

SUMÁRIO

503	RESUMO
503	ABSTRACT
504	12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA
505	12.2 – METODOLOGIA APLICADA
509	12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON
511	12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL
511	12.4.1 – Variação temporal
512	12.4.2 – Variação nerítico-oceânico
514	12.4.3 – Variação latitudinal
515	12.4.4 – Influência dos cânions
516	12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS
523	12.6 – CONCLUSÕES
525	12.7 – REFERÊNCIAS
529	12.8 – APÊNDICE

12



COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON NA BACIA DE SERGIPE E SUL DE ALAGOAS

Gilvan T. Yogui | UFPE

Ralf Schwamborn | UFPE

Autor de contato: gilvan.yogui@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

Isótopos estáveis são uma poderosa ferramenta analítica para estudos trofodinâmicos. Este estudo investigou fontes de matéria orgânica e a dinâmica da teia trófica planctônica em águas da Bacia de Sergipe-Alagoas. Dois cruzeiros científicos foram realizados na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas nos períodos chuvoso (maio/junho) e seco (novembro/dezembro) de 2014. Amostras de água superficial foram coletadas em quatro transectos perpendiculares à costa entre as isóbatas de 10 e 3.000 m. Os resultados revelaram que as fontes de carbono são tipicamente marinhas. O material orgânico particulado foi dominado pelo fitoplâncton, sendo registrada uma fraca influência continental na costa de Sergipe. O sinal terrígeno aportado pelo Rio São Francisco foi identificado somente até 5 km de distância de sua foz no período chuvoso. A dinâmica trófica do zooplâncton não foi influenciada por fatores como regime pluviométrico, gradiente espacial norte-sul e presença de cânion submarino. Entretanto, o gradiente espacial nerítico-oceânico influenciou as fontes de nitrogênio e a estrutura trófica da assembleia zooplanctônica. O picoplâncton autotrófico e nanoeucariotos heterotróficos têm um papel fundamental na transferência de matéria e energia para o mesozooplâncton. Atividades de onivoria e o elevado grau de heterotrofia no ecossistema planctônico dificultaram a identificação de relações tróficas diretas entre os principais grupos do mesozooplâncton. A ligação trófica entre as teias microbiana e zooplanctônica caracteriza a Bacia de Sergipe-Alagoas como um ambiente oligotrófico.

Palavras-chave: trofodinâmica, isótopo estável, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, Bacia de Sergipe-Alagoas.

ABSTRACT

Stable isotopes are a powerful tool for investigating trophodynamics. This study investigated sources of organic matter and the planktonic food web of the Sergipe-Alagoas Basin, northeastern Brazil. Two scientific cruises were carried out in the study area during May-June, 2014 and November-December, 2014 – wet and dry seasons, respectively. Surface waters were collected across four transects perpendicular to the coastline from 10 to 3.000 m isobaths. Results showed that carbon sources are typically marine-derived. Particulate organic matter was dominated by phytoplankton. A weak terrigenous influence was observed off Sergipe. Despite being one of the largest South American watersheds, the São Francisco River terrigenous signal was limited to 5-km from its mouth in the wet season. This is a consequence of the construction of several dams along the river main stem. Zooplankton trophodynamics was not influenced by environmental factors such as rainfall, north-south coastal gradient, and submarine canyons across the continental margin. However, the neritic-oceanic gradient influenced nitrogen sources and the zooplankton food web. Autotrophic picoplankton and heterotrophic nanoeukaryotes play a major role in the transfer of energy and matter to mesozooplankton. Omnivory and intense heterotrophy at the base of the food web masked trophic links between major mesozooplanktonic groups. Trophic relationships between mesozooplankton and the microbial food web distinguish the Sergipe-Alagoas Basin as a typical oligotrophic environment.

Keywords: trophodynamics, stable isotope, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, Sergipe-Alagoas Basin.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.1

ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

Análises de composição elementar e isotópica têm aplicação em diversas áreas do conhecimento, incluindo a oceanografia. Nas ciências do mar, tais ferramentas analíticas podem ser aplicadas em estudos de ecologia trófica, ciclagem de nutrientes, poluição, geoquímica sedimentar, paleoceanografia, entre outros (ex.: Pantoja et al., 2002; Garcia et al., 2007; Guimarães et al., 2012; Colabuono et al., 2014; Carreira et al., 2015). Apesar do enorme potencial, historicamente não há um grande número de estudos que utilizam isótopos estáveis na costa brasileira. Além disso, a maior parte dos trabalhos foi publicada nos últimos cinco anos (Clarivate-Analytics, 2018).

Mais escassos ainda são os estudos que investigaram a composição isotópica do material orgânico particulado (MOP) em suspensão e/ou organismos zooplanctônicos em ambientes aquáticos costeiros. Rezende et al. (1990) publicaram o primeiro trabalho nessas linhas de pesquisa na costa brasileira. Os autores investigaram a exportação de matéria orgânica em um canal de maré localizado na Baía de Sepetiba, RJ. Para isso fizeram análises da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em amostras de MOP. De maneira geral, a maior parte dos trabalhos sobre biogeoquímica focou na mesma temática de exportação de matéria orgânica através da interface continente-oceano (Dittmar e Lara, 2001; Rezende et al., 2010; Seidel et al., 2015).

Na linha de ecologia trófica, o trabalho pioneiro na costa brasileira foi publicado por Schwamborn et al. (1999). Esses autores investigaram a composição isotópica do MOP e do zooplâncton ao longo de transectos nas plataformas continentais do Ceará e Pernambuco. Desde então, raros foram os trabalhos publicados com foco na ecologia trófica do plâncton em ecossistemas da costa brasileira (Schwamborn et al., 2002). A grande maioria dos trabalhos que apresentam dados isotópicos do plâncton focou em níveis superiores de teias tróficas pelágicas e/ou bentônicas (ex.: Giarrizzo, Schwamborn, Saint-Paul, 2011; Corbisier et al., 2014; Soares et al., 2014).

Há inúmeros trabalhos publicados pela comunidade científica internacional que utilizam isótopos estáveis para investigar a ecologia trófica de comunidades planctônicas marinhas (Bode; Carrera; Lens, 2003; Hannides et al., 2009; Forest et al., 2011). Em contraste, não há nenhum estudo dessa natureza realizado em águas neríticas e oceânicas da costa brasileira. Assim, o presente trabalho vem cobrir uma importante lacuna no conhecimento oceanográfico do país, através do estudo da matéria orgânica e trofodinâmica do plâncton na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas, região Nordeste. Nessa área está localizada a desembocadura do Rio São Francisco – uma das maiores bacias hidrográficas da América do Sul. Também há atividades de exploração de petróleo na plataforma continental da Bacia de Sergipe.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.2

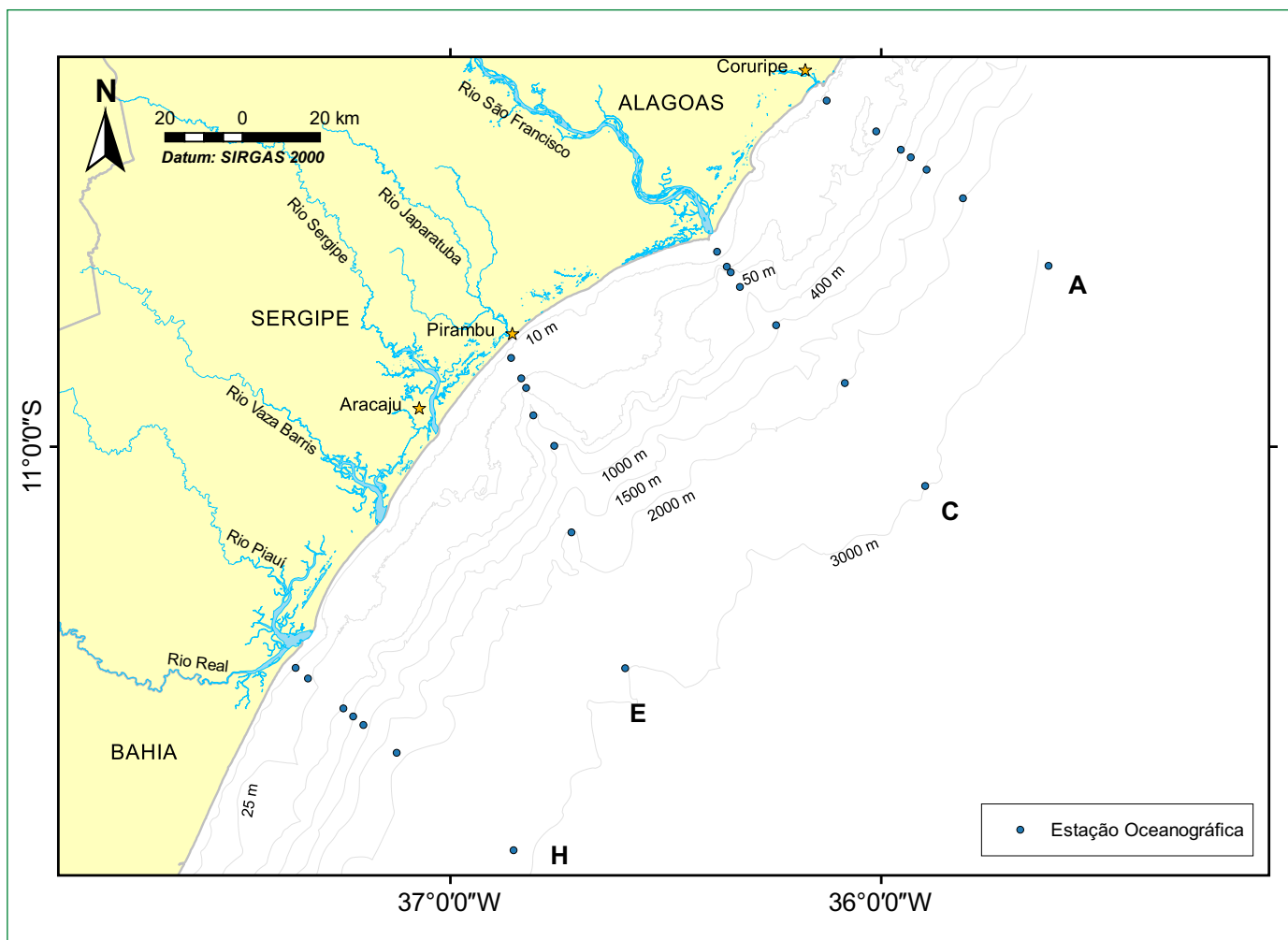
METODOLOGIA APLICADA

O delineamento amostral do Projeto Marseal – Ambiente Pelágico está detalhadamente descrito no Capítulo 2 (Desenho amostral, métodos de campo e organização dos dados).

A descrição da área de estudo e as condições meteo-oceanográficas da Bacia de Sergipe-Alagoas podem ser consultadas no Capítulo 1 (Área de estudo: Bacia de Sergipe-Alagoas). As amostras de água para os estudos isotópicos foram obtidas com garrafas de Niskin. Cerca de 10 L de água superficial foram coletados a 1 m de profundidade em todas as estações dos transectos A, C, E e H (Figura 12.1). As amostras de água foram armazenadas em galões de plástico (previamente lavados com água deionizada) e mantidas em temperatura ambiente ao abrigo da luz até o momento da filtração a bordo do navio oceanográfico *Seward Johnson*. Nas mesmas estações foram realizados arrastos horizontais (três minutos de duração) na superfície da coluna de água

para a coleta de zooplâncton. Esses arrastos foram feitos no período noturno com o auxílio de uma rede Mocness com malha de 300 μm .

No laboratório da embarcação, as amostras de água foram filtradas em membrana de microfibras de vidro com retenção nominal de 0,7 μm (Whatman, modelo GF/F). As membranas foram previamente mufladas (450 °C por 4 h) para eliminar possíveis resíduos de carbono orgânico. A pressão do sistema de microfiltração a vácuo foi controlada (~27 kPa) a fim de evitar o rompimento de células biológicas. A secagem das membranas foi realizada em estufa a 60 °C durante 24 h. A remoção do carbono inorgânico particulado foi feita a partir da exposição da membrana a vapores de ácido clorídrico concentrado (12 M) durante 4 h (Lorrain et al., 2003). Aproximadamente 1/8 da membrana foi embrulhado em disco de estanho para determinação elementar e isotópica no MOP.



Hidromedusa (n = 1), Ictioplâncton (n = 4), Radiolaria (n = 1) e Siphonophorae (n = 5). Além desses grupos, a abundância de alguns organismos permitiu a separação de espécies em algumas amostras: *Creseis* sp. (n = 1, Gastropoda), *Lucifer faxoni* (n = 2, Decapoda) e *Lucifer* spp. (n = 1, Decapoda). Entre 20 e 300 indivíduos de cada grupo foram separados, dependendo do tamanho dos organismos presentes. Três subamostras do zooplâncton total coletado em cada estação também foram separadas para determinação elementar e isotópica. Todas as amostras foram armazenadas em freezer (-20 °C) após a triagem a bordo. Em laboratório, elas foram secas em estufa a 60 °C durante 24 h. O material seco foi pulverizado e homogeneizado com o auxílio de almofariz e pistilo. Cerca de $0,7 \pm 0,1$ mg (média \pm desvio padrão) de amostra foi pesada em cápsula de prata. A remoção do carbono inorgânico foi feita através do gotejamento de ácido clorídrico diluído (1 M) dentro da cápsula. Após a descarbonatação, a solução ácida foi evaporada em estufa e a cápsula contendo a amostra de zooplâncton foi lacrada.

A composição elementar e isotópica das amostras foi determinada em um sistema de análise elementar (EuroVector, modelo EA3000 Single) acoplado à espectrometria de massas de razão isotópica (Thermo Scientific, modelo Delta V Advantage). O reator do analisador elementar (EA) tem 18 mm de diâmetro interno e foi empacotado com os seguintes reagentes (da base para o topo): óxido de cobalto envolado com prata (20 mm de altura), cobre reduzido (70 mm de altura) e óxido de cromo (55 mm de altura). A temperatura na fornalha do EA foi mantida em 980 °C. O gás de arraste foi hélio (pureza: 99,999 %), e seu fluxo no EA foi programado para $93 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. Um pulso de 15 mL de oxigênio (pureza: 99,9999 %) foi introduzido no reator para facilitar a combustão da amostra. Os gases gerados no reator foram separados

Figura 12.1 – Transectos (A, C, E e H) e localização das estações de coleta de água superficial na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas.

A triagem do zooplâncton foi realizada imediatamente após os arrastos com a rede Mocness. O zooplâncton foi triado sob microscópio estereoscópico para separação de indivíduos representativos dos três principais grupos presentes em cada amostra. Os grupos foram divididos em: Amphipoda (n = 11), Chaetognatha (n = 44), Copepoda (n = 54), Decapoda (n = 18), Euphausiacea (n = 20), Gastropoda (n = 2), Gelatinoso (n = 1),

em uma coluna cromatográfica mantida em forno isotérmico (70 °C), sendo transferidos em seguida para o espectrômetro de massas de razão isotópica (IRMS). O tempo de análise de uma amostra totalizou quatro minutos. O IRMS foi rotineiramente calibrado com gases de referência (CO₂ e N₂) rastreáveis aos padrões isotópicos internacionais.

O controle de qualidade foi feito dentro de cada lote analítico através da análise de branco e material de referência certificado (IVA Analysentechnik, Alemanha). Não foram observados picos nos brancos das análises de zooplâncton. Entretanto, pequenos picos de CO₂ foram detectados nos brancos dos lotes de MOP. Por isso, as amostras desses lotes foram corrigidas em relação aos seus respectivos brancos. A análise elementar e isotópica dos materiais de referência resultou em valores percentuais de 101 ± 8 % (média ± desvio padrão) em torno daqueles especificados nos certificados de análise.

A razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras foi calculada conforme descrito por Hedges e Stern (1984). A equação empregada foi a seguinte:

$$C/N = (CO / NT) \times 1,167 \quad \text{Equação 1}$$

onde, CO é o percentual (em base de massa) de carbono orgânico na amostra, e NT é o percentual (em base de massa) de nitrogênio total na amostra. A constante na equação é um fator que corrige os percentuais de carbono e nitrogênio na amostra para uma base estequiométrica.

