

**10. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS NAS ÁREAS DRAGADAS – SEDIMENTOLOGIA, GEOQUÍMICA E ECOTOXICOLOGIA..... 1**

10.1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
10.2. METODOLOGIA.....	1
10.3. RESULTADOS.....	10
10.3.1. Atividades desenvolvidas no 1º e 2º semestre de 2011 .....	10
10.3.2. Atividades desenvolvidas no 2º semestre de 2012 .....	12
10.4. DISCUSSÃO .....	30
10.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	36
10.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39
10.7. EQUIPE TÉCNICA.....	41
10.8. ANEXOS .....	41

## **10. Programa de Monitoramento da Qualidade dos Sedimentos nas Áreas Dragadas – Sedimentologia, Geoquímica e Ecotoxicologia**

### **10.1. Introdução e Objetivos**

O presente relatório, composto pela união do Programa de Monitoramento da Qualidade físico-química dos Sedimentos na área a ser Dragada (PBA 10) com o Programa de Monitoramento da Qualidade Ecotoxicológica (PBA 11), consiste no Monitoramento Físico-Químico e Potencial Ecotoxicológico dos Sedimentos na Área Dragada, para tanto este relatório está itemizado de acordo com o PBA 10.

O objetivo geral desse programa é avaliar a qualidade dos sedimentos remanescentes após o aprofundamento do canal de navegação do Porto de Santos, bem como as condições para o estabelecimento de novas comunidades bentônicas. Este programa abrange toda a Área Diretamente Afetada (ADA) no estuário, no canal de navegação e na Baía de Santos.

### **10.2. Metodologia**

#### **10.2.1. Seleção dos Pontos de Amostragem**

Os pontos de amostragem para o presente monitoramento estão distribuídos desde a entrada do canal do Porto de Santos até a região da Alemoa no estuário, incluindo os quatro trechos a serem dragados. São os mesmos 67 pontos considerados no EIA/RIMA da dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos (FRF, 2008), conforme determinado no Plano Básico Ambiental (PBA). As coordenadas geográficas dos pontos são apresentadas na Tabela 10.2.1-1. A Figura 10.2.1-1 apresenta o mapa indicando os pontos de amostragem e sua localização por trecho de dragagem.

O número de pontos de amostragem de sedimento por trecho de dragagem é indicado na Tabela 10.2.1-2.

Tabela 10.2.1-1. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de sedimento listados por trecho de dragagem (Projeção UTM – Datum horizontal SAD-69).

Área	Pontos	Eastings (mE)	Northings (mN)	Área	Pontos	Eastings (mE)	Northings (mN)	
Trecho 1 Barra - Entrepasto de pesca	PSS-01	364.243	7.342.570	Trecho 3 Concais - Armazém 5	PSS-11	366.992	7.352.522	
	PSS-02	364.587	7.343.656		PSS-12	366.399	7.352.544	
	PSS-03	365.514	7.345.615		PSS-13	366.405	7.353.183	
	PSS-04	365.053	7.346.057		PSS-34	366.707	7.351.015	
	PSS-05	368.881	7.346.654		PSS-35	366.601	7.351.729	
	PSS-06	368.576	7.346.812		PSS-36	366.421	7.352.000	
	PSS-16	362.036	7.338.759		PSS-37	366.373	7.352.749	
	PSS-17	362.252	7.339.573		PSS-38	365.657	7.352.941	
	PSS-18	362.439	7.340.273		PSS-64	366.705	7.351.202	
	PSS-19	362.829	7.341.409		PSS-65	366.553	7.352.031	
	PSS-20	363.067	7.342.048		PSS-66	366.035	7.352.840	
	PSS-21	363.282	7.342.662	PSS-14	365.322	7.353.365		
	PSS-22	363.706	7.343.700	PSS-15	363.729	7.353.503		
	PSS-23	363.941	7.344.381	PSS-39	365.295	7.353.122		
	PSS-24	364.333	7.345.036	PSS-40	364.926	7.353.195		
	PSS-25	365.280	7.345.953	PSS-41	364.462	7.353.330		
	PSS-26	365.985	7.346.038	PSS-42	364.121	7.353.505		
	PSS-27	367.973	7.346.087	PSS-43	363.730	7.353.979		
	PSS-51	362.327	7.339.728	PSS-44	363.252	7.354.225		
	PSS-52	362.505	7.340.565	PSS-45	362.305	7.354.291		
	PSS-53	362.941	7.341.364	PSS-46	361.938	7.354.191		
	PSS-54	363.864	7.343.778	PSS-47	361.746	7.354.193		
	PSS-55	363.873	7.344.215	PSS-48	361.419	7.354.241		
	PSS-56	364.319	7.344.896	PSS-49	360.963	7.354.393		
	PSS-57	364.623	7.345.632	PSS-50	360.614	7.354.663		
	PSS-58	365.112	7.345.737	PSS-67	362.731	7.354.233		
	PSS-59	367.682	7.346.057					
	Trecho 2 Entrepasto de pesca - Concais	PSS-07	368.827	7.348.443	Trecho 2 Entrepasto de pesca - Concais (continuação)	PSS-31	367.803	7.349.440
		PSS-08	368.427	7.348.255		PSS-32	367.446	7.349.918
PSS-09		367.688	7.349.946	PSS-33		367.047	7.350.413	
PSS-10		367.306	7.349.713	PSS-60		368.802	7.347.823	
PSS-28		368.726	7.347.150	PSS-61		368.503	7.348.698	
PSS-29		368.750	7.348.430	PSS-62		367.936	7.349.111	
PSS-30		368.267	7.349.031	PSS-63		367.595	7.349.726	

Tabela 10.2.1-2. Relação do número de pontos de amostragem de sedimento por trecho de dragagem.

Trecho	Pontos de amostragem
01	27
02	14
03	11
04	15

Figura 10.2.1-1. Localização dos pontos de coleta das amostras de sedimento para as avaliações ecotoxicológicas

### 10.2.2. 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.

Adicionalmente, durante amostragem no Trecho 4, é realizada *in situ*, a medição em triplicata dos parâmetros físico-químicos, oxigênio dissolvido (OD), condutividade, salinidade, pH e  $E_H$ , para água de fundo. 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 e de garantir a precisão e exatidão dos resultados de campo.

### 10.2.3. Parâmetros analisados

Para a avaliação da qualidade físico-química do sedimento na área dragada, os parâmetros analisados compreendem aqueles previstos na Resolução Conama 344/2004 (Brasil, 2004), em vigor durante a elaboração deste programa e da realização das atividades de coleta e análise laboratorial das amostras. Porém, no dia 08 de novembro de 2012 foi publicado no Diário Oficial da União a Resolução Conama nº454 (Brasil, 2012) que revoga a Conama 344, assim, os resultados analíticos obtidos no presente monitoramento para as amostras coletadas no Trecho 4 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 anfípodas escavadores, *Leptocheirus plumulosus*.

A Tabela 10.2.3-1 apresenta os métodos analíticos e as condições de armazenamento, preservação e prazo de análise para os analitos de interesse.

Tabela 10.2.3-1. Métodos analíticos para matriz de 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>Compostos Orgânicos</b>					
SVOC e HPA	US EPA 3550C (preparação) ; US EPA 8270D (análise)	14 dias (extração); 40 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	100 gramas
PCBs	US EPA 3550C (preparação) ; US EPA 8082A (análise)	14 dias (extração); 40 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	100 gramas
Pesticidas Organodorados	US EPA 3550C (preparação) ; US EPA 8081B (análise)	14 dias (extração); 40 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	100 gramas
<b>Constituintes Orgânicos</b>					
Carbono Orgânico Total	Apostila 2ª ed - UFRGS	28 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	50 gramas
<b>Constituintes Inorgânicos não-metálicos</b>					
Nitrogenio Kjeldahl	SM 4500 Norg E	28 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	20 gramas
Fósforo total	US EPA 3050B (preparação); US EPA 6010C (análise)	28 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	10 gramas
<b>Metais</b>					
Metais totais	US EPA 3050B (preparação); US EPA 6010C (análise)	6 meses (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	30 gramas
Merúrio total	US EPA 7471B (preparação e análise)	28 dias (análise)	frasco de vidro	Refrigeração ≤ 6°C	30 gramas
<b>Propriedades Físicas</b>					
Granulometria	EMBRAPA, 1997	não determinado	frasco de plástico	não requerida	200 gramas
<b>Ecotox</b>					
Toxicidade crônica com ouriço do mar	ABNT NBR 15350	60 dias	saco plástico	Refrigeração entre 4 e 10°C	2 a 3 Kg.
Toxicidade aguda com <i>Leptocheirus plumulosus</i>	ABNT NBR 15638	60 dias	saco plástico	Refrigeração entre 4 e 10°C	2 a 3 Kg.

