



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

FABRÍCIO EVERTON SANTOS SOUSA

**O IMPACTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS SOBRE A BIOMASSA DO
PLÂNCTON NO LITORAL NORTE DA BAHIA.**

Salvador - BA
2013

FABRÍCIO EVERTON SANTOS SOUSA

**O IMPACTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS SOBRE A BIOMASSA DO
PLÂNCTON NO LITORAL NORTE DA BAHIA.**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Oceanografia.

Orientador: **Prof. PAULO DE OLIVEIRA MAFALDA JÚNIOR**

Salvador - BA
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

FABRÍCIO EVERTON SANTOS SOUSA

O IMPACTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS ORGÂNICOS SOBRE A BIOMASSA DO PLÂNCTON NO LITORAL NORTE DA BAHIA.

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo de Oliveira Mafalda Júnior – Orientador
Instituto de Biologia - UFBA

Dr^a Christiane Sampaio de Souza – Pós-doutoranda em Oceanografia
Instituto de Biologia - UFBA

Ms. Aline Nogueira Ferreira – Doutoranda em Geologia
Instituto de Geociências - UFBA

Salvador, 19 de março de 2013

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, pelo amor incondicional e por tudo que representa na condição de genitora.

À memória do meu pai, que apesar de ter partido tão cedo, conseguiu em pouco tempo me ensinar a ser homem.

À minha namorada Ana Carolina, por estar sempre ao meu lado.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Mafalda, pela paciência, dedicação e conhecimento transmitido a mim.

Aos membros da banca examinadora, pela presença na defesa e avaliação deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial: Léo, Gugão, Vitinho, Carol, Cabeça, Adães, Mário, Gema, Ciço e a todos os outros que estiveram comigo ao longo desta trajetória e que me permitiram vivenciar momentos inesquecíveis.

Obrigado a todos!!!

RESUMO

Os estudos sobre o plâncton e suas relações com o ambiente são de grande valia para o aumento da compreensão sobre o funcionamento das teias alimentares do ambiente pelágico e bentônico, e por isto seu uso como objeto de estudo na análise de impacto ambiental é amplo na literatura. Paralelo a isso e devido ao escasso conhecimento sobre o plâncton e o efeito dos efluentes industriais no litoral norte da Bahia, tornou-se relevante a produção deste estudo. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do efluente industrial lançado pelo sistema de disposição oceânica (SDO) da CETREL, sobre a biomassa planctônica do litoral norte da Bahia. Para isso, foram realizadas amostragens em 10 pontos, na região sob a influência de efluentes industriais do emissário submarino da CETREL. As campanhas amostradas foram divididas em dois períodos: um seco, e outro chuvoso. Para cada período foram utilizadas três campanhas com espaços temporais distintos. Para o período seco, campanhas realizadas em Dezembro de 1993 (Pré-operacional), Outubro de 2008 (Operacional 1) e Fevereiro de 2011 (Operacional 2). Para o chuvoso, campanhas de maio de 1993(Pré-operacional), julho de 2009 (Operacional 1) e Agosto de 2010 (Operacional 2). Em cada ponto, foram coletados parâmetros hidrológicos (temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, turbidez e clorofila), de nutrientes (nitrogenados e fósforo) e de metais pesados (Bário, Manganês e Vanádio). A amostragem do fitoplâncton foi realizada empregando rede cônica de malha de 50 μ m, em arrastos horizontais de superfície com 3 minutos de duração; o mesozooplâncton (larva de invertebrados) e o ictioplâncton (larvas de peixes) foram coletados com redes cônicas de 200 μ m e 500 μ m, respectivamente, em arrastos horizontais de superfície com 5 minutos de duração. Neste estudo, que empregou as condições oceanográficas e a estrutura (densidade e biomassa) do plâncton foram detectados efeitos negativos da presença da pluma de efluentes industriais no litoral norte da Bahia. Os resultados indicaram redução da biomassa do zooplâncton e de ictioplâncton, em função do desenvolvimento do fitoplâncton, que foi estimulado pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio oriundo do efluente industrial orgânico.

Palavras-chave: plâncton; efluentes industriais; avaliação temporal

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1. ZONA COSTEIRA, ANTECEDENTES E PLÂNCTON | 11 |
| 1.2. ÁREA DE ESTUDO | 13 |
| 2. OBJETIVOS | 14 |
| 3. METODOLOGIA | 14 |
| 3.1. COLETA DAS AMOSTRAS | 14 |
| 3.2. DADOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS | 16 |
| 3.3. TRATAMENTO DE AMOSTRAS | 17 |
| 3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS | 18 |
| 3.4.1. Análise Descritiva e Inferencial | 18 |
| 3.4.2. Análise Multivariada | 19 |
| 4. RESULTADOS | 19 |
| 4.1. COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE INDUSTRIAL ORGÂNICO | 19 |
| 4.1.1. Variáveis físico-químicas e nutrientes | 19 |
| 4.1.2. Compostos orgânicos | 21 |
| 4.1.3. Metais pesados | 21 |
| 4.2. VARIÁVEIS OCEANOGRÁFICAS, NUTRICIONAIS E METAIS PESADOS | 22 |
| 4.2.1. Temperatura | 22 |
| 4.2.2. Salinidade | 24 |
| 4.2.3. Diagrama T-S | 24 |
| 4.2.4. pH | 25 |
| 4.2.5. Oxigênio dissolvido | 26 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.6. Turbidez | 27 |
| 4.2.7. Nutrientes | 29 |
| 4.2.8. Metais pesados | 29 |
| 4.3. BIOMASSA DO PLÂNCTON | 30 |
| 4.3.1. Biovolume do zooplâncton | 30 |
| 4.3.2. Densidade do zooplâncton | 31 |
| 4.3.3. Densidade do ictioplâncton (larvas de peixe) | 32 |
| 4.3.4. Densidade do ictioplâncton (ovos de peixe) | 33 |
| 4.3.5. Biovolume de clorofila | 34 |
| 4.4. INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A VARIABILIDADE TEMPORAL DA BIOMASSA PLANCTÔNICA | 34 |
| 4.4.1. ANÁLISE DE ORDENAÇÃO | 34 |
| 4.4.1.1. Período Seco | 34 |
| 4.4.1.2. Período Chuvoso | 36 |
| 5. DISCUSSÃO | 38 |
| 5.1. COMPONENTE DO EFLUENTE ORGÂNICO | 38 |
| 5.2 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS, NUTRICIONAIS E METAIS PESADOS | 40 |
| 5.3 COMPOSIÇÃO DO PLÂNCTON | 41 |
| 6. CONCLUSÕES | 42 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 43 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização das estações de amostragem na área de influência do emissário submarinos da CETREL, no litoral norte da Bahia. 16
- Figuras 2 e 3 – Média pluviométrica mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90) para o ano de 2008 e 2009, Salvador-BA, Estação de Ondina. 16
- Figura 4 e 5 – Média pluviométrica mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90) para o ano de 2010 e 2011, Salvador-BA, Estação de Ondina. 17
- Figura 6 – Variação das médias mensais da precipitação pluviométrica (mm), no período de abril/1993 a março/1994, entre Açú da Torre e Itapuã, Bahia. 17
- Figura 7 – Box-plot de Temperatura, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 23
- Figura 8 – Box-plot de Salinidade, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 24
- Figura 9 – Diagrama TS para as estações de amostragem na área de influência do emissário submarino da CETREL no litoral norte da Bahia. 25
- Figura 10 – Box-plot de pH, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 26
- Figura 11 – Box-plot de Oxigênio Dissolvido, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 27
- Figura 12 – Box-plot de Turbidez, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 28
- Figura 13 – Box-plot de Biovolume do zooplâncton, durante o período seco e chuvoso, no litoral norte da Bahia (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2). 31
- Figura 14 – Box-plot de Densidade do zooplâncton, durante o período seco e chuvoso, no litoral norte da Bahia (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2). 32
- Figura 15 – Box-plot de Densidade do ictioplâncton (ovos de peixe) durante o período seco e chuvoso, no litoral norte da Bahia (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2). 33
- Figura 16 – Box-plot de Densidade do ictioplâncton (larvas de peixe), durante o período seco, no litoral norte da Bahia (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2). 33
- Figura 17 – Box-plot de Clorofila, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia. 34

Figura 18 – Projeção dos dois primeiros eixos canônicos na Análise de Redundância, baseado na biomassa do plâncton, nas variáveis oceanográficas de superfície (OXI, oxigênio dissolvido; SAL, salinidade; TEM, temperatura; TUR, turbidez; CLO, clorofila) e nas estações de amostragem dos períodos secos de Dezembro de 1993 (PO), Outubro de 2008 (OP1) e Fevereiro de 2011 (OP2). 36

Figura 19 – Projeção dos dois primeiros eixos canônicos na Análise de Redundância, baseado na biomassa do plâncton, nas variáveis oceanográficas de superfície (OXI, oxigênio dissolvido; SAL, salinidade; TEM, temperatura; TUR, turbidez; CLO, clorofila) e nas estações de amostragem dos períodos chuvosos de Maio de 1993 (PO), Julho de 2009 (OP1) e Agosto de 2010 (OP2). 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coordenadas geográficas das estações de amostragem adotada para os ciclos anuais de Monitoramento na área de influência do emissário submarino da CETREL, no litoral norte da Bahia. 15

Tabela 2 – Resultados das variáveis físico-químicas e nutrientes no instante do bombeamento do efluente, em Fevereiro de 2010 (período seco), no litoral norte da Bahia. 20

Tabela 3 – Resultados das variáveis físico-químicas e nutrientes no instante do bombeamento do efluente, em Agosto de 2010 (período chuvoso), no litoral norte da Bahia. 20

Tabela 4 – Resultado de metais pesados no instante do bombeamento do efluente, em Fevereiro de 2010 (período seco), no litoral norte da Bahia. 21

Tabela 5 – Resultado de metais pesados no instante do bombeamento do efluente, em Agosto de 2010 (período chuvoso), no litoral norte da Bahia. 21

Tabela 6 - Média (mínimo e máximo) e teste de Kruskal-Wallis para as variáveis oceanográficas e biomassa do plâncton obtidos durante a fase pré-operacional (PO), operacional 1 (OP1) e operacional 2 (OP2), no período seco, no litoral norte da Bahia. 23

Tabela 7 - Média (mínimo e máximo) e teste de Kruskal-Wallis para as variáveis oceanográficas e biomassa do plâncton obtidos durante a fase pré-operacional (PO), operacional 1 (OP1) e operacional 2 (OP2), no período chuvoso, no litoral norte da Bahia. 23

Tabela 8 - Concentrações de Ba, Mn e V na água de superfície (Su), na profundidade do disco Secchi (Se) e na água de fundo (Fu) da grade amostral da CETREL, para a campanha de Agosto de 2010 (período chuvoso). 29

Tabela 9 - Concentrações de Ba, Mn e V na água de superfície (Su), na profundidade do disco Secchi (Se) e na água de fundo (Fu) da grade amostral da CETREL, para a campanha de Fevereiro de 2011 (período seco). 30

Tabela 10 - Estatísticas da Análise de Redundância realizada para período seco no litoral norte da Bahia. 35

Tabela 11 - Estatísticas da Análise de Redundância realizada para período chuvoso seco no litoral norte da Bahia.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ZONA COSTEIRA, ANTECEDENTES E PLÂNCTON

A zona costeira se localiza em uma área onde os ambientes terrestres, marinho e atmosférico interagem de forma direta, atuando como o espaço delimitado pela interface entre o continente e a faixa marítima. Comparada a outras áreas, esta região apresenta maior estresse ambiental, devido à excessiva exploração de seus recursos naturais e uso indiscriminado do solo. As regiões costeiras marinhas são classificadas como ambientes de elevada biodiversidade e por isso tornam-se favoráveis aos estágios iniciais do ciclo de vida dos peixes, que as utilizam para desova e criação (Doyle *et al.*, 1993; Leis, 1993), além do padrão de circulação que favorece o aprisionamento dos estágios ictioplanctônicos (Castillo *et al.*, 1991). Estes ambientes são caracterizados pela maior disponibilidade de alimentos e pela escassez de predadores (Frank & Leggett, 1983).

A influência de efluentes industriais e domésticos sobre o plâncton costeiro do nordeste brasileiro tem sido estudada de forma sistemática, destacando-se os estudos na Baía de Suape e nos estuários dos rios Tatuoca e Massangana (Pessoa *et al.*, 2009), no sistema estuarino-lagunar de Jequiá, em Alagoas (Mafalda Jr. & Silva, 1996), na Baía de Todos os Santos, Bahia (Mafalda Jr., *et al.*, 2003; Mafalda Jr. & Souza, 2005; Mafalda Jr. *et al.*, 2008), no litoral de Salvador (Neto, 2009) e no litoral norte da Bahia (Mafalda, 2000; Mafalda *et al.*, 2004; Mafalda *et al.*, 2006).

Efluentes lançados em águas costeiras podem afetar a sobrevivência dos ovos e larvas de peixes e, conseqüentemente, o tamanho futura classe anual das espécies encontrados na região com relevante importância econômica. Apesar de todos os esforços, ainda existe pouca informação sobre os reais efeitos do lançamento de efluentes sobre a estrutura planctônica, mais especificamente na abundância de larvas de peixes em águas marinhas costeiras. (Gray *et al.*, 1997).

As plumas dos efluentes, lançadas no oceano pelos emissários submarinos, apresentam comportamento similar a alguns padrões oceanográficos naturais, podendo afetar a distribuição horizontal e vertical, além da abundância do plâncton (Gray *et al.*, 1992). Estas plumas, contudo, diferem dos padrões oceanográficos pelas concentrações variáveis de substâncias tóxicas, tais como metais pesados (Beder, 1989). A ação das plumas de efluentes industriais pode afetar as larvas de peixes de diferentes formas: alterar padrões de distribuição, sem causar efeitos deletérios; causar efeitos deletérios à saúde e ao

desenvolvimento (efeitos crônicos) ou causar efeito agudo, resultando na morte imediata das larvas. (Gray *et al.*, 1997).

