

**Legenda:** Valor Acima ou igual ao limite (0,05 mg/L) para *Lytechinus variegatus*

n.a: não analisado

n.d: não detectado

Tabela 3-8. Efeito tóxico observado no teste de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus* para as amostras de sedimento, coletado no Trecho 4.

Amostra	Nº de larvas normais				Total Normais/ Total Observados	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Resultado
	R1	R2	R3	R4				
Controle	92	95	86	90	363/400	90,75	3,77	-
<b>P1</b>	87	85	80	86	338/400	84,50	3,11	Não tóxico
<b>P2</b>	93	93	87	82	355/400	88,75	5,32	Não tóxico
<b>P3</b>	90	82	87	83	342/400	85,50	3,70	Não tóxico
<b>P4</b>	90	93	98	93	374/400	93,50	3,32	Não tóxico
<b>P5</b>	83	87	85	85	340/400	85,00	1,63	Não tóxico
<b>P6</b>	87	85	82	83	337/400	84,25	2,22	Não tóxico
<b>P7</b>	82	96	91	87	356/400	89,00	5,94	Não tóxico
<b>P8</b>	0	5	0	0	5/400	1,25	2,50	Tóxico
<b>P9</b>	83	85	77	93	338/400	84,50	6,61	Não tóxico
<b>P10</b>	55	65	50	64	234/400	58,50	7,23	Tóxico
<b>P11</b>	85	87	94	90	356/400	89,00	3,92	Não tóxico
<b>P12</b>	70	76	74	70	290/400	72,50	3,00	Tóxico
<b>P13</b>	85	82	87	91	345/400	86,25	3,77	Não tóxico
<b>P14</b>	84	82	90	86	342/400	85,50	3,42	Não tóxico
<b>P15</b>	85	77	79	87	328/400	82,00	4,76	Não tóxico
<b>P16</b>	85	91	92	88	356/400	89,00	3,16	Não tóxico
<b>P17</b>	87	90	93	82	352/400	88,00	4,69	Não tóxico
<b>P18</b>	91	83	89	85	348/400	87,00	3,65	Não tóxico

