

## SUMÁRIO

557	RESUMO
557	ABSTRACT
558	13.1 – INTRODUÇÃO
558	13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
559	13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
559	13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
560	13.1.4 – Relações tróficas
561	13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS
561	13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
561	13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
562	13.2.3 – Dados utilizados
563	13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
563	13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
564	13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)
565	13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS
566	13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
567	13.3.2 – Matriz de correlações
569	13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)
570	13.4 – DISCUSSÃO
572	13.5 – CONCLUSÕES
573	13.6 – REFERÊNCIAS

# 13



## ANÁLISE INTEGRADA DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS NO AMBIENTE PELÁGICO DA BACIA DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS

Ralf Schwamborn | UFPE

Xiomara F. G. Diaz | UFPE

Denise F. M. Costa | UFPE

Andrea P. Silva | UFPE

Enide Eskinazi-Leça | UFRPE

Fernando A. N. Feitosa | UFPE

Rodolfo Paranhos | UFRJ

Maria L. P. M. Arguelho | UFS

Maria Eulália R. Carneiro | PETROBRAS

Sigrid Neumann-Leitão | UFPE

Eduardo T. Paes | UFRA

Simone M. A. Lira | UFPE

Alejandro E. S. F. Costa | UFPE

Gilvan T. Yogui | UFPE

Maria da Glória G. da Silva-Cunha | UFPE

Amanda Y. Ostuka | UFPE

Manuel J. F. Montes | UFPE

Silvia H. L. Schwamborn | UFPE

Daniel L. Moreira | PETROBRAS

Autor para contato: [rs@ufpe.br](mailto:rs@ufpe.br)

Moreira, D.L.; Carneiro, M.E.R.; Silva, A.P.; Schwamborn, R. (Organizadores). Ambiente Pelágico da Bacia de Sergipe-Alagoas. Editora Universidade Federal de Sergipe.

## RESUMO

Este capítulo baseia-se em uma análise das inter-relações da estrutura da comunidade de organismos pelágicos (virio-, bacterio-, protozoo-, fito-, mesozoo-, mero- e ictioplâncton) com os fatores espaçotemporais (períodos chuvoso/seco, regiões nerítica/oceânica, isóbatas etc.) e com os parâmetros físico-químicos (temperatura, salinidade, nutrientes etc.). Tais análises evidenciaram comunidades diferentes entre campanhas e entre isóbatas, provavelmente devido aos padrões espaçotemporais de aporte de nutrientes nas duas campanhas oceanográficas e nas duas regiões pelágicas que levam ao surgimento de ambientes e situações com produtividades e biomassas características. A intensidade dos ventos e a energia das ondas foi maior na estação chuvosa, o que explica a maior ressuspensão e transporte vertical de nutrientes e os padrões sazonais observados no ecossistema, além de um incremento na descarga dos rios. Detectaram-se várias correlações significativas entre grupos do plâncton, que podem ser atribuídas às correlações em microescala (agregações em manchas). Embora a área de estudo como um todo possa ser considerada extremamente oligotrófica, os resultados da integração dos dados biológicos com os dados abióticos na coluna de água mostraram grande diversidade de processos que influenciam na produtividade pelágica: a fixação de nitrogênio por cianofíceas, a ressuspensão sazonal de nutrientes com a energia das ondas e dos ventos, além do fluxo estuarino-costeiro. Esses últimos dois processos influenciaram sobretudo as comunidades do fitoplâncton e do proto- e mesozooplâncton próximo à costa.

Palavras-chave: análise multivariada, plâncton, correlações, RDA, PERMANOVA.

## ABSTRACT

*This chapter is based on analyses of interrelations between community structure of pelagic organisms (virio-, bacterio-, protozoo-, phyto-, mesozoo-, mero- and ichthyoplankton) and abiotic factors such as spatio-temporal (rainy/dry seasons, neritic/oceanic provinces, water masses, etc.) and physico-chemical parameters (temperature, salinity, nutrients, etc.). Different communities pattern were evidenced between oceanographic campaigns and among isobaths, probably due to distinct spatio-temporal patterns of nutrient supply in the seasons and provinces that lead to environments and situations with characteristic biomasses and productivities. Wind velocity and wave energy was higher in the rainy season. This explains resuspension and vertical transport of nutrients, and seasonal patterns observed in the ecosystem in addition to an increase in river discharges. Several significant correlations were detected between plankton groups which can be attributed to microscale correlations (patch aggregations). Although the study area as a whole can be considered extremely oligotrophic, integration of biological data with water column abiotic data showed great diversity of processes that influenced the pelagic productivity: nitrogen fixation by cyanophytes, seasonal resuspension of nutrients by wave and wind energies, and the estuarine-coastal flow. The last two processes influenced mainly communities of phytoplankton, and proto- and mesozooplankton near the coast.*

*Keywords: multivariate analysis, plankton, correlations, RDA, PERMANOVA.*

## 13.1 – INTRODUÇÃO

13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas

13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal

13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico

13.1.4 – Relações tróficas

### 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses

13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)

13.2.3 – Dados utilizados

13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA

13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman

13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)

13.3.2 – Matriz de correlações

13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.4 – DISCUSSÃO

### 13.5 – CONCLUSÕES

### 13.6 – REFERÊNCIAS

## 13.1

### INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta informações sobre as inter-relações da estrutura da comunidade de organismos pelágicos obtidos no âmbito do Projeto Marseal, analisando descritores sintéticos (diversidade, biomassa, densidade total) e multivariados (matrizes de dados complexos) das comunidades planctônicas (virio-, bacterio-, protozoo, fito-, mesozoo-, mero- e ictioplâncton), e suas inter-relações com os diferentes fatores espaçotemporais (chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos, isóbatas, massas de água etc.), assim como com os parâmetros físico-químicos da coluna de água (temperatura, salinidade, nutrientes etc.). Os dados do presente estudo foram obtidos durante duas campanhas oceanográficas na bacia de Sergipe e sul de Alagoas, executadas em dois períodos climáticos distintos nos anos de 2014 (chuvoso) e 2014 e 2015 (seco), em águas neríticas (isóbatas de 10 a 50 m) e oceânicas (isóbatas de 400 a 3.000 m).

#### 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas

Ao longo das últimas décadas, a Petrobras tem investido em projetos voltados para a caracterização e o monitoramento ambiental, que engloba estudos das comunidades

planctônicas em áreas marinhas no Nordeste do Brasil, na Bacia Potiguar (PETROBRAS, 2006), na Bacia do Ceará (PETROBRAS, 2007) e Bacia de Sergipe (Schwamborn et al., 2002a; Neumann-Leitão e Gusmão, 2004; UFS/PETROBRAS, 2004; PETROBRAS, 2009). Ao sul da Bacia de Sergipe-Alagoas, destaca-se o estudo pretérito efetuado no talude de Sergipe (Schwamborn et al., 2002a), no bloco exploratório marítimo BM-SEAL 100 (Campo de Piranema).

Na plataforma continental, entre 10 e 30 metros de profundidade, a riqueza florística do fitoplâncton foi dominada pelas diatomáceas (64,35 %) e dinoflagelados (26,36 %), com marcada variação anual, registrando valores mais elevados durante o período chuvoso. Independentemente dos grupos dominantes, a estrutura fitoplanctônica da Plataforma Continental de Sergipe-Alagoas foi caracterizada pela presença de espécies marinhas planctônicas neríticas e oceânicas autóctones, com exceção de poucas espécies de água doce, que refletem a influência continental nas estações pesquisadas. Em relação ao zooplâncton, os Copepoda constituíram 59,1 % da comunidade e a densidade variou espacialmente, com valores mais elevados nas estações localizadas próximas da costa, decrescendo com a distância da costa (UFS/PETROBRAS, 2004).

No talude continental ao largo do sul de Sergipe, com relação à distribuição das espécies do fitoplâncton, foi observado predomínio da classe das diatomáceas, com populações tipicamente oceânicas (53,20 %), neríticas (25,61 %), termófilas com presença marcante de espécies planctônicas, presença ocasional de espécies dulcícolas (12,80 %) e estuarinas (1 %). No que se refere aos valores de densidade fitoplancônica, estes foram considerados baixos, sendo característico de região oligotrófica. A comunidade ictioplancônica da região em estudo apresentou-se constituída por 86 % de famílias características de região nerítica e 14 % de famílias de região oceânica. O microzooplâncton e o macrozooplâncton caracterizaram-se pelo predomínio de espécies holoplancônicas, sendo Copepoda o grupo mais representativo. A predominância de táxons neríticos e costeiros pelágicos nos grupos identificados pode ser um reflexo de vários fatores combinados, como: 1) a proximidade das estações costeiras e oceânicas na área de transição; 2) o empilhamento costeiro, trazendo táxons oceânicos em direção à costa; 3) a maior capacidade de distribuição das famílias costeiras e neríticas pelágicas entre estações costeiras e oceânicas e a estreita largura da plataforma, a qual favorece uma sobreposição de táxons entre os diversos ambientes da área de estudo (Schwamborn et al., 2002a; PETROBRAS, 2009).

Assim como nos estudos pretéritos, os dados obtidos nesta pesquisa confirmaram, de forma geral, a predomi-

nância de condições oligotróficas na coluna de água na Bacia de Sergipe-Alagoas, o que é comum em águas neríticas e oceânicas no Nordeste do Brasil (Ekau e Knoppers, 1999; Medeiros et al., 1999). Os processos de oligotrofia das águas marinhas determinam a distribuição dos parâmetros físico-químicos (Medeiros et al., 1999), a composição e densidade das comunidades planctônicas (Neumann-Leitão et al., 1999; Schwamborn et al., 1999a) e os dados de isótopos estáveis (Schwamborn et al., 1999b; Schwamborn et al., 2002b), conforme verificado para a comunidade planctônica da bacia de Sergipe e sul de Alagoas (ver os respectivos capítulos neste volume).