As plumas de efluentes, contendo substâncias tóxicas, podem ocasionar o aumento da mortalidade de peixes e até mesmo efeitos subletais, pois estes se tornam mais vulneráveis. (Blaxter, 1977, Weis & Weis, 1989). Estudos de laboratório evidenciaram que as larvas de peixes, quando expostas a diferentes concentrações de metais pesados (Hg, Pb, Zn) apresentam efeitos agudos letais (Weis & Weis, 1982). Dessa forma, a utilização de nutrientes contaminados pelo plâncton pode resultar na bioacumulação de contaminantes pela ingestão de substâncias químicas (Costello & Gamble, 1992; Costello & Read, 1994). A capacidade de bioacumulação de metais pesados e pesticidas pelos peixes está demonstrada (Phillips, 1980) e, sabendo que estes ocupam níveis tróficos elevados, os efeitos da poluição são refletidos sobre outros organismos, além do estresse sobre a própria população (Hellawell, 1989).

Intrusões antropogênicas, como plumas de efluentes influenciam os padrões de distribuição de larvas de peixes, pois modificam a circulação e complexidade da coluna de água, alterando então a estrutura natural das assembleias em águas costeiras. (Gray *et al.*, 1992, Gray, 1996, Kingsford & Gray, 1996). Estudos oceanográficos sugerem maior influência das plumas de efluentes nas larvas de peixes presentes em águas superficiais, visto que estes despejos podem alterar seus padrões de distribuição em águas acima de 100 m (Gray, 1996). Além da capacidade de afetar a circulação em pequena escala, as plumas de efluentes podem influenciar as larvas de peixes de espécies que realizam migração vertical (Haldarson *et al.*, 1993).

O emissário submarino da CETREL (Central de Tratamento dos Efluentes do Pólo Petroquímico de Camaçari) estende-se por 3 km a partir da linha de costa, atingindo a linha batimétrica de 20 m, onde descarta efluentes de composição essencialmente orgânica, tanto particulada quanto dissolvida, compostos voláteis e não voláteis, e séries nitrogenadas e fosforadas. Estes efluentes industriais podem modificar gradientes locais de temperatura, salinidade, pH, oxigênio, turbidez e nutrientes (Mafalda Jr., 2000).

O estudo do zooplâncton pode ser empregado para auxiliar no monitoramento dos efeitos poluidores de efluentes domésticos e industriais (Adema 1979), além de contribuir na caracterização das condições ambientais locais através de espécies indicadoras (Margalef, 1983). Isto é possível porque esses organismos são sensíveis às mudanças ambientais e respondem a diversos tipos de impacto, podendo apresentar variações na abundância como também na composição e diversidade da comunidade (Coelho-Botelho, 2002). Levando em

conta que as áreas costeiras apresentam múltiplos usos, alterações na estrutura das comunidades planctônicas podem demonstrar impactos antropogênicos.

O estudo do plâncton constitui uma ferramenta de grande relevância, visto que o fitoplâncton produz matéria orgânica pela fotossíntese e o zooplâncton compõe um elo importante na teia alimentar, transferindo a energia para os demais níveis tróficos como as larvas de peixes. O plâncton conta também com espécies indicadoras, além de fornecer informações sobre os processos atuantes, pois as suas comunidades são influenciadas pelas condições abióticas e bióticas do ambiente. (Day Jr. *et al.*, 1989; Buskey, 1993).

1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no litoral norte do estado da Bahia, entre os paralelos 12° 55' e 19° 57' de latitude sul e 38° 37' e 37° 95' de longitude oeste, estende-se a partir da região compreendida pela Foz do Rio Jacuípe e possui aproximadamente 580 km². Segundo o mapa climatológico de Koppen, o clima é quente e úmido, sendo que o período seco se estende entre setembro e fevereiro, e o chuvoso entre março e agosto (SEI 1999; Mafalda Jr., 2000).

Baseando-se na topografia do fundo oceânico presente na carta náutica DHN B1100, no quadrante norte, observa-se que o assoalho tem a sua profundidade reduzida de forma gradativa em virtude de um banco extenso e raso na proximidade dos rios Pojuca e Jacuípe. Considerando que a primeira quebra da borda da plataforma continental está na isóbata de 50 m, no setor norte ela dista cerca de 15 km da costa. No setor sul, em frente ao Rio Joannes, esta isóbata está a 5 km da costa.

A estreita plataforma continental da área em questão (Summerhayes *et al.*, 1975) e a limitada vazão dos estuários (Paredes & Freitas, 1980; Paredes *et al.*, 1993) acentuam a dominância da Corrente do Brasil no padrão oceanográfico local, corrente esta constituída por água Tropical com salinidade variando entre 36 e 38 UPS, temperatura entre 24 e 26 °C (Garfield, 1990) e características oligotróficas devido ao baixo teor em nutrientes inorgânicos (Paredes, 1991).

A circulação local de correntes é dominada por um padrão sazonal, em que durante o verão predominam as correntes para SW e no inverno para o NE. Este regime é explicado pela variação local na direção dos ventos durante o ano. Além disso, parâmetros hidrológicos como temperatura e salinidade também apresentam um comportamento variável concordante com um período de estação seca e uma estação chuvosa (Lima, 2006).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é avaliar a influência dos efluentes industriais lançados pelo emissário submarino sobre a biomassa das comunidades planctônicas, no litoral norte da Bahia.

Como objetivos específicos associados ao estudo, destacam-se:

- Caracterizar o efluente lançado pelo emissário submarino através de variáveis físico-químicas, nutrientes, compostos orgânicos e metais pesados;
- Descrever a variabilidade temporal da qualidade da água através das variáveis oceanográficas, nutrientes e metais pesados;
- Analisar a variabilidade temporal da biomassa fitoplanctônica, zooplanctônica e ictioplanctônica, em consonância com a qualidade de água;
- Analisar a influência da qualidade da água sobre a variabilidade temporal da biomassa planctônica.

3. METODOLOGIA

3.1. COLETA DE AMOTRAS

Foram realizadas amostragens nos período seco e chuvoso, em três fases: Pré-operacional (1993/1993), Operacional 1 (2008/2009) e Operacional 2 (2010/2011). As estações de amostragem foram localizadas no entorno do emissário submarino da CETREL, compreendendo uma grade de 10 estações que estão localizadas da seguinte forma: na área de influência direta (C3, C4, C5, D3, D4, D5, E3, E4, E5) e sem a influência direta (A4, controle) distribuídas em três perfis. A Tabela 1 e a Figura 2 apresentam os posicionamentos das estações referidas, através de suas coordenadas geográficas.

As estações de amostragem foram localizadas com o auxílio de um navegador por satélite (GPS) modelo “Garmin GPS 50”, programado com as respectivas coordenadas previamente plotadas sobre a carta náutica número 110, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). As estações encontraram-se situadas, predominantemente, entre as isóbatas de 20 e 30 m.

Em cada campanha de amostragem foram coletadas 10 amostras, totalizando 60 amostras de fitoplâncton, mesozooplâncton e ictioplâncton. A amostragem dos parâmetros de qualidade de água (temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, turbidez) foi feita *in situ*, mediante o emprego de sonda multiparâmetro, nas três fases de amostragem. O estado nutricional (nutrientes nitrogenados e fósforo), e metais pesados (Bário, Manganês e Vanádio) foram analisados nos laboratórios da CETREL, apenas na última fase do estudo (Operacional 2). A amostragem do fitoplâncton (clorofila a) foi realizada empregando rede cônica de malha de 50µm, em arrastos horizontais de superfície com 3 minutos de duração; o mesozooplâncton (larva de invertebrados) e o ictioplâncton (larvas de peixes) foram coletados com redes cônicas de 200µm e 500 µm, respectivamente, em arrastos horizontais de superfície com 5 minutos de duração. Todas as redes estavam guarnecidas de fluxômetro para cálculo do volume de água filtrada. O material coletado foi fixado em formol a 4 %, neutralizado e acondicionado em frascos plásticos de 500 ml, devidamente etiquetados. 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 (m³); a = área da boca da rede (m²); n = número de rotações durante o arrasto (rot); c = fator de aferição do fluxômetro, obtido em laboratório (m/rot).

Tabela 1 – Coordenadas UTM das estações de amostragem adotada para os ciclos anuais de Monitoramento na área de influência do emissário submarino da CETREL e profundidade estimada das estações de amostragem.

| Estações de amostragem | Coordenadas UTM (GPS) | | Profundidade Estimada (m) |
|------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| | X | Y | |
| #A4 | 599138.63550 | 8591793.68231 | 23 |
| #D3 | 594257.62537 | 8588091.92169 | 21 |
| #C3 | 595528.79892 | 8589561.93438 | 22 |
| #C4 | 596663.30564 | 8588820.91608 | 22 |
| #E3 | 592986.23476 | 8586516.55358 | 23 |
| #D4 | 595391.74293 | 8587245.64636 | 25 |
| #E4 | 594120.40826 | 8585696.65333 | 26 |
| #D5 | 596526.15505 | 8586504.62642 | 26 |
| #C5 | 597797.38868 | 8587974.54141 | 27 |
| #E5 | 595228.67966 | 8584876.79014 | 28 |

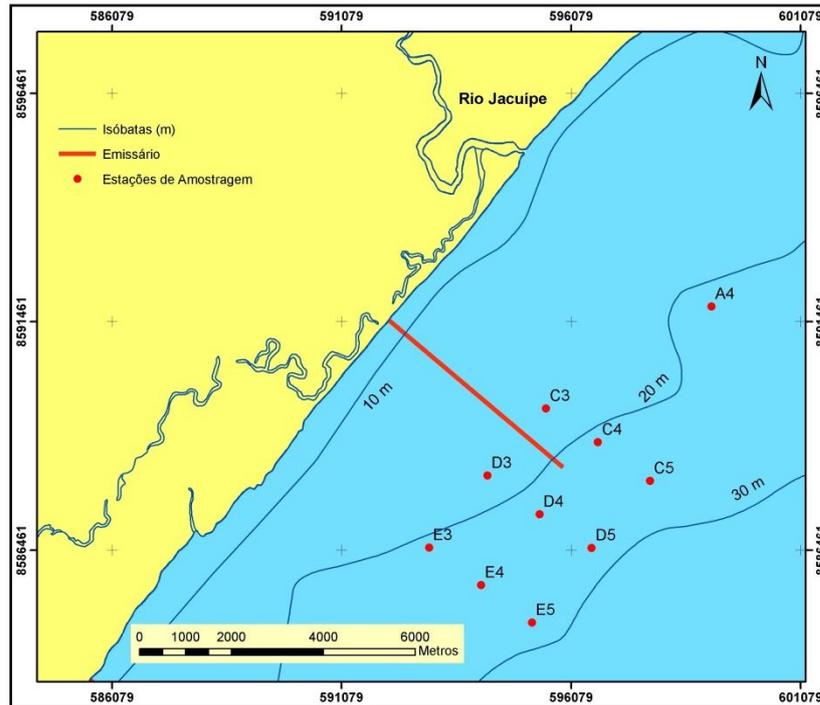
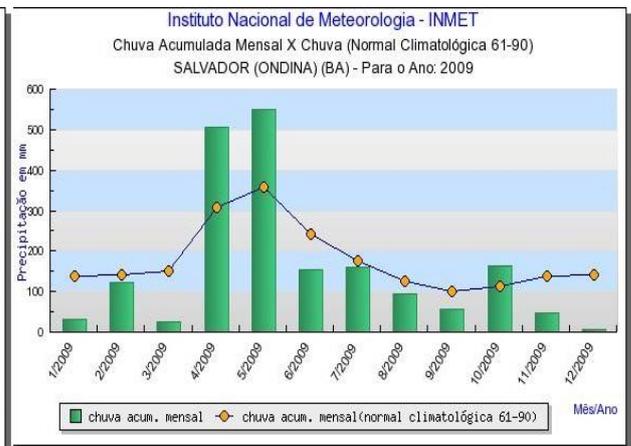
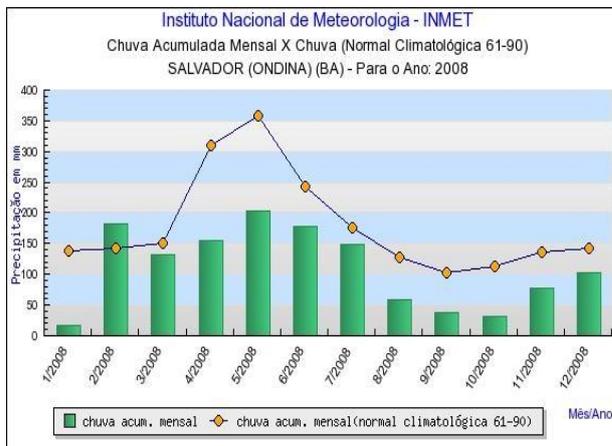


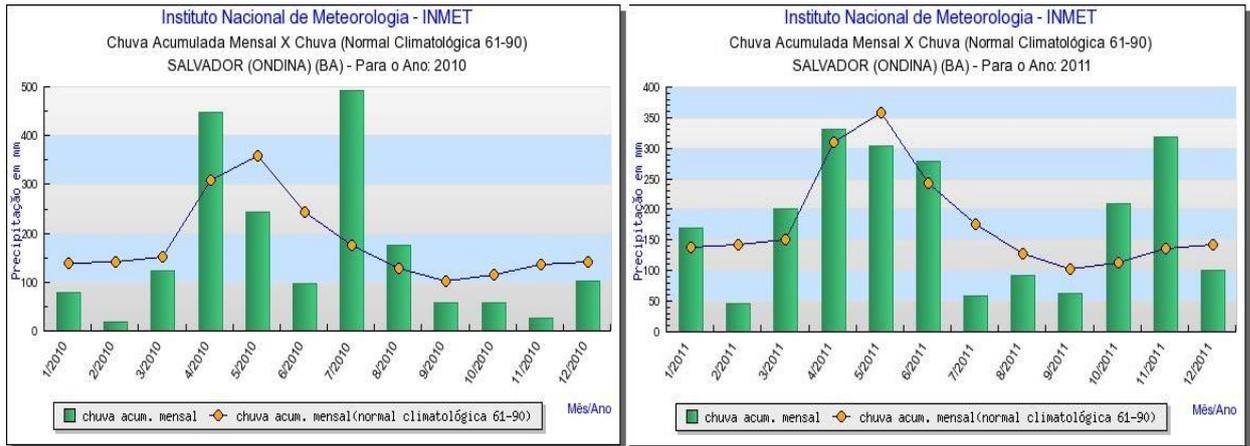
Figura 1 – Mapa de localização das estações de amostragem na área de influência do emissário submarino da CETREL, no litoral norte da Bahia.