Os resultados isotópicos foram expressos conforme a notação delta (δ), que calcula a diferença de razão isotópica entre a amostra e o padrão de referência internacional (Fry, 2006). A equação é a seguinte:

$$\delta E = [(R_{amostra} / R_{padrão}) - 1] \times 1.000 \quad \text{Equação 2}$$

onde, E representa o isótopo pesado do elemento em questão (nesse caso, ¹³C ou ¹⁵N), R_{amostra} é a razão entre a quantidade do isótopo pesado em relação ao leve (¹³C/¹²C ou ¹⁵N/¹⁴N) na amostra e R_{padrão} é a razão no padrão de referência internacional. O resultado é expresso em partes por mil (‰). Os padrões de referência internacional usados para carbono e nitrogênio foram Viena Pee Dee Belemnite (VPDB) e ar atmosférico (AIR), respectivamente.

Entre os principais grupos de compostos orgânicos que compõem tecidos biológicos, o fracionamento isotópico do carbono em lipídios é significativamente maior do que em carboidratos e proteínas (DeNiro e Epstein, 1977; McConnaughey e McRoy, 1979). Por isso, a comparação dos resultados de δ¹³C entre organismos com diferentes teores lipídicos deve ser feita com base em dados normalizados que levem em consideração esse efeito. Diversos modelos matemáticos têm sido propostos para corrigir os valores de δ¹³C em estudos ecológicos (por exemplo, McConnaughey e McRoy, 1979; Schwamborn et al., 1999; Fry et al., 2003; Post et al., 2007; Pomerleau et al., 2014). Todos esses modelos assumem que a razão C/N é um bom indicador do teor de lipídios no tecido biológico. Neste estudo, a correção foi feita a partir de uma análise de regressão linear entre os valores de razão C/N e δ¹³C. Conforme proposto por Schwamborn et al. (1999), todos os dados de MOP e zooplâncton foram usados no modelo estatístico. A análise de regressão revelou uma relação linear significativa entre a razão C/N e o δ¹³C (n = 350; R² = 0,22; p < 0,001). A equação que descreve essa relação é a seguinte:

$$y = -0,822x - 15,3 \quad \text{Equação 3}$$

onde, y é o valor de δ¹³C (‰) e x é o valor da razão C/N. A análise de resíduos do modelo revelou que eles apresentam

distribuição normal e os erros são independentes, ou seja, não revelam autocorrelação (Durbin-Watson, DW = 1,79).

A posição trófica (PT) do zooplâncton foi estimada a partir do modelo descrito por Post (2002). Tal modelo é baseado na discriminação isotópica entre um consumidor e um organismo-base, conforme a equação a seguir:

$$PT = [(\delta^{15}N_c - \delta^{15}N_b) / \Delta_n] + \lambda \quad \text{Equação 4}$$

onde δ¹⁵N_c é o valor da razão isotópica no consumidor (‰), δ¹⁵N_b é o valor da razão isotópica no organismo-base (‰), Δ_n é o fator de enriquecimento do δ¹⁵N por nível trófico e λ é a posição trófica do organismo-base. De acordo com Minagawa e Wada (1984), o enriquecimento de ¹⁵N entre dois níveis tróficos consecutivos varia de 1,3 a 5,3 ‰, com média de 3,4 ‰. Em geral, teias tróficas dominadas por invertebrados amoniotéticos – como é o caso do ecossistema planctônico marinho – mostram Δ_n abaixo da média (Fry e Quiñones, 1994; McCutchan et al., 2003; Vanderklift e Ponsard, 2003). Ambientes com limitada disponibilidade de nitrogênio tendem a apresentar menor fracionamento isotópico entre presa e predador devido a estresse nutricional (Adams e Sterner, 2000). Neste estudo foi utilizado um fator de enriquecimento de 2,0 ‰, que é o valor médio calculado a partir de quatro trabalhos sobre trofodinâmica de plâncton em ambientes marinhos (Waite et al., 2007; Hannides et al., 2009; Fanelli, Cartes e Papiol, 2011; Henschke et al., 2015). O fitoplâncton foi usado como organismo-base (λ = 1). No ambiente marinho o MOP é dominado pelo fitoplâncton, sendo usado como uma boa aproximação de seu δ¹⁵N. De acordo com Dorado et al. (2012), as fontes de nitrogênio para o fitoplâncton nos ambientes nerítico e oceânico são diferentes devido ao diazotrofismo observado em águas oligotróficas oceânicas. Neste estudo, o δ¹⁵N médio do MOP (4,70 ‰) nas

amostras coletadas nas isóbatas de 10, 25 e 50 metros foi usado como referência (isto é, $\delta^{15}\text{N}_p$) para estimar a posição trófica das amostras de zooplâncton do ambiente nerítico. O volume de água coletada (10 L) nas isóbatas de 400, 1.000, 1.900 e 3.000 metros (ambiente oceânico) não foi suficiente para a retenção mínima de matéria orgânica particulada e, portanto, não foi possível determinar o $\delta^{15}\text{N}$ do MOP nessas amostras. A ordem Euphausiacea apresentou o menor $\delta^{15}\text{N}$ médio entre os grupos zooplânctônicos coletados no ambiente oceânico. Por isso, assumiu-se que os hábitos alimentares dos eupausiáceos no ambiente oceânico da área de estudo são predominantemente herbívoros (PT = 2). Assim, o $\delta^{15}\text{N}$ do fitoplâncton oceânico foi estimado a partir do $\delta^{15}\text{N}$ médio dos eupausiáceos (3,19 ‰) encontrados nessas amostras. Com base nele, o $\delta^{15}\text{N}$ do MOP nas amostras oceânicas foi estimado em 1,19 ‰, sendo este valor usado como referência ($\delta^{15}\text{N}_p$) para calcular a posição trófica das amostras de zooplâncton coletadas no ambiente oceânico.

As análises estatísticas foram realizadas no programa Past versão 3.13 (Hammer; Harper; Ryan, 2001) e Canoco versão 4.56 (Biometris, Holanda). Dados físico-químico-biológicos gerados por outros grupos de pesquisa do Projeto Marseal foram utilizados nas análises estatísticas, a fim de apoiar as interpretações dos estudos isotópicos. A estatística descritiva básica dos dados de MOP, zooplâncton total e seus principais grupos (Amphipoda, Chaetognatha, Copepoda, Decapoda e Euphausiacea) pode ser consultada nos Apêndices 12.8.1 a 12.8.27. O nível de significância de todos os testes estatísticos foi mantido em $\alpha = 0,05$. Testes não paramétricos foram empregados devido ao grande número de variáveis no conjunto de dados e à dificuldade de transformá-las para atender as premissas dos testes paramétricos. Uma análise de correlação de Spearman foi realizada para

investigar uma potencial associação entre as concentrações de material particulado em suspensão (mg.L^{-1}) e clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras de água. Testes de Kruskal-Wallis foram empregados para identificar diferenças entre dois conjuntos de dados. As variáveis-resposta utilizadas nesses testes foram $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e posição trófica, enquanto os fatores testados foram regime pluviométrico (níveis: período seco e período chuvoso), habitat pelágico (níveis: nerítico e oceânico) e cânion submarino (níveis: presença e ausência).

Análises de variância multivariada permutacional (Permanova) foram utilizadas para investigar a influência de um conjunto de variáveis-resposta sobre a distribuição espaço-temporal do MOP, zooplâncton total e seus principais grupos (Amphipoda, Chaetognatha, Copepoda, Decapoda e Euphausiacea). As variáveis-resposta empregadas em cada Permanova foram razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$ (‰), $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e posição trófica (exceto no caso do MOP). As variáveis explanatórias (isto é, fatores) usadas nas diversas Permanova foram regime pluviométrico (níveis: período seco e período chuvoso), habitat pelágico (níveis: nerítico e oceânico), isóbata (níveis: 10, 25, 50, 1.000, 1.900 e 3.000 m), transecto (níveis: A, C, E e H) e cânion submarino (níveis: presença e ausência). Todas as Permanova executadas foram unifatoriais. A estatística desses testes foi calculada com base em distâncias euclidianas, enquanto o valor de probabilidade (p) foi obtido a partir de 10.000 permutações de Monte Carlo. No caso de diferenças significativas, comparações pareadas foram realizadas *a posteriori* para os fatores com mais de dois níveis.

Análises de redundância (RDA) foram empregadas para investigar a relação entre uma matriz de variáveis-resposta e duas matrizes de variáveis explanatórias. A matriz de variáveis-resposta incluiu os seguintes parâmetros: razão

C/N, $\delta^{13}\text{C}$ (‰), $\delta^{15}\text{N}$ (‰) e posição trófica (exceto no caso do MOP). Considerando que os dados de posição trófica foram calculados a partir dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, a colinearidade entre essas duas variáveis foi investigada. Os cálculos de fator de inflação da variância (FIV) resultaram em valores inferiores a 1,2, confirmando ausência de colinearidade entre $\delta^{15}\text{N}$ e posição trófica. A matriz explanatória de dados físico-químico-biológicos incluiu os seguintes parâmetros: temperatura (°C), salinidade, oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}), pH, nitrogênio amoniacal total ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), nitrito ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), nitrogênio inorgânico dissolvido total ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), (orto)fosfato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), silicato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$), material particulado em suspensão ($\mu\text{g.L}^{-1}$), clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$), clorofila-a na fração < 20 μm ($\mu\text{g.L}^{-1}$), virioplâncton (partícula.mL^{-1}), bacterioplâncton (célula.mL^{-1}), *Prochlorococcus* (célula.mL^{-1}), *Synechococcus* (célula.mL^{-1}), picoeucariotos (célula.mL^{-1}), nanoeucariotos (célula.mL^{-1}), fitoplâncton (célula.L^{-1}) e zooplâncton (indivíduo.m^{-3}). A matriz explanatória de dados espaçotemporais incluiu os seguintes parâmetros: latitude (°), longitude (°), isóbata (m), distância da costa (m), regime pluviométrico (níveis: período seco e período chuvoso), habitat pelágico (níveis: nerítico e oceânico), massa de água (níveis: água costeira e água tropical), transecto (níveis: A, C, E, H) e cânion submarino (níveis: presença e ausência). Um total de quatro RDA foram executadas com os conjuntos de dados isotópicos do MOP, Copepoda, Chaetognatha e zooplâncton total. Detalhes desses procedimentos estatísticos estão descritos no Capítulo 13 (Análise integrada dos parâmetros biológicos e físico-químicos no ambiente pelágico da baía de Sergipe e sul de Alagoas).

Por questões práticas, as variáveis razão C/N, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e posição trófica são conjuntamente referidas como “parâmetros isotópicos” ao longo desse capítulo.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.3

COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

O MOP das águas superficiais neríticas apresentou razão C/N de $6,4 \pm 1,1$ (média \pm desvio padrão, Apêndice 12.8.1). Esse valor médio é semelhante à razão estequiométrica entre carbono e nitrogênio proposta no modelo de Redfield (6,6), sugerindo que o MOP local é quantitativamente dominado pelo fitoplâncton (Redfield, Ketchum e Richards, 1963). O valor médio do $\delta^{13}\text{C}$ no MOP foi $-20,5 \text{ ‰}$ (Apêndice 12.8.2), que também é típico de fontes fitoplanctônicas marinhas (Fry e Sherr, 1984). O pequeno desvio padrão (DP) de $0,91 \text{ ‰}$ e a estreita faixa de variação do $\delta^{13}\text{C}$ ($-22,3$ a $-18,4 \text{ ‰}$) sugerem uma aparente uniformidade nas fontes de carbono orgânico para as águas neríticas de Sergipe e sul de Alagoas (Apêndice 12.8.2). Nessas amostras, a correlação encontrada entre as concentrações de material particulado em suspensão (MPS) e clorofila_a foi moderada, mas apresentou nível de significância limítrofe (correlação

de Spearman; $n = 24$; $r_s = 0,40$; $p = 0,05$). Essa correlação torna-se significativa quando é excluído o par de dados da estação oceanográfica AGUA1C1, que foi coletado próximo à desembocadura do Rio São Francisco no período chuvoso (correlação de Spearman; $n = 23$; $r_s = 0,50$; $p = 0,01$). Tais resultados sugerem uma fonte de carbono autóctone para o MOP, com influência alóctone do Rio São Francisco somente no período chuvoso e limitada à isóbata de 10 m (aproximadamente 5 km de distância da foz do rio). Essa aparente uniformidade nas fontes de carbono do Atlântico tropical ao largo de Sergipe e sul de Alagoas contrasta com ambientes pelágicos polares. No Oceano Ártico, por exemplo, já foram identificadas três fontes de carbono com assinaturas isotópicas distintas: matéria orgânica terrígena, fitoplâncton marinho e microalgas associadas ao gelo marinho (Hop et al., 2006).

Em média, o $\delta^{15}\text{N}$ do MOP nas águas neríticas de Sergipe e sul de Alagoas foi 4,7 ‰ (Apêndice 12.8.3), sendo semelhante aos valores encontrados nas costas de Pernambuco e do Golfo do México (Dorado et al., 2012; Schwamborn et al., 1999). Esse valor é típico de fontes marinhas influenciadas por nitrato (Miyake e Wada, 1967). Entretanto, a distribuição do $\delta^{15}\text{N}$ foi ampla, variando de 1,0 a 6,6 ‰ (Apêndice 12.8.3). Em geral, valores mais baixos foram encontrados mais distantes da costa, sugerindo uma transição nas fontes de nitrogênio. Baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ no MOP marinho sugerem fixação de nitrogênio atmosférico por cianobactérias, que tende a ser um processo mais importante em águas oceânicas (Miyake e Wada, 1967).

As amostras de zooplâncton total na área de estudo apresentaram razão C/N entre 4,3 e 5,9, com média de 4,8 (Apêndice 12.8.4). Essa estreita faixa de variação sugere baixas reservas lipídicas ($C/N \approx 4$) no zooplâncton da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Isso está provavelmente associado às condições oligotróficas da Água Tropical (AT), que não favorece o desenvolvimento de florações microfitorplanctônicas. Situação diferente foi identificada nas águas polares do Golfo de Amundsen (Oceano Ártico), onde Forest et al. (2011) registraram grande variabilidade na razão C/N

de copépodos (3 a 12) conforme a abundância de alimento ao longo do ano. Em geral, razões C/N mais elevadas têm sido associadas a populações de zooplâncton com grande armazenamento de reservas lipídicas (Waite et al., 2007).

O $\delta^{13}\text{C}$ do zooplâncton total variou de -20,2 a -18,8 ‰, com média de -19,2 ‰ (Apêndice 12.8.5). Essa faixa de variação reflete aquela encontrada no MOP e sugere que o fitoplâncton é a principal fonte de carbono para a teia trófica pelágica local. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ encontrados no zooplâncton total variaram de 2,9 a 8,8 ‰, com média de 5,5 ‰ (Apêndice 12.8.6). De maneira geral, esses valores diminuíram no sentido costa-oceano, provavelmente como consequência de mudanças na assinatura isotópica das fontes de nitrogênio utilizadas pelos produtores primários em águas neríticas e oceânicas (Figura 12.2). Schwamborn et al. (1999) encontraram tendência semelhante na costa de Pernambuco, ao largo da Ilha de Itamaracá. De acordo com os autores, os baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ no zooplâncton local sugerem cianobactérias fixadoras de nitrogênio como uma importante fonte de alimento para os consumidores herbívoros, especialmente em águas mais afastadas da costa. Em relação à posição trófica, os valores calculados para o zooplâncton total variaram de 1,2 a 4,3 (Apêndice 12.8.7). O menor valor

(1,2 níveis tróficos) foi observado nas estações AGUA1A3 e AGUA2A3, sugerindo heterotrofia na base da cadeia alimentar local. Segundo Lin et al. (2017) também há um elevado grau de heterotrofia na comunidade planctônica das águas tropicais oligotróficas do Mar da China Meridional. Microrganismos heterotróficos tendem a reciclar nitrogênio no ambiente pelágico, mascarando o enriquecimento de ^{15}N na teia trófica (Rolff e Elmgren, 2000). A média de níveis tróficos verificada no zooplâncton total foi baixa, com valor de 2,4 (Apêndice 12.8.7), indicando elevado grau de onivoria e complexidade nas relações presa-predador da teia trófica na área de estudo. A complexidade das relações tróficas no zooplâncton marinho foi bem ilustrada por Fry e Quiñones (1994) no Atlântico Norte. Esses autores constataram um elevado grau de sobreposição de níveis tróficos através de sete classes de tamanho de organismos zooplanctônicos (desde 64 μm até 8.000 μm).

