



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.16.17.28-TDI

**ECOLOGIA ESPACIAL DA SARDINHA VERDADEIRA
(*Sardinella brasiliensis* Steindachner 1879): PADRÕES
RELACIONADOS À VARIABILIDADE ATMOSFÉRICA
E OCEÂNICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE**

Luiz Eduardo de Souza Moraes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Eduardo Tavares Paes; aprovada em 17 de setembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CF6A2S>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.16.17.28-TDI

**ECOLOGIA ESPACIAL DA SARDINHA VERDADEIRA
(*Sardinella brasiliensis* Steindachner 1879): PADRÕES
RELACIONADOS À VARIABILIDADE ATMOSFÉRICA
E OCEÂNICA NO ATLÂNTICO SUDOESTE**

Luiz Eduardo de Souza Moraes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Eduardo Tavares Paes; aprovada em 17 de setembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CF6A2S>>

INPE
São José dos Campos
2012

Moraes, Luiz Eduardo de Souza.

M791e Ecologia espacial da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis* Steindachner 1879): padrões relacionados à variabilidade atmosférica e oceânica no Atlântico Sudoeste / Luiz Eduardo de Souza Moraes. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxxvi + 286 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.16.17.28-TDI)

Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientadores : Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Eduardo Tavares Paes.

1. sardinha verdadeira. 2. variabilidade ambiental. 3. distribuição espacial sensoriamento remoto. 4. Plataforma Continental Sudeste Brasileira. I.Título.

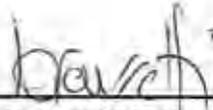
CDU 528.88:551.465.8(815/816)

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Sensoriamento Remoto

Dr. João Antonio Lorenzetti



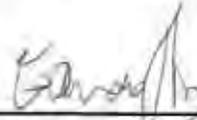
Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Douglas Francisco Marcolino
Gherardi



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Eduardo Tavares Paes



Orientador(a) / UFRA / Belém - PA

Dr. José Henrique Muelbert



Convidado(a) / FURG / Rio Grande - RS

Dra. Flávia Lucena Frédou



Convidado(a) / UFRPE / Recife - PE

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Luiz Eduardo de Souza Moraes**

São José dos Campos, 17 de Setembro de 2012

*“O começo de todas as ciências é
o espanto de as coisas serem o que são”*

Aristóteles

A meus pais

Leopoldo Pereira Moraes (in memoriam) e Vera Lúcia de Souza Moraes

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Douglas F. M. Gherardi, pelo voto de confiança, apoio, orientação acadêmica, e por me permitir a experiência de um processo natural de amadurecimento, característica principal de um doutoramento.

Ao Dr. Eduardo Tavares Paes pelo apoio, pela orientação, pela chance de ingresso no INPE, e de retorno ao mundo acadêmico.

Ao Dr. Ronald Buss de Souza, meu orientador durante o período como bolsista PCI, pela oportunidade de ingressar no INPE em 2007.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido na forma de Bolsa de doutoramento.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por toda infraestrutura e condições necessárias a um bom desenvolvimento da pesquisa acadêmica.

Aos Professores e Funcionários da Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE, pelo ótimo trabalho, e pela convivência agradável ao longo dos meus cinco anos de vínculo à Divisão.

Ao Dr. Mario Katsuragawa, Coordenador de Pesquisa do Laboratório de Ictioplâncton do Instituto Oceanográfico da USP, pela parceria e concessão dos dados dos cruzeiros de ictioplâncton utilizados neste trabalho. Deixo também um agradecimento às equipes responsáveis pela coleta e triagem dos dados obtidos durante estes cruzeiros, e à Maria de Lourdes Zani-Teixeira por todo o auxílio na localização e organização dessas informações.

Ao Instituto de Pesca de São Paulo pela concessão dos dados de captura de sardinha verdadeira correspondentes os desembarques na região de Santos. Agradeço especialmente aos Drs. Antônio Olinto Ávila da Silva e Marcus

Henrique Carneiro por toda a ajuda no processo de obtenção dos dados, e pelas valiosas sugestões relativas ao tratamento dos dados.

Ao Secretário de Assuntos Econômicos da Prefeitura de Angra dos Reis durante o ano de 2009, Alexandre Tabet Miguel, e ao Sub-secretário (Atual Secretário) de Pesca de Angra, Humberto Martins Ramos Reis, pela concessão de acesso aos dados de desembarque pesqueiro monitorados pela Prefeitura local. Um agradecimento especial ao responsável pela estatística pesqueira André Luis de Castro Veras, pela ótima recepção durante as visitas técnicas à Secretaria de Pesca de Angra dos Reis. Também deixo um agradecimento ao Agente Administrativo Samuel de Souza, pelo auxílio na identificação das embarcações de pesca.

Ao Walter Hugo Diaz Pinaya pelos dados correspondentes aos desembarques efetuados em Santa Catarina.

Às equipes responsáveis pela coleta e processamento dos dados de captura no âmbito dos programas de Monitoramento da Secretaria de Pesca de Angra dos Reis, do Centro APTA (Instituto de Pesca), e do Convênio SEAP/UNIVALI.

Não poderia deixar de agradecer a todos os amigos que fiz durante essa jornada, em especial à Turma PG-SER 2007 a qual carinhosamente me aceitou como agregado, e à Turma PG-SER 2008, a qual tive a honra de fazer parte.

Aos companheiros e amigos Hídricos da Sala 33, Fran, Janaína, Lauri, Flávia, João Absy, Mariana, Lucas. Desculpem se esqueci de alguém....

Aos melhores help-desk de MATLAB e R que tive o prazer de conhecer: Eduardo Gentil Farias, Eduardo Silva Gigliotti e Márcio Pupin de Melo.

A todas as gerações de companheiros de República: Márcio, Felipe Lobo, Matheus, Clódis, Édipo, pela convivência e companheirismo.

Por fim, agradeço a minha família pelo exemplo, e por todo o apoio durante esta jornada.

RESUMO

A distribuição espacial da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) foi investigada durante os estágios de vida planctônico (embrionário e larvar) e adulto, empregando-se uma série de coletas de ictioplâncton conduzidas entre 1976 e 1993, e dados de captura pela frota de cerco, no período de 2000 a 2006. A caracterização do ambiente oceanográfico da Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB) empregou dados *in situ* e descritores multivariados, criados a partir de conjuntos de variáveis de reanálise (Simple Ocean Data Analysis), no período de 1976 a 1993, e Sensoriamento Remoto (SR - TSM, Vento e Clorofila- α), no período entre 2000 e 2006. A variabilidade da estrutura espacial foi quantificada e descrita através de modelos de regressão múltipla, empregando conjuntos de Autovetores Espaciais como variáveis explanatórias, representando padrões espaciais em um gradiente de escalas. A descrição da estrutura espacial empregou um conjunto predefinido de escalas de referência: Escalas Macro – 200 km a 400 km; Escalas Médias – 50 km a 199 km; e Escalas Locais - < 50 km. Variações temporais na estrutura espacial foram testadas quanto à sua significância estatística, através de modelos de Análise de Variância (ANOVA) modificados. A influência do ambiente sobre os arranjos espaciais observados (dependência espacial) foi explorada através de Análises de Codependência Multiescala, sendo interpretada com base nas escalas de referência supracitadas. Os resultados para os estágios planctônicos mostram distribuições de ovos estruturadas principalmente nas escalas Médias e Locais. As distribuições de larvas mostram uma estruturação espacial mais evidente, com variabilidade em escalas Macro e Médias. O comportamento temporal da estrutura espacial mostra uma maior importância relativa das escalas Macro nos verões de 1977 e 1993, sugerindo a ocorrência de expansões e contrações nos habitats reprodutivos. As variações temporais na estrutura espacial não se mostram significativas em nenhum estágio planctônico, embora as variações nas densidades apresentem-se significativamente estruturadas. As relações de dependência espacial com variáveis termohalinas sugerem contribuições substanciais da estabilidade térmica superficial, e aportes continentais, na estruturação espacial dos habitats reprodutivos. No estágio adulto, a análise dos descritores multivariados (Sensoriamento Remoto) evidencia forte variabilidade ambiental nas escalas interanuais. Os resultados também sugerem um padrão sazonal de deslocamento *alongshore*, no qual a espécie se concentra preferencialmente na plataforma de Santos durante a transição verão-outono, deslocando-se para o setor sul da PCSB durante o inverno. Nos meses precedentes à desova (primavera), parte do estoque reocupa a plataforma de Santos. Embora a estrutura espacial mostre variações interanuais significativas, não se observam ciclos temporais bem definidos em nenhum dos cenários analisados. As relações de codependência com os descritores multivariados (dados SR) não mostram comportamento recorrente, sugerindo uma influência significativa de mecanismos comportamentais no processo de seleção de habitats, em curtas escalas de tempo. Em escala sazonal, uma ocupação alternada dos setores norte e sul da PCSB pode estar

relacionada à intensificação dos principais mecanismos de enriquecimento em escala regional, notadamente a intensificação das intrusões da Água Central do Atlântico Sul, prevalentes no verão, e às intrusões superficiais da Corrente Costeira do Brasil no inverno.

SPATIAL ECOLOGY OF THE BRAZILIAN SARDINE
(*Sardinella brasiliensis* Steindachner 1879):
PATTERNS RELATED TO ATMOSPHERIC AND OCEANIC VARIABILITY IN
THE SOUTHWESTERN ATLANTIC

ABSTRACT

The spatial distribution of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) was investigated during planktonic (eggs and larvae) and adult stages. The role of environmental forcing on the spatial configurations was also explored for the first time. Ichthyoplankton samples were acquired during a series of oceanographic surveys, conducted between December 1976 and January 1993. Spatial distribution at adult stages was inferred from logbook data registering the purse seine fleet activity between February 2000 and November 2006. Environmental data included *in situ* temperature and salinity samples (1976 to 1993), a set of Simple Ocean Data Analysis (SODA) variables (1976 to 1993); and Remote Sensing (RS) data (SST, Wind and Chlorophyll- α) (2000 to 2006). Prior to analyses, SODA and Remote sensing data were reduced by Principal Component Analysis, creating a new set of multivariate gradient descriptors. The spatial structure was decomposed and quantified through a series of multiple regression models, using spatial eigenvectors as explanatory variables. The description of the spatial structures was based on a set of predefined reference scales: Macro Scales - 200 km to 400 km; Medium Scales - 50 km to 199 km; Local Scales - < 50 km. Temporal variations in the spatial structure were detected using modified Analysis of Variance (ANOVA) models. Relationships of spatial dependency with the physical environment were explored through Multiscale Codependence Analyses (MCA). Results for the planktonic stages show that the distributions of eggs were structured mainly in Medium and Local scales. Spatial structuring is more evident for larvae distributions, where Macro and Medium scale variability predominate. Contributions in the Macro scales became more evident in the summers of 1977 and 1993, which might suggest expansions of the reproductive habitats. Temporal variations in egg and larvae densities were significant, although variations in the spatial structure were not significant at both stages. The reproductive habitats were characterized by higher surface temperatures and lower surface salinities, highlighting the importance of surface thermal stability and freshwater inputs. The analysis of the RS based multivariate descriptors shows that the Brazilian sardine spends his adult stages in a highly dynamic environment. Results also suggest a seasonal migration pattern, in which the sardine concentrates off Santos during the summer-autumn transition, moving to the southern sector of the SBB during autumn-winter. In the spring, fisheries concentrate both at Santos platform, and between Santa Catarina and Paranaguá. Changes in the spatial structure are significant in an interannual scale, and do not seem to follow regular cycles. Multiscale associations with multivariate gradient descriptors are characterized by frequent inversions of the correlation signals. This suggests that, at short time scales, habitat selection

may be mostly driven by behavioral mechanisms. On a seasonal scale, an alternating occupation of the northern and southern sectors of the Southeastern Brazilian Bight might be related with the onset of the main enrichment mechanisms in a regional scale, namely the South Atlantic Central Water intrusions, during summer, and the cold and less saline surface intrusions, provided by the Brazil Coastal Current, during winter.

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Figura 1.1 – Totais anuais de captura de <i>Sardinella brasiliensis</i> entre 1964 e 2010. | 5 |
| Figura 2.1 – Classificação das teorias relacionando o sucesso no recrutamento à sobrevivência nos estágios iniciais de vida..... | 11 |
| Figura 2.2 – Modelo denso-dependente de Distribuição Livre Ideal (IFD) para habitats com capacidade de suporte diferenciada..... | 18 |
| Figura 2.3 – Modelos de resposta denso-dependente empregados na representação da dinâmica espacial de peixes marinhos. | 19 |
| Figura 2.4 – Modelo conceitual de seleção de habitats proposto por Shepherd e Litvak (2004). Curvas de resposta aplicáveis a populações adultas com alta capacidade de dispersão..... | 21 |
| Figura 2.5 - Variação ontogenética da agregação espacial, medida através do índice de Lloyd (1967), para diferentes espécies pequeno e médio-pelágicas. | 23 |
| Figura 2.6 – Esquema geral do ciclo de vida de pequenos-pelágicos e principais fontes de mortalidade..... | 25 |
| Figura 2.7 – Modelo conceitual representando as influências relativas de processos comportamentais e ambientais sobre as escalas de agregação em pequenos pelágicos adultos..... | 28 |
| Figura 2.8 – Mapa da Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB) identificando as principais localidades referenciadas ao longo do texto. | 30 |
| Figura 2.9 – Modelo conceitual representando o primeiro ano do ciclo de vida da sardinha verdadeira (<i>Sardinella brasiliensis</i>): (a) Desenvolvimento ontogenético durante o primeiro ano de vida; (b) fatores ecológicos e (c) climáticos associados a mortalidade natural em espécies pequeno-pelágicas; (d) principais processos oceanográficos da PCSB. | 32 |
| Figura 2.10 - Representação esquemática das condições oceanográficas na Plataforma Continental Sudeste durante o inverno (a) e verão (b). | 35 |
| Figura 2.11 – i) Processos que influenciam a radiação eletromagnética emergente em corpos d’água oceânicos: a) reflexão pelo fundo; b) reflexão por moléculas de água pura; c) Reflexão pelo Fitoplâncton; d) Absorção pela Matéria Orgânica Dissolvida; e) Reflexão pelo Material Inorgânico em Suspensão. ii) Diagrama de representação de águas de Caso I e águas de Caso II, em função dos COA dominantes. | 47 |
| Figura 2.12 - Geometrias de imageamento dos escaterômetros ERS (a), QuickScat (b). 51 | |
| Figura 3.1 – Fluxograma apresentando os principais elementos e procedimentos empregados no trabalho. | 58 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.2 – Histórico dos totais anuais de captura para <i>Sardinella brasiliensis</i> , e distribuição cronológica dos dados biológicos e físicos empregados no trabalho..... | 59 |
| Figura 3.3 – Grades de coleta originais para os nove cruzeiros de ictioplâncton. Estações em vermelho foram suprimidas das análises. | 62 |
| Figura 3.4 - Quadrantes de pesca (10 MN ²) utilizados entre março de 2000 e dezembro de 2006. | 66 |
| Figura 3.5 - Correlação linear entre medidas de esforço de captura (<i>N° Lances</i> ; <i>N° Lances + Dias de Pesca</i>), e os totais não transformados de captura mensal de sardinha verdadeira, entre 2000 e 2006..... | 76 |
| Figura 3.6 - Histograma de frequências absolutas para as medidas básicas de esforço <i>N° de Lances</i> (a) e <i>N° de Dias de Pesca</i> (b)..... | 77 |
| Figura 3.7 - Resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada a matriz de descritores técnicos para 159 embarcações de cerco que operaram na pesca da sardinha verdadeira, entre 2000 e 2006. a) Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo <i>Broken Stick</i> de fracionamento de variâncias (linha tracejada). b) Contribuições relativas dos descritores técnicos, dadas pelos <i>Loadings</i> correspondentes em cada CP..... | 81 |
| Figura 3.8 – Meses de pesca (verde), defeso (vermelho), e cenários temporais (em azul) empregados na análise dos dados de captura de <i>Sardinella brasiliensis</i> | 87 |
| Figura 3.9 - Grade de quadrantes empregada na extração dos dados de Reanálise SODA. | 89 |
| Figura 3.10 - Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo <i>Broken Stick</i> de fracionamento de variâncias (linha tracejada). | 90 |
| Figura 3.11 - Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo <i>Broken Stick</i> de fracionamento de variâncias (linha vermelha). EDITAR | 93 |
| Figura 3.12 - Método empregado na criação dos Autovetores Espaciais (<i>AEsp</i>). Exemplos apresentados correspondem aos autovetores espaciais de ordem 01, 13 e 35, criados com base nas amostragens de ictioplâncton realizadas em Janeiro de 1993..... | 96 |
| Figura 3.13 - Grades compostas pelos quadrantes de extração dos dados SODA (quadrados vazados), e pelos quadrantes amostrados em todos os cruzeiros de ictioplâncton (quadrados em vermelho). | 104 |
| Figura 4.1 - Mapas com as distribuições originais de densidades (logaritimizadas e centradas na média) de ovos de <i>Sardinella brasiliensis</i> ao longo dos nove | |

| | | |
|-------------|---|-----|
| | cruzeiros de ictioplâncton. Gráficos de barra apresentam os resultados da decomposição em escalas espaciais. | 111 |
| Figura 4.2 | - Mapas com as distribuições originais de densidades (logaritimizadas e centradas na média) de larvas de <i>Sardinella brasiliensis</i> , ao longo dos nove cruzeiros de ictioplâncton. Gráficos de barra apresentam os resultados da decomposição em escalas espaciais. | 116 |
| Figura 4.3 | - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de temperatura e salinidade <i>in situ</i> ao longo dos nove cruzeiros de ictioplâncton (1976 a 1993): Percentuais de variância explicada por classe de escala espacial. | 119 |
| Figura 4.4 | - Contribuições relativas (<i>loadings</i>) das variáveis de reanálise SODA nas Componentes Principais 1 a 3 (DAM 1 a 3). Acrônimos das variáveis apresentados na Tabela 3.2, página 67. | 122 |
| Figura 4.5 | - Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 1. Isóbatas de 50 m; 100 m e 200 m representadas na figura. | 124 |
| Figura 4.6 | - Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 2... .. | 127 |
| Figura 4.7 | - Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 3... .. | 128 |
| Figura 4.8 | - Coeficientes de Codependência (C_{xyW} ; representados no eixo y) relacionando densidades de ovos às temperaturas superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) <i>in situ</i> | 134 |
| Figura 4.9 | - Coeficientes de Codependência (C_{xyW} ; representados no eixo y) relacionando as densidades de larvas às temperaturas superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) <i>in situ</i> | 135 |
| Figura 4.10 | - Coeficientes de Codependência (C_{xyW} ; representados no eixo y) relacionando densidades de ovos (painel esquerdo) às salinidades superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) <i>in situ</i> | 137 |
| Figura 4.11 | - Coeficientes de Codependência (C_{xyW} ; representados no eixo y) relacionando densidades de ovos (painel esquerdo) às salinidades superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) <i>in situ</i> | 138 |
| Figura 4.12 | - Coeficiente de codependência C_{xyW} (eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 1. | 141 |
| Figura 4.13 | - Coeficiente de codependência C_{xyW} (eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao DAM 2. | 142 |
| Figura 4.14 | - Coeficientes de codependência (C_{xyW} - eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao DAM 3. | 143 |
| Figura 4.15 | - Capturas anuais (em 10^3 ton), estimativas de Biomassa do Estoque Desovante (BED; em 10^3 ton) e Recrutamento (Rec; em 10^9 indivíduos) | |