3.2. DADOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS

Para a classificação das campanhas amostradas em período seco e chuvoso utilizou-se os gráficos de Chuva Acumulada Mensal X Chuva (Normal Climatológica 61-90) da estação 83229 – Salvador (Ondina), obtidos a partir da página virtual do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).



Figuras 2 e 3 – Média pluviométrica mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90) para o ano de 2008 e 2009, Salvador-BA, Estação de Ondina. Fonte: INMET.



Figuras 4 e 5 – Média pluviométrica mensal x Chuva (Normal Climatológica 61-90) para o ano de 2010 e 2011, Salvador-BA, Estação de Ondina. Fonte: INMET.

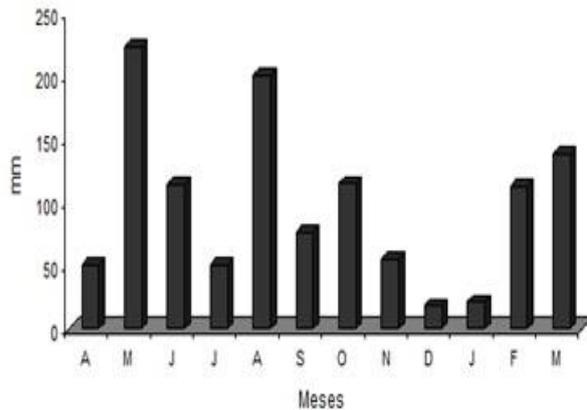


Figura 6 – Variação das médias mensais da precipitação pluviométrica (mm), no período de abril/1993 a março/1994, entre Açú da Torre e Itapuã, Bahia.

3.3. TRATAMENTO DE AMOSTRAS

A determinação da biomassa fitoplânctônica (clorofila a), em $\mu\text{g/L}$, foi realizada através de uma sonda multipâmetro. A biomassa de mesozoplâncton (biovolume) foi estimada a partir da sedimentação total do zooplâncton em proveta graduada, por 24 horas, com resultados expressos em ml/m^3 . A partir de alíquotas de 20 ml foi realizada a determinação da densidade de zooplâncton e a partir da contagem total de ovos e de larvas de peixes foi estimada a densidade de ictioplâncton por 100 m^3 .

A densidade por metro cúbico de água filtrada (org/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: $\text{N/m}^3 = \text{N/V}$.

3.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Em princípio adotou-se um regime de nomenclatura para as campanhas, de modo a distingui-las entre si. As campanhas (período seco e chuvoso) que antecedem o início da operação do emissário submarino – iniciou suas operações entre os anos de 1994 e 1995 – são as de dezembro de 1993, que corresponde ao período seco, e a campanha de maio do mesmo ano, relativa ao período chuvoso. Estas foram indicadas como sendo o período Pré-Operacional do emissário (PO). De maneira semelhante, as campanhas referentes ao momento em que o emissário submarino da CETREL já estava em funcionamento foram nomeadas em Operacional 1 (OP1), para as campanhas de outubro de 2008 (seco) e julho de 2009 (chuvoso), e por fim Operacional 2 (OP2) para as campanhas de fevereiro de 2011 (seco) e agosto de 2010 (chuvoso).

3.4.1. Análise Descritiva e Inferencial

Para as variáveis oceanográficas (temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e turbidez) e para o plâncton (clorofila a, biovolume e densidade do zooplâncton, densidade de ovos e larvas de peixes) foram estimados os valores de mediana (dados não normais), mínimo e máximo, além do desvio-padrão, cujos resultados foram empregados para a geração de gráficos do tipo Box-plot, através do programa Bioestat versão 5.3.

Todas as variáveis analisadas foram submetidas ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar a sua normalidade. Em seguida estes dados foram analisados através do teste F para verificar a homogeneidade das variâncias. Como os dados não foram considerados normais (Teste de KS, $p < 0,05$), ou não foram homogêneos (Teste F, $p < 0,05$), ou ambos, um teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (Teste de KW) foi empregado visando verificar a existência ou não de diferença significativa entre as três fases de amostragem (fase pré-operacional, operacional 1 e operacional 2), durante o período seco e o período chuvoso. Em seguida, foi empregado o teste de Student-Newman-Keuls (SNK) visando avaliar o quanto da diferença significativa ocorreu entre as fases PO e OP1 (1 x 2, respectivamente, segundo a tabela), PO e OP2 (1 x 3) e OP1 e OP2 (2 x 3). Estes testes foram realizados com o programa Bioestat versão 5.3.

3.4.2. Análise multivariada

A Análise de Correspondência Canônica não tendenciosa (DCCA) foi utilizada para investigar o tamanho do gradiente ambiental. Como o gradiente foi linear realizamos uma Análise de Redundância (RDA) para verificar o padrão de variação da abundância e densidade planctônica em função das variáveis ambientais (Ter Braak, 1986). O teste de permutações de Monte Carlo foi realizado para testar a significância estatística da contribuição das variáveis ambientais e dos eixos canônicos (Ter Braak & Smilauer, 1998). No diagrama de ordenação, as variáveis planctônicas e as estações foram representados pelo seu nome e as variáveis ambientais por setas. Quanto mais próximo estiverem as estações, maior a semelhança entre elas. A magnitude da correlação entre uma variável ambiental e um eixo canônico 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 ambiental em relação ao eixo, mais exclusivo é o relacionamento entre a variável e este eixo (Rakocinsky et al., 1996). Os dados ambientais foram transformados através de raiz quadrada e os dados de biomassa e de densidade por meio de logaritmo. As análises DCCA e RDA foram realizadas empregando o pacote estatístico Canoco for Windows versão 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 1998).

4. RESULTADOS

4.1. COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE INDUSTRIAL ORGÂNICO

Foram realizadas análises de amostras do efluente da CETREL que estavam sendo bombeados nos dias de monitoramento da área de estudo, em fevereiro (período seco) e agosto (período chuvoso) de 2010, na estação de bombeamento do efluente, no Rio Capivara em Camaçari, envolvendo variáveis físico-químicas, nutrientes, compostos orgânicos e metais pesados.

4.1.1. Variáveis físico-químicas e nutrientes

Os resultados analíticos das variáveis físico-químicas e nutrientes (Tabelas 2 e 3) demonstram não ter contribuição significativa para a massa d'água, uma vez que os mesmos encontram-se dentro do que é estabelecido pela portaria IMA n.º 12064/2009, que preconizam

valores de lançamento final do efluente da CETREL no corpo receptor marinho, bem como dos valores estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º 397/08. Apenas os níveis de nitrogênio amoniacal encontrados mostraram-se acima do estabelecido no artigo 34, § 5º, Tabela X da Resolução CONAMA n.º 357/2005.

Tabela 2 – Resultados das variáveis físico-químicas e nutrientes no instante do bombeamento do efluente, em Fevereiro de 2010 (período seco), no litoral norte da Bahia.

| Parâmetros | Fevereiro de 2010 (período seco) | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| | Bombeamento E. E. Capivara | | CONAMA n.º 397/08 | CONAMA n.º 357/05 | Portaria IMA n.º 12064 |
| | 26/01/2010 | 27/01/2010 | Art. 34 | Art. 34 | Anexo IV |
| Turbidez | 50 | 96 | * | * | 75 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 44 | 49 | 20,0 | * | 55 |
| Ph | 7,9 | 7,9 | * | 5 – 9 | 6,5-8,5 |
| Nitrito (mg/L) | 0,25 | 0,12 | * | * | * |
| Nitrato (mg/L) | 2,1 | 0,55 | * | * | * |
| Fósforo total (mg/L) | 56 | 56 | * | * | * |

Tabela 3 – Resultados das variáveis físico-químicas e nutrientes no instante do bombeamento do efluente, em Agosto de 2010 (período chuvoso), no litoral norte da Bahia.

| Parâmetros | Agosto de 2010 (período chuvoso) | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| | Bombeamento E. E. Capivara | | CONAMA n.º 397/08 | CONAMA n.º 357/05 | Portaria IMA n.º 12064 |
| | 06/08/2010 | 07/08/2010 | Art. 34 | Art. 34 | Anexo IV |
| Turbidez | 23 | 20 | * | * | 75 |
| Nitrogênio Amoniacal (mg/L) | 24 | 20 | 20,0 | * | 55 |
| pH | 8,1 | 8,5 | * | 5 – 9 | 6,5-8,5 |
| Nitrito (mg/L) | 0,24 | 0,37 | * | * | * |
| Nitrato (mg/L) | 0,59 | 0,82 | * | * | * |
| Fósforo total (mg/L) | 19 | 12 | * | * | * |

4.1.2. Compostos orgânicos

A Resolução CONAMA n.º 357/2005, classe 1, para águas salinas, preconiza valores máximos para alguns dos compostos orgânicos analisados: Benzeno: 700 µg/L; Etilbenzeno: 25 µg/L; Clorobenzeno: 25 µg/L; Tolueno: 215 µg/L e Triclorobenzeno: 80 µg/L. Contudo, para todas as estações amostradas, as concentrações destes compostos estiveram abaixo desses valores.

4.1.3. Metais pesados

As Tabelas 4 e 5 apontam os compostos metálicos que foram analisados na campanha de verão e inverno de 2010, com seus respectivos limites de detecção. Tanto a concentração do Bário Total, como a do Manganês Total e do Vanádio Total encontram-se dentro do que é estabelecido pela portaria IMA n.º 12064/2009, anexo IV, e pela Resolução CONAMA n.º 397/08.

Tabela 4 – Resultados de metais pesados no instante do bombeamento do efluente, em Fevereiro de 2010 (período seco), no litoral norte da Bahia.

| Parâmetros | Bombeamento E. E. Capivara | | CONAMA 397/08 Art. 34 | Portaria 12064 Anexo IV |
|-----------------------|----------------------------|------------|--------------------------|----------------------------|
| | 26/01/2010 | 27/01/2010 | | |
| Bário Total (mg/L) | 0,02 | 0,03 | 5,0 | 2,0 |
| Manganês Total (mg/L) | 0,04 | 0,04 | 1,0 | 0,4 |
| Vanádio Total (mg/L) | < 0,05 | < 0,05 | * | 2,5 |

Tabela 5 – Resultados de metais pesados no instante do bombeamento do efluente, em Agosto de 2010 (período chuvoso), no litoral norte da Bahia.

| Parâmetros | Bombeamento E. E. Capivara | | CONAMA 397/08 Art. 34 | Portaria 12064 Anexo IV |
|-----------------------|----------------------------|------------|--------------------------|----------------------------|
| | 06/08/2010 | 07/08/2010 | | |
| Bário Total (mg/L) | 0,37 | < 0,02 | 5,0 | 2,0 |
| Manganês Total (mg/L) | < 0,01 | 0,05 | 1,0 | 0,4 |
| Vanádio Total (mg/L) | < 0,05 | < 0,05 | * | 2,5 |

*Parâmetro não legislado.

4.2. VARIÁVEIS OCEANOGRÁFICAS, NUTRICIONAIS E METAIS PESADOS

4.2.1. Temperatura

Durante o período seco foi encontrada diferença significativa (Tabela 6) entre as fases analisadas (Teste KW, $p=0$), em que ficou evidente (Figura 5) diferenças bastante significativas entre as três comparações (PO x OP1, PO x OP2 e OP1 x OP2) realizadas através do Teste SNK. Comparando a fase Pré-operacional com a Operacional 1 (1x2 na tabela) foi obtido valor de $p=0,0137$ e entre a fase Pré-operacional com a Operacional 2 foi de $p<0,0001$. Também foi observada diferença significativa entre as duas fases já com o emissário em funcionamento (OP1 x OP2), com valor de $p=0,0099$. No período chuvoso também foi encontrada diferença significativa (Tabela 7) entre as fases (Teste KW, $p=0,0003$). Embora tenha sido obtido valores que demonstrem diferenças significativas para as fases PO x OP2 e OP1 x OP2, especificamente para PO x OP1 o valor de “p” foi maior que 0,05. Assim, comparando a fase Pré-operacional com a Operacional 2 (1x3 na tabela) encontrou-se valor de “p” para o Teste SNK igual a 0,0001; entre as fases Operacional 1 e Operacional 2 o valor foi de $p=0,0025$. De maneira concordante com o período seco, o valor de “p” mais significativo obtido para o período chuvoso ficou registrado com o Teste SNK entre as fases Pré-Operacional e Operacional 2 ($p<0,0001$).