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.4

VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

Comparando as duas campanhas oceanográficas, não houve variação temporal nos parâmetros isotópicos do MOP em águas neríticas de Sergipe e sul de Alagoas (Permanova; $F = 0,02$; $p = 0,98$). Çoban-Yildiz et al. (2006) também não encontraram variação temporal (outono vs primavera) nos valores de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ do MOP na zona eufótica do Mar Negro. No caso da costa de Sergipe e sul de Alagoas, a sazonalidade é caracteristicamente marcada pelo regime pluviométrico. Em maio/junho de 2014 (AGUA1), a pluviosidade acumulada na bacia hidrográfica do baixo Rio São Francisco foi 12 vezes maior que aquela acumulada em novembro/dezembro do mesmo ano (AGUA2) (Paulino, 2015). Isso indica que o volume de chuvas não influenciou a composição elementar e isotópica do MOP nas águas neríticas superficiais da área de estudo.

O regime pluviométrico também não influenciou os parâmetros isotópicos do zooplâncton total ao largo da costa de Sergipe e sul de Alagoas (Permanova; $F = 1,04$; $p = 0,32$). Em relação aos principais grupos do zooplâncton, a Permanova não revelou diferenças significativas em

Amphipoda, Chaetognatha, Copepoda e Euphausiacea ($F \leq 2,09$; $p \geq 0,13$), sugerindo que ao longo do ano esses grupos exercem a mesma função na teia trófica local. Resultados semelhantes foram observados para eufausiáceos ao largo do Japão (Sogawa et al., 2017). Decapoda foi o único grupo que apresentou diferenças significativas entre as campanhas AGUA1 (período chuvoso) e AGUA2 (período seco) na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas (Permanova; $F = 4,87$; $p = 0,02$). Vale ressaltar que a ocorrência de larvas de crustáceos decápodos foi registrada predominantemente em águas neríticas (18 de um total de 21 amostras coletadas). Schwamborn et al. (1999) também encontraram uma dominância de larvas de Decapoda na comunidade zooplanctônica da plataforma continental interna de Pernambuco, especialmente estágios zoé da infraordem Brachyura e da família Porcellanidae. Nas águas da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas, larvas do gênero *Lucifer* spp. (superfamília Sergestioidea) foram particularmente abundantes nas amostras das estações mais costeiras, coletadas em isóbatas até 25 m de profundidade (AGUA1E1, AGUA2A1 e AGUA2H2).

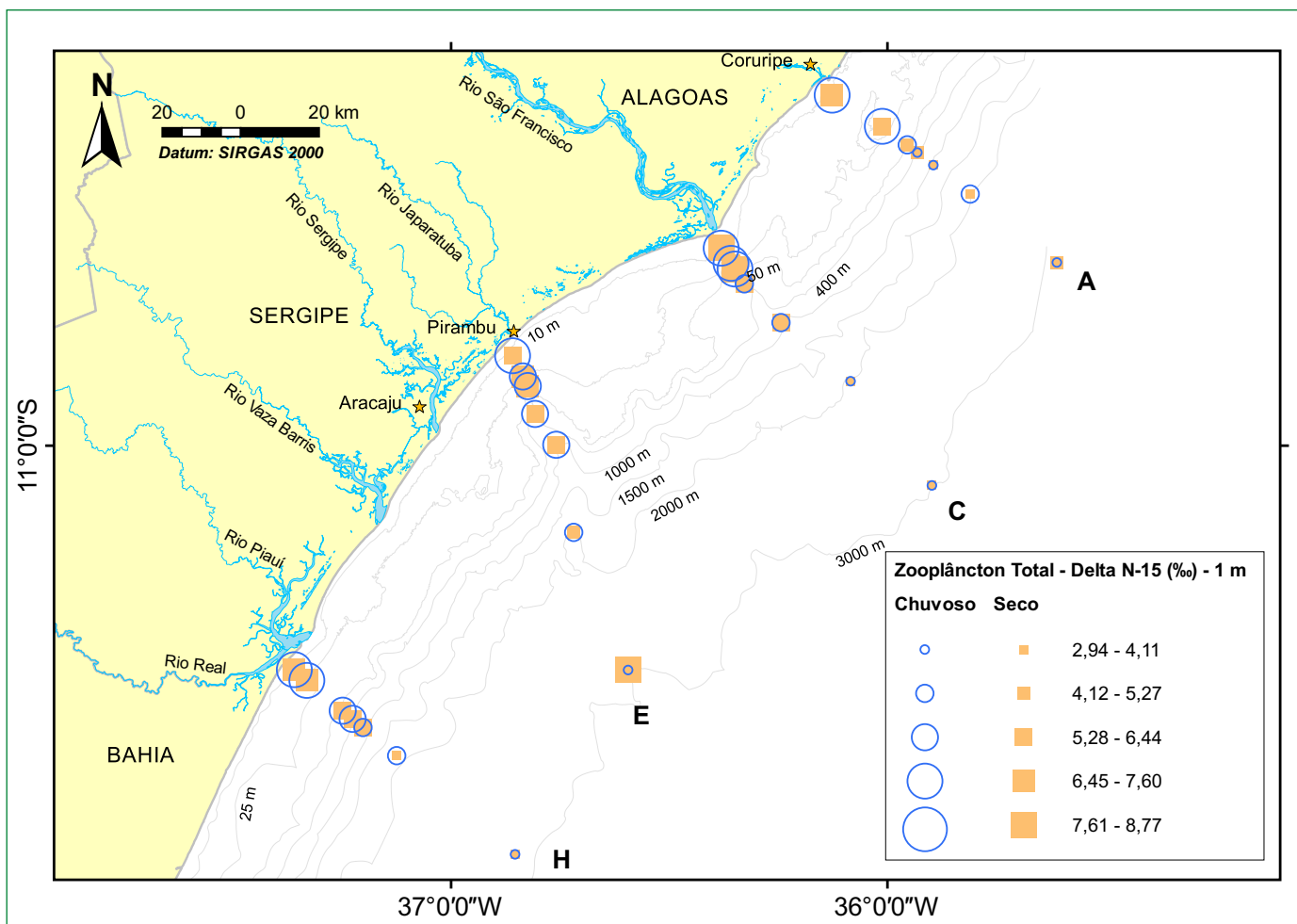


Figura 12.2 – Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de zooplâncton total coletadas nos períodos chuvoso (AGUA1) e seco (AGUA2), em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas.

O $\delta^{15}\text{N}$ dos decápodos amostrados foi significativamente maior no período chuvoso do que no período seco (Kruskal-Wallis; $H = 4,53$; $gl = 1$; $p = 0,03$). Nos meses de maio e junho (AGUA1, período chuvoso), o valor de $\delta^{15}\text{N}$ de Decapoda foi $6,83 \pm 1,15$ ‰ (mediana \pm desvio padrão), enquanto na campanha AGUA2 (período seco) esse valor foi de $4,97 \pm 1,08$ ‰ (Apêndice 12.8.22). Esses resultados poderiam sugerir uma transição no nível trófico de Decapoda ao longo do ano – possivelmente associado ao ciclo de desenvolvimento das larvas. Apesar do aumento observado nos valores de $\delta^{15}\text{N}$, a posição trófica de Decapoda não apresentou diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis; $H_c = 1,42$; $gl = 1$; $p = 0,23$). A posição trófica do grupo foi $2,1 \pm 0,45$ (mediana \pm desvio padrão) na campanha AGUA1 e $1,4 \pm 0,78$ na campanha AGUA2 (Apêndice 12.8.23). Assim, a diferença nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ de Decapoda pode ser explicada pela variação no $\delta^{15}\text{N}$ do MOP, cujas medianas nos períodos chuvoso e seco foram $5,03$ e $4,70$ ‰, respectivamente (Apêndice 12.8.3).

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

Devido a limitações metodológicas, não foi possível obter resultados isotópicos para o MOP coletado no ambiente oceânico. Assim, possíveis variações no MOP do ambiente nerítico foram feitas tomando como base as isóbatas de amostragem (10, 25 e 50 m). De acordo com a Permanova, não houve variação na distribuição dos parâmetros isotópicos entre as isóbatas amostradas em águas neríticas da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas ($F = 1,30$; $p = 0,29$). Isso sugere homogeneidade nas características

elementares e isotópicas desse MOP. Tal fato, provavelmente, está associado à ausência de rios com elevada descarga fluvial na área de estudo, visto que a vazão do Rio São Francisco foi consideravelmente reduzida e estabilizada nas últimas décadas (Medeiros et al., 2011).

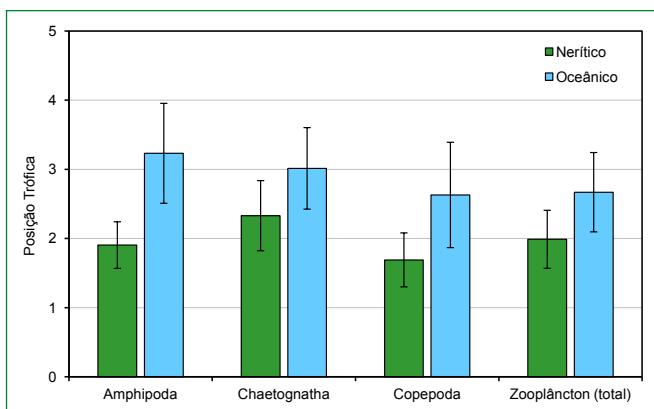
Em relação ao zooplâncton total, o conjunto de seus parâmetros isotópicos apresentou diferenças significativas entre os ambientes nerítico e oceânico (Permanova; $F = 9,47$; $p = 0,0001$). Por exemplo, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ no zooplâncton total foram significativamente maiores em águas neríticas ($6,68 \pm 0,84 \text{ ‰}$; mediana \pm desvio padrão) do que em águas oceânicas ($4,53 \pm 1,15 \text{ ‰}$) ao largo da costa de Sergipe e sul de Alagoas (Kruskal-Wallis; $H = 28,7$; $gl = 1$; $p < 0,0001$) (Figura 12.2 e Apêndice 12.8.6). Tais resultados podem estar refletindo variações nas fontes de nitrogênio e/ou na estrutura trófica do zooplâncton da área de estudo. No Golfo do México, Dorado et al. (2012) também encontraram maiores valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ no zooplâncton de águas neríticas ($5,4 \text{ ‰}$) em comparação com águas oceânicas ($2,8 \text{ ‰}$). Os autores relacionaram essas diferenças a alterações nas fontes locais de nitrogênio. Tal explicação também parece ser aplicável à costa de Sergipe e sul de Alagoas, onde os valores mínimos de $\delta^{15}\text{N}$ foram $5,03$ e $2,94 \text{ ‰}$ nos ambientes nerítico e oceânico, respectivamente (Apêndice 12.8.6). Fontes que absorvem nitrato (NO_3^-) apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais próximos de $5-7 \text{ ‰}$, enquanto fontes que fixam nitrogênio atmosférico (N_2) tendem a revelar valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais próximos de 0 ‰ (Miyake e Wada, 1967). Em algumas amostras coletadas em águas oceânicas (ex.: AGUA1A6, AGUA1E9) foram observadas muitas colônias filamentosas da cianobactéria *Trichodesmium* sp. (Pedro A. M. C. Melo, comunicação pessoal). Esse gênero é considerado o principal organismo capaz de fixar N_2 no oceano, exercendo um

importante papel no ciclo biogeoquímico do nitrogênio (Bergman, 2001; Karl et al., 2002). Variações nas fontes de nitrogênio na área de estudo não parecem ser a única explicação para as diferenças encontradas em águas neríticas e oceânicas, pois também foram verificadas diferenças significativas no número de níveis tróficos do zooplâncton nesses dois ambientes (Kruskal-Wallis; $H = 21,8$; $gl = 1$; $p < 0,0001$). O zooplâncton amostrado em águas neríticas apresentou posição trófica média inferior àquele amostrado em águas oceânicas ($2,0$ vs. $2,7$; Apêndice 12.8.7). Tal fato pode estar associado a um maior grau de onivoria e/ou heterotrofia na teia trófica pelágica do ambiente nerítico. Bode et al. (2003) observaram um elevado grau de onivoria no zooplâncton da costa da Galícia, Espanha. Por exemplo, Copepoda (grupo mais abundante do zooplâncton) tende a preferir estratégias onívoras a fim de evitar a competição por alimento (Fanelli; Cartes; Papiol, 2011). Um artefato metodológico também poderia explicar a diferença no número de níveis tróficos do zooplâncton total, visto que o MOP foi usado como base de cálculo para o ambiente nerítico, e Euphausiacea foi empregado como base para o ambiente oceânico. As bases de cálculo não puderam ser padronizadas devido à ausência de dados de $\delta^{15}\text{N}$ do MOP para o ambiente oceânico e o pequeno número de amostras de Euphausiacea ($n = 1$) obtido para o ambiente nerítico.

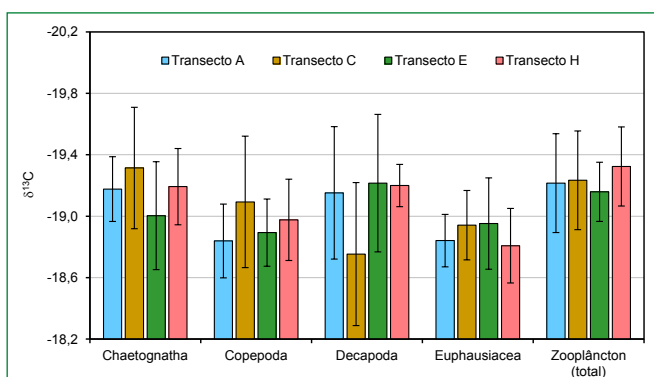
Em relação aos grupos zooplanctônicos dominantes nas amostras, Amphipoda, Chaetognatha e Copepoda apresentaram diferenças significativas no conjunto de seus parâmetros isotópicos em águas neríticas e oceânicas (Permanova; $F \geq 3,16$; $p \leq 0,04$). Comum aos três grupos, observou-se o fato de eles revelarem nível trófico mais alto em águas oceânicas (Kruskal-Wallis; $H \geq 7,0$; $gl = 1$; $p \leq 0,008$) (Figura 12.3). As posições tróficas medianas de Amphipoda, Chaetogna-

tha e Copepoda em águas neríticas foram, respectivamente, $1,9$, $2,3$ e $1,7$. Em contrapartida, as posições tróficas medianas em águas oceânicas foram $3,2$, $3,0$ e $2,7$, respectivamente. Os valores inferiores a $2,0$ encontrados para Amphipoda e Copepoda no ambiente nerítico podem sugerir que esses grupos são dominados por consumidores primários.

As diferenças encontradas para os três grupos zooplanctônicos (Amphipoda, Chaetognatha e Copepoda) entre os ambientes nerítico e oceânico são condizentes e relativamente proporcionais ao maior número de níveis tróficos verificados nas amostras de zooplâncton total. No caso de Amphipoda, em particular, a diferença mais marcante entre as posições tróficas desses organismos nas duas zonas pelágicas (Figura 12.3) pode estar sugerindo espécies distintas que ocupam diferentes nichos ecológicos nesses ambientes. No caso de Copepoda, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variaram de $5,13$ a $8,17 \text{ ‰}$ (diferença: $3,04 \text{ ‰}$) no ambiente nerítico e $2,63$ a $8,85 \text{ ‰}$ (diferença: $6,22 \text{ ‰}$) no ambiente oceânico (Apêndice 12.8.18). A maior amplitude observada em águas oceânicas indica que os copépodos também ocupam maior diversidade de nichos ecológicos nesse habitat pelágico. Em um estudo realizado no Mar da Tasmânia (Austrália), os copépodos apresentaram a maior amplitude de $\delta^{15}\text{N}$ quando comparados a outros grupos zooplanctônicos (Henschke et al., 2015). Decapoda e Euphausiacea foram encontrados majoritariamente em águas neríticas (86% das amostras nas quais esteve entre os grupos mais abundantes do zooplâncton) e oceânicas (95% das amostras nas quais esteve entre os grupos mais abundantes do zooplâncton) ao largo de Sergipe e sul de Alagoas, respectivamente. Isso enfatiza que há diferenças na composição trófica dos grupos zooplanctônicos registrados nos ambientes nerítico e oceânico da área de estudo.



F - 12.3



F - 12.4

Figura 12.3 – Posição trófica mediana do zooplâncton total e seus principais grupos (Amphipoda, Chaetognatha e Copepoda) coletados em águas neríticas e oceânicas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. As barras de erro representam o desvio padrão.

Figura 12.4 – Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ do zooplâncton total e seus principais grupos (Chaetognatha, Copepoda, Decapoda e Euphausiacea) coletados na superfície (1 m de profundidade), ao longo dos transectos realizados na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. As barras de erro representam o desvio padrão.