### 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal

Os dados abióticos obtidos no contexto do Projeto Marseal estão dentro do esperado para uma zona costeira oligotrófica tropical. A intensidade dos ventos e a concentração de clorofila\_a foram maiores na estação chuvosa, com picos em junho e julho (Capítulo 6 deste livro). Os valores de salinidade e temperatura em superfície (1 m) obtidos com CTD nessas duas campanhas estiveram dentro do esperado para áreas neríticas e oceânicas tropicais sob influência de Corrente Sul-Equatorial (temperatura: 21,3 a 28,4 °C; salinidade: 35,9 a 37,3). Nas duas campanhas oceanográficas realizadas, não se verificou nenhuma redução da salinidade

superficial abaixo de 35, em nenhuma estação, mostrando que o aporte terrígeno de água doce para a região costeira foi extremamente baixo, e que não foi amostrada, diretamente, nenhuma pluma estuarina, sendo estes valores todos considerados marinhos ou euhalinos.

Em ambas as campanhas, os dados de nutrientes inorgânicos dissolvidos nas camadas superficiais evidenciaram baixíssimas concentrações, típicas de águas oligotróficas tropicais (Capítulo 3 deste livro). Nas amostras obtidas na região oceânica, verificou-se, como esperado, um aumento da concentração de nutrientes abaixo da zona fótica.

### 13.1.3 – Variações espacotemporais do ecossistema pelágico

Além desses valores esperados (*background*), evidenciaram-se mudanças sazonais típicas e esperadas à ação dos ventos e das ondas, com maior energia no período chuvoso, levando a um aumento da turbulência e conseqüentemente a uma maior ressuspensão de nutrientes dos sedimentos da plataforma continental ou das camadas abaixo da termocline na região oceânica. Destacou-se também, em algumas estações rasas ao largo de Sergipe, uma influência de aporte de nutrientes e matéria orgânica particulada relacionada ao aporte fluvial, principalmente dos rios São Francisco e Sergipe, no período chuvoso.

A coleta estratificada por massas de água também registrou um forte gradiente vertical, além da presença de comunidades planctônicas características e espécies indicadoras para as massas de água coletadas (Capítulo 10 deste livro).

De forma geral, densidades de organismos foram mais elevadas no período chuvoso (período com maior energia de ventos e ondas), no ambiente nerítico e na superfície, com picos isolados próximos das desembocaduras de alguns rios (São Francisco, Sergipe, Vaza-Barris e Piauí-Real), para o virioplâncton e picoplâncton, fitoplâncton e produção primária fitoplanctônica, protozooplâncton e zooplâncton (Capítulos 5, 8, 7, 9 e 10, respectivamente neste volume). As análises multivariadas efetuadas para os grupos de organismos confirmaram a predominância de três fatores espaçotemporais na estrutura das comunidades: 1) período climático (chuvoso/seco); 2) gradiente costa-oceano (nerítico/oceânico); 3) gradiente vertical (massas de água).

### 13.1.4 – Relações tróficas

No contexto da bacia de Sergipe e sul de Alagoas, investigaram-se as fontes de matéria orgânica e a dinâmica da teia trófica planctônica em águas neríticas e oceânicas, usando medições de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio (Capítulo 12 deste livro). O material orgânico particulado

(MOP) das águas superficiais neríticas apresentou razão C/N de  $6,4 \pm 1,1$  (média  $\pm$  desvio padrão). Esse valor médio é semelhante à razão estequiométrica entre carbono e nitrogênio proposta no modelo de Redfield (6,6), sugerindo que o MOP na bacia é quantitativamente dominado pelo fitoplâncton (Redfield, Ketchum e Richards, 1963). O valor médio do  $^{13}\text{C}$  no MOP foi  $-20,5\text{‰}$  (Apêndice 12.8.2 do Capítulo 12), que também é típico de fontes fitoplanctônicas marinhas. As fontes de carbono revelaram sinais diferentes nas zonas neríticas de Sergipe e do sul de Alagoas em função do maior volume de descargas fluviais na costa de Sergipe. Entretanto, o sinal isotópico da matéria orgânica do Rio São Francisco não se destacou quando comparado a bacias hidrográficas menores (ex.: complexo Piauí-Real). O aporte de matéria orgânica continental proveniente do Rio São Francisco limitou-se a uma distância de 5 km da sua foz, segundo os dados isotópicos, sendo que esse sinal isotópico foi identificado apenas no período chuvoso. Muito provavelmente, esse fato é uma consequência do grande número de barragens construídas ao longo do curso do rio nas últimas décadas (Knoppers et al., 2006; Jennerjahn et al., 2010).

A correlação entre a assinatura isotópica do carbono de Copepoda e a abundância de *Prochlorococcus* sugere que esse gênero de cianobactéria seja uma importante fonte de carbono para aquele grupo do zooplâncton. *Prochlorococcus*

tende a dominar a produção primária picoplanctônica em águas oligotróficas (Campbell et al., 1997; Blanchot e Vaulot, 1999; Durand, Olson e Chisholm, 2001; Partensky; Vázquez-Domínguez et al., 2008; Mitbavkar e Anil, 2011).

A assinatura isotópica do nitrogênio também apresentou correlação positiva com o habitat nerítico. Este, por sua vez, revelou forte correlação negativa com a posição trófica de Copepoda. Assim, esses resultados indicam que os copepodos ocupam posição trófica média mais elevada no ambiente oceânico em relação ao ambiente nerítico de Sergipe e sul de Alagoas. O principal fator que influenciou as relações tróficas do plâncton, na área de estudo, foi o gradiente nerítico-oceânico.

O presente capítulo apresenta informações sobre as inter-relações da estrutura da comunidade de organismos pelágicos, analisando descritores sintéticos (diversidade, biomassa, densidade total) e multivariados (matrizes de dados complexos) das comunidades planctônicas (virio-, bacterio-, protozoo, fito-, mesozoo-, mero- e ictioplâncton) e suas inter-relações com os diferentes fatores espaçotemporais (chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos, isóbatas, massas de água etc.) e com os parâmetros físico-químicos da coluna de água (temperatura, salinidade, nutrientes etc.).

## 13.1 – INTRODUÇÃO

- 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
- 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
- 13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
- 13.1.4 – Relações tróficas

## 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

- 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
- 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
- 13.2.3 – Dados utilizados
- 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
- 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
- 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

## 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

- 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
- 13.3.2 – Matriz de correlações
- 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

## 13.4 – DISCUSSÃO

## 13.5 – CONCLUSÕES

## 13.6 – REFERÊNCIAS

## 13.2

### MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

#### 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses

A estratégia de amostragem e métodos de campo empregados nos estudos de hidroquímica e comunidade plânctônica estão apresentados no Capítulo 2 deste livro). As coletas foram realizadas em dois períodos (chuvoso – maio a junho de 2014; e seco – dezembro de 2014), ao longo de seis transectos perpendiculares à costa (A, C, D, E, G, H) e sete isóbatas (10, 25, 50, 400, 1.000, 1.900, 3.000 metros de profundidade). Em cada estação a amostragem foi estratificada em até seis profundidades, sendo realizada no núcleo de cada massa de água (AT = 1 m; ACAS = 250 m; AIA = 700 m; ACS = 1.250 m; APAN = 2.300 m) e na profundidade máxima de clorofila<sub>a</sub> (PMC), com 126 amostras coletadas em cada campanha oceanográfica, totalizando 252 amostras.

Para a interpretação integrada foram usados os dados obtidos por sensoriamento remoto (sensores a bordo do satélite Aqua), perfis verticais com uma sonda CTD, coletas de água com rosette e arrastos de zooplâncton com rede de abertura e fechamento (Mocness).

Metodologias detalhadas para a obtenção dos parâmetros biológicos e abióticos podem ser consultadas nos respectivos capítulos deste livro.

Este estudo testou a hipótese de que existem inter-relações significativas entre os parâmetros biológicos, espaçotemporais e físico-químicos no ambiente pelágico da bacia de Sergipe e sul de Alagoas.

#### 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)

Para testar diferenças entre dois conjuntos de amostras (chuvoso e seco, nerítico e oceânico etc.), utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Zar, 1996). Para testar possíveis diferenças entre vários grupos de amostras (entre campanhas e entre isóbatas), adotou-se a análise de variância não paramétrica de Kruskal e Wallis (KW-Anova, Zar, 1996). No caso de detecção de efeitos significativos pela KW-Anova, efetuou-se um teste *a posteriori*. Para isso, empregou-se o teste não paramétrico de Nemenyi (Conover e Iman, 1979; Pohlert, 2014) para testar as diferenças par a par entre grupos de amostras. Todos os parâmetros físicos, hidroquímicos e biológicos foram testados

em relação a possíveis diferenças entre campanhas e entre isóbatas. Empregou-se o pacote “PMCMR” (Pohlert, 2014), dentro do ambiente e da linguagem de programação “R”, versão 3.2.2 (R Core, 2015), com auxílio da interface de programação “RStudio”, versão 0.99.473 (RStudio Team, 2015). O nível de significância  $p < 0,05$  foi considerado para rejeitar a hipótese de nulidade (Zar, 1996).

### 13.2.3 – Dados utilizados

Para as análises multivariadas compilou-se uma matriz de dados biológicos, ou seja, com os principais descritores das comunidades planctônicas. Trata-se de uma matriz com 23 colunas (“matriz completa”), representando a densidade [transformados em “log (x + 1)”] e de grandes grupos de bactérias, vírus, protozooplâncton, fitoplâncton, zooplâncton, ictioplâncton e a diversidade de Copepoda (Tabela 13.1). Para a correlação não paramétrica de Spearman utilizaram-se todos os 23 descritores. Para as análises simultâneas dos conjuntos de dados (PERMANOVA e RDA) empregou-se uma matriz reduzida, com somente 19 colunas, contendo os dados que foram independentes entre si [densidades log (x + 1) – transformadas de 19 grupos].

Tabela 13.1 – Lista dos 23 principais descritores das comunidades planctônicas usados para a correlação não paramétrica de Spearman Obs: \* conjunto de 19 descritores usados para PERMANOVA e RDA.