| | |
|--|-----|
| para <i>Sardinella brasiliensis</i> . As faixas cinza demarcam os períodos cobertos pelos cruzeiros de ictioplâncton..... | 145 |
| Figura 4.16 – Distribuições de escores no DAM 2 (PC2) e distribuições de larvas de <i>S. brasiliensis</i> (valores logaritimizados e centrados na média) para os cruzeiros de janeiro de 1988, janeiro de 1991 e dezembro de 1991... | 157 |
| Figura 5.1 - Distribuição das médias de Captura por Unidade de Esforço para os meses de março a novembro, correspondentes à temporada anual de pesca da sardinha verdadeira (<i>Sardinella brasiliensis</i>). Linhas isobatimétricas correspondem às profundidades de 50, 100 e 200 m..... | 160 |
| Figura 5.2 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de <i>S. brasiliensis</i> , no cenário Pós-Desova (março e abril)..... | 163 |
| Figura 5.3 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de <i>S. brasiliensis</i> , no cenário Pré-Inverno (maio e junho)..... | 166 |
| Figura 5.4 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de <i>S. brasiliensis</i> , no cenário de Inverno (julho e agosto). | 168 |
| Figura 5.5 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de <i>S. brasiliensis</i> no cenário Pré-Desova (setembro a novembro)..... | 171 |
| Figura 5.6 - Contribuições relativas (<i>loadings</i>) das variáveis de Sensoriamento Remoto (período de 2000 a 2006) nos descritores ambientais multivariados (DAM) 1 e 2 (Componentes Principais 1 e 2, respectivamente)..... | 172 |
| Figura 5.7 - Mapas anuais de distribuição de escores para os Descritores Ambientais Multivariados (DAM 1 e 2), no cenário Pós-Desova (março-abril), e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais..... | 177 |
| Figura 5.8 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Pré-Inverno (maio-junho); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais..... | 180 |
| Figura 5.9 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Inverno (julho-agosto); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais..... | 183 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.10 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Pré-Desova (setembro-novembro); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais. | 186 |
| Figura 5.11 – Representações gráficas (barras) para os Coeficientes de Codependência (C_{xyw} ; no eixo y), relacionando as distribuições de CPUE no cenário Pós-Desova (março a abril) aos DAM, ao longo de diferentes escalas espaciais (eixo x). Escalas Locais omitidas por questões de espaço..... | 193 |
| Figura 5.12 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Pré-Inverno (maio a junho). | 196 |
| Figura 5.13 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Inverno (julho a agosto). | 198 |
| Figura 5.14 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Pré-Desova (setembro a novembro). | 201 |
| Figura 5.15 - Variações na distribuição espacial da CPUE de <i>Sardinella brasiliensis</i> , por cenário de análise, para os anos de 2001 a 2003. | 206 |
| Figura 5.16 - Campos de Médias TSM obtidas com o sensor AVHRR (Projeto Pathfinder, versão 5.1) para o cenário Pós-Desova (março - abril). | 213 |
| Figura 5.17 - Campos de TSM (°C) obtidos do sensor AVHRR (Projeto Pathfinder, versão 5.1) (A a D); e de Corofila- α (log [mg.m ⁻³]), obtidos do Sensor SeaWIFS (I a IV), para o período julho/agosto dos anos de 2000 a 2003. | 218 |
| Figura A.1 – Distribuições de classes de valores para os descritores técnicos de 159 embarcações de cerco engajadas na pesca da sardinha verdadeira entre 2000 e 2006. (a) Comprimento (m); (b) Potência (HP); (c) Numero de Tripulantes e (d) Idade. | 263 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| Tabela 2.1 - Características dos principais níveis de agregação espacial empregados no estudo de fenômenos de agregação ativa em pequenos-pelágicos. | 27 |
| Tabela 2.2 - Características gerais dos Sistemas NOAA/AVHRR. | 42 |
| Tabela 2.3 – Características das bandas espectrais do sensor AVHRR/3. | 42 |
| Tabela 2.4 - Características gerais do Sistema SeaStar/SeaWiFS. | 48 |
| Tabela 2.5 - Características das bandas espectrais do sensor <i>SeaWiFS</i> | 49 |
| Tabela 3.1 – Características gerais dos cruzeiros oceanográficos realizados sob os Projetos FINEP, EPM, Sardinha e JOPS. | 60 |
| Tabela 3.2 - Variáveis oceanográficas SODA e produtos derivados, empregadas na caracterização ambiental das coletas de ictioplâncton. | 69 |
| Tabela 3.3 - Dados de sensoriamento remoto empregados no trabalho. Resoluções espaciais dadas em km. | 70 |
| Tabela 3.4 - Características gerais do Sistema QuickSCAT. | 74 |
| Tabela 3.5 - Coeficientes de correlação entre medidas de esforço de captura e as capturas totais mensais de sardinha verdadeira. | 76 |
| Tabela 3.6 - Número de embarcações atuantes no período coberto pelo banco de dados de captura. | 79 |
| Tabela 3.7 - Resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada a matriz de descritores técnicos das embarcações. | 81 |
| Tabela 3.8 – Medidas de tendência para os Índices de Poder de Pesca (FP) das embarcações do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina. | 84 |
| Tabela 3.9 - Resultados da Análise de Componentes principais aplicada aos dados de Reanálise SODA. CPs significativas destacadas em negrito. | 90 |
| Tabela 3.10 - Resultados da ACP aplicada sobre a matriz de variáveis de Sensoriamento Remoto. CPs significativas destacadas em negrito. | 92 |
| Tabela 3.11 - Parâmetros de distância (+ IC a 95%) empregados no cálculo de ρ_i . As três últimas colunas mostram a representação das classes de escala para cada distribuição de amostragens, em função dos intervalos de ordem dos autovetores espaciais. | 100 |
| Tabela 4.1. - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de ovos de <i>Sardinella brasiliensis</i> | 112 |
| Tabela 4.2 – Medidas de tendência (IC a 95%) para as densidades de ovos e larvas, considerando-se apenas as estações positivas (densidades de ovos/larvas > 0). | 113 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.3 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de larvas de <i>Sardinella brasiliensis</i> . Acrônimos - vide Tabela 4.1. | 117 |
| Tabela 4.4 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de temperatura superficial (0 – 10m) e sub superficial (10 – 20 m). Acrônimos - vide Tabela 4.1..... | 120 |
| Tabela 4.5 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de salinidade superficial (0 – 10m) e sub superficial (10 – 20 m). Acrônimos - vide Tabela 4.1..... | 121 |
| Tabela 4.6 - Medidas de tendência para as variáveis de Reanálise SODA submetidas à Análise de Componentes Principais. Lista de acrônimos fornecida na Tabela 3.2; página 67. | 125 |
| Tabela 4.7 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de ovos e larvas de <i>S. brasiliensis</i> | 130 |
| Tabela 4.8 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de temperaturas (T) e salinidades (S) <i>in situ</i> | 131 |
| Tabela 4.9 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais dos Descritores Ambientais Multivariados (DAM). | 132 |
| Tabela 5.1 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de Captura por Unidade de Esforço (CPUE) de <i>S. brasiliensis</i> no cenário Pós-Desova (março e abril), entre os anos de 2000 e 2006: | 162 |
| Tabela 5.2 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de CPUE de <i>Sardinella brasiliensis</i> , no cenário Pré-Inverno (maio e junho), entre os anos de 2000 e 2006. Acrônimos - vide Tabela 5.1..... | 165 |
| Tabela 5.3 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de CPUE de <i>Sardinella brasiliensis</i> , no cenário Inverno (julho e agosto), entre os anos de 2000 e 2004. Acrônimos - vide Tabela 5.1..... | 167 |
| Tabela 5.4 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de Captura por Unidade de Esforço (CPUE) de <i>Sardinella brasiliensis</i> , no período pré-desova (setembro a novembro), entre os anos de 2000 e 2006. Acrônimos - vide Tabela 5.1..... | 170 |
| Tabela 5.5 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pós Desova. | 175 |
| Tabela 5.6 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pré-Inverno. Acrônimos - vide Tabela 5.5. | 179 |
| Tabela 5.7 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário de Inverno. Acrônimos – vide Tabela 5.5. | 182 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 5.8 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pré-Desova. Acrônimos – vide Tabela 5.5. | 185 |
| Tabela 5.9 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de CPUE em cada cenário de análise. | 187 |
| Tabela 5.10 - Resultados dos Modelos ANOVA: Descritores Ambientais Multivariados (DAM)..... | 189 |
| Tabela A.1 - Parâmetros empregados na standardização do esforço de captura para 159 embarcações de cerco atuantes na pesca da sardinha verdadeira entre 2000 e 2006..... | 265 |
| Tabela B.1 Continuação..... | 266 |
| Tabela B.1 Continuação..... | 267 |
| Tabela B.1 Continuação..... | 268 |
| Tabela B.1 Conclusão..... | 269 |
| Tabela B.2 – Resultados das Análises de Codependência Multiescala (ACM) relacionando distribuições de ovos e larvas de <i>Sardinella brasiliensis</i> , temperaturas (T°) e salinidades (S) superficiais (0 – 10m), e sub superficiais (10 – 20m): Cruzeiro de dezembro de 1976..... | 270 |
| Tabela B.3 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1977. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 271 |
| Tabela B.4 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1978. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 272 |
| Tabela B.5 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1980. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 272 |
| Tabela B.6 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1981. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 273 |
| Tabela B.7 – Resultados das ACM para o cruzeiro de dezembro de 1988. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 273 |
| Tabela B.8 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1991. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 274 |
| Tabela B.9 – Resultados das ACM para o cruzeiro de dezembro de 1991. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 274 |
| Tabela B.10 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1993. Acrônimos na legenda da Figura A.1. | 275 |
| Tabela B.11 - Resultados das ACM para relacionando as distribuições de densidades de ovos e larvas de <i>Sardinella brasiliensis</i> aos Descritores Ambientais Multivariados (DAM), gerados a partir das variáveis de Reanálise <i>Simple Ocean Data Reanalysis</i> (SODA): Cruzeiro de dezembro de 1976..... | 275 |

| | |
|---|-----|
| Tabela B.12 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1978. | 276 |
| Tabela B.13 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1980. | 276 |
| Tabela B.14 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1981. | 276 |
| Tabela B.15 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1988. | 276 |
| Tabela B.16 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1991. | 276 |
| Tabela B.17 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Dezembro de 1991. | 277 |
| Tabela B.18 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM): Cruzeiro de Janeiro de 1993. | 277 |
| Tabela B.19 - Resultados das Análises de Codependência Multiescala (ACM) relacionando as distribuições de CPUE de <i>Sardinella brasiliensis</i> no cenário de Pós-Desova (março-abril), ao Descritores Ambientais Multivariados (DAM) 1. | 278 |
| Tabela B.20 - Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho). ... | 279 |
| Tabela B.21 - Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Inverno (julho-agosto). | 280 |
| Tabela B.22 Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Pré-Desova (setembro- novembro). | 281 |
| Tabela B.23 Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Pós-Desova (março-abril)..... | 282 |
| Tabela B.24 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho). ... | 283 |
| Tabela B.25 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Inverno (julho-agosto). | 284 |
| Tabela B.26 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de de Pré-Desova (setembro- novembro). | 285 |
| Tabela B.27 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Desova (março-abril)..... | 286 |
| Tabela B.28 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho). ... | 287 |
| Tabela B.29 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Inverno (julho-agosto). | 288 |
| Tabela B.30 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Desova (setembro- novembro). | 289 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|---|
| AC | Água Costeira |
| ACAS | Água Central do Atlântico Sul |
| ACM | Análise de Codependência MultiEscala |
| ACI | Área comum de amostragem do ictioplâncton |
| ACP | Análise de Componentes Principais |
| ADR | Análise de Redundância Canônica |
| ANM | Altura do Nível do Mar [m] |
| AEsp | Autovetores Espaciais |
| ANOVA | Análise de Variância |
| ASAS | Alta Subtropical do Atlântico Sul |
| APTA | Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio |
| AT | Água Tropical |
| AVHRR | <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i> |
| BED | Biomassa do Estoque Desovante |
| CB | Corrente do Brasil |
| CBM | Confluência Brasil-Malvinas |
| CCB | Corrente Costeira do Brasil |
| COA | Componentes Oticamente Ativos |
| CM | Coefficiente de Auto Correlação de Moran |
| CP | Componente Principal |
| CPUE | Captura por Unidade de Esforço [kg/n° lances + dias de pesca] |
| CTD | <i>Conductivity, Temperature and Depth</i> |
| CTTMar | Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar |
| DAM | Descritor(es) Ambiental(is) Multivariado(s) |
| DP | Desvio Padrão |
| ECMWF | <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i> |
| EPM | <i>Egg Production Method</i> |

| | |
|--------|--|
| ERS | <i>Earth Resources Sattelite</i> |
| ESA | <i>European Space Agency</i> |
| FINEP | Financiadora de Estudos e Projetos |
| FTP | Frente Térmica Profunda |
| FHS | Frente Halina Superficial |
| FINEP | Financiadora de Estudos e Projetos |
| GAC | <i>Global Area Coverage</i> |
| FP | Poder de Pesca |
| GMF | <i>Geophysical Model Function</i> |
| IC | Intervalo de confiança |
| IFD | <i>Ideal Free Distribution</i> |
| IO/USP | Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo |
| IOCCG | <i>International Ocean Colour Coordinating Group</i> |
| IRI | <i>International Research Institute for Climate Prediction</i> |
| IV | Infravermelho |
| JOPS | <i>Joint Oceanographic Projects</i> |
| LAC | <i>Local Area Coverage</i> |
| LDEO | <i>Lamont Doherty Earth Observatory</i> |
| MPA | Ministério da Pesca e Aqüicultura |
| MLE | <i>Maximum Likelihood Estimators</i> |
| MN | Milha Nautica (1854 m) |
| NCAR | <i>National Centre for Atmospheric Research</i> |
| MIS | Material Inorgânico em Suspensão |
| MOD. | Material Orgânico Dissolvido |
| NLSST | <i>Non-Linear Sea Surface Temperature</i> |
| NCEP | <i>National Center for Environmental Prediction</i> |
| NLSST | <i>Non-Linear Sea Surface Temperature</i> |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| N.Oc. | Navio Oceanográfico |

| | |
|---------|--|
| NODC | <i>National Oceanographic Data Center</i> |
| NRL | <i>Naval Research Laboratory</i> |
| OC4V4 | <i>Ocean Color 4 Version 4</i> |
| OISST | <i>Optimum Interpolation Sea Surface Temperature</i> |
| PCSB | Plataforma Continental Sudeste Brasileira |
| PCNM | <i>Principal Coordinate Neighbor Matrices</i> |
| PO.DAAC | <i>Physical Oceanography Distributed Data Archive Center</i> |
| p.s.u. | <i>practical salinity unity</i> |
| SAM | <i>Spatial Analysis and Macroecology</i> |
| RSS | <i>Remote Sensing Systems</i> |
| SEAP/PR | Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República |
| SODA | <i>Simple Ocean Data Assimilation</i> |
| SeaWiFS | <i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i> |
| TSM | Temperatura Superficial do Mar |
| UNIVALI | Universidade do Vale do Itajaí |
| USNODC | <i>US National Oceanographic Data Center</i> |
| XBT | <i>Expendable Bathythermograph</i> |
| ZCAS | Zona de Convergência do Atlântico Sul |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------------|---|
| λ | Comprimento de onda [nm] |
| nm | nanômetro [10^{-9} m] |
| ρ_i | Período médio do Autovetor Espacial [km] |
| L_a | Distância máxima entre duas amostragens na direção <i>alongshore</i> [km] |
| L_c | Distância máxima entre duas amostragens na direção <i>cross-shore</i> [km] |
| S_i | Distancia ou espaçamento médio entre amostragens [km] |
| $\alpha; \beta$ | Coefficientes de regressão |
| ϵ_λ | emissividade espectral para o comprimento de onda λ |
| L_λ | Radiância aparente no sensor, no comprimento de onda λ [$W.m^{-2}.\mu m^{-1}$] |
| M_λ | Excitância radiante total de um corpo negro, no comprimento de onda λ [$W.m^{-2}.\mu m^{-1}$] |
| E_λ | Irradiância medida no topo da atmosfera [$W.m^{-2}.\mu m^{-1}$] |
| W | Watts [$N.m.s^{-1}$] |
| $R_{A,\lambda}$ | Reflectância superficial, ou aparente, para o comprimento de onda λ |
| T_n | Temperatura de Brilho na banda n [graus Kelvin, ou K] |
| θ | Angulo zenital do satélite |
| τ | Resultante da tensão de Cisalhamento do vento (TAU) [$N.m^{-2}$] |
| φ | Ângulo relativo entre a direção do vento e a direção de visada do radar [graus] |
| ϕ | Ângulo de incidência do feixe radar [graus] |
| GHz | Gigahertz [10^9 Hertz] |
| σ° | Coefficiente Normalizado de Retroespalhamento (sigma-zero) |
| C_D | Coefficiente de arrasto (0.0013) |
| ρ | Densidade do ar (1.0235 kg.m^{-3}) |
| ρ_w | Densidade da água do mar (1028 kg.m^{-3}) |
| u | Componente zonal de velocidade [$m.s^{-1}$] |
| v | Componente Meridional de velocidade [$m.s^{-1}$] |
| f | Parâmetro de Coriolis [s^{-1}] |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|----------|--|
| 1 | INTRODUÇÃO 1 |
| 1.1. | Objetivos 6 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 9 |
| 2.1. | Peixes pequeno-pelágicos: Características gerais, relevância ecológica e variabilidade demográfica 9 |
| 2.1.1. | Efeitos das variações populacionais no domínio espacial 16 |
| 2.1.2. | Variações ontogenéticas na estrutura espacial 22 |
| 2.2. | A Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB) 28 |
| 2.3. | Ciclo de vida da Sardinha verdadeira e processos oceanográficos atuantes na PCSB 31 |
| 2.3.1. | Fase Planctônica 32 |
| 2.3.2. | Recrutamento 36 |
| 2.3.3. | Fase Adulta 37 |
| 2.4. | Representação da variabilidade espaço-temporal do ambiente físico através de dados de Sensoriamento Remoto e Reanálises 39 |
| 2.4.1. | Temperatura Superficial do Mar (TSM) 40 |
| 2.4.2. | Concentração de Clorofila – α (Chl- α) 44 |
| 2.4.3. | Direção e intensidade dos ventos na superfície oceânica 50 |
| 2.4.4. | Reanálises 53 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS 57 |
| 3.1. | Dados biológicos 60 |
| 3.1.1. | Coletas de Ictioplâncton 60 |
| 3.1.2. | Dados de captura da sardinha verdadeira 62 |
| 3.2. | Variáveis Físicas, Biofísicas e Químicas 66 |
| 3.2.1. | Dados de Temperatura e Salinidade coletados <i>in situ</i> 66 |
| 3.2.2. | Dados de Reanálises 67 |
| 3.2.3. | Dados de Sensoriamento Remoto 69 |
| 3.2.3.1. | Temperatura Superficial do Mar 70 |
| 3.2.3.2. | Concentrações de Clorofila - α 71 |
| 3.2.3.3. | Direção e velocidade do vento na superfície do oceano 72 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.3. | Pré-processamento dos dados de pesca | 74 |
| 3.3.1. | Avaliação e padronização do esforço de captura..... | 74 |
| 3.3.2. | Cálculo da Captura por Unidade de Esforço (CPUE) | 85 |
| 3.3.3. | Definição dos cenários de análise para a fase adulta | 86 |
| 3.4. | Pré-processamento dos dados físicos..... | 88 |
| 3.4.1. | Criação de Descritores Ambientais Multivariados a partir das variáveis de Reanálise (SODA) (fases planctônicas – 1976 a 1993)..... | 88 |
| 3.4.2. | Extração dos dados de Sensoriamento Remoto..... | 91 |
| 3.4.3. | Criação de Descritores Ambientais Multivariados a partir das variáveis de Sensoriamento Remoto (fase adulta – 2000 a 2006). | 91 |
| 3.5. | Métodos de Análise | 93 |
| 3.5.1. | Decomposição da variabilidade espacial por escalas | 93 |
| 3.5.2. | Determinação das escalas espaciais empregadas na comparação de resultados..... | 97 |
| 3.5.3. | Testes de significância para variações na estrutura espacial; | 101 |
| 3.5.4. | Análises de Codependência Multi-Escala | 105 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO - FASE PLANCTÔNICA | 109 |
| 4.1. | Padrões de distribuição e estrutura espacial..... | 109 |
| 4.1.1. | Estágio embrionário (ovos)..... | 109 |
| 4.1.2. | Estágios larvais | 114 |
| 4.1.3. | Estruturação espacial das variáveis termohalinas..... | 117 |
| 4.2. | Descritores Ambientais Multivariados empregados na caracterização ambiental dos cruzeiros de amostragem de ictioplâncton (1976 a 1993). | 122 |
| 4.3. | Variações temporais na estrutura espacial | 129 |
| 4.3.1. | Estágios embrionários e larvais | 129 |
| 4.3.2. | Variáveis termohalinas | 130 |
| 4.3.3. | Descritores Ambientais Multivariados (DAM) derivados das variáveis de Reanálise SODA..... | 131 |
| 4.4. | Análise das relações de dependência espacial com o ambiente físico em múltiplas escalas. | 132 |
| 4.4.1. | Codependência com a estrutura termohalina de superfície..... | 132 |
| 4.4.2. | Codependência com Descritores Ambientais Multivariados (variáveis de Reanálise SODA)..... | 139 |
| 4.5. | Discussão..... | 144 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.5.1. | Estrutura espacial nos estágios planctônicos | 144 |
| 4.5.2. | Relações entre a estrutura espacial e o ambiente oceanográfico: Possíveis mecanismos estruturadores e seus efeitos em múltiplas escalas..... | 150 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO – FASE ADULTA..... | 159 |
| 5.1. | Padrões de distribuição e estrutura espacial..... | 159 |
| 5.1.1. | Cenário Pós-desova (Março e Abril) | 160 |
| 5.1.2. | Cenário Pré-Inverno (Maio e Junho)..... | 163 |
| 5.1.3. | Cenário de Inverno (Julho e Agosto)..... | 166 |
| 5.1.4. | Cenário Pré-Desova (Setembro a Novembro) | 168 |
| 5.2. | Descritores Ambientais Multivariados (DAM) empregados na caracterização ambiental da PCSB durante o estudo da fase adulta (2000 a 2006) | 171 |
| 5.3. | Estrutura espacial dos Descritores Ambientais Multivariados..... | 173 |
| 5.3.1. | Cenário Pós-Desova (março-abril) | 173 |
| 5.3.2. | Cenário Pré-Inverno (Maio a Junho)..... | 178 |
| 5.3.3. | Cenário de Inverno (Julho-Agosto) | 181 |
| 5.3.4. | Cenário Pré-Desova (Setembro-Novembro)..... | 184 |
| 5.4. | Variações temporais na estrutura espacial | 187 |
| 5.4.1. | Captura por Unidade de Esforço..... | 187 |
| 5.4.2. | Descritores Ambientais Multivariados | 187 |
| 5.5. | Relações de dependência espacial com o ambiente físico..... | 189 |
| 5.5.1. | Cenário Pós-Desova (março – abril)..... | 190 |
| 5.5.2. | Cenário Pré-Inverno (maio – junho) | 194 |
| 5.5.3. | Cenário de Inverno (julho – agosto) | 197 |
| 5.5.4. | Cenário Pré-Desova (setembro – novembro) | 198 |
| 5.6. | Discussão..... | 202 |
| 5.6.1. | Estrutura espacial das áreas de captura: padrões de variabilidade | 202 |
| 5.7. | Relações com o ambiente físico | 209 |
| 6 | CONCLUSÕES | 223 |
| 6.1. | Padrões de distribuição e estrutura espacial da sardinha verdadeira . | 223 |
| 6.2. | Variações temporais na estrutura espacial | 224 |
| 6.3. | Relação com processos físicos e oceanográficos da PCSB..... | 225 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 227 |

| | |
|---|-----|
| APÊNDICE A - FIGURAS COMPLEMENTARES | 263 |
| APÊNDICE B - TABELAS COMPLEMENTARES | 265 |

1 INTRODUÇÃO

A heterogeneidade espaço-temporal é uma característica comum a todos os sistemas ecológicos, sendo fundamental para a sobrevivência e a coexistência de espécies (HAURY et al., 1978; LEGENDRE, 1993; MASON; BRANDT, 1999). A compreensão de suas causas e consequências requer o estudo das relações espaciais entre diferentes elementos de um ecossistema (TURNER et al., 2001), e dos mecanismos responsáveis pela criação, manutenção, e variabilidade dos padrões espaço-temporais observáveis em diferentes níveis de organização ecológica (DUTILLEUL, 2011).

É notório que a distribuição de organismos marinhos não ocorre de forma homogênea no tempo e no espaço. Essa heterogeneidade pode ser interpretada como o resultado da ação combinada de processos físicos, biológicos e comportamentais, sobre indivíduos, unidades populacionais e comunidades marinhas. Processos físicos derivam da ação de fenômenos climatológicos e oceanográficos, regulando as condições físicas e biofísicas do ambiente. Processos biológicos podem incluir limitações fisiológicas (TAKASUKA et al., 2005; 2007), e de dispersão (TILMAN et al., 1997), ciclos internos das espécies (BAUER et al., 2011), interações competitivas interespecíficas, do tipo predador-presa, além de mecanismos densidade-dependentes, como a competição intraespecífica por recursos (BEGON et al., 1986). Interações sociais, como a formação de agregados e cardumes (FRÉON et al., 2005), e migrações alimentares ou reprodutivas (PITCHER, 1995; BAUER et al., 2011), constituem exemplos de interações comportamentais comuns em espécies marinhas, com efeitos evidentes sobre seus padrões de distribuição. Fatores como a poluição e a pesca podem ser incluídos em uma categoria a parte, de processos exógenos, com efeitos espacialmente heterogêneos, e seletivos no que diz respeito às espécies afetadas. Cabe salientar que estes processos também não ocorrem de forma homogênea no tempo e no espaço.

As relações causais entre os padrões de distribuição espacial de uma espécie e a estrutura espacial do ambiente físico recebem a denominação de

Dependência Espacial Induzida (LEGENDRE, 1993; WAGNER; FORTIN, 2005; JOMBART et al., 2009), sendo o foco de grande parte dos estudos dedicados à compreensão dos mecanismos que regulam as distribuições de abundância das espécies. A natureza e a intensidade das interações biológicas também podem variar em função da heterogeneidade do ambiente físico, influenciando os padrões resultantes de distribuição de espécies e populações (MASON; BRANDT, 1999). Adicionalmente, o próprio arranjo espacial das espécies pode exercer influência sobre processos ecológicos como os padrões de movimentação e dispersão, e fluxos de matéria e energia (TURNER et al., 2001).

A compreensão dos mecanismos responsáveis pela dispersão espacial de espécies requer uma descrição adequada das configurações espaciais de interesse. Por outro lado, a quantificação da variabilidade espacial só adquire sentido quando realizada à luz de um conjunto de escalas de referência (LEVIN, 1992). Wiens (1989) ressaltou a importância do atributo escala em etapas críticas de estudos ecológicos, como a formulação de hipóteses, a elaboração de desenhos amostrais e modelos estatísticos. Processos físicos e interações biológicas ocorrem em domínios de escala particularizados, enquanto sua influência sobre os padrões de dispersão espacial dos organismos podem variar em função da escala considerada (LEGENDRE et al., 1986; LEVIN, 1992). A percepção do ambiente físico pelos organismos também se limita a conjuntos particulares de escalas, variando em função do nível de organização ecológica, do grupo taxonômico, e do estágio de vida considerado (WIENS, 1989; LEVIN, 1992).

Segundo Levin (1992) a variabilidade em sistemas ecológicos é observada em diversas escalas espaciais, temporais e organizacionais. A percepção destes níveis de variabilidade depende diretamente das escalas de observação nas quais os estudos de fenômenos naturais são conduzidos. O conjunto de escalas representáveis por um protocolo de amostragem é definido em função da sua duração no tempo, da extensão da área amostrada, e das resoluções espaciais e temporais de amostragem (WIENS, 1989; DUTILLEUL, 2011). Não

obstante, a disponibilidade de escalas de observação pode ser limitada por questões logísticas e tecnológicas, ou derivadas da própria capacidade de percepção humana (LEVIN, 1992). A análise de padrões espaço-temporais em contextos multi-escala tem sido apontada como etapa essencial a uma melhor compreensão das interações entre padrões e processos causais (HAURY et al. 1978; LEGENDRE; FORTIN, 1989; LEGENDRE, 1993; CUSHMAN; MCGARIGAL, 2002). Ao longo das últimas décadas, o desenvolvimento de novas ferramentas analíticas tem permitido, ao mesmo tempo, a quantificação da variabilidade espaço-temporal, e uma representação explícita das escalas espaço-temporais em modelos estatísticos. Alguns métodos numéricos desenvolvidos com este propósito incluem as superfícies de tendência (LEGENDRE, 1993), e uma série de técnicas mais recentes baseadas na representação de relações de vizinhança através de funções autovetor (GRIFFITH, 2003; DRAY et al., 2006; GRIFFITH; PÉRES-NETO, 2006).