12.4.3 – Variação latitudinal

Considerando a orientação sudoeste-nordeste da costa de Sergipe e sul de Alagoas, os transectos (A, C, E, H) foram usados como uma aproximação da variação latitudinal nos parâmetros isotópicos do plâncton. De acordo com a Permanova, não houve variação na distribuição dos parâmetros isotópicos do MOP ao longo do gradiente norte-sul em águas neríticas da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas ($F = 1,96$; $p = 0,09$). Da mesma maneira, a distribuição dos transectos não influenciou significativamente os parâmetros isotópicos do zooplâncton total (Permanova; $F = 1,42$; $p = 0,22$) nem de seus principais grupos – Chaetognatha, Copepoda, Decapoda e Euphausiacea (Permanova; $F \leq 1,82$; $p \geq 0,16$). Esses resultados contrastam com aqueles encontrados no também oligotrófico Mar Vermelho, onde Kürten et al. (2016) observaram um gradiente latitudinal nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ na maioria dos taxa zooplanctônicos investigados. Esses autores conseguiram identificar uma série de processos biogeoquímicos e oceanográficos que influenciam a composição isotópica do zooplâncton local. De maneira geral, a ocorrência desses processos é favorecida pelo fato de o Mar Vermelho ser uma bacia semifechada conectada ao Oceano Índico através do Estreito Babelmândebe.

A ausência de alterações significativas entre os transectos realizados na costa de Sergipe e sul de Alagoas sugere uma aparente homogeneidade ao longo do padrão norte-sul em relação às fontes de carbono e nitrogênio como um todo (Figuras 12.4 e 12.5). Pelas suas dimensões, o Rio São Francisco seria o principal sistema fluvial da região capaz de influenciar a exportação de carbono e nutrientes do continente em direção ao oceano aberto. Entretanto, sua vazão e concentração de MPS diminuíram drasticamente nas últimas décadas devido a uma série de barragens construídas ao longo de seu curso (Knoppers et al., 2006). Além de incipiente, a atual pluma observada na foz do Rio São Francisco não é tipicamente fluvial e apresenta características de uma pluma de ressuspensão de sedimentos depositados no entorno de sua foz (Oliveira, 2009). Em relação ao aporte de nutrientes, Medeiros et al. (2014) estimaram que o transporte de nitrogênio inorgânico dissolvido em direção ao oceano foi reduzido em mais de 15 vezes quando comparado ao período anterior à construção das barragens.

12.4.4 – Influência dos cânions

Na área de estudo, os transectos A e H foram realizados ao longo de relevo regular, enquanto os transectos C e E foram feitos ao longo de cânions submarinos (Figura 12.1). A plataforma continental é mais estreita onde há cânions, sendo o relevo do talude menos inclinado nessas áreas, que servem como conduítes naturais para a exportação de sedimento em direção à bacia oceânica adjacente (Fontes, Kowsmann e Puga-Bernabéu, 2017). A influência da existência de cânions submarinos sobre os parâmetros isotópicos do MOP e do zooplâncton foi testada a partir de Permanova. Os resultados mostraram que o MOP em águas superficiais não é influenciado pela existência de cânions na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas ($F = 2,95$; $p = 0,06$). Isso sugere que a ressuspensão de sedimento em áreas de cânion não é capaz de alterar as razões isotópicas do MOP na superfície da coluna de água. Vale ressaltar que as amostras desse estudo foram coletadas em estações oceanográficas posicionadas em isóbatas desde 10 m até 3.000 m de profundidade. É virtualmente impossível que a ressuspensão de sedimento seja capaz de influenciar a su-

perfície em áreas de águas profundas. Os parâmetros isotópicos do zooplâncton total também não apresentaram diferenças entre os transectos ao longo de relevo regular e de cânion submarino (Permanova; $F = 1,42$; $p = 0,22$). Semelhantemente, não foram observadas diferenças nos grupos de Chaetognatha, Copepoda e Decapoda (Permanova; $F \leq 2,14$; $p \geq 0,12$).

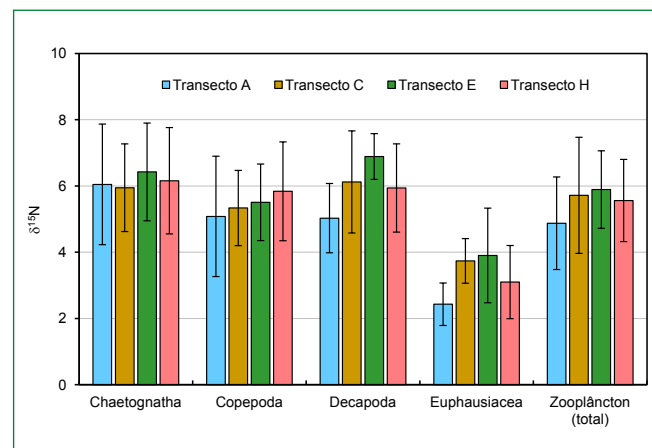


Figura 12.5 – Valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ do zooplâncton total e seus principais grupos (Chaetognatha, Copepoda, Decapoda e Euphausiacea) coletados na superfície (1 m de profundidade), ao longo dos transectos realizados na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. As barras de erro representam o desvio padrão.

Por outro lado, áreas de cânion influenciaram significativamente os parâmetros isotópicos de Euphausiacea (Permanova; $F = 4,58$; $p = 0,03$). Com exceção da amostra da estação AGUA2E2, os eupausiáceos destacaram-se entre os grupos mais abundantes do zooplâncton somente em águas oceânicas a partir da isóbata de 400 m. Barange e Pillar (1992) investigaram a distribuição de duas espécies de eupausiáceos (*Nyctiphanes capensis* e *Euphausia hansenii*) ao longo do gradiente plataforma-talude na costa da Namíbia ($17^\circ - 27^\circ \text{S}$). Os autores constataram que a distribuição de estágios ontogenéticos nas espécies estudadas variou ao longo desse gradiente, sugerindo influência do relevo local no habitat dos eupausiáceos. Indivíduos adultos, que têm maior capacidade de migração vertical, distribuem-se por isóbatas mais profundas (Barange e Pillar, 1992). Mecanismo semelhante pode estar ocorrendo na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas, onde os valores de $\delta^{15}\text{N}$ de Euphausiacea foram significativamente maiores nos transectos realizados ao longo de cânions submarinos (Kruskal-Wallis; $H = 4,69$; $gl = 1$; $p = 0,03$). Nos transectos A e H (relevo regular), o $\delta^{15}\text{N}$ de Euphausiacea foi $2,81 \pm 0,90$ ‰ (mediana \pm desvio padrão), enquanto nos transectos C e E (cânion submarino) esse valor foi $3,94 \pm 1,09$ ‰. Os maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos transectos influenciados por cânion (que apresentam talude mais extenso) podem sugerir maior abundância de eupausiáceos adultos, que se alimentariam de presas maiores nessas áreas.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.5

ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

A integração dos dados foi feita a partir de análises de redundância (RDA), executadas com o intuito de investigar as variáveis ambientais que mais influenciaram o conjunto de parâmetros isotópicos do MOP, Copepoda, Chatognatha e zooplâncton total. No caso do MOP, somente duas variáveis ambientais revelaram-se significativas para explicar a distribuição dos dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N) em águas neríticas de Sergipe e sul de Alagoas. O transecto A e a concentração de silicato explicaram 21,8 % da variação dos parâmetros isotópicos do MOP, sendo que toda essa variação foi associada ao primeiro eixo canônico (Figura 12.6). O transecto A explicou exclusivamente 7,2 % da variação dos dados, enquanto a concentração de silicato explicou exclusivamente 3,4 % da variação dos dados (Figura 12.7). A combinação dessas duas variáveis (variância comum) explicou 11,2 % dos dados (Figura 12.7). Conforme pode ser verificado na disposição dos vetores da Figura 12.6, houve forte associação positiva entre $\delta^{13}\text{C}$ e transecto A, enquanto esse mesmo parâmetro isotópico correlacionou-se negativamente com a concentração de silicato. Isso significa que os valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$ no MOP foram observados no transecto A

(Figura 12.8), que apresentou baixas concentrações de silicato na água. Esse transecto foi realizado transversalmente à costa na área marinha de Alagoas, enquanto os demais transectos (C, E e H) foram feitos no mar de Sergipe. De maneira geral, a plataforma continental de Sergipe é influenciada por sedimentação terrígena de descargas fluviais, enquanto a plataforma continental de Alagoas é dominada por sedimentação carbonática, devido ao reduzido aporte de bacias de drenagem (Figueiredo Jr. et al., 2011). O MOP autóctone marinho apresenta valores mais altos de $\delta^{13}\text{C}$ e mais baixos de razão C/N quando comparado ao MOP de origem continental (Emerson e Hedges, 2008; Bianchi e Canuel, 2011). Mesmo com a diminuição e regularização da descarga fluvial do Rio São Francisco, a RDA revelou-se uma ferramenta poderosa que conseguiu registrar diferenças sutis nas fontes de carbono entre os transectos realizados na área de estudo. Vale ressaltar que a Permanova não foi capaz de identificar tais diferenças, provavelmente porque essa ferramenta estatística tem o objetivo de detectar diferenças atribuídas a um conjunto de variáveis-resposta (neste caso, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e razão C/N do MOP) sem testá-las individualmente.

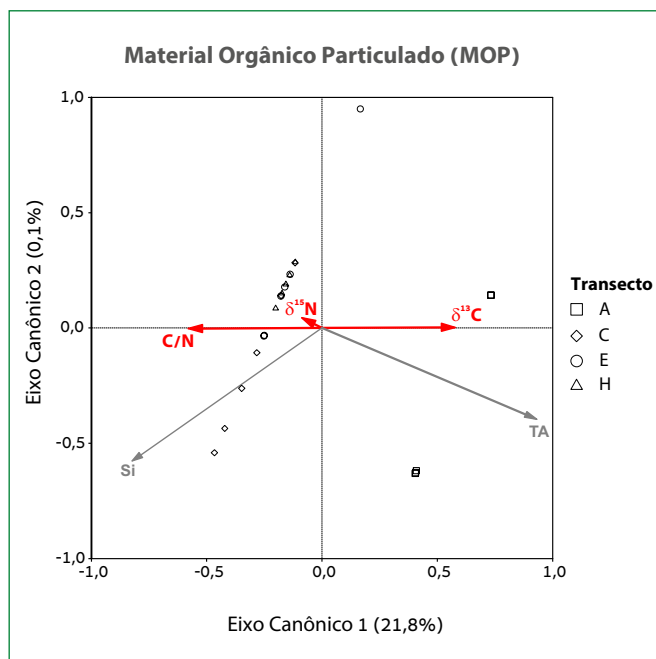


Figura 12.6 – Diagrama de ordenação (triplo) da análise de redundância (RDA) entre uma matriz de variáveis-resposta (parâmetros isotópicos) e duas matrizes de variáveis explanatórias (descritores físico-químico-biológicos e espaçotemporais). Os vetores vermelhos representam os parâmetros isotópicos do material orgânico particulado (MOP): $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N). Os vetores cinzas representam as variáveis ambientais que explicam os parâmetros isotópicos do MOP: silicato (Si) e transecto A (TA). Os pontos representam as amostras e estão agrupados conforme os transectos investigados. Os dois eixos canônicos explicam 21,9 % da variação dos dados, mas somente o primeiro eixo é estatisticamente significativo.

Na RDA de Copepoda, as seguintes variáveis ambientais explicaram significativamente a distribuição de seus parâmetros isotópicos: habitat pelágico (nerítico/oceânico), massa de água (água costeira/água tropical), isóbata, salinidade, abundância de *Prochlorococcus* e abundância de piceocariotos (Figura 12.9). Os dois primeiros eixos canônicos foram significativos e explicaram 49,5 % da variação total dos dados (Figura 12.9). A variância comum aos parâmetros espaçotemporais e físico-químico-biológicos explicou 30 % da variância total em Copepoda (Figura 12.7). Individualmente, o habitat pelágico explicou 15 % da variância total nos parâmetros isotópicos dos copépodos amostrados na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas (Figura 12.7).

Os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram observados no ambiente oceânico (isóbatas mais profundas), cuja salinidade na superfície tende a ser mais elevada devido à presença da Água Tropical (Capítulo 1, neste volume). A correlação positiva entre o $\delta^{13}\text{C}$ de Copepoda e a abundância de *Prochlorococcus* (Figura 12.9) sugere que esse gênero de cianobactéria seja uma importante fonte de carbono para o grupo do zooplâncton. *Prochlorococcus* tende a dominar a produção primária picoplanctônica em águas oligotróficas (Campbell et al., 1997; Partensky, Blanchot e Vaultot, 1999; DuRand, Olson e Chisholm, 2001; Vázquez-Domínguez et al., 2008; Mitbavkar e Anil, 2011). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ apresentaram uma forte correlação com a abundância de piceocariotos (Figura 12.9), sugerindo que tais organismos têm um papel importante na teia trófica dos copépodos. Conforme pode ser observado na Figura 12.9, de maneira geral as maio-

res abundâncias de piceocariotos foram encontradas em águas neríticas. A assinatura isotópica do nitrogênio também correlacionou-se positivamente com o habitat nerítico. Este, por sua vez, registrou forte correlação negativa com a posição trófica de Copepoda. Assim, os resultados da RDA confirmam que os copépodos ocupam posição trófica média mais elevada no ambiente oceânico em relação ao ambiente nerítico de Sergipe e sul de Alagoas (Apêndice 12.8.19). A posição trófica de Copepoda revelou forte correlação positiva com o habitat oceânico (Figura 12.9). No Mar da Tasmânia, Henschke et al. (2015) compararam nichos tróficos do zooplâncton em vórtices com núcleos de água quente e água fria. Os autores constataram que águas quentes oligotróficas tendem a aumentar a carnivoría no grupo dos copépodos.

Em relação a Chaetognatha, as variáveis ambientais que explicaram seus parâmetros isotópicos foram: habitat pelágico (nerítico/oceânico), distância da costa, regime pluviométrico (seco/chuvoso), transecto E, concentração de silicato, abundância de *Synechococcus* e abundância de nanoeucariotos (Figura 12.10). O primeiro e o segundo eixos canônicos da RDA explicaram respectivamente 23,2 % e 18,8 % da variação total dos dados (Figura 12.10). De acordo com a distribuição dos vetores, o primeiro eixo canônico corresponde ao regime pluviométrico, enquanto o segundo eixo provavelmente equivale ao habitat pelágico (Figura 12.10). Assim como em Copepoda, esta variável ambiental foi a que melhor explicou individualmente a distribuição dos parâmetros isotópicos em Chaetognatha (Figura 12.7).

Os maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ em *Chaetognatha* foram registrados no período seco, particularmente no transecto E, localizado no Cânion do Japarutuba (Figura 12.10). Em contrapartida, a razão C/N de *Chaetognatha* apresentou forte correlação positiva com o período chuvoso, quando o aporte de silicato é mais elevado devido à maior vazão dos rios que desembocam no oceano. Esses resultados sugerem que o aumento da pluviosidade favorece o acúmulo de reservas lipídicas nos quetognatos distribuídos na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Considerando que *Chaetognatha* é um grupo tipicamente constituído por predadores carnívoros, o acúmulo de lipídios pode ser uma consequência do aumento na disponibilidade de alimentos e/ou diminuição na abundância de competidores durante o período chuvoso. Vale ressaltar que a contribuição de organismos autotróficos para a biomassa total do picoplâncton aumentou durante o período chuvoso, especialmente em águas oceânicas (Capítulo 5, neste volume). Isso pode ter favorecido um aumento na oferta de presas para os quetognatos.