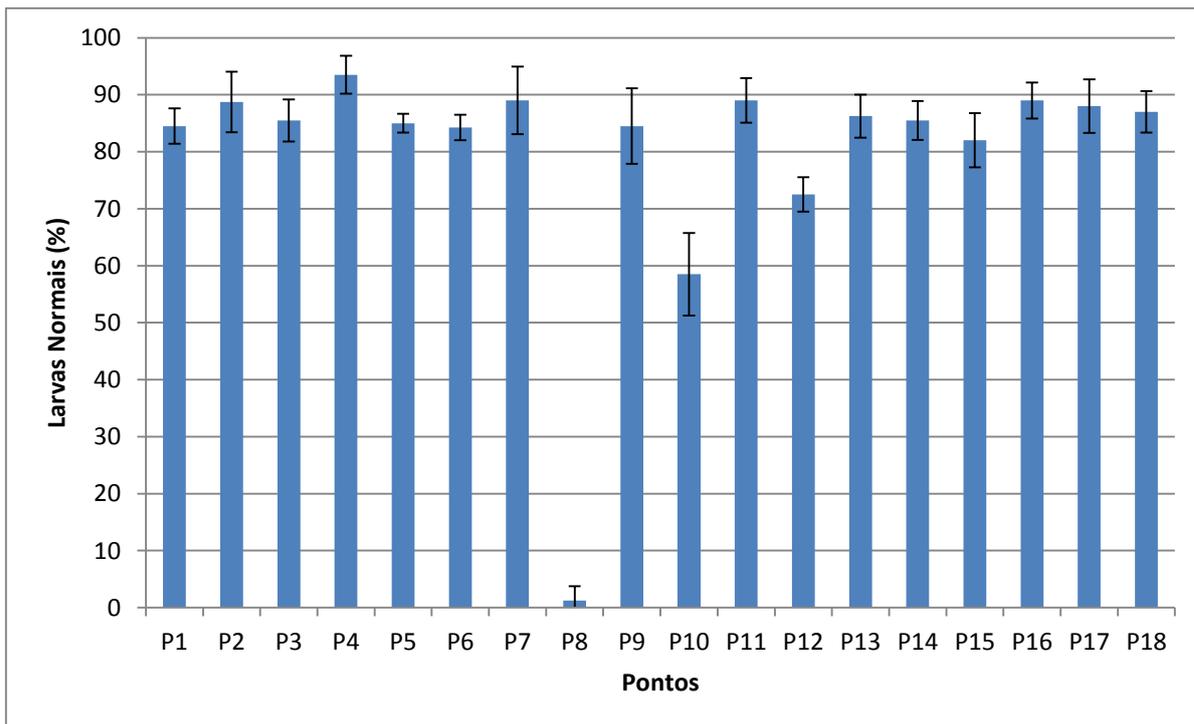


Figura 3-2. Porcentagens de larvas (*Lytechinus variegatus*) normais, com seus respectivos desvios-padrão, encontradas para cada amostra, coletada no Trecho 4.

De acordo com o tratamento estatístico aplicado, foi verificado que somente 3 amostras (P8, P10 e P12) apresentaram toxicidade crônica para *Lytechinus variegatus* em comparação com o controle.

A concentração recomendada de amônia não ionizada limite, no início do teste é de 0,05 mg/L para a espécie de ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus* (Prósperi, 2002). As amostras P8 e P10 apresentaram concentração de amônia não ionizada acima deste limite recomendado, podendo o efeito ecotoxicológico ser explicado por essa concentração, o restante das amostras analisadas estiveram dentro deste limite.

A sensibilidade dos indivíduos de *Lytechinus variegatus* utilizados no teste com sedimento foi estimada através do teste com substância de referência – Sulfato de Zinco (ZnSO<sub>4</sub>). A concentração letal mediana (CL<sub>50</sub>; 24h) obtido foi: 0,18 mg Zn/L. O valor obtido está dentro da faixa aceitável (0,10 – 0,22 mg/L ZnSO<sub>4</sub>) conforme carta controle.

#### **D. Ensaio Ecotoxicológicos - Sedimento Total**

Análises ecotoxicológicas, com o anfípoda *Leptocheirus plumulosus*, foram realizadas em 18 amostras de sedimento de superfície do Trecho 4 do canal do Porto de Santos. Os laudos dos testes de toxicidade aguda, com *Leptocheirus plumulosus* no sedimento total encontram-se no Anexo 7-3.

Os parâmetros físicos e químicos medidos na água de interface no início e no fim do teste de toxicidade aguda, como pH, salinidade e oxigênio dissolvido (mg/L), estão apresentados na Tabela 3-7. Já as análises de pH, salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L), temperatura (°C), nitrogênio amoniacal (mg/L) e amônia não ionizada (NH<sub>3</sub> - mg/L), realizadas na água intersticial do sedimento no início e no fim do teste, estão apresentados na Tabela 3-8.

Paralelamente aos testes com as amostras coletadas foi realizado um controle laboratorial. Os resultados obtidos para este controle também se encontram nas tabelas a seguir.

A Tabela 3-9 apresenta os resultados do teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus* nas 18 amostras coletadas no trecho 4. Os valores obtidos estão dentro da faixa estabelecida para a aceitação dos resultados (ABNT, 2008). Na Figura 3-4 são apresentados as mortalidades, com seus respectivos desvios-padrão, calculadas a partir dos dados das três réplicas, para cada amostra.

Tabela 3-7. Parâmetros físico-químicos medidos na água de interface sedimento-água, no início e no fim do teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus*, das amostras de sedimento coletadas no Trecho 4.

Amostra	pH		Salinidade (‰)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>Controle</b>	8,07	8,43	20	21	6,11	6,69
<b>P1</b>	8,21	8,34	20	24	5,25	6,61
<b>P2</b>	8,08	8,49	20	22	4,86	6,61
<b>P3</b>	8,32	8,67	20	23	5,15	6,59
<b>P4</b>	8,25	8,61	20	23	5,06	6,48
<b>P5</b>	8,32	8,68	20	25	5,22	6,27
<b>P6</b>	8,35	8,71	21	25	5,01	6,35
<b>P7</b>	8,22	8,46	21	25	5,11	6,40
<b>P8</b>	8,33	8,64	21	25	5,23	6,41
<b>P9</b>	8,13	8,39	21	25	5,48	6,33
<b>P10</b>	8,19	8,34	20	23	5,42	6,61
<b>P11</b>	8,08	8,41	20	24	5,08	6,34
<b>P12</b>	8,21	8,44	21	23	5,53	6,57
<b>Controle</b>	7,95	8,35	20	20	6,46	6,71
<b>P13</b>	8,00	8,40	21	23	6,19	6,38
<b>P14</b>	8,03	8,53	21	22	6,22	6,32
<b>P15</b>	8,06	8,54	21	23	6,12	6,19
<b>P16</b>	8,00	8,52	21	22	5,91	6,41
<b>P17</b>	8,01	8,56	21	23	5,84	6,33
<b>P18</b>	8,04	8,56	21	24	6,05	6,27