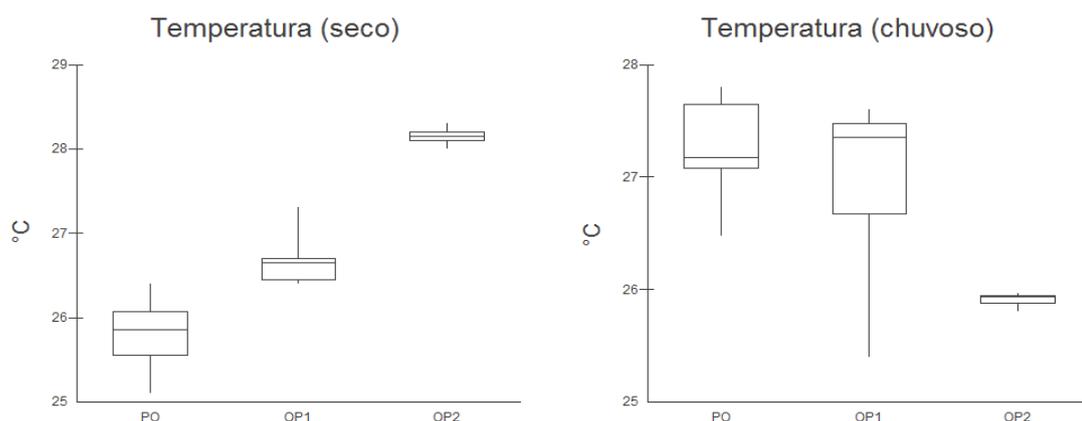


Figura 7 – Box-plot de Temperatura, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

Tabela 8 – Mediana (mínimo e máximo), teste de Kruskal-Wallis (KW) e teste de Student-Newman-Keuls (SNK) para as variáveis oceanográficas e plâncton obtidos durante a fase pré-operacional (PO), operacional 1 (OP1) e operacional 2 (OP2), no período seco, no litoral norte da Bahia.

| | PO | OP1 | OP2 | Teste KW (p) | SNK |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Temperatura | 25,8 (25,1 – 26,4) | 26,7 (26,4 – 27,3) | 28,2 (28 – 28,3) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,0137 1x3: p<0,0001 2x3: p=0,0099 |
| Salinidade | 37 (36,9 – 37,1) | 37,2 (36,5 – 38,0) | 37 (36,8 – 37,1) | 0,5329 (ns) | 1x2: p>0,05 1x3: p>0,05 2x3: p>0,05 |
| pH | 8,3 (8,1 – 8,4) | 8,9 (8,9 – 9,0) | 8 (8,0 – 8,0) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,0111 1x3: p=0,0111 2x3: p<0,0001 |
| Oxigênio dissolvido | 6,4 (6,2 – 6,7) | 6,5 (6,1 – 7,3) | 6,7 (6,3 – 7) | 0,0277 (sg) | 1x2: p>0,05 1x3: p<0,0099 2x3: p>0,05 |
| Turbidez | 1,2 (0,7 – 2,3) | 3 (3 – 3) | 2 (2 – 2) | 0,0000 (sg) | 1x2: p<0,0001 1x3: p=0,0422 2x3: p=0,0052 |
| Clorofila | 0,1 (0,1 – 0,2) | 0,5 (0,4 – 0,5) | 2,8 (2,8 – 2,8) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,0111 1x3: p<0,0001 2x3: p=0,0111 |
| Zooplâncton Biovolume (ml/m³) | 0,5 (0,2 – 0,8) | 0,1 (0,01 – 0,5) | 3,2 (1 – 6) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,0223 1x3: p=0,0077 2x3: p<0,0001 |
| Zooplâncton Densidade (org/m³) | 1235,7 (650 – 2308) | 6483 (910 – 21600) | 21 (4 – 40) | 0,0000 (sg) | 1x2: p>0,05 1x3: p=0,0025 2x3: p<0,0001 |
| Ictioplâncton Densidade larva (org/100m³) | 46,9 (0 – 271) | 58,1 (9 – 165) | 6,7 (0 – 32) | 0,0031 (sg) | 1x2: p>0,05 1x3: p>0,05 2x3: p=0,0007 |
| Ictioplâncton Densidade ovo (org/100m³) | 128,1 (7 – 363) | 452,2 (57 – 1674) | 118,4 (7 – 389) | 0,1813 (sg) | 1x2: p>0,05 1x3: p>0,05 2x3: p>0,05 |

Tabela 9 – Mediana (mínimo e máximo), teste de Kruskal-Wallis (KW) e teste de Student-Newman-Keuls (SNK) para as variáveis oceanográficas e plâncton obtidos durante a fase pré-operacional (PO), operacional 1 (OP1) e operacional 2 (OP2), no período chuvoso, no litoral norte da Bahia.

| | PO | OP1 | OP2 | Teste KW | SNK |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| Temperatura | 27,3 (26,5 – 27,8) | 27,0 (25,4 – 27,6) | 25,9 (25,8 – 26,0) | 0,0003 (sg) | 1x2: p>0.05 1x3: p=0,0001 2x3: p=0,0025 |
| Salinidade | 36,1 (33,6 – 36,6) | 35,8 (34 – 37,5) | 37,1 (37 – 37,2) | 0,0003 (sg) | 1x2: p>0.05 1x3: p=0,0013 2x3: p=0,0003 |
| pH | 8,1 (7,3 – 8,4) | 8,7 (8,1 – 9,0) | 8,2 (8,1 – 8,2) | 0,001 (sg) | 1x2: p=0,0003 1x3: p>0.05 2x3: p=0,0103 |
| Oxigênio dissolvido | 6,4 (6,3 – 6,7) | 6,0 (4,1 – 7,6) | 5,3 (5,2 – 6,0) | 0,0003 (sg) | 1x2: p>0.05 1x3: p<0,0001 2x3: p=0,0128 |
| Turbidez | 2,2 (1,7 – 2,7) | 3,0 (3,0 – 3,0) | 2,0 (2,0 – 2,0) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,001 1x3: p>0.05 2x3: p<0,0001 |
| Clorofila | 0,3 (0,1 – 0,4) | 0,7 (0,6 – 0,9) | 5,6 (3,1 – 8,6) | 0,0000 (sg) | 1x2: p=0,0111 1x3: p<0,0001 2x3: p=0,0111 |
| Zooplâncton Biovolume (ml/m³) | 0,7 (0,2 – 1,0) | 0,5(0,2 – 1,2) | 0,4 (0,1 – 2,1) | 0,0169 (sg) | 1x2: p>0.05 1x3: p=0,0048 2x3: p>0.05 |
| Zooplâncton Densidade (org/m³) | 6260,7 (1509,0 – 10574,0) | 3515,0 (550,0 – 6420,0) | 452,3 (147,0 – 2099,0) | 0,0001 (sg) | 1x2: p>0.05 1x3: p<0,0001 2x3: p=0,0041 |
| Ictioplâncton Densidade larva (org/100 m³) | 30,8 (0 – 93,0) | 82,7 (22,0 – 143,0) | 3,9 (0 – 13,0) | 0,0002 (sg) | 1x2: p=0,0142 1x3: p>0.05 2x3: p<0,0001 |
| Ictioplâncton Densidade ovo (org/100m³) | 221,5 (24,0 – 381,0) | 100,8 (2,0 – 302,0) | 113,8 (50,0 – 225,0) | 0,0469 (sg) | 1x2: p=0,0137 1x3: p>0.05 2x3: p>0.05 |

4.2.2 Salinidade

No período seco (Tabela 6) não houve diferenças significativas entre as fases analisadas (PO x OP1, PO x OP2 e OP1 x OP2) visto que $p=0,5329$ (Teste KW). Para as fases comparadas (1x2, 1x3 e 2x3) o valor de “p” foi maior que 0,05 (Teste SNK), reiterando o valor do teste de Kruskal-Wallis. No período chuvoso foram encontradas diferenças significativas (Tabela 7) entre as fases consideradas (Teste KW, $P=0,0003$), sendo que os valores elevados (Figura 6) foram registrados entre as fases Pré-operacional com a Operacional 2 e entre Operacional 1 com a Operacional 2 (1x3 e 2x3, com $p=0,0013$). Comparando-se a fase Pré-operacional com a Operacional 1 não ficou evidenciado diferença significativa.

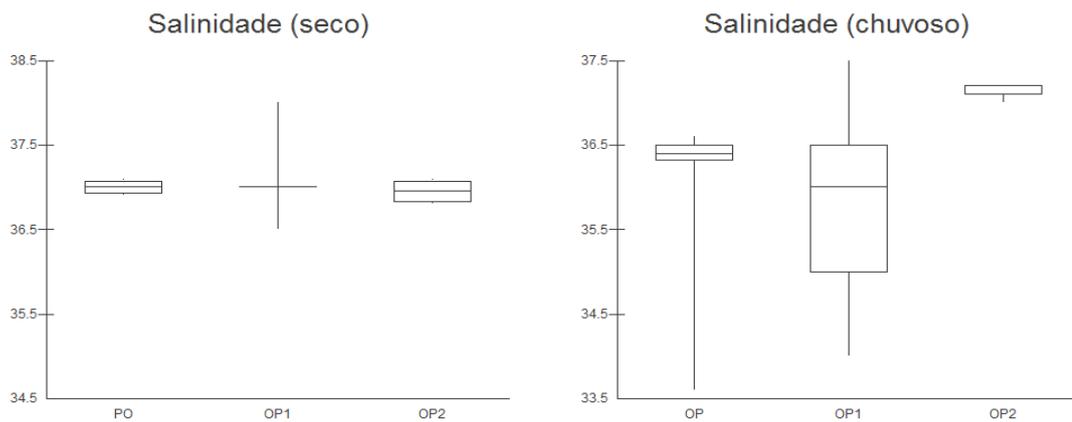
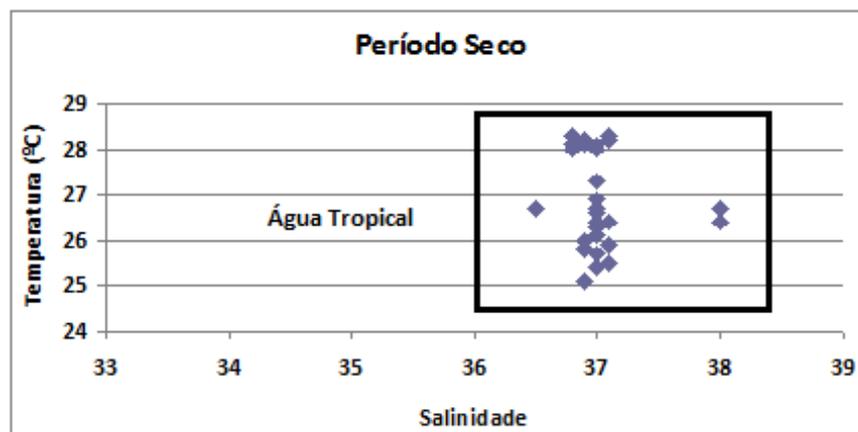


Figura 8– Box-plot de Salinidade, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.2.3. Diagrama T-S

As massas de água presentes na área de influência do emissário submarino da CETREL, litoral norte da Bahia, podem ser visualizadas através do diagrama T-S (Figura 7). A presença da massa de Água de Mistura, com salinidade inferior a 36, é explicada pela sua formação durante uma fase do período chuvoso, em função da maior pluviosidade e consequente aumento da vazão dos rios. Nas outras fases do período chuvoso e durante o período seco, foi registrada a presença da massa de Água Tropical que, segundo Garfield (1990), é caracterizada por temperatura superior a 18 °C e salinidade maior que 36.



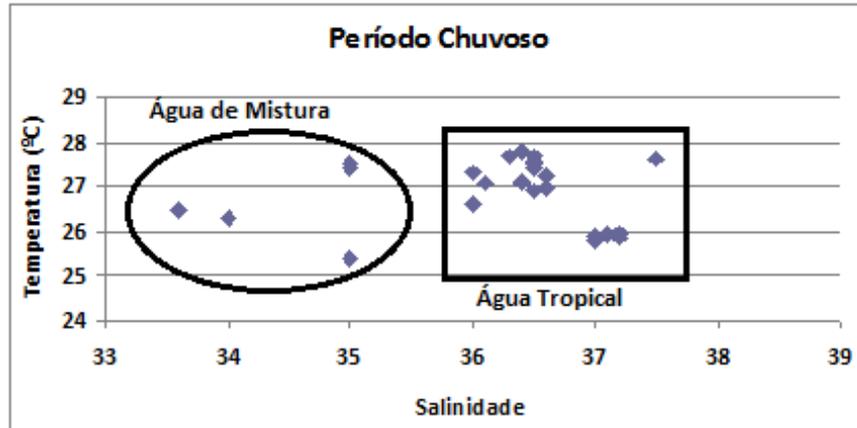


Figura 9 – Diagrama T-S para as estações de amostragem na área de influência do emissário submarino da CETREL no litoral norte da Bahia

4.2.4. pH

Durante o período seco foram encontradas diferenças consideráveis entre as três comparações com as fases analisadas, com valor de “p” igual à zero para o Teste KW. Como é possível

l confirmar com a Figura 8, o valor mais significativo (Tabela 6) para o Teste SNK foi obtido comparando as fases Operacional 1 e Operacional 2 (2x3: $p < 0,0001$), momentos estes em que o emissário já encontrava-se funcionando. Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1, Pré-operacional e Operacional 2 os valores também foram significativos, com $p = 0,0111$ para ambos (1x2 e 1x3). Durante o período chuvoso também foi encontrada diferença significativa entre as fases (Teste KW, $p = 0,001$). Apenas entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 o valor não foi relevante (Teste SNK, $p > 0,05$). O valor mais significativo (Tabela 7) foi encontrado entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 (Teste SK, $p = 0,0003$). Entre as fases OP1 e OP2 o valor comparativo foi de $p = 0,0103$, também havendo diferença significativa.