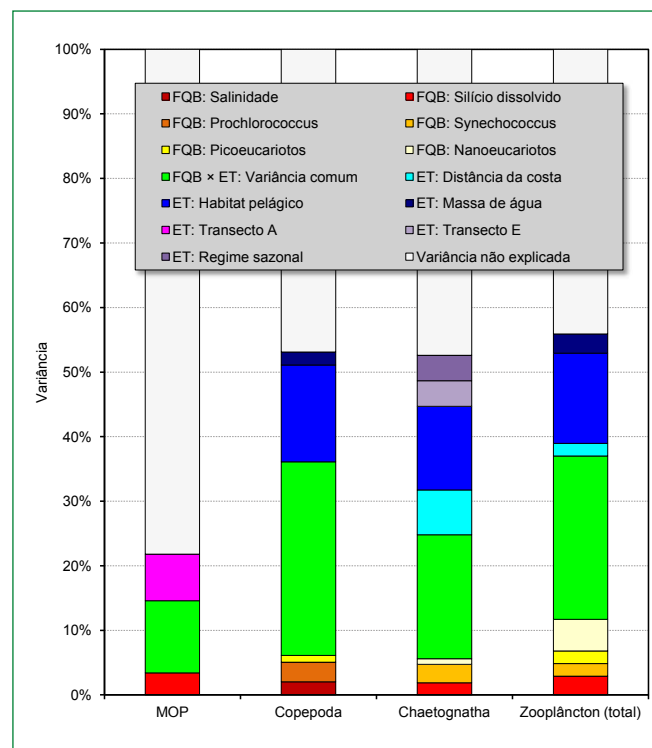


Figura 12.7 – Percentual de variâncias parciais que explicam os parâmetros isotópicos do material orgânico particulado (MOP), Copepoda, *Chaetognatha* e zooplâncton total nas amostras de água superficial (1 m) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. FQB é a matriz explanatória que contém descritores físico-químico-biológicos. ET é a matriz explanatória que contém descritores espaçotemporais.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ em *Chaetognatha* revelaram fortes correlações positivas com o ambiente nerítico e as abundâncias de *Synechococcus* e nanoeucariotos (Figura 12.10). Isso sugere que tal gênero de cianobactéria é uma importante fonte de nitrogênio na base da cadeia trófica de *Chaetognatha* em águas neríticas. De fato, *Synechococcus* foi mais abundante nas isóbatas mais próximas da costa (Capítulo 5, neste volume). Esse gênero é ubíquo na zona eufótica do ambiente marinho, embora seja mais abundante em águas neríticas, onde a concentração de nutrientes é mais alta (Partensky; Blanchot; Vault, 1999; Zwirgmaier et al., 2008). A correlação entre $\delta^{15}\text{N}$ e nanoeucariotos sugere que tais organismos fazem parte da cadeia alimentar de *Chaetognatha* no ambiente nerítico (Figura 12.10). É pouco provável que nanoeucariotos heterotróficos (ex.: pequenos protistas flagelados) sejam diretamente predados por quetognatos devido à grande diferença de tamanho entre esses grupos de organismos. Enquanto os quetognatos têm alguns milímetros de comprimento, o tamanho dos nanoeucariotos não ultrapassa 20 μm , ou seja, uma diferença de pelo menos duas ordens de grandeza. Em geral, predadores tendem a consumir presas aproximadamente dez vezes menores que seu próprio tamanho (Sheldon; Sutcliffe; Prakash, 1972; Azam et al., 1983). A posição trófica de *Chaetognatha* apresentou uma forte associação positiva com o ambiente oceânico (Figura 12.10). Tal resultado corrobora aquele encontrado na RDA de Copepoda. Considerando que *Chaetognatha* geralmente está no topo da teia trófica mesozooplanctônica, isso enfatiza que ao largo de Sergipe e sul de Alagoas há um maior número de níveis tróficos no habitat oceânico quando comparado ao habitat nerítico.

As variáveis ambientais que explicaram os parâmetros isotópicos do zooplâncton total foram: habitat pelágico (nerítico/oceânico), massa de água (água costeira/água tropical), distância da costa, concentração de silicato, abundância de nanoeucariotos, abundância de piceoeucariotos e abundância de *Synechococcus* (Figura 12.11). Em conjunto, os dois primeiros eixos da RDA explicaram 48,5 % da variação total dos dados (Figura 12.11). Os parâmetros ambientais que, isoladamente, mais explicaram a variância dos dados foram o habitat pelágico e a abundância de nanoeucariotos cujas variâncias parciais foram 14,0 % e 4,9 %, respectivamente (Figura 12.7). A variância comum aos parâmetros espaçotemporais e físico-químico-biológicos explicou 25,3 % da variância dos parâmetros isotópicos do zooplâncton total (Figura 12.7).

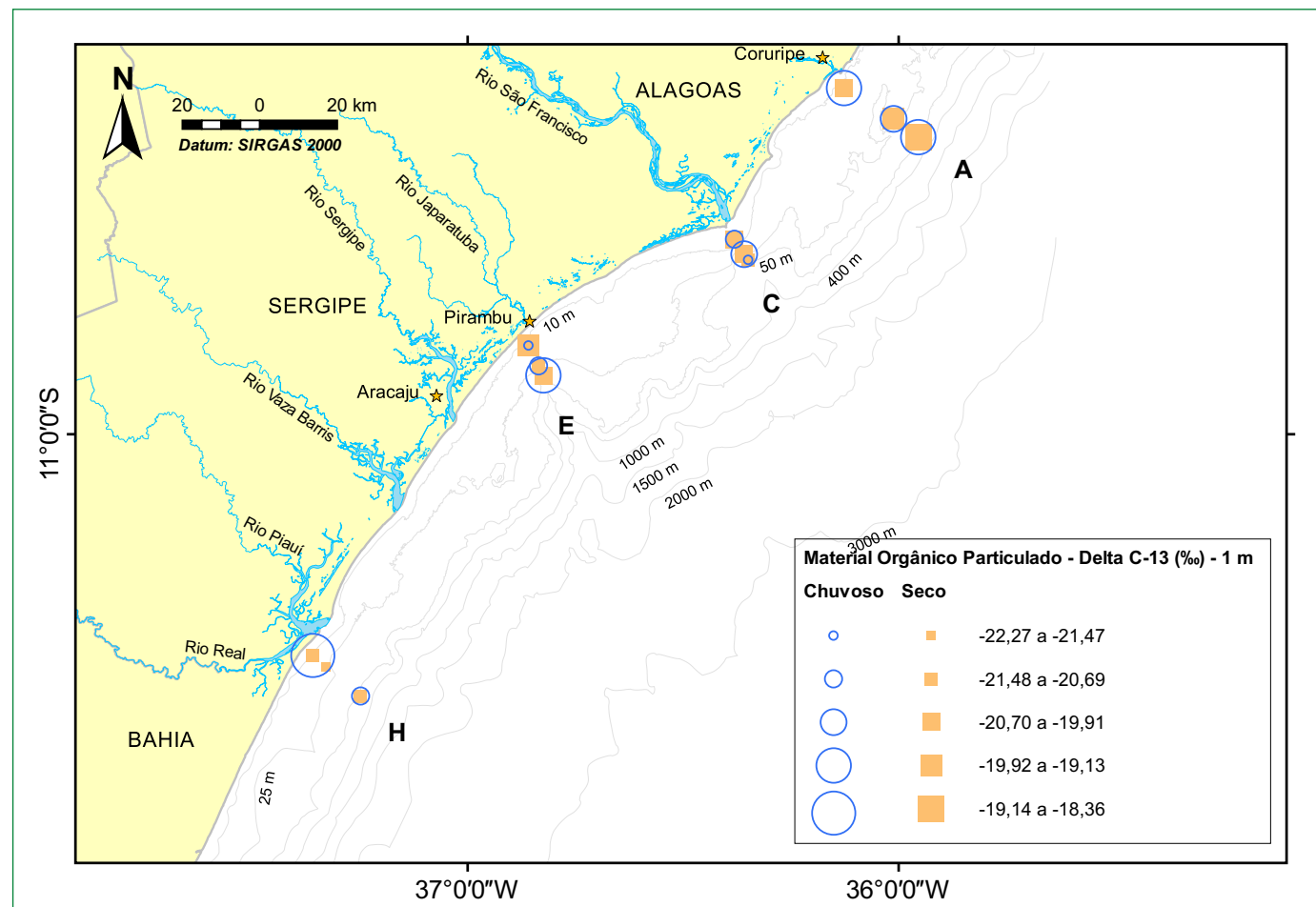


Figura 12.8 – Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de zooplâncton total coletadas nos períodos chuvoso (AGUA1) e seco (AGUA2) em águas superficiais (1 m de profundidade) da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas.

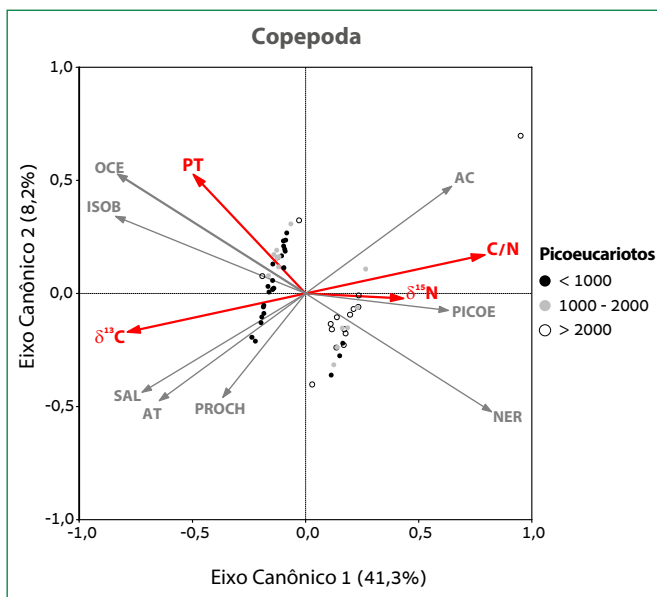


Figura 12.9 – Diagrama de ordenação (triplot) da análise de redundância (RDA) entre uma matriz de variáveis-resposta (parâmetros isotópicos) e duas matrizes de variáveis explanatórias (descritores físico-químico-biológicos e espaçotemporais). Os vetores vermelhos representam os parâmetros isotópicos de Copepoda: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) e posição trófica (PT). Os vetores cinzas representam as variáveis ambientais que explicam os parâmetros isotópicos de Copepoda: salinidade (SAL), abundância de *Prochlorococcus* (PROCH), abundância de picoeucariotos (PICOE), isóбата (ISOB), massa de água (AT = água tropical; AC = água costeira) e habitat pelágico (NER = nerítico; OCE = oceânico). Os pontos representam as amostras e estão agrupados conforme sua abundância de picoeucariotos (célula.mL⁻¹). Os dois eixos canônicos explicam 49,5 % da variação dos dados.

De acordo com a Figura 12.11, o primeiro eixo da RDA corresponde ao habitat pelágico e explicou 36,2% da variância dos parâmetros isotópicos. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e a razão C/N do zooplâncton total apresentaram uma forte associação com o gradiente nerítico-oceânico. A razão C/N foi mais alta em águas neríticas (Apêndice 12.8.4), sugerindo que o zooplâncton consegue acumular reservas lipídicas um pouco maiores nesse habitat do que em águas oceânicas. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ também revelaram uma associação direta com o ambiente nerítico (Figura 12.11). Conforme discutido anteriormente, valores mais altos de $\delta^{15}\text{N}$ no zooplâncton do habitat nerítico provavelmente estão associados à disponibilidade de nitrato próximo à costa. Entre os parâmetros ambientais, a concentração de silicato e as abundâncias de *Synechococcus*, picoeucariotos e nanoeucariotos correlacionaram-se positivamente com o ambiente nerítico (Figura 12.11). Esses relacionamentos sugerem que *Synechococcus* e picoeucariotos autotróficos, provavelmente, são os principais produtores primários na base da teia trófica do zooplâncton na zona nerítica de Sergipe e sul de Alagoas. Vale ressaltar que a RDA não selecionou a abundância do microfitoplâncton como uma variável significativa para explicar os parâmetros isotópicos do zooplâncton local. Por sua vez, os nanoeucariotos heterotróficos parecem servir como elo trófico entre a produção primária picoplânctônica e os consumidores mesozooplânctônicos. Esse fluxo trófico foi inicialmente proposto por Sherr e Sherr (1988) em uma revisão do conceito de alça microbiana proposto por Azam et al. (1983).

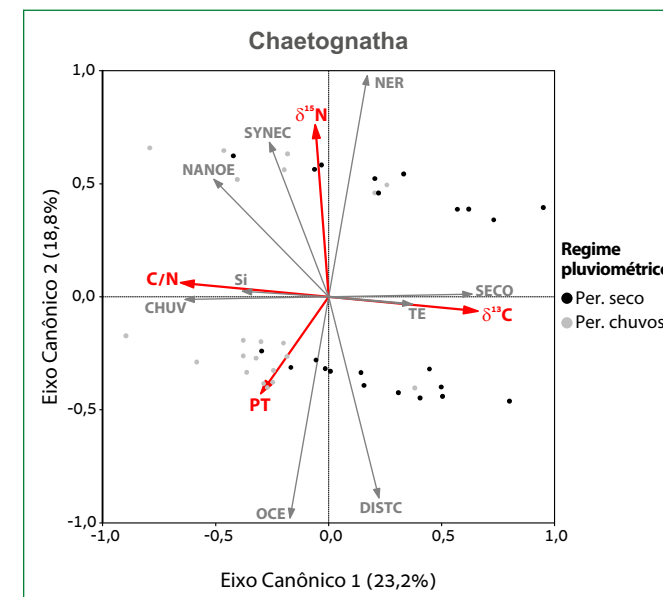
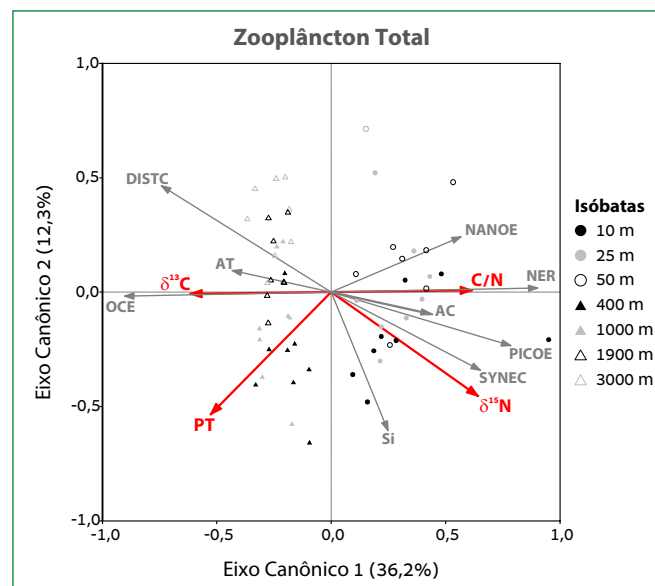


Figura 12.10 – Diagrama de ordenação (triplot) da análise de redundância (RDA) entre uma matriz de variáveis-resposta (parâmetros isotópicos) e duas matrizes de variáveis explanatórias (descritores físico-químico-biológicos e espaçotemporais). Os vetores vermelhos representam os parâmetros isotópicos de Chaetognatha: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) e posição trófica (PT). Os vetores cinzas representam as variáveis ambientais que explicam os parâmetros isotópicos de Chaetognatha: distância da costa (DISTC), transecto E (TE), abundância de *Synechococcus* (SYNEC), abundância de nanoeucariotos (NANOE), silicato (Si), regime pluviométrico (CHUV = período chuvoso; SECO = período seco) e habitat pelágico (NER = nerítico; OCE = oceânico). Os pontos representam as amostras e estão agrupados conforme as isóbatas de coleta. Os dois eixos canônicos explicam 42 % da variação dos dados.

Jyothibabu et al. (2013) também identificaram *Synechococcus* e piceocariotos como importantes componentes do picoplâncton autotrófico em águas neríticas do sudeste da Índia. Entre os piceocariotos autotróficos, os taxa Chlorophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Bolidophyceae e Pelagophyceae têm sido encontrados em ambientes marinhos pelágicos (Lin; Chiang; Kang, 2017; Mitbavkar; Anil, 2011). Atividade de herbivoria de nanoeucariotos heterotróficos sobre o picoplâncton autotrófico tem sido reportada tanto em experimentos de laboratório quanto em estudos *in situ* no ecossistema marinho (Christaki et al., 2005; Vázquez-Domínguez et al., 2008; Connell et al., 2017).



De acordo com a disposição dos vetores na Figura 12.11, valores mais altos de $\delta^{13}C$ foram observados no ambiente oceânico, mais distante da costa, cuja massa de água superficial é caracterizada pela Água Tropical. Assim como no caso do MOP, a RDA foi capaz de identificar pequenas diferenças nas fontes de carbono para a teia trófica pelágica na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Dessa vez, as diferenças foram registradas ao longo do gradiente nerítico-oceânico. A assinatura isotópica do carbono foi significativamente maior no zooplâncton total do ambiente oceânico em relação aos organismos do ambiente nerítico (Kruskal-Wallis; $H = 11,3$; $gl = 1$; $p = 0,0008$). Os valores ligeiramente mais baixos de $\delta^{13}C$ encontrados no zooplâncton de águas neríticas sugerem uma pequena influência de fontes de matéria orgânica continental.