Tabela 3-8. Parâmetros físico-químicos medidos na água intersticial do sedimento, no início e no fim do teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus*, coletado no Trecho 4.

Amostra	pH		Salinidade (‰)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)		Temperatura (°C)		Nitrogênio Amoniacal (mg/L)		Amônia não ionizada (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
<b>Controle</b>	7,94	7,70	22	21	4,80	5,39	24,4	26,0	1,00	-	0,041	-
<b>P1</b>	7,51	7,74	31	22	3,88	5,59	24,4	26,0	22,00	-	0,317	-
<b>P2</b>	7,48	7,64	30	23	3,60	5,58	24,4	26,0	18,50	-	0,249	-
<b>P3</b>	7,56	7,70	32	23	2,91	4,92	24,4	26,0	38,33	-	0,620	-
<b>P4</b>	7,60	7,82	32	22	3,78	5,01	24,4	26,0	32,50	-	0,575	-
<b>P5</b>	7,57	7,98	32	22	3,36	4,75	24,4	26,0	34,17	-	0,565	-
<b>P6</b>	7,53	7,86	32	22	3,46	4,96	24,4	26,0	38,33	-	0,579	-
<b>P7</b>	7,42	7,80	32	21	3,35	5,01	24,4	26,0	25,00	-	0,294	-
<b>P8</b>	7,66	7,82	34	22	3,85	4,74	24,4	26,0	87,50	-	1,733	-
<b>P9</b>	7,35	7,86	34	21	3,05	4,96	24,4	26,0	14,00	-	0,137	-
<b>P10</b>	7,50	7,76	33	21	3,93	5,25	24,4	26,0	40,83	-	0,576	-
<b>P11</b>	7,37	7,90	32	22	3,79	5,12	24,4	26,0	18,00	-	0,189	-
<b>P12</b>	7,45	7,81	32	22	3,58	5,25	24,4	26,0	40,00	-	0,504	-
<b>Controle</b>	7,83	7,98	21,00	21,00	5,46	5,62	25,00	25,00	1,25	-	0,04	-
<b>P13</b>	7,45	7,84	34,00	23,00	4,11	5,38	25,00	25,00	13,50	-	0,17	-
<b>P14</b>	7,69	7,93	34,00	24,00	4,63	5,31	25,00	25,00	16,50	-	0,37	-
<b>P15</b>	7,65	7,91	34,00	24,00	4,62	5,26	25,00	25,00	19,50	-	0,40	-
<b>P16</b>	7,70	7,93	34,00	23,00	4,78	5,28	25,00	25,00	10,75	-	0,24	-
<b>P17</b>	7,66	7,91	33	24,00	4,79	5,39	25	25,0	22,00	-	0,466	-
<b>P18</b>	7,58	7,77	34	24	4,53	5,08	25	25,0	20,00	-	0,346	-

Legenda: Valor Acima do limite (0,8 mg/L) para *Leptocheirus plumulosus*

Tabela 3-9. Efeito tóxico observado no teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus* para as amostras de sedimento de superfície, coletado no Trecho 4.

Amostra	Réplica	Nº de animais por Réplica		Mortalidade (%)	Mortalidade Total (%)	Desvio Padrão (%)	Resultado
		Mortos	Total				
Controle	1	0	20	0	2	2,89	-
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
P1	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P2	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
P3	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P4	1	2	20	10	3	5,77	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P5	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
P6	1	2	20	10	3	5,77	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P7	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
P8	1	0	20	0	3	5,77	Não Tóxico
	2	2	20	10			
	3	0	20	0			
P9	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P10	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
P11	1	2	20	10	5	5,00	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
P12	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			

Tabela 3-9. (continuação) Efeito tóxico observado no teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus* para as amostras de sedimento de superfície, coletado no Trecho 4.