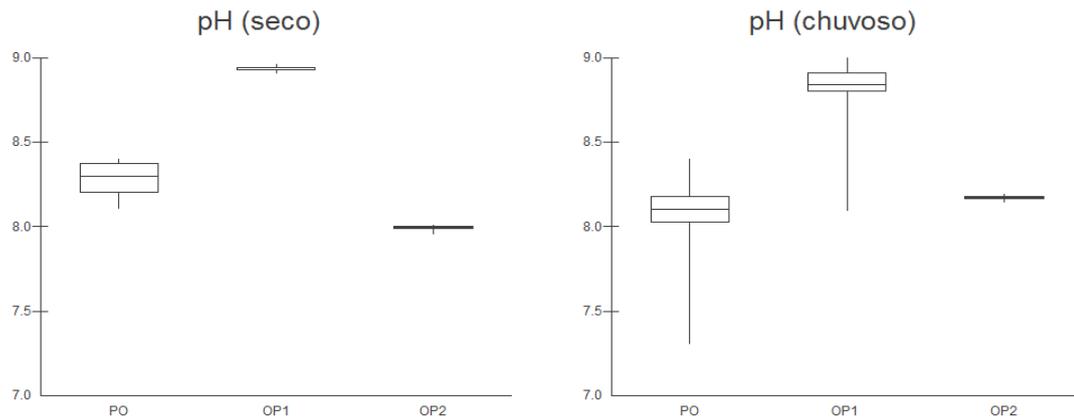


Figura 10 – Box-plot de pH, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.2.5. Oxigênio dissolvido

Para o período seco ficou comprovado (Tabela 6) através do Teste KW ($p=0,0277$) a existência de diferença relevante entre as fases comparadas. Contudo, a diferença comprovada ficou limitada ao Teste SNK entre as fases Pré-operacional com a Operacional 2 (Figura 9), com valor de $p<0,0099$. Entre as fases Pré-operacional com a Operacional 1 e Operacional 1 com a Operacional 2 não ficou evidenciado, através do Teste SNK, diferenças significativas, obtendo-se $p>0,05$. No período chuvoso o Teste KW (Tabela 7) também comprovou a existência de diferenças importantes ($p=0,0003$). O Teste SNK não mostrou diferença (Figura 9) entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 ($p>0,05$). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 (Teste SNK, $p<0,0001$) e Operacional 1 e Operacional 2 (Teste SNK, $p=0,0128$) ficou comprovado diferenças relevantes, com maior relevância para o primeiro.

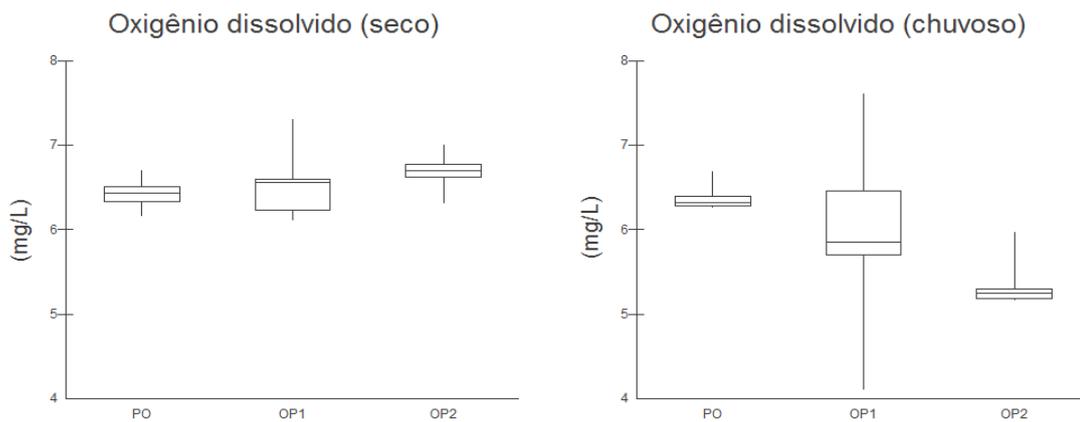


Figura 11 – Box-plot de Oxigênio Dissolvido, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.2.6. Turbidez

Durante o período seco foram encontradas diferenças significativas (Tabela 6) entre as fases comparadas, resultando em valor de “p” para o Teste KW igual à zero. Entre as fases analisadas, o Teste SNK foi mais significativo (Figura 10) comparando-se a fase Pré-operacional com a Operacional 1 ($p < 0,0001$), e a Operacional 1 e Operacional 2 ($p = 0,0052$). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 também houve diferença considerável (Teste SNK, $p = 0,0422$). Para o período chuvoso o valor de “p” se repetiu (Teste KW, $p = 0$), evidenciando então diferenças (Tabela 7) também encontradas no período seco. A diferença mais significativa foi encontrada entre as fases Operacional 1 e Operacional 2 (Teste SNK, $p < 0,0001$), como pode ser visto na Figura 10. Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 também ficou constatado diferença (Teste SNK, $p = 0,001$). Para as fases Pré-operacional e Operacional 2 o valor de “p” foi maior que 0,05.

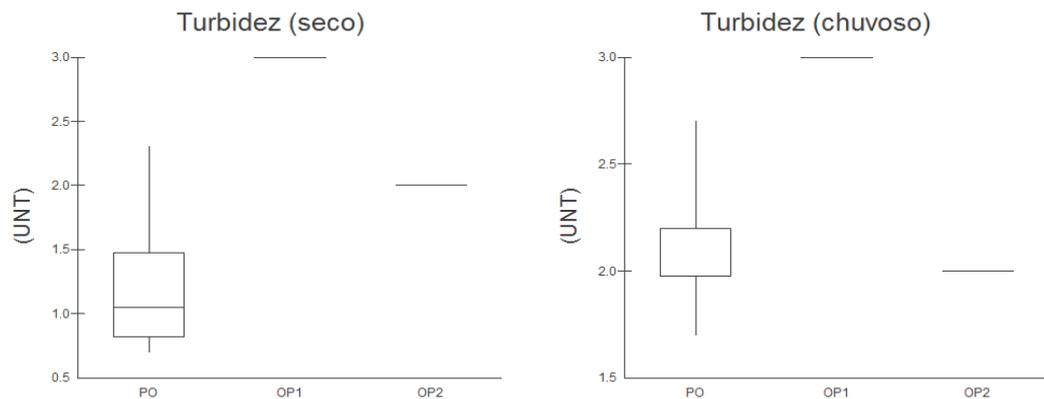


Figura 12 – Box-plot de Turbidez, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.2.7. Nutrientes

Nos dois períodos de estudo (seco e chuvoso) as concentrações de nutrientes nitrogenados (nitrato, nitrito e N-amoniaco), fosfato e metais traço (Bário, Manganês e Vanádio), apresentaram valores constantes impedindo a aplicação de um teste estatístico e também a sua inclusão na análise estatística multivariada.

Com relação à série nitrogenada (nitrato, nitrito e N-amoniaco), as estações apresentaram concentrações inferiores aos dos limites de detecção dos respectivos métodos (i.e. 0,05 mg/L para nitrato; 0,01 mg/L para nitrito; 0,2 mg/L para N-amoniaco), portanto abaixo dos limites preconizados pela Resolução CONAMA n.º 357 de 2005, que fixa os seguintes valores máximos: 0,4 mg/L; 0,07 mg/L e 0,4 mg/L, respectivamente. O nutriente fósforo apresentou concentrações inferiores ao limite de detecção do método (i.e. 0,002 mg/L) e conseqüentemente abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357 de 2005 (0,062 mg/L P).

4.2.8. Metais pesados

A Resolução CONAMA n.º 357/2005, classe 1, para águas salinas, preconiza valores máximos para o Bário Total (1 mg/L) e para o Manganês Total (0,1 mg/L), e ambos apresentaram concentrações na água mais baixas, tanto no período chuvoso, em Agosto de

2010 (Tabela 8), como no período seco, em Fevereiro de 2011 (Tabela 9). O Vanádio Total não é legislado pela Resolução CONAMA.

Tabela 8 - Concentrações de Ba, Mn e V na água de superfície (Su), na profundidade do disco Secchi (Se) e na água de fundo (Fu) da grade amostral da CETREL, para a campanha de Agosto de 2010 (período chuvoso).

| CONAMA (357/2005) | Ba total (mg/L) | | | Mn total (mg/L) | | | V total (mg/L) | | |
|----------------------|--------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-------------------|-------|-------|
| | 1,0 | | | 0,1 | | | NL | | |
| | Su | Se | Fu | Su | Se | Fu | Su | Se | Fu |
| #A4 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| #C5 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| #D4 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |
| #E3 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,1 | < 0,1 | < 0,1 |

Tabela 9. Concentrações de Ba, Mn e V na água de superfície (Su), na profundidade do disco Secchi (Se) e na água de fundo (Fu) da grade amostral da CETREL, para a campanha de Fevereiro de 2011 (período seco).

| CONAMA (357/2005) | Ba total (mg/L) | | | Mn total (mg/L) | | | V total (mg/L) | | |
|----------------------|--------------------|--------|-----------|--------------------|--------|-----------|-------------------|--------|-------|
| | 1,0 | | | 0,1 | | | NL* | | |
| | Su | Se | Fu | Su | Se | Fu | Su | Se | Fu |
| #A4 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,1 | * * | < 0,1 |
| #C5 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,1 | * * | < 0,1 |
| #D4 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,1 | * * | < 0,1 |
| #E3 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,05 | * * | < 0,05 | < 0,1 | * * | < 0,1 |

* não registrado

4.3. BIOMASSA DO PLÂNCTON

4.3.1. Biovolume do Zooplâncton

Durante o período seco foi verificada diferenças significativas (Tabela X) em todas as fases analisadas (Teste KW, $p=0$). Entre as fases comparadas (Figura 12), encontrou-se maior diferença entre a Operacional 1 e Operacional 2 (Teste SNK, $p<0,0001$). Além disso, também ocorreu diferença entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 (Teste SNK,

$p=0,0223$) e entre Pré-operacional e Operacional 2 (Teste SNK, $p=0,0077$), sendo este último valor de “p” também bastante significativo. Para o período chuvoso (Tabela X) o valor do Teste KW ($p=0,0169$) revela a ocorrência de diferença considerável, mas que é confirmada apenas comparando-se as fases Pré-operacional e Operacional 2 (Teste SNK, $p=0,0048$). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1, Operacional 1 e Operacional 2 o valor de “p” para o Teste SNK foi maior que 0,05, demonstrando a ausência de diferenças significativas (Figura 12).

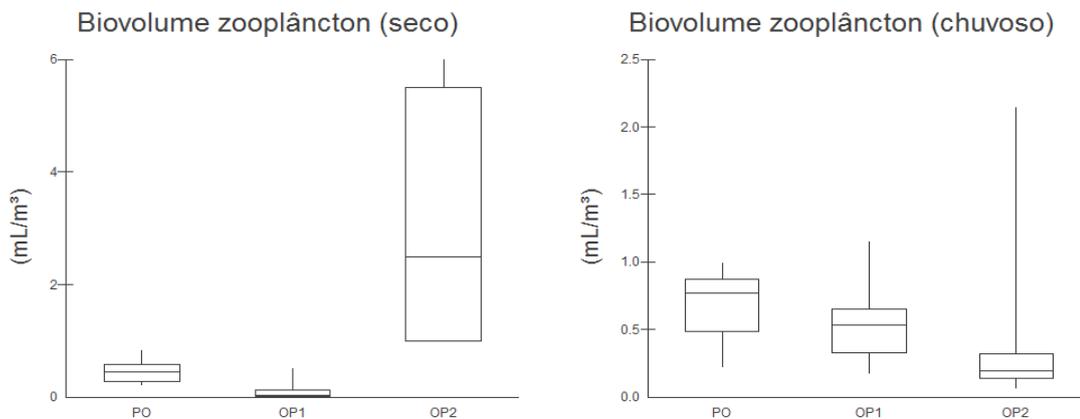


Figura 13 – Box-plot de Biovolume do zooplâncton, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.3.2. Densidade do zooplâncton

No período seco diferenças significativas foram observadas, com o valor de “p” para o Teste KW igual à zero (Tabela X). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 não foi encontrada diferença (Teste SNK, $p>0,05$). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 houve diferença considerável (Teste SNK, $p=0,0025$). Diferenças mais significativas (Figura 13) foram observadas quando comparou-se a fase Operacional 1 com a Operacional 2 (Teste SNK, $p<0,0001$), ambas após o emissário ter entrado em funcionamento. Para o período chuvoso, o valor de “p” (Teste KW) também apontou para diferenças significativas ($p=0,0001$) entre as fases analisadas (Tabela X). Neste período, diferenças entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 também não foram encontradas (Teste SNK, $p>0,05$). As fases Operacional 1 e Operacional 2 quando comparadas forneceram $p=0,0041$ para o mesmo teste,

valor este considerável (Figura 13). Maior diferença ficou demonstrada comparando a fase Pré-operacional com a Operacional 2 (Teste SNK, $p=0,0001$).

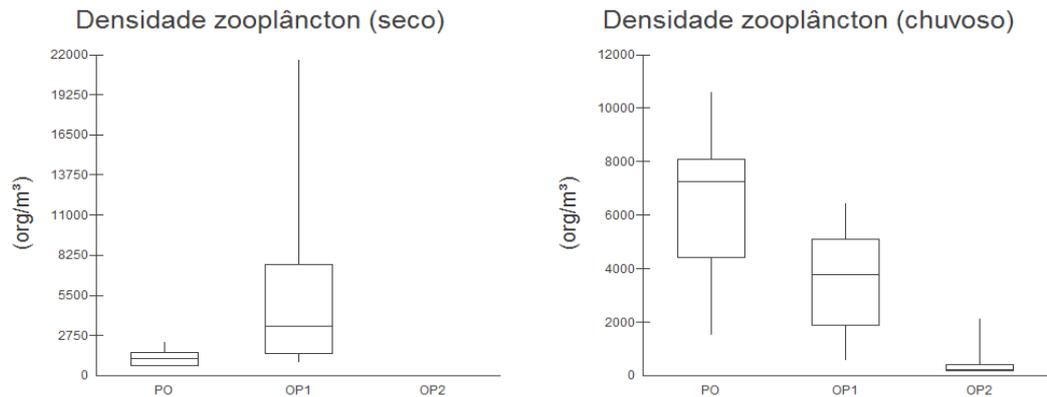


Figura 14 – Box-plot de Densidade do zooplâncton, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.3.3. Densidade do ictioplâncton (larvas de peixe)

No período seco houve diferença significativa (teste KW, $p=0,0031$) entre as fases comparadas. Contudo, esta relevante diferença limitou-se ao valor de $p=0,0007$ entre as fases Operacional 1 e Operacional 2, já com o emissário em funcionamento. Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1, Pré-operacional e Operacional 2 (Figura 14) não houve diferenças significativas apontadas pelo teste estatístico ($p>0,05$). No período chuvoso, as diferenças entre as fases comparadas foram mais significativas ($p=0,0002$). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 1 o valor foi de $p=0,0142$. O teste estatístico comparando as fases Operacional 1 e Operacional 2 neste período foi o mais significante ($p<0,0001$), assim como ocorreu no período seco (Figura 14). Entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 não houve diferença (Teste SNK, $p>0,05$).