Visando avaliar os procedimentos de amostragem e metodologias analíticas empregadas, são coletadas, a cada lote de cinquenta amostras, alíquotas adicionais para fortificação de matriz (matriz *spike*) e análise em duplicata, permitindo, respectivamente, acesso a exatidão e precisão dos resultados obtidos.

### Ensaio Ecotoxicológicos – 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 béquero de 400 ml 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  $\mu\text{m}$  e acrescentada água marinha filtrada, elevando assim, o volume para 600 ml, este processo de lavagem dos óvulos é repetido por três vezes. Os espermatozóides 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 espermatozóides 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 média 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  $\mu\text{m}$ ) fixada por um anel plástico (Figura 10.2.3-1), sendo então adicionados 8,0 ml de água de diluição marinha, utilizando-se de uma pipeta automática conforme descrito em Cesar *et al.*, 2004.



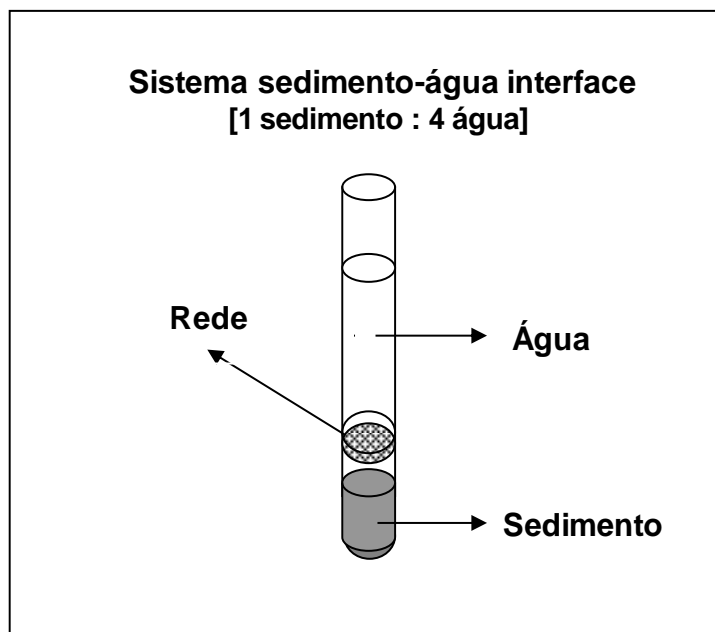


Figura 10.2.3-1. Sistema para montagem do ISA (Interface Sedimento-Água)

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).

#### **10.2.4. Frequência de amostragem**

De acordo com o Plano Básico Ambiental (PBA), as amostragens do sedimento devem ser iniciadas depois de decorridos 30 dias e no máximo até 90 dias da finalização da dragagem em cada trecho (cota -15m), e antes do início de qualquer dragagem de manutenção na área. Estas coletas são realizadas após um período de estabilização das condições físico-químicas do novo substrato exposto. Este período é de no mínimo 30 dias, mas não ultrapassando 90 dias após a finalização das dragagens de aprofundamento em cada trecho.

### **10.3. Resultados**

#### **10.3.1. Atividades desenvolvidas no 1º e 2º semestre de 2011**

Neste período de referência, foram realizadas três campanhas de monitoramento da qualidade do sedimento, Campanhas I, II e III nos Trechos 02, 03 e 01, respectivamente, respeitando o período de 30 a 90 dias da finalização da dragagem nos Trechos.

As amostras de sedimento superficial foram acondicionadas em frascaria apropriada (previamente limpos), conforme o parâmetro a ser analisado nas amostras. Os frascos com as amostras foram armazenados em caixas térmicas com gelo e mantidos sob refrigeração entre 2°C e 6°C, desde o momento da coleta até o seu processamento em laboratório.

Este trabalho é realizado de acordo com a Resolução SMA 37/2006 (São Paulo, 2006), que entrou em vigor no dia 31 de agosto de 2009 e dispõe sobre os requisitos dos laudos analíticos submetidos aos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Meio Ambiente - Seaqua. Desta forma, o laboratório selecionado para análises químicas do sedimento foi o *Analytical Technology*. A

descrição detalhada das atividades realizadas (campanhas realizadas, coordenadas georreferenciadas dos pontos de amostragem, a nomenclatura e localização dos pontos amostrais) assim como os resultados das análises foram apresentados em detalhes no Terceiro Relatório Técnico Semestral do Plano Básico Ambiental da Dragagem de Aprofundamento do Porto de Santos, RTS – 18/18 (Fundespa, 2011).

#### **10.3.1.1. Trecho 1 – Campanha III**

A campanha de amostragem no Trecho 1 foi realizada nos dias 12, 13 e 14 de abril de 2011, respeitando o período de 30 a 90 dias da finalização da dragagem neste trecho, que ocorreu no dia 21 de fevereiro de 2011.

#### **10.3.1.2. Trecho 2 – Campanha I**

A Campanha I foi realizada nos dias 18 e 19 de janeiro de 2011, nos limites do Trecho 2 de dragagem. Foram amostrados 14 pontos (mesmos pontos de coleta utilizados no EIA/RIMA (FRF, 2008) da dragagem de aprofundamento).

No dia 23 de março de 2011, foi realizada coleta em 3 pontos amostrais (PS-08-S, PS-62-S e PS-63-S), para confirmação dos resultados analíticos obtidos para o parâmetro mercúrio total.

#### **10.3.1.2. Trecho 3 – Campanhas II**

A Campanha II foi realizada no dia 10 de março de 2011, totalizando 11 pontos de amostragem e respeitando o período de 30 a 90 dias da finalização da dragagem neste Trecho, que ocorreu no dia 29 de dezembro de 2010.

Também foi realizada coleta em 4 pontos amostrais para verificação dos resultados obtidos para o parâmetro mercúrio total. A coleta ocorreu no dia 27 de abril de 2011, nos pontos PS-13-S, PS-37-S, PS-38-S e PS-66-S.

### **10.3.2. Atividades desenvolvidas no 2º semestre de 2012**

No período de referência deste relatório, foi realizada uma campanha de monitoramento da qualidade do sedimento, Campanha IV no Trecho 4, respeitando o período de 30 a 90 dias da finalização da dragagem nos trechos.

As amostras de sedimento superficial foram acondicionadas em frascaria apropriada (previamente limpos), conforme o parâmetro a ser analisado nas amostras. Os frascos com as amostras foram armazenados em caixas térmicas com gelo e mantidas sob refrigeração entre 2°C e 6°C, desde o momento da coleta até o seu processamento em laboratório.

O Anexo 10.8-1 apresenta as cadeias de custódia das amostras coletadas durante a Campanha IV e enviadas ao laboratório responsável pelas análises.

Este trabalho é realizado de acordo com a Resolução SMA 37/2006 (São Paulo, 2006), que entrou em vigor no dia 31 de agosto de 2009 e dispõe sobre os requisitos dos laudos analíticos submetidos aos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Meio Ambiente - Seaqua. Desta forma, o seguinte laboratório foi selecionado para análises químicas do sedimento: *Analytical Technology*.

#### **10.3.2.1. Trecho 4 – Campanha IV**

A campanha de amostragem no Trecho 4 foi realizada no dia 4 de outubro de 2012. A Figura 10.3.2.1-1 apresenta a localização dos pontos amostrais ao longo do Trecho 4. O Anexo 10.8-2 apresenta o dossiê fotográfico dos procedimentos de coleta de sedimento.