Nas últimas décadas o manejo de recursos pesqueiros tem se voltado para abordagens de cunho ecossistêmico, buscando absorver o arcabouço teórico desenvolvido pela Oceanografia Pesqueira ao longo do século XX. Nesse âmbito, a compreensão dos mecanismos responsáveis pelos padrões de abundância e ocorrência em populações exploradas pela pesca, e sua incorporação ao manejo pesqueiro, têm se firmado como metas preferenciais das ciências pesqueiras (CADDY, 1999; ROUYIER et al., 2008). Tais objetivos são particularmente relevantes no caso das espécies pequeno pelágicas, responsáveis por um percentual substancial da produção pesqueira mundial capturada nos oceanos (CSIRKE, 1995; CURY et al., 2000; FAO, 2010).

O termo pequeno-pelágico engloba os grandes grupos das sardinhas, anchovetas e arenques. Pequenos-pelágicos são notoriamente caracterizados por grande mobilidade, e por hábitos sociais gregários. O deslocamento de grandes quantidades de indivíduos, em modo aparentemente coordenado, leva a formação de agregados móveis, com dimensões variadas, conhecidos como “cardumes” e “mantas” (PITCHER, 1995; FRÉON et al., 2005). A movimentação e as interações entre estas estruturas de agregação definem

padrões de distribuição espaço-temporal distintos para diferentes populações e espécies. Por outro lado, atributos como a variabilidade no tamanho, na distância entre unidades de agregação, e nas densidades individuais (SPACH, 1990), conferem um caráter multi-escalar aos padrões de distribuição observados. A organização espacial em pequenos pelágicos é usualmente associada a fatores fisiológicos, ontogenéticos, comportamentais e ambientais (FRÉON; MISUND, 1999; BAHRI; FRÉON, 2000; PETITGÁS et al., 2001; FRÉON et al., 2005; BERTRAND et al., 2008a).

Na costa brasileira, a sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) constitui a principal espécie pequeno-pelágica explorada pela pesca, contribuindo com percentuais entre 10% e 15% do total anual de recursos vivos marinhos capturados em águas nacionais (MPA, 2010; DIAS-NETO et al., 2011). Sua captura é efetuada pela frota de traineiras de cerco que opera entre o Cabo de São Tomé (22° S) e o Cabo de Santa Marta (28° S - 29° S) (SACCARDO et al., 1988), na região denominada de Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB). A pesca da sardinha verdadeira adquiriu proporções industriais a partir dos anos 60, atingindo produção recorde de 228 mil toneladas em 1973 (CERGOLE et al., 2002; VASCONCELLOS 2003; JABLONSKI, 2007). A partir deste ano o histórico da produção é caracterizado por grandes oscilações, incluindo dois colapsos, aos finais das décadas de 80 (32.000 ton.) e 90 (17.000 ton.), e algumas recuperações relativas, além de uma clara tendência de decréscimo ao longo dos últimos 30 anos (Figura 1.1). Na última década observou-se uma ligeira recuperação caracterizada por uma estabilização da produção em torno de 50 mil toneladas anuais, entre 2004 e 2007, seguida de um incremento para valores superiores a 70 mil toneladas no biênio 2008 - 2009 (JABLONSKI, 2007; IBAMA, 2008, DIAS-NETO et al., 2011). No biênio seguinte, uma nova queda sinalizou a possibilidade de ocorrência de um novo colapso (DIAS-NETO et al., 2011).

A redução nas capturas da sardinha verdadeira desencadeou severos contratemplos e perdas econômicas à cadeia produtiva da pesca, com uma significativa redução da frota pesqueira na década de 90 (CERGOLE et al.,

2002), e um redirecionamento do esforço de pesca para outros recursos pelágicos e demersais (JABLONSKI 2007). O setor de beneficiamento foi submetido a uma situação de desabastecimento crônico, passando a importar matéria prima de países como Venezuela, Marrocos e Rússia (IBAMA/CEPSUL, 2004). Os volumes importados de sardinha podem corresponder, em determinados anos, a mais de 200% da produção anual por captura (DIAS-NETO et al., 2011).

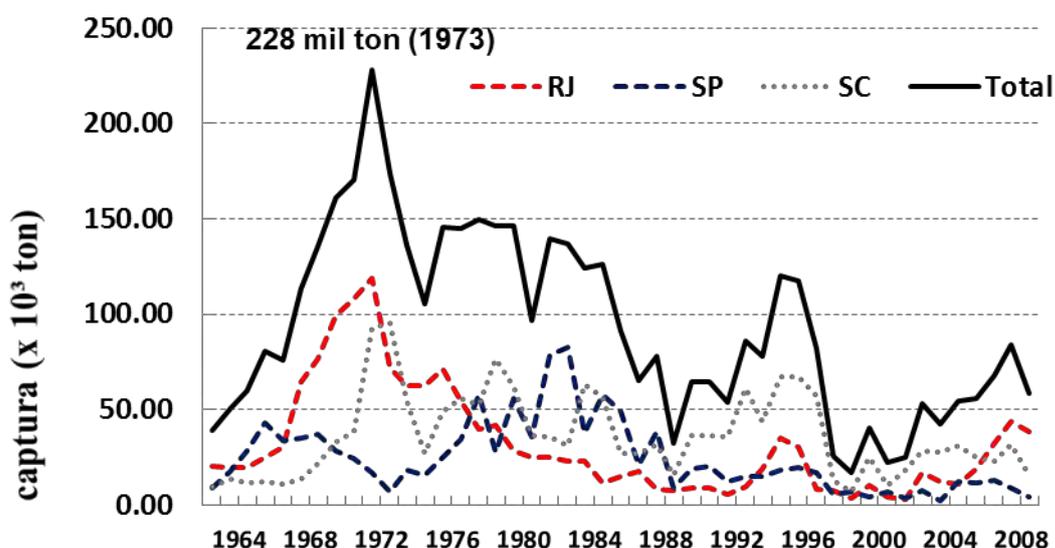


Figura 1.1 – Totais anuais de captura de *Sardinella brasiliensis* entre 1964 e 2010.

Fonte: Cergole et al. (2002); Dias-Neto et al. (2011).

Algumas hipóteses foram propostas na tentativa de explicar as oscilações e quedas na produção pesqueira, envolvendo a atuação de processos oceanográficos sobre o recrutamento (MATSUURA, 1996; ROSSI-WONGTCHOWSKI et al., 1996; BAKUN; PARRISH, 1990), bem como da sobrepesca do estoque reprodutor (CERGOLE et al., 2002; JABLONSKI; LEGEY, 2004).

Os trabalhos enfocando os padrões de distribuição espacial da sardinha verdadeira abordaram, quase que exclusivamente, a fase planctônica de vida da espécie (estágios embrionários e larvais), consistindo de estudos de cunho

mais descritivo, mas que também exploraram, de alguma forma, a associação com fenômenos oceanográficos (MATSUURA, 1975; 1998; MATSUURA et al. 1992). Spach (1990) realizou o primeiro estudo com enfoque na distribuição espaço-temporal e dos padrões de agregação de ovos e larvas da sardinha verdadeira nas escalas dos agregados. Gigliotti et al. (2010) lançaram mão de métodos de análise espacial, dados de sensoriamento remoto e técnicas estatísticas mais modernas, caracterizando seus habitats de desova. Os autores também discutiram a existência de contrações e expansões interanuais desses habitats, bem como os processos e fenômenos oceanográficos que regulariam essa dinâmica.

Estudos enfocando a distribuição espacial da sardinha verdadeira em sua fase adulta permanecem inéditos. Não obstante, as oscilações históricas da produção pesqueira nos estados do Rio de Janeiro (RJ), São Paulo (SP) e Santa Catarina (SC) (Figura 1.1), sugerem a ocorrência de deslocamentos periódicos das principais áreas de captura.

A inclusão de informações e descritores dos padrões de distribuição espacial da espécie estabelece uma nova frente de investigações, permitindo abordar aspectos complexos de relações ecológicas ainda pouco conhecidas para a sardinha verdadeira.

1.1. Objetivos

Os objetivos principais deste trabalho consistiram da determinação dos padrões de distribuição espacial da sardinha verdadeira nos estágios de vida planctônico (ovos e larvas) e adulto; e da análise das relações entre estes padrões e os padrões de variabilidade atmosférica e oceânica na PCSB. Estes objetivos principais foram desdobrados em três objetivos específicos:

- a) Descrever e analisar os padrões de distribuição espacial de *S. brasiliensis*, nos estágios planctônico e adulto, com respeito às suas principais escalas de variabilidade espacial.

- b) Avaliar o comportamento temporal das estruturas espaciais analisadas;
- c) Analisar a relação entre as estruturas espaciais biológicas (distribuições de ovos, larvas e adultos de *S. brasiliensis*), e a estrutura espacial do ambiente físico-químico e biofísico na região da Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB), considerando-se as escalas relevantes de variabilidade espacial, definidas no item i.

Este trabalho adotou, como principal hipótese, a afirmativa de que processos atmosféricos e oceânicos da PCSB exercem influência na distribuição espaço-temporal de abundâncias da sardinha verdadeira. Pretendeu-se dessa forma contribuir com o conhecimento acerca das relações entre o recurso pelágico mais explorado na costa brasileira, e o ambiente oceanográfico da Plataforma Continental Sudeste Brasileira, possibilitando uma eventual incorporação de aspectos ecológicos às futuras estratégias de manejo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Peixes pequeno-pelágicos: Características gerais, relevância ecológica e variabilidade demográfica

Espécies pequeno-pelágicas são caracterizadas por ciclos de vida curtos, crescimento e maturação rápidos, e uma alimentação geralmente planctófaga, notadamente concentrada nos primeiros níveis das cadeias tróficas (PITCHER, 1995; FRÉON et al., 2005). Suas populações podem atingir grandes densidades e biomassas em zonas de alta produtividade como os grandes sistemas de ressurgência de borda leste dos Oceanos Atlântico e Pacífico (COLE; McGLADE, 1998). Nestes ecossistemas, podem atuar como “componentes-chave”, controlando grande parte dos fluxos energéticos e de biomassa entre diferentes níveis tróficos (CURY et al., 2000; 2003). Hábitos costeiros e gregários, e a existência de grandes biomassas populacionais, fazem com que diversas espécies pequeno-pelágicas constituam alvos preferenciais da pesca industrial, o que justifica sua importância no contexto da produção pesqueira mundial (CSIRKE, 1995; FRÉON et al., 2005).

Populações de pequenos pelágicos se caracterizam por grandes oscilações espaço-temporais, e quedas abruptas de abundância, que eventualmente resultam em colapsos na produção pesqueira (SCHWARTLOSE et al., 1999; FRÉON et al., 2005). Essa variabilidade pode transcorrer em ciclos de alternância interdecadal, como no caso das populações de *Sardinops melanostictus* e *Engraulis ringens*, nos extremos oeste e leste do Pacífico (CSIRKE, 1995; MATSUURA, 1999; KLYASHTORIN, 2001; CHAVEZ et al., 2003; TAKASUKA et al., 2007; 2008). Conforme ressaltado anteriormente, espécies pequenos pelágicas possuem ciclo de vida curto, e um rápido desenvolvimento ontogenético, o que faz com que os os recrutamentos populacionais ocorram em curta escala de tempo, quando em comparação a espécies de maior longevidade. Define-se recrutamento como o número de indivíduos que atinge uma determinada idade, onde se considera sua incorporação efetiva ao estoque adulto (JENNINGS et al., 2011).

Segundo Cole e McGlade (1998), o sucesso no recrutamento de pequenos pelágicos depende de uma ampla gama de fatores, atuantes ao longo das histórias de vida das espécies. Alguns destes fatores envolvem características da população desovante, incluindo sua biomassa, estrutura demográfica, e níveis de fecundidade (McCALL, 1990; JENNINGS et al., 2011). Uma vez que a relação entre o estoque desovante e o recrutamento em pequenos pelágicos frequentemente não se manifesta de modo simples e direto, a variabilidade interanual no recrutamento destas espécies é notoriamente associada aos níveis de sobrevivência durante os estágios planctônicos (ovos e larvas).

Diversas teorias desenvolvidas ao longo do século XX associam o sucesso no recrutamento à sobrevivência nos estágios iniciais de vida. Cole e McGlade (1998) classificam estas teorias como “Mecanicistas” e de “Síntese” (Figura 2.1). Teorias “Mecanicistas” dão enfoque à diferentes processos responsáveis pela mortalidade nos estágios embrionários e larvais. As teorias de “Síntese” buscam a integração de diferentes processos reguladores da mortalidade em um contexto ecossistêmico mais abrangente.

A hipótese do *período crítico* de Hjort (1914) associou a sobrevivência nos estágios planctônicos à disponibilidade de alimento às larvas, especialmente após a absorção do saco vitelínico, durante a transição para o modo de alimentação exógeno. A disponibilidade de alimento é geralmente associada a processos de enriquecimento, representados em zonas costeiras por ressurgências e aportes alóctones (BAKUN, 1996). Tais processos promovem o desenvolvimento, em curta escala de tempo, de comunidades fito e zooplanctônicas, principais fontes de alimento durante o estágio larvar. Em sua contribuição ao debate, Cushing (1975) associou a variabilidade no recrutamento a um ajuste relativo (*match-mismatch*) entre os ciclos de produtividade primária de um ambiente e os ciclos reprodutivos das espécies, favorecendo ou não a sobrevivência e desenvolvimento dos estágios larvais.

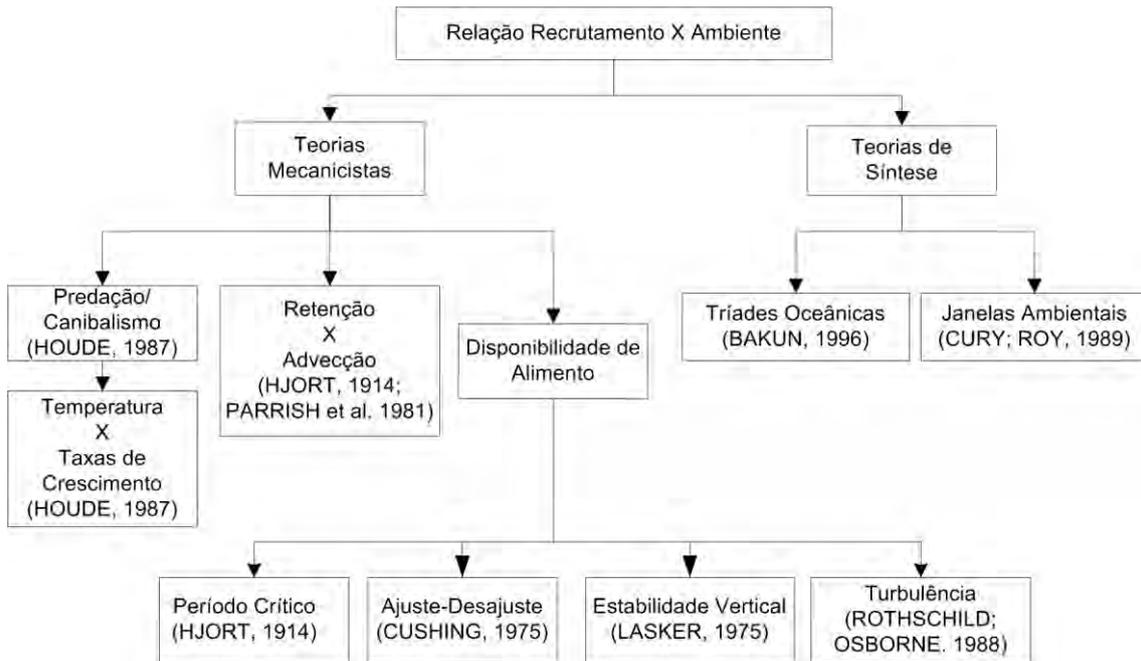


Figura 2.1 – Classificação das teorias relacionando o sucesso no recrutamento à sobrevivência nos estágios iniciais de vida.
 Fonte: Adaptado de Cole e McGlade (1998).

Segundo Lasker (1975), condições de relativa estabilidade vertical favoreceriam a concentração de ovos, larvas e presas planctônicas. Rothschild e Osborne (1988) propuseram que o sucesso alimentar nos primeiros estágios larvais também dependeria da manutenção de níveis moderados de turbulência. A concentração de presas e produtos reprodutivos é predominantemente associada à presença de gradientes de densidade, como termoclinas e haloclinas, parte integrante da estrutura de frentes oceânicas (BAKUN, 2006; LETT et al., 2006). McClatchie et al. (2007) postulam que a relação entre estabilidade vertical da coluna d'água e a mortalidade no estágio larvar pode apresentar efeitos diferenciados em função da escala espacial de análise. O aumento da estabilidade vertical tende a apresentar efeitos adversos em escalas espaciais maiores (efeitos regionais), impedindo a difusão de nutrientes através da termoclina (CUSHING, 1989). Em escalas espaciais menores (efeitos locais) o aumento na estabilidade vertical pode favorecer o desenvolvimento de comunidades de presas planctônicas sobre termoclinas (McMANUS et al. 2003). Não obstante, experimentos em tanques mostram que uma redução dos níveis de micro turbulência pode reduzir as taxas de encontro

entre predadores e presas (ROTHSCHILD; OSBORN, 1988; SAIZ et al., 1992; MUELBERT et al., 1994). Estes efeitos aparentemente contraditórios seriam modulados pela concentração relativa de alimento, bem como pelo comportamento predatório, e pela capacidade de fuga das presas (ROTHSCHILD; OSBORN, 1988; MUELBERT et al., 1994; MCKENZIE; KJORBOE, 2000).

Uma importante fonte de mortalidade nos estágios iniciais de vida advém do transporte passivo de ovos e larvas para regiões menos apropriadas a seu desenvolvimento. A influência dos mecanismos advectivos sobre o recrutamento foi sugerida inicialmente através da segunda hipótese de Hjort (1914) (SINCLAIR et al., 1985), constituindo foco das teorias Advectivas (COLE; McGLADE, 1998) (Figura 2.1), que associam a variabilidade no recrutamento a variabilidade dos mecanismos de transporte superficial e retenção larval. Esta classe de teorias ganhou força a partir do trabalho de Parrish et al. (1981), que constatou uma defasagem entre os ciclos reprodutivos de diversas espécies pelágicas da costa da Califórnia, e os principais picos de produção primária da região, contrariando assim o principal postulado da teoria de Cushing (1975). Como hipótese alternativa, os autores sugeriram a existência de estratégias reprodutivas que minimizariam a mortalidade por advecção larval, ao passo que a importância relativa de mecanismos de enriquecimento sobre o sucesso reprodutivo e recrutamento seria relegada a um plano secundário. Na costa da Califórnia, Sinclair et al. (1985) observaram relações positivas entre a atenuação nas correntes superficiais, induzida por episódios El Niño, e o recrutamento da cavala (*Scomber japonicus*). A influência de mecanismos advectivos sobre o recrutamento de pequenos pelágicos foi constatada nos trabalhos de Sinclair e Tremblay (1984), e Sinclair e Iles (1985), que associaram a seleção de habitats reprodutivos de diferentes populações de arenque (*Clupea arengus*) do Atlântico Norte a existência de condições físicas favoráveis a retenção larval. Estes trabalhos constatam, novamente, a ausência de um relação temporal direta entre os ciclos reprodutivos da espécie e os ciclos locais de produtividade primária. Embora Iles e Sinclair (1982) tenham constatado a

presença de diferentes unidades populacionais, e diferentes períodos reprodutivos ao longo do ano, a metamorfose das larvas em juvenis tende a ocorrer com maior intensidade durante a estação mais produtiva (SINCLAIR; TREMBLAY, 1984). Como consequência, a duração das fases larvais é variável, sendo definida em função das condições particulares encontradas em cada habitat de desova.

Mecanismos físicos de dispersão constituem um processo particularmente relevante em áreas de ressurgência, onde a deriva de Ekman faz com que o transporte a *offshore* seja intensificado (COLE; McGLADE, 1998). Por outro lado, alguns trabalhos mostram que a retenção de ovos e larvas pode ser favorecida em zonas de convergência (SANTOS et al., 2004), e nas proximidades de vórtices (BAKUN, 2006).

Algumas espécies podem apresentar estratégias reprodutivas mais complexas, dependendo de um transporte passivo das larvas para regiões mais favoráveis à sua sobrevivência (CUSHING, 1975; WERNER, 2002). Segundo Lett et al. (2006) as estratégias reprodutivas de *Sardinops sagax* e *Engraulis encrasicolus*, na região de Benguela, envolveriam algum mecanismo de transporte passivo de ovos e larvas entre as áreas de desova, localizadas na costa sul da África do Sul, e as áreas berçário, localizadas na costa oeste, a norte de Cape Town.

As teorias de síntese englobam os conceitos das “janelas ambientais”, desenvolvido por Cury e Roy (1989), e as “tríades oceânicas” de Bakun (1996). Na hipótese das “janelas ambientais”, a sobrevivência nos estágios larvais seria favorecida por um balanço dinâmico entre ressurgência e estabilidade vertical. O sucesso no recrutamento estaria associado a níveis moderados de stress do vento, gerando os níveis de micro turbulência necessários ao sucesso alimentar, e prevenindo a advecção de ovos e larvas (ROTHSCHILD; OSBORN, 1988). Como resultado, a associação entre os índices de recrutamento e o stress do vento seria representável através de uma função do tipo “domo”, ou parábola. A teoria parece explicar satisfatoriamente as oscilações populacionais em várias espécies pequeno-pelágicas, nos grandes

ecossistemas de ressurgência do Atlântico e Pacífico (COLE; McGLADE, 1998; FRÉON et al., 2005). A teoria das “tríades oceânicas” (BAKUN, 1996) preconiza um equilíbrio dinâmico entre mecanismos de enriquecimento (HJORT, 1914; CUSHING, 1975), retenção larval (PARRISH et al., 1982; ILES; SINCLAIR, 1982) e acumulação (LASKER, 1975; CURY; ROY, 1989), favorecendo a sobrevivência nos estágios iniciais de vida. Em síntese, todas estas teorias compartilham um ponto em comum, que enfatiza o papel preponderante da variabilidade climática na definição dos padrões espaço-temporais dos habitats favoráveis à reprodução e a sobrevivência larval (COLE; McGLADE, 1998).

Interações biológicas como o canibalismo (BROWNELL, 1985), a predação (CUSHING, 1975; HOUDE, 1987; BAILEY; HOUDE, 1989), e a competição com outros organismos zooplânctônicos (PURCELL; ARAI; 2001) também são consideradas fontes significativas de mortalidade durante as fases planctônicas. Todavia, uma quantificação adequada das suas contribuições à variabilidade demográfica apresenta grande desafios em ambientes naturais (THEILACKER et al., 1993; COLE; McGLADE, 1998; PURCELL; ARAI; 2001). Interações biológicas também apresentam dependência relativa das condições físicas do ambiente (COLE; McGLADE, 1998; MASON; BRANDT, 1999), o que impõe dificuldades adicionais a essa tarefa. Alguns autores (ALHEIT, 1987; VALDÉS et al., 1987) apontam o canibalismo como mecanismo limitador do tamanho populacional em populações de pequeno pelágicos. Segundo Szeinfeld (1989), as flutuações populacionais em clupeídeos na região de Benguela seriam parcialmente reguladas por processos de canibalismo e de predação intra-guilda. A existência de interações competitivas entre larvas e celenterados planctônicos é discutida em Purcell e Arai (2001). Segundo os autores, o estabelecimento de uma relação competitiva dependeria de fatores como a sobreposição de dietas alimentares, taxas de produção e consumo de zooplâncton. Processos competitivos e relações predador-presa também são fortemente dependentes da densidade populacional (denso-dependência), e dos padrões de distribuição espacial de predadores e presas (VALDÉS et al., 1987; VALDÉS-SZEINFELD; COCHRANE, 1992). De acordo com McGurk

(1986), Bailey e Houde (1989) e Houde (1997), a susceptibilidade à predação tende a diminuir com o crescimento e desenvolvimento ontogenético individual. Conseqüentemente, um rápido desenvolvimento individual, e estágios larvais relativamente curtos favoreceriam o aumento no potencial de sobrevivência (HOUDE, 2008).