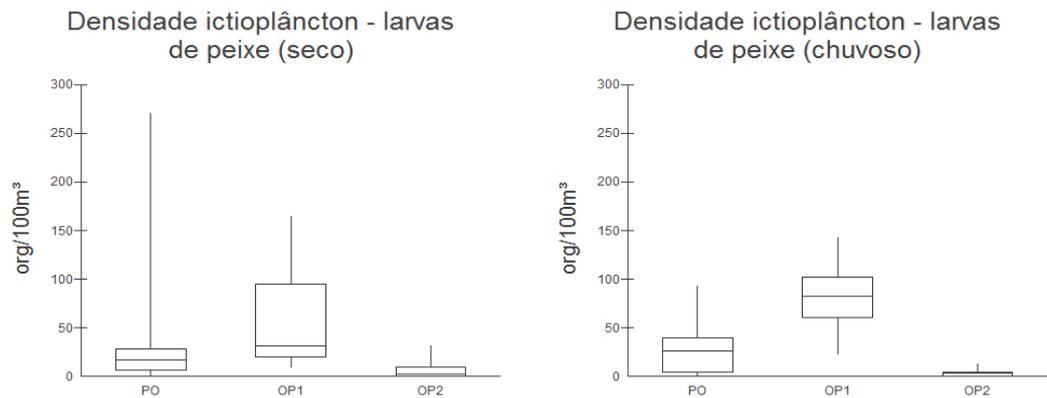


Figura 15 – Box-plot de Densidade do ictioplâncton (larvas de peixe), durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.3.4. Densidade do ictioplâncton (ovos de peixe)

No período seco o teste de Kruskal-Wallis (KW) não evidenciou diferenças significativas entre as fases comparadas ($p=0,1813$). Contudo, para o período chuvoso, o valor de “p” para o teste KW foi $p=0,0469$ demonstrando diferença significativa (Figura 15), que foi comprovada apenas comparando-se as fases Pré-operacional com a Operacional 1 (Teste SNK, $p=0,0137$). Entre as outras fases comparadas não houve diferença significativa comprovada pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK).

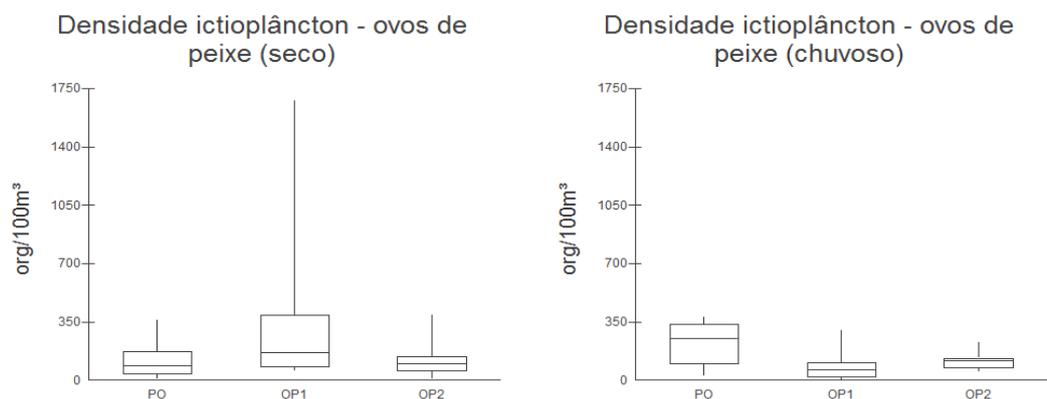


Figura 16 – Box-plot de Densidade do ictioplâncton (ovos de peixe), durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.3.5. Clorofila a

Durante o período seco foi encontrada diferenças significativas (Tabela 6) entre todas as fases analisadas (Teste KW, $p=0$). Foi encontrado maior diferença (Figura 11) entre as fases Pré-operacional e Operacional 2 (Teste SNK, $p<0,0001$). Comparando as fases Pré-operacional com Operacional 1 foi obtido $p=0,0111$ (Teste SNK). Entre as fases Operacional 1 e Operacional 2 o valor de “p” foi o mesmo (Teste SNK, $p=0,0111$). Para o período chuvoso os valores obtidos para os testes KW e SNK se repetiram (Tabela 7), evidenciando diferenças tão significativas quanto às observadas no período seco (Figura 11).

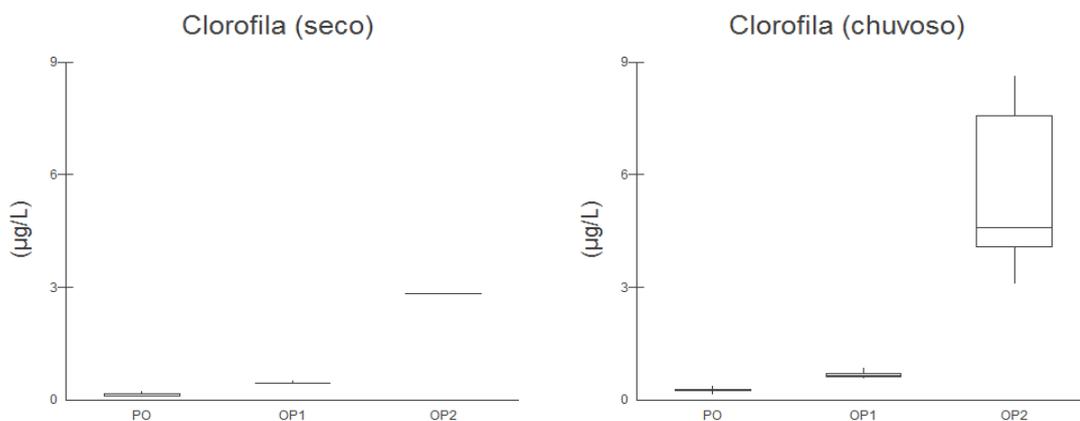


Figura 17 – Box-plot de Clorofila, durante o período seco e chuvoso (PO, Pré-operacional; OP1, Operacional 1; OP2, Operacional 2), respectivamente, no litoral norte da Bahia.

4.4. INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA SOBRE A VARIABILIDADE TEMPORAL DA BIOMASSA PLANCTÔNICA

4.4.1. Análise de Ordenação

4.4.1.1. Período Seco

Através da Análise de Redundância, encontramos os coeficientes de regressão múltipla entre as variáveis oceanográficas ($<0,7$), que nos revelam a existência de multicolinearidade apenas entre a temperatura e clorofila (0.9558). Os demais coeficientes

demonstram a inexistência de covariáveis entre as os parâmetros ambientais analisados (Tabela 10).

Visto que 99,1% da variação percentual acumulada da relação entre o plâncton (densidade e biomassa) e as variáveis oceanográficas foi explicada através dos dois primeiros eixos canônicos da Análise de Redundância (AR) (Tabela 10), o diagrama de ordenação (Figura 16) foi gerado apenas com esses dois eixos.

O Teste de Monte Carlo, realizado para o primeiro e para todos os eixos canônicos, reitera a validação estatística da Análise de Ordenação realizada, pois o valor obtido foi o de $p=0,002$ para ambos os casos.

No período seco o diagrama de ordenação da Análise de Redundância (Figura 16) apontou uma separação temporal entre as diferentes fases de amostragem, em função das características oceanográficas e da densidade e biomassa do plâncton. A fase Operacional 1 demonstrou maior densidade de ictioplâncton (larvas e peixes) em relação às duas outras fases. A fase Pré-operacional esteve ligeiramente associada à densidade do zooplâncton, enquanto a Operacional 2 evidenciou uma relação com o biovolume do zooplâncton e com a clorofila.

A fase Pré-operacional esteve relacionada com maiores valores de salinidade e pH, enquanto que a fase Operacional 1, apesar da tendência de aproximação ao valor de pH, relacionou-se com a turbidez. A fase Operacional 2 demonstrou aproximação considerável aos valores de temperatura e oxigênio dissolvido, sendo que o primeiro acompanhou a projeção da clorofila.

A soma dos autovalores canônicos representou 63,2% (0,632) da inércia total, quando o ideal é ser maior que 20% (Tabela 10). Isso significa que o padrão de variação temporal verificado na densidade e biomassa do plâncton pode ser explicado em função das características oceanográficas.

Tabela 10 – Estatísticas da Análise de Redundância realizada para período seco no litoral norte da Bahia.

| | | Eixos | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|--|--------------|----------|----------|----------|--------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Autovalores | | 0.503 | 0.123 | 0.006 | 0.212 | | |
| Correlações espécie-ambiente | | 0.882 | 0.736 | 0.217 | 0.000 | | |
| Variância Percentual Acumulada: | | | | | | | |
| nos dados de espécies | | 50.3 | 62.6 | 63.2 | 84.4 | | |
| na relação espécie-ambiente | | 79.6 | 99.1 | 100.0 | 0.0 | | |
| Soma de todos os Autovalores | | 1.000 | | | | | |
| Soma dos autovalores Canônicos | | 0.632 | | | | | |
| Teste de Monte-Carlo para o primeiro eixo Canônico: p=0.002 | | | | | | | |
| Teste de Monte-Carlo para todos os eixos Canônicos p=0.002 | | | | | | | |
| Correlação das variáveis com os eixos Canônicos | | Eixos | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Temperatura | | -0.6534 | 0.5122 | 0.2287 | 0.0000 | | |
| Salinidade | | 0.0854 | 0.1256 | -0.2107 | 0.0000 | | |
| Oxigênio dissolvido | | -0.0491 | 0.8341 | -0.4571 | 0.0000 | | |
| pH | | 0.8161 | -0.1972 | 0.0785 | 0.0000 | | |
| Turbidez | | 0.3849 | 0.5132 | 0.4468 | 0.0000 | | |
| Clorofila | | -0.7746 | 0.4909 | 0.1894 | 0.0000 | | |
| Coefficientes de regressão múltipla para as variáveis ambientais | | | | | | | |
| Temperatura (TEM) | | 1.0000 | | | | | |
| Salinidade (SAL) | | -0.1243 | 1.0000 | | | | |
| Oxigênio dissolvido (OXI) | | 0.3512 | -0.1968 | 1.0000 | | | |
| pH | | -0.3889 | 0.2942 | -0.2232 | 1.0000 | | |
| Turbidez (TUR) | | 0.3390 | 0.2376 | 0.2037 | 0.5741 | 1.0000 | |
| Clorofila (CLO) | | 0.9558 | -0.1575 | 0.4031 | -0.5404 | 0.2162 | |
| | | TEM | SAL | OXI | pH | TUR | CLO |

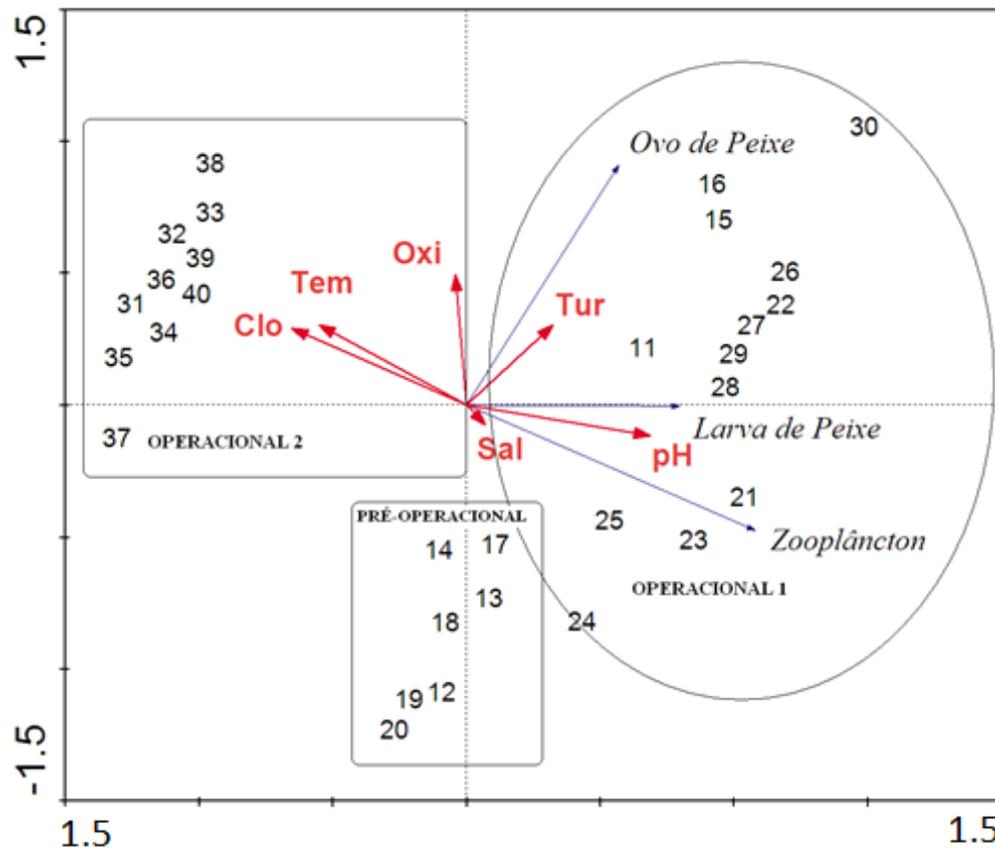


Figura 18 - Projeção dos dois primeiros eixos canônicos na Análise de Redundância, baseado na biomassa do plâncton, nas variáveis oceanográficas de superfície (OXI, oxigênio dissolvido; SAL, salinidade; TEM, temperatura; TUR, turbidez; CLO, clorofila) e nas estações de amostragem dos períodos secos de Dezembro de 1993 (PO: 11-20), Outubro de 2008 (OP1: 21-30) e Fevereiro de 2011 (OP2: 31-40).

4.4.1.2. Período Chuvoso

Através da Análise de Redundância, encontramos os coeficientes de regressão múltipla entre as variáveis oceanográficas ($<0,7$), que nos revelam a inexistência de multicolinearidade entre os parâmetros ambientais analisados (Tabela 11).