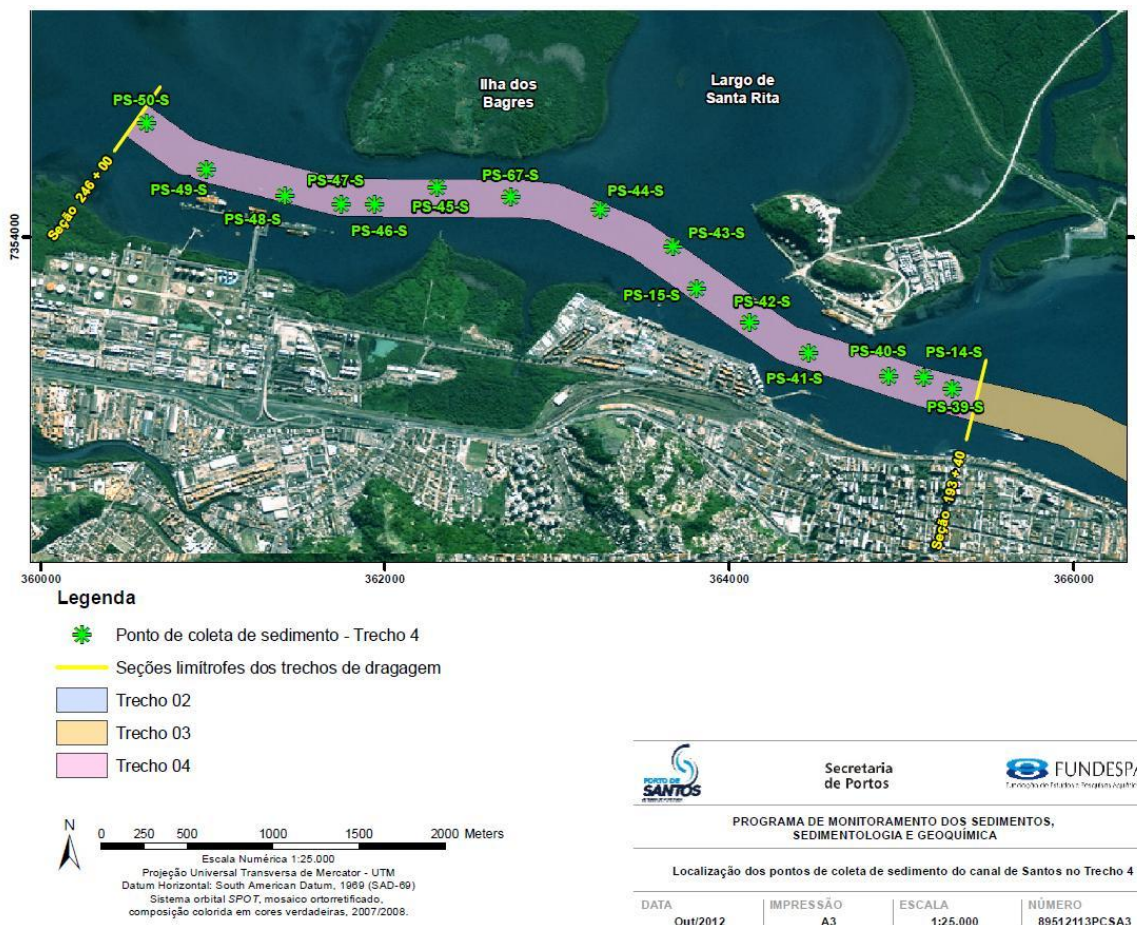


Figura 10.3.2.1-1. Localização dos pontos de coleta de sedimento, Campanha IV, Trecho 4 (outubro de 2012).

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

### A. Análise físico-química *in situ*

#### Sedimento

A Tabela 10.3.2.1-1 apresenta os 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 6,88, característicos de ambientes estuarinos com influência de aporte continental. A temperatura média dentre as 15 amostras foi de 22,0°C.



Os valores de  $E_H$  observados, entre -220 e -118 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 -174 mV) o sedimento amostrado durante esta campanha 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 10.3.2.1-1. Resultados das medições de parâmetros físico-químicos *in situ* do sedimento do Trecho 4 (Campanha IV, outubro de 2012).

Parâmetro/ Ponto amostral	PS-14-S	PS-15-S	PS-39-S	PS-40-S	PS-41-S	PS-42-S	PS-43-S	PS-44-S
Profundidade (m)	14,0	13,0	15,0	15,0	15,0	13,0	13,0	14,0
Condições Ambientais	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva
Eh (mV)	-146	-170	-158	-155	-162	-158	-188	-187
pH (unidade)	6,72	6,42	6,58	6,78	6,82	6,73	6,09	6,75
Temperatura (°C)	21,9	21,9	21,9	21,7	21,7	21,8	21,9	22,0
Parâmetro/ Ponto amostral	PS-45-S	PS-46-S	PS-47-S	PS-48-S	PS-49-S	PS-50-S	PS-67-S	
Profundidade (m)	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	15,0	14,0	
Condições Ambientais	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	
Eh (mV)	-171	-185	-192	-191	-220	-213	-118	
pH (unidade)	6,86	6,88	6,79	6,79	6,54	6,14	6,86	
Temperatura (°C)	22,2	22,1	22,2	22,2	22,2	22,4	22,4	

## Água de fundo

A Tabela 10.3.2.1-2 apresenta os resultados das medições físico-químicas realizadas *in situ* na água de fundo, durante a amostragem no Trecho 4. Os resultados observados foram comparados às condições de qualidade de água estabelecidos no Artigo 21 da Resolução Conama 357/2005 para águas salobras de classe 1 (salinidade superior a 0,5 e inferior a 30), uma vez que todas as amostras apresentaram salinidade inferior a 30, apresentando valores entre 27,44 e 29,90, com exceção apenas da amostra no ponto PS-14 que apresentou salinidade ligeiramente superior (30,24). No entanto, esta amostra foi comparada às condições de qualidade do Artigo 21 (água salobra) em função da pequena variação observada entre as amostras. Com relação à condutividade foram observados valores entre 42,13 e 46,52 mS/cm, valores característicos de ambientes estuarinos com influência de aporte continental.

Segundo o Artigo 21 da Resolução Conama 357/2005, as concentrações de oxigênio dissolvido na água salobra não devem ser inferiores a 5,0 mg/L, e o pH deve estar entre 6,5 e 8,5. Todas as amostras de água analisadas ao longo do Trecho 4 apresentaram concentrações de OD inferiores ao limite estabelecido pelo referido artigo (com valores de OD entre 3,85 e 4,52 mg/L, Tabela 10.3.2.1-2). Já para o pH todas as amostras apresentaram valores em conformidade com as condições de qualidade estabelecidas pelo Artigo 21 da Resolução 357/05, com valores entre 7,98 e 8,49.

Os valores de  $E_H$  apresentaram a maior variação entre os parâmetros analisados, com a maioria das amostras apresentando  $E_H$  positivos, ou seja, com características oxidantes, com valores entre 4,50 e 216,80 mV (Tabela 10.3.2.1-2), uma amostra apresentou valor de  $E_H$  negativo -11,80 mV e duas amostras (pontos PS-14 e PS-42) apresentaram valores entre o limite de detecção e o limite de quantificação do método (< 3).

A coleta ocorreu com condição ambiental de chuva nas 24 horas que antecederam a amostragem e obtendo uma temperatura média da água de 22,1°C.

Tabela 10.3.2.1-2. Resultados das medições de parâmetros físico-químicos *in situ* da água de fundo no Trecho 04 (Campanha IV, outubro de 2012).

Ponto de coleta	Resolução Conama 357/05 Artigo 21	PS-14	PS-15	PS-39	PS-40	PS-41	PS-42	PS-43	PS-44
Profundidade da coluna d'água (m)			14	15	15	15	15	14	15
Data da coleta		04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012
Hora da coleta		13:48	12:32	14:07	13:32	13:10	12:52	12:12	11:39
Condições ambientais nas últimas 24hs		Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Não inferior a 5	4,45	4,19	4,52	4,16	4,22	4,05	4,09	3,95
Oxigênio Dissolvido (%)	-	61	57	61	56	57	54	55	54
Potencial de oxidação/redução - $E_H$ (mV)	< 3	16	16	-12	26	16	< 3	161	54
Potencial hidrogeniônico - pH (1 unidade)	Entre 6,5 e 8,5	8,49	8,22	8,32	8,22	8,22	8,43	7,98	8,20
Condutividade (mS/cm)	-	46,52	44,27	46,02	43,28	42,73	44,47	43,54	43,75
Salinidade (‰)	-	30,24	28,59	29,90	28,05	27,65	28,72	28,13	28,27
Temperatura (°C)	-	21,7	22,2	21,8	22,4	22,4	22,1	22,2	22,2
Ponto de coleta	Resolução Conama 357/05 Artigo 21	PS-45	PS-46	PS-47	PS-48	PS-49	PS-50	PS-67	
Profundidade da coluna d'água (m)			14	14	14	14	14	15	14
Data da coleta		04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	
Hora da coleta		10:57	10:36	10:22	10:05	09:45	09:22	11:21	
Condições ambientais nas últimas 24hs		Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	Com chuva	
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Não inferior a 5	3,89	4,23	4,18	3,93	4,08	4,12	3,85	
Oxigênio Dissolvido (%)	-	53	57	57	54	55	55	52	
Potencial de oxidação/redução - $E_H$ (mV)	-	21	22	5	53	6	217	36	
Potencial hidrogeniônico - pH (1 unidade)	Entre 6,5 e 8,5	8,19	8,11	8,24	8,04	8,34	8,03	8,08	
Condutividade (mS/cm)	-	43,58	44,58	42,13	43,14	42,99	44,57	42,60	
Salinidade (‰)	-	28,18	28,85	29,14	27,87	27,74	28,92	27,44	
Temperatura (°C)	-	22,1	22,0	21,9	22,2	22,2	22,0	22,2	



## **B. 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.

No entanto, vale ressaltar, que a elaboração do plano de amostragem, a realização das atividades de amostragem e as análises laboratoriais das amostras de sedimento foram realizadas durante a vigência da Resolução Conama 344/2004, assim alguns parâmetros presentes na atual resolução em vigor (TBT e somatório de HPA com 17 compostos) não foram contemplados nestas análises.

### **Metais e semimetais**

Os resultados analíticos determinados para metais e semimetais nas amostras de sedimento coletadas no Trecho 4 são apresentados na Tabela 10.3.2.1-3, em comparação a Resolução Conama 454/2012 (Brasil, 2012).

Foram quantificados os metais: cromo, chumbo, cobre, níquel e zinco em todas as amostras coletadas, e todos apresentaram concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 454/2012 (Tabela 10.3.1-3).

O mercúrio foi quantificado em 14 das 15 amostras analisadas (amostra PS-67-S apresentou concentração abaixo do limite de quantificação do método analítico) (Tabela 10.3.2.1-3). Entre as 14 amostras em que o mercúrio foi quantificado em concentrações acima do LQ, quatro apresentaram concentrações acima de nível 1 da Resolução Conama 454/2012 (de 0,30 mg/Kg), com concentração máxima observada de 0,364 mg/Kg, as demais apresentaram concentrações abaixo do valor orientador de Nível 1 da referida resolução.

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

Tabela 10.3.2.1-3. Resultados da análise de metais e semimetal arsênio (mg/Kg) para as amostras de sedimento do Trecho 4 (Campanha IV – outubro de 2011).

Parâmetros	CONAMA 454/12		PS-14-S	PS-15-S	PS-39-S	PS-40-S	PS-41-S	PS-42-S	PS-43-S	PS-44-S
	Nível 1	Nível 2								
	Água Salina e Salobra									
Data da Coleta			04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012
Hora da coleta			13:54	12:38	14:13	13:36	13:17	12:58	12:17	11:49
Profundidade			14,0	13,0	15,0	15,0	15,0	13,0	13,0	14,0
<b>Metais e semi metais, em mg/kg</b>										
Arsênio Total	19	70	< 0,942	< 0,957	< 1,30	< 0,794	< 0,997	< 1,18	< 0,972	< 0,874
Cádmio total	1,2	7,2	< 0,628	< 0,638	< 0,868	< 0,530	< 0,665	< 0,789	< 0,648	< 0,583
Cromo Total	81	370	26,6	22,7	34,2	15,9	23,7	30,2	25,8	22,2
Chumbo total	46,7	218	15,6	10,6	18,3	9,78	14,4	18,4	15,2	9,75
Cobre Total	34	270	10,2	6,31	15,6	5,54	11,1	13,4	10,8	6,17
Mercurio Total	0,3	1,0	0,221	0,0969	0,181	0,123	0,322	0,218	0,176	0,0909
Níquel Total	20,9	51,6	10,2	8,79	12,6	6,26	9,19	11,5	10,6	8,71
Zinco Total	150	410	62,0	49,0	78,0	41,4	60,9	70,1	60,2	45,0
Parâmetros	CONAMA 454/12		PS-45-S	PS-46-S	PS-47-S	PS-48-S	PS-49-S	PS-50-S	PS-67-S	
	Nível 1	Nível 2								
	Água Salina e Salobra									
Data da Coleta			04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	04/10/2012	
Hora da coleta			11:04	10:44	10:27	10:11	09:53	09:33	11:25	
Profundidade			14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	15,0	14,0	
<b>Metais e semi metais, em mg/kg</b>										
Arsênio Total	19	70	< 0,938	< 1,14	< 1,13	< 1,23	< 1,41	< 1,42	< 0,808	
Cádmio total	1,2	7,2	< 0,625	< 0,758	< 0,751	< 0,817	< 0,940	< 0,947	< 0,539	
Cromo Total	81	370	24,6	30,9	30,2	35,1	37,9	41,6	20,8	
Chumbo total	46,7	218	11,8	16,7	15,0	19,6	19,6	19,4	8,14	
Cobre Total	34	270	7,39	12,7	11,0	15,1	17,7	16,8	3,88	
Mercurio Total	0,3	1,0	0,165	0,197	0,192	0,324	0,350	0,364	< 0,0647	
Níquel Total	20,9	51,6	9,66	12,2	11,9	14,2	14,9	14,5	7,82	
Zinco Total	150	410	55,2	72,2	64,8	82,4	97,7	87,5	37,8	

### Demais parâmetros analisados

A análise das amostras de sedimento em relação aos compostos de bifenilas policloradas (PCB) e pesticidas organoclorados (POC) apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação (LQ) do método analítico utilizado para todas as amostras (Tabela 1 do Anexo 10.8-3).

Entre os compostos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) analisados, foram quantificados alguns compostos dos grupos A e B na amostra do ponto PS-46-S, sendo eles: criseno (37,20 µg/Kg), benzo(a)pireno (27,58 µg/Kg), fluoranteno (55,46 µg/Kg) e pireno (53,60 µg/Kg), todos abaixo dos valores orientadores de Nível 1 da Resolução Conama 454/2012 (Tabela 10.3.2.1-4). As demais amostras analisadas apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação do método analítico utilizado.

Considerando que as atividades de coleta das amostras e as análises laboratoriais foram realizadas anteriormente à publicação da Resolução Conama

454/12, as análises de HPA foram realizadas com base nos valores estabelecidos pela Resolução Conama 344, de 2004. Desta forma, o resultado das análises de somatória dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) contempla 14 compostos de HPA e não 17 como na atual legislação. Logo, as concentrações obtidas para o referido parâmetro foram comparadas ao valor de 3000 µg/kg (Conama 344/2004) ao invés de 4000 µg/kg (Conama 454/2012). Observa-se que a única amostra (PS-46-S) quantificou compostos de HPA, porém em concentração inferior ao valor de 3000 µg/kg.

As amostras analisadas apresentaram concentrações de COT, TKN e fósforo total inferiores aos valores de alerta estabelecidos na Resolução Conama 454/2012, com concentrações entre 1,64 e 6,49 % para carbono orgânico total, entre 246,8 a 843,5 mg/Kg para fósforo total e entre 372,3 a 3211,70 mg/Kg para nitrogênio Kjeldahl total (Tabela 1 do Anexo 10.8-3).

Tabela 10.3.2.1-4. Resultados da análise de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) nas amostras de sedimento do Trecho 4 (Campanha IV – outubro de 2012).

Parâmetros	CONAMA 454/12		PS-14-S	PS-15-S	PS-39-S	PS-40-S	PS-41-S	PS-42-S	PS-43-S	PS-44-S
	Nível 1	Nível 2								
	Água Salina e Salobra									
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) em <math>\mu\text{g}/\text{kg}</math></b>										
<b>Grupo A</b>										
Benzo(a)antraceno	280	690	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Criseno	300	850	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Benzo(a)pireno	230	760	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Dibenzo(a,h)antraceno	43	140	< 2,51	< 2,55	< 3,47	< 2,12	< 2,66	< 3,15	< 2,59	< 2,33
<b>Grupo B</b>										
Naftaleno	160	2100	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Acenaftileno	44	640	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Acnafteno	16	500	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Fluoreno	19	540	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Fenantreno	240	1500	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Antraceno	85,3	1100	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Fluoranteno	600	5100	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Pireno	665	2600	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
2-metilnaftaleno	70	670	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
HPA (somatória)	Nota 1	-	< 7,54	< 7,65	< 10,42	< 6,36	< 7,98	< 9,46	< 7,77	< 6,99
Parâmetros	CONAMA 454/12		PS-45-S	PS-46-S	PS-47-S	PS-48-S	PS-49-S	PS-50-S	PS-67-S	
	Nível 1	Nível 2								
	Água Salina e Salobra									
<b>Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) em <math>\mu\text{g}/\text{kg}</math></b>										
<b>Grupo A</b>										
Benzo(a)antraceno	280	690	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Criseno	300	850	< 7,50	<b>37,20</b>	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Benzo(a)pireno	230	760	< 7,50	<b>27,58</b>	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Dibenzo(a,h)antraceno	43	140	< 2,50	< 3,03	< 3,00	< 3,26	< 3,76	< 3,79	< 2,16	
<b>Grupo B</b>										
Naftaleno	160	2100	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Acenaftileno	44	640	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Acnafteno	16	500	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Fluoreno	19	540	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Fenantreno	240	1500	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Antraceno	85,3	1100	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Fluoranteno	600	5100	< 7,50	<b>55,46</b>	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
Pireno	665	2600	< 7,50	<b>53,60</b>	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
2-metilnaftaleno	70	670	< 7,50	< 9,09	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	
HPA (somatória)	Nota 1	-	< 7,50	<b>173,84</b>	< 9,01	< 9,80	< 11,28	< 11,36	< 6,47	

Nota 1 - Considerando que a coleta das amostras foi realizada anterior a publicação da Resolução Conama 454, de 01 de novembro de 2012, as análises de HPA foram realizadas com base nos valores estabelecidos pela Resolução Conama 344, de 2004. Desta forma, o resultado das análises de somatória dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) foi inferior à 3000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

## Análise granulométrica

As análises para caracterização física dos sedimentos, considerando as amostras obtidas no Trecho 4 (Campanha IV), 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 (Figura 10.3.2.1-2).

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.

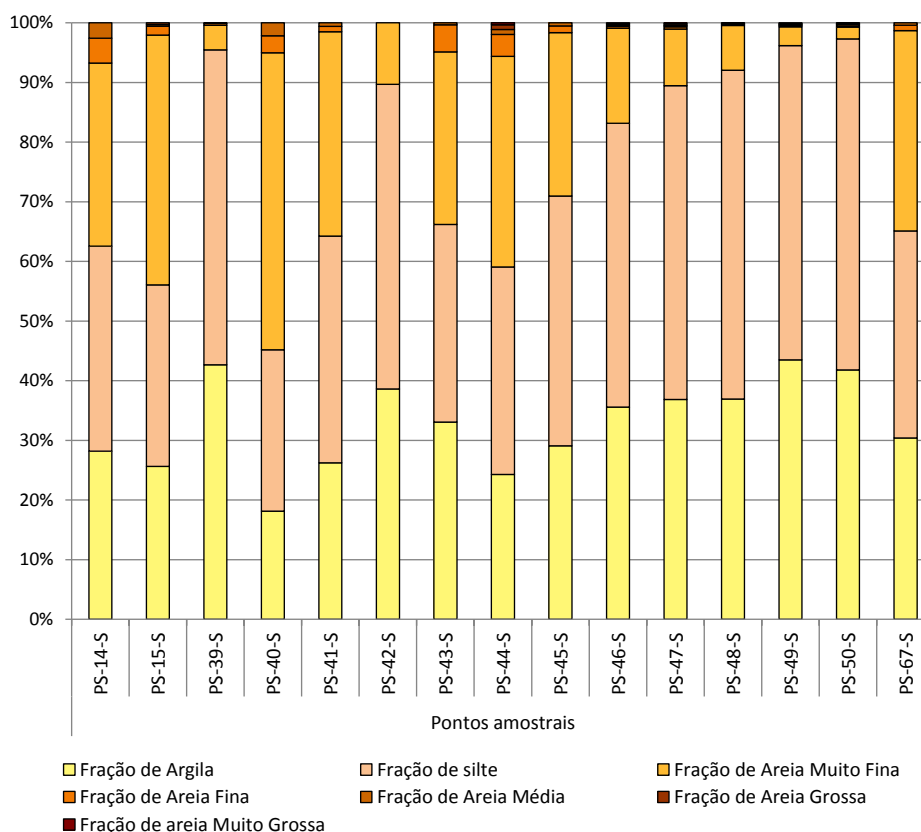


Figura 10.3.2.1-2. Resultados da análise granulométrica para o sedimento do Trecho 4 (Campanha IV – outubro de 2012).

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

Análises ecotoxicológicas, com o ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus*, foram realizadas em 15 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, da Campanha IV encontram-se no Anexo 10.8-4.

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 ( $\text{NH}_4^+$  - mg/L) e amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$  - mg/L). Nas Tabelas 10.3.2.1-5 e 10.3.2.1-6 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 10.3.2.1-3 são apresentados as porcentagens de larvas normais, com seus respectivos desvios-padrão, calculadas a partir dos dados das quatro réplicas, para cada amostra.

Tabela 10.3.2.1-5. Parâmetros físico-químicos medidos na fração aquosa, no início e no fim do teste de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus*, do sedimento coletado no Trecho 4 (Campanha IV – Outubro de 2012).

Amostra	Análises Físico-Químicas	Análises					
		T °C	O.D (mg/L)	pH	Salinidade	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)
Controle	Inicial	25	7,0	7,97	34	n.a	n.a
	Final	25	6,4	7,81	34	n.a	n.a
Controle rede	Inicial	25	6,5	7,95	34	n.a	n.a
	Final	25	6,1	7,88	34	n.a	n.a
PSS-14	Inicial	25	5,2	7,89	35	1,61	<b>0,056</b>
	Final	25	4,5	7,71	35	n.a	n.a
PSS-15	Inicial	25	5,0	7,81	36	0,04	0,001
	Final	25	4,6	7,77	36	n.a	n.a
PSS-39	Inicial	25	4,7	7,88	36	1,19	0,040
	Final	25	4,3	7,50	36	n.a	n.a
PSS-40	Inicial	25	4,7	7,86	36	0,46	0,01
	Final	25	4,5	7,62	36	n.a	n.a
PSS-41	Inicial	25	6,8	7,86	35	0,91	0,03
	Final	25	4,6	7,71	36	n.a	n.a
PSS-42	Inicial	25	4,3	7,82	35	1,19	0,035
	Final	25	4,0	7,74	35	n.a	n.a
PSS-43	Inicial	25	4,6	7,89	36	1,05	0,040
	Final	25	4,4	7,59	36	n.a	n.a
PSS-44	Inicial	25	5,0	7,82	34	n.d	n.d
	Final	25	4,5	7,73	35	n.a	n.a
PSS-45	Inicial	25	4,3	7,88	36	0,84	0,028
	Final	25	3,9	7,65	36	n.a	n.a
PSS-46	Inicial	25	5,6	7,83	35	1,65	<b>0,05</b>
	Final	25	4,4	7,96	35	n.a	n.a
PSS-47	Inicial	25	5,9	7,80	35	1,65	<b>0,05</b>
	Final	25	4,4	7,74	36	n.a	n.a
PSS-48	Inicial	25	6,2	7,89	35	1,33	0,046
	Final	25	4,3	7,79	35	n.a	n.a
PSS-49	Inicial	25	6,5	7,82	36	2,00	<b>0,059</b>
	Final	25	4,5	8,03	36	n.a	n.a
PSS-50	Inicial	25	6,2	7,85	37	3,33	<b>0,11</b>
	Final	25	4,3	7,99	37	n.a	n.a
PSS-67	Inicial	25	6,1	7,82	36	5,08	<b>0,150</b>
	Final	25	4,3	7,89	36	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 10.3.2.1-6. Efeito tóxico observado no teste de toxicidade crônica com *Lytechinus variegatus* para as amostras de sedimento, coletado no Trecho 4 (Campanha IV – Outubro de 2012).

Amostra	Nº de larvas normais por réplica				Total Normais/ Total	Média (%)	Desvio Padrão (%)	Resultado
	R1	R2	R3	R4				
Controle	92	90	94	86	362/400	90,50	3,42	-
Controle de rede	90	89	92	94	365/400	91,25	2,22	-
PSS-14	0	3	2	0	5/400	1,25	1,50	Tóxico
PSS-15	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-39	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-40	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-41	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-42	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-43	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-44	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-45	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-46	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-47	2	0	0	0	0/400	0,50	1,00	Tóxico
PSS-48	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico
PSS-49	66	59	49	58	232/400	58,00	6,98	Tóxico
PSS-50	35	23	13	26	97/400	24,25	9,07	Tóxico
PSS-67	0	0	0	0	0/400	0,00	0,00	Tóxico



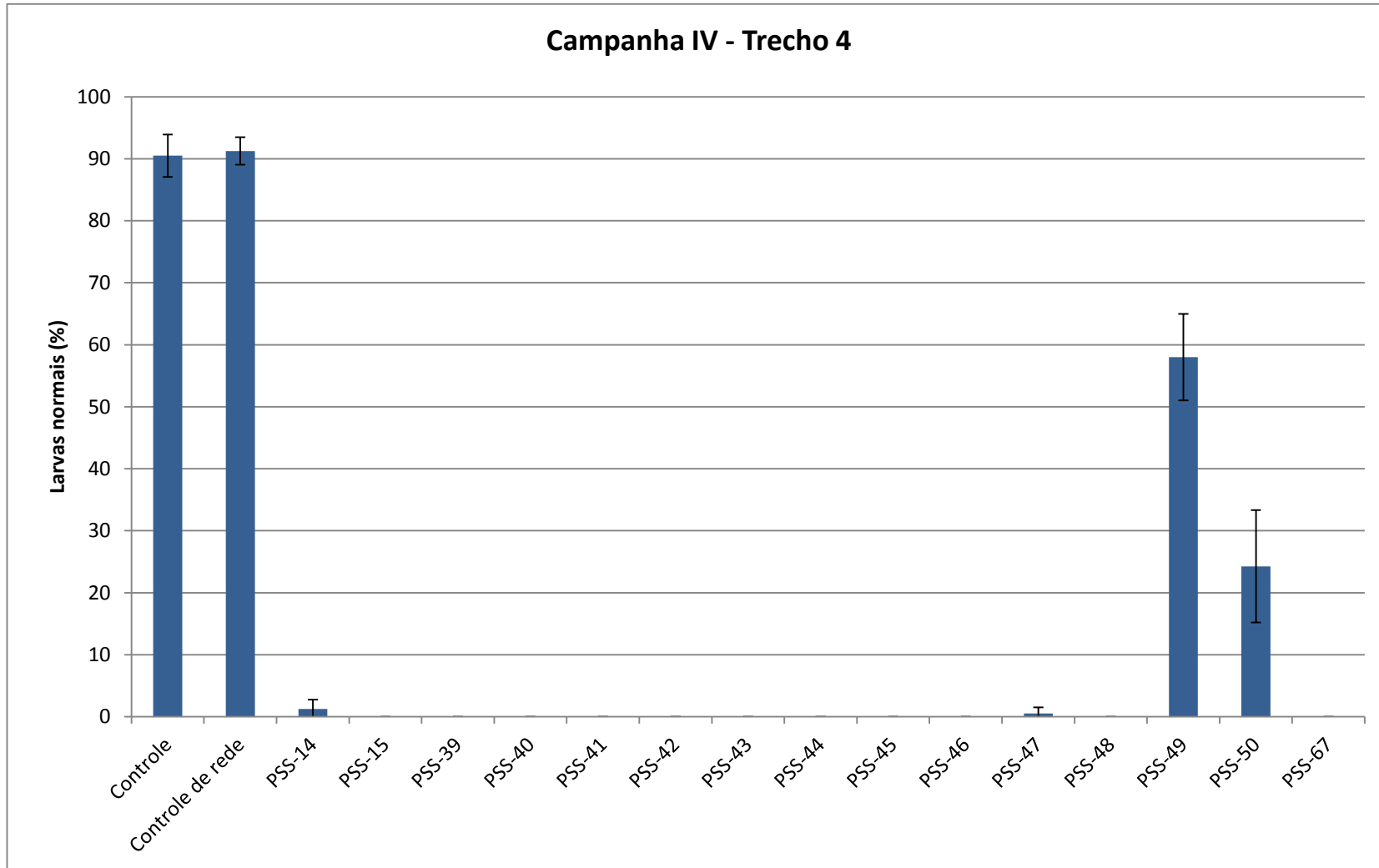


Figura 10.3.2.1-3. Porcentagens de larvas (*Lytechinus variegatus*) normais, com seus respectivos desvios-padrão, encontradas para cada amostra, coletada no Trecho 4 (Campanha IV – Outubro de 2012).

De acordo com o tratamento estatístico aplicado, foi verificado que todas as amostras da Campanha IV 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 PSS-14, PSS-46, PSS-47, PSS-49, PSS-50 e PSS-67 apresentaram concentrações acima do limite e 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 ( $ZnSO_4$ ). A concentração letal mediana ( $CL_{50}$ ; 24h) obtido foi: 0,14 mg Zn/L. O valor obtido está dentro da faixa aceitável (0,10 – 0,22 mg/L  $ZnSO_4$ ) conforme carta controle.

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

Análises ecotoxicológicas, com o anfípoda *Leptocheirus plumulosus*, foram realizadas em 15 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, da Campanha IV encontram-se no Anexo 10.8-5.

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 10.3.1-7. Já as análises de pH, salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L), temperatura ( $^{\circ}C$ ), nitrogênio amoniacal (mg/L) e amônia não ionizada ( $NH_3$  - mg/L), realizadas na água intersticial do sedimento no início e no fim do teste, estão apresentados na Tabela 10.3.2.1-8.

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 10.3.2.1-9 apresenta os resultados do teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus* nas amostras de superfície da Campanha IV. Os

valores obtidos estão dentro da faixa estabelecida para a aceitação dos resultados (ABNT, 2008). Na Figura 10.3.2.1-4 são apresentadas as mortalidades, com seus respectivos desvios-padrão, calculadas a partir dos dados das três réplicas, para cada amostra.

Tabela 10.3.2.1-7. 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 (Campanha IV – Outubro de 2012).

Amostra	pH		Salinidade (‰)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Controle	7,87	8,27	21	21	6,41	7,60
PSS-50	7,88	8,47	23	24	4,24	7,68
PSS-49	7,99	8,53	22	24	4,20	7,22
PSS-48	7,66	8,46	23	24	2,96	7,24
PSS-47	7,85	8,28	22	24	3,95	7,31
PSS-46	7,70	8,40	23	24	2,74	7,25
PSS-45	7,77	8,48	22	24	2,78	7,34
PSS-67	7,97	8,19	22	23	2,23	7,26
PSS-44	7,72	8,27	22	24	6,37	7,30
PSS-43	7,91	8,43	22	24	5,13	7,27
PSS-15	7,87	8,49	22	22	5,09	7,39
PSS-42	7,90	8,53	22	23	3,95	6,87
PSS-41	7,81	8,52	22	23	5,04	7,24
PSS-40	7,85	8,45	23	23	4,12	7,22
PSS-14	7,94	8,63	22	23	4,09	7,26
PSS-39	7,95	8,47	21	22	5,39	7,40

Tabela 10.3.2.1-8. 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 (Campanha IV – Outubro de 2012).

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
Controle	7,85	8,05	22	24	6,51	6,82	26,0	25,6	2,25	-	0,084	-
PSS-50	7,28	8,03	30	24	3,49	6,59	26,0	25,6	17,00	-	0,164	-
PSS-49	7,44	8,18	31	25	4,10	6,55	26,0	25,6	17,50	-	0,242	-
PSS-48	7,40	8,15	31	25	4,45	6,59	26,0	25,6	14,00	-	0,177	-
PSS-47	7,47	8,17	31	25	4,99	6,55	26,0	25,6	11,00	-	0,163	-
PSS-46	7,68	8,14	31	25	4,54	6,63	26,0	25,6	17,50	-	0,417	-
PSS-45	7,45	8,13	31	25	4,90	6,60	26,0	25,6	14,50	-	0,205	-
PSS-67	7,72	8,15	31	25	5,61	6,53	26,0	25,6	55,00	-	1,433	-
PSS-44	7,52	8,12	31	25	5,29	6,47	26,0	25,6	9,00	-	0,149	-
PSS-43	7,53	8,14	31	25	4,70	6,48	26,0	25,6	10,75	-	0,183	-
PSS-15	7,54	8,10	31	25	5,32	6,45	26,0	25,6	13,00	-	0,226	-
PSS-42	7,56	8,19	32	25	5,17	6,56	26,0	25,6	17,00	-	0,309	-
PSS-41	7,46	8,15	32	25	5,26	6,57	26,0	25,6	10,50	-	0,152	-
PSS-40	7,43	8,13	32	25	5,27	6,51	26,0	25,6	9,50	-	0,129	-
PSS-14	7,72	8,06	31	25	5,71	6,04	26,0	25,6	19,50	-	0,508	-
PSS-39	7,52	8,04	31	25	5,37	6,00	26,0	25,6	19,00	-	0,315	-

Tabela 10.3.2.1-9. Efeito tóxico observado no teste de toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus* para as amostras de sedimento de superfície, coletado no Trecho 4 (Campanha IV – Outubro de 2012).

Amostra	Réplica	N° de animais por réplica		Mortalidade (%)	Mortalidade Total (%)	Desvio Padrão (%)	Resultado
		Mortos	Total				
Controle	1	0	20	0	0	0,00	-
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-50	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-49	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-48	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
PSS-47	1	0	20	0	3	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	1	20	5			
PSS-46	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-45	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-67	1	1	20	5	15	21,79	Não Tóxico
	2	8	20	40			
	3	0	20	0			
PSS-44	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-43	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
PSS-15	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
PSS-42	1	2	20	10	5	5,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	1	20	5			
PSS-41	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-40	1	1	20	5	2	2,89	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			
PSS-14	1	0	20	0	2	2,89	Não Tóxico
	2	1	20	5			
	3	0	20	0			
PSS-39	1	0	20	0	0	0,00	Não Tóxico
	2	0	20	0			
	3	0	20	0			

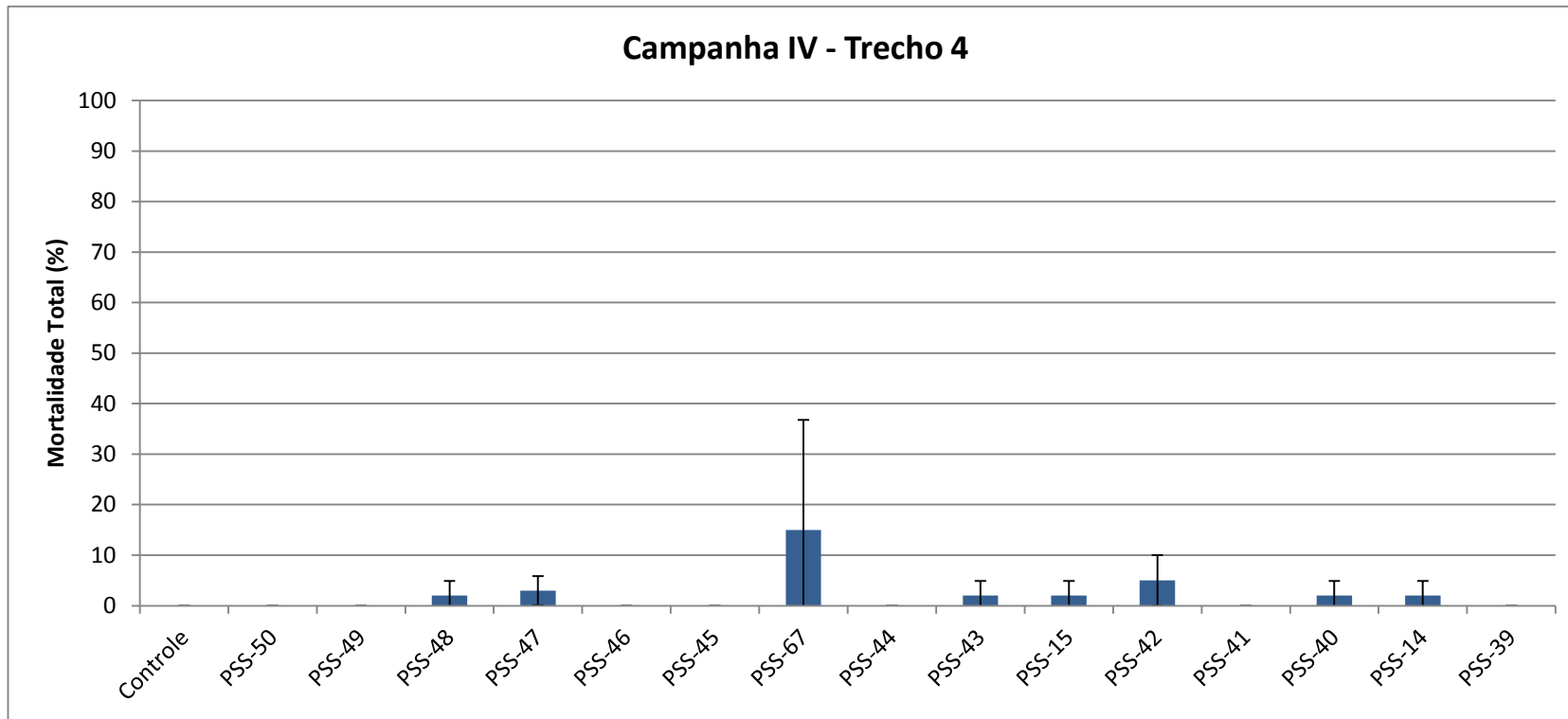


Figura 10.3.2.1-4. Mortalidade total (*Leptocheirus plumulosus*), com seus respectivos desvios-padrão, encontrada para cada amostra de sedimento, coletado no Trecho 4 (Campanha IV – Outubro de 2012).

De acordo com o tratamento estatístico aplicado, foi verificado que as amostras de sedimento de superfície da Campanha IV 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 PSS-67 apresentou concentração de amônia não ionizada (1,433 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: 0,76 mg Zn/L (I.C.: 0,63 a 0,92 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.

#### 10.4. 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 (Campanha IV) 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 neste monitoramento 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/RIMA (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.

Nas amostras de sedimento do Trecho 4 analisadas durante a elaboração do EIA/RIMA (FRF, 2008) observou-se a quantificação dos metais cobre, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e zinco e do semimetal arsênio. Entre as 15 amostras de superfície os metais cobre, níquel e zinco foram quantificados em uma amostra cada, em concentração acima dos valores orientadores de nível 1 da Resolução Conama 344/2004, mercúrio foi quantificado em 11 amostras e o semimetal arsênio em 13 amostras em concentrações acima dos valores orientadores da referida resolução.

Entre as 26 amostras de subsuperfície (até 1 metro e entre 1 e 2 metros de profundidade) do Trecho 4 analisadas no EIA/RIMA (FRF, 2008), 22 apresentaram concentrações de arsênio acima do valor orientador de Nível 1 da Resolução Conama 344/2004, mercúrio foi quantificado em 18 amostras acima dos valores orientadores de Nível 1, cobre e chumbo em uma amostra cada, zinco em 2 amostras e níquel em 3 amostras, em concentrações acima do valor orientador de Nível 1 da referida resolução.

Concentrações acima dos valores orientadores de Nível 2 da Resolução Conama 344/2004 entre as amostras do EIA (FRF, 2008) do Trecho 4 foram observadas para o metal mercúrio em uma amostra de superfície e em 2 amostras de subsuperfície.



Entre as 15 amostras de sedimento do Trecho 4 analisadas neste monitoramento (amostras de superfície, após dragagem de aprofundamento) foram quantificados os metais cobre, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e zinco. Foram observadas concentrações acima dos valores orientadores de Nível 1 da Resolução Conama 454/2012, de 0,3 mg/Kg (em vigor a partir de 08 de novembro de 2012) em 4 amostras para o metal mercúrio (PS-41 0,322; PS-48 0,324; PS-49 0,350 e PS-50 0,364 mg/Kg). Não foram observadas concentrações acima dos valores orientadores de Nível 2 da Resolução Conama 454/2012 nas amostras de sedimento do Trecho 4 coletadas neste monitoramento.

Entre os demais parâmetros analisados nas amostras de sedimento do Trecho 4 durante o EIA/RIMA (FRF, 2008) os compostos de bifenilas policloradas (PCB) e pesticidas organoclorados (POC) apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação (LQ) do método analítico utilizado para todas as amostras.

Foram quantificados compostos de HPA dos grupos A e B tanto em amostras de superfície como de subsuperfície. Em 10 amostras de superfície e em 18 amostras de subsuperfície observou-se a quantificação de compostos de HPA do grupo A em concentração acima dos valores orientadores de Nível 1 da Resolução Conama 344/2004. Compostos do grupo B foram quantificados em concentrações acima dos valores orientadores de Nível 1 da referida resolução em 5 amostras de superfície e em 12 amostras de subsuperfície. Nas amostras de sedimento do Trecho 4 analisadas neste monitoramento foi observada a quantificação de compostos de HPA dos grupos A e B em apenas uma amostra (PS-46), sendo que todos apresentaram concentração abaixo dos valores orientadores de Nível 1 da Resolução Conama 454/2012. Os demais parâmetros analisados (PCB e POC) apresentaram resultados abaixo dos limites de quantificação (LQ) do método analítico utilizado para todas as amostras analisadas.

Com relação à granulometria do sedimento não foram observadas alterações significativas entre as amostras analisadas no EIA/RIMA (FRF, 2008), que apresentavam predomínio das frações de silte e argila tanto em amostras de

superfície como de subsuperfície, e as amostras analisadas neste monitoramento, com manutenção do predomínio de silte e argila.

Na Tabela 10.4-1 é apresentado um comparativo de todos os resultados das análises químicas, dos compostos que foram quantificados, e dos ensaios ecotoxicológicos das amostras do Trecho 4 (Campanha IV) do canal do Porto de Santos.

Os resultados do teste de toxicidade crônica, com *Lytechinus variegatus*, das amostras do Trecho 4, indicaram que todas as 15 amostras apresentaram toxicidade crônica para o referido organismo. Das 15 amostras, 6 (PSS-14, PSS-46, PSS-47, PSS-49, PSS-50 e PSS-67) 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 analisadas neste monitoramento, 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 tóxico observado em alguns ensaios, com amostras da Campanha IV, realizada após a dragagem de aprofundamento, principalmente nos ensaios com interface sedimento-água (ISA) é a amônia não ionizada, entretanto tal correlação não foi observada em todas as

amostras que apresentaram efeito tóxico. Do total de 15 amostras, que apresentaram toxicidade crônica, 6 (ou 40%) apresentaram também amônia não ionizada acima do limite para *Lytechinus variegatus*.

Tabela 10.4-1. Resultados das análises químicas e ecotoxicológicas das amostras do Trecho 4 (Campanha IV) do canal do Porto de Santos.

Parâmetros	CONAMA 344/04		PS-14-S	PS-15-S	PS-39-S	PS-40-S	PS-41-S	PS-42-S	PS-43-S	PS-44-S	PS-45-S	PS-46-S	PS-47-S	PS-48-S	PS-49-S	PS-50-S	PS-67-S	
	Nível 1	Nível 2																
	Água Salina e Salobra																	
<b>Metais e semi metais, em mg/kg</b>																		
Arsênio Total (mg/kg)	8,2	70	< 0,942	< 0,957	< 1,30	< 0,794	< 0,997	< 1,18	< 0,972	< 0,874	< 0,938	< 1,14	< 1,13	< 1,23	< 1,41	< 1,42	< 0,808	
Cádmio total (mg/kg)	1,2	9,6	< 0,628	< 0,638	< 0,868	< 0,530	< 0,665	< 0,789	< 0,648	< 0,583	< 0,625	< 0,758	< 0,751	< 0,817	< 0,940	< 0,947	< 0,539	
Cromo Total (mg/kg)	81	370	26,6	22,7	34,2	15,9	23,7	30,2	25,8	22,2	24,6	30,9	30,2	35,1	37,9	41,6	20,8	
Chumbo total (mg/kg)	46,7	218	15,6	10,6	18,3	9,78	14,4	18,4	15,2	9,75	11,8	16,7	15,0	19,6	19,6	19,4	8,14	
Cobre Total (mg/kg)	34	270	10,2	6,31	15,6	5,54	11,1	13,4	10,8	6,17	7,39	12,7	11,0	15,1	17,7	16,8	3,88	
Mercurio Total (mg/kg)	0,15	0,71	0,221	0,0969	0,181	0,123	0,322	0,218	0,176	0,0909	0,165	0,197	0,192	0,324	0,350	0,364	< 0,0647	
Níquel Total (mg/kg)	20,9	51,6	10,2	8,79	12,6	6,26	9,19	11,5	10,6	8,71	9,66	12,2	11,9	14,2	14,9	14,5	7,82	
Zinco Total (mg/kg)	150	410	62,0	49,0	78,0	41,4	60,9	70,1	60,2	45,0	55,2	72,2	64,8	82,4	97,7	87,5	37,8	
gama-BHC (lindano)	0,32	0,99	< 0,1508	< 0,1531	< 0,2083	< 0,1271	< 0,1596	< 0,1893	< 0,1554	< 0,1399	< 0,1500	< 0,1818	< 0,1802	< 0,1961	< 0,2256	< 0,2273	< 0,1293	
Carbono Orgânico total (%)	10*		2,21	2,58	3,87	1,64	2,27	6,49	2,53	2,88	3,25	3,76	3,81	4,78	4,10	3,79	2,24	
Nitrogênio Kjeldahl Total (mg/kg)	4800*		1145,0	885,5	1029,7	372,3	789,6	694,3	895,6	650,1	716,8	1017,2	1027,1	1705,9	2883,1	3211,7	453,6	
Fósforo Total (mg/kg)	2000*		474,2	313,1	497,3	246,8	376,0	461,8	417,5	273,7	357,7	512,3	509,4	562,6	843,5	749,4	253,3	
Ensaio Ecotoxicológico (ISA)	Resultado	Não tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	
	Larvas Normais (%)	-		1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	58	24,25	0
	Amônia não ionizada (mg/L)	0,05		0,056	0,001	0,04	0,01	0,03	0,035	0,04	n.d.	0,028	0,05	0,05	0,046	0,059	0,11	0,15
Ensaio Ecotoxicológico (Sedimento Total)	Resultado	Não tóxico	Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	Não Tóxico	
	Mortalidade (%)	-		2	2	0	2	0	5	2	0	0	3	2	0	0	15	
	Amônia não ionizada (mg/L)	0,8		0,508	0,226	0,315	0,129	0,152	0,309	0,183	0,149	0,205	0,417	0,163	0,177	0,242	0,164	1,433

## 10.5. 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 15 amostras de sedimentos coletadas no Trecho 4, considerando os valores orientadores da Resolução Conama 454/2012, que 4 amostras apresentam concentrações de mercúrio acima dos valores de Nível 1 (de 0,30 mg/Kg), com concentrações entre 0,322 e 0,364 mg/Kg.

Com relação ao mercúrio, este já 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.

Observou-se também a quantificação de HPAs em apenas uma amostra de sedimento (PS-46-S), no entanto, em concentrações abaixo do valor orientador de Nível 1 da Resolução Conama 454/2012. Assim como os metais, alguns compostos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos já haviam sido quantificados em alguns casos, em concentrações acima do valor de Nível 1

Resolução Conama 344/2004, nas amostras do EIA/RIMA da dragagem de aprofundamento do Canal do Porto de Santos (FRF, 2008).

Os compostos orgânicos analisados (PCB e POC) apresentaram para todas as amostras concentrações abaixo dos limites de quantificação dos métodos analíticos utilizados.

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 a maioria dos compostos orgânicos analisados (PCB, POC e maioria dos HPA). Apenas para metais foram quantificadas concentrações acima do limite de quantificação (LQ), no entanto, excetuando mercúrio em 04 amostras (PS-41-S, PS-48-S, PS-49-S e PS-50-S), 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, todas apresentaram toxicidade crônica para o ensaio empregado com *Lytechinus variegatus* e nenhuma amostra (ou 0% do total de amostras) apresentaram toxicidade aguda com *Leptocheirus plumulosus*. Das 15 amostras, 6 (PSS-14, PSS-46, PSS-47, PSS-49, PSS-50 e PSS-67) 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 da Campanha IV 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 anfípodos 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).

Entende-se assim, que o monitoramento e demais ações do PBA têm sido importantes para a adequação social e ambiental do empreendimento e que as condicionantes e orientações do IBAMA estão sendo consideradas e atendidas quando da execução dos programas.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Luiz Roberto Tommasi  
Diretor Presidente - FUNDESPA



## 10.6. 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.

### **10.7. Equipe Técnica**

Dr. Bauer R. de F. Rachid, Oceanógrafo

Dra. Mariana Beraldo Masutti – Química

MSc Cristina Gonçalves - Química

Carlos Eduardo Neves Consulim - Oceanógrafo

Clarice Yumi Hiramatsu - Química

Gimel Roberto Zanin – Oceanógrafo

MSc. Priscilla Bosa – Oceanógrafa

Rafael Rugna Ciglione – Oceanógrafo

Renato Arruk Torres- Oceanógrafo

Tábata Sarti Prado - Oceanógrafa

Vanessa Ferreira Rocha - Técnica em Saneamento

### **10.8. Anexos**

- Anexo 10.8-1. Cadeias de Custódia – Campanhas IV;
- Anexo 10.8-2. Dossiê fotográfico procedimentos de amostragem de sedimento;
- Anexo 10.8-3. Resultados análise química e granulométrica das amostras de sedimento, Campanha IV, Trecho 4;
- Anexo 10.8-4. Laudos dos testes de toxicidade crônica, com *Lytechinus variegatus* na interface sedimento-água, Campanha IV, Trecho 4;

- Anexo 10.8-5. Laudos dos testes de toxicidade aguda, com *Leptocheirus plumulosus* no sedimento total, da Campanha IV, Trecho 4.

ANEXO 10.8-1. CADEIAS DE CUSTÓDIA – CAMPANHAS IV

ANEXO 10.8-2. DOSSIÊ FOTOGRÁFICO PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO;



Figura 1. Sonda multiparamétrica da marca HANNA modelo HI 991003, utilizada para as medições físico-químicas *in situ*, das amostras de sedimento.



Figura 2. Detalhe do lançamento da Draga *van Veen* para a amostragem de sedimento superficial.



Figura 3. Medição dos parâmetros físico-químicos *in situ*, do sedimento, utilizando a sonda multiparamétrica da marca HANNA modelo HI 991003.



Figura 4. Transferência do sedimento coletado para uma bandeja de aço Inox.





Figura 5. Acondicionamento do sedimento superficial em frascaria adequada com espátula de aço inox.



Figura 6. Acondicionamento das amostras de sedimento, em caixas térmicas com gelo.



Figura 7. Sonda multiparamétrica da marca HANNA modelo HI 9828, utilizada para as medições físico-químicas *in situ*, da água de fundo. .



Figura 8. Medição dos parâmetros físico-químicos *in situ*, da água, utilizando a sonda multiparamétrica da marca HANNA modelo HI 9828.



Figura 9. Registro das medições físico-químicas, *in situ*, da água, em campo.

ANEXO 10.8-3. RESULTADOS ANÁLISE QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO, CAMPANHA IV, TRECHO 4;



ANEXO 10.8-4. LAUDOS DOS TESTES DE TOXICIDADE CRÔNICA, COM  
*LYTECHINUS VARIEGATUS* NA INTERFACE SEDIMENTO-ÁGUA,  
CAMPANHA IV, TRECHO 4

ANEXO 10.8-5. LAUDOS DOS TESTES DE TOXICIDADE AGUDA, COM *LEPTOCHEIRUS PLUMULOSUS* NO SEDIMENTO TOTAL, DA CAMPANHA IV, TRECHO 4