Alguns autores atribuem a variabilidade populacional aos efeitos da pesca sobre a estrutura populacional dos estoques explorados. De um modo geral, a pesca consome indivíduos adultos de forma seletiva, podendo alterar parâmetros populacionais, como taxas de crescimento e maturação, e originar estruturas etárias truncadas em populações sob intenso regime de exploração (HOUDE, 2008). A geração de dinâmicas populacionais instáveis foi apontada por Anderson et al. (2008) como provável causa da grande variabilidade populacional observada em estoques explorados no Golfo da Califórnia. Em pequenos pelágicos, a análise de séries de abundância, reconstruídas a partir de contagens de escamas preservadas em sedimentos anaeróbicos, mostram que flutuações de grande amplitude tem ocorrido naturalmente ao longo dos últimos 1800 anos, precedendo o desenvolvimento da pesca industrial (BAUMGATNER et al., 1992; MATSSURA, 1999).

Segundo Houde (2008), reconhece-se atualmente que taxas instáveis de recrutamento resultam da ação de múltiplos processos, atuando de modo diferenciado desde as fases embrionárias até os estágios pré recruta. Processos biológicos como o comportamento das larvas, presas e predadores frequentemente interagem com a física do ambiente. Do mesmo modo, mecanismos distintos como o transporte/retenção de larvas, e os ciclos de produtividade primária podem operar de forma conjunta, favorecendo ou não a sobrevivência nos estágios iniciais de vida (BAKUN, 1996). Aspectos intrínsecos como as variações nas taxas de crescimento e na duração de estágios larvais também constituem fatores relevantes na formação de classes etárias mais ou menos abundantes (CUSHING, 1975; HOUDE, 1987; 1997; COWAN; SHAW, 2002).

2.1.1. Efeitos das variações populacionais no domínio espacial

A variabilidade populacional ocasiona mudanças nos padrões de agregação e densidade das espécies, modulando atributos como a extensão e a localização geográfica das áreas de ocorrência (FRÉON et al., 2005). Segundo Barange et al. (2009), populações de sardinhas e anchovetas tendem a responder de forma positiva a incrementos na biomassa, adensando-se e expandindo suas áreas de distribuição. Durante períodos de queda na abundância populacional, espécies pequeno pelágicas tendem a intensificar seu comportamento gregário (PITCHER, 1995; FRÉON et al., 2005), mantendo níveis mínimos de densidade (PALOHEIMO; DICKIE, 1964), o que acarreta a contração das áreas de distribuição. Este processo pode eventualmente culminar nos chamados “colapsos de distribuição”, documentados em populações de anchovetas (McCALL, 1990) e arenques (ULLTANG, 1980). Nestas situações, a susceptibilidade à pesca (capturabilidade) tende a se manter (JENNINGS et al., 2011), independentemente das reduções na biomassa e na área de distribuição do estoque. A manutenção de uma produção pesqueira aparentemente estável pode fornecer uma falsa impressão do real estado do estoque, potencializando os riscos de colapso por sobrepesca (PITCHER, 1995). Neste âmbito, o monitoramento dos padrões de distribuição adquire uma importância particular para o manejo pesqueiro, tendo em vista que “colapsos de distribuição” sinalizam um alto risco de colapso na produção (*Catchability led Stock collapse*). Os ciclos de contração e expansão estendem-se também aos habitats reprodutivos (BELLIER et al., 2007; GIGLIOTTI et al., 2010), com potencial impacto no recrutamento anual das espécies.

Na oceanografia pesqueira, a seleção de habitats por peixes marinhos é tradicionalmente interpretada com base no modelo de Distribuição Livre Ideal (*Ideal Free Distribution - IFD*) (FRETWELL; LUCAS, 1969) (Figura 2.2). Segundo o IFD, a ocupação de um habitat assume a maximização de sua adequabilidade, considerando-se sua capacidade de suporte, e o nicho ecológico da espécie. Como consequência as áreas ocupadas por uma

população apresentariam níveis similares de adequabilidade relativa (SHEPHERD; LITVAK, 2004). Em habitats naturais, a distribuição espacial heterogênea de recursos geraria uma distribuição espacial heterogênea de abundâncias, definidas em função do equilíbrio entre as abundâncias locais, e as capacidades de suporte de cada habitat.

As variações temporais na adequabilidade relativa de um habitat são tradicionalmente atribuídas a processos denso-dependentes (PALOHEIMO; DICKIE, 1964; McCALL, 1990). Aumentos na biomassa e, por conseguinte, da densidade populacional, desencadeariam um aumento na competição intraespecífica, reduzindo a capacidade de suporte dos habitats previamente ocupados. Essa redução da adequabilidade relativa induziria uma busca por novas áreas com capacidade de suporte equivalente, e menor pressão competitiva. Como resultado, a extensão das áreas de ocorrência se expandiria durante aumentos na biomassa populacional, e se contrairia durante sua redução (PALOHEIMO; DICKIE, 1964; McCALL, 1990; BARANGE et al., 2009). Os resultados de alguns trabalhos, enfocando espécies demersais (SWAIN; SINCLAIR, 1994; ANDERSON; GREGORY, 2000) e pelágicas (WINTERS; WHEELER, 1985; BARANGE et al., 2009), corroboram uma relação positiva entre a abundância do estoque e sua área de distribuição, sugerindo uma validade do controle denso-dependente. Em outros trabalhos (MURAWSKI; FINN, 1988; SWAIN; MORIN, 1996; SCHNEIDER et al.; 1997) essa relação não se mostra significativa. Em Hiddinck et al. (2005) a denso-dependência mostra uma influência limitada, porém significativa, sobre a distribuição espacial do Hadoque (*Melanogrammus aeglefinus*) no Mar do Norte.



Figura 2.2 – Modelo denso-dependente de Distribuição Livre Ideal (IFD) para habitats com capacidade de suporte diferenciada.

Fonte: Adaptado de Fretwell e Lucas (1970).

Os pressupostos da IFD sofreram desdobramentos posteriores, que deram origem a três modelos de resposta, representando diferentes comportamentos da densidade populacional frente a variações na biomassa do estoque (PETITGAS, 1998) (Figura 2.3). No modelo de Densidades Constantes (HILBORN; WALTERS, 1992) (Figura 2.3a), a variação temporal nas densidades locais não acompanharia as taxas de crescimento populacional, e as densidades máximas seriam limitadas a valores constantes. Uma vez que as densidades máximas são limitadas, o modelo prevê a expansão da área de ocorrência durante incrementos da biomassa. O modelo de Densidades Proporcionais (HILBORN; WALTERS, *Op. Cit.*) (Figura 2.3b) prevê a manutenção da área ocupada pelo estoque, ao passo que as variações nas densidades locais acompanhariam as flutuações na abundância. No Modelo de Bacias (*Basin Model*) de McCall (1990) (Figura 2.3c), ambos os parâmetros podem variar com a abundância do estoque, e com o padrão espacial da capacidade de suporte. Petitgas (1998) sugere um modelo adicional, onde as respostas positivas aos incrementos na abundância seriam limitadas às áreas com máximas densidades. Todos estes modelos compartilham um pressuposto comum, onde a dinâmica espacial depende exclusivamente de processos denso-dependentes (SHEPERD; LITVAK, 2004).

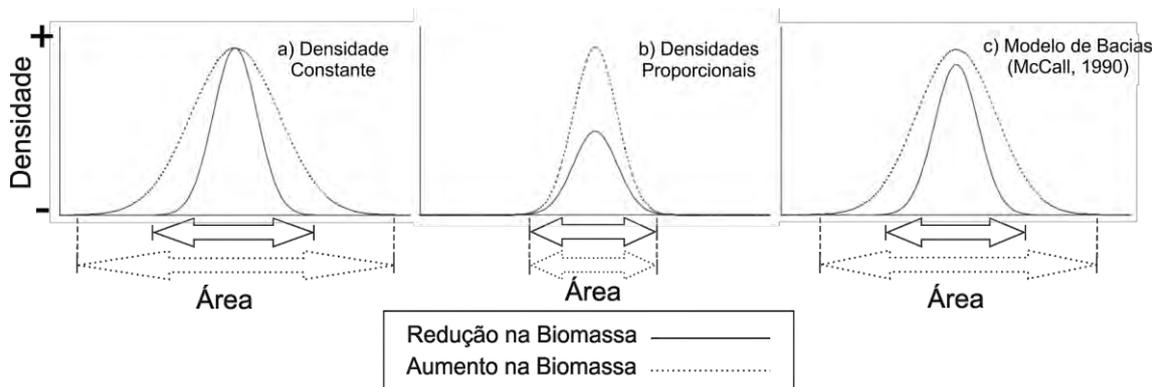


Figura 2.3 – Modelos de resposta denso-dependente empregados na representação da dinâmica espacial de peixes marinhos.
 Fonte: Adaptado de Sheperd e Litvak (2004).

Barange et al (2009) avaliaram os efeitos das oscilações de biomassa na dinâmica espacial de diversas populações de pequenos pelágicos, em diferentes ecossistemas oceânicos. Os autores observaram um comportamento consistente com o Modelo de Bacias de McCall (1990). Apesar desse padrão geral, algumas populações apresentaram respostas complexas à incrementos na biomassa. Na região de Benguela, as populações de *S. sagax* e *S. melanoistictus* tendem a preservar suas escalas de organização espacial durante aumentos na biomassa, limitando a expansão das principais áreas de agregação, e mantendo um padrão fragmentado de distribuição (BARANGE; HAMPTON, 1997; BARANGE et al., 2005). O oposto é observado para *Engraulis capensis*, cuja distribuição na região Sul de Benguela apresenta padrão mais uniforme, com transições visíveis entre áreas com altas e baixas densidades (BARANGE; HAMPTON, 1997). Estas respostas diferenciadas são atribuídas a diferenças específicas e populacionais, relacionadas à capacidade migratória e ao nicho alimentar (FRÉON et al., 2005; BARANGE et al., 2009). Para populações de *Sardinella* sp. da costa do Senegal, Petitgas (1998) sugere a validade do Modelo de Densidades Proporcionais em períodos de aumento da biomassa. Segundo o autor, durante episódios de redução extrema na biomassa, processos denso-dependentes prevaleceriam, e a dinâmica espacial seguiria os pressupostos do Modelo de Densidade Constante.

Segundo Sheperd e Litvak (2004), a existência de relações significativas entre a abundância e a área de distribuição não pode ser assumida como prova definitiva da prevalência de processos denso-dependentes. Além do controle denso-dependente, as variações na abundância de peixes marinhos também são influenciadas por processos oceanográficos e flutuações climáticas em larga escala (DASKALOV, 1999; LEHODEY et al., 2006; OLSEN et al., 2011). Nas regiões de ressurgência da costa do Peru, e ao norte de Benguela, a ocorrência de intrusões superficiais de águas quentes, durante episódios El Niño, é frequentemente associada a contrações nas áreas de distribuição, bem como a ocorrência de deslocamentos populacionais ao longo da costa (BAKUN, 1996; YÁÑEZ et al., 2002). Estes deslocamentos podem afetar padrões sazonais de migração, alterando também a disponibilidade das espécies às frotas pesqueiras locais (BOYER et al., 2001). Flutuações climáticas também exercem forte influência sobre parâmetros demográficos como o crescimento (MÖLLMANN et al., 2005; KATARA et al., 2011) e o recrutamento (ROY et al., 1992; BORJA et al., 1996). Nas abordagens baseadas na IFD, os efeitos do ambiente são incorporados de forma indireta e estática, modulando o padrão espacial de adequabilidades relativas dos habitats. Considerando a natureza dinâmica do meio físico marinho, Sheperd e Litvak (2004) sugeriram a incorporação da variabilidade ambiental, introduzindo uma dinâmica temporal nas estimativas de adequabilidade relativa dos habitats.

De um modo geral, os mecanismos que influenciam a estrutura espacial em populações pelágicas mostram uma forte dependência da escala espacial de análise. Em grandes escalas (mesoescalas, escalas regionais, etc.), fenômenos oceanográficos e climáticos parecem assumir uma maior importância relativa na definição dos padrões de agregação e distribuição (BERTRAND et al., 2008; BARANGE et al., 2009). Em escalas mais locais, a organização espacial sofre maior influência de fatores como a distribuição espacial de alimento (LETCHER; RICE, 1997; MAYNOU et al., 2008), e o comportamento ativo de larvas e adultos (BERTRAND et al., 2008a; LASKER, 1981). Interações competitivas e de predação (denso-dependentes) também

assumiriam maior relevância à dinâmica populacional em escalas locais (WIENS, 1989). No modelo conceitual proposto por Shepherd e Litvak (2004), (Figura 2.4) as importâncias relativas dos processos ambientais e denso-dependentes também assumem comportamentos opostos dependendo da escala espacial de análise. Baseando-se nos efeitos diferenciados das variações de abundância ao longo de diferentes escalas de agregação, Petitgas et al. (2001) propõem que a prevalência de processos denso-dependentes seria mais provável durante contrações extremas das áreas de distribuição.

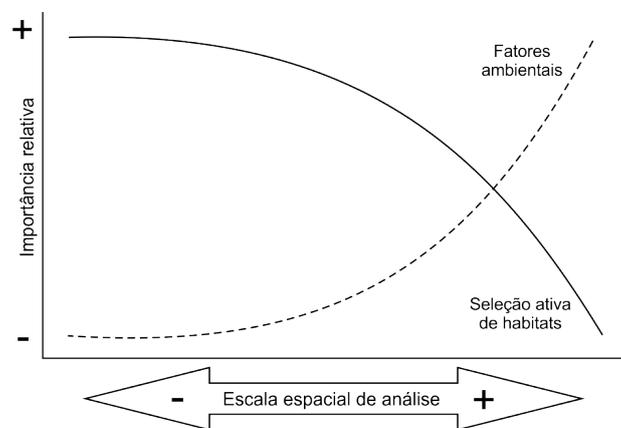


Figura 2.4 – Modelo conceitual de seleção de habitats proposto por Shepherd e Litvak (2004). Curvas de resposta aplicáveis a populações adultas com alta capacidade de dispersão.

Fonte: Adaptado de Shepherd e Litvak (2004).

Em sua forma original, a IFD assume que os organismos possuem plena liberdade de deslocamento espacial, sem custos energéticos ou de tempo, além de um conhecimento prévio da distribuição espacial dos recursos (SCHILLING, 2005; JENNINGS et al., 2011). O pressuposto de deslocamento sem custos foi questionado nos trabalhos de Kennedy e Gray (1993; 1997), embora Schilling (2005) admita seu relaxamento no estudo da dinâmica espacial de organismos aquáticos. Sheperd e Litvak (2004) ressaltam que as informações disponíveis aos indivíduos são limitadas por sua capacidade de percepção, o que torna improvável um conhecimento prévio da distribuição de

recursos nas escalas em que grande parte das populações de peixes marinhos se distribui (centenas de km). Outros autores questionam a validade do mesmo pressuposto para populações gregárias, onde o deslocamento entre habitats envolveria processos comportamentais de atração conspecífica (FOLMER et al., 2012).

2.1.2. Variações ontogenéticas na estrutura espacial.

A agregação espacial é um fenômeno comum e bem conhecido para a grande maioria das espécies pequeno-pelágicas, ocorrendo com intensidade variável ao longo de todos os estágios de vida. Hewitt (1981), Spach (1990) e Matsuura e Hewitt (1995), analisaram curvas do índice de agregação de Lloyd (p) (LLOYD, 1967) (Equação 2.1), representando a variação ontogenética dos níveis de agregação espacial em diferentes espécies pequeno-pelágicas (*Sardinella brasiliensis*, *Harengula jaguana*, *Engraulis mordax*).

$$p = 1 + (\sigma^2 \bar{x}^{-1} - 1) \bar{x}^{-1} \quad (2.1)$$

com \bar{x} sendo a densidade média de ovos/larvas em um cruzeiro de amostragem, e σ^2 a variância para a densidade x . Os resultados (Figura 2.5) evidenciam um comportamento comum, levemente assemelhado a uma parábola.

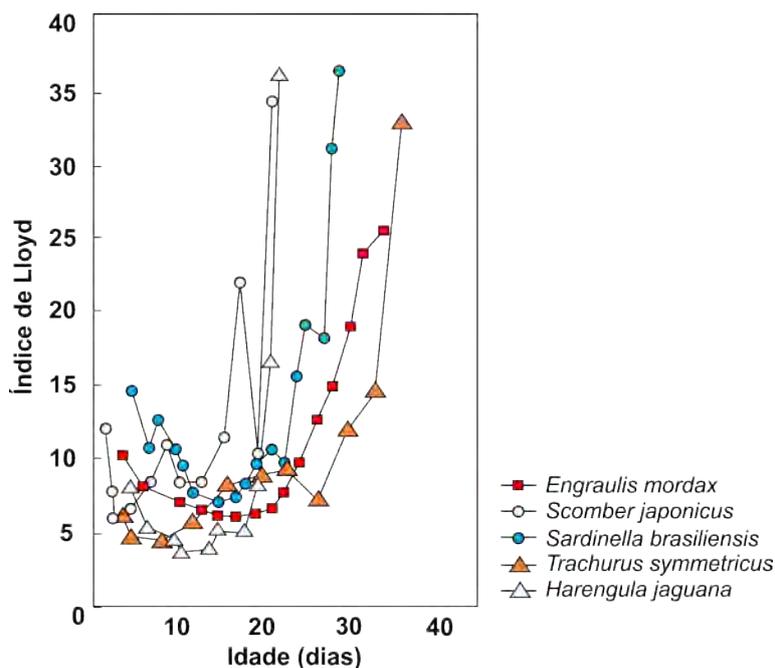


Figura 2.5 - Variação ontogenética da agregação espacial, medida através do índice de Lloyd (1967), para diferentes espécies pequeno e médio-pelágicas. Fonte: adaptado de Matsuura e Hewitt (1995).

Em estágios embrionários a agregação é mais intensa, com dimensões médias dos agregados de ovos raramente ultrapassando 30 km (SMITH; HEWITT, 1985; SPACH, 1990; CURTIS, 2004; MAYNOU et al., 2008). Como consequência, as distribuições de ovos tendem a apresentar grande variabilidade espacial em pequenas escalas (CURTIS, 2004). Os altos níveis de agregação nesta fase são atribuídos, primordialmente, à formação de agregados mais densos por adultos desovantes (MATSUURA; HEWITT, 1995). Esse comportamento é associado à maximização do processo de fertilização, e a facilitação de intercâmbios genéticos durante a desova (MOLLOY et al., 2012).

A grande maioria das espécies pequeno-pelágicas desova no domínio epipelágico (FRÉON et al., 2005). Neste ambiente, os ovos se comportam como partículas passivas, sendo susceptíveis a dispersão e advecção por correntes (PARRISH et al. 1983) (Figura 2.6). A importância dos processos de

retenção larval passou a receber mais atenção a partir da década de 80, através dos trabalhos de Parrish et al. (1981), Iles e Sinclair (1982), Sinclair e Tremblay (1984), e Sinclair e Iles (1985). Estudos mais recentes, empregando simulações numéricas, têm corroborado a associação entre os padrões de distribuição das áreas de desova e a variabilidade espaço-temporal dos processos de transporte e retenção superficial (HUGGETT et al., 2003; LETT et al., 2006; BROCHIER et al., 2009). Interações denso-dependentes como a predação e o canibalismo também atuam como fontes significativas de mortalidade na fase embrionária (BAKUN; BROAD, 2003; SZEINFELD, 1991) (Figura 2.6). Nestes casos, os níveis de mortalidade dependem da distribuição espacial e da densidade do estoque adulto, intensificando-se durante contrações da área de distribuição (COLE; McGLADE, 1998).

As larvas recém-eclodidas possuem estrutura óssea e aparatos locomotores bastante rudimentares apresentando, durante algum tempo, comportamento passivo. O desenvolvimento gradual de nadadeiras, olhos, linha lateral e da estrutura mandibular demarca a transição entre os modos de nutrição endógeno, baseado no conteúdo vitelínico dos ovos, e exógeno, baseado no consumo de presas planctônicas. A flexão da extremidade final da coluna vertebral (urostilo) demarca o início do desenvolvimento do sistema locomotor, e da etapa conhecida por “flexão” (FUIMAN, 2002). Durante este processo a mobilidade das larvas permanece relativamente restrita, em parte devido ao seu tamanho ainda reduzido, o que amplifica o impacto das forças decorrentes da viscosidade da água (McGURK, 1986). Neste estágio, observa-se uma redução relativa dos níveis de agregação (MATSUURA; HEWIT, 1995), o que pode ser atribuído à mortalidade das larvas, e a processos de dispersão passiva e transporte por mecanismos hidrodinâmicos.

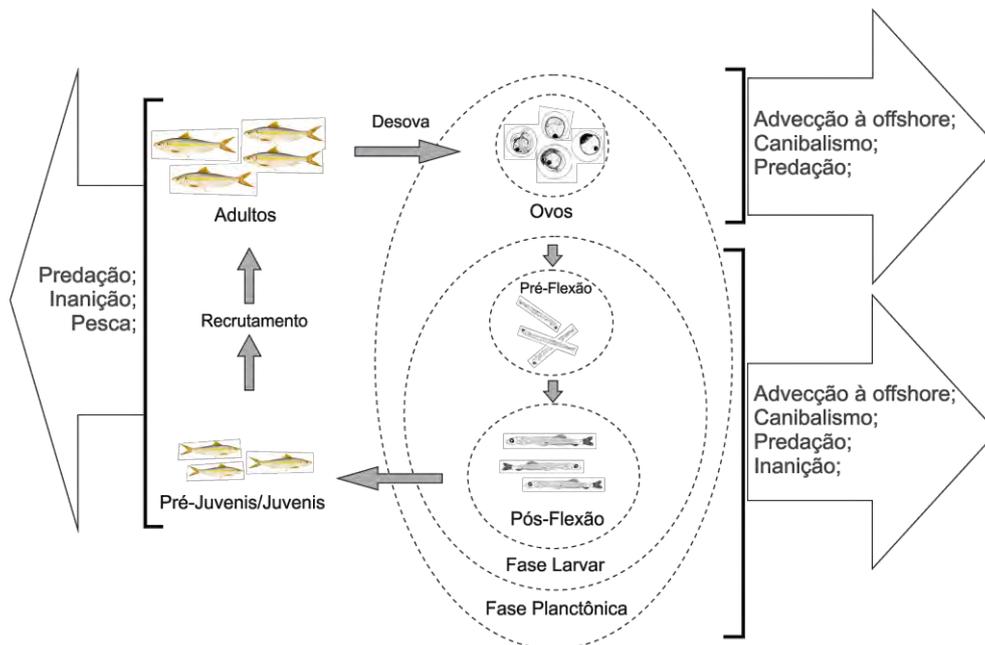


Figura 2.6 – Esquema geral do ciclo de vida de pequenos-pelágicos e principais fontes de mortalidade.

Fonte: Adaptado de Cole e McGlade (1998).

A mortalidade no estágio larvar é predominantemente associada a fatores como a inanição (CHÍCHARO et al., 1998; DIAS et al., 2004), canibalismo (BROWNELL, 1985) e a predação por outros organismos, incluindo táxons do próprio zooplâncton (KRAUTZ et al., 2003; AGOSTINI et al., 2007; PURCEL; ARAI, 2001). Segundo Smith (1973), a mortalidade por predação atua reduzindo as densidades dentro dos agregados, o que aumenta progressivamente as distâncias entre os indivíduos. Processos de dispersão passiva por difusão, por outro lado, atuam não só na redução das densidades, mas também reduzindo as distâncias entre agregados de ovos ou larvas. Embora alta nos estágios iniciais de vida (BAILEY; HOUDE, 1989), a mortalidade por predação sofre uma diminuição relativa, à medida que os níveis de agregação das larvas são reduzidos (McGURK, 1986). Variações na temperatura também exercem influência nas taxas de incubação e crescimento, promovendo aumento ou redução do período de susceptibilidade a predação (HOUDE, 1987; 1997; COLE; McGLADE, 1998). Decréscimos nos níveis de agregação do zooplâncton também podem acarretar um incremento

relativo da mortalidade por inanição, uma vez que larvas de peixes também são predadoras ativas de organismos planctônicos (LETCHER; RICE, 1997).

