

**A VARIABILIDADE DA BIOMASSA PLANCTÔNICA SOB INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE E DA DRAGAGEM DO PORTO DE ARATÚ, BAÍA DE TODOS OS SANTOS, BRASIL.**

João Barroso FORTE NETO<sup>1,2</sup>  
Magda BERETTA<sup>3</sup>  
Aline Nogueira FERREIRA<sup>2</sup>  
Christiane Sampaio de SOUZA<sup>2</sup>  
Paulo de Oliveira MAFALDA JÚNIOR<sup>2</sup>

Data de submissão 17/09/2014  
Aceito: 20/10/2014

**RESUMO**

O objetivo deste estudo é avaliar o impacto da atividade de dragagem de aprofundamento do Porto de Aratu, na Baía de Todos os Santos, sobre a biomassa de plâncton. As amostras foram coletadas antes, durante e depois da dragagem, em 6 estações de amostragem, durante as marés enchente e vazante, somente no período seco. O plâncton foi coletado utilizando redes de malha 50µm (microfitoplâncton), 200µm (mesozoplâncton) e 500µm (ictioplâncton), através de arrastos horizontais de subsuperfície. As variáveis oceanográficas (temperatura e salinidade), qualidade da água (oxigênio dissolvido e turbidez) e nutrientes (amônia e fósforo total) foram obtidas simultaneamente. Durante o período

de dragagem foram registrados os maiores valores de densidade demicrofitoplâncton, densidade de mesozoplâncton e peso orgânico de mesozoplâncton, além dos menores valores de ovos e larvas de peixes, que foram restabelecidos após a dragagem. A análise de ordenação multivariada mostrou uma nítida separação entre os períodos de amostragem, demonstrando variabilidade temporal na biomassa de plâncton no porto de Aratu, em resposta a sazonalidade das características oceanográficas da massa de água e mudanças na qualidade de água, possivelmente associada com as atividades de dragagem.

**Palavras-chave:** variáveis oceanográficas, qualidade da água, nutrientes, plâncton

**ABSTRACT**

This study aims to evaluate the impact of the activity of dredging to deepen the Port of Aratu, at Todos os Santos Bay, on plankton biomass. Samples were collected before, during and after dredging, in 6 sampling stations both the flood and ebb tide, only in dry season. The plankton was collected using networks of mesh size 50µm, 200µm and 500µm, through subsurface horizontal hauls. The oceanographic variables (temperature and salinity), water quality (dissolved oxygen and turbidity) and nutrients (ammonia and total phosphorus) were obtained simultaneously. During the dredging time it was registered the highest

values of microphytoplankton density, mesozooplankton density, mesozooplankton organic weight and lowest density of eggs and fish larvae, with subsequent recovery after dredging. The multivariate ordination analyses showed a very clear separation between samplings, demonstrating temporal variability in the plankton biomass in the port of Aratu, in response to seasonality of oceanographic characteristics of the water masses and changes in water quality, possibly associated with dredging activities.

**Keywords:** oceanographic variables, water quality, nutrients, plankton

<sup>1</sup> Mestrado em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Geremoabo, 147, Bahia, CEP: 40170-290. Bolsista FAPESB. E-mail: [jb.forte@gmail.com](mailto:jb.forte@gmail.com).

<sup>2</sup> Laboratório de Plâncton, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. E-mail: [pomafa@ufba.br](mailto:pomafa@ufba.br)

<sup>3</sup> Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia. E-mail: [mberetta@ufba.br](mailto:mberetta@ufba.br)

## INTRODUÇÃO

As atividades de dragagem em zonas portuárias, que permitem aumentar a profundidade do canal de acesso e bacia de evolução, também envolvem a escavação do sedimento, transporte e subsequente descarte do material dragado (PATCHINEELAM et al., 2008), sendo vital para o crescimento econômico das regiões costeiras (ENGLER et al., 1991).

Quando bem conduzida a dragagem deve ser considerada como uma necessidade que pode resultar em aspectos positivos para a sociedade (PATCHINEELAM et al., 2008). Contudo, a avaliação do impacto de atividades portuárias sobre o plâncton indicam que a dragagem e as construções portuárias são os que mais influenciam a hidrodinâmica e o plâncton (SILVA et al., 2004), pois estes impactos afetam o balanço e a resiliência das comunidades planctônicas (NEUMANN et al., 1998).

Durante a dragagem, o teor elevado de matéria orgânica no material em suspensão pode diminuir o oxigênio disponível da água e criar temporariamente condições estressantes para muitos organismos aquáticos, além disto, elevadas concentrações de sedimento em suspensão diminuem a penetração de luz na coluna de água devido ao alto grau de turbidez, prejudicando a atividade fotossintética do fitoplâncton (JONGE 1983; NEWELL et al., 1998).

Estudos avaliando os efeitos da dragagem sobre as comunidades planctônicas vem sendo desenvolvidos principalmente em lagos (WANG et al., 2005; LI et al., 2007; WU et al., 2008; ZHANG et al., 2010). No nordeste do Brasil alguns estudos avaliaram os efeitos da dragagem e da construção de portos sobre a sobrevivência e o crescimento de organismos do fitoplâncton, zooplânctone ictioplâncton (NEUMANN et al., 1998; KOENING et al., 2002; SILVA et al., 2004; BEZERRA JR.; NEUMANN-LEITÃO, 2010). Recentemente, foi avaliado o impacto da dragagem do Porto de Aratu, baía de Todos os Santos, sobre a comunidade fitoplanctônica (FERREIRA et al., 2012) e sobre a associação de larvas de peixes (MALTEZ et al., 2014).

Este trabalho teve como objetivo monitorar a biomassa planctônica, na região adjacente ao porto de Aratu, na baía de Todos os Santos, antes, durante e após término da atividade de dragagem, correlacionando a sua variabilidade espaço-temporal com as variáveis oceanográficas, a qualidade da água e os nutrientes, visando compreender os possíveis efeitos causados pelo processo de dragagem.

## MATERIAL E METODOS

### Área de estudo

A Baía de Todos os Santos (BTS), está centrada entre a latitude de 12°50'S e a longitude de 38°38'W, apresentando uma área de 1.233 km<sup>2</sup>, sendo considerada a segunda maior baía do Brasil (HATJE & ANDRADE, 2009). Esta região é influenciada pelo clima tropical, onde o padrão de precipitação pluviométrica apresenta um período seco, entre setembro e fevereiro, e um período chuvoso entre março e agosto, quando chove 60% da precipitação total anual (PEREIRA, 2008).

Esta baía é caracterizada pela presença de manguezais, que proporcionam refúgio contra predadores e constituem ricas áreas de alimentação, além de atuarem como área de criação para diferentes espécies de larvas de peixes (KATSURAGAWA et al., 2009; MAFALDA Jr. et al., 2008).