DESCRITOR	SIGLA	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIANA	MÉDIA
*Bacterioplâncton (log (x+1) cels.ml <sup>-1</sup> )	BactD	6,24	4,83	5,53	5,55
*Virioplâncton (log (x+1) partículas. ml <sup>-1</sup> )	VirioD	7,05	6,25	6,79	6,80
*Picoeucariotos (log (x+1) partículas.ml <sup>-1</sup> )	PicoeuD	3,72	2,25	2,93	3,03
*Nanoeucariotos (log (x+1) partículas.ml <sup>-1</sup> )	NanoeuD	3,19	0,00	2,28	1,89
Fitoplâncton Total (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	FitoD	4,84	2,00	3,24	3,32
*Diatomáceas (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	OchrD	4,76	0,00	2,90	2,78
*Dinoflagelados (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	PyrrD	4,00	0,00	2,60	2,66
*Cyanobactéria (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	CyanD	4,10	0,00	2,00	1,30
*Chlorophyta (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	ChloD	3,40	0,00	0,00	0,33
*Chrysophyta (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	ChryD	3,18	0,00	0,00	0,64
*Euglenophyta (log (x+1) Cel.L <sup>-1</sup> )	EuglD	2,30	0,00	0,00	0,10
Protozooplâncton Total (log (x+1) ind.L <sup>-1</sup> )	ProtoD	2,54	0,00	1,26	1,26
*Tintinnina (log (x+1) ind. L <sup>-1</sup> )	TinD	2,49	0,00	1,07	1,05
*Aloricados (log (x+1) ind. L <sup>-1</sup> )	AlorD	1,82	0,00	0,00	0,19
*Foraminífera (log (x+1) ind. L <sup>-1</sup> )	ForD	1,56	0,00	0,28	0,30
*Radiolária (log (x+1) ind. L <sup>-1</sup> )	RadD	0,80	0,00	0,07	0,16
Zooplâncton Total (log (x+1) ind.m <sup>-3</sup> )	ZooD	2,59	0,86	1,70	1,71
*Copepoda (log (x+1) ind.m <sup>-3</sup> )	CopD	2,46	0,48	1,38	1,37
*Decapoda (log (x+1) ind.m <sup>-3</sup> )	DecD	1,61	0,03	0,61	0,65
*Chaetognatha (log (x+1) ind.m <sup>-3</sup> )	ChaD	1,84	0,00	0,43	0,49
Diversidade Shannon de Copepoda	Div_Cop	0,69	0,04	0,54	0,53
*Ictioplâncton 500 µm (Larvas) (log (x+1) ind.100m <sup>-3</sup> )	ICTIa	2,52	0,00	1,38	1,33
*Ictioplâncton 500 µm (Ovos) (log (x+1) ind.100m <sup>-3</sup> )	ICTov	2,83	0,00	0,83	0,94

Para explicar a variabilidade da matriz de dados biológicos, foram utilizadas duas matrizes de dados abióticos: 1) uma de fatores espaçotemporais (matriz "ET": chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos, isóbatas, latitude, longitude etc. – totalizando 11 variáveis ET); e 2) uma matriz com as variáveis físico-químicas (matriz "FQ": salinidade, temperatura, material particulado em suspensão, nutrientes etc. – 20 parâmetros FQ).

### 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA

Para a Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA) (Anderson, 2001), foram utilizadas matrizes de densidades por táxon e estação. Para o cálculo das matrizes de similaridade foi empregada a medida de Bray-Curtis para dados transformados em raiz quadrada e padronizados através da divisão pelo total (Clarke e Warwick, 2001).

A PERMANOVA foi usada para testar a significância estatística das diferenças em estrutura de comunidades entre grupos (chuvoso vs seco, nerítico vs oceânico). Esta análise teve por base as similaridades entre as estações de coleta, em função da estrutura dos dados. A PERMANOVA testa diferenças na estrutura dos dados, comparando os grupos de estações de coleta formados pelos elementos do fator considerado. Empregou-se o método de permutação de resíduos sob um modelo completo (*residuals under the full*

*model*) com 9.999 repetições (Anderson, 2001). Foi verificado o efeito de dois fatores ortogonais (chuvoso/seco e nerítico/oceânico) e o efeito da interação entre os dois fatores, sobre vetores univariados (testando as densidades uma a uma de cada grande grupo), e o efeito sobre a matriz biológica (testando-se a matriz com todas as densidades log  $(x + 1)$  – transformadas de 19 grandes grupos). Utilizou-se a função "adonis2" do pacote "vegan" (versão 2.4.0), dentro do ambiente e linguagem de programação "R", versão 3.2.2 (R Core, 2015), com auxílio da interface de programação "RStudio", versão 0.99.473 (RStudio, 2015). O nível de significância  $p < 0,05$  foi considerado para rejeitar a hipótese de nulidade (Zar, 1996).

### 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman

A fim de detectar possíveis correlações entre as principais variáveis, foram elaboradas matrizes de correlação não paramétrica de Spearman (Zar, 1990), considerando-se apenas as correlações significativas ( $p < 0,05$ ). Testaram-se os principais descritores (diversidade e densidade) das comunidades planctônicas (virio-, bacterio-, protozoo-, fito-, mesozoo-, mero- e ictioplâncton) e suas inter-relações com os parâmetros físico-químicos da coluna de água (temperatura, salinidade, nutrientes inorgânicos, OD, pH, COD, NOD, POD, MPS).

Geraram-se dois correlogramas através da plotagem das correlações em uma matriz triangular, usando símbolos que representam a intensidade da correlação através de suas cores e tamanhos dos símbolos:

- correlograma das *correlações simples* entre os grupos, que originou um correlograma com as correlações significativas ( $p < 0,05$ ) dos principais descritores biológicos entre si. Elas indicam se os grupos possuem relações entre si, as quais podem ser devidas à covariação ao longo dos macrogradientes espaçotemporais (chuvoso-seco e costa-oceano), ou devido às microcorrelações espaciais (agregação em manchas e em zonas de convergência, correlações tróficas). Dados usados: matriz com os 23 descritores biológicos (Tabela 13.1);
- correlograma das *correlações parciais* entre os grupos (Copepoda, Tintinnina etc.), livres dos efeitos dos macrogradientes. Essas correlações parciais indicam se os grupos possuem relações entre si, que são exclusivamente devidas às microcorrelações espaciais (agregação em manchas, correlações tróficas etc.), sem os efeitos da distribuição ao largo dos macrogradientes. Dados usados: resíduos do modelo linear bifatorial (fatores chuvoso/seco e nerítico/oceânico) que considera os efeitos dos macrogradientes espaçotemporais sobre a matriz biológica (resíduos de 19 descritores biológicos).

### 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

A Análise Canônica de Redundâncias (RDA) foi aplicada para explicar a variabilidade da matriz de dados biológicos, que contém os principais descritores sintéticos das comunidades planctônicas. Para explicar a variabilidade da matriz de dados biológicos, foram utilizadas duas matrizes de dados:

1) uma matriz de fatores espaçotemporais (matriz “ET”: chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos, isóbatas, massas de água etc., totalizando 11 variáveis); e 2) uma matriz com as variáveis físico-químicas (matriz “FQ”: salinidade, temperatura, MPS, nutrientes). O propósito da análise foi calcular a contribuição das matrizes ET e FQ e da interseção ET x FQ na explicação da matriz biológica, ou seja, calcular a partição de variâncias.

Somente os táxons com pelo menos 5 % de frequência de ocorrência foram incluídos na matriz biológica, a fim de excluir os táxons raros. Apenas os dados de superfície foram utilizados nessas análises (84 amostras, 23 descritores). Os dados de densidade de organismos foram padronizados (divididos pelos totais de cada amostra) e transformados em raiz quadrada (transformação Hellinger, segundo Legendre e Gallagher, 2001; Paes, 2012) antes das análises.

Os fatores espaçotemporais não numéricos (chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos e massas de água) foram transformados em variáveis “dummy” (“0” e “1”) antes das análises. Variáveis não significativas ( $p > 0,05$ ) foram excluídas das matrizes ET e FQ, em um procedimento passo a passo, usando testes de permutação Monte Carlo com 999 permutações, considerando-se as colinearidades entre variáveis (Ter Braak e Smilauer, 2002).

Para o cálculo da partição de variâncias foram executadas, para cada análise, quatro RDAs (“P1” a “P4”) com diferentes combinações de matrizes FQ e ET usadas como matrizes explicativas únicas e como explicativas + covariáveis, seguindo as recomendações de Paes (2012).

São apresentadas tabelas de partição de variâncias com as contribuições dos fatores espaçotemporais e das variáveis físico-químicas para a explicação da variabilidade da matriz biológica. Foram gerados gráficos (*triplots*) de ordenação canônica com as variáveis significativas ( $p < 0,05$ ), espécies e amostras, baseados nos modelos de RDA.

Para essas análises foram seguidas as recomendações de Legendre e Legendre (1998), Legendre e Gallagher (2001), Beisner et al. (2006), Peres-Neto et al. (2006) e Paes (2012), utilizando o programa Canoco (Ter Braak e Smilauer, 2002) nas versões 4.5 e 5.0.

### 13.1 – INTRODUÇÃO

- 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
- 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
- 13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
- 13.1.4 – Relações tróficas

### 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

- 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
- 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
- 13.2.3 – Dados utilizados
- 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
- 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
- 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

- 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
- 13.3.2 – Matriz de correlações
- 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.4 – DISCUSSÃO

### 13.5 – CONCLUSÕES

### 13.6 – REFERÊNCIAS

## 13.3

### PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

Os resultados obtidos nas duas campanhas oceanográficas referentes aos períodos seco e chuvoso, para as comunidades do virio-, bacterio-, nano-, pico-, microfito-, protozoo-, mesozoo- e ictioplâncton e nêuston, estão dentro do que seria esperado para uma região marinha tropical sob influência das águas oligotróficas da Corrente Sul-Equatorial.

Em resumo, observaram-se maiores densidades no período chuvoso e em ambas as campanhas um forte gradiente costa-oceano para as comunidades fitoplanctônicas (clorofila\_a, biomassa e densidade do fitoplâncton) e para as comunidades do mesozooplâncton (biomassa e densidade), exceto para os Decapoda, que desovam no período seco. Verificou-se para vários grupos taxonômicos um aumento na densidade total em direção à costa. Foram registrados picos esporádicos de densidade relacionados com os estuários dos rios Sergipe, Vaza-Barris e Real-Piauí, principalmente durante o período chuvoso; também foram

constatados picos esporádicos na quebra do talude. No zoonêuston observou-se, como esperado, um acúmulo de organismos na camada superior, com biomassa total e densidade total claramente mais elevadas em relação à camada inferior. Esse acúmulo de organismos na superfície foi verificado consistentemente em ambas as campanhas realizadas na bacia de Sergipe e sul de Alagoas.