Figura 12.11 – Diagrama de ordenação (triplot) da análise de redundância (RDA) entre uma matriz de variáveis-resposta (parâmetros isotópicos) e duas matrizes de variáveis explanatórias (descritores físico-químico-biológicos e espaçotemporais). Os vetores vermelhos representam os parâmetros isotópicos do zooplâncton total: $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) e posição trófica (PT). Os vetores cinzas representam as variáveis ambientais que explicam os parâmetros isotópicos: silicato (Si), abundância de *Synechococcus* (SYNEC), abundância de piceocariotos (PICOE), abundância de nanoeucariotos (NANOE), distância da costa (DISTC), habitat pelágico (NER = nerítico; OCE = oceânico) e massa de água (AC = água costeira; AT = água tropical). Os pontos representam as amostras e estão agrupados conforme as isóbatas de coleta. Os dois eixos canônicos explicam 48,5 % da variação dos dados.

Na Figura 12.11 pode ser observada uma correlação positiva entre a posição trófica do zooplâncton total e o habitat oceânico. O número médio de níveis tróficos no zooplâncton total em águas neríticas e oceânicas foi 2,0 e 2,7, respectivamente (Apêndice 12.8.7). De maneira geral, ambas as províncias pelágicas apresentaram um pequeno número de níveis tróficos na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. Entretanto, a média mais baixa no habitat nerítico provavelmente está relacionada à maior reciclagem de matéria orgânica promovida pelos microrganismos. A eficiência da transferência de matéria e energia ao longo da teia trófica diminui à medida que o número de interações tróficas aumenta (Connell et al., 2017). De acordo com Hannides et al. (2009), uma pequena amplitude nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (3 a 5 ‰) do zooplâncton reflete intensa reciclagem de nitrogênio na teia trófica planctônica. A ampli-

tude dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ do zooplâncton total nos habitats nerítico e oceânico ao largo de Sergipe e sul de Alagoas foi 3,7 e 4,9 ‰, respectivamente (Apêndice 12.8.6). Quanto maior a eficiência na retenção de nitrogênio na zona eufótica, menor é o enriquecimento de ^{15}N (Mullin; Rau; Eppley, 1984). A RDA revelou a importância da teia trófica microbiana para o zooplâncton do ambiente nerítico em Sergipe e sul de Alagoas (Figura 12.11). Estudos quantitativos realizados em outras áreas do Oceano Atlântico revelaram que a maior parte da produção picoplanctônica local é consumida por nanoflagelados heterotróficos e reciclada na própria coluna de água (Karayanni et al., 2008; Vázquez-Domínguez et al., 2008). Além disso, Vázquez-Domínguez et al. (2008) ainda sugerem que a população desses nanoflagelados heterotróficos é controlada por predadores do micro ou mesozooplâncton.

Conforme observado na Figura 12.9, a cianobactéria *Prochlorococcus* parece ser uma importante fonte de carbono para Copepoda (principal grupo do mesozooplâncton) no habitat oceânico. Considerando que as células de *Prochlorococcus* são muito pequenas (0,6 a 0,8 μm de diâmetro) (Mitbavkar e Anil, 2011) para serem consumidas diretamente por copépodos ou outros organismos do mesozooplâncton, nanoeucariotos heterotróficos também constituem um provável elo trófico no ambiente oceânico. Experimentos em laboratório e *in situ* já demonstraram que copépodos predam células nanoplanctônicas, especialmente protistas ciliados (Atkinson, 1996; Levinsen et al., 2000; Vincent e Hartmann, 2001). Entretanto, a reciclagem de matéria orgânica na teia trófica microbiana parece ser um pouco menor no ambiente oceânico ao largo de Sergipe e sul de Alagoas, aumentando a eficiência da transferência energética nas relações tróficas.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.6

CONCLUSÕES

Análises elementares e isotópicas associadas ao uso de ferramentas de estatística multivariada, a exemplo da análise de redundância (RDA) e análise de variância multivariada permutacional (Permanova), foram capazes de responder a uma série de questões relacionadas à biogeoquímica e dinâmica trófica do ecossistema planctônico na margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. As fontes de carbono apresentaram sinais diferentes nas zonas neríticas de Sergipe e 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 áreas adjacentes às bacias hidrográficas dos rios de menor porte (Sergipe, Vaza-Barris e Piauí-Real). O aporte de matéria orgânica continental pelo Rio São Francisco limitou-se a uma distância de 5 km da sua foz, 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.

O principal fator que influenciou as relações tróficas do plâncton na área de estudo foi o gradiente nerítico-oceânico. A teia trófica microbiana exerceu um papel importante na transferência de matéria e energia para o mesozooplâncton da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. O

picofitoplâncton constituiu a principal fonte de carbono para a teia trófica local. Em águas neríticas, a cianobactéria *Synechococcus* e picoeucariotos autotróficos compuseram a base da cadeia trófica. Em águas oceânicas, a cianobactéria *Prochlorococcus* tornou-se mais importante como fonte de carbono. Nanoeucariotos heterotróficos serviram como elo para a transferência desse carbono para níveis tróficos superiores do mesozooplâncton em ambos os habitats pelágicos. Esses microrganismos aumentaram o grau de heterotrofia e reciclagem de carbono na teia trófica pelágica, principalmente na zona nerítica. Além disso, o elevado grau de onivoria no mesoplâncton dificultou a identificação de relações tróficas diretas entre os principais grupos do zooplâncton. Pelo menos alguns desses grupos (ex.: Amphipoda, Copepoda) ocuparam níveis tróficos médios mais elevados no ambiente oceânico do que no ambiente nerítico.

Em suma, as relações tróficas planctônicas ao largo de Sergipe e sul de Alagoas não seguem a estrutura clássica observada em cadeias tróficas pelágicas de ambientes marinhos ricos em nutrientes (ex.: estuários, áreas de ressurgência). Sua estrutura é típica de ambiente marinhos oligotróficos (ex.: centro dos giros subtropicais) tanto na zona nerítica quanto na zona oceânica, visto que a teia trófica microbiana tem papel fundamental no fluxo de matéria e energia para níveis superiores do zooplâncton.

AGRADECIMENTOS

O projeto de pesquisa desenvolvido neste trabalho foi apoiado e financiado pela Petrobras. Os autores agradecem a Alejandro Costa, Amanda Otsuka, Elisabeth Falcão, Gleice Santos, Lucas Figueirêdo, Pedro Melo, Renata Campelo e Simone Lira pela coleta das amostras, filtração de água para separação do material orgânico particulado e triagem do zooplâncton durante os embarques científicos. Também agradecem a Pedro Paulino pelo processamento das amostras em laboratório e realização das análises elementares e isotópicas. Os dados físico-químico-biológicos empregados nas análises estatísticas foram gerados e gentilmente cedidos por colegas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.7

REFERÊNCIAS

ADAMS, T. S.; STERNER, R. W. The effect of dietary nitrogen content on trophic level ^{15}N enrichment. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 45, n. 3, p. 601-607, 2000.

ATKINSON, A. Subantarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation, food selectivity and impact on prey populations. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 130, n. 1-3, p. 85-96, 1996.

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.

BARANGE, M.; PILLAR, S. C. Cross-shelf circulation, zonation and maintenance mechanisms of *Nyctiphanes capensis* and *Euphausia hanseni* (Euphausiacea) in the northern Benguela upwelling system. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 12, n. 9, p. 1027-1042, 1992.

BERGMAN, B. Nitrogen-fixing cyanobacteria in tropical oceans, with emphasis on the western Indian Ocean. **South African Journal of Botany**, Pretoria, v. 67, n. 3, p. 426-432, 2001.

BIANCHI, T. S.; CANUEL, E. A. **Chemical biomarkers in aquatic ecosystems**. Princeton: Princeton University Press, 2011.

BODE, A.; CARRERA, P.; LENS, S. The pelagic foodweb in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. **ICES Journal of Marine Science**, Oxford, v. 60, n. 1, p. 11-22, 2003.

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, n. 2, p. 167-192, 1997.

CARREIRA, R. S. et al. Source and distribution of organic matter in sediments in the SE Brazilian continental shelf influenced by river discharges: an approach using stable isotopes and molecular markers. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 141, p. 80-89, 2015.

CHRISTAKI, U. et al. Grazing impact of different heterotrophic nanoflagellates on eukaryotic (*Ostreococcus tauri*) and prokaryotic picoautotrophs (*Prochlorococcus* and *Synechococcus*). **Environmental Microbiology**, Oxford, v. 7, n. 8, p. 1200-1210, 2005.

CLARIVATE ANALYTICS. **Web of Science**. Versão 5.27. Disponível em: <<https://webofknowledge.com>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

ÇOBAN-YILDIZ, Y. et al. Carbon and nitrogen isotopic ratios of suspended particulate organic matter (SPOM) in the Black Sea water column. **Deep-Sea Research Part II: topical studies in oceanography**, Oxford, v. 53, n. 17-19, p. 1875-1892, 2006.

COLABUONO, F. I. et al. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of organochlorine contaminants in albatrosses and petrels. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 83, n. 1, p. 241-247, 2014.

CONNELL, P. E. et al. Planktonic food web structure at a coastal time-series site: II. Spatiotemporal variability of microbial trophic activities. **Deep-Sea Research Part I: oceanographic research papers**, Oxford, v. 121, p. 210-223, 2017.

CORBISIER, T. N. et al. Trophic structure of benthic communities in the Cabo Frio upwelling system (southeastern Brazilian shelf): a temporal study using stable isotope analysis. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 512, p. 23-38, 2014.

DENIRO, M. J.; EPSTEIN, S. Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. **Science**, Washington, v. 197, n. 4300, p. 261-263, 1977.

DITTMAR, T.; LARA, R. J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 213, p. 67-77, 2001.

DORADO, S. et al. Isotope baseline shifts in pelagic food webs of the Gulf of Mexico. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 464, p. 37-49, 2012.

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.

EMERSON, S. R.; HEDGES, J. I. **Chemical oceanography and the marine carbon cycle**. New York: Cambridge University Press, 2008. 453 p.

FANELLI, E.; CARTES, J. E.; PAPIOL, V. Food web structure of deep-sea macrozooplankton and micronekton off the Catalan slope: insight from stable isotopes. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 79-89, 2011.

FIGUEIREDO JR., A. G. et al. Geomorfologia da plataforma continental da Bacia Sergipe-Alagoas. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13., 2011, Armação dos Búzios. **Anais...**São Paulo: ABEQUA, 2013. p. 163-167. Disponível em: <http://www.abequa.org.br/anais_2011.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2018.

FONTES, L. C.; KOWSMANN, R. O.; PUGA-BERMABEU, A. (Ed.) **Geologia e Geomorfologia da Bacia de Sergipe-Alagoas**. São Cristóvão: Ed. UFS, 2017. 256 p. (COLEÇÃO MARSEAL, 1).

FOREST, A. et al. Carbon biomass, elemental ratios (C:N) and stable isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) of dominant calanoid copepods during the winter-to-summer transition in the Amundsen Gulf (Arctic Ocean). **Journal of Plankton Research**, London, v. 33, n. 3, p. 161-178, 2011.

FRY, B. **Stable Isotope Ecology**. New York: Springer, 2006. 308 p.

FRY, B. et al. Stable isotope indicators of movement and residency for brown shrimp (*Farfantepenaeus aztecus*) in coastal Louisiana marshscapes. **Estuaries**, Columbia, v. 26, n. 1, p. 82-97, 2003.

FRY, B.; QUIÑONES, R. B. Biomass spectra and stable isotope indicators of trophic level in zooplankton of the northwest Atlantic. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 112, n. 1-2, p. 201-204, 1994.

FRY, B.; SHERR, E. B. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. **Contributions in Marine Science**, Port Aransas, v. 27, p. 13-47, 1984.

GARCIA, A. M. et al. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 73, n. 3-4, p. 399-408, 2007.

GIARRIZZO, T.; SCHWAMBORN, R.; SAINT-PAUL, U. Utilization of carbon sources in a northern Brazilian mangrove ecosystem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 95, n. 4, p. 447-457, 2011.

GUIMARÃES, J. T. F. et al. Mid- and late-Holocene sedimentary process and palaeovegetation changes near the mouth of the Amazon River. **The Holocene**, London, v. 22, n. 3, p. 359-370, 2012.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HANNIDES, C. C. S. et al. Quantification of zooplankton trophic position in the North Pacific subtropical gyre using stable nitrogen isotopes. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 54, n. 1, p. 50-61, 2009.

HEDGES, J. I.; STERN, J. H. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 29, n. 3, p. 657-663, 1984.

HENSCHKE, N. et al. Zooplankton trophic niches respond to different water types of the western Tasman Sea: a stable isotope analysis. **Deep-Sea Research Part I: oceanographic research papers**, Oxford, v. 104, p. 1-8, 2015.

HOP, H. et al. Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden. **Progress in Oceanography**, Oxford, v. 71, n. 2-4, p. 182-231, 2006.

JYOTHIBABU, R. et al. Ecology and trophic preference of picoplankton and nanoplankton in the Gulf of Mannar and the Palk Bay, southeast coast of India. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 111, p. 29-44, 2013.

KARAYANNI, H. et al. Heterotrophic nanoflagellate and ciliate bacterivorous activity and growth in the northeast Atlantic Ocean: a seasonal mesoscale study. **Aquatic Microbial Ecology**, Oldendorf, Luhe, v. 51, n. 2, p. 169-181, 2008.

KARL, D. et al. Dinitrogen fixation in the world's oceans. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 57-58, n. 1, p. 47-98, 2002.

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).

KÜRTEEN, B. et al. Carbon and nitrogen stable isotope ratios of pelagic zooplankton elucidate ecohydrographic features in the oligotrophic Red Sea. **Progress in Oceanography**, Oxford, v. 140, p. 69-90, 2016.

LEVINSEN, H. et al. On the trophic coupling between protists and copepods in arctic marine ecosystems. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 204, p. 65-77, 2000.

LIN, Y. C.; CHIANG, K. P.; KANG, L. K. Community composition of picoeukaryotes in the South China Sea during winter. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 143, p. 91-100, 2017.

LORRAIN, A. et al. Decarbonation and preservation method for the analysis of organic C and N contents and stable isotope ratios of low-carbonated suspended particulate material. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 491, n. 2, p. 125-133, 2003.

MCCONNAUGHEY, T.; MCROY, C. P. Food-web structure and the fractionation of carbon isotopes in the Bering Sea. **Marine Biology**, Berlin, v. 53, n. 3, p. 257-262, 1979.

MCCUTCHAN, J. H. et al. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. **Oikos**, Oxford, v. 102, n. 2, p. 378-390, 2003.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 65-78, 2014.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 2, p. 387-397, 2011.

MINAGAWA, M.; WADA, E. Stepwise enrichment of $\delta^{15}\text{N}$ along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 48, n. 5, p. 1135-1140, 1984.

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.

MIYAKE, Y.; WADA, E. The abundance ratio of $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ in marine environments. **Records of Oceanographic Works in Japan**, Tokio, v. 9, n. 1, p. 37-53, 1967.

MULLIN, M. M.; RAU, G. H.; EPPLEY, R. W. Stable nitrogen isotopes in zooplankton: some geographic and temporal variations in the north Pacific. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 29, n. 6, p. 1267-1273, 1984.

OLIVEIRA, E. N. **Impacto de barragens sobre a dispersão de matéria e a sustentabilidade da pluma costeira do Rio São Francisco (AL/SE): análise espacial e temporal por sensoriamento remoto**. 2009. 158 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

PANTOJA, S. et al. Stable isotope constraints on the nitrogen cycle of the Mediterranean Sea water column. **Deep-Sea Research Part I: oceanographic research papers**, Oxford, v. 49, n. 9, p. 1609-1621, 2002.

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.

PAULINO, P. N. C. **Variabilidade Sazonal da Concentração de Material Particulado em Suspensão na Margem Continental de Sergipe e Sul de Alagoas**. 2015. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

POMERLEAU, C. et al. The effect of acidification and the combined effects of acidification/lipid extraction on carbon stable isotope ratios for sub-arctic and arctic marine zooplankton species. **Polar Biology**, [S. l.], v. 37, n. 10, p. 1541-1548, 2014.

POST, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. **Ecology**, Brooklyn, v. 83, n. 3, p. 703-718, 2002.