O final do estágio larvar é usualmente demarcado pela formação completa dos raios das nadadeiras, pelo aparecimento de escamas, ou pela transição entre os regimes de crescimento alométrico (partes do corpo crescem de modo diferenciado) e isométrico (corpo cresce de forma mais homogênea) (FUIMAN, 2002). Aos estágios finais de desenvolvimento, as larvas de pequenos pelágicos desenvolvem comportamento gregário. Essa formação ativa de cardumes faz com que os níveis relativos de agregação aumentem novamente (HUNTER; COYNE, 1982; MATSUURA; HEWIT, 1995) (Figura 2.5). Essa transição é normalmente associada a um maior grau de independência com relação às condições ambientais.

A agregação ativa é uma estratégia evolutiva atribuída a múltiplos propósitos (FRÉON et al., 2005), dentre os quais o aumento das chances de sucesso reprodutivo, a proteção contra predadores, a facilitação de mecanismos de aprendizagem, uma maior eficiência na alimentação, e a conservação de energia durante o deslocamento (SHAW, 1978; PITCHER, 1995). Pitcher (1995) associou o comportamento gregário e ativo de pequenos-pelágicos a um comportamento de forrageamento constante, e ao caráter também agregado, típico das distribuições de organismos planctônicos (FOLT; BURNS, 1999), havendo frequentemente uma sobreposição das escalas de agregação de ambos os táxons.

Segundo Gerlotto e Paramo (2003) a agregação ativa de peixes gera estruturas de comportamento altamente dinâmico, submetidas a um processo contínuo de construção e colapso. Não obstante, levantamentos hidroacústicos têm permitido a identificação de classes de estruturas espaciais recorrentes. Para pequenos-pelágicos adultos são reconhecidos diferentes níveis de agregação como núcleos de densidade; cardumes; agregados e sub estoques; definidos por uma hierarquia crescente de escalas espaciais (PETITGAS et al., 2001; FREÓN et al., 2005) (Tabela 2.1). Estas unidades de agregação podem apresentar comportamento relativamente independente, mesmo nas menores

escalas espaciais (núcleos de densidade) (FRÉON et al., 1993). Como resultado, os cardumes podem apresentar uma alta variabilidade espaço-temporal nas suas propriedades geométricas (dimensões, volumes e áreas ocupadas), e nas distribuições intrínsecas de densidade (GERLOTTO; PARAMO, 2003). Essa variabilidade pode ser observada em populações de *Sardina pilchardus* (MUIÑO, et al., 2003) e arenque *Clupea harengus* (SLOTTE, 1998) da costa Europeia .

Tabela 2.1 - Características dos principais níveis de agregação espacial empregados no estudo de fenômenos de agregação ativa em pequenos-pelágicos.

| Classe | Abundância (n° ind.) | Biomassa (ton.) | Extensão (km ²) |
|---------------------|----------------------|------------------|-----------------------------|
| Indivíduo | 1 | 10 ⁻⁴ | 2 x 10 ⁻⁴ |
| Núcleo de densidade | 10 ⁴ | 1 | 5 x 10 ⁻² |
| Cardume | 10 ⁵ | 10 | 2 x 10 ⁻¹ |
| Agregado | 10 ⁸ | 10 ⁴ | 18.5 (10 MN) |
| Sub-estoque | 10 ¹⁰ | 10 ⁶ | 185.4 (10 ² MN) |

Fonte: Adaptado de Fréon et al. (2005).

Padrões de agregação são influenciados por uma ampla gama de fatores, variando em função das condições físico-químicas e tróficas do ambiente (FRÉON et al., 1995; MUIÑO et al., 2003; BERTRAND et al. 2008b), de aspectos comportamentais (PITCHER, 1995; GERLOTTO et al., 2004), fisiológicos (SLOTTE, 1998; BAHRI; FRÉON, 2000), e decorrentes de interações com outras espécies (MASSÉ et al., 1996). Segundo BERTRAND et al. (2008a), em pequenas escalas espaciais (núcleos de densidade e cardumes), a organização espacial se mostra predominantemente estruturada por regras comportamentais básicas como atração, repulsão e coesão. Em escalas de agregação superiores, os efeitos de processos físicos como ressurgências, ondas internas, e a formação de frentes oceânicas, seriam mais evidentes (Figura 2.7). Embora Barange et al. (2009) tenham constatado um comportamento geral consistente com o Modelo de Bacias de McCall (1990), alguns trabalhos (PETITGAS, et al., 2001; MUIÑO, et al., 2003; CASTILLO;

ROBOTHAM, 2004) apontam a ausência de uma relação clara e generalista entre a abundância do estoque e o padrão de organização espacial, nas escalas dos cardumes e dos agregados.

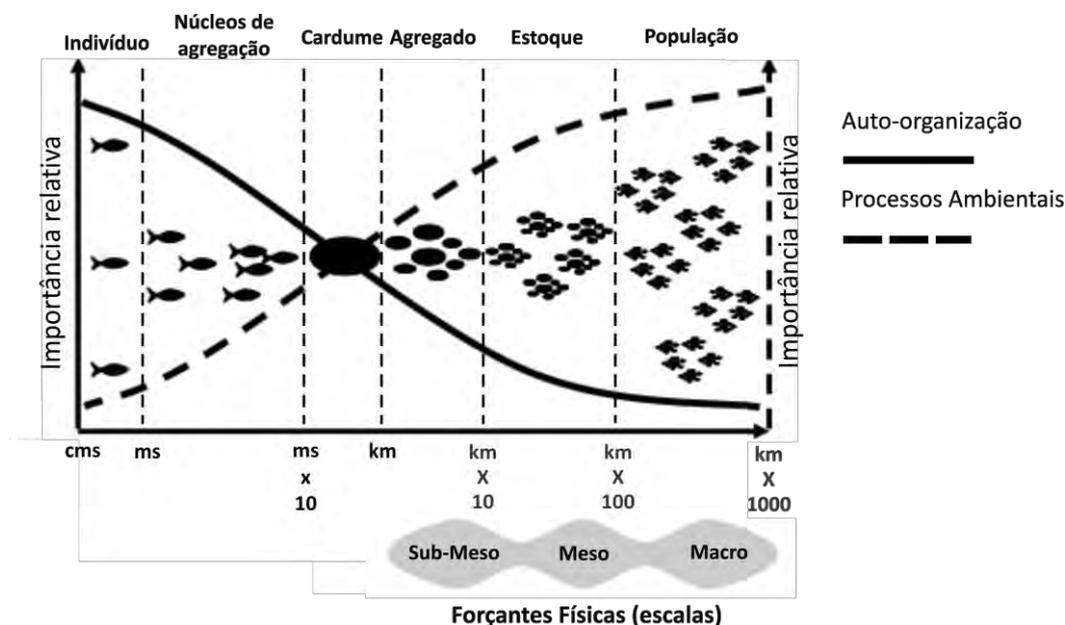


Figura 2.7 – Modelo conceitual representando as influências relativas de processos comportamentais e ambientais sobre as escalas de agregação em pequenos pelágicos adultos
 Fonte: Adaptado de Bertrand et al. (2008a).

2.2. A Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB)

A PCSB consiste numa das principais feições geomorfológicas da costa brasileira, estendendo-se por cerca de 1.000 km de costa, e ocupando cerca de 150.000 km². Possui uma conformação semi-elíptica e apresenta orientação da linha de costa predominantemente no sentido nordeste - sudeste, com exceções para a região de Cabo Frio (23° S), com direção leste - oeste, e para a porção norte do Cabo de Santa Marta Grande (29° S), com direção norte - sul. A plataforma continental sofre estreitamento nos extremos norte e sul, reduzindo sua extensão para 50 km e 70 km, respectivamente, e um alargamento em sua porção intermediária, atingindo até 230 km na altura da costa de Santos (SP). Sua topografia de fundo apresenta-se suave, com

isóbatas dispostas paralelamente à costa, e a ocorrência de algumas ilhas costeiras de grande porte como a Ilha Grande (RJ), Ilha Bela (SP), Ilha de São Francisco e Ilha de Florianópolis (SC) (CASTRO, 1990; ZEMBRUSKI, 1979) (Figura 2.8).

A estrutura oceanográfica da PCSB é complexa, e deriva da ação de fenômenos de mesoescala e escala regional, responsáveis pelos padrões espaço-temporais de distribuição de suas principais massas d'água. A análise dos campos de temperatura superficial do mar mostra uma variabilidade mais evidente nas escalas de tempo interanuais, manifestando-se também nas escalas semi-anual e intra-sazonal. Essa variabilidade é fortemente associada à atividade em mesoescala da Corrente do Brasil (CB), a ocorrência de fenômenos de ressurgência costeira, e a advecção superficial de águas frias e de baixa salinidade, provenientes da plataforma argentina, durante o inverno. (CASTRO et al., 2006).

A CB configura o contorno Oeste do sistema de correntes conhecido como giro do Atlântico Sul (PETERSON; STRAMMA, 1991). Forma-se a partir do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (8°S a 10°S), fluindo ao longo da margem continental em direção sul, acompanhando o talude continental até a latitude de 36° S, onde interage com a Corrente das Malvinas, formando a zona de Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

Os mecanismos oceanográficos atuantes na PCSB também apresentam grande dependência do regime de circulação atmosférica prevalente no Atlântico Sul. O regime de ventos do Atlântico Sudoeste é mantido por um sistema de alta pressão quase permanente, denominado de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que traz ventos de origem sudeste-nordeste em direção a costa, e leva ventos de sudoeste-noroeste no sentido *offshore*. Durante o verão os ventos mais frequentes, entre as latitudes de 15° S e 35° S, são provenientes de leste - nordeste, sendo comumente associados a condições de bom tempo (WAINER; TASCHETTO, 2006).

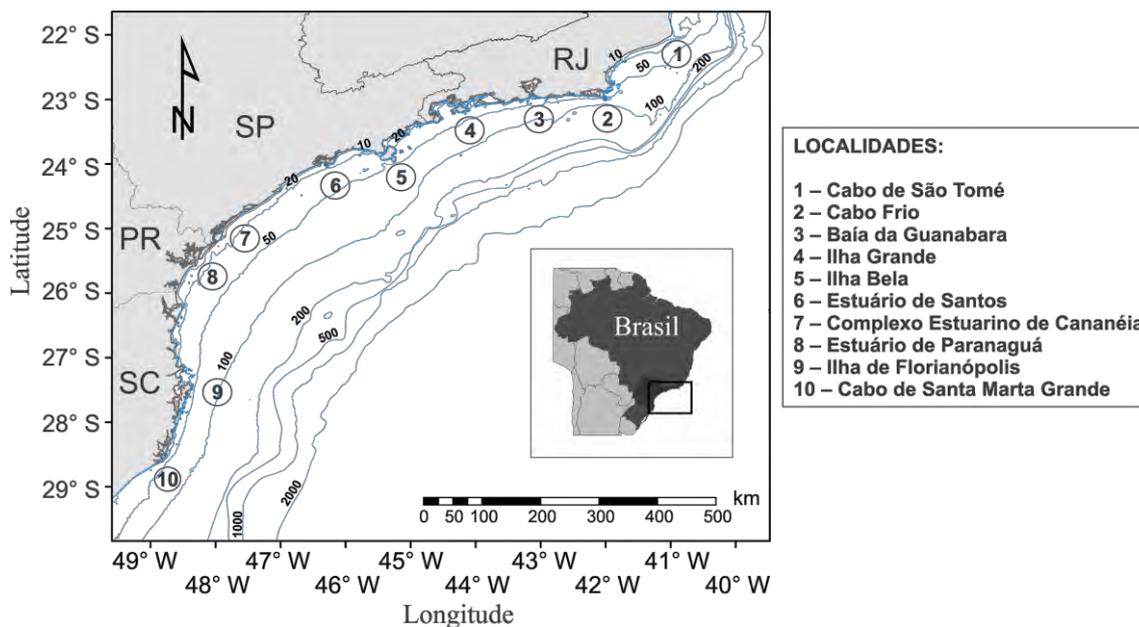


Figura 2.8 – Mapa da Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSB) identificando as principais localidades referenciadas ao longo do texto.

A ASAS apresenta um padrão anti-horário de circulação, e variações sazonais em seu posicionamento e intensidade, associadas aos contrastes térmicos oceano - continente (SOARES, 2009). Durante o inverno sofre intensificação e desloca-se a norte, aproximando-se do continente e intensificando os ventos incidentes nas regiões costeiras (WAINER; TASCHETTO, 2006; PEZZI; SOUZA, 2009). No verão, o aumento na irradiação solar no hemisfério sul provoca inversão nos contrastes de temperatura continente - oceano, promovendo uma atenuação relativa da ASAS, e seu deslocamento a sul.

Durante o inverno, observa-se a intensificação no deslocamento de sistemas frontais ao longo das costas sul e sudeste brasileiras (ANDRADE, 2007). Sistemas frontais são fenômenos de escala temporal sub-inercial (STECH; LORENZZETTI, 1992), formados pelo encontro de massas de ar com características distintas (SOARES, 2009). A estrutura dos sistemas frontais é constituída por um setor quente, localizado a norte da frente, e caracterizado por ventos de Nordeste – Noroeste girando em sentido horário; e um setor frio, localizado a sul da frente, com ventos mais intensos de Sudoeste - Nordeste, girando em sentido anti-horário (STECH; LORENZZETTI, 1992). Este regime é

responsável pelo padrão de distribuição de ventos observado durante o inverno, quando a predominância de ventos de Leste - Nordeste é mais frequente na faixa de latitudes de 20° S a 25° S, mantendo o restante da PCSB sujeita a ação de ventos de Oeste - Sudoeste (CASTRO et al., 2006). O deslocamento dos sistemas frontais atuantes na Costa Sudeste ocorre no sentido Sudoeste - Nordeste, a uma velocidade de até 500 km/dia (STECH; LORENZZETTI, 1992). A intensificação ou enfraquecimento desse deslocamento estaria relacionado à intensidade relativa dos centros de alta pressão do Pacífico e do Atlântico (ANDRADE, 2007).

2.3. Ciclo de vida da Sardinha verdadeira e processos oceanográficos atuantes na PCSB

A sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) constitui uma das espécies pequeno-pelágicas mais abundantes da costa brasileira, ocorrendo desde a latitude de 22° S até a costa da Argentina (MENEZES et al., 2003). Reconhece-se, entretanto, que a principal área de ocorrência e pesca é bem delimitada às regiões internas e médias da plataforma continental (15 m a 100 m), entre as latitudes de 22° S e 28° S (vide Figura 2.8) (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991; CERGOLE; VALENTINI, 1994).

O ciclo de vida da sardinha verdadeira tem duração aproximada entre 3 e 4 anos, no qual a espécie pode atingir comprimento máximo de cerca de 250 mm (VASCONCELLOS, 2003). O crescimento e maturação rápidos fazem com que a transição entre os estágios iniciais e adulto dure apenas 1 ano. As seções seguintes descreverão os principais estágios de vida da sardinha verdadeira abordados neste trabalho, tendo por base o modelo conceitual representado na Figura 2.9. Evidências da relação entre processos climáticos e variações na mortalidade serão apresentados ao longo do texto, tendo por base a literatura dedicada à espécie.

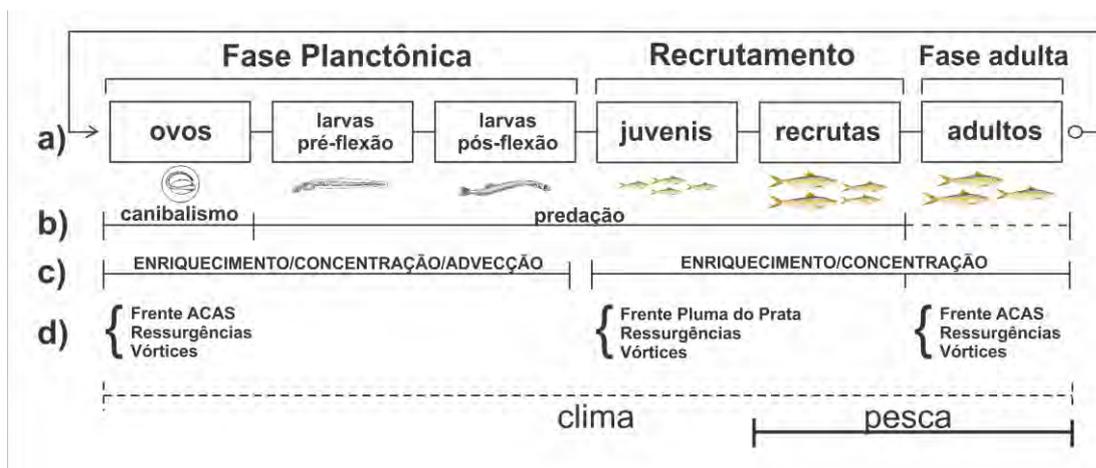


Figura 2.9 – Modelo conceitual representando o primeiro ano do ciclo de vida da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*): (a) Desenvolvimento ontogenético durante o primeiro ano de vida; (b) fatores ecológicos e (c) climáticos associados a mortalidade natural em espécies pequeno-pelágicas; (d) principais processos oceanográficos da PCSB.
 Fonte: Adaptado de Hinckley et al. (2009).

2.3.1. Fase Planctônica

A fase planctônica compreende os estágios de embrião e larva, que são encontrados na PCSB principalmente no período de dezembro a março, entre os ápices de desova e o período de recuperação gonadal da população adulta. Como em outros pequenos pelágicos, a sardinha verdadeira apresenta alta fecundidade. Cada fêmea produz entre 20 e 50 mil ovócitos (MATSUURA, 1977; ISAAC-NAHUM et al., 1988), liberados nas camadas superficiais durante o período noturno (MATSUURA et al., 1992). A eclosão ocorre em até 48 h após a fecundação (MATSUURA, 1975).

O estágio larval tem duração aproximada de 45 dias. Neste período, a alimentação da sardinha é composta, predominantemente, por organismos zooplânctônicos, incluindo náuplios de copépodos nos estágios de pré-flexão e flexão da notocorda (4.5 - 11.0 mm), e copépodos adultos nos estágios pós-flexão e pré-juvenil (11.25 – 17.25 mm) (KURTZ, 1999).

Bakun e Parrish (1990) sugeriram a aplicabilidade da teoria da “tríade fundamental” no sucesso do recrutamento da sardinha verdadeira. No entanto, estes mecanismos fundamentais, e suas relações com os estágios iniciais de vida da sardinha verdadeira, foram pouco abordados em trabalhos subsequentes. Não obstante, Jablonski e Legey (2004) obtiveram algumas evidências da relação entre níveis intermediários de turbulência, induzida pelo vento, e o recrutamento da espécie. Giglotti et al. (2010) enfatizaram o papel da estabilidade vertical e da variabilidade da temperatura superficial na definição da extensão dos habitats reprodutivos, e sua variabilidade interanual.

Na PCSB uma estabilidade relativa é observada durante o verão austral, quando a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) se desloca a profundidades de até 20 m (BORZONE et al., 1999; FREITAS; MUELBERT, 2004), estabelecendo uma frente oceânica em sub superfície, denominada Frente Térmica Profunda (FTP) (CASTRO et al., 2006) (Figura 2.10). A ACAS é caracterizada por temperaturas baixas, inferiores a 20 °C, e salinidades entre 34.6 e 36, possuindo altas concentrações de nutrientes inorgânicos (MIRANDA, 1985). Sua origem resulta de processos de mistura, e posterior subsidência por densidade de águas da Corrente do Brasil e da Água Subantártica de Plataforma (ASP), na Região de Confluência Brasil-Malvinas (CBM) (SVERDRUP et al., 1942). Após a subsidência, a massa d’água é incorporada ao Giro do Atlântico Sul, retornando a costa da América do Sul a partir da Corrente Sub-Equatorial (STRAMMA; ENGLAND, 1999). A partir de 22 °S, a ACAS acompanha o fluxo da CB, ocupando profundidades entre 200 e 400 m (CASTRO et al., 2006).

O deslocamento sazonal da ACAS para menores profundidades é um fenômeno de escala regional (com mais de 500 km de extensão) (CASTRO et al., 2006) que deriva da ação de mecanismos distintos, responsáveis, respectivamente, pelo transporte da massa d’água através do talude continental, até a região da plataforma média, e pela subsequente progressão da frente, em direção ao continente. O processo de transposição do talude continental é ainda objeto de estudos, sendo até então atribuído a ação de

meandramentos ciclônicos da CB (CAMPOS et al. 2000; CASTELAO et al., 2004), e à formação de gradientes zonais de pressão, resultantes da interação entre o fluxo da CB e os limites físicos da plataforma continental (PALMA et al., 2008). Seu deslocamento para profundidades mais rasas é associado ao mecanismo clássico de ressurgência costeira, baseado no transporte de Ekman, gerando transporte divergente, e fluxo resultante em sentido *offshore* (CASTRO et al., 1987). Esse transporte é favorecido pelo sistema de ventos e pela disposição da linha de costa, no sentido Nordeste – Sudoeste. No inverno a intensificação da atuação de sistemas frontais e o resfriamento superficial promovem o recuo da FTP para uma posição bem próxima à Frente Halina Superficial (FHS), formada pela interface da Água Tropical (AT) com as Águas Costeiras (AC) da plataforma continental (Figura 2.10) (CASTRO et al., 2006).

Este fenômeno é acompanhado pela intensificação das Ressurgências costeiras nos setores Norte, ao largo de Cabo Frio (VALENTIN, 1984), e a Sul, na costa de Santa Catarina. A disponibilização de nutrientes na camada fótica seria uma consequência comum das intrusões de ACAS e das ressurgências costeiras. Todavia, as ressurgências costeiras se caracterizam por ciclos de ressurgência/subsidência, que se alternam em curtas escalas de tempo (de dias a semanas) (GONZALEZ-RODRIGUEZ et al., 1992). Como consequência, as áreas sob sua influência, tendem a apresentar grande variabilidade nas condições bio-físicas. Na região de Cabo Frio, as águas ressurgidas formam plumas superficiais de baixas temperaturas, estendendo-se por até 400 km, eventualmente atingindo a região de Ilha Bela (LORENZZETTI; GAETA, 1996). Segundo Lopes et al (2006), as regiões de ressurgência da PCSB são caracterizadas por grandes biomassas de zooplâncton e ictioplâncton. Por outro lado, de acordo com Gigliotti et al. (2010), a desova sardinha verdadeira ocorre com menos frequência na porção norte da PCSB, próximo a região de Cabo Frio. Os autores associaram esse fato a maior variabilidade térmica nas camadas de superfície, bem como à menor extensão local da plataforma continental.

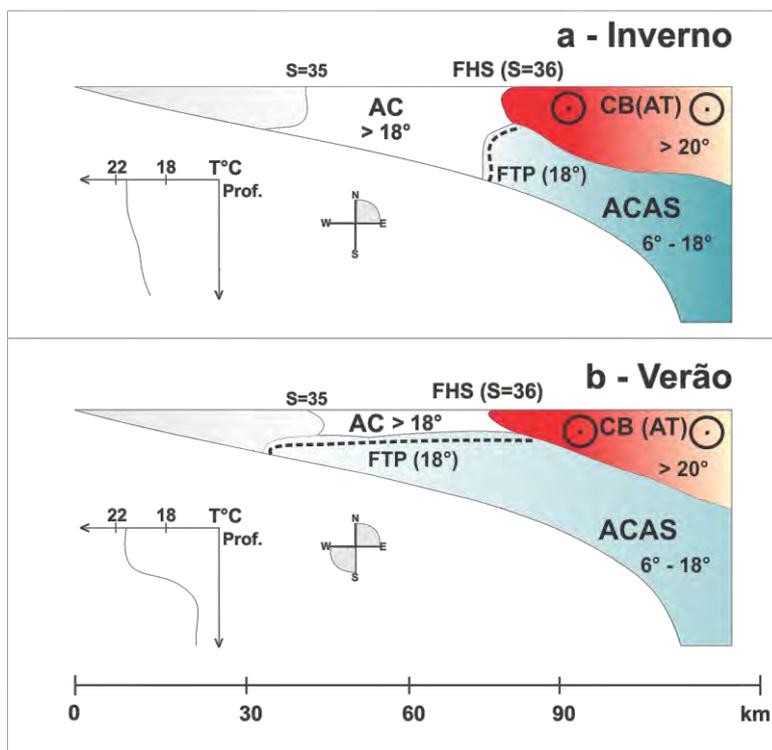


Figura 2.10 - Representação esquemática das condições oceanográficas na Plataforma Continental Sudeste durante o inverno (a) e verão (b).
 Fonte: Baseado em Matsuura (1996), e Castro et al. (2006).