A Baía de Aratu é um pequeno sistema que inclui a própria baía e um canal com 4 km de extensão (Canal de Cotegipe), que liga a parte central da baía ao Porto de Aratu, na BTS (Figura 1). A Baía de Aratu é rasa, com profundidade média de 1,8 m e com uma largura e comprimento de 214 metros e 4,1 km, respectivamente (PEREIRA, 2008). A descarga fluvial a partir de uma pequena área de influência atinge a baía através de dois rios perenes, Santa Maria e Cotegipe, que, juntos, têm uma descarga média anual estimada de 1,65 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (CRA, 2000).

O campo de vento mostra uma forte sazonalidade, soprando de E e SE na estação seca e de S e SW na estação chuvosa. A circulação no interior da BTS é predominantemente forçada pelas marés e não varia significativamente ao longo do ano (CIRANO & LESSA, 2007) e as

marés são semi-diurnas com correntes mais fortes durante a maré vazante na maior parte do compartimento (LESSA et al., 2001).

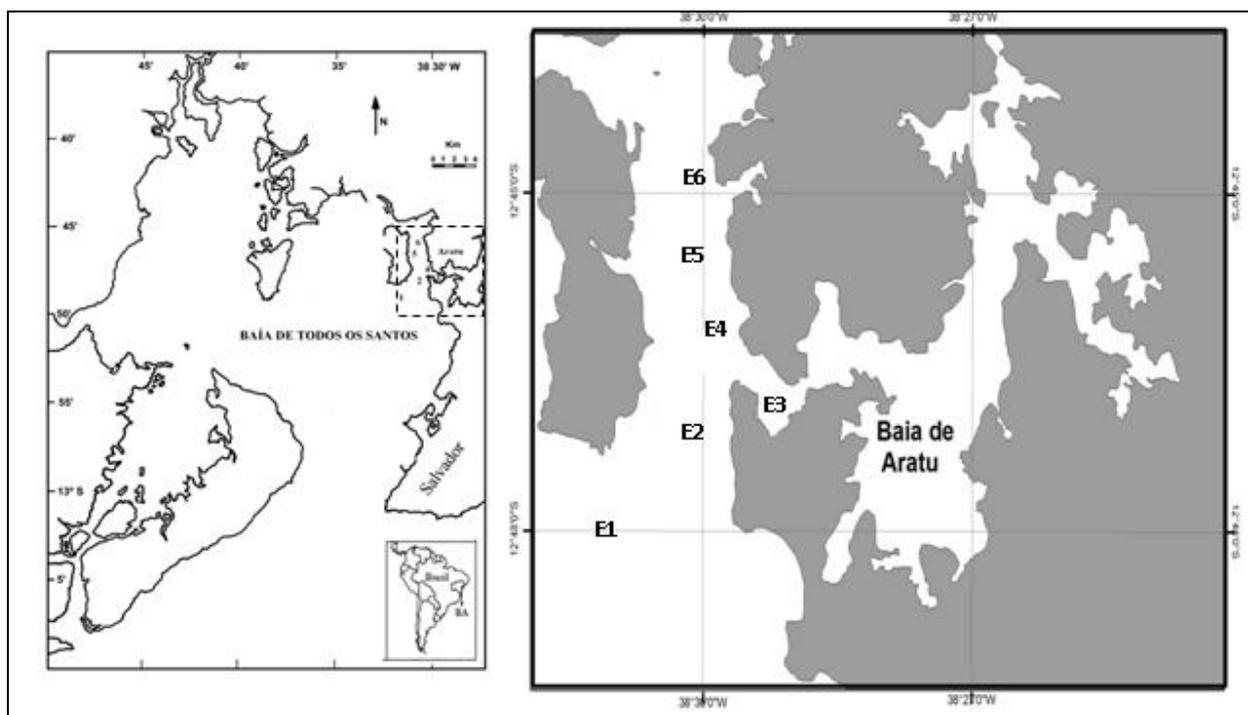
### Amostragem e análise laboratorial

As coletas foram realizadas com uma lancha de pequeno porte, em 6 estações de amostragem (Tabela 1; Figura 1), nos meses de fevereiro/2010 (pré-dragagem), setembro/2010 (dragagem) e novembro/2011 (pós-dragagem). As coletas foram realizadas tanto na maré enchente, quanto na vazante, com um intervalo de 4 horas, com o objetivo de aumentar a representatividade da amostra. As variáveis salinidade, temperatura e oxigênio dissolvido foram medidas em cada estação, utilizando-se refratômetro, termômetro e oxímetro, respectivamente. As amostras de água para análises de turbidez, amônia e fósforo total, foram coletadas com garrafa de Van Dorn e encaminhadas ao laboratório para determinação segundo recomendações do SMEWW (2005).

Visando realizar um estudo comparativo da biomassa planctônica as amostras foram coletadas simultaneamente através de arrastos horizontais de subsuperfície e a biomassa estimada para o volume investigado em toda área de estudo. Para realizar os arrastos horizontais de subsuperfície, com cerca de 5 minutos de duração, em uma velocidade média de 2kt (1m/s), foram utilizadas redes cônicas, com malhas de 50  $\mu\text{m}$  (microfitoplâncton), 200  $\mu\text{m}$  (mesozooplâncton), e 500 $\mu\text{m}$  (ictioplâncton), dotadas de fluxômetro Hydrobios, para estimativa do volume de água filtrada. Em seguida as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 500 ml, e conservadas em formol a 4%. O cálculo do volume de água filtrada pela rede foi realizado através da seguinte fórmula:  $V = a.n.c$ , onde:  $V$  = volume de água filtrada ( $\text{m}^3$ );  $a$  = área da boca da rede ( $\text{m}^2$ );  $n$  = número de rotações durante o arrasto (rot);  $c$  = fator de aferição do fluxômetro ( $\text{m.rot}^{-1}$ ). A análise quantitativa do microfitoplâncton foi efetuada com uso de microscópio binocular, em lâmina de Segwick-Rafter, a partir de alíquotas de  $1 \text{ mL}^{-1}$ . A análise do mesozooplâncton empregou microscópio estereoscópico em alíquotas de  $20 \text{ mL}^{-1}$  (5 % amostra). As amostras de ictioplâncton foram submetidas à triagem total de ovos e larvas de peixes em microscópio estereoscópico (lupa). A quantificação foi efetuada cel/L (microfitoplâncton), org/ $\text{m}^3$ , (mesozooplâncton) e org/100  $\text{m}^3$  (ictioplâncton). A densidade de plâncton (organismos. $\text{m}^{-3}$ ), foi obtida a partir do quociente entre o número total de organismos obtidos em cada amostra (N) e o volume de água filtrada (V), através da fórmula:  $N/\text{m}^3 = (N/V)$ .