Os valores de densidade de vários grupos planctônicos mostraram um claro e consistente padrão espacial em relação ao gradiente costa-oceano. Por exemplo, os picoeucariotos totais estiveram sempre com maiores densidades perto da costa, nas isóbatas rasas, e revelaram sempre um declínio gradual, monótono e consistente conforme as amostragens se afastaram da costa (Figura 13.1). As cianobactérias totais, por outro lado, tiveram suas menores densidades perto da costa e registraram um aumento gradual de suas densidades nas estações oceânicas (Figura 13.1).

As amostragens estratificadas evidenciaram maior densidade e biomassa de todos os grupos planctônicos nas camadas superficiais (1 m e PMC), assim como um declínio gradual em relação às camadas mais profundas. Apenas os nutrientes inorgânicos apresentaram um aumento das suas concentrações em relação às camadas mais profundas. Comparando-se as camadas de 1 m e PMC, houve diferença significativa em concentração de clorofila\_a (Capítulo 7 deste livro) entre as duas camadas tanto para clorofila\_a ( $p < 0,05$ ) quanto para a clorofila\_a  $< 20 \mu\text{m}$  ( $p < 0,05$ ), onde

os valores estiveram mais altos na PMC, possivelmente devido ao contato entre as massas de água AT e ACAS, confirmando os resultados do fluorímetro do CTD. Para os demais parâmetros e táxons, as comparações entre PMC e 1 m não foram consistentes ou conclusivas, havendo tendência ao aumento de densidade em direção à superfície. Esses padrões estão dentro do que seria esperado para esses ambientes. Além disso, detectaram-se grupos de organismos bioindicadores de camadas e massas de água (capítulos pertinentes deste livro).

### 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)

Os resultados da análise multivariada de permutação PERMANOVA (Tabela 13.2), usando toda a matriz biológica [densidades totais de 19 grandes grupos, de vírus e bactérias até o ictioplâncton, transformadas em “log (x + 1)”], demonstraram que houve efeitos significativos ( $p < 0,001$ ) dos fatores período (chuvoso/seco) e ambiente (nerítico/occeânico) sobre essas comunidades. Porém, não foi observado efeito significativo na interação entre a variável temporal (chuvoso e seco) e a variável espacial (ambiente nerítico e oceânico) ( $p = 0,31$ ), o que mostra ter o mesmo padrão espacial (maiores densidades perto da costa) ocorrido tanto no período chuvoso quanto no período seco.

A PERMANOVA explicou 29 % da variabilidade da matriz biológica, a partir dos fatores período (chuvoso/seco) e ambiente (nerítico/oceano), sendo 19 % explicado pelo fator temporal e 9 % pelo fator espacial dos ambientes nerítico e oceânico (Tabela 13.2). Portanto, 71 % da variabilidade dos dados de densidade total dos 19 grandes grupos, de vírus e bactérias até o ictioplâncton, não foram explicados pelos fatores espaço-tempo.

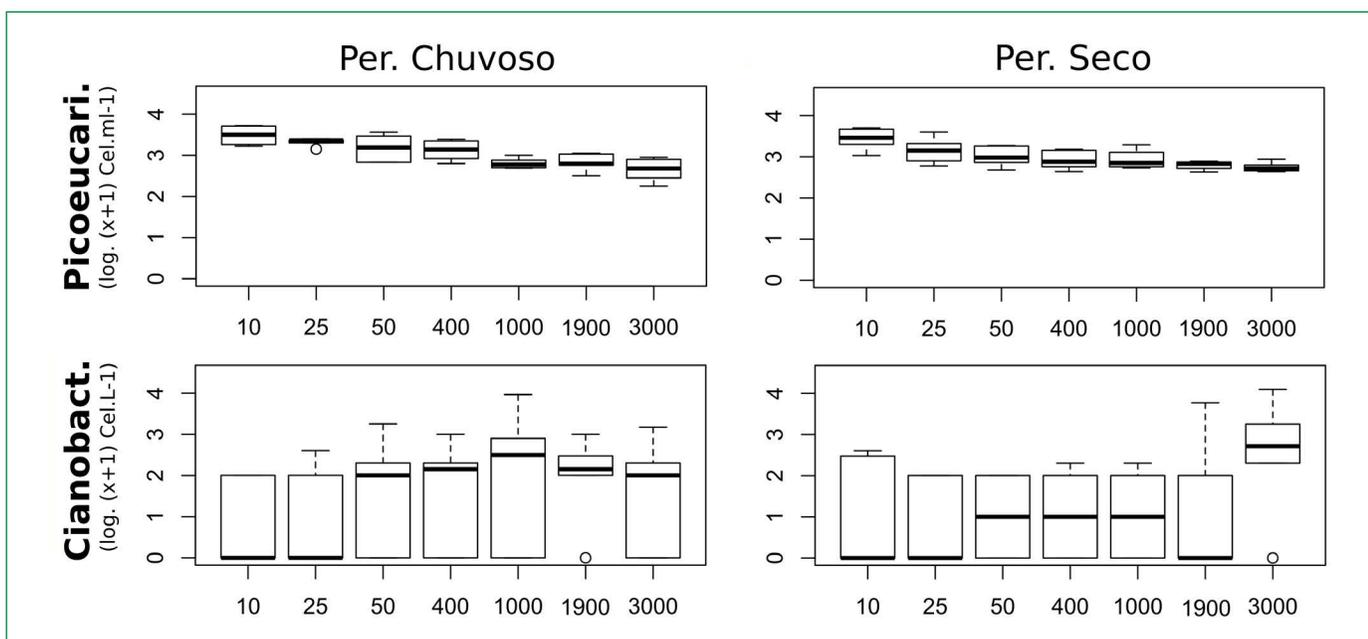


Figura 13.1 – Variação espacial da densidade de picocariotos e cianobactérias totais, da camada superficial (1 m), em relação às 7 isóbatas. Os *boxplots* indicam medianas, *outliers* e quartis (amplitude, 25 %, 50 % e 75 % dos dados).

Tabela 13.2 – Resultados da PERMANOVA executada com uma matriz de 19 descritores biológicos e dois fatores (two-way) e suas interações Fatores explicativos: chuvoso/seco, nerítico/ocêânico e interação chuvoso/seco x nerítico/ocêânico. Descritores biológicos testados: 19 densidades de organismos (Bact, Virio, Picoeu, Nanoeu, Ochr, Pyrr, Cyan, Chlo, Chry, Eugl, Tin, Alor, For, Rad, Cop, Dec, Chae, ICTlarvas, ICTovos, descritos na Tabela 13.1). G.L.: Graus de Liberdade.

	G.L.	SOMA DOS QUADRADOS	MÉDIA DOS QUADRADOS	F	R <sup>2</sup>	P	
Chuvo/Seco	1	0,27	0,27	20,9	0,19	0,001	***
Nerítico/Oceânico	1	0,12	0,12	9,87	0,09	0,001	***
Interação	1	0,016	0,01	1,21	0,01	0,31	
Resíduos	80	1,04	0,01		0,71		
Total	83	1,48			1,0		

### 13.3.2 – Matriz de correlações

Foram observadas inúmeras correlações positivas e negativas dos grupos entre variáveis biológicas, espaçotemporais e físico-químicas (Figura 13.2). Das combinações e dos testes par a par possíveis com todos os parâmetros usados, os testes de Spearman resultaram em várias correlações não paramétricas significativas ( $p < 0,05$ ). Os principais testes realizados par a par entre variáveis biológicas, espaçotemporais e físico-químicas basearam-se em 380 combinações de testes Spearman par a par possíveis. Esses testes revelaram 95 correlações significativas ( $p < 0,05$ ) (Figura 13.2).

As 95 correlações significativas entre variáveis biológicas, espaçotemporais e físico-químicas reveladas neste estudo indicam interações ecológicas relevantes (Figura 13.2). Por exemplo, as comunidades de bactérias totais (BACT) estiveram positivamente correlacionadas com o período chuvoso (CHUV), e negativamente correlacionadas com as isóbatas, distância da costa e gradiente nerítico-ocêânico ("ISOB", "DISTC", "TAL"), revelando maiores densidades no período chuvoso e menores no período seco, assim como maiores

densidades perto da costa. Além disso, as comunidades de bactérias totais estiveram positivamente correlacionadas com a concentração clorofila\_a ("Cla") e com a concentração de clorofila\_a na fração com tamanho maior que 20 micrômetros («Cla20»), indicando que a densidade de bactérias é maior em amostras com maiores concentrações de clorofila\_a (Figura 13.2).

Vários grupos do bacterio-, virio-, pico- e protozooplâncton (protozooplâncton total, tintinnina, e ciliados aloricados, "Proto", "Tin" e "Alor") mostraram correlações significativamente negativas com a salinidade, revelando maiores concentrações nas estações com influência de águas estuarinas (Figura 13.2). A densidade de zooplâncton total (Zoo), Copepoda (Cop) e Chaetognatha (Cha) foi maior no período chuvoso (CHUV), enquanto a densidade de Decapoda (Dec), de ovos de peixes (ICTov) e foraminíferos (For) foi maior na estação seca. Zooplâncton total (Zoo), Copepoda (Cop) e Chaetognatha (Cha) tiveram correlação positiva com a clorofila\_a total, mostrando maiores densidades em

estações com maior biomassa do fitoplâncton. Os crustáceos decápodes (Dec) apresentaram correlação positiva com nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrogênio inorgânico dissolvido total (NIDT) e silicato ( $\text{SiO}_4$ ), bem como correlação negativa com o pH, indicando maiores densidades nas estações com influência estuarina.