Mudanças na circulação costeira, induzidas pela ação de ventos de sudoeste, associados à passagem de sistemas frontais, poderiam constituir fontes potenciais de turbulência e advecção de juvenis para áreas menos favoráveis (BAKUN, 1996). A relação entre mecanismos de advecção, estratégias reprodutivas e a extensão dos habitats essenciais à sobrevivência de larvas tem sido constatada para outras populações de pequenos pelágicos, através de experimentos com modelos numéricos e lagrangianos (AGOSTINI; BAKUN, 2002; PARADA et al., 2003; SANTOS et al., 2004; LETT et al., 2006; 2007).

A ação de meandramentos e vórtices anti-ciclônicos da CB pode originar frentes térmicas superficiais e ressurgência da ACAS (no caso de meandramentos anticiclônicos) na região da quebra da plataforma (CAMPOS, 1995). A interação com qualquer estágio do ciclo de vida da sardinha dependeria, portanto, do grau de influência do fenômeno nas regiões mais internas da plataforma continental. Esta situação seria mais provável na região

norte da PCSB, onde a plataforma continental é mais estreita, e a atividade em mesoescala da CB se intensifica, com frequente formação de vórtices e deslocamentos meridionais na frente térmica (LORENZZETTI et al., 2009).

2.3.2. Recrutamento

Com comprimento aproximado de 40 mm, os juvenis iniciam a formação de cardumes, deslocando-se para regiões estuarinas (ROSSI-WONGTCHOWSKI et al., 1982). Nesta fase, o nicho alimentar assemelha-se ao da fase adulta, e envolve o consumo de copépodos adultos, larvas de decápodes e quetognatos (GOITEIN, 1978).

O período de recrutamento coincide com o inverno austral, ocorrendo com maior intensidade no mês de julho (CERGOLE et al., 2002), quando os juvenis apresentam comprimento médio de aproximadamente 90 mm. Neste período do ano, Schneider e Schwingel (1999) observaram uma mudança na dieta de jovens e adultos, que passa a ser composta predominantemente por organismos do fitoplâncton.

Entre os meses de abril e agosto, observa-se um fluxo superficial de águas frias ($< 18^{\circ}\text{C}$) e de baixa salinidade (< 33.5), originário da plataforma continental argentina (40°S), estabelecendo uma corrente temporária que flui até o limite sul da PCSB, eventualmente atingindo latitudes inferiores a 24°S (STEVENSON et al., 1998; MÖLLER JR. et al., 2008). O estabelecimento deste fluxo, denominado Corrente Costeira do Brasil (CCB) (SOUZA; ROBINSON, 2004), é associado à prevalência dos ventos de Sudoeste, característicos do inverno austral, em conjunção a elevação relativa do nível do mar, causada pela intensificação da descarga fluvial do Rio da Prata, à força de Coriolis e à orientação da linha de costa (GUERRERO et al., 1997; SOUZA; ROBINSON, 2004; PIOLA et al., 2005). Durante o deslocamento, estas águas interagem, com águas subtropicais da Corrente da Patagônia, e com águas tropicais da CB, através de processos de mistura lateral, recebendo também alguma

influência da descarga da Lagoa dos Patos (MUELBERT et al., 2008). Seu alto conteúdo de nutrientes é atribuído a estes processos de mistura, e à contribuição alóctone do Rio La Plata (CIOTTI et al., 1995). Os efeitos do fluxo sobre a distribuição da Clorofila- α são documentados em Odebrecht e Garcia (1997), e em Muelbert et al. (2008).

Segundo Piola et al. (2005), uma provável influência de fenômenos El Niño - La Niña sobre o regime de ventos da região influenciaria a extensão e o deslocamento da CCB em escalas interanuais. Stevenson et al. (1998) associam a ocorrência eventual de organismos subtropicais nos setores norte da PCSB a variações na intensidade das intrusões.

A despeito da sobreposição temporal, possíveis relações entre a variabilidade da CCB e o recrutamento da sardinha verdadeira nunca foram exploradas pela literatura especializada. Ao mesmo tempo, os efeitos sobre a distribuição de juvenis e adultos de sardinha verdadeira são virtualmente desconhecidos.

2.3.3. Fase Adulta

Os indivíduos atingem maturação gonadal ao final do primeiro ano de vida, a um comprimento médio de cerca de 170 mm, tamanho mínimo permitido para captura (ISAAC-NAHUM et al., 1988; SACCARDO et al., 1988). Na idade adulta os cardumes adquirem características mais homogêneas em termos da distribuição de classes de comprimento (ROSSI-WONGTCHOWSKI, 1977), ocorrendo predominantemente na regiões interna e média da plataforma continental. A pesca captura indivíduos com idades entre 1.5 e 2.5 anos, e tamanho médio de até 220 mm (SACCARDO et al., 1988).

Segundo Rossi-Wongtchowski et al. (1991), os cardumes de sardinha verdadeira realizam migrações verticais diárias, deslocando-se para a superfície durante a noite, e permanecendo em contato com o fundo durante o dia. Segundo os mesmos autores, o posicionamento diurno dos cardumes é limitado pela intersecção da termoclina com o fundo (Figura 3 em ROSSI-

WONGTCHOWSKI et al., 1991), situando-se próximo à isoterma de 20° C, tradicionalmente empregada na delimitação da ACAS (MIRANDA, 1985; CASTRO et al., 2006). Esse comportamento espelha um padrão de migração circadiana, comum em pequenos pelágicos, descrito por Fréon et al. (2005). A captura da sardinha por embarcações de cerco ocorre preferencialmente à noite, após o deslocamento dos cardumes para a superfície (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011).

O período reprodutivo da sardinha se estende de outubro a março, incorporando as fases de maturação e desova, ao longo da primavera e do verão (SACCARDO et al., 1988). A desova ocorre de modo parcelado, e as fêmeas liberam vários lotes de ovócitos consecutivos durante a temporada (MATSUURA, 1983; 1998). Observam-se diferenças no início e duração do período de desova, para os setores Norte-Central (23°S a 26°S) e Sul (26° a 28°S) da PCSB (ROSSI-WONGTCHOWSKI et al., 1982), originando estruturas etárias e padrões de crescimento ligeiramente distintos (CASTELLO, 2007). Segundo Saccardo e Rossi-Wongtchowski (1991), e Matsuura (1998), estes deslocamentos temporais seriam atribuídos a variações nas intrusões da ACAS, gerando condições ambientais desfavoráveis em setores distintos da plataforma.

A relação entre a distribuição espaço-temporal da sardinha adulta e a variabilidade climática da PCSB constitui assunto pouco abordado na literatura. Os resultados de Sunyé e Servain (1998), e Paes et al. (2007) sugerem a existência de variações sazonais e interanuais na distribuição da espécie, alterando sua disponibilidade a pesca em diferentes setores da PCSB. Sunyé e Servain (1998) constataram que a variabilidade dos desembarques de sardinha pode ser explicada por diferentes conjuntos de variáveis oceanográficas e meteorológicas, dependendo da região geográfica considerada. A disponibilidade da espécie nos setores norte e central da PCSB (entre 23°S e 26°S) seria regulada por processos meteorológicos, associados principalmente a precipitação. No setor sul, a variabilidade nos desembarques acompanharia as variações nas temperaturas superficiais e na salinidade. Segundo Paes et al

(2007), mais de 60 % das variabilidades intra e interanual das capturas da sardinha seriam explicadas por variações na temperatura superficial. Os autores chamam a atenção para os padrões diferenciados de variabilidade temporal, observados nas séries de capturas efetuadas nos setores Norte e Sul da PCSB.

2.4. Representação da variabilidade espaço-temporal do ambiente físico através de dados de Sensoriamento Remoto e Reanálises

As populações de recursos pesqueiros são influenciadas por processos físicos e biofísicos, ocorrentes em diversas escalas espaço-temporais. A ecologia pesqueira frequentemente se apoia em abordagens não experimentais (COLE; McGLADE, 1998), investindo em uma análise retrospectiva destes processos, e avaliando suas correlações com séries históricas de flutuações populacionais, ou de produção pesqueira (LLUCH-COTA et al., 1999; CAHUIN et al., 2009; SOARES et al., 2011). A análise de processos climáticos e oceanográficos requer a disponibilidade de séries de variáveis, ou de descritores físicos e biofísicos, que permitam uma caracterização de suas variabilidades no espaço e no tempo. Neste âmbito, atributos como o histórico de cobertura, resoluções espaciais e temporais, a área de cobertura, a facilidade e os custos de aquisição, assumem grande relevância na definição do rol de processos e escalas representáveis em estudos científicos.

O monitoramento de fenômenos oceanográficos pela oceanografia operacional baseia-se em métodos tradicionais de coleta *in situ*, apresentando potencial de limitado em termos de cobertura espaço-temporal, devido a baixa mobilidade das plataformas empregadas na aquisição de dados. A aquisição de dados por sensores orbitais proporciona um monitoramento em escala sinótica dos oceanos, e uma aquisição de dados em altas resoluções espaciais e temporais, possibilitando o estudo de fenômenos oceanográficos em uma ampla gama de escalas de espaço e tempo (ROBINSON, 1985; SHERBININ et al., 2002). Não obstante, a aquisição remota de dados é restrita às camadas superficiais dos

oceanos, contrastando com a percepção tridimensional do ambiente, proporcionada pelos métodos convencionais de coleta *in situ* (ROBINSON, 1985). Dados orbitais também apresentam uma dependência relativa da oceanografia operacional, uma vez que sua validação é feita a partir de medidas *in situ*. Segundo Souza (2005), uma melhor compreensão da dinâmica dos oceanos envolveria a análise combinada de fontes distintas de dados, incluindo métodos *in situ* e de sensoriamento remoto, cobrindo faixas amplas de escalas espaço-temporais.

No Brasil, a aplicação do Sensoriamento Remoto em estudos pesqueiros se iniciou ao final dos anos 70, com uma proposta de elaboração de cartas de pesca para a sardinha verdadeira (MALUF, 1978). Outras iniciativas avaliaram, com relativo sucesso, a relação entre variáveis oceanográficas medidas por sensores remotos e as capturas de tunídeos nas regiões nordeste (ROCHA et al., 2001; ZAGAGLIA et al., 2004), sudeste e sul (OLIVEIRA et al., 2010; ANDRADE; GARCIA, 1999). Os estudos especificamente direcionados à ecologia e a pesca da sardinha verdadeira são ainda incipientes (PAES et al., 2007; PINAYA, 2008; GIGLIOTTI et al., 2010), a despeito do acúmulo de séries temporais de dados, e da existência de programas ativos de monitoramento da pesca.

As seções 2.4.1 a 2.4.3 discorrem sobre os princípios físicos e métodos de aquisição das variáveis de Sensoriamento Remoto empregadas neste trabalho. A seção 2.4.4 faz uma breve introdução dos Modelos de Reanálise, cujos dados também foram empregados nesta Tese, comentando sua utilização em estudos pesqueiros.

2.4.1. Temperatura Superficial do Mar (TSM)

A temperatura superficial do mar (TSM) e sua variabilidade são amplamente utilizadas no estudo das relações entre o ambiente físico e a distribuição, comportamento e abundância de organismos marinhos, através da caracterização e monitoramento de processos oceânicos como ressurgências

costeiras, frentes termais, vórtices e mecanismos advectivos. A TSM consiste no parâmetro oceânico com o maior histórico de cobertura por satélites, em escala mundial, estendendo-se da década de 70 aos dias correntes (SOUZA, 2005). Grande parte deste monitoramento é provida por uma série de radiômetros de alta resolução, denominados *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), que atualmente voam a bordo dos satélites NOAA 15 a NOAA 19 (NOAASIS, 2012a) (Tabela 2.2). A aquisição de dados envolve o uso de dois satélites com órbitas defasadas em 90°, proporcionando 2 passagens diurnas e 2 noturnas a cada 24 horas. Os sensores AVHRR apresentam seis bandas espectrais, das quais três (3B, 4 e 5; na Tabela 2.3) são empregadas na estimativa da TSM (SOUZA et al., 2005; NOAASIS, 2012b)

A superfície terrestre, com temperaturas médias em torno de 300 graus Kelvin (K), emite radiação concentrada majoritariamente na faixa do Infravermelho (IV) Termal (3×10^3 nm a 1.5×10^4 nm). Os radiômetros AVHRR quantificam a radiação nestas faixas espectrais, permitindo uma estimativa da TSM (SOUZA et al., 2005). A determinação da TSM através de sensores orbitais apoia-se em dois pressupostos teóricos. O primeiro é de que o oceano se comporta como um emissor perfeito (corpo-negro) na faixa de comprimentos de onda do IV termal, devido à sua alta emissividade espectral ($\epsilon_\lambda = 0.98$). A emissividade (ϵ) corresponde à proporção da exitância radiante espectral de um alvo (M_λ) em relação a um corpo-negro, variando em função da temperatura e rugosidade da superfície do oceano, e com o ângulo zenital do sensor. O segundo pressuposto é de que a exitância espectral de um corpo negro segue um modelo Lambertiano, independente da direção.

Tabela 2.2 - Características gerais dos Sistemas NOAA/AVHRR.

| | |
|--------------------------|---|
| Orbita | 833 km - 870 km; heliossíncrona; quase - polar; |
| Período orbital | 102 minutos |
| Revisita | 1 dia |
| Faixa imageada | 2.700 km |
| Resolução espacial (LAC) | 1,1 km (LAC); 4.2 km (GAC) (no nadir) |
| Resolução radiométrica | 10 bits |

LAC - *Local Area Coverage* ou Resolução Local, correspondente ao momento de aquisição; GAC - *Global Area Coverage*, resolução para cobertura global, após o processamento.

Tabela 2.3 – Características das bandas espectrais do sensor AVHRR/3.

| Canal | Intervalo Espectral (μm) | Utilização |
|-------|---------------------------------------|--|
| 1 | 0.58 - 0.68 (visível) | Mapeamento de nuvens e superfícies |
| 2 | 0.72 - 1.00 (IV próximo) | Diferenças oceano - continente |
| 3A | 1.58 - 1.64 (IV próximo) | Neve - gelo |
| 3B | 3.55 - 3.93 (IV termal) | Mapeamento de nuvens; Aquisição TSM (noturna) |
| 4 | 10.3 - 11.3 (IV termal) | Mapeamento de nuvens; Aquisição TSM (diurna / noturna) |
| 5 | 11.5 - 12.5 (IV termal) | Aquisição TSM (diurna / noturna) |

Fonte: Souza et al. (2005); NOAA/SIS (2012b).

O Projeto *Pathfinder*, mantido pelo *United States National Oceanographic Data Center* (USNODC), e pelo *Group for High resolution Sea Surface Temperature* (GHRSSST), é responsável pelo processamento dos dados AVHRR, e produção das séries TSM derivadas (CASEY et al., 2010). A produção das estimativas de TSM envolve quatro etapas: Na primeira os números digitais (*ND*) são convertidos em valores de radiância aparente no sensor (L_λ), seguindo um

modelo de regressão, e coeficientes α_n , pré-determinados para cada banda e sensor. O algoritmo de conversão empregado nas medidas digitais do AVHRR é dado na Equação 2.2 (ROBEL, 2009).

$$L_\lambda = \alpha_0 + \alpha_1 ND + \alpha_2 (ND)^2 \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}] \quad (2.2)$$

A relação entre L_λ e a temperatura do alvo (T) é dada pela Lei de Planck (Equação 2.3), sendo válida para o intervalo de temperatura entre 250 e 320 K. A segunda etapa envolve um cálculo inverso desta relação, e fornece uma primeira estimativa radiométrica da temperatura, denominada de temperatura de brilho (T) (ROBINSON, 1985; SOUZA et al., 2005).

$$L_\lambda \pi = M_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1]} \quad [\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}] \quad (2.3)$$

sendo λ o comprimento de onda; M_λ a excitância espectral no comprimento de onda λ ; C_1 constante ($3.74151 \times 10^8 \text{ W.m}^{-2}.\mu\text{m}^4$); C_2 constante ($1.43879 \times 10^4 \mu\text{m K}$); T a temperatura de brilho (em graus Kelvin).

Na terceira etapa ocorre o processo de correção atmosférica, seguido da estimativa das medidas finais de TSM. Constituintes atmosféricos como ozônio, dióxido de carbono e o vapor d'água absorvem energia no intervalo do infravermelho, alterando o valor de T (SOUZA et al., 2005). A correção atmosférica baseia-se no fato de que a atenuação da energia eletromagnética, durante o caminho ótico até o satélite, ocorre de modo diferenciado ao longo do espectro eletromagnético. Assim, diferenças nos valores de T fornecidos por diferentes canais são utilizados na inferência do nível de atenuação produzido pelo vapor d'água (LORENZZETTI; ARAÚJO, 2004). O algoritmo multi-canal *Non-Linear Sea Surface Temperature* (NLSST) (WALTON et al., 1998) (Equação 2.4) presume um modelo empírico de resposta não linear para as bandas 4 e 5 do sensor AVHRR (vide Tabela 2.3), assumindo diferentes regimes de vapor d'água (CASEY et al., 2010):

$$\text{TSM} = \alpha_1 + \alpha_2 T_4 + \alpha_3 (T_4 - T_5) T_{\text{sup}} + \alpha_4 (\sec \theta - 1) (T_4 - T_5) \quad (2.4)$$

sendo T_4 e T_5 as Temperaturas de brilho nos canais 4 e 5, α_n os coeficientes mensais de regressão entre as Temperaturas de brilho (Equação 2.2) e um conjunto de medidas TSM *in situ*; e θ o ângulo zenital do satélite. A variável T_{sup} constitui um valor de temperatura inicial, obtido por modelos lineares, ou através de combinação de dados interpolados de bases climatológicas (SOUZA et al., 2005). Segundo Casey et al. (2010), a versão 5 do Projeto *Pathfinder* emprega as medidas fornecidas pela *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2* (OISSTv2) (REYNOLDS et al., 2002). As bases de dados *in situ* empregadas na estimativa dos coeficientes α_n originam-se de coletas por boias oceanográficas e navios de oportunidade, em tempos e localidades aproximadamente coincidentes com a aquisição por satélites (CASEY et al., 2010). O processo de regressão linear em uma base de dados *in situ* resulta em estimativas de TSM que equivalem às medidas de *temperatura de balde*, ou seja, coletadas na camada imediatamente inferior à superfície (SOUZA et al., 2005).

A última etapa avalia a qualidade dos dados produzidos, e envolve: testes de uniformidade; a quantificação da contaminação por nuvens; testes para efeitos da radiação espalhada, da reflexão especular, e do ângulo zenital do satélite; a eliminação de pixels de borda; e uma comparação com um campo TSM de referência (no caso da *Pathfinder* versão 5, a base OISSTv2). Os resultados destes testes são representados em sete diferentes níveis de qualidade (bandeiras), empregados na classificação de cada estimativa TSM (CASEY et al., 2010).

2.4.2. Concentração de Clorofila – α (Chl- α)

A produtividade primária dos oceanos apoia-se principalmente na atividade fotossintética do fitoplâncton, que promove a conversão da energia eletromagnética oriunda da radiação solar em energia química e biomassa. A Clorofila- α consiste no principal pigmento fotossintético encontrado em organismos do fitoplâncton, sendo responsável pela absorção da energia

necessária à fotossíntese. A forte dependência da radiação solar faz com que o fitoplâncton distribua-se, preferencialmente, nas camadas superficiais do oceano, até os limites da zona eufótica, onde a irradiância solar é reduzida a 1% da incidente na superfície dos oceanos. Conseqüentemente, a produção primária dos oceanos apresenta-se fortemente correlacionada às concentrações superficiais de Clorofila- α (STEWART, 1985).

As variações na biomassa do fitoplâncton podem resultar de processos do tipo *top-down*, como a pastagem pelo zooplâncton, e de processos do tipo *bottom-up*, relacionados às forçantes físicas do ambiente (HARDMAN-MOUNTFORD et al., 2009). Estudos com enfoque em zonas pesqueiras, utilizando dados da cor do oceano conjuntamente a dados de TSM, revelam um forte acoplamento entre processos físicos e a resposta biológica do fitoplâncton (SOLANKI et al., 2001; 2005), e reforçam a importância de mecanismos do tipo *bottom-up* como principais reguladores dos ciclos de produtividade primária oceânica.

A determinação da concentração de Clorofila- α através de radiômetros orbitais baseia-se na relação empírica observada entre estas concentrações e variações quantitativas no espectro de cor do oceano. Esta relação apoia-se na constatação de que a reflectância superficial, ou aparente ($R_{A,\lambda}$), de um corpo d'água, pode ser modelada em função dos processos de espalhamento e absorção da energia eletromagnética que penetra este corpo d'água (GORDON et al., 1975; PREISENDORFER, 1976; MOREL; PRIEUR, 1977). Tal pressuposto assume uma ausência de processos inelásticos, ou seja, as variações em $R_{A,\lambda}$ resultariam de processos dependentes entre si. O espalhamento consiste na mudança de direção dos fótons, sendo quantificado através da integração da função que representa o espalhamento volumétrico, dada em função do ângulo de espalhamento (KAMPEL; NOVO, 2005). A absorção é definida pelo decaimento do fluxo radiante por unidade de caminho ótico percorrido pela energia eletromagnética. Ambas as propriedades independem de variações no campo de luz incidente, sendo determinadas pelas concentrações de Componentes Óticamente Ativos (COA) presentes no corpo d'água, bem como pelas próprias moléculas da água

(PREISENDORFER, 1976). Os principais COA (Figura 2.11 i) incluem o fitoplâncton, materiais inorgânicos particulados (representados principalmente por sedimentos em suspensão), e a matéria orgânica dissolvida (também chamada de substância amarela, ou *gelbstoff*). Em áreas rasas e de águas transparentes, a reflexão no fundo oceânico também pode influenciar a estimativa de $R_{A,\lambda}$ (IOCCG, 2000).

Em águas de Caso I, as variações espectrais em $R_{A,\lambda}$ são atribuídas principalmente a variações na biomassa do fitoplâncton. As concentrações de materiais particulados e substâncias orgânicas dissolvidas são consideradas como covariantes com as concentrações deste pigmento (MOREL; 1988; MOREL; ANTOINE, 1998). Este cenário é aplicável a águas oligotróficas oceânicas, onde a presença de partículas inorgânicas é, na melhor das hipóteses, desprezível, e as concentrações de substâncias orgânicas são atribuídas ao processo de decomposição do fitoplâncton (KAMPEL; NOVO, 2005). Nas águas de Caso II, principalmente costeiras, a influência de descargas continentais e sistemas estuarinos induz uma maior variabilidade espaço-temporal às concentrações de sedimentos e substâncias orgânicas dissolvidas. Como resultado, estes componentes assumem comportamento independente da concentração de Clorofila- α , passando a exercer forte influência sobre o comportamento de $R_{A,\lambda}$ (PRIEUR; SATHYENDRANATH, 1981; MOREL; ANTOINE, 1998) (Figura 2.11 ii).

Em águas de Caso 1, o aumento na concentração de Clorofila- α ocasiona a redução dos valores de $R_{A,\lambda}$ em comprimentos de onda da região do azul (cerca de 0.450 nm),. Essa redução é contrabalanceada por um aumento das reflectâncias na faixa do verde (entre 0.500 nm e 0.550 nm) (MOREL; PRIEUR, 1977). O cálculo das concentrações de Clorofila- α segue um modelo empírico, baseado na relação linear entre medidas logaritimizadas de concentração *in situ* do pigmento, e os logaritmos das razões de $R_{A,\lambda}$ nas bandas do azul e verde (GORDON, MOREL, 1983; MOREL; ANTOINE, 1998).