Considerando que 96,2% da variação percentual acumulada da relação entre o plâncton (densidade e biomassa) e as variáveis oceanográficas foi explicada através dos dois primeiros eixos canônicos da Análise de Redundância (AR) (Tabela 11), o diagrama de ordenação (Figura 17) foi gerado apenas com esses dois eixos.

Assim como ocorreu no período seco, o Teste de Monte Carlo, realizado para o primeiro e para todos os eixos canônicos, validou o tratamento estatístico da Análise de Ordenação, pois o valor obtido foi também $p=0,002$ para ambos os casos.

Analisando o diagrama de ordenação da Análise de Redundância (Figura 17) para o período chuvoso também é possível identificar separação temporal entre as diferentes fases de amostragem, em função das características oceanográficas e da densidade e biomassa do plâncton. A fase Operacional 1 manteve a maior densidade de larvas de peixe do ictioplâncton, enquanto que os ovos apresentaram desta vez ligeira aproximação com a fase Pré-operacional. Os maiores valores densidade e biovolume do zooplâncton também estiveram associados à fase Pré-operacional. Neste período, não foi encontrado aproximação de densidade ou biomassa com a fase Operacional 2.

Neste período, fase Pré-operacional esteve relacionada com maiores valores de temperatura e oxigênio dissolvido. A fase Operacional 1 apresentou os maiores valores de pH e turbidez. Por último a fase Operacional 2 demonstrou maiores valores de clorofila e salinidade quando comparada com as outras duas fases.

A soma dos autovalores canônicos representou 58,1% (0.581) da inércia total, quando o ideal é ser maior que 20% (Tabela 10). Isso significa que o padrão de variação temporal verificado na densidade e biomassa do plâncton pode ser explicado em função das características oceanográficas.

Tabela 11 – Estatísticas da Análise de Redundância realizada para período chuvoso no litoral norte da Bahia.

| | | Eixos | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------|----------|----------|----------|---------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Autovalores | | 0.429 | 0.130 | 0.022 | 0.288 | | |
| Correlações espécie-ambiente | | 0.937 | 0.687 | 0.306 | 0.000 | | |
| Variância Percentual Acumulada: nos dados de espécies na relação espécie-ambiente | | 42.9 | 55.9 | 58.1 | 86.9 | | |
| | | 73.7 | 96.2 | 100.0 | 0.0 | | |
| Soma de todos os Autovalores | | 1.000 | | | | | |
| Soma dos autovalores Canônicos | | 0.581 | | | | | |
| Teste de Monte-Carlo para o primeiro eixo Canônico: p=0.002 | | | | | | | |
| Teste de Monte-Carlo para todos os eixos Canônicos: p=0.002 | | | | | | | |
| Correlação das variáveis com os eixos Canônicos | | Eixos | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Temperatura | | -0.4310 | 0.6041 | 0.0603 | 0.0000 | | |
| Salinidade | | 0.7976 | -0.0373 | -0.2602 | 0.0000 | | |
| Oxigênio dissolvido | | -0.5010 | 0.3738 | 0.2750 | 0.0000 | | |
| pH | | -0.1558 | -0.7739 | 0.2280 | 0.0000 | | |
| Turbidez | | -0.7949 | -0.5357 | 0.1575 | 0.0000 | | |
| Clorofila | | 0.9022 | -0.3671 | 0.1927 | 0.0000 | | |
| Coefficientes de regressão múltipla para as variáveis ambientais | | | | | | | |
| Temperatura (TEM) | | 1.0000 | | | | | |
| Salinidade (SAL) | | -0.0908 | 1.0000 | | | | |
| Oxigênio dissolvido (OXI) | | 0.2224 | -0,4562 | 1.0000 | | | |
| pH | | -0.1235 | 0.1057 | -0.0534 | 1.0000 | | |
| Turbidez (TUR) | | 0.0941 | -0.5864 | 0.1948 | 0.5732 | 1.0000 | |
| Clorofila (CLO) | | -0.6571 | 0.6570 | -0.5056 | 0.1410 | -0.4813 | |
| | | TEM | SAL | OXI | pH | TUR | CLO |

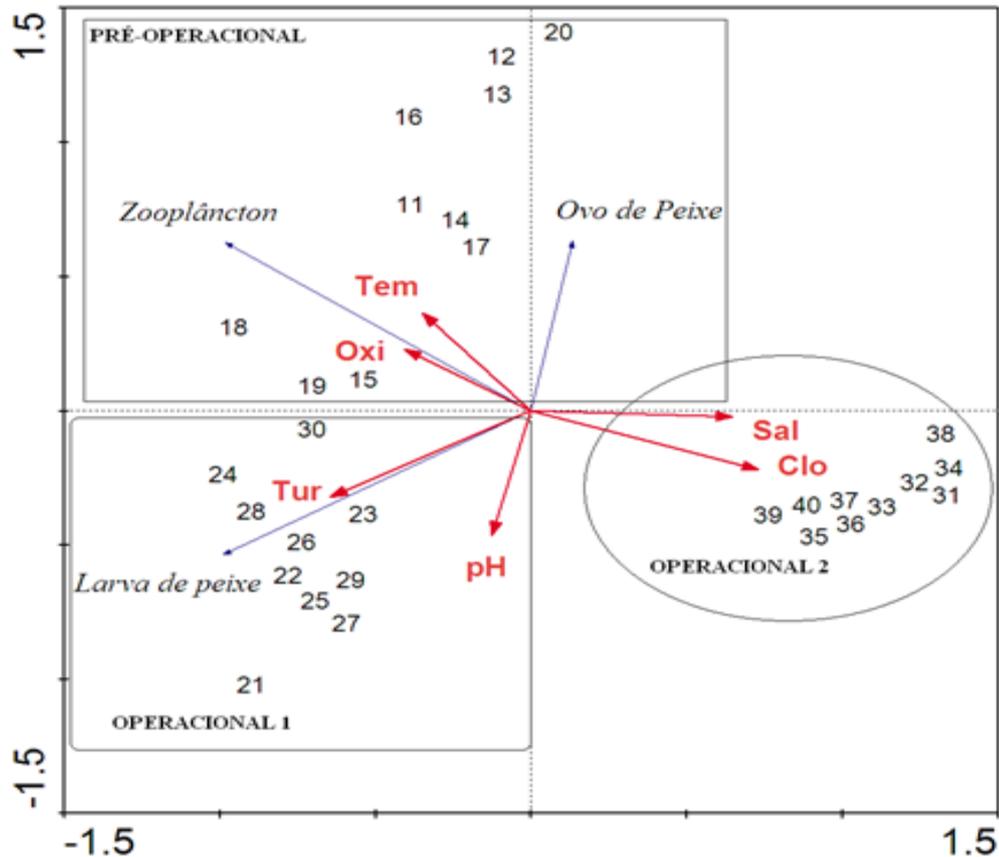


Figura 19 - Projeção dos dois primeiros eixos canônicos na Análise de Redundância, baseado na biomassa do plâncton, nas variáveis oceanográficas de superfície (OXI, oxigênio dissolvido; SAL, salinidade; TEM, temperatura; TUR, turbidez; CLO, clorofila) e nas estações de amostragem dos períodos chuvosos de Maio de 1993 (PO: 11-20), Julho de 2009 (OP1: 21-30) e Agosto de 2010 (OP2: 31-40).

5. DISCUSSÃO

5.1. COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE INDUSTRIAL

Desde quando foi implantado em 1992, a CETREL (Central de Tratamento dos Efluentes do Polo Petroquímico de Camaçari) monitora periodicamente a qualidade ambiental da área de influência do seu emissário submarino, através de duas campanhas anuais de monitoramento oceanográfico, realizadas uma no período seco (fevereiro) e outra no período chuvoso (agosto). O projeto é realizado pela CETREL em parceria com os Institutos de Biologia e Geociências da Universidade Federal da Bahia. As campanhas de monitoramento avaliam diversos aspectos oceanográficos, dentre os quais destacam-se parâmetros físico-

químicos, sedimentológicos, biológicos e de circulação oceânica com ênfase em correntes costeiras e vento. Durante quase 20 anos de monitoramento não foram evidenciados impactos ambientais significativos decorrentes do lançamento de efluentes tratados no ecossistema marinho da área de influência do emissário submarino da Cetrel (CETREL, 2002).

As análises das amostras características do efluente foram realizadas apenas no período seco e chuvoso da última fase (OP 2), sendo que estas amostras foram coletadas durante o bombeamento na estação do rio Capivara em Camaçari, Bahia, antes de atingir o oceano, com o intuito de avaliar a possível influência dos efluentes sob a massa de água, no litoral norte da Bahia. Os parâmetros analisados foram: variáveis físico-químicas (turbidez e pH); nutrientes (nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e fósforo total); compostos orgânicos (como o benzeno, etilbenzeno, clorobenzeno, tolueno e triclorobenzeno); e metais pesados (bário total, manganês total e vanádio total). Todos esses parâmetros encontraram-se abaixo ou dentro do que é estabelecido pela portaria IMA n.º 12064/2009, que preconizam valores de lançamento final do efluente da CETREL no corpo receptor marinho, e pela Resolução CONAMA n.º 397/08. Apenas os níveis de nitrogênio amoniacal encontrados mostraram-se acima do estabelecido no artigo 34, § 5º, Tabela X da Resolução CONAMA n.º 357/2005, o que pode promover o aumento de biomassa fitoplanctônica como foi verificado através das concentrações elevadas de clorofila registradas no período pós-operacional 2.

A área de influência do emissário submarino da CETREL está situada em uma região de circulação oceânica aberta e com elevada dinâmica. Além disso, os compostos presentes no efluente (composição essencialmente orgânica, particulada e dissolvida, compostos voláteis, não voláteis, série nitrogenadas e fosforadas) que já chegam ao oceano em concentrações previstas na legislação brasileira, são ainda transportados por correntes e, por fim, não se acumulam no local. Segundo Mayer-Pinto & Junqueira (2003), os efeitos desfavoráveis do lançamento de efluentes são mais intensos em regiões com circulação restrita e baixa dinâmica. No norte da Baía de Todos os Santos o efeito desfavorável de efluentes petroquímicos sobre a comunidade ictioplanctônica foi comprovado, onde as variáveis ambientais (temperatura, amônia, hidrocarbonetos e clorofila a) explicaram 94.7% da variabilidade espaço-temporal da associação de larvas de peixes (Mafalda Jr. *et al.*, 2008).

5.2. ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS, NUTRICIONAIS E METAIS PESADOS

O regime pluviométrico do litoral norte da Bahia apresentou dois períodos distintos: um período chuvoso, abrangendo os meses de março a agosto, e um período seco, entre setembro e fevereiro. Este é o comportamento geral das chuvas na região nordeste, onde a época de maior pluviometria situa-se no outono e a época menos chuvosa em torno da primavera e verão (TUBELIS, 1984).

Os valores de temperatura (em torno de 26 °C) e de salinidade (entre 36 e 38) em ambos os períodos apontam para a predominância de massa de Água Tropical (Garfield,1990; Mafalda Jr.,2000). Em função da estreita plataforma continental, com cerca de 10km de extensão (Brandini *et al.*, 1997), a Água Tropical avança em direção ao litoral norte da Bahia. Durante a fase Operacional 1 (período chuvoso) a elevada pluviosidade aumentou a descarga fluvial levando à formação de uma massa de Água de Mistura, com salinidade inferior a 36. Thomsen (1962) afirma em um de seus trabalhos que a água costeira que circula sobre a plataforma continental é essencialmente água oceânica com mistura de água dos rios, resultando no aumento da salinidade da costa em direção ao talude continental. No norte da Baía de Todos os Santos, a massa de água Tropical predominante é Água Costeira, verificando-se uma maior influência de aportes fluviais (Mafalda Jr. *et al.*, 2002a). Contudo, em áreas da plataforma, distantes dos efeitos da drenagem continental, a temperatura flutua entre 25 e 28°C e a salinidade entre 36 e 37, mantendo condições hidrográficas homogêneas ao longo do ano (CASTRO FILHO; MIRANDA, 1998).

De uma maneira geral, a circulação do litoral da Bahia é definida pela Corrente do Brasil, transportando Água Tropical, que possui características oligotróficas devido ao escasso teor em nutrientes inorgânicos (Paredes, 1991), na direção sul, ao largo da quebra da plataforma continental (Brandini *et al.*,1997). No litoral norte, isso é intensificado devido à limitada vazão dos estuários (Paredes & Freitas, 1980; Paredes *et al.*, 1993) e a estreita plataforma continental (Summerhayes *et al.*, 1975).

Segundo Margalef (1989), o pH da água do mar varia em um curto intervalo, entre 8,0 e 8,3. Os valores médios encontrados foram sempre alcalinos e variaram de 8,1 a 8,9, sendo que esse leve aumento pode ter sido gerado pela ação do efluente. Como era esperado, devido ao contato com a atmosfera, as águas superficiais sempre estiveram bem oxigenadas, com valores médios entre 5,3 e 6,5 mg/L e com maiores valores durante o período seco, como descrito por Marques *et al.* (2006).

A partir das médias das variáveis físico-químicas de casa fase (PO, OP1 e OP2) em ambos períodos analisados (seco e chuvoso) foi possível verificar a existência de diferenças significativas para todas as variáveis analisadas, exceto a salinidade no período seco. A massa de água e a sua estrutura foram caracterizadas por águas menos quentes e mais salinas no período seco. Mas, em ambos os períodos, a massa de água esteve com qualidade normal, apresentando bons níveis de oxigênio dissolvido e pH característica de água costeira.

Um estudo sobre a hidrografia e a biomassa de fitoplâncton e zooplâncton realizado no litoral norte da Bahia (Mafalda Jr., 2004b), na área de influência de emissários submarinos industriais, concluiu que a separação espacial das estações de amostragem foi consequência da variação temporal das condições oceanográficas. As estações de amostragem dos meses do período chuvoso foram relacionadas com águas de maior temperatura, enquanto que, as estações do período seco, estiveram sob influência de águas de maior salinidade e saturação de oxigênio, o que coincide com nossos resultados.