Amostra	Réplica	Nº de animais por Réplica		Mortalidade (%)	Mortalidade Total (%)	Desvio Padrão (%)	Resultado
		Mortos	Total				
Controle	1	1	20	5	5	5,00	-
	2	2	20	10			
	3	0	20	0			
P13	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
P14	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P15	1	1	20	5	8	10,41	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	4	20	20			
P16	1	1	20	5	3	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
P17	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
P18	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			

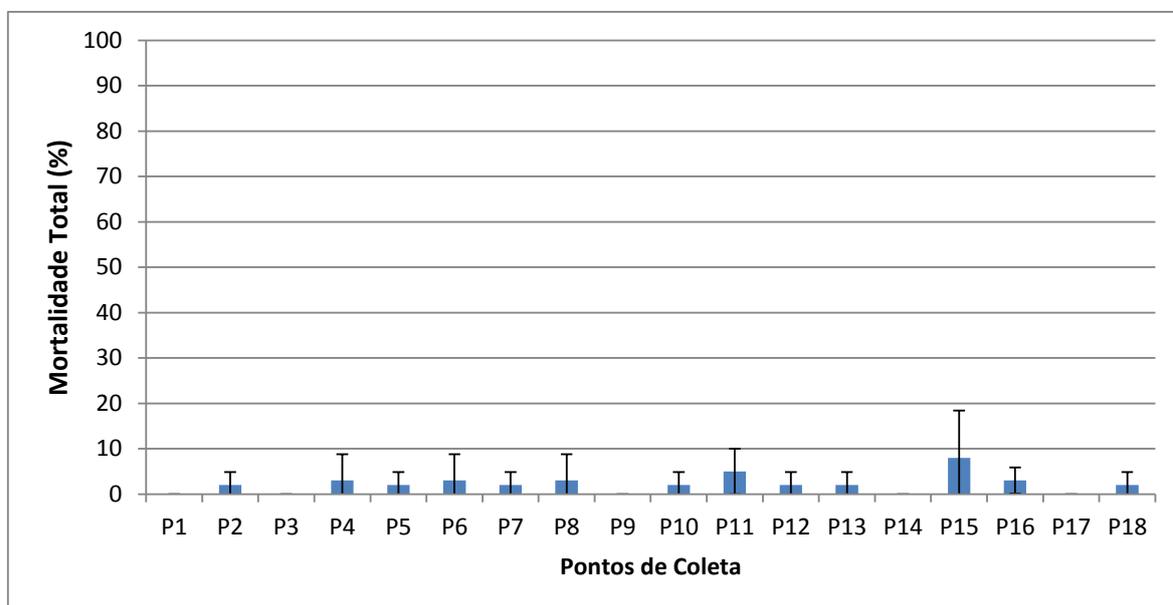


Figura 3-4. Mortalidade total (*Leptocheirus plumulosus*), com seus respectivos desvios-padrão, encontrada para cada amostra de sedimento, coletado no Trecho 4.

De acordo com o tratamento estatístico aplicado, foi verificado que as amostras de sedimento coletadas no trecho 4 não apresentaram toxicidade aguda para *Leptocheirus plumulosus*, em comparação com o controle, após 10 dias de exposição.

Quanto à concentração de amônia não ionizada da água intersticial no início do teste, somente a amostra P8 apresentou concentração de amônia não ionizada (1,733 mg/L) acima do limite de 0,8 mg/L aceito para essa espécie (USEPA, 2001), que isoladamente pode causar efeito tóxico, entretanto tal efeito não foi observado, o restante das amostras apresentou valores inferiores ao limite.

A sensibilidade dos indivíduos de *Leptocheirus plumulosus* utilizados no teste com sedimento foi estimada através do teste com substância de referência – Sulfato de Zinco ( $ZnSO_4$ ). A concentração letal mediana ( $CL_{50}$ ; 96h) e respectivo intervalo de confiança (I.C.) para as amostras foram: 0,77 mg Zn/L (I.C.: 0,60 a 0,83 mg Zn/L). A carta-controle de sensibilidade deste sistema-teste, utilizando dados acumulados de vários testes, indica uma  $CL_{50}$ ; 96h média de 0,83 mg Zn/L, com limites de controle (média  $\pm$  2.desvio padrão) de 0,64 a 1,02 mg Zn/L. O valor obtido está dentro da faixa definida de avaliação do sistema-teste.