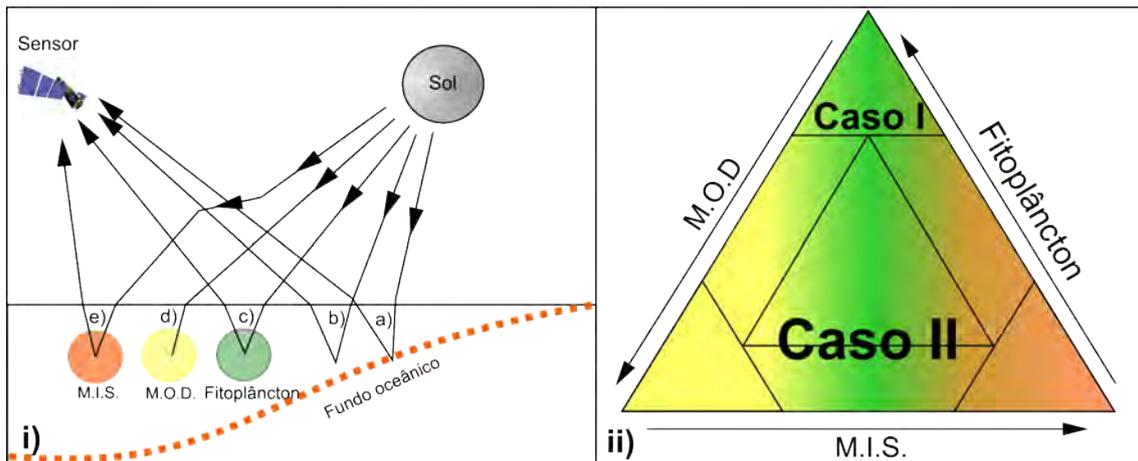


Figura 2.11 – i) Processos que influenciam a radiação eletromagnética emergente em corpos d'água oceânicos: a) reflexão pelo fundo; b) reflexão por moléculas de água pura; c) Reflexão pelo Fitoplâncton; d) Absorção pela Matéria Orgânica Dissolvida; e) Reflexão pelo Material Inorgânico em Suspensão. ii) Diagrama de representação de águas de Caso I e águas de Caso II, em função dos COA dominantes.
 Fonte: Adaptado de IOCCG (2000).

O sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS), que operou entre Setembro de 1997 e Dezembro de 2010 (Tabela 2.4), é responsável pelas séries temporais mais longas de estimativas da Clorofila- α , baseadas em medidas de reflectância superficial. A estimativa da concentração Clorofila- α a partir de radiâncias orbitais obtidas por este sensor desenvolve-se em 4 etapas. A primeira envolve a conversão de valores digitais em valores de radiância aparente no sensor (L_λ). Essa conversão considera fatores de correção relacionados às variações na temperatura dos detectores, a ação da radiação difusa, e a degradação de componentes do sensor, como espelhos e detectores (HU et al., 2010); bem como o processo de calibração do sistema (GORDON, 1987). O algoritmo empregado na conversão dos valores digitais adquiridos pelo SeaWiFS é apresentado em Eplee e Barnes (2000).

Tabela 2.4 - Características gerais do Sistema SeaStar/SeaWiFS.

| | |
|------------------------|--|
| Orbita | 705 km; heliossíncrona; quase – polar; |
| Período orbital | 99 minutos |
| Revisita | 1 dia |
| Faixa imageada | 2.806 km |
| Resolução espacial | 1.1 km (LAC); 9.2 km (GAC) |
| Resolução radiométrica | 10 bits |

Fonte: IOCCG (2012); Hammann e Puschell (2012).

A segunda etapa consiste da correção dos efeitos atmosféricos, a qual se baseia na análise do comportamento das radiâncias medidas na região do infravermelho próximo. No caso específico do Sensor SeaWiFS são esperados, para águas de Caso I, valores próximos de zero nas faixas espectrais de 765 nm e 865 nm (HU et al., 2010). Modelos de transferência radioativa extrapolam estes resultados para o domínio do visível, permitindo uma estimativa da radiância que efetivamente deixa a água neste intervalo espectral (GORDON; WANG, 1994; KAMPEL, 2003).

Após a correção atmosférica os valores de L_λ são convertidos em refletâncias aparentes ($R_{A\lambda}$), através da expressão:

$$R_{A\lambda} = \frac{\pi L_\lambda}{E_\lambda \cos \theta}; \quad (2.5)$$

sendo E_λ a irradiância medida no topo da atmosfera, e θ o ângulo zenital do Sol.

O algoritmo empírico *Ocean Chlorophyll Versão 4* (OC4V4) (O'REILLY et al., 2001) (Equação 2.5) é empregado no cálculo das concentrações finais de Clorofila- α a partir das medidas de $R_{A,\lambda}$ obtidas através do sensor SeaWiFS. Este algoritmo baseia-se no ajuste ótimo de uma função polinomial,

relacionando os valores logaritimizados de medidas *in situ* às razões máximas entre as refletâncias nas bandas 2, 3, 4 e 5 (MOREL et al., 2007) (Tabela 2.5).

$$[\text{Chl}_\alpha] = 10.0^{(0.366 - 3.067R_{4s} + 1.430 R_{4s}^2 + 0.649 R_{4s}^3 - 1.532 R_{4s}^4)} \text{ [mg.m}^{-3}\text{]} \quad (2.6)$$

sendo $R_{4s} = \log_{10}(R_{555}^{443} > R_{555}^{490} > R_{555}^{510})$; com R denotando a razão máxima entre os valores de $R_{A,\lambda}$ nas bandas especificadas. As estimativas derivadas apresentam exatidão de $\pm 30\%$, considerando-se uma faixa de concentrações de Clorofila- α entre 0.01 mg.m^{-3} e 50.00 mg.m^{-3} (HOOKER; McCLAIN, 2000; O'REILLY et al., 2001). Segundo Brandini (1990), o domínio da PCSB engloba ambientes heterotróficos e mesotróficos, com concentrações *in situ* de Clorofila- α variando de 0.01 mg.m^{-3} a 8.09 mg.m^{-3} .

Tabela 2.5 - Características das bandas espectrais do sensor *SeaWiFS*.

| Canal | Intervalo Espectral (μm) | Utilização |
|-------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0.402 - 0.422 (visível) | Detecção de material orgânico dissolvido |
| 2 | 0.433 - 0.453 (visível) | Absorção da Clorofila- α |
| 3 | 0.480 - 0.500 (visível) | Absorção de outros pigmentos fotossintéticos; Coeficiente de atenuação difusa (K^{490}) |
| 4 | 0.500 - 0.520 (visível) | Absorção da Clorofila- α |
| 5 | 0.545 - 0.565 (visível) | Pigmentos, Propriedades óticas, Sedimentos |
| 6 | 0.660 - 0.680 (visível) | Correção atmosférica, Sedimentos |
| 7 | 0.745 - 0.785 (IV próximo) | Correção atmosférica, Radiância de aerossóis |
| 8 | 0.845 - 0.885 (IV próximo) | Correção atmosférica; Radiância de aerossóis |

Fonte: Hooker et al. (1992); Gordon e Wang (1994); Hammann e Puschell (2012).

2.4.3. Direção e intensidade dos ventos na superfície oceânica

O campo de ventos que atua sobre a superfície oceânica é reconhecido como uma importante forçante física, geradora de uma ampla gama de fenômenos oceanográficos, em um grande espectro de escalas espaço-temporais (STECH, 2005). Conforme visto anteriormente, a circulação costeira na PCSB é altamente correlacionada ao regime de ventos dominante. Fenômenos oceanográficos de grande importância para a variabilidade climática da PCSB, como as intrusões da ACAS e as ressurgências costeiras, também mostram uma forte dependência campo de ventos incidente na região (CASTRO et al., 2006).

Dados de velocidade e direção do vento na superfície do oceano são rotineiramente adquiridos através de radares escaterômetros, operando na faixa das micro-ondas ($\lambda = 0.75 \times 10^7$ nm a 10^9 nm) (JENSEN, 2009). Os escaterômetros são sensores ativos, que emitem pulsos em ângulos distintos com relação à direção de deslocamento do satélite, registrando a energia retroespalhada pela superfície do oceano (JPL, 2003). A aquisição em múltiplos ângulos é provida por um conjunto de antenas independentes, caso dos escaterômetros a bordo dos satélites *Earth Resource Satellite* (ERS 1 e 2) (STOFFELEN; ANDERSON, 1997), ou por antenas circulares giratórias, no caso dos sensores QuickSCAT (JPL, 2003), e OSCAT (OCEANSAT 2) (VERHOEF; STOFFELEN, 2012) (Figura 2.12).

Variações na velocidade do vento ocasionam o aumento ou diminuição na geração de ondas capilares, de alta frequência e comprimento de onda menor que 20 mm, alterando a rugosidade superficial do oceano. Estas mudanças influenciam na magnitude do sinal retroespalhado, registrado pelo escaterômetro (JPL, 2003), o qual é proporcional aos comprimentos de onda das ondas capilares (Equação 2.6), caracterizando o chamado espalhamento Bragg (HOLT, 2004):

$$\lambda_{cw} = \frac{\lambda_R}{2 \sin \phi} \quad (2.7)$$

onde λ_{CW} e λ_R representam, respectivamente, os comprimentos de onda das ondas capilares e do pulso emitido pelo radar; e ϕ o ângulo de incidência do feixe radar. O espalhamento Bragg mantém-se valido para valores de ϕ entre 15° e 60° .

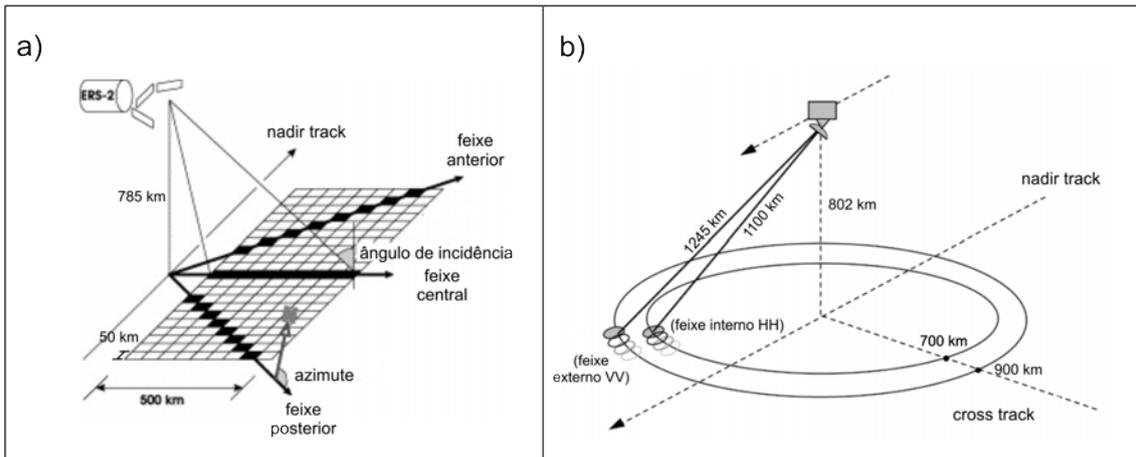


Figura 2.12 - Geometrias de imageamento dos escaterômetros ERS (a), QuickScat (b).

Fonte: Adaptações de Bullen et al. (2003); e NSDIC (2008).

O Coeficiente Normalizado de Retroespalhamento (*sigma-zero* ou σ°), dado pela razão entre a intensidade do sinal refletido em direção ao sensor, e a intensidade do sinal incidente (σ), fornece uma medida normalizada da energia retoespalhada pela superfície do mar, considerando-se uma área A , iluminada pelo sensor (Equação 2.8). Além das propriedades físicas, elétricas e rugosidade do alvo, σ° também depende parâmetros como o ângulo de visada do radar (θ), a frequência (ou comprimento de onda), e a polarização do pulso. Normalmente, σ° é medido em decibéis, sendo estimado através da equação:

$$\sigma^\circ = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma}{A} \right) \quad [dB] \quad (2.8)$$

A determinação da velocidade e direção dos ventos baseia-se na relação empírica entre σ° e o campo de ventos na superfície do oceano, assumindo-se uma altura de 10 m em relação ao nível do mar, uma atmosfera neutra, e ângulos de incidência moderados ($> 15^\circ$) (WENTZ; MATTOX 1986; DUNBAR et al., 2000; JPL, 2003; HOLT, 2004). Essa relação é representada

matematicamente através de Modelos Geofísicos (*Geophysical Model Function*, ou GMF), cuja forma generalizada é apresentada na Equação 2.9 (SIKORA et al., 2006):

$$\sigma^0 = A(\phi)U_{10}^{\gamma(\phi)}[1 + B(\phi, U_{10})\cos\phi + C(\phi, U_{10})\cos2\phi] \quad (2.9)$$

O parâmetro U_{10} representa a velocidade do vento a 10 m da superfície do oceano, ϕ o ângulo relativo entre a direção do vento e a direção de visada do radar, e θ o ângulo de incidência do feixe do radar. A, B, C e γ são parâmetros dependentes de U e de ϕ . A inversão da GMF fornece estimativas dos vetores de vento a partir dos valores σ^0 obtidos das medidas de escaterômetro.

A relação entre o vento e a rugosidade superficial do oceano é válida para velocidades de até cerca de 25 m.s⁻¹. Sob velocidades de vento mais altas a quebra das ondas tende a se intensificar, gerando uma topografia de superfície mais complexa. Nestes casos, a relação entre as medidas de σ^0 e a velocidade do vento torna-se mais complexa, reduzindo a precisão dos algoritmos na determinação deste parâmetro (VERHOEF; STOFFELEN, 2009).

Conforme expresso na GMF (Equação 2.9), a magnitude do sinal retroespalhado também varia com a direção do vento em relação à direção de visada do radar. Para um valor fixo de velocidade do vento, σ^0 tende a assumir valores máximos quando a direção do vento alinha-se a direção de visada do radar (0° e 180°). Nas direções ortogonais à visada do radar (90° e 270°), σ^0 assume valores mínimos (CLARO, 2007).

A aquisição de σ^0 em diferentes ângulos permite a obtenção de soluções simultâneas para os parâmetros de direção e velocidade a partir da inversão da GMF (JPL, 2003). As soluções mais prováveis são identificadas com o auxílio de funções objetivo, denominadas Estimadores de Probabilidade Máxima (Equação 2.10) (*Maximum Likelihood Estimators*, ou MLE) (PIERSON JR., 1989). O MLE empregado no processamento dos dados QuickSCAT é dado pela expressão:

$$J = \sum_{i=1}^N \frac{(\sigma_{oi} - \sigma_m(U, \chi_i))^2}{Var(\sigma_m)_i} \quad (2.10)$$

sendo (com i sendo o número de medidas, variando de 1 a N), e $\sigma_m(U, \chi_i)$ as estimativas de retroespalhamento providas pela GMF. O termo $Var(\sigma_m)_i$ denota as variâncias das medidas de retroespalhamento originais e estimadas. Os mínimos locais J corresponderiam às soluções ideais na forma de vetores de vento (VERHOEF; STOFFELEN, 2009).

O MLE não impede o surgimento de soluções ambíguas, onde várias direções são atribuídas a um mesmo valor aproximado de velocidade (JPL, 2003). O tratamento de soluções ambíguas envolve diferentes técnicas de processamento. No processamento dos dados do sensor QuickSCAT, a remoção de ambiguidades emprega um técnica baseada em um filtro modificado de medianas, e considera as estimativas de probabilidade dos vetores solução fornecidos previamente pelo MLE (JPL, 2003).

2.4.4. Reanálises

Reanálises consistem na análise de dados observacionais pretéritos através de protocolos que combinam simulações numéricas e métodos de assimilação de dados (KALNAY et al., 1996; UPPALA et al., 2005). A reanálise assimila dados observacionais de fontes diversas como estações fixas, amostragens *in situ*, radiossondas e sensores remotos, com características heterogêneas em termos de acurácia, periodicidade, resolução espacial e cobertura geográfica (UPPALA et al., 2005).

As reanálises produzem séries históricas de campos de dados georeferenciados, de alta resolução espacial e temporal, fornecendo suporte a demandas da comunidade científica, relacionadas a estudos climáticos em grandes escalas espaciais e temporais (STECH, 2005; ARAVÉQUIA et al., 2008). Estes produtos também proporcionam uma estimativa das condições físicas vigentes em períodos e áreas desprovidos de um monitoramento sistemático, onde a cobertura de dados se mostra esparsa.

A reanálise é conduzida através de ciclos de previsão e assimilação de dados, realizados continuamente, em pequenos intervalos de tempo. Nestes ciclos, um modelo de previsão numérica fornece uma estimativa preliminar das condições climáticas para um dado intervalo de tempo. Na assimilação de dados, essa estimativa preliminar é combinada a um conjunto de medidas observacionais, disponíveis para o intervalo de previsão. Uma nova estimativa otimizada do estado do sistema (análise) é gerada a partir da minimização dos erros estatísticos relativos às previsões numéricas iniciais, e aos dados observacionais (UPPALA et al., 2005). Essa minimização é obtida através de métodos variacionais (PARRISH; DERBER, 1992), ou através de técnicas de interpolação otimizada (SCHLATTER, 1975; LORENC, 1981). A análise resultante é empregada na inicialização de uma nova simulação numérica, produzindo a estimativa preliminar que será utilizada na assimilação subsequente (UPPALA et al., 2005). Nesse processo, a dinâmica e a física dos modelos numéricos propagam as informações observacionais no tempo e no espaço, gerando uma melhoria das previsões nas áreas com cobertura de dados esparsa (ARAVÉQUIA et al. 2008). O avanço dos ciclos de previsão-assimilação produz um registro histórico das condições climáticas, em escala regional (MESINGER et al., 2006) ou global (KALNAY et al., 1996), baseado em uma síntese da informação observacional disponível (UPPALA et al., 2005).

Estudos de oceanografia pesqueira podem empregar bases de reanálise na inicialização de simulações numéricas, utilizadas na reprodução de processos hidrodinâmicos em áreas de pesca ou habitats reprodutivos. Alguns exemplos desta aplicação indireta das reanálises incluem estudos da variação espaço-temporal de habitats de desova, em espécies pequeno e médio-pelágicas (IWAHASHI et al., 2006; MACHU et al., 2009), e modelos espaço-temporais de dinâmica populacional de tunídeos (LEHODEY et al., 2011).

A utilização de reanálises em estudos não experimentais ainda é bastante restrita. O trabalho de Jury (2011) emprega composições derivadas de produtos de reanálise dos Projetos *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) e *National Center for Environmental Prediction / National Centre for Atmospheric*

Research (NCEP/NCAR), na avaliação da influência de processos atmosféricos e oceanográficos de larga escala sobre indicadores anuais de captura para a Região do Caribe. Soares et al. (2011) empregaram uma abordagem similar no estudo dos padrões climáticos e oceanográficos vigentes durante os períodos de desova que antecedem extremos de produção da sardinha verdadeira.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem metodológica empregada neste trabalho envolveu a análise dos padrões de distribuição da sardinha durante os estágios de vida planctônicos (embrionário e larvar) e adulto. As estratégias de análise, conjuntos de dados e métodos analíticos empregados são sumarizados na Figura 3.1.

A análise dos padrões de distribuição da sardinha verdadeira durante suas fases planctônicas empregou dados de distribuição e abundância de ovos e larvas de sardinha, coletados entre 1976 e 1993. Neste período, a caracterização climática e oceanográfica da PCSB empregou dados termohalinos, obtidos de coletas *in situ*, e um conjunto de variáveis oceanográficas de Reanálise, cobrindo o período estudado.

Nos estágios adultos, as estimativas de abundância e distribuição espacial de *S. brasiliensis* foram inferidas através de dados das capturas comerciais, realizadas pela frota de cerco operante na PCSB, entre 2000 e 2006. Estes dados foram submetidos a um protocolo de procedimentos pré-analíticos (Seção 3.3), que envolveram uma standardização do esforço de pesca, o cálculo de valores espacializados de Captura por Unidade de Esforço (CPUE), e a definição dos cenários, ou períodos do ciclo anual, nos quais as análises foram conduzidas. Nesta etapa a caracterização do ambiente oceanográfico da PCSB empregou exclusivamente dados de sensoriamento remoto.

As seções 3.1 a 3.4 descrevem os procedimentos adotados na aquisição, organização e pré-processamento dos conjuntos de dados físicos e biológicos utilizados no estudo das fases planctônica e adulta da sardinha verdadeira. Os métodos estatísticos empregados neste trabalho são descritos na seção 3.5. A Figura 3.2 apresenta um sumário da distribuição cronológica dos dados biológicos e físicos empregados no trabalho, referenciando-os ao histórico de capturas anuais da sardinha verdadeira.

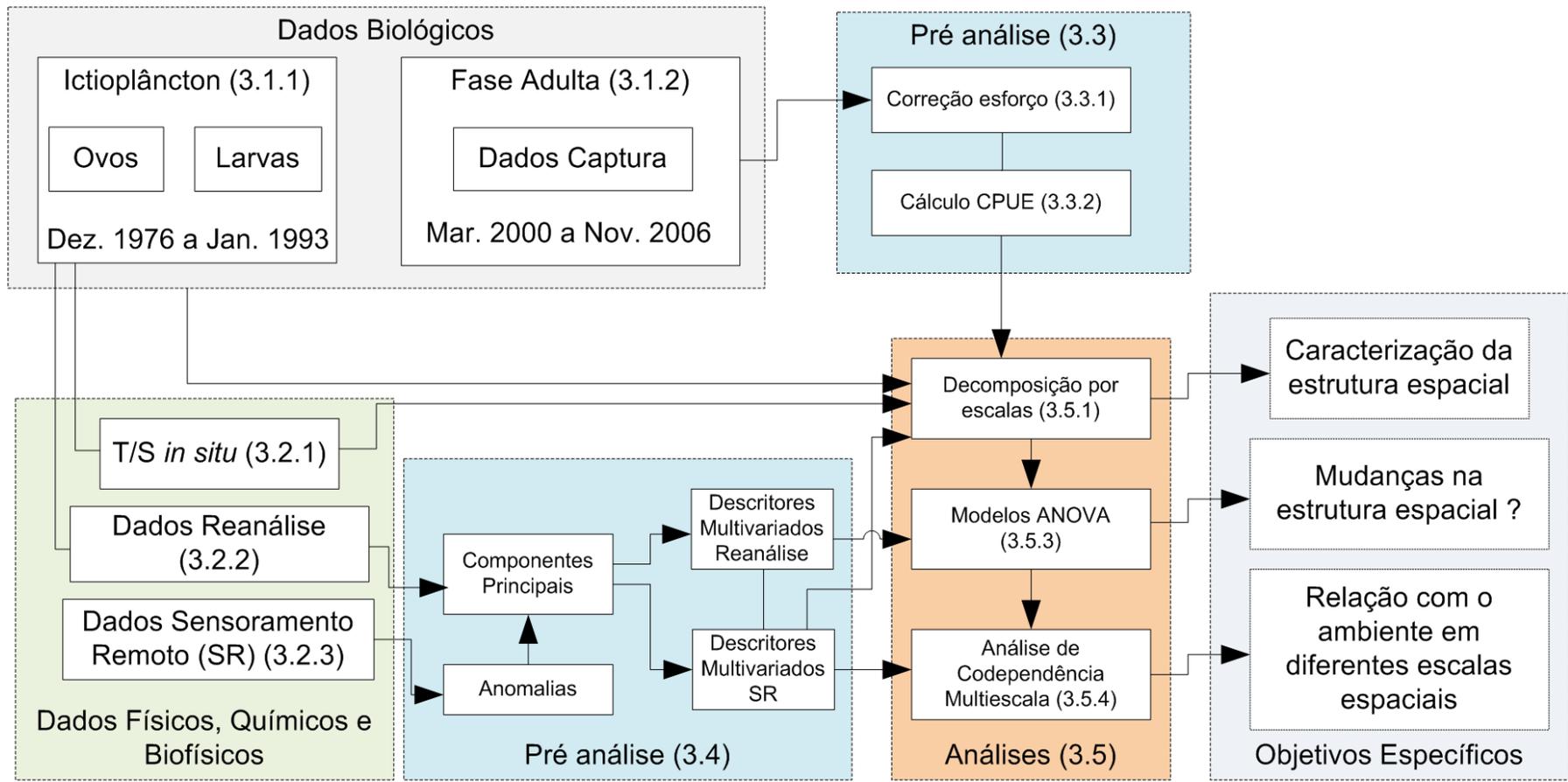


Figura 3.1 – Fluxograma apresentando os principais elementos e procedimentos empregados no trabalho.