**Tabela 1**-Coordenadas das estações de amostragem no porto de Aratu.

Estações	01	02	03	04	05	06
Coordenadas	12°48'22.34"S 38°31'36.38"O	12°47'34.03"S 38°30'26.97"O	12°47'20.72"S 38°29'27.06"O	12°46'57.03"S 38°30'18.00"O	12°46'24.14"S 38°30'35.39"O	12°45'45.07"S 38°30'17.42"O



**Figura 1** - Mapa indicando o local das estações de amostragem no Porto de Aratú (Fonte: Ferreira, 2012).

As amostras de zooplâncton foram divididas ao meio retirando-se alíquotas de  $100 \text{ mL}^{-1}$  para analisar a biomassa; em seguida obteve-se a biomassa úmida, em sistema de filtração através de filtro de fibra de vidro (GF/C 47 mm), previamente pesados. O filtro juntamente com o material depositado nele, foi colocado em papel toalha durante 3 minutos, retirando-se o máximo possível de água, sendo então pesados em balança de precisão (METTLER TOLEDO PG 2002-S). Para obtenção da biomassa seca, os filtros foram colocados em estufa de secagem e esterilização a seco modelo (315 SE – FANEM), durante um período mínimo de 24 horas a uma temperatura de  $60^\circ \text{C}$ . Após este período os filtros foram retirados da estufa e colocados em um dessecador (VIDROLABOR T – LERMEX  $\text{m/m}$ ) por um período de 3 horas, para estabilizar o peso sem absorver umidade (OMORI; IKEDA, 1984; DE INFANTE, 1988), sendo então pesados individualmente, obtendo-se assim, o valor da biomassa seca. Para obtenção da biomassa orgânica os filtros, com o material seco, foram colocados em cadinhos de porcelana, pesados e levados ao forno (MUFLA LAVOISIER 402 D). A temperatura, ajustada inicialmente para  $300^\circ \text{C}$ , por 30 minutos, foi reajustada para  $600^\circ \text{C}$ , por 3 horas, até a obtenção das cinzas (peso inorgânico). Desta forma, a biomassa orgânica corresponde à diferença entre a biomassa seca e as cinzas (BOLTOVSKOY, 1981). Os valores de biomassa foram expressos em  $\text{mg}/100\text{m}^3$ , para biomassa úmida, seca e orgânica (OMORI; IKEDA, 1984).

### **Análise estatística**

A análise da variabilidade espaço-temporal da biomassa planctônica (densidade de microfitoplâncton, densidade de mesozooplâncton, peso de mesozooplâncton, densidade de ovos de peixes e densidade de larvas de peixes) e das variáveis ambientais foi realizada mediante o emprego da ANOVA dois critérios, seguida do teste de comparações múltiplas de Tuckey, realizados através do software Bioestat 5.3 (AYRES et al., 2000).

A Análise de Correspondência Canônica não tendenciosa (DCCA) foi utilizada para investigar o tamanho do gradiente ambiental. Uma vez que este gradiente foi linear, optou-se pela Análise de Redundância (RDA) para verificar através do diagrama de ordenação o principal padrão de variação da biomassa planctônica, em função das variáveis ambientais. As análises DCCA e RDA foram realizadas empregando o pacote estatístico Canoco for Windows versão 4.5 (TER BRAAK; SMILAUER, 1998).

A Análise de Redundância é considerada uma forma canônica de PCA, ou seja, é uma técnica de análise direta de gradiente, que emprega um modelo linear (TER BRAAK; SMILAUER, 1998). Redundância é a proporção da variância total das variáveis respostas (biomassa planctônica) que pode ser explicada (extraída) por uma combinação linear das variáveis preditivas (ambientais). O procedimento estatístico empregado para estimar esta variância e desenvolver um modelo preditivo é a RDA. Esta análise deve minimizar a presença de co-variáveis através de baixos valores de correlação entre as variáveis ambientais. A Análise de Redundância utilizada foi a "step-wise", que também permite empregar o teste de permutações de Monte Carlo para testar a significância estatística de cada uma das variáveis ambientais e também dos eixos de ordenação.

A RDA empregou uma matriz simétrica, onde as variáveis ambientais não foram transformadas, mas as variáveis biológicas sofreram uma transformação logarítmica e foram centradas e padronizadas visando reduzir a distância e a assimetria entre os valores observados das variáveis.

No diagrama de ordenação as estações de amostragem das campanhas realizadas no período seco, durante a Pré-dragagem, Dragagem e Pós-dragagem, estão representadas por círculos, onde quanto mais próximo estiverem as estações, maior a semelhança entre elas. As variáveis ambientais e biológicas estão representadas por setas vermelhas e azuis, respectivamente. A magnitude da correlação entre uma variável e um eixo de ordenação pode ser extrapolada do comprimento e do ângulo entre o vetor e o eixo. Ou seja, quanto mais longo e mais paralelo for o vetor em relação ao eixo, mais exclusivo é o relacionamento entre a variável e este eixo. Este diagrama mostra o principal padrão de variabilidade biológica, espaço-temporal, em função das variáveis ambientais consideradas na análise.

As análises DCCA e RDA Foram realizadas empregando o pacote estatístico Canoco for Windows versão 4.5 (TER BRAAK; SMILAUER, 1998).

## RESULTADOS

### Variabilidade espaço-temporal das variáveis ambientais

A variabilidade espaço-temporal das variáveis oceanográficas (salinidade e temperatura), qualidade da água (oxigênio dissolvido e turbidez) e nutrientes (amônia e fósforo total) foi analisada através do Teste ANOVA dois critérios (p-valor) e do Teste de Comparações Múltiplas de Tuckey.

A temperatura apresentou valores mais elevados na pré-dragagem, quando variou entre 29,1 e 33,9 °C, com média de 30,5 °C. Na dragagem, as temperaturas foram as mais baixas, variando entre 23,8 e 27,5 °C, com valor médio de 26,2 °C, enquanto na pós-dragagem variaram entre 27,1 e 30,8 °C, com média de 29,2 °C.

A salinidade também foi mais elevada na pré-dragagem, oscilando entre 35,5 e 38,5, com média de 36,9. Na dragagem, a salinidade oscilou entre 30 e 35,5, com média de 34,4. Na pós-dragagem observou-se a menor amplitude, com valores estando entre 34 e 35 e média de 34,8.

A água apresentou-se mais oxigenada na pré-dragagem, quando os valores de oxigênio dissolvido estiveram entre 5,6 e 8,8 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 7,3 mg.l<sup>-1</sup>. Durante a dragagem e a pós-dragagem os valores foram mais baixos, variando entre 4,4 e 6 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 5 mg.l<sup>-1</sup> na dragagem e entre 2,3 e 3,2 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 2,8 mg.l<sup>-1</sup> na pós-dragagem.