#### 4. Discussão

No EIA foram realizadas análises químicas no sedimento de superfície (PSS: sedimento de superfície) e subsuperfície (PSST: sedimento de subsuperfície, onde PSST-1 sedimento até 1 metro e PSST-2 entre 1 e 2 metros). Além disso, foram realizados testes de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus* e toxicidade aguda com *Tiburonella viscana* apenas no sedimento de superfície (FRF, 2008).

No sedimento do Trecho 4 foram realizadas análises químicas e testes de toxicidade crônica, com *Lytechinus variegatus*, e toxicidade aguda, com *Leptocheirus plumulosus*, apenas no sedimento de superfície. O teste de toxicidade aguda foi realizado com o anfípoda escavador *Leptocheirus plumulosus*, por recomendação da Cetesb. No parecer Técnico da CETESB Nº

002/09/THL/TQA foi apresentada a seguinte consideração: “Entende-se ser o *L. plumulosus* o organismo escolhido, apropriadamente, para atender a LP 290/2008 em substituição àqueles apontados (*Tiburonella viscana* e *Lytechinus variegatus*) no EIA/RIMA”.

Vale ressaltar que nestas amostras (Trechos 4) foram realizadas análises químicas e ecotoxicológicas apenas no sedimento de superfície do canal do Porto de Santos após a dragagem de aprofundamento (cota de -15 metros), e no EIA (FRF, 2008) foram realizadas análises químicas no sedimento de superfície e subsuperfície do canal do Porto de Santos antes da dragagem de aprofundamento. Dessa forma, o sedimento de superfície antes e após a dragagem não é o mesmo e, portanto, os resultados das análises não podem ser diretamente correlacionados.

Os resultados do teste de toxicidade crônica, com *Lytechinus variegatus*, das amostras do Trecho 4, indicaram que somente 3 (P8, P10 e P12) das 18 amostras apresentaram toxicidade crônica para o referido organismo. Das 3 amostras, 2 (P8 e P10) apresentaram concentração de amônia não ionizada acima ou igual ao limite de 0,05 mg/L para a espécie *Lytechinus variegatus*, que isoladamente pode causar efeito tóxico.

No EIA (FRF, 2008) 10 das 15 amostras de sedimento de superfície do Trecho 4 apresentaram toxicidade crônica, para o ensaio empregado com *Lytechinus variegatus*, e para o ensaio empregado com *Tiburonella viscana*, 13 das 15 amostras apresentaram toxicidade aguda.

Os resultados do teste de toxicidade aguda, com *Leptocheirus plumulosus*, das amostras do Trecho 4, indicaram que nenhuma amostra apresentou toxicidade aguda, em comparação com o controle, após 10 dias de exposição.

Uma das características de ambientes com sedimentos redutores, como é o caso do canal do Porto de Santos ( $E_H$  entre 33 e -217 mV) é a possibilidade de liberação de alguns tipos de contaminantes que podem causar impacto na coluna d'água, como é o caso da amônia, no entanto, esta remobilização só acontece quando vários fatores atuam de uma maneira conjunta. Um desses fatores é o pH, pois em concentração superior a 8 pode haver a ocorrência e, conseqüentemente, a liberação de amônia para a coluna d'água.

Um possível interferente que poderia causar o efeito ecotoxicológico observado em alguns ensaios, destas amostras coletadas após a dragagem de aprofundamento, principalmente nos ensaios com interface sedimento-água (ISA) é a amônia não ionizada, das 3 amostras, que apresentaram toxicidade crônica, 2 (ou 66,7%) apresentaram também amônia não ionizada acima do limite para *Lytechinus variegatus*.

## 5. Considerações Finais

Todos os metais quantificados nas amostras de sedimento coletadas no Trecho 4 já haviam sido quantificados no EIA/RIMA da dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos (FRF, 2008), alguns em concentrações acima do Nível 1 estabelecidos pela Resolução Conama 344/2004 (vigente na ocasião da publicação do EIA/RIMA), em amostras de superfície (cobre, mercúrio, níquel e zinco) e até 2 metros de profundidade (cobre, chumbo, níquel, mercúrio e zinco), considerando a cota batimétrica anterior as atividade de dragagem.