5.3. BIOMASSA DO PLÂNCTON

Neste estudo, tanto no período seco quanto no chuvoso, verificou-se que a concentração do pigmento clorofila a na água, utilizado como parâmetro de avaliação do fitoplâncton, aumentou de forma gradativa e considerável ao longo dos anos de funcionamento do emissário submarino da CETREL. Em ambos os períodos, os maiores valores de clorofila na água estiveram associadas à fase Operacional 2.

Com relação à biomassa do zooplâncton no período seco, foi possível evidenciar que a sua densidade esteve maior na fase Pré-operacional, enquanto que o seu biovolume apresentou uma tendência comportamental semelhante à observada para a clorofila, na fase Operacional 2. Este comportamento do biovolume durante o período seco pode ser explicado pelo aumento na abundância de espécies oportunistas, que podem “mascarar” o resultado do biovolume. No período chuvoso a densidade e o biovolume do zooplâncton foram maiores durante a fase Pré-operacional, sendo possível afirmar que, se tratando do mesozooplâncton, após o emissário submarino da CETREL entrar em funcionamento houve uma perda gradativa da abundância do mesozooplâncton, ao menos durante as estações chuvosas.

Para o ictioplâncton no período seco, os maiores valores de larvas de peixe foram relacionados à fase Operacional 1 e os maiores valores de ovos de peixe à fase Pré-operacional. No período chuvoso o padrão evidenciado foi semelhante ao observado para as estações secas. É

possível, através destas observações fundamentadas pela Análise de Ordenação e pelos demais testes estatísticos, argumentar que na região em estudo vem ocorrendo o empobrecimento do ictioplâncton, tanto em ovos quanto em larvas de peixes.

Levando em conta que a massa de água local é classificada como Água Tropical, tem-se na região de estudo uma estrutura com tendência oligotrófica. Entretanto, esta característica da massa de água não explica a redução no ictioplâncton e em parte do mesozooplâncton observado ao longo do tempo. É possível que a presença crônica do efluente ao longo dos anos, esteja promovendo algum aumento não detectável da concentração de nutrientes na água o que poderia estar estimulando o maior desenvolvimento da assembleia fitoplancônica através do desenvolvimento do fitoplâncton e uma conseqüente redução da riqueza e abundância do zoo e ictioplâncton.

6. CONCLUSÕES

1. Os valores médios de pH, oxigênio dissolvido, amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato e metais pesados (manganês, bário e vanádio) do efluente industrial orgânico, encontraram-se abaixo dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, indicando uma boa qualidade de água na área do lançamento do efluente pelo emissário submarino.
2. Apenas a concentração de amônia esteve acima do permitido pela legislação ambiental.
3. Em todas as fases, dos períodos seco e chuvoso, foi registrada a presença da massa de Água Tropical, enquanto que a Água de Mistura foi registrada apenas em uma fase do estudo.
4. Durante a fase Pré-Operacional (PO), tanto no período seco, como no chuvoso, as águas apresentaram menores valores de temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido.
5. Ficou evidenciado um aumento gradativo do fitoplâncton (clorofila a) da fase Pré-operacional até a Operacional 2, tanto no período seco, como no chuvoso, estimulado pelo aumento da concentração de nitrogênio na massa de água costeira.

6. Foi verificada diferença significativa entre os menores valores de densidade e biovolume do mesozooplâncton da fase Pré-operacional para a fase Operacional 2.
7. Verificou-se também uma diminuição da comunidade ictioplanctônica, da fase Pré-operacional até a Operacional, tanto no período seco, como no chuvoso.
8. No litoral norte da Bahia os resultados indicaram redução da biomassa do zooplâncton e de ictioplâncton, em função do desenvolvimento do fitoplâncton, que pode ter sido estimulado pelo aumento da disponibilidade de nitrogênio oriundo do efluente industrial orgânico.

7. REFERÊNCIAS

- ADEMA – ADMINISTRAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. 1979. Levantamento Ecológico para Estudo de Impacto Ambiental. Sergipe.
- BEDER, S. 1989. Toxic fish and sewer surfing. Allen & Unwin, Sydney.
- BLAXTER, J. H. S. 1977. The effect of copper on the eggs and larvae of plaice and herring. *Journal of Marine Biology Association U.K.*, 57:849-858.
- BOLTOVSKOY, D. 1981. Atlas del Zooplacton del Atlantico Sudoccidental: y métodos de trabajo con el zooplankton marino. Argentina, 935pp.
- BONECKER, A. C. T.; CASTRO, M. S.; NAMIKI, C.; BONECKER, F. T.; BARROS, F. B. A. G.; MONTEIRO-RIBAS, W. M. (2006a). Ictioplâncton. In: VALENTIN J. L. (ed.). Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Série Documentos REVIZEE – Score-Central, Brasília. Ideal Gráfica e Editora.
- BONECKER, S. L. C. ; DIAS, C. O. ; FERNANDES, L. D. A. & ÁVILA, L. R. M. (2006 a). Zooplâncton. In: VALENTIN J. L. 2006a. Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Série Documentos REVIZEE – Score-Central, Brasília. Ideal Gráfica e Editora.
- BRANDINI, F. P.; LOPES, R. M.; GUTSEIT, K. S.; SPACH, H. L.; SASSI, R. 1997. Planctologia na Plataforma Continental do Brasil. Diagnose e revisão bibliográfica. Pontal do Sul: CEMAR/ MMA/ CIRM/ FEMAR, 1997. 196 p.
- BUSKEY, E. J. Annual pattern of micro- and mesozooplankton abundance and biomass in a subtropical estuary., *J. Plank. Res.*, 15(8):907-924, 1993.

- CASTILLO, G., MUNOZ, H., GONZALEZ, H. & BERNAL, P. 1991. Daily analysis of abundance and size variability of fish larvae in relation to oceanic water intrusions in coastal areas. *Biologia Pesquera*, 20:21-35.
- CASTRO FILHO, B. M. C. 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S. *The Sea*. John Wiley & Sons, Inc.. 11:209-251.
- COELHO-BOTELHO, M. J. 2002. Influência da transposição das águas do reservatório Billings para o reservatório Guarapiranga (São Paulo) na comunidade zooplancônica. I. Período chuvoso (1997 a 2001). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 24. Resumos...Itajaí: [s.n.].
- COSTELLO, J. C. & GAMBLE, J. C. 1992. Effects of sewage sludge on marine fish embryos and larvae. *Marine Environmental Research*, 33:49-74.
- COSTELLO, J. C. AND GAMBLE, J. C. 1992. Effects of sewage sludge on marine fish embryos and larvae. *Marine Environmental Research*, 33:49-74.
- COSTELLO, J. C. & READ, P. 1994. Toxicity of sewage sludge to marine organisms: a review. *Marine Environmental Research*, 37:23-46.
- DAY JR. J.W.; HALL, C.A.J.; KEMP, W.M.; YÁÑÑEZ-ARANCIBIA, A. Zooplankton, the drifting consumers., In: *Estuarine Ecology*, Wiley-Interscience Publication. Cap. 8, p. 311-337, 1989.
- DOYLE, M.J., MORSE, W.W. & KENDALL, Jr., A.W. 1993. A comparison of larval fish assemblages in the temperate zone of northeast Pacific and the northwest Atlantic ocean. *Bull. Mar. Sci.*, 53:588-644.
- FRANK, K.T. & LEGGETT, W.C. 1983. Multispecies larval fish associations: accident or adaptation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40:754-762.
- GARFIELD III, N. 1990. The Brazil current at subtropical latitudes. Kingston, 122p. Thesis (Doctor of Philosophy) , University of Rhode Island.
- GEOHIDRO. 1993. Avaliação ambiental do SDO do Rio vermelho, Bahia. Projeto Executivo do SDO Jaguaribe e Avaliação Operacional do SDO Rio Vermelho. Relatório Final 159 - RF - 06/R5. Governo da Bahia, SRHSH.
- GRAY, C.A., OTWAY, N.M., LAURENSEN, F.A., MISKIEWICZ, A.G. & PETHEBRIDGE, R.L. 1992. Distribution and abundance of marine fish larvae in relation to effluent plumes from sewage outfalls and depth of water. *Marine Biology*, 113:549-559.
- GRAY, C. A. 1997. Field assessment of numerical impacts of coastal sewage disposal on fish larvae relative to natural variability. *Environmental Biology*, 50: 415-434.

HALDARSON, L., PRICHETT, M., PAUL, A. J. & ZIEMANN, D. 1993. Vertical distribution and migration of fish larvae in a northeast Pacific bay. *Marine Ecology Progress Series*, 101:67-80.

HELLAWELL, J. M. 1989. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. London, Elsevier Applied Science. 546p.

KINGSFORD, M. J. & GRAY, C. A. 1996. Influence of pollutants and oceanography on abundance and deformities of wild fish larvae. In: Schmit, R. J. & Osenberg, C. W. (Eds.). *Detecting ecological impacts: Concepts and applications in coastal habitats*. San Diego: Academic Press. pp. 235-255.

LEIS, J.M. 1993. Larval fish assemblages near Indo-Pacific coral reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 53(2):362-392.

LIMA, B. J. 2006. Caracterização oceanográfica da plataforma continental na região sob influência dos emissários submarinos da CETREL E MILLENNIUM. Trabalho Final de Graduação. Curso de Graduação em Oceanografia – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MAFALDA JR., P. 1995. Pesquisa de Índices Ecotoxicológicos nas Associações Planctônicas. In: PESO-AGUIAR, M. C. (Ed.) Programa de Monitoramento dos Ecossistemas ao norte da Baía de Todos os Santos, Salvador, Universidade Federal da Bahia, Relatório Técnico Final. 60p.

MAFALDA JR., P. 2000. Distribuição e abundância do icteoplâncton da costa norte da Bahia e suas relações com as condições oceanográficas. Rio Grande, 135f. Tese (Doutorado) – Departamento de Oceanografia. Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

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

MAFALDA JR., P.; SINQUE, C.; BRITO, R.R.C.; SOUZA, C.S. 2004a. Distribuição e abundância do icteoplâncton na costa norte da Bahia, Brasil. *Tropical Oceanography*, Recife, 32(1):69-88.

MAFALDA JR, P.O., SINQUE, C., BRITO, R.R.C. SANTOS, J.J. 2004b. Biomassa Planctônica, Hidrografia e Pluviosidade na Costa Norte da Bahia, Brasil. *Tropical Oceanography*. Recife, 32(2): 145-160.

MAFALDA JR., P. & SOUZA, C.S. 2005. Influência da atividade industrial sobre a composição e abundância de icteoplâncton, durante o verão de 2005, na Baía de Aratu, Bahia. In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia*, Vitória, Resumos expandidos.

MAFALDA JUNIOR, P. O. ; SOUZA, Christiane Sampaio de; VELAME, Margarida Patrícia Brito. 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.

MARGALEF, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, 3: 36-71

- MCCUNE, B. & GRACE, J. B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. Oregon: MjM Software Design.
- MCVICAR, A. H., BURNO, D. W. and FRASER, C. O. 1988. Fish diseases in the North Sea in relation to sewage sludge dumping. *Marine Pollution Bulletin*, 19:169-173.
- NIBAKKEN, J.W. 1993. *Marine Biology: an ecological approach* (3rd. Edition). HarperColling College Publishers, New York. 462 p.
- PALMER, M. W. 1993. Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology*, 74(8): 2215-2230.
- PAREDES, J. F. & FREITAS, R. R. 1980. Dosagem de ferro nos sedimentos e interpretação da formação de espumas no estuário do Rio Jacuípe, quando da ocasião de cheias. *Ciência e Cultura*, 32(10):84-87.
- PAREDES, J. F. 1991. Evaluation of the environmental effects of the industrial effluents from Tibrás – Titânio do Brasil in the area under influence of its underwater outfalls. *International Specialized Conference on Marine Disposal System*, Lisboa, p.105-125.
- PAREDES, J. F., FIGUEIREDO, G. & ROCHA, W. L. C. 1993. Hydrobiological studies of the drainage system of the bananeiras reservoir, the Rivers Paraguaçu and Jacuípe. *Transport of Carbon and Nutrients in Lakes and Estuaries. SCOPE/UNEP Sonderband*, Hamburg, .P.23-39.
- PESSOA, VALDYLENE TAVARES; NEUMANN-LEITÃO, Sigrid; GUSMÃO, Lucia Maria de Oliveira; SILVA, Andrea Pinto; PORTO-NETO, Fernando de Figueiredo. Comunidade zooplânctônica na Baía de Suape e nos estuários dos rios Tatuoca e Massangana, Pernambuco (Brazil). *Revista brasileira de engenharia de Pesca* 4(1), jan 2009. 94p.
- PIELOU, E.C. *The interpretation of ecological data; a primer on classification and ordination*. New York, Wiley, 1984.
- RAKOCINSKI, C. F.; LYCZKOWSKI, J. & RICHARDSON, S. L. 1996. Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi sound as revealed by Canonical Correspondence Analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, 237-257.
- SEI, Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. 1999. *Balanço Hídrico do Estado da Bahia*. SEI, Salvador. 249p
- SUMMERHAYES, C. P., COUTINHO, P. N., FRANÇA, A. M. C. & ELLIS, J. P. 1975. The influence of upwelling on suspended matter and shelf sediments off Brazil. Part III - Salvador to Fortaleza, northeastern Brazil. *Contribution to Sedimentology*, 4:44-78.
- TER BRAAK, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate gradient analysis. *Ecology*, 67 (5):1167-1179.

TER BRAAK, C. J. F., AND P. SMILAUER. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power (Ithaca, NY USA) 352 pp.

WEIS, J. S. AND WEIS, P. 1982. Toxicity of methylmercury, mercuric chloride and lead in killifish (*Fundulus heteroclitus*) from Southampton, New York. *Environmental Research*, 28:364-374.

WEIS, J. S. & WEIS, P. 1989. Effects of environmental pollutants on early fish development. *Review of Aquatic Science*, 1, 45-73.