A turbidez apresentou maior amplitude durante a pré-dragagem, variando entre 2 e 11, com média de 6,2. Na dragagem, variou entre 1,8 e 9,4, com média de 5,5 e na pós dragagem obteve-se os valores mais baixos de turbidez, variando entre 1 e 4,3, com média de 3.

Durante a pré-dragagem, a concentração de amônia não variou espacialmente, sendo a mesma (0,2 mg.l<sup>-1</sup>) em todas as estações de amostragem. Na dragagem os valores foram os mais elevados, oscilando entre 0,03 e 0,61 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 0,23 mg.l<sup>-1</sup>, enquanto na pós-dragagem os valores foram mais baixos, entre 0,03 e 0,1 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 0,075 mg.l<sup>-1</sup>.

A concentração de fósforo total apresentou valores mais baixos na pré-dragagem, entre 0,002 e 0,026 mg.l<sup>-1</sup>, com valor médio de 0,016 mg.l<sup>-1</sup>. Durante a dragagem a concentração

aumentou, apresentando valores entre 0,004 e 0,064 mg.l<sup>-1</sup>, com uma média de 0,045 mg.l<sup>-1</sup>, quase 3 vezes maior do que a da pré-dragagem. Na pós-dragagem houve uma pequena redução, e as concentrações estiveram entre 0,03 e 0,049 mg.l<sup>-1</sup>, com média de 0,039 mg.l<sup>-1</sup>.

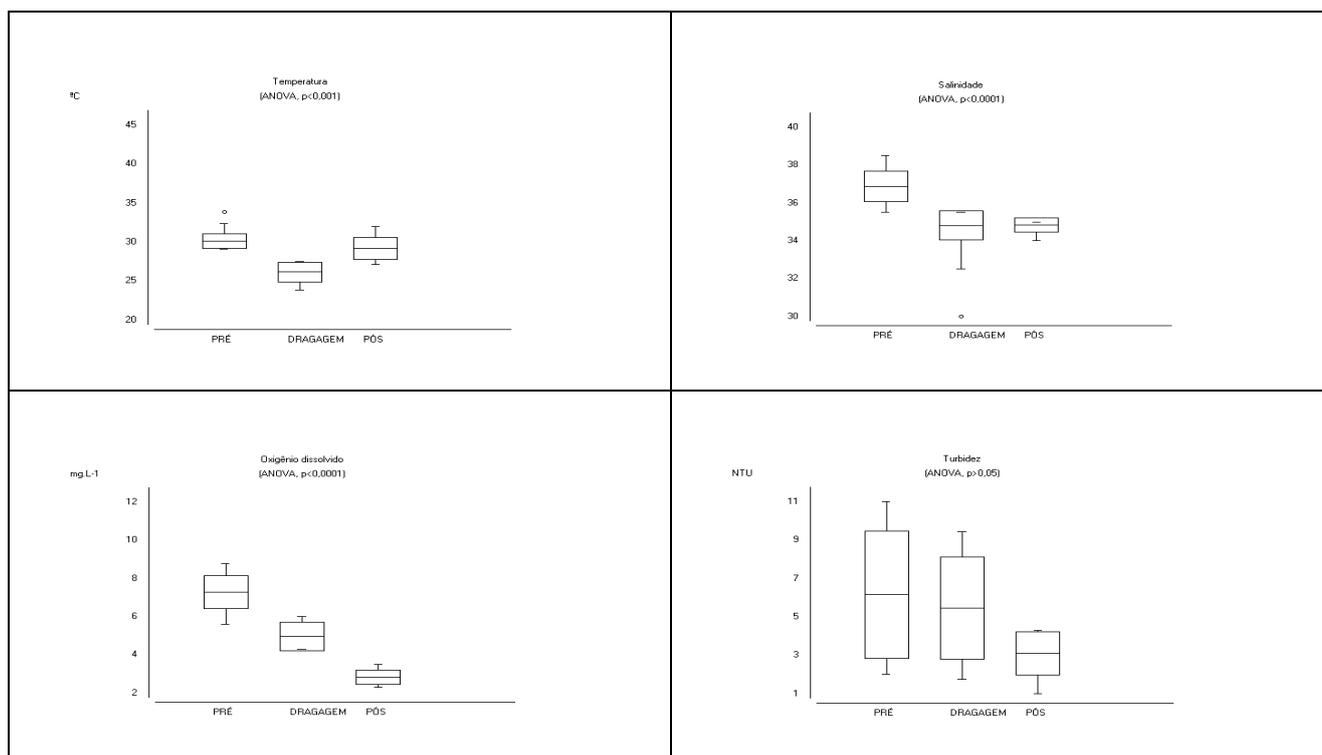
Todas as variáveis ambientais analisadas apresentaram diferença estatística significativa (ANOVA, p<0,05) entre as amostragens, com exceção da turbidez (Tabela 1). A variabilidade das variáveis oceanográficas (salinidade e temperatura), foi mais influenciada pela sazonalidade do que pela dragagem. Porém a variabilidade da qualidade da água (oxigênio dissolvido e turbidez) e nutrientes (amônia e fósforo total) foi mais influenciada pela dragagem.

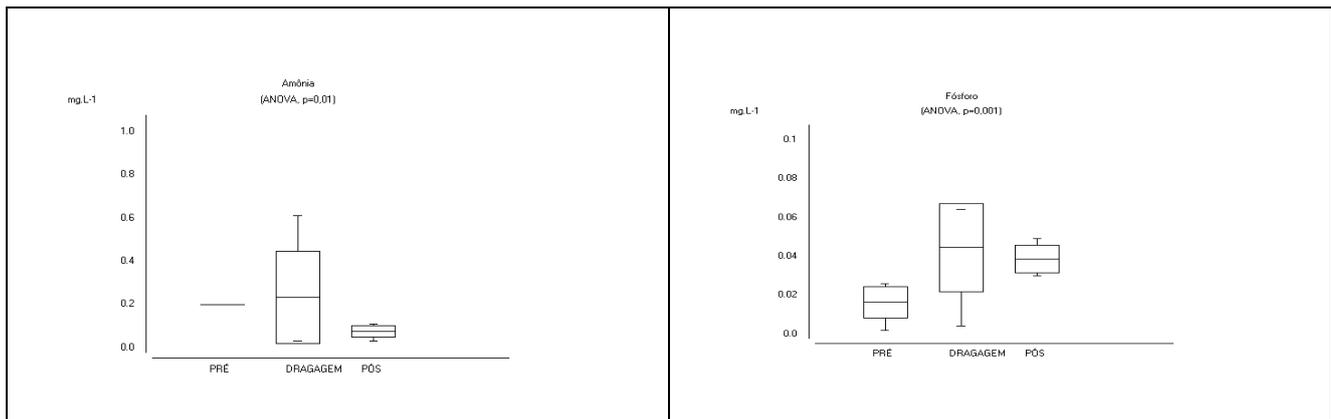
Não foi encontrada diferença estatística significativa entre as seis estações de amostragem (ANOVA, p>0,05), para nenhuma das variáveis analisadas indicando que não foi detectada influência da atividade de dragagem sobre a variabilidade espacial da variáveis ambientais.