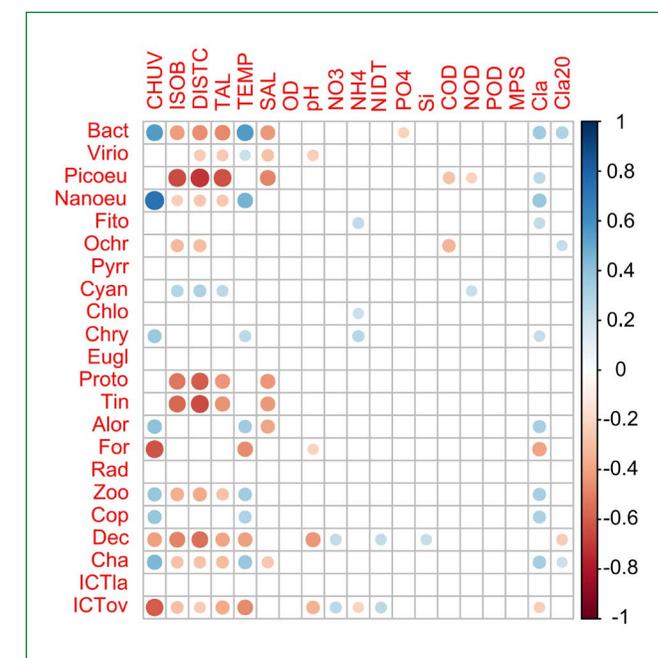


Figura 13.2 – Plotagem (correlograma) das correlações não paramétricas de Spearman entre variáveis biológicas, espaçotemporais e físico-químicas. Dados de superfície (84 amostras), 23 descritores biológicos (descritos na Tabela 13.1), quatro fatores espaçotemporais e 14 variáveis físico-químicas. Os diâmetros e as cores dos círculos representam a intensidade da correlação. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e positivas estão marcadas em azul. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e negativas estão marcadas em vermelho. Correlações não significativas ( $p > 0,5$ ) foram excluídas (em branco).

Foram observadas várias correlações positivas e negativas dos grupos taxonômicos entre si (Figuras 13.3 e 13.4). Para as correlações simples (22 descritores biológicos, 242 combinações possíveis) (Figura 13.3) foram encontradas 63 correlações significativas ( $p < 0,05$ ), excluindo-se as correlações não independentes (por exemplo, entre Copepoda e zooplâncton total). Destas, somente 15 correlações (23 %) foram negativas, mostrando o predomínio de correlações positivas entre os grupos planctônicos. Destaca-se o grande número de correlações positivas entre bacterio-, pico-, nano- e protozooplâncton (protozooplâncton total, Tintinnina e ciliados aloricados, "Proto", "Tin" e "Alor"), copépodes e quetognatos, além da ausência de correlações dos demais grupos com os grupos do microfítoplâncton (fitoplâncton total, diatomáceas, dinoflagelados etc.).

Para as correlações parciais livres dos efeitos de macrogradientes espaçotemporais (23 grupos, 242 combinações possíveis) (Figura 13.4) foram encontradas 29 correlações significativas ( $p < 0,05$ ). Algumas correlações positivas descrevem possíveis inter-relações tróficas, como, por exemplo, o grupo de Chaetognatha (Figura 13.3), que apresentou forte correlação positiva e significativa com a densidade de Copepoda. Essa correlação manteve-se positiva e significativa mesmo após a eliminação dos efeitos dos macrogradientes espaçotemporais (Figura 13.4), o que pode indicar inter-relações tróficas positivas (maior abundância dos quetognatos predadores nos locais com picos de densidade de suas presas, os copépodes).

O grupo de Tintinnina apresentou três fortes e significativas correlações positivas simples: com os grupos do bacterioplâncton, nano- e picoeucariotos (Figura 13.3). Dessas três correlações simples, a correlação de Tintinnina com o bacterioplâncton pode ser explicada apenas pela covariância ao longo dos macrogradientes espaçotemporais, pois ela não é significativa na análise de correlações parciais (Figura 13.4). As correlações entre os Tintinnina e nano- e picoeucariotos mantêm-se significativas, mesmo após a eliminação dos efeitos dos macrogradientes espaçotemporais (Figura 14.4), o que pode indicar inter-relações tróficas positivas de tintinídeos com nano- e picoeucariotos.

Tintinnina também registrou correlações significativas negativas simples com dois grupos: cianobactérias e Pyrrophyta. Essa correlação negativa pode ser explicada pelo fato de cianobactérias e pirrófitas serem mais abundantes em ambientes oceânicos, enquanto os tintinídeos são mais abundantes em regiões neríticas (covariância negativa ao longo dos macrogradientes espaçotemporais). As correlações negativas dos tintinídeos com o grupo de cianobactérias mantêm-se significativas mesmo após a exclusão dos efeitos dos macrogradientes (Figura 14.4). Observaram-se correlações parciais negativas dos tintinídeos (ciliados com lórica) e dos ciliados aloricados (ciliados sem lórica) com o grupo de cianobactérias (Figura 14.4), o que indica serem os picos de densidade de cianobactérias locais de baixa densidade de ciliados, apontando possíveis inter-relações tróficas negativas (por exemplo, toxicidade de cianofíceas).

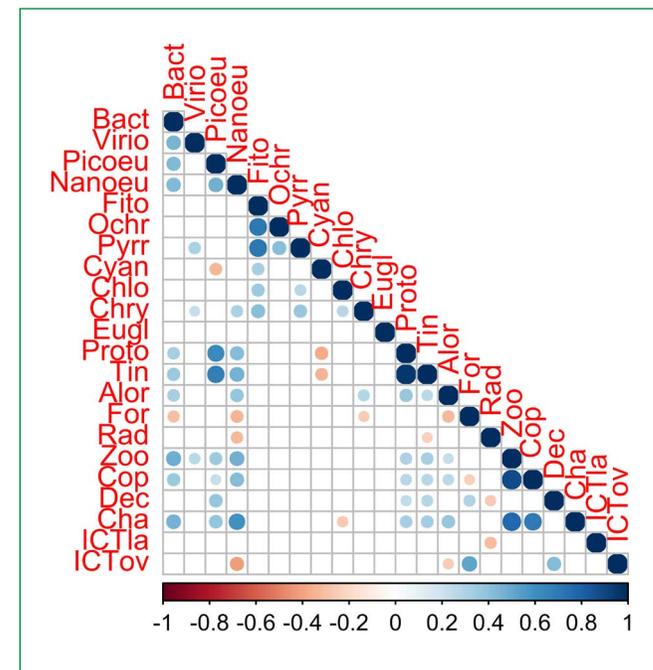


Figura 13.3 – Plotagem (correlograma) das correlações não paramétricas de Spearman de 23 descritores biológicos entre si (descritos na Tabela 13.1). Dados de superfície (84 amostras). Os diâmetros e as cores dos círculos representam a intensidade da correlação. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e positivas estão marcadas em azul. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e negativas estão marcadas em vermelho. Correlações não significativas ( $p > 0,5$ ) foram excluídas (em branco).

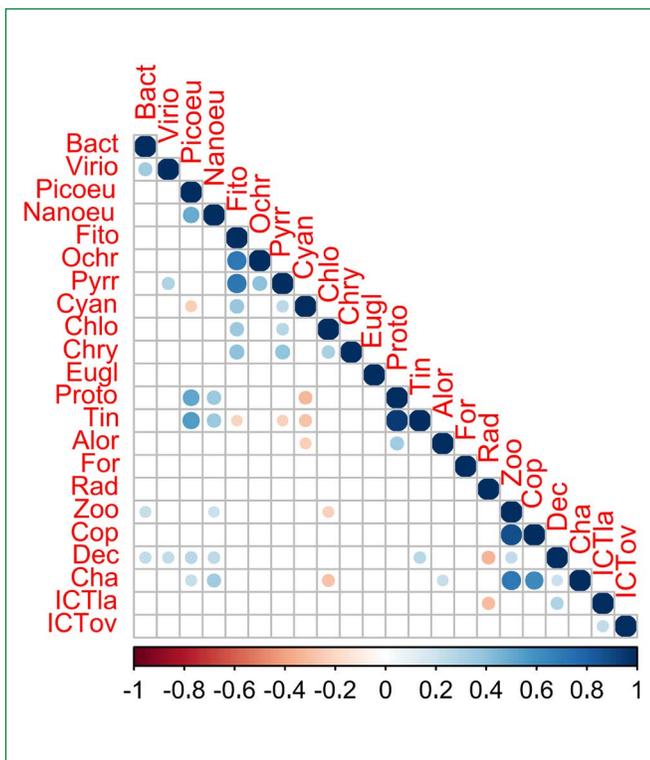


Figura 13.4 – Plotagem (correlograma) das correlações parciais não paramétricas de Spearman, livres dos efeitos dos macrogradientes espaçotemporais (correlações usando os resíduos do modelo bifatorial chuvoso-seco + nerítico-oceânico.). Essas correlações parciais indicam se os grupos possuem relações entre si, que são exclusivamente devidas às microcorrelações espaciais (agregação em manchas, correlações tróficas, mesogradientes perto da costa etc.). Dados de superfície (84 amostras). Os diâmetros e as cores dos círculos representam a intensidade da correlação. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e positivas estão marcadas em azul. Correlações significativas ( $p < 0,5$ ) e negativas estão marcadas em vermelho. Correlações não significativas ( $p > 0,5$ ) foram excluídas (em branco).

### 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

Com o resultado da análise canônica de redundâncias (RDA) efetuada com a matriz de dados obtidos em superfície (84 amostras, 19 descritores biológicos, 52 variáveis espaçotemporais e físico-químicas), foi possível obter um *triplot* (Figura 13.5A) que evidencia dois macrogradientes com efeitos ortogonais (independentes), relacionados às variáveis espaçotemporais: 1) gradiente costa-oceano (nerítico <-> oceânico, vetor DIST, distância da costa); e 2) gradiente temporal (chuvoso <-> seco, vetores CHUV e SECO).

Vários grupos taxonômicos tiveram suas densidades estruturadas por esses macrogradientes (Figura 13.5). As comunidades de cianobactérias totais (Cyan) e as cianobactérias *Prochlorococcus* spp. (Prochl) foram claramente relacionadas sempre com o ambiente oceânico (fator “dist. da costa”, vetor “DISTC”). Vários táxons foram agrupados no lado oposto ao vetor DISTC, indicando maior densidade sempre próximo à costa. Tais grupos são picoeucariotos (Picoeu), a cianobactéria *Synechococcus* (Syn), protozooplâncton (Proto), Tintinina (Tintin) e zooplâncton total (Zoo).