Em 08 de novembro de 2012 foi publicada no Diário Oficial da União a Resolução Conama 454/2012, revogando a Resolução Conama 344/2004. Com a publicação desta resolução, alguns valores orientadores (Nível 1 e 2) para classificação do material a ser dragado foram revisados. Entre eles destacam-se os valores de Nível 1 e 2 para mercúrio, onde o Nível 1 passou de 0,15 para 0,30 mg/Kg e Nível 2 de 0,71 para 1,0 mg/Kg.

Observa-se entre as 18 amostras de sedimentos coletadas no Trecho 4, considerando os valores orientadores da Resolução Conama 454/2012, que todas as amostras apresentam concentrações de mercúrio abaixo do limite de quantificação do método analítico.

Com relação ao mercúrio, este havia sido quantificado em amostras de sedimento do Trecho 4, em concentrações acima de Nível 2 da Resolução Conama 344/2004 (de 0,71 mg/Kg), nas amostras do EIA/RIMA da dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos (FRF, 2008) e da recharacterização

do sedimento do Trecho 4 realizada em 2009 em atendimento a condicionante 2.2 da Licença Prévia 290/2008.

A partir dos resultados obtidos para o Trecho 4, observa-se que os sedimentos atualmente expostos apresentaram concentrações inferiores ao limite de quantificação dos métodos analíticos para todos os compostos orgânicos analisados (PCB, POC e HPA). Apenas para metais foram quantificadas concentrações acima do limite de quantificação (LQ), no entanto, todos os elementos quantificados apresentaram concentrações abaixo do Nível 1 da Resolução Conama 454/2012.

Em relação aos ensaios ecotoxicológicos na interface sedimento-água, do total de 15 amostras analisadas no Trecho 4, somente 3 apresentaram toxicidade crônica para o ensaio empregado com *Lytechinus variegatus* e nenhuma amostra (ou 0% do total de amostras) apresentou toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus*. Das 3 amostras, 26 (P8 e P10) apresentaram concentração de amônia não ionizada acima ou igual ao limite de 0,05 mg/L para a espécie *Lytechinus variegatus*, que isoladamente pode causar efeito tóxico.

Em relação aos ensaios ecotoxicológicos no sedimento total, de acordo com o tratamento estatístico aplicado, foi verificado que as amostras de sedimento de superfície do trecho 4, após a dragagem de aprofundamento não apresentaram toxicidade aguda para *Leptocheirus plumulosus*, em comparação com o controle, após 10 dias de exposição.

A partir dos resultados dos ensaios ecotoxicológicos, das amostras dos Trecho 4 do canal do Porto de Santos, nota-se que os testes realizados na fase líquida, via interface sedimento água, apresentaram maior sensibilidade do que na fase sólida com sedimento total. Em outros trabalhos (César *et al.*, 2004; Oliveira, 2009), sobre toxicidade em sedimento marinho, nos quais foram realizados os mesmos ensaios ecotoxicológicos (interface sedimento-água com embriões de ouriço-do-mar e sedimento total com anfípodos adultos) foram observados efeitos similares.

No ensaio ecotoxicológico, via interface sedimento-água, é analisada a possível transferência de contaminantes dos sedimentos para a coluna d'água e,

por isso, as características físico-químicas da amostra interferem nos resultados. Parâmetros, tais como, pH, salinidade e oxigênio podem ter uma responsabilidade maior no efeito, que os compostos que migram do sedimento para a água. Vale considerar também que esse teste considera uma passagem aguda e significativa de compostos para a amostra que os embriões ficarão expostos, cuja concentração em amostra teste nunca será mantida no ambiente, visto a natural dispersão e redução de concentração motivada pela hidrodinâmica local, fato que não ocorre nas condições do experimento.

Já no ensaio ecotoxicológico com sedimento total os organismos são expostos diretamente ao sedimento e, portanto esta metodologia é considerada mais recomendada para avaliação ecotoxicológica no sedimento. Nesse tipo de ensaio são utilizados anfípodas escavadores devido: sensibilidade a vários poluentes associados aos sedimentos, ciclo de vida curto, facilidade de cultivo em laboratório, tolerância a uma ampla gama de características físico-químicas dos sedimentos, e porque vivem em contato direto com o sedimento (César *et al.*, 2004).