A análise estatística descritiva, envolvendo resultados de média, desvio-padrão e amplitude, para as variáveis oceanográficas, qualidade da água e nutrientes pode ser visualizada nos box-plot apresentados na Figura 2.

**Tabela 2** – Resultados da média das variáveis ambientais, do Teste ANOVA dois critérios (p-valor) e do Teste de Comparações Múltiplas de Tuckey (p-valor), para o estudo da variabilidade temporal durante a atividade de dragagem no Porto de Aratu, Bahia (PRÉ, Pré-dragagem; DRAGA, Dragagem; PÓS, Pós-dragagem).

PARÂMETROS	PRÉ	DRAGA	PÓS	ANOVA	1 x 2	1 x 3	2 x 3
Temperatura (°C)	30,5	26,2	29,2	<b>0.0001</b>	<0,05		<0,05
Salinidade	36,9	34,4	34,8	<b>0.0001</b>	<0,05	<0,05	
Oxigênio(mg.L <sup>-1</sup> )	7,3	5,0	2,8	<b>0.0001</b>	<0,05	<0,05	<0,05
Turbidez (NTU)	6,2	5,5	3,1	0.1353			
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,2	0,233	0,075	<b>0.0131</b>		<0,05	
Fósforo(mg.L <sup>-1</sup> )	0,016	0,045	0,039	<b>0.0018</b>	<0,05	<0,05	





**Figura 2** - Box-plot (amplitude, desvio-padrão e média) para as variáveis ambientais obtidos em três momentos da atividade de dragagem: Pré-dragagem (PRÉ), Dragagem (DRAGA) e Pós-dragagem (PÓS), no Porto de Aratu, BTS, Bahia.

**Variabilidade espaço-temporal da biomassa planctônica**

A variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica (densidade de microfitoplâncton), biomassa zooplanctônica (densidade de mesozooplâncton) e biomassa ictoplanctônica (densidade de ovos e larvas de peixes) foi analisada (Tabela 3).

A densidade média total de microfitoplâncton, obtida durante a pré-dragagem (281 cel/L), sofreu um aumento de 284% durante a dragagem (800 cel/L), mas foi restabelecida para níveis semelhantes aos iniciais na pós-dragagem (59 cel/L).

A densidade média total de mesozooplâncton, capturada durante a pré-dragagem (435 org/m<sup>3</sup>), sofreu um aumento de 225% durante a dragagem (981 org/m<sup>3</sup>), mas foi restabelecida para níveis semelhantes aos iniciais na pós-dragagem (677 org/m<sup>3</sup>).

O peso úmido, seco e orgânico médio de mesozooplâncton, obtidos durante a pré-dragagem apresentaram elevações entre 245% e 314%, durante a dragagem, mas a biomassa foi restabelecida para níveis semelhantes aos iniciais na pós-dragagem.

A densidade média total de ovos (19 ovos/100m<sup>3</sup>), capturados durante a dragagem, apresentou uma redução de 85% em comparação com a densidade média de 133 ovos/100m<sup>3</sup> obtida na pré-dragagem, mas foi restabelecida em níveis mais elevados do que os inicialmente obtidos durante a pós-dragagem (404 ovos/100m<sup>3</sup>).

A densidade média total de larvas de peixes (4 larvas/100m<sup>3</sup>), capturadas na dragagem, sofreu uma redução de 71% em comparação com a densidade média de 14 larvas/100m<sup>3</sup> obtidos na pré-dragagem, e não foi restabelecida para níveis semelhantes aos iniciais durante a pós-dragagem (5 larvas/100m<sup>3</sup>).

Assim como encontrado para as variáveis ambientais também não foi verificada diferença estatística significativa entre as seis estações de amostragem (ANOVA, p>0,05), para nenhuma das variáveis investigadas, indicando que não foi detectada influência da atividade de dragagem sobre a distribuição espacial da biomassa planctônica.

**Tabela 3** – Resultados da média da biomassa planctônica, do teste ANOVA dois critérios (p-valor) e do Teste de Comparações Múltiplas de Tuckey (p-valor), para o estudo da variabilidade temporal durante a atividade de dragagem no Porto de Aratu, Bahia (PRÉ, pré-dragagem; DRAGA, dragagem; PÓS, pós-dragagem).

	PRÉ	DRAGA	PÓS	ANOVA	1 x 2	1 x 3	2 x 3
<b>Densidade de fitoplâncton (org/L)</b>	281	800	59	0,0001		<0,05	<0,05
<b>Densidade de zooplâncton (org/m<sup>3</sup>)</b>	435	981	677	0,0750			
<b>Peso Úmido de zooplâncton (mg/100 m<sup>3</sup>)</b>	112,8	276,3	12,0	0,0001		<0,05	<0,05

<b>Peso Seco de zooplâncton (mg/100 m<sup>3</sup>)</b>	3,5	10,3	1,4	0,0001			<0,05
<b>Peso Orgânico de zooplâncton (mg/100 m<sup>3</sup>)</b>	1,4	4,4	0,9	,0001	<0,05		<0,05
<b>Densidade de ovos de peixes(ovo/100 m<sup>3</sup>)</b>	133	19	404	0,0002	<0,05		<0,05
<b>Densidade de larvas de peixes (larva/100 m<sup>3</sup>)</b>	14	4	5	0,0034	<0,05		

### Análise Multivariada

A Análise de Redundância "stepwise" não apresentou multicolineariedade, pois os baixos valores de correlação (<0,7) entre as variáveis ambientais indicaram a ausência de co-variáveis (Tabela 4).

No porto de Aratu as variáveis ambientais que mais contribuem para a explicabilidade do gradiente ambiental, avaliadas através do teste de Monte Carlo ( $p < 0,05$ ) foram: temperatura, amônia, fósforo e oxigênio dissolvido (Tabela 5). A salinidade e a turbidez não apresentaram contribuição significativa, mas foram mantidas na análise devido a sua importância ecotoxicológica implícita. O teste de Monte Carlo (Tabela 6) também evidenciou a significância estatística do primeiro eixo de ordenação ( $p = 0,002$ ) e da soma de todos os eixos ( $p = 0,002$ ).

A soma de todos os autovalores (0.5), quando comparada com a inércia (1.0), aponta uma proporção de 50% o que indica a boa qualidade desta análise (Tabela 6). Uma proporção inferior a 20% poderia refletir um efeito restritivo da construção do relacionamento ambiental dentro do modelo da Análise de Redundância.