Chrysophyta (Chry), nanoeucariotos (nanoeu) e protozoários aloricados (Alor) estiveram associados ao período chuvoso, enquanto foraminíferos (For), ovos de peixes (ICTov) e radiolários (Rad) estiveram associados ao período seco (Figura 13.5).

Densidades de bactérias (Bact) estiveram associadas ao quadrante formado pelo ambiente nerítico e com o período chuvoso (diagonal dos fatores DISTC e CHUV). Decapoda (Dec) e Chaetognatha (Cha) estiveram associados ao quadrante formado pelo ambiente nerítico e com o período seco (diagonal dos fatores DISTC e SECO).

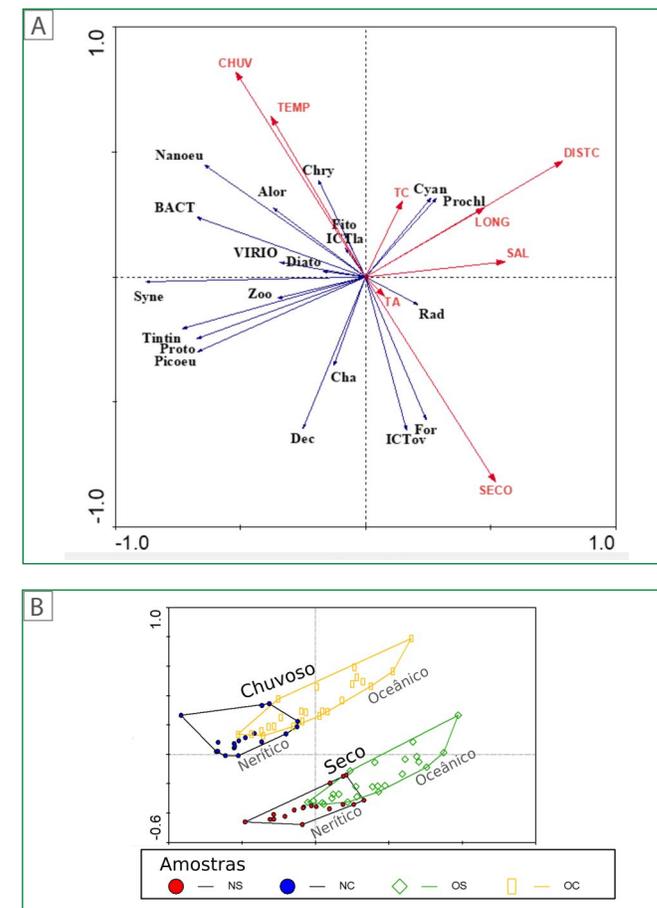


Figura 13.5 – A) *Triplot* de RDA usando densidades de 19 grupos planctônicos (códigos descritos na Tabela 13.1), com base nas variáveis espaçotemporais (distância da costa, chuvoso/seco, nerítico/oceânico, transectos, longitude/latitude etc.) e variáveis físico-químicas (temperatura, salinidade, etc), representadas pelas setas em vermelho. Número de amostras: 84; número de grupos: 24. Na plotagem à esquerda (A) são mostrados os fatores físico-químicos e espaçotemporais significativos e os grupos que explicaram 38 % da variância dos dados. Na plotagem à direita (B) são apresentadas as amostras categorizadas com símbolos, indicando o ambiente nerítico ou oceânico (N/O) e o período chuvoso ou seco (C/S). NS – Nerítico Seco; NC – Nerítico Chuvoso; OS – Oceânico Seco; OC – Oceânico Chuvoso.

### 13.1 – INTRODUÇÃO

- 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
- 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
- 13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
- 13.1.4 – Relações tróficas

### 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

- 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
- 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
- 13.2.3 – Dados utilizados
- 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
- 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
- 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

- 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
- 13.3.2 – Matriz de correlações
- 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.4 – DISCUSSÃO

#### 13.5 – CONCLUSÕES

#### 13.6 – REFERÊNCIAS

### 13.4

#### DISCUSSÃO

Confirmando os resultados da RDA, a PERMANOVA mostrou comunidades com diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso e entre isóbatas. Evidenciaram-se, portanto, conjuntos de amostras das isóbatas rasas e profundas separadas, provavelmente devido aos padrões espaçotemporais de aporte de nutrientes e MPS nas duas épocas e nas duas áreas que levam a ambientes e situações com produtividades de biomassa e densidades características.

A intensidade dos ventos e a energia das ondas foi maior na estação chuvosa, gerando a turbulência que explica a ressuspensão, o transporte vertical de nutrientes, o início dos picos de *clorofila\_a* e o aumento da produtividade pelágica (Capítulo 6 deste livro). O crescimento inicial da floração ou *bloom* fitoplanctônico anual tem sido associado a variações na mistura pelo vento por vários estudos e em inúmeras regiões geográficas (Henson et al., 2006; Henson et al., 2009).

Alguns fatores podem explicar o incremento da atividade fitoplanctônica no período chuvoso, os quais estruturam toda a comunidade planctônica da Bacia de Sergipe-Alagoas, como o incremento dos nutrientes provenientes do maior aporte fluvial na área mais costeira da plataforma continental no inverno chuvoso (Souza et al., 2003; Souza e Knoppers, 2003; Medeiros et al., 2011). Outro fator de enriquecimento da coluna de água em nutrientes e matéria orgânica é o processo de ressuspensão dos sedimentos de fundo (Knoppers,

et al., 2018; Capítulo 6 – Caracterização sazonal de campos superficiais estimados por sensoriamento remoto na bacia sedimentar de Sergipe-Alagoas), possivelmente regulado pela energia das ondas, que é maior no período chuvoso (PETROBRAS/UFRJ/USP, 2015).

Destaca-se o grande número de correlações positivas entre o bacterio-, pico-, nano- e protozooplâncton (protozooplâncton total, Tintinnina e ciliados aloricados, copépodes e quetognatos) e a ausência de correlações dos demais grupos com os grupos do microfitoplâncton (fitoplâncton total, diatomáceas, dinoflagelados etc.). Os grupos do bacterio-, pico-, nano- e protozooplâncton (protozooplâncton total, tintinnina e ciliados aloricados) e copépodes formam o sistema trófico baseado em reciclagem de carbono por bactérias, chamado de “alça microbiana” (Azam et al., 1983), sendo tipicamente observado em ambientes oligotróficos. Já o microfitoplâncton, especialmente as diatomáceas (Ochrophyta), faz parte da cadeia trófica de pastagem linear, típica de ambientes de alta produtividade, como aqueles encontrados em áreas de ressurgência enriquecidas em nutrientes. A predominância de correlações positivas com os grupos da “alça microbiana” e a ausência de correlações com o microfitoplâncton indicam um predomínio de cadeias tróficas microbianas, como esperado para um ambiente extremamente oligotrófico.

As correlações entre os Tintinnina e o nanoplâncton e picoeucariotos foram significativas, mesmo eliminando-se os efeitos dos gradientes espaçotemporais. Portanto, as correlações entre os Tintinnina e nano- e picoeucariotos podem ser atribuídas às correlações em microescala, como, por exemplo, as agregações em manchas, o que pode ser devido a inter-relações tróficas. O tamanho preferido de presas para a maior parte das espécies de tintinídeos está dentro da fração de tamanho do nanoplâncton (Dolan, 2010). Vários estudos têm demonstrado que os Tintinnina alimentam-se de nano- e picoeucariotos sem extingui-los localmente; eles apresentam maiores densidades em manchas onde há maior concentração de alimento, o que explicaria a correlação positiva encontrada (Dolan, 2000; Cavalcante Júnior, 2015; Grinienê et al., 2016).

Observaram-se correlações parciais negativas dos tintinídeos (ciliados com lórica) e dos ciliados aloricados (ciliados sem lórica) com o grupo de cianobactérias, que podem indicar efeitos negativos das cianofíceas sobre os Tintinnina ou a depleção total *top-down*, isso é, depleção das cianofíceas nos locais com fortes abundâncias de Tintinnina. Tais resultados dão novos impulsos para futuras pesquisas. Taxonss de mortalidade de 100 % já foram registradas para tintinídeos alimentados exclusivamente com cianofíceas (Verity e Villareal, 1986), o que reforça a ideia de um efeito

negativo *bottom-up*. No entanto, a relação pode ser específica para cada espécie, já que Bernard e Rassoulzadegan (1993) verificaram uma dieta estritamente associada com o consumo de cianofíceas do gênero *Synechococcus* em duas espécies de tintinídeos. Vários estudos (DeMott et al., 1991; Schwamborn et al., 2004) indicam efeitos negativos das cianofíceas sobre diversos grupos do zooplâncton, dando suporte à ideia de um efeito negativo *bottom-up*, como, por exemplo, a toxicidade e o subsequente efeito negativo das cianofíceas. Um aumento de densidade de cianofíceas em direção ao oceano é corroborado pelos resultados das análises de contagens (Capítulo 8 deste livro, pelos estudos com citometria de fluxo (Capítulo 5 deste livro) e pelos dados de isótopos estáveis de nitrogênio (Capítulo 12 deste livro).

A diversidade de Copepoda foi maior no período chuvoso (maio e junho de 2014) do que no período seco (dezembro 2014 e janeiro de 2015). Os dados de temperatura obtidos no início do inverno chuvoso foram um pouco mais elevados em toda a área de estudo se comparados aos do início do período seco, devido ao calor acumulado durante os meses de verão e outono (dezembro a abril), com pico de temperatura ocorrendo no mês de abril (Capítulo 6 deste livro). Isso está associado à “inércia térmica”, com um pico de temperatura da água no fim do verão e início do inverno. Temperaturas mais elevadas são geralmente associadas às

diversidades mais elevadas, o que poderia explicar em parte essa maior diversidade observada no período chuvoso. A diversidade de Copepoda foi menor nas estações neríticas, porém com as maiores concentrações de nutrientes e material particulado em suspensão, conforme geralmente associado a ambientes mais oligotróficos, ou seja, menos produtivos.