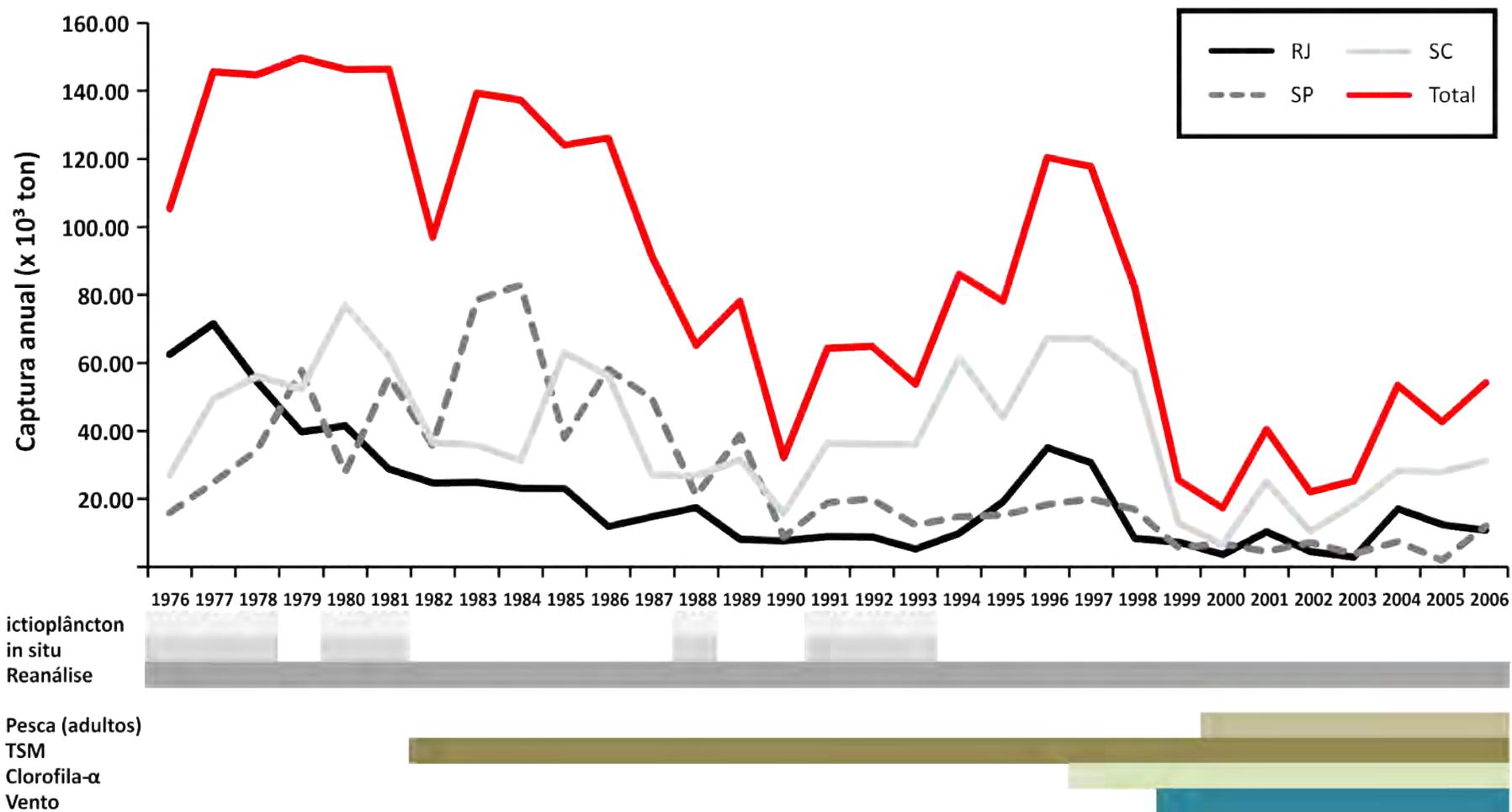


Figura 3.2 – Histórico dos totais anuais de captura para *Sardinella brasiliensis*, e distribuição cronológica dos dados biológicos e físicos empregados no trabalho.

3.1. Dados biológicos

3.1.1. Coletas de Ictioplâncton

Os dados de abundância de *S. brasiliensis* em seus estágios embrionário (ovos) e larval foram obtidos a partir de uma série de cruzeiros oceanográficos, realizados no período de verão austral, a bordo dos Navios de Pesquisa “Prof. Besnard”, “Atlântico Sul” e “Victor Hensen”, entre dezembro de 1976 e janeiro de 1993. Estes cruzeiros de amostragem foram conduzidos durante os Projetos de Pesquisa FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos S/A); EPM (*Egg Production Method*); JOPS (*Joint Oceanographic Projects*) e Sardinha (1 e 2), sob coordenação do Dr. Yasunobu Matsuura, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Características gerais dos cruzeiros oceanográficos realizados sob os Projetos FINEP, EPM, Sardinha e JOPS.
FONTE: Gigliotti (2009); Matsuura (1998).

| Cruzeiro | Data | Embarcação | N.E. | E.P.O. | E.P.L. |
|------------|------------------|---------------------|------|--------|--------|
| FINEP V | Dezembro de 1976 | N/Oc. Prof. Besnard | 122 | 18 | 71 |
| FINEP VI | Janeiro de 1977 | N/Oc. Prof. Besnard | 98 | 19 | 53 |
| FINEP VII | Janeiro de 1978 | N/Oc. Prof. Besnard | 122 | 18 | 69 |
| FINEP XI | Janeiro de 1980 | N/Oc. Prof. Besnard | 42 | 11 | 32 |
| FINEP XII | Janeiro de 1981 | N/Oc. Prof. Besnard | 44 | 17 | 26 |
| EPM | Janeiro de 1988 | N/Oc. Atlântico Sul | 78 | 9 | 38 |
| JOPS 1 | Janeiro de 1991 | R/V Victor Hensen | 90 | 13 | 37 |
| Sardinha 1 | Dezembro de 1991 | N/Oc. Prof. Besnard | 110 | 21 | 52 |
| Sardinha 2 | Janeiro de 1993 | N/Oc. Prof. Besnard | 109 | 28 | 62 |

N.E. – Número de estações de amostragem; E.P.O. – Número de Estações Positivas para ovos (onde houve ocorrência de ovos); E.P.L. – Número de Estações Positivas para larvas (onde houve ocorrência de larvas).

A maior parte dos cruzeiros cobriu toda região da PCSB, a exceção do cruzeiro realizado em janeiro de 1977, no qual a área amostrada foi limitada a sul na região de Paranaguá, entre as latitudes de 26° S e 27° S. As amostragens foram realizadas em estações de coleta distribuídas de modo aproximadamente regular, com resolução espacial aproximada de 37 km (20 MN), a exceção dos cruzeiros realizados em janeiro de 1980 e janeiro de 1981, quando se adotou intervalos de amostragem de aproximadamente 56 km (30 MN).

As amostras de ictioplâncton foram coletadas com arrastos oblíquos, seguindo o protocolo definido em Smith & Richardson (1977), utilizando redes do tipo bongô, com 610 mm de abertura de boca, adaptadas com malhas de 333 e 505 µm. As amostras foram submetidas à triagem em laboratório, sob microscópio estereoscópico, na qual ovos e larvas de *S. brasiliensis* foram identificados com base em Matsuura (1971; 1977), e contabilizados.

Os dados utilizados neste trabalho correspondem às densidades absolutas, em número de indivíduos por metro quadrado, calculadas com base nas contagens de ovos e larvas, através da fórmula proposta por Tanaka (1973):

$$Y_i = (d_i * X_i)/V_i \quad [\text{ind.m}^{-2}] \quad (3.1)$$

onde Y_i é o número de ovos/larvas por metro quadrado (m^{-2}) de superfície do mar na estação i ; d_i a profundidade de coleta em m, na estação i , X_i o número de ovos/larvas coletados, na estação i , e V_i o volume de água filtrado pela rede, na estação i . Previamente às análises estatísticas, as densidades relativas de ovos e larvas foram submetidas a uma transformação logarítmica, através da expressão $\ln(x_i + 1)$; sendo x_i a densidade correspondente à amostra i em um dado Cruzeiro. Essa transformação foi necessária em face das grandes discrepâncias entre os valores de densidade, e do grande número de densidades zero registradas nos cruzeiros.

Alguns cruzeiros de ictioplâncton incluíram amostragens realizadas em regiões de quebra da plataforma e talude continental. Estas amostragens,

representadas em vermelho na Figura 3.3, foram suprimidas das análises, de modo a manter a cobertura por amostragem restrita a região da plataforma continental (até a isóbata de 200m). Neste procedimento, foram excluídas 18 amostras no cruzeiro de 1976, 15 amostras no cruzeiro de 1977 e 12 amostras no cruzeiro de 1978. Não houve registro de coleta de ovos ou larvas nestas amostragens. Nos cruzeiros de janeiro de 1981, e janeiro de 1993, também houve supressão de um pequeno número de estações (n = 2 e 1, respectivamente), localizadas fora da grade principal de amostragem.

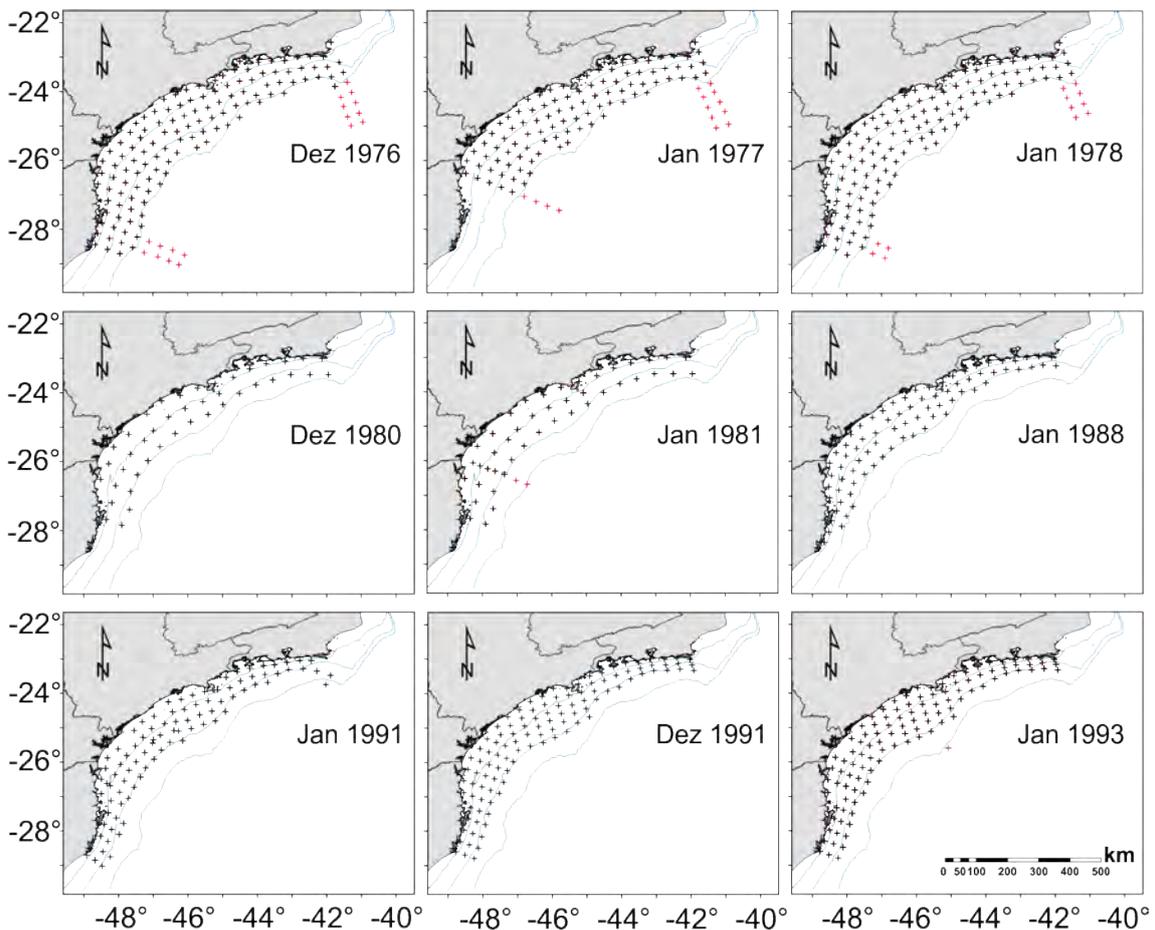


Figura 3.3 – Grades de coleta originais para os nove cruzeiros de ictioplâncton. Estações em vermelho foram suprimidas das análises.

3.1.2. Dados de captura da sardinha verdadeira

Os dados utilizados neste trabalho correspondem aos desembarques registrados nas localidades de Angra dos Reis (Estado do Rio de Janeiro),

Santos, Guarujá (Estado de São Paulo), Navegantes e Itajaí (Estado de Santa Catarina), cobrindo o período de janeiro de 2000 a novembro de 2006. Estas cidades abrigam os principais terminais pesqueiros da Região Sudeste, recebendo a maior parte da produção pesqueira de sardinha verdadeira capturada nas dependências da PCSB (CERGOLE et al., 2002; TUBINO, 2002).

Os dados referentes aos desembarques da espécie efetuados na cidade de Angra dos Reis foram obtidos através do programa de estatística pesqueira mantido pela Subsecretaria de Pesca, vinculada a Secretaria de Atividades Econômicas da Prefeitura Municipal. A região de Angra dos Reis recebe a maior parte dos desembarques de sardinha verdadeira realizados no Estado do Rio de Janeiro, perfazendo valores que podem superar 70% da produção total oficialmente registrada (DIAS-NETO et al., 2011). As informações referentes à cada operação de pesca são obtidas através de entrevistas efetuadas no cais de desembarque.

Entradas de dados duplicadas ou incompletas foram descartadas. Variáveis inconsistentes foram descartadas, ou corrigidas, quando possível. Os dados utilizados neste trabalho corresponderam a 2974 viagens de pesca.

Os dados correspondentes aos desembarques realizados no Estado de São Paulo foram obtidos através do programa de monitoramento dos desembarques pesqueiros mantido pela Unidade Laboratorial de Referência em Controle Estatístico da Produção Pesqueira Marinha, do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio (APTA) do Pescado Marinho, sediado no Instituto de Pesca de Santos. O monitoramento é realizado através de entrevistas com mestres de embarcação, efetuadas por uma rede de coletores de dados, baseados nas localidades de Santos, Guarujá, Ubatuba, São Sebastião, Ilha Bela, Cananéia, Ilha Comprida e Iguape (ÁVILA DA SILVA et al., 2007). Também são utilizadas informações derivadas de mapas de bordo, e concedidas por empresas locais do ramo de pescado. Os dados aqui empregados incorporaram 2383 viagens de pesca monitoradas pelo programa.

Os dados referentes aos desembarques efetuados em Santa Catarina foram obtidos através de programa de monitoramento da pesca desenvolvido no âmbito do acordo de cooperação técnico-científica firmado entre a então Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP) e a Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Estes dados encontram-se cadastrados no Sistema Integrado de Estatística Pesqueira (SIESPE), criado no âmbito do referido acordo, e operacionalizado pelo Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar (CTTMar).

As informações foram obtidas através de mapas de bordo, fichas de produção e entrevistas no cais (PINAYA, 2008). Muito embora não cubra a totalidade dos desembarques da frota de cerco durante o período, esta série de dados apresenta o único conjunto disponível de informações sobre a distribuição espacial das capturas de sardinha no setor sul da PCSB. Na avaliação crítica do conjunto de dados, foram descartados os registros de operações de pesca desprovidos de informações essenciais como datas de desembarque, número de lances efetuados, totais capturados e a localização das áreas de captura. Os registros de 1214 viagens de pesca foram utilizados na composição do banco de dados empregado neste trabalho.

Os dados adquiridos nos Programas acima descritos foram consolidados em um único banco de dados de captura, incorporando as seguintes variáveis: **identificação da embarcação de pesca; duração em dias da viagem de pesca; número de lances de cerco efetuados; área de captura; quantidade capturada (em kg)**. Neste processo foram utilizados apenas registros de operações de pesca nos quais a sardinha verdadeira tenha contribuído com **pelo menos 80% da captura total**, constituindo o pescado alvo.

A localização das áreas de captura foi padronizada empregando-se uma grade espacial regular, com resolução de 10 milhas náuticas (MN) quadradas contendo, portanto, quadrantes de pesca de dimensões 18.52 km x 18.52 km (aproximadamente 343 km² de área). No conjunto de desembarques registrados em Angra dos Reis (RJ), todas as áreas de captura foram originalmente identificadas através de nomenclaturas tradicionais, utilizadas

pelos pescadores da região. Alguns registros de desembarques em Santa Catarina também contavam com descrições textuais das localidades de captura. Nestes casos, as informações descritivas foram convertidas em coordenadas geográficas, correspondentes aos centros dos quadrantes de 10 MN nos quais as operações de pesca transcorreram. A identificação e padronização destas informações foi feita com o auxílio de cartas náuticas, consultas ao *Google Maps*, e informações fornecidas por técnicos da Secretaria Municipal de Pesca de Angra dos Reis. A profundidade da área de captura foi eventualmente utilizada como informação auxiliar. No processo, as áreas foram identificadas e posicionadas em um mapa digital representando a PCSB. Este mapa foi, posteriormente, sobreposto por uma grade digital de referência, demarcando os quadrantes de pesca.

A área total de distribuição de capturas, estimada com base nos dados de pesca analisados, abrangeu um total de 192 quadrantes de pesca, compreendendo a região delimitada pelas latitudes 23° S e 29° S, e pelas longitudes 49° W e 43° W (Figura 3.4). Este valor inclui todos os quadrantes de pesca utilizados ao menos uma vez durante o período analisado. Estes 192 quadrantes de pesca compuseram uma grade regular, empregada como referência na análise das distribuições dos dados de pesca (ver Seções 3.5.1; página 91; e Tabela 3.11; página 98), e na extração dos dados de Sensoriamento Remoto empregados neste trabalho (ver Seção 3.4.2; página 89). Esta grade de referência será doravante denominada como *Grade de Quadrantes de Pesca*.

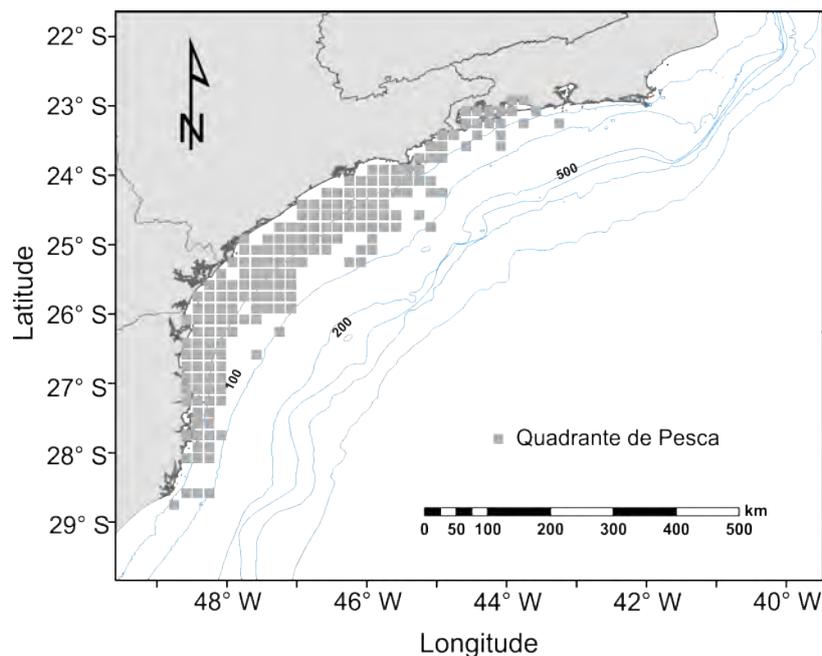


Figura 3.4 - Quadrantes de pesca (10 MN²) utilizados entre março de 2000 e dezembro de 2006.

A última etapa da consolidação do banco de dados consistiu da organização dos dados por mês, quadrante e embarcação. Este procedimento resultou em um conjunto de 5757 entradas de dados, correspondentes à captura e ao esforço mensais de cada embarcação por quadrante de pesca.

3.2. Variáveis Físicas, Biofísicas e Químicas.

3.2.1. Dados de Temperatura e Salinidade coletados *in situ*

Durante os cruzeiros de ictioplâncton, perfis verticais de temperatura e salinidade foram amostrados simultaneamente aos lances com rede bongô. Nos cruzeiros de dezembro de 1976 a janeiro de 1988, a amostragem envolveu coletas com garrafas de Nansen e termômetros invertidos acoplados, a intervalos de aproximadamente 15 m de profundidade. Os cruzeiros subsequentes empregaram sensores de condutividade, temperatura e profundidade (CTD).

Os dados empregados neste trabalho correspondem às temperaturas e salinidades médias, calculadas para cada estação de amostragem, nos intervalos de profundidade de 0 a 10 m (superfície), e de 10 m a 20 m (sub superfície). Segundo Matsuura et al. (1992) os estágios planctônicos da sardinha verdadeira ocorreriam preferencialmente nas camadas superficiais, raramente ultrapassando 20 m de profundidade. Para cada cruzeiro, portanto, foram geradas quatro variáveis, correspondendo às distribuições espaciais de temperatura e salinidade, nas camadas onde haveria maior probabilidade de ocorrência dos estágios planctônicos da espécie.

Problemas técnicos e logísticos impediram a coleta de parâmetros termohalinos em algumas estações de amostragem. Nestes pontos, os valores de temperatura e salinidade foram estimados por interpolação espacial, utilizando-se um algoritmo de vizinhança mais próxima (COVER; HART, 1967), e os dados da faixa de profundidade correspondente. O cruzeiro de Janeiro de 1978 foi o mais afetado por problemas técnicos, com cerca de 16% de estações desprovidas de dados de salinidade em sub superfície.

3.2.2. Dados de Reanálises

Neste trabalho utilizou-se um conjunto de variáveis geradas pelo Projeto *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA). O Projeto é desenvolvido conjuntamente pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) e o *National Centre for Environmental Prediction* (NCEP). Nas Reanálises SODA as estimativas iniciais são obtidas através de um modelo numérico generalista baseado no *Parallel Ocean Program* (SMITH et al., 1992), com 40 camadas e uma resolução espacial de $0.5^\circ \times 4^\circ$. O modelo emprega dados de vento superficial providos pelas Reanálises ECMWF ERA-40 (UPPALA et al., 2005), e fluxos de água doce fornecidos pelo *Global Precipitation Climatology Project* (ADLER et al., 2003).

Este trabalho empregou 12 variáveis oceanográficas geradas pelas Reanálises SODA, versão 2.0.2-4 (CARTON; GIESE, 2008) (Tabela 3.2). As variáveis de Reanálise são disponibilizadas com resolução temporal mensal, e resolução espacial de 0.5°. Os dados foram obtidos através do repositório mantido pelo *International Research Institute for Climate Prediction (IRI) / Lamont Doherty Earth Observatory (LDEO)*, acessível através do endereço:

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4/>

Os campos de variáveis foram obtidos, inicialmente, para a região geográfica localizada entre as latitudes de 20° S e 30° S, e entre as longitudes de 40° W a 50° W, no período de 1970 a 2007. Destas séries de dados, foram selecionados, posteriormente, apenas os campos correspondentes aos meses nos quais os cruzeiros de ictioplâncton foram conduzidos (vide Tabela 3.1).

Previamente às análises estatísticas, os vetores originais de velocidade zonal (u) e meridional (v) das correntes foram re-escalados em componentes *cross-shore* (VC_{cs}) e *alongshore* (VC_{al}), utilizando-se as expressões providas por Emery e Thomson (2004):

$$VC_{cs} = (\cos \varnothing * VC_u) + (\sin \varnothing * VC_v) \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.2)$$

$$VC_{al} = -(\sin \varnothing * VC_u) + (\cos \varnothing * VC_v) \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.3)$$

sendo VC_u e VC_v os vetores zonais e meridionais de velocidade da corrente, respectivamente, e \varnothing o ângulo de orientação da costa. Considerando-se a orientação NE-SW da PCSB, adotou-se um ângulo \varnothing igual a 45°.

Uma variável adicional, Índice de Mistura (IM), foi calculada a partir dos valores de Tensão de Cisalhamento do vento (TAU), utilizando-se a expressão provida por Bakun e Parrish (1990):

$$IM = \left(\sqrt{\frac{\tau}{\rho C_D}} \right)^3 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-3}] \quad (3.4)$$

sendo τ o módulo da Tensão de Cisalhamento (*TAU*), calculada a partir das componentes *u* e *v*; ρ a densidade do ar (1.0235 kg.m^{-3}), e C_D o coeficiente de arrasto, de valor 0.0