POST, D. M. et al. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. **Oecologia**, Berlin, v. 152, n. 1, p. 179-189, 2007.

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.

REZENDE, C. E. et al. Lignin phenols used to infer organic matter sources to Sepetiba Bay - RJ, Brasil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 87, n. 3, p. 479-486, 2010.

REZENDE, C. E. et al. Nature of POC transport in a mangrove ecosystem: a carbon stable isotopic study. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 30, n. 6, p. 641-645, 1990.

ROLFF, C.; ELMGREN, R. Use of riverine organic matter in plankton food webs of the Baltic Sea. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 197, p. 81-101, 2000.

SCHWAMBORN, R. et al. How important are mangroves as a carbon source for decapod crustacean larvae in a tropical estuary? **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 229, p. 195-205, 2002.

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. 201-210, 1999.

SEIDEL, M. et al. Molecular-level changes of dissolved organic matter along the Amazon River-to-ocean continuum. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 177, p. 218-231, 2015.

SHELDON, R. W.; PRAKASH, A; SUTCLIFFE JR.; W. H.. The size distribution of particles in the ocean. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 17, n. 3, p. 327-340, 1972.

SHERR, E.; SHERR, B. Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 33, n. 5, p. 1225-1227, 1988.

SOARES, L. S. H. et al. Seasonal variability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of fish and squid in the Cabo Frio upwelling system of the southwestern Atlantic. **Marine Ecology Progress Series**, Amelinghausen, v. 512, p. 9-21, 2014.

SOGAWA, S. et al. Feeding habits of six species of euphausiids (Decapoda: Euphausiacea) in the northwestern Pacific Ocean determined by carbon and nitrogen stable isotope ratios. **Journal of Crustacean Biology**, Woods Hole, v. 37, n. 1, p. 29-36, 2017.

VANDERKLIFT, M. A.; PONSARD, S. Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. **Oecologia**, Berlin, v. 136, n. 2, p. 169-182, 2003.

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.

VINCENT, D.; HARTMANN, H. J. Contribution of ciliated microprotozoans and dinoflagellates to the diet of three copepod species in the Bay of Biscay. **Hydrobiologia**, Hague, v. 443, n. 1-3, p. 193-204, 2001.

WAITE, A. M. et al. Food web structure in two counter-rotating eddies based on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotopic analyses. **Deep-Sea Research Part II: topical studies in oceanography**, Oxford, v. 54, n. 8-10, p. 1055-1075, 2007.

ZWIRGLMAIER, K. et al. Global phylogeography of marine *Synechococcus* and *Prochlorococcus* reveals a distinct partitioning of lineages among oceanic biomes. **Environmental Microbiology**, Oxford, v. 10, n. 1, p. 147-161, 2008.

12.1 – ESTUDOS ISOTÓPICOS NA COSTA BRASILEIRA

12.2 – METODOLOGIA APLICADA

12.3 – COMPOSIÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO PARTICULADO E DO ZOOPLÂNCTON

12.4 – VARIABILIDADE ESPAÇOTEMPORAL

12.4.1 – Variação temporal

12.4.2 – Variação nerítico-oceânico

12.4.3 – Variação latitudinal

12.4.4 – Influência dos cânions

12.5 – ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

12.6 – CONCLUSÕES

12.7 – REFERÊNCIAS

12.8 – APÊNDICE

12.8

APÊNDICE

Apêndice 12.8.1 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de material orgânico particulado (MOP) coletadas em águas neríticas superficiais (1 m de profundidade) da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	23	6,42	6,37	3,73	8,47	1,10
Período						
Chuvoso	11	6,56	6,42	4,63	8,47	1,09
Seco	12	6,31	6,33	3,73	7,86	1,16
Isóbata						
10 m	8	6,18	6,31	4,63	8,47	1,19
25 m	7	6,56	6,59	5,36	7,86	0,87
50 m	8	6,50	6,25	3,73	7,68	1,30
Transecto						
A	6	5,53	5,42	3,73	6,42	0,91
C	6	6,74	6,78	5,81	7,68	0,67
E	6	6,40	6,62	5,48	8,47	1,18
H	5	7,07	6,72	4,63	7,86	1,23

Apêndice 12.8.2 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de material orgânico particulado (MOP) coletadas em águas neríticas superficiais (1 m de profundidade) da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	23	-20,58	-20,54	-22,26	-18,36	0,91
Período						
Chuvoso	11	-20,69	-20,58	-22,26	-19,11	0,90
Seco	12	-20,49	-20,50	-21,76	-18,36	0,96
Isóbata						
10 m	8	-20,38	-20,49	-22,26	-19,11	0,97
25 m	7	-20,69	-20,71	-21,76	-19,71	0,72
50 m	8	-20,65	-20,43	-21,62	-18,36	1,07
Transecto						
A	6	-19,85	-19,76	-20,58	-18,36	0,75
C	6	-20,84	-20,87	-21,62	-20,08	0,55
E	6	-20,56	-20,74	-22,26	-19,80	0,97
H	5	-21,11	-20,83	-21,76	-19,11	1,01

Apêndice 12.8.3 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de material orgânico particulado (MOP) coletadas em águas neríticas superficiais (1 m de profundidade) da plataforma continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	24	4,74	4,70	1,01	6,64	1,40
Período						
Chuvoso	12	5,03	4,80	1,01	6,64	1,59
Seco	12	4,70	4,59	2,29	6,38	1,23
Isóbata						
10 m	8	5,54	5,43	3,89	6,38	0,95
25 m	8	4,70	4,69	2,36	6,64	1,20
50 m	8	4,07	3,97	1,01	5,95	1,68
Transecto						
A	6	4,74	4,41	1,01	6,36	1,83
C	6	5,26	5,28	4,30	6,38	0,80
E	6	4,73	4,92	3,53	6,36	0,95
H	6	3,95	4,17	2,29	6,64	1,78

Apêndice 12.8.4 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de zooplâncton total coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	56	4,70	4,78	4,26	5,94	0,34
Período						
Chuvoso	28	4,70	4,82	4,38	5,94	0,39
Seco	28	4,71	4,75	4,26	5,29	0,27
Habitat pelágico						
Nerítico	24	4,91	4,95	4,26	5,94	0,38
Oceânico	32	4,59	4,66	4,38	5,29	0,23
Isóbata						
10 m	8	4,97	4,93	4,26	5,80	0,47
25 m	8	4,89	4,89	4,51	5,32	0,28
50 m	8	4,96	5,05	4,70	5,94	0,40
400 m	8	4,66	4,69	4,43	5,25	0,25
1.000 m	8	4,75	4,76	4,38	5,29	0,29
1.900 m	8	4,62	4,63	4,43	4,99	0,19
3.000 m	8	4,49	4,55	4,40	4,95	0,18
Transecto						
A	14	4,68	4,76	4,40	5,94	0,39
C	14	4,73	4,79	4,26	5,80	0,39
E	14	4,61	4,69	4,38	5,08	0,23
H	14	4,93	4,89	4,43	5,32	0,31

Apêndice 12.8.5 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de zooplâncton total coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	56	-19,16	-19,23	-20,18	-18,80	0,28
Período						
Chuvoso	28	-19,16	-19,26	-20,18	-18,90	0,32
Seco	28	-19,17	-19,20	-19,65	-18,80	0,22
Habitat pelágico						
Nerítico	24	-19,34	-19,37	-20,18	-18,80	0,31
Oceânico	32	-19,07	-19,13	-19,65	-18,90	0,19
Isóbata						
10 m	8	-19,38	-19,35	-20,07	-18,80	0,39
25 m	8	-19,33	-19,32	-19,67	-19,01	0,23
50 m	8	-19,38	-19,45	-20,18	-19,16	0,33
400 m	8	-19,13	-19,16	-19,61	-18,94	0,20
1.000 m	8	-19,20	-19,21	-19,65	-18,90	0,24
1.900 m	8	-19,10	-19,11	-19,40	-18,94	0,16
3.000 m	8	-18,99	-19,04	-19,37	-18,92	0,15
Transecto						
A	14	-19,14	-19,21	-20,18	-18,92	0,32
C	14	-19,18	-19,23	-20,07	-18,80	0,32
E	14	-19,09	-19,16	-19,48	-18,90	0,19
H	14	-19,35	-19,32	-19,67	-18,94	0,26

Apêndice 12.8.6 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de zooplâncton total coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	56	5,61	5,51	2,94	8,77	1,42
Período						
Chuvoso	28	5,32	5,32	2,94	7,47	1,42
Seco	28	5,88	5,70	3,52	8,77	1,43
Habitat pelágico						
Nerítico	24	6,68	6,65	5,03	8,77	0,84
Oceânico	32	4,53	4,66	2,94	7,79	1,15
Isóbata						
10 m	8	6,97	7,00	6,42	7,81	0,48
25 m	8	6,70	6,56	5,36	7,46	0,64
50 m	8	6,25	6,40	5,03	8,77	1,21
400 m	8	5,57	5,39	3,81	6,40	0,85
1.000 m	8	5,31	4,88	3,02	6,00	1,06
1.900 m	8	4,19	4,24	3,52	5,00	0,62
3.000 m	8	3,71	4,11	2,94	7,79	1,55
Transecto						
A	14	4,67	4,88	3,02	7,47	1,40
C	14	5,99	5,72	3,30	8,77	1,75
E	14	6,10	5,89	3,29	7,79	1,17
H	14	5,88	5,56	2,94	6,95	1,24

Apêndice 12.8.7 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de zooplâncton total coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	56	2,3	2,4	1,2	4,3	0,6
Período						
Chuvoso	28	2,2	2,3	1,2	3,4	0,5
Seco	28	2,3	2,5	1,2	4,3	0,7
Habitat pelágico						
Nerítico	24	2,0	2,0	1,2	3,0	0,4
Oceânico	32	2,7	2,7	1,9	4,3	0,6
Isóbata						
10 m	8	2,1	2,2	1,9	2,6	0,2
25 m	8	2,0	1,9	1,3	2,4	0,3
50 m	8	1,8	1,9	1,2	3,0	0,6
400 m	8	3,2	3,1	2,3	3,6	0,4
1.000 m	8	3,1	2,8	1,9	3,4	0,5
1.900 m	8	2,5	2,5	2,2	2,9	0,3
3.000 m	8	2,3	2,5	1,9	4,3	0,8
Transecto						
A	14	2,2	2,1	1,2	2,8	0,5
C	14	2,4	2,5	1,7	3,4	0,5
E	14	2,5	2,6	1,6	4,3	0,8
H	14	2,2	2,4	1,8	3,4	0,6

Apêndice 12.8.8 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de Amphipoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	11	4,90	4,99	4,61	5,51	0,27
Período						
Chuvoso	4	4,79	4,86	4,61	5,26	0,28
Seco	7	5,08	5,07	4,78	5,51	0,25
Habitat pelágico						
Nerítico	4	4,87	4,88	4,61	5,17	0,23
Oceânico	7	5,08	5,06	4,75	5,51	0,28
Isóbata						
50 m	4	4,87	4,88	4,61	5,17	0,23
400 m	4	4,93	4,94	4,75	5,15	0,20
1.000 m	2	5,07	5,07	4,87	5,26	0,28
1.900 m	1	5,51	5,51	5,51	5,51	-
Transecto						
A	3	5,08	5,07	4,61	5,51	0,45
C	2	4,98	4,98	4,78	5,17	0,28
E	1	4,90	4,90	4,90	4,90	-
H	5	4,87	4,97	4,75	5,26	0,22

Apêndice 12.8.9 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de Amphipoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	11	-19,33	-19,40	-19,83	-19,09	0,22
Período						
Chuvoso	4	-19,24	-19,30	-19,62	-19,09	0,23
Seco	7	-19,47	-19,46	-19,83	-19,23	0,20
Habitat pelágico						
Nerítico	4	-19,30	-19,31	-19,55	-19,09	0,19
Oceânico	7	-19,47	-19,46	-19,83	-19,21	0,23
Isóbata						
50 m	4	-19,30	-19,31	-19,55	-19,09	0,19
400 m	4	-19,35	-19,36	-19,53	-19,21	0,16
1.000 m	2	-19,46	-19,46	-19,62	-19,30	0,23
1.900 m	1	-19,83	-19,83	-19,83	-19,83	-
Transecto						
A	3	-19,47	-19,46	-19,83	-19,09	0,37
C	2	-19,39	-19,39	-19,55	-19,23	0,23
E	1	-19,33	-19,33	-19,33	-19,33	-
H	5	-19,30	-19,39	-19,62	-19,21	0,18

Apêndice 12.8.10 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de Amphipoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	11	5,96	6,10	4,41	8,89	1,21
Período						
Chuvoso	4	5,77	5,63	4,41	6,58	0,91
Seco	7	6,07	6,36	4,96	8,89	1,34
Habitat pelágico						
Nerítico	4	6,51	6,45	5,57	7,21	0,68
Oceânico	7	5,65	5,89	4,41	8,89	1,44
Isóbata						
50 m	4	6,51	6,45	5,57	7,21	0,68
400 m	4	5,69	6,17	4,41	8,89	1,94
1.000 m	2	5,81	5,81	5,65	5,96	0,22
1.900 m	1	4,96	4,96	4,96	4,96	-
Transecto						
A	3	5,57	5,53	4,96	6,07	0,56
C	2	5,87	5,87	5,30	6,44	0,81
E	1	7,21	7,21	7,21	7,21	-
H	5	5,96	6,30	4,41	8,89	1,65

Apêndice 12.8.11 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de Amphipoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	11	2,9	2,8	1,4	4,9	1,0
Período						
Chuvoso	4	2,3	2,3	1,4	3,4	0,9
Seco	7	3,1	3,1	1,9	4,9	1,0
Habitat pelágico						
Nerítico	4	1,9	1,9	1,4	2,3	0,4
Oceânico	7	3,2	3,4	2,6	4,9	0,7
Isóbata						
50 m	4	1,9	1,9	1,4	2,3	0,4
400 m	4	3,3	3,5	2,6	4,9	1,0
1.000 m	2	3,3	3,3	3,2	3,4	0,1
1.900 m	1	2,9	2,9	2,9	2,9	-
Transecto						
A	3	2,9	2,6	1,4	3,4	1,0
C	2	2,5	2,5	1,9	3,1	0,8
E	1	2,3	2,3	2,3	2,3	-
H	5	3,2	3,2	1,9	4,9	1,1

Apêndice 12.8.12 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de Chaetognatha coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	44	4,62	4,71	3,50	5,63	0,39
Período						
Chuvoso	21	4,85	4,88	4,29	5,63	0,37
Seco	23	4,53	4,55	3,50	5,13	0,34
Habitat pelágico						
Nerítico	17	4,58	4,69	4,18	5,63	0,40
Oceânico	27	4,73	4,72	3,50	5,62	0,39
Isóbata						
10 m	7	4,98	4,91	4,39	5,63	0,45
25 m	4	4,59	4,54	4,35	4,64	0,13
50 m	6	4,48	4,54	4,18	5,25	0,38
400 m	7	4,87	4,81	4,49	5,13	0,24
1.000 m	6	4,73	4,65	4,26	4,85	0,22
1.900 m	6	4,70	4,87	4,44	5,62	0,49
3.000 m	8	4,60	4,58	3,50	5,07	0,51
Transecto						
A	11	4,60	4,72	4,46	5,26	0,26
C	11	4,87	4,88	4,35	5,63	0,48
E	11	4,53	4,51	3,50	5,03	0,43
H	11	4,64	4,73	4,29	5,28	0,30

Apêndice 12.8.13 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de Chaetognatha coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	44	-19,10	-19,17	-19,93	-18,18	0,32
Período						
Chuvoso	21	-19,29	-19,32	-19,93	-18,83	0,31
Seco	23	-19,02	-19,04	-19,52	-18,18	0,28
Habitat pelágico						
Nerítico	17	-19,07	-19,16	-19,93	-18,73	0,33
Oceânico	27	-19,19	-19,18	-19,92	-18,18	0,32
Isóbata						
10 m	7	-19,40	-19,34	-19,93	-18,91	0,37
25 m	4	-19,08	-19,04	-19,11	-18,88	0,11
50 m	6	-18,98	-19,03	-19,62	-18,73	0,31
400 m	7	-19,31	-19,25	-19,52	-18,99	0,19
1.000 m	6	-19,19	-19,13	-19,29	-18,80	0,19
1.900 m	6	-19,16	-19,30	-19,92	-18,95	0,40
3.000 m	8	-19,08	-19,07	-19,47	-18,18	0,42
Transecto						
A	11	-19,08	-19,18	-19,63	-18,96	0,21
C	11	-19,31	-19,32	-19,93	-18,88	0,40
E	11	-19,02	-19,01	-19,43	-18,18	0,35
H	11	-19,11	-19,19	-19,64	-18,83	0,25