Apesar de as análises multivariadas fornecerem resultados claros e significativos para a interpretação do padrão de distribuição das comunidades planctônicas da bacia de Sergipe e sul de Alagoas, a maior parte da variabilidade das matrizes biológicas (aproximadamente 70 a 80 %) não pôde ser explicada pelas variáveis físico-químicas e espaciais (capítulos específicos nesta publicação). A reduzida explicação das comunidades planctônicas através dos modelos RDA e PERMANOVA ocorre em função da alta variabilidade em pequena escala, ou seja, *patchiness* (distribuição em manchas). Também pode estar relacionada às relações não lineares e a outros fatores não associados aos macrogradientes, como interações tróficas, agregação em frentes e zonas de convergência, picos de densidade próximos das plumas de alguns rios, picos de densidade próximos de alguns cânions, além da variabilidade estocástica (randômica), típica da elevada variabilidade do ecossistema pelágico.

## 13.1 – INTRODUÇÃO

- 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
- 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
- 13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
- 13.1.4 – Relações tróficas

## 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

- 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
- 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
- 13.2.3 – Dados utilizados
- 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
- 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
- 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

## 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

- 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
- 13.3.2 – Matriz de correlações
- 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

## 13.4 – DISCUSSÃO

## 13.5 – CONCLUSÕES

## 13.6 – REFERÊNCIAS

## 13.5

### CONCLUSÕES

Embora a Bacia de Sergipe-Alagoas possa ser considerada extremamente oligotrófica, os resultados da integração dos dados biológicos e abióticos na coluna de água mostraram grande diversidade de processos que influenciam na produtividade pelágica, como o aporte vertical de nutrientes, a fixação de nitrogênio por cianofíceas, a ressuspensão sazonal de sedimentos de fundo com a energia dos ventos e ondas e o fluxo estuarino-costeiro. Esses últimos dois processos influenciaram sobretudo as comunidades do fitoplâncton e do proto- e mesozooplâncton próximo à costa.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à tripulação do N/Oc Seward Johnson e à equipe da empresa CP+ pela execução das campanhas e à Petrobras pela concepção, coordenação e apoio ao projeto, possibilitando a coleta e análise do material biológico, assim como a obtenção de dados abióticos. Agradecemos às equipes que embarcaram e aos pesquisadores que trabalharam nas análises das amostras e dados apresentados neste trabalho.

### 13.1 – INTRODUÇÃO

- 13.1.1 – Dados pretéridos da Bacia Sergipe-Alagoas
- 13.1.2 – Dados abióticos do Projeto Marseal
- 13.1.3 – Variações espaçotemporais do ecossistema pelágico
- 13.1.4 – Relações tróficas

### 13.2 – MÉTODOS EMPREGADOS PARA ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

- 13.2.1 – Estratégia amostral e hipóteses
- 13.2.2 – Comparações entre amostras (ANOVA Kruskal-Wallis, teste Mann-Whitney e teste Nemenyi)
- 13.2.3 – Dados utilizados
- 13.2.4 – Análise Multivariada de Permutação – PERMANOVA
- 13.2.5 – Matriz de correlação não paramétrica de Spearman
- 13.2.6 – Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.3 – PADRÕES ESPAÇOTEMPORAIS DAS COMUNIDADES PLANCTÔNICAS

- 13.3.1 – Análise Multivariada de Permutação (PERMANOVA)
- 13.3.2 – Matriz de correlações
- 13.3.3 – Análise Canônica de Redundâncias (RDA)

### 13.4 – DISCUSSÃO

### 13.5 – CONCLUSÕES

### 13.6 – REFERÊNCIAS

### 13.6

#### REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, Carlton, v. 26, p. 32-46, 2001.

AZAM, F. et al. The ecological role of water-column microbes in the sea. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 10, n. 3, p. 257-263, 1983.

BEISNER, B. E. et al. The role of environmental and spatial processes in structuring lake communities from bacteria to fish. **Ecology**, Brooklyn, v. 87, n. 12, p. 2985-2991, 2006.

BERNARD, C.; RASSOULZADEGAN, F. The role of picoplankton (cyanobacteria and plastidic picoflagellates) in the diet of tintinnids. **Journal of Plankton Research**, London, v. 15, n. 4, p. 361-373, 1993.

CAMPBELL, L. et al. Annual variability of phytoplankton and bacteria in the subtropical north pacific ocean at Station ALOHA during the 1991-1994 ENSO event. **Deep Sea Research Part I: oceanographic research papers**, Oxford, v. 44, p. 167-192, 1997.

CAVALCANTE JUNIOR, A. C. Atividade trófica de tintinnida (protista;ciliophora) na Baía de Guanabara, RJ. **Revista BioUSU**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, 2015.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. 2. ed. Plymouth: PRIMER-E, 2001. 172 p.

CONOVER, W. J.; IMAN, R. L. **On multiple-comparisons procedures**. New Mexico: Los Alamos Scientific Laboratory, 1979. LA-7677 MS Informal Report.

DEMOTT, W. R.; ZHANG, Q. X.; CARMICHAEL, W. W. Effects of toxic cyanobacteria and purified toxins on the survival and feeding of a copepod and three species of Daphnia. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 36, n. 7, p. 1346-1357, 1991.

DOLAN, J. R. Morphology and ecology in tintinnid ciliates of the marine plankton: correlates of lorica dimensions. **Acta Protozoologica**, Warszawa, v. 49, p. 235-244, 2010.

DOLAN, J. R. Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. **Aquatic Microbial Ecology**, Amelinghausen, v. 22, n. 1, p. 69-78, 2000.

DURAND, M. D.; OLSON, R. J.; CHISHOLM, S. W. Phytoplankton population dynamics at the Bermuda Atlantic Time-series station in the Sargasso Sea. **Deep-Sea Research Part II: topical studies in oceanography**, Oxford, v. 48, n. 8-9, p. 1983-2003, 2001.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the north-east and east Brazilian shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 5-24, 1999.

- GRINIENĚ, E.; ŠULČIUS, S.; KUOSA, H. Size-selective microzooplankton grazing on the phytoplankton in the Curonian Lagoon (SE Baltic Sea). **Oceanologia**, Sopot, v. 58, p. 292-301, 2016.
- HENSON, S. A.; DUNNE, J. P.; SARMIENTO, J. L. Decadal variability in north Atlantic phytoplankton blooms. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 114, p. 1-11, 2009.
- HENSON, S. A., ROBINSON, I. S.; ALLEN, J. T.; WANIEK, J. J. Effect of meteorological conditions on interannual variability in timing and magnitude of the spring bloom in the Irminger Basin, north Atlantic. **Deep Sea Research Part I: oceanographic research papers**, Oxford, v. 53, n. 10, p. 1601-1615, 2006.
- JENNERJAHN, T. C. et al. Factors controlling the production and accumulation of organic matter along the Brazilian continental margin between the equator and 22°S. In: LIU, K. K. et al. (Ed.). **Carbon and nutrient fluxes in continental margins**: a global synthesis. Berlin: Springer Verlag, 2010. p. 427-442. (IGBP series).
- KNOPPERS, B. et al. The São Francisco estuary, Brazil. In: WANGERSKY, P. J. (Ed.). **Estuaries**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. p. 51-70. (The Handbook of Environmental Chemistry, 5, H).
- KNOPPERS, B. A. et al. Plataforma continental de Sergipe-Alagoas. In: ARGUELHO, L. P. M.; CARNEIRO, M. E. R. (Org.). **Plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas**: geoquímica e comunidade bêntica. São Cristóvão: Ufs, 2018. cap. 1. (Coleção Projeto Marseal, 2).
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**, 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 1998. 853 p.
- LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, Berlin, v. 129, n. 2, p. 271-280, 2001.
- MEDEIROS, C. et al. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of north-east Brazilian waters. **Archieve of Fishery Marine Research**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 133-151, 1999.
- MEDEIROS, P. R. P. et al. Aporte de material em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 15, n. 1, p. 42-53, 2011.
- MITBAVKAR, S.; ANIL, A. C. Tiniest primary producers in the marine environment: an appraisal from the context of waters around India. **Current Science**, Bangalore, v. 100, n. 7, p. 986-988, 2011.
- NEUMANN-LEITÃO, S. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters off North-Eastern Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, [S.l.], v. 47, p. 153-165, 1999.
- NEUMANN-LEITÃO, S.; GUSMÃO, L. O. **Relatório de monitoramento ambiental da Bacia do Ceará**. Recife: UFPE, 2004. 46 p. Texto Técnico/Petrobrás.
- PAES, E. T. **Análises quantitativas de dados ecológicos do projeto caracterização ambiental integrada da plataforma continental do estado de Sergipe e Alagoas. Curso de treinamento em análise de dados ecológicos: MATERIAL DE APOIO. Tutorial para Partição de Variâncias Multivariadas utilizando a Análise Canônica de Redundâncias com o programa CANOCO**. Petrobras, Aracaju, 2012, 67 p.
- PARTENSKY, F.; BLANCHOT, J.; VAULOT, D. Differential distribution and ecology of Prochlorococcus and Synechococcus in oceanic waters: a review. **Bulletin de l'Institut Océanographique**, Monaco, n. 19, p. 457-475, 1999. Special Issue.
- PERES-NETO, P. R. et al. Variation partitioning of species data matrices: estimation and comparison of fractions. **Ecology**, Brooklyn, v. 87, n. 10, p. 2614-2625, 2006.
- PETROBRAS. **2 Relatório ambiental integrado do programa de monitoramento da Bacia Potiguar**: campanha oceanográfica BPOT03 / 2003 – PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2004. Programa de Cooperação CENPES / UFRN / UFC / UFPE / UERJ / PUC / UFF.
- PETROBRAS. **Relatório integrador do programa de monitoramento ambiental da Bacia Potiguar**. Rio de Janeiro: CENPES/PDEDS/AMA, 2006.
- PETROBRAS. **Relatório de consolidação dos dados de caracterização ambiental do bloco BM-SEAL -100, Bacia de Sergipe e Alagoas**. Rio de Janeiro, 2009. 426 p.
- PETROBRAS. **Projeto de caracterização ambiental da área de influência das atividades de Exploração e Produção de óleo e gás natural da Petrobras na Bacia do Ceará**. Rio de Janeiro, 2007. RT AMA 012/2007.
- POHLERT, T. **The pairwise multiple comparison of mean ranks package (PMCMR)**. 2016. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>>. Acesso em agosto 2017.
- RCORE. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em agosto 2017.