Atenciosamente,

Prof. Dr. Luiz Roberto Tommasi  
Diretor Presidente - FUNDESPA

## 6. Referências Bibliográficas

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 15350 – Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – Método de ensaio do ouriço-do-mar (Echinodermata: Echinoidea). Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 15638 – Qualidade da água – Determinação da toxicidade aguda de sedimentos marinhos ou estuarino com anfípodos. Rio de Janeiro, 2008. Bower, C.E.; Bidwell, J.P. Ionization of ammonia in seawater: effects of temperature, pH and salinity. J. Fish. Res. Board. Can., n. 35, p. 1012-1016, 1978.
- Bower, C.E. & Bidwell, J.P. 1978. Ionization of ammonia in seawater: effects of temperature, pH and salinity. J. Fish. Res. Board. Can., 35: 1012-1016.
- Brasil 2012. Resolução CONAMA Nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Diário Oficial da União, Brasília, seção 1, edição nº 216 de 8 de novembro de 2012, p. 66.
- Brasil, 2004. Resolução Conama nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama.
- Cesar, A; Marin, A; Marin-Guirao, L; Vita, R. 2004. Amphipod and sea urchin tests to assess the toxicity of Mediterranean sediments: the case of Portmán Bay. In: Biological Oceanography at the turn of the millenium. J.D. Ros, T.T. Packard, J.M. Gili, J.L. Pretus & D. Blasco (eds.) Scientia Marina 68 (Suppl. 1) 205-213.
- Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 2007. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. 39 pages.

Erickson, W.P.; McDonald, L.L. Tests for bioequivalence of control media and test media in studies of toxicity. *Environ. Toxicol. Chem.*, v. 14, p. 1274-1256, 1995.

Fundespa, Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas 2011c. Terceiro Relatório Técnico Semestral do Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos. Relatório Técnico, RTS-071011. Fundespa, São Paulo, 1126 p. + Anexos.

FRF, 2008. Fundação Ricardo Franco. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): projeto de aprofundamento do canal de navegação do Porto de Santos, Santos, SP. São Paulo, 2008.

Licença Prévia Nº 290/2008. Brasília, 03 de junho de 2008.

Oliveira, L. F. J. 2009. Estudo da qualidade do sedimento através de teste de toxicidade e marcadores de esgoto na Enseada de Ubatuba – SP, Brasil, influência do aumento da população de veraneio. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 87p.

Prósperi, V. A. 2002. Comparação de métodos ecotoxicológicos na avaliação de sedimentos marinhos e estuarinos. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos.

Prósperi, V. A.; Romanelli, M. F.; Buratini, S. V.; Cachattori, D. ; Sáfyadi, R. S. ; Tiritan, A.R. Determinação da constante de proporcionalidade utilizada no Teste t por bioequivalência para o ensaio com o anfípoda estuarino *Leptocheirus plumulosus*. In: X Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia. Livro de Resumos, 2008. Bento Gonçalves, RS. p. 158.

São Paulo, 2006. Resolução SMA N.º 37. Secretaria do Meio Ambiente, de 30 de agosto de 2006. Dispõe sobre os requisitos dos laudos analíticos submetidos aos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – Seaqua.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) Method for assessing the chronic toxicity of marine and estuarine sediment associated

contaminants with the amphipod *Leptocheirus plumulosus*. EPA-600/R-01/020. Cincinnati, U. S. Environmental Protection Agency, 120 p., 2001.

Zar, J.H. Biostatistical Analysis. 4.ed. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice-Hall, Inc. 1999.

## 7. Anexos

- Anexo 7-1. Laudos das análises químicas no sedimento do Trecho 4
- Anexo 7-2. Laudos dos ensaios ecotoxicológicos na interface sedimento-água das amostras coletadas no Trecho 4
- Anexo 7-3. Laudos dos ensaios ecotoxicológicos no sedimento total das amostras coletadas no Trecho 4

ANEXO 7-1. LAUDOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS NO SEDIMENTO DO  
TRECHO 4

**ANEXO 7-2. LAUDOS DOS ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS NA INTERFACE  
SEDIMENTO-ÁGUA DAS AMOSTRAS COLETADAS NO TRECHO 4**

**ANEXO 7-3. LAUDOS DOS ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS NO SEDIMENTO  
TOTAL DAS AMOSTRAS COLETADAS NO TRECHO 4**