Apêndice 12.8.14 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de Chaetognatha coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	44	6,30	6,15	3,36	9,33	1,52
Período						
Chuvoso	21	6,23	6,12	3,36	9,33	1,63
Seco	23	6,42	6,17	3,73	8,80	1,45
Habitat pelágico						
Nerítico	17	7,36	7,45	6,21	9,33	1,01
Oceânico	27	5,22	5,33	3,36	7,54	1,18
Isóbata						
10 m	7	8,31	8,17	6,21	9,33	0,98
25 m	4	6,98	7,05	6,23	8,02	0,80
50 m	6	6,68	6,87	6,36	8,28	0,71
400 m	7	6,20	5,91	4,70	6,90	0,90
1.000 m	6	5,94	5,83	4,16	7,54	1,31
1.900 m	6	4,93	5,02	3,59	6,75	1,28
3.000 m	8	4,60	4,67	3,36	6,36	0,96
Transecto						
A	11	6,36	6,05	3,59	9,33	1,82
C	11	6,21	5,95	3,76	8,54	1,32
E	11	6,36	6,43	4,13	8,31	1,47
H	11	6,71	6,16	3,36	8,04	1,61

Apêndice 12.8.15 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de Chaetognatha coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	44	2,8	2,8	1,8	4,2	0,6
Período						
Chuvoso	21	2,9	2,9	1,8	4,2	0,7
Seco	23	2,7	2,7	1,8	3,9	0,6
Habitat pelágico						
Nerítico	17	2,3	2,4	1,8	3,3	0,5
Oceânico	27	3,0	3,1	2,1	4,2	0,6
Isóbata						
10 m	7	2,8	2,7	1,8	3,3	0,5
25 m	4	2,2	2,2	1,8	2,7	0,4
50 m	6	2,0	2,1	1,8	2,8	0,4
400 m	7	3,5	3,4	2,8	3,9	0,4
1.000 m	6	3,4	3,3	2,5	4,2	0,7
1.900 m	6	2,9	2,9	2,2	3,8	0,6
3.000 m	8	2,7	2,8	2,1	3,6	0,5
Transecto						
A	11	2,8	2,8	2,0	3,6	0,6
C	11	2,7	2,7	1,8	3,8	0,7
E	11	2,8	3,0	1,8	4,2	0,7
H	11	2,7	2,7	2,0	3,8	0,6

Apêndice 12.8.16 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de Copepoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	54	4,37	4,44	3,90	6,13	0,37
Período						
Chuvoso	26	4,37	4,48	3,90	6,13	0,47
Seco	28	4,37	4,40	4,02	4,98	0,26
Habitat pelágico						
Nerítico	22	4,64	4,68	4,25	6,13	0,43
Oceânico	32	4,28	4,27	3,90	4,86	0,22
Isóbata						
10 m	7	4,83	4,87	4,25	6,13	0,63
25 m	7	4,47	4,60	4,25	5,16	0,34
50 m	8	4,62	4,59	4,36	4,98	0,22
400 m	8	4,33	4,34	4,10	4,62	0,20
1.000 m	8	4,34	4,32	3,99	4,54	0,19
1.900 m	8	4,31	4,25	3,90	4,48	0,20
3.000 m	8	4,18	4,20	3,92	4,86	0,29
Transecto						
A	14	4,27	4,31	3,90	5,10	0,29
C	14	4,49	4,62	4,03	6,13	0,52
E	14	4,30	4,37	4,02	4,85	0,27
H	12	4,38	4,47	3,92	4,98	0,32

Apêndice 12.8.17 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de Copepoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	54	-18,89	-18,95	-20,34	-18,89	0,31
Período						
Chuvoso	26	-18,89	-18,98	-20,34	-18,51	0,39
Seco	28	-18,89	-18,92	-19,40	-18,60	0,22
Habitat pelágico						
Nerítico	22	-19,12	-19,15	-20,34	-18,79	0,35
Oceânico	32	-18,81	-18,81	-19,29	-18,51	0,18
Isóbata						
10 m	7	-19,27	-19,30	-20,34	-18,79	0,52
25 m	7	-18,98	-19,08	-19,54	-18,79	0,28
50 m	8	-19,09	-19,07	-19,40	-18,88	0,18
400 m	8	-18,86	-18,86	-19,10	-18,67	0,16
1.000 m	8	-18,87	-18,85	-19,03	-18,58	0,16
1.900 m	8	-18,85	-18,80	-18,98	-18,51	0,16
3.000 m	8	-18,74	-18,75	-19,29	-18,52	0,24
Transecto						
A	14	-18,81	-18,84	-19,49	-18,51	0,24
C	14	-18,99	-19,09	-20,34	-18,61	0,43
E	14	-18,83	-18,89	-19,29	-18,60	0,22
H	12	-18,90	-18,98	-19,40	-18,52	0,27

Apêndice 12.8.18 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de Copepoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	54	5,42	5,43	2,63	8,85	1,40
Período						
Chuvoso	26	5,29	5,11	3,36	7,44	1,12
Seco	28	5,84	5,73	2,63	8,85	1,59
Habitat pelágico						
Nerítico	22	6,08	6,17	5,13	8,17	0,78
Oceânico	32	4,45	4,91	2,63	8,85	1,52
Isóbata						
10 m	7	6,65	6,57	5,44	7,44	0,63
25 m	7	5,88	5,93	5,35	6,83	0,49
50 m	8	5,65	6,04	5,13	8,17	1,02
400 m	8	5,44	5,39	3,40	7,03	1,11
1.000 m	8	4,99	4,76	3,28	6,95	1,21
1.900 m	8	4,14	4,82	3,56	8,85	1,71
3.000 m	8	3,96	4,69	2,63	8,25	2,08
Transecto						
A	14	4,83	5,08	2,63	8,85	1,82
C	14	5,66	5,34	3,81	7,03	1,14
E	14	5,42	5,51	3,56	7,66	1,16
H	12	5,45	5,84	3,36	8,25	1,49

Apêndice 12.8.19 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de Copepoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	54	2,3	2,4	1,2	4,8	0,8
Período						
Chuvoso	26	2,3	2,3	1,3	3,2	0,6
Seco	28	2,3	2,5	1,2	4,8	1,0
Habitat pelágico						
Nerítico	22	1,7	1,7	1,2	2,7	0,4
Oceânico	32	2,7	2,9	1,7	4,8	0,8
Isóbata						
10 m	7	2,0	1,9	1,4	2,4	0,3
25 m	7	1,6	1,6	1,3	2,1	0,3
50 m	8	1,5	1,7	1,2	2,7	0,5
400 m	8	3,1	3,1	2,1	3,9	0,5
1.000 m	8	2,9	2,8	2,0	3,9	0,6
1.900 m	8	2,5	2,8	2,2	4,8	0,9
3.000 m	8	2,4	2,7	1,7	4,5	1,0
Transecto						
A	14	2,1	2,2	1,2	4,8	0,9
C	14	2,4	2,3	1,6	3,9	0,6
E	14	2,2	2,4	1,3	4,2	0,9
H	12	2,9	2,7	1,3	4,5	0,9

Apêndice 12.8.20 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de Decapoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	18	4,63	4,55	3,23	5,37	0,52
Período						
Chuvoso	11	4,47	4,57	4,06	5,37	0,47
Seco	7	4,74	4,52	3,23	4,98	0,62
Habitat pelágico						
Nerítico	15	4,77	4,66	4,06	5,37	0,42
Oceânico	3	4,27	4,00	3,23	4,51	0,68
Isóbata						
10 m	4	4,57	4,53	4,06	4,92	0,40
25 m	5	4,47	4,49	4,07	4,98	0,39
50 m	6	4,93	4,89	4,15	5,37	0,43
400 m	1	4,51	4,51	4,51	4,51	-
1.900 m	1	4,27	4,27	4,27	4,27	-
3.000 m	1	3,23	3,23	3,23	3,23	-
Transecto						
A	5	4,74	4,69	4,07	5,37	0,53
C	6	4,25	4,20	3,23	4,94	0,57
E	3	4,92	4,76	4,16	5,21	0,54
H	4	4,78	4,75	4,51	4,92	0,17

Apêndice 12.8.21 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de Decapoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	18	-19,11	-19,04	-19,71	-17,96	0,42
Período						
Chuvoso	11	-18,98	-19,06	-19,71	-18,64	0,39
Seco	7	-19,20	-19,02	-19,39	-17,96	0,51
Habitat pelágico						
Nerítico	15	-19,22	-19,13	-19,71	-18,64	0,35
Oceânico	3	-18,81	-18,59	-19,01	-17,96	0,56
Isóbata						
10 m	4	-19,05	-19,02	-19,35	-18,64	0,33
25 m	5	-18,98	-18,99	-19,39	-18,65	0,32
50 m	6	-19,35	-19,32	-19,71	-18,71	0,35
400 m	1	-19,10	-19,10	-19,10	-19,10	-
1.900 m	1	-18,81	-18,81	-18,81	-18,81	-
3.000 m	1	-17,96	-17,96	-17,96	-17,96	-
Transecto						
A	5	-19,20	-19,15	-19,71	-18,65	0,43
C	6	-18,79	-18,75	-19,36	-17,96	0,46
E	3	-19,35	-19,22	-19,58	-18,72	0,45
H	4	-19,23	-19,20	-19,34	-19,01	0,14

Apêndice 12.8.22 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de Decapoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	18	6,38	5,91	3,36	7,84	1,32
Período						
Chuvoso	11	6,83	6,49	4,17	7,84	1,15
Seco	7	4,97	5,00	3,36	6,86	1,08
Habitat pelágico						
Nerítico	15	6,60	6,24	4,42	7,84	1,13
Oceânico	3	4,17	4,26	3,36	5,24	0,94
Isóbata						
10 m	4	7,26	7,30	6,86	7,84	0,48
25 m	5	6,83	6,48	4,97	7,18	0,88
50 m	6	5,07	5,32	4,42	6,60	0,93
400 m	1	5,24	5,24	5,24	5,24	-
1.900 m	1	4,17	4,17	4,17	4,17	-
3.000 m	1	3,36	3,36	3,36	3,36	-
Transecto						
A	5	4,61	5,03	4,17	6,83	1,05
C	6	6,58	6,12	3,36	7,84	1,54
E	3	6,89	6,89	6,20	7,58	0,69
H	4	6,09	5,94	4,42	7,18	1,33

Apêndice 12.8.23 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de Decapoda coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	18	2,1	1,9	0,9	3,0	0,6
Período						
Chuvoso	11	2,1	2,0	0,9	2,6	0,5
Seco	7	1,4	1,7	0,9	3,0	0,8
Habitat pelágico						
Nerítico	15	2,0	1,8	0,9	2,6	0,6
Oceânico	3	2,5	2,5	2,1	3,0	0,5
Isóbata						
10 m	4	2,3	2,3	2,1	2,6	0,2
25 m	5	2,1	1,9	1,1	2,2	0,4
50 m	6	1,2	1,3	0,9	2,0	0,5
400 m	1	3,0	3,0	3,0	3,0	-
1.900 m	1	2,5	2,5	2,5	2,5	-
3.000 m	1	2,1	2,1	2,1	2,1	-
Transecto						
A	5	1,1	1,5	0,9	2,5	0,7
C	6	2,1	2,0	1,4	2,6	0,4
E	3	2,1	2,1	1,7	2,4	0,4
H	4	2,2	2,1	0,9	3,0	0,9

Apêndice 12.8.24 – Resultados estatísticos descritivos da razão atômica entre carbono orgânico e nitrogênio total (C/N) nas amostras de Euphausiacea coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL C/N	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	20	4,32	4,36	3,82	5,03	0,27
Período						
Chuvoso	11	4,25	4,35	4,07	4,73	0,23
Seco	9	4,34	4,36	3,82	5,03	0,34
Habitat pelágico						
Nerítico	1	5,03	5,03	5,03	5,03	-
Oceânico	19	4,29	4,32	3,82	4,73	0,23
Isóbata						
25 m	1	5,03	5,03	5,03	5,03	-
400 m	1	4,68	4,68	4,68	4,68	-
1.000 m	6	4,20	4,24	3,82	4,73	0,31
1.900 m	6	4,40	4,41	4,22	4,59	0,15
3.000 m	6	4,25	4,25	4,09	4,46	0,15
Transecto						
A	6	4,26	4,31	4,10	4,68	0,20
C	4	4,45	4,43	4,09	4,73	0,28
E	5	4,41	4,44	4,07	5,03	0,36
H	5	4,24	4,27	3,82	4,59	0,29

Apêndice 12.8.25 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) nas amostras de Euphausiacea coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{13}\text{C}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	20	-18,85	-18,88	-19,43	-18,44	0,22
Período						
Chuvoso	11	-18,79	-18,88	-19,19	-18,64	0,19
Seco	9	-18,87	-18,89	-19,43	-18,44	0,27
Habitat pelágico						
Nerítico	1	-19,43	-19,43	-19,43	-19,43	-
Oceânico	19	-18,83	-18,85	-19,19	-18,44	0,19
Isóbata						
25 m	1	-19,43	-19,43	-19,43	-19,43	-
400 m	1	-19,15	-19,15	-19,15	-19,15	-
1.000 m	6	-18,76	-18,79	-19,19	-18,44	0,26
1.900 m	6	-18,92	-18,93	-19,07	-18,77	0,12
3.000 m	6	-18,79	-18,80	-18,97	-18,67	0,12
Transecto						
A	6	-18,80	-18,84	-19,15	-18,67	0,17
C	4	-18,96	-18,94	-19,19	-18,67	0,22
E	5	-18,93	-18,95	-19,43	-18,64	0,30
H	5	-18,79	-18,81	-19,07	-18,44	0,24

Apêndice 12.8.26 – Resultados estatísticos descritivos dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) nas amostras de Euphausiacea coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL $\delta^{15}\text{N}$ (‰)	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	20	3,24	3,23	1,51	5,50	1,12
Período						
Chuvoso	11	3,42	3,20	1,51	5,50	1,28
Seco	9	3,03	3,27	1,83	4,45	0,95
Habitat pelágico						
Nerítico	1	4,03	4,03	4,03	4,03	-
Oceânico	19	3,06	3,19	1,51	5,50	1,13
Isóbata						
25 m	1	4,03	4,03	4,03	4,03	-
400 m	1	3,06	3,06	3,06	3,06	-
1.000 m	6	3,63	3,64	2,06	3,63	1,40
1.900 m	6	3,66	3,58	2,98	3,66	0,51
3.000 m	6	1,82	2,37	1,51	1,82	1,08
Transecto						
A	6	2,61	2,43	1,51	3,06	0,64
C	4	3,67	3,74	3,03	4,60	0,68
E	5	4,03	3,90	1,60	5,50	1,43
H	5	3,42	3,10	1,81	4,19	1,11

Apêndice 12.8.27 – Resultados estatísticos descritivos da posição trófica (PT) das amostras de Euphausiacea coletadas em águas superficiais (1 m de profundidade) da margem continental de Sergipe e sul de Alagoas. A estatística descritiva foi aplicada ao conjunto completo de dados e também a subconjuntos separados conforme as seguintes variáveis explanatórias: período do ano, habitat pelágico, isóbata e transecto.

VARIÁVEL PT – POSIÇÃO TRÓFICA	n	MEDIANA	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Dados completos	20	1,9	1,9	0,7	3,2	0,6
Período						
Chuvoso	11	2,1	2,0	1,2	3,2	0,6
Seco	9	1,9	1,8	0,7	2,6	0,6
Habitat pelágico						
Nerítico	1	0,7	0,7	0,7	0,7	-
Oceânico	19	1,9	2,0	1,2	3,2	0,6
Isóbata						
25 m	1	0,7	0,7	0,7	0,7	-
400 m	1	1,9	1,9	1,9	1,9	-
1.000 m	6	2,2	2,2	1,4	3,2	0,7
1.900 m	6	2,3	2,2	1,9	2,5	0,3
3.000 m	6	1,3	1,6	1,2	2,4	0,5
Transecto						
A	6	1,7	1,6	1,2	1,9	0,3
C	4	2,3	2,3	1,9	2,7	0,4
E	5	2,4	2,0	0,7	3,2	1,0
H	5	2,1	1,9	1,3	2,5	0,6