REDFIELD, A. C.; KETCHUM, B. H.; RICHARDS, F. A. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: HILL, M. N. (Ed.). **The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas**. Cambridge: Harvard University Press, 1963. v. 2, p. 26-77.

R STUDIO. **R Studio: Integrated Development for R Studio**. Boston, 2015. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>. Acesso em agosto 2017.

SCHWAMBORN, R. et al. Copepod grazing and food selection under conditions of extreme eutrophication in Guanabara Bay, Brazil. **Journal of Plankton Research**, London, v. 26, p. 983-992, 2004.

SCHWAMBORN, R., NEUMANN-LEITÃO, S., SCHWAMBORN S.H.L. (2002a) – Avaliação do Zooplâncton, Zoonêuston e Ictionêuston. In: PETROBRAS (2002) Caracterização Ambiental do Oceano Profundo na Área de Exploração e Produção do Campo onde se encontram os poços SES142 e SES143, Campanha NE2002-C1– PETROBRAS- Relatório Final – Cooperação CENPES / UFPE. 56 p. (Texto Técnico/ PETROBRAS).

SCHWAMBORN, R.; VOSS, M.; EKAU, W.; SAINT-PAUL, U. How important are mangroves as a carbon source for decapod crustacean larvae in a tropical estuary? **Marine Ecology Progress Series**, v. 229, p. 195-205, 2002b.

SCHWAMBORN, R. et al. The contribution of estuarine decapod larvae to marine zooplankton communities in North-East Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 167-182, 1999a.

SCHWAMBORN, R. et al. Stable isotope composition of particulate organic matter and zooplankton in northeast Brazilian shelf waters. **Archive of Fishery and Marine Research**, [S.l.], v. 47, n. 2-3, p. 95-104, 1999b.

SOUZA, W. F. L. et al. Geoquímica e fluxos de nutrientes, ferro e manganês para a costa leste do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 130-144, 2003.

SOUZA, W. F. L.; KNOPPERS, B. Fluxos de água e sedimentos à costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e pressões antrópicas. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 57-74, 2003.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)**. Ithaca: Canoco, 2002. Scientific report.

UFS/PETROBRAS. Ambiente Pelágico: Zooplâncton. **Monitoramento da plataforma continental dos Estados de Sergipe e Alagoas sob influência de atividades petrolíferas**. São Cristovão, 2004. v. I-II, parte III. Relatório técnico final.

VÁZQUEZ-DOMÍNGUEZ, E. et al. Microbial plankton abundance and heterotrophic activity across the Central Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, Oxford, v. 79, n. 1, p. 83-94, 2008.

VERITY, P. G.; VILLAREAL, T. A. The relative food value of diatoms, dinoflagellates, flagellates, and cyanobacteria for tintinnid ciliates. **Archiv für Protistenkunde**, [S.l.], v. 131, n. 1-2, p. 71-84, 1986.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 718 p.

### **COORDENAÇÃO GERAL UFPE**

Ralf Schwamborn

### **COORDENAÇÃO GERAL PETROBRAS**

Maria Eulália Rocha Carneiro

Daniel Leite Moreira

### **EQUIPE PETROBRAS**

Anna Maria Scofano

Ana Paula da Costa Falcão

Cristiano Leite Parente

Eduardo Hilzendegeer Marcon

Fernando Augusto Cabral dos Santos

Graziella Feitosa Conceição

Guarani de Hollanda Cavalcanti

Guilherme Benevides Magioli

Henrique Alexandre Cadete Fernandes

Ivanil Ribeiro Cruz

Leandro Rodrigues de Freitas

Luciana Miranda Cavalcante

Marcio Brandão Martinez

Marcus Antônio Gonçalves Araújo Júnior

Maria de Fatima Guadalupe Meniconi

Marina Yuriko Saiki

Renato Parkinson Martins

Ruy Oliveira Meireles Junior

Ricardo da Silva Varotto

Simone Schreiner

Saulo Meirelles Nunes da Rocha

Taciana Robalinho Cavalcanti

### **EQUIPE EXTERNA**

Andrea Gallo Xavier

Adriana Luiza Pimenta Santi' lago de Carvalho | SONDOTÉCNICA

Alexandre Tadeu Politano | PUC-RIO

Camila Lobo Teixeira | SONDOTÉCNICA

Elianne Pessoa Omena | FAPese

Estéfane Cardinot dos Reis | PUC-RIO

Fagner Magalhães | SONDOTÉCNICA

Gilson Cruz da Silva | PUC-RIO

Lazaro Avelino Gonzalves | SONDOTÉCNICA

Luana Carvalho da Fonseca | SONDOTÉCNICA

Lucas Brito Miranda

Maria Patricia Curbelo Fernandez | PUC-RIO

Monica A. Ferreira de S. Júnior | PUC-RIO

Nathaly Cardoso Santos | FAPese

Patrícia Oliveira Silva | FAPese

Paulo Cristiano Lopes | GISPLAN

Rafael André Lourenço | PUC/RIO

Rodrigo Câmara Sales

Sandro Bezerra Martins

Syomara Barreto Santiago

Venina Pires Ribeiro Ferreira | PUC-RIO

### **UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE |**

#### **Departamento de Oceanografia**

HIDROQUÍMICA | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Manuel de Jesus Flores Montes

Maria de Lara Palmeira de Macedo Arguelho | UFS

Equipe:

Felipe Lima Gaspar

Crislaine Melo Cardoso | UFS

Carlos Alexandre Borges Garcia | UFS

Colaboradores:

Keyla Travassos

Josiane Gomes Paulo

Talita Pereira

Thayse N. Batista

Brenno J. da Silva

Eduardo Tavares Paes | UFRA

BIOMASSA E PRODUTIVIDADE FITOPLANCTÔNICA | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Fernando Antônio do Nascimento Feitosa

Equipe:

Amanda Yumi Ostuka

Marina Cavalcanti Jales

Laisa Madureira da Silva

Christiana Kelly da Silva Grego

Isis Amália Cordeiro

Marcella Guennes Tavares de Oliveira

Colaboradores:

Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa | USP

Eduardo Tavares Paes | UFRA

FITOPLANCTON | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Maria da Glória G. da Silva-Cunha

Equipe:

Enide Eskinazi Leça

Gislayne Cristina Palmeira Borges

Marcos Honorato da Silva

Eveline Pinheiro de Aquino

Felipe Amâncio

Marilene Felipe Santiago

Leandro Cabanez Ferreira

Sirleis Rodrigues Lacerda

Christiana Kelly Da Silva Grego

Priscilla Ferreira da Luz

Bianca Evans de Melo Lourenço

Lais Dantas Lima

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

PROTOZOOPLÂNCTON | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Alejandro Esteweson Santos Faustino da Costa

Equipe:

Sigrid Neumann-Leitão

Jana Ribeiro de Santana

Antônio Carlos Cavalcante Júnior | USU

Inácio Domingos da Silva Neto | UFRJ

Patrícia da Silva Cotta | CSA-CIÊNCIAS OCEÂNICAS LTDA

Pedro Henrique Campello Nunes | UFRJ

Thiago da Silva Paiva | UFRJ

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

ZOOPLÂNCTON | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Ralf Schwamborn

Equipe:

Sigrid Neumann Leitão

Andréa Pinto Silva

Alejandro Esteweson Santos Faustino da Costa

Alexandre Aschenbrenner

Cynthia Dayanne Mello de Lima

Denise Fabiana de Moraes Costa

Dilma Aguiar do Nascimento

Érika Pinho Correia

Fernanda Siviero

Gleice de Souza Santos

Glenda Mugarbe de Oliveira

Igor De Avila Teixeira

Lucas Guedes Pereira Figueiredo

Pedro Augusto C. Melo

Renata Polyana de Santana Campelo

Simone Maria de Albuquerque Lira

Xiomara Franchesca García Díaz

Zinaldo Ferreira dos Santos

Lohengrin Dias de Almeida Fernandes | IEAPM

Tâmara de Almeida e Silva | UNEB

Colaboradores:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

Mauro Melo Junior

ICTIOPLÂNCTON | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Silvia Helena Lima Schwamborn

Equipe:

Cylfarney Martins De Andrade

Elisabeth Cabral Silva Falcão

Jana Ribeiro de Santana

Isabelly Fernanda Santos Barbosa

Talita Roberta Barbosa Florêncio | ESTAGIÁRIO

Marcia Janete Coelho Botelho | SCITECH

Frederico Werneck Kurtz | SCITECH

Alexandre de Jesus Sales | SCITECH

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

ISÓTOPOS ESTÁVEIS | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Gilvan T. Yogui

Equipe:

Pedro Noto Campos Paulino

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS | Instituto de Química – Departamento de Química**

HIDROCARBONETOS | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Flaviana Cardoso Damasceno

Marcelo da Rosa Alexandre

Equipe:

Gracielle Silva Santana

Mércia Vieira da Silva Sant'Anna

Michel Rubens dos Reis Souza

Thigna de Carvalho Batista

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ | Instituto de Biologia – Departamento de Biologia Marinha**

VÍRUS E PICOPLÂNCTON | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Anderson S. Cabral

Marianne Pataro

Rodolfo Paranhos

Equipe:

Luciana Andrade

Carolina Lima Alves Belo

Fernando Neves Pinto

Anderson Aquino dos Santos Júnior

Carolina Silva Oliva Mena

Colaborador:

Eduardo Tavares Paes | UFRA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE | Divisão de Sensoriamento Remoto**

SENSORIAMENTO REMOTO | PESQUISADORES RESPONSÁVEIS:

Milton Kampel

Equipe:

Natalia Rudorff Oliveira

Fabio Dall Cortivo

João Felipe C. dos Santos

Lucas B. de Freitas

Gabriel M. Cesar

Aline M. Valerio

Colaboradores

Crystal Thomas | NASA

**AGRADECIMENTOS**

Daniela Batista | FIRJAN

Eduardo Negri de Oliveira | UERJ

Enner Herenio de Alcântara | UNESP

Biblioteca da Petrobras pela normalização das Referências |

PETROBRAS