Os autovalores fornecem uma medida da importância dos eixos da AR, podendo variar entre 0 e 1. Desta forma a maior parte da explicabilidade desta análise (Tabela 6) está contida no primeiro eixo (0.34), pois os outros eixos apresentaram baixos valores (<0,2). A correlação entre espécies e ambiente (Tabela 6), que também varia entre 0 e 1, apresentou valores elevados nos eixos 1 e 2 (>0,5)

O diagrama de ordenação (Figura 3) foi elaborado com os dois primeiros eixos da Análise de Redundância, pois juntos eles explicaram 92% da variância acumulada da relação espécie-ambiente (Tabela 6). Neste diagrama as amostras foram agrupadas em função do gradiente ambiental e da variabilidade espaço-temporal das estimativas de biomassa planctônica. Assim, as estações da fase de Pré-dragagem (1), associadas a maiores valores de densidade de ictioplâncton (ovos e de larvas de peixes) foram fortemente influenciadas por águas quentes, salinas e oxigenadas. As estações da fase de Dragagem (2) relacionadas com valores mais elevados de densidade de fitoplâncton, densidade de zooplâncton e peso orgânico de zooplâncton foram influenciadas por águas com maiores concentrações de amônia, fósforo e turbidez. Já as estações da Pós-dragagem (3), que apresentaram valores biológicos intermediários se situaram em uma posição central em relação ao gradiente ambiental.

**Tabela 4** - Coeficiente de regressão múltipla entre variáveis ambientais durante a Análise de Redundância step-wise.

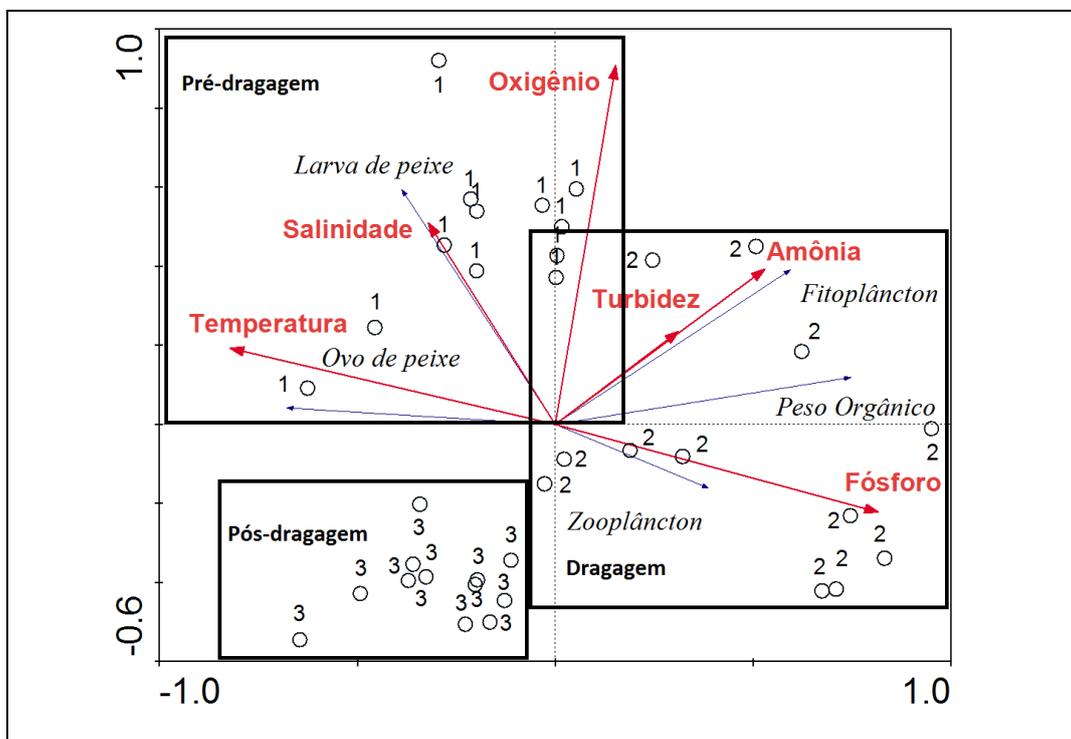
TEM	1					
SAL	0,3549	1				
OXI	0,1983	-0,5687	1			
TUR	0,0576	0,3106	0,5406	1		
AMO	-0,2501	-0,1528	0,3047	0,0009	1	
FOS	-0,5098	-0,6012	-0,4002	-0,0128	0,3185	1
	TEM	SAL	OXI	TUR	AMO	FOS

**Tabela 5** - Explicabilidade (em ordem decrescente) e resultados do teste de Monte Carlo (TMC) para a significância das variáveis ambientais durante a Análise de Redundância step-wise (\*, significativa; ns, não significativa).

Variável	Explicabilidade	TMC (p-valor)
Temperatura	0.235	0.002*
Amônia	0.128	0.004*
Fósforo	0.116	0.010*
Oxigênio	0.106	0.014*
Salinidade	0.066	0.070 <sup>ns</sup>
Turbidez	0.050	0.124 <sup>ns</sup>

**Tabela 6** - Resumo da Análise de Redundância step-wise, entre variáveis ambientais e as estimativas de biomassa planctônica.

EIXOS	1	2	3	4	
Autovalor	0,350	0,110	0,029	0,010	
Correlação espécie-ambiente	0,844	0,764	0,421	0,310	
Variância % acumulada das espécies	35,0	46,0	48,8	49,9	
Variância % acumulada da relação espécie-ambiente	69,7	91,5	97,2	99,3	
Inércia					1
Soma dos autovalores					0,5
Teste de Monte Carlo: Eixo 1					p-valor=0,002
Teste de Monte Carlo: Eixo 1-2-3-4					p-valor=0,002



**Figura 3** - Diagrama de ordenação da Análise de Redundância (RDA) para variáveis ambientais e estimativas de biomassa (peso orgânico de zooplâncton) e densidade (fitoplâncton);

zooplâncton; ovos e larvas de peixes), em três momentos da atividade de dragagem no porto de Aratu, BTS, Bahia. (1, 2, 3: estações de amostragem).

## DISCUSSÃO

Os valores de salinidade indicaram a presença de duas massas de água distintas durante o estudo. Durante a pré-dragagem verificou-se a presença da massa de água Tropical, que em função da estreita plataforma continental, com cerca de 10 km de extensão (BRANDINI et al., 1997), avança em direção ao interior da baía de Todos os Santos atingindo a área de estudo. Esta água Tropical é parte do fluxo em direção ao sul da Corrente do Brasil, que é caracterizada por salinidade acima de 36 (CAMPOS et al., 1995). A massa de água costeira, com salinidade em torno de 35, é formada em função da elevação da pluviosidade e consequente aumento da vazão estuarina (MAFALDA et al. 2003), esteve presente na dragagem e na pós-dragagem.

Evidenciou-se um padrão de variabilidade térmica na área de estudo, que se caracterizou por temperaturas mais elevadas durante o período da pré-dragagem (fevereiro), e por temperaturas mais baixas na dragagem (setembro) e pós-dragagem (novembro), cujo padrão também foi observado no norte da Bahia de Todos os Santos (MAFALDA Jr. et al., 2003). Os valores mais elevados de temperatura na BTS, em torno de 30°C, são registrados nos meses de janeiro, fevereiro e março (CIRANO & LESSA, 2007, LESSA et al., 2009).

A concentração de oxigênio dissolvido oscilou entre 2,3 e 8,8 mg.l<sup>-1</sup>, indicando que em alguns momentos os valores registrados foram menores do que 6 mg.l<sup>-1</sup>, que é o valor mínimo recomendado para água do mar pela resolução Conama 357 (CONAMA, 2005). O oxigênio dissolvido apresentou os valores mais elevados na Pré-dragagem, e valores mais baixos na Dragagem e Pós-dragagem, e são reflexo da presença exclusiva da água Tropical, durante a Pré-dragagem e da presença da água Costeira, na Dragagem e Pós-dragagem. Além disto, pode-se somar a possível influência da atividade de dragagem que ao remobilizar o sedimento e ressuspender a matéria orgânica e nutrientes pode provocar também uma redução nos níveis de oxigênio na coluna d'água. Durante a dragagem de fato foram observados as maiores concentrações de fósforo total e amônia entre as 3 amostragens.

A turbidez apresentou valores baixos durante todo o estudo e foi o único parâmetro que não variou significativamente entre as amostragens. Apesar de um aumento ser esperado durante a dragagem, este não foi verificado, possivelmente, em função de este parâmetro ter sido medido na superfície, a certa distância da draga e possivelmente em momentos onde não havia overflow. Normalmente o aumento de turbidez, em função da ressuspensão do sedimento marinho, é maior junto ao fundo e não ao longo da coluna de água (HERBICH; BRAHME, 1991). Por outro lado, um aumento de turbidez durante a dragagem foi verificado por BERETTA (2012), através do monitoramento da água e do sedimento desenvolvido paralelamente a este estudo, quando em uma grade de 10 estações de amostragem a turbidez variou entre 1.8 e 36.7 mg/L.

As concentrações de amônia oscilaram entre 0.03 and 0.6 mg.l<sup>-1</sup>, indicando que em alguns momentos (5% das amostras) os valores registrados foram superiores a 0.4 mg.L<sup>-1</sup>, que é o valor máximo recomendado pela resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005).

A concentração de fósforo total variou entre 0.01 e 0.06 mg.l<sup>-1</sup>, indicando que os valores registrados foram menores que 0.062 mg.L<sup>-1</sup>, o valor máximo recomendado pela resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005).

Foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os períodos para todos os índices de biomassa planctônica, sendo observada durante a dragagem uma grande elevação na densidade de fitoplâncton, na densidade e peso de zooplâncton, além de uma redução na densidade de ovos e larvas de peixes, em relação à pré-dragagem, seguida de uma recuperação na pós-dragagem para a maioria das variáveis analisadas.

O aumento verificado na biomassa fitoplanctônica estimulado pelo aumento da concentração de fósforo e amônia (FERREIRA et. al., 2012), promoveu um aumento da biomassa zooplanctônica e uma simultânea diminuição da biomassa ictioplanctônica, durante a dragagem do Porto de Aratu. Na região portuária de Suape, em Pernambuco, contínuas

atividades de dragagem vem promovendo a ressuspensão de sedimento (NEUMANN et al., 1998), que afetam a produtividade primária ao reduzir a penetração da luz pelo aumento da turbidez (KOENING et al., 2002), diminuindo a abundância de larvas de decapodos (SILVA et al., 2004) e de ictioplâncton larvas de peixes (BEZERRA Jr., 2011) que eram abundantes antes da dragagem (PARANAGUÁ, 1986).

A análise de redundância demonstrou uma nítida separação entre os três períodos de estudo, evidenciando a importância das características oceanográficas, qualidade da água e nutrientes na variabilidade temporal da biomassa planctônica. Este fatores também foram apontados por MALTEZ et al (no prelo), como responsáveis pela variabilidade temporal da associação de larvas de peixes no porto de Aratu.

A influência negativa da atividade de dragagem sobre a variabilidade temporal da biomassa de fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton, foi relacionada a uma situação de eutrofização aquática, com baixos teores de oxigênio e turbidez mais elevada, em função da ressuspensão de amônia e fósforo.

Não foi demonstrada a influência da atividade de dragagem sobre a distribuição espacial da biomassa planctônica, uma vez que não foi comprovada estatisticamente a variabilidade espacial entre as estações de amostragem.

Os resultados deste estudo indicaram que a variabilidade temporal na biomassa planctônica, na área portuária de Aratu, ocorreu em resposta a sazonalidade oceanográfica, alterações na qualidade da água e nutrientes, estimuladas pela atividade de dragagem. Contudo, as variações espaço-temporais das comunidades em função de processos biológicos (e.g. mortalidade, recrutamento e predação) e condições oceanográficas, podem dificultar a distinção dos efeitos das perturbações provocadas pelas dragagens.

### CONCLUSÕES

As variáveis que mais contribuíram para indicar a alteração da qualidade da água em função da atividade de dragagem foram oxigênio, fósforo e amônia.

A biomassa fito, zoo, e ictioplânctônica refletiu a sazonalidade oceanográfica e a qualidade da água em função da atividade de dragagem, havendo uma clara separação entre as fases de pré-dragagem, dragagem e pós-dragagem.

A diminuição da densidade de ovos e larvas de peixes observados durante a fase de dragagem ocorreu simultânea ao aumento de densidade de microfitoplâncton e mesozooplâncton que foram estimulados pelo aumento da concentração de fósforo e amônia.

Os resultados obtidos indicam a influência negativa da atividade de dragagem sobre a variabilidade temporal da biomassa planctônica.

Os baixos valores de turbidez, amônia e fósforo aliados a uma recomposição dos níveis de biomassa planctônica registrados durante a pós-dragagem, indicam uma recuperação ambiental da qualidade da água e do ecossistema pelágico.

Não foi detectada influência da atividade de dragagem sobre a distribuição espacial da biomassa de fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton.

### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de prestar seus agradecimentos à FAPESB e ao consórcio UFBA/FAPEX/SEP/CODEBA pelo suporte financeiro.

### BIBLIOGRAFIA

AYRES, M.; AYRES Jr. M., AYRES, D.L.; SANTOS, A.S. **BioEstat 2.0. Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas.** Belém, Sociedade Civil Mamirauá, 2000. 272p.

BERETTA, M. Monitoramento da qualidade da água e do sedimento. Convênio SEP-CODEBA-UFBA. 2012.

BEZERRA Jr. L; JUNIOR X. G.D; NEUMANN-LEITÃO, S. Diversidade de larvas de peixes das áreas internas e externas do porto de Suape (Pernambuco - Brazil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 39, n. 1, p. 1-13. 2011.

BOLTOVSKOY, D. **Atlas del Zooplancton del Atlantico Sudoccidental**: y métodos de trabajo con el zooplankton marino. Mar del Plata, Argentina. Publicação especial del INIDEP, 1981. 935p.

CAMPOS, E. J. D., GONÇALVES, J. E., IKEDA, Y. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight – summer of 1991. **J. Geophys. Res.**, v. 100, p. 18537–18550. 1995.

CIRANO, M; LESSA G.C. Oceanographic characteristics of Baía de Todos os Santos, Brazil. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 25, n. 4, p. 363-387. 2007.

Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA); *Resolução no. 357* de 15 de março de 2005. Brasília, DF, 2005.

CRA, Centro de Recursos Ambientais. Avaliação das águas costeiras superficiais. Avaliação Ambiental. **Relatório Técnico**, Salvador, BA. 2000.

DE INFANTE, A.G. El plancton de las aguas continentales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. **Programa Regional de desarrollo científico y tecnológico**. Washington, D.C. 1998.

ENGLER, R; SAUNDERS, L; WRIGHT, T. Environmental effects of aquatic disposal of dredged material. **Environ. Prof.**, v. 13, p. 317-325. 1991.

FERREIRA, A.N.; BERETA, M.; MAFALDA JR., P. Avaliação do impacto da dragagem sobre a associação fitoplanctônica, do Porto de Aratu, Baía de Todos os Santos, Bahia. **Arq. Ciên. Mar, Fortaleza**, v.45 n.1, p. 30–46. 2012.

HATJE, V. & ANDRADE, J.B. **Baía de Todos os Santos: Aspectos Oceanográficos**. Salvador: EDUFBA. 2009.

HERBICH, J.B; BRAHME, S.B. "Literature Review and Technical Evaluation of Sediment Resuspension During Dredging", Contract Report HL-91-1, Prepared for the Department of the Army, Washington, D.C: U.S. Army Corps of Engineers. 1991.

JONGE, V.N. Relations between annual dredging activities, suspended matter concentrations and the development of the tidal regime in the Sem estuary. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v. 40 Suppl. 1, p. 289-300. 1983.

JORGMAN, R. H. G.; TER BRAAK, C. J. F.; VAN TONGEREN, O. F. R.. **Data analysis in community and landscape ecology**, Cambridge University Press, 1995.

KATSURAGAWA, M; ZANI-TEIXEIRA, M.L; GOÇALO, C.G; OHKAWARA, M.H; ITAGAKI, M.K. Ichthyoplankton distribution and abundance in the northern Todos os Santos and Camamu Bays, Bahia State. **Brazil. Braz. J. Oceanogr.**, v. 59, n. 1, p. 97-109. 2011.

KOENING, M.L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S; MACÊDO, S.J. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). **Acta Bot. Bras.**, v.16, n.4, p. 407-420. 2002.

LI, G.G; WU, Z.Y; YU, Z.M. Effects of drawing water and dredging on Rotifera community in the West Lake, Hangzhou. **Acta Hydrobiologica Sinica**, v. 31, n. 3, p. 386–392. 2007.

LESSA G.G; DOMINGUEZ J.M.L; BITTENCOURT A.C.S.P; BRICHTA A. The tides and tidal circulation of Todos os Santos Bay, Northeast Brazil: a general characterization. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.73, p. 245–261. 2001.

MAFALDA JR. P.; SOUZA, P. M. M.; SILVA, E M. Estrutura hidroquímica e biomassa planctônica no norte da baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 30, n. 1, p. 31-51. 2003.

MAFALDA JUNIOR, P. O., SOUZA, C.S., VELAME, M.P.B. Fish larvae assemblage of a coastal area under influence of petrochemical activities, in Todos os Santos bay, Bahia, Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 11, p. 457-464. 2008.

MALTEZ, L.C. NEUMANN-LEITÃO, S. MAFALDA JUNIOR, P.O. Dredging impacts on the fish larvae assemblage in the porto of Aratu, Todos os Santos Bay. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 18 n. 2, p. 1-10. 2014.

NEWELL, R.C; SEIDERER, L.J; HITCHCOCK, D.R. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, v. 36, p.127-178. 1998.

NEUMANN, V.H.; MEDEIROS, C.; PARENTE, L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING, M. L. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco - Brazil) after a port complex implantation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, n. 2, p. 313-323. 1998.

OMORI, M; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. New York: John Wiley & Sons. 1984.

PARANAGUÁ, M.N.. Zooplankton of the Suape area (Pernambuco- Brazil). **Trabalhos Oceanográficos, Univ.Fed. PE**, v.19, p. 113-124. 1986.

PATCHINEELAM S.M., SOARES, C.R. & CALLIARI, L.J. Assoreamento, aterros e dragagens. P.335-349 In: Baptista Neto, J.A., Wallner Kersanach, M. & Patchineelam, S.M. (Orgs.). **Poluição Marinha**. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 412p. 2008.

PEREIRA, M. A. G. **Caracterização da hidrodinâmica do canal de Cotegipe e Baía de Aratu (Baía de Todos os Santos, BA)**. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal da Bahia. 2008. 46p.

SILVA, A.P; NEUMANN-LEITÃO, S.; SCHWAMBORN, R.; GUSMÃO, L.M; ALMEIDA E SILVA, T. Mesozooplankton of an Impacted Bay in North Eastern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 485-493. 2004.

TER BRAAK, SMILAUER, P. CANOCO. **Reference Manual User's Guide to Canoco for Windows**. Ithaca, Microcomputer Power, 352p. 1998.

WANG, X.Y; FENG, J; LI, H. Research on variety of plankton community prior and post sediment dredging in Nanhu Lake, Changchun, **Journal of Northeast Normal University**, v. 37, n.3, p. 90-94. 2005.

WU Z.Y; YU Z.M; SHENG H.Y; XU J; HAN Y.C; XU Y.T. Ecological effects of the dredging in the West Lake, Hangzhou. **Journal of Lake Sciences**, v. 20, n.3, p. 277-284. 2008

ZHANG, S; ZHOU, Q; XU, D; LIN, J; CHENG, S; WU, Z. Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake. **Journal of Environmental Science**, v. 22, n. 2, p. 218-224. 2010.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. New York, Prentice Hall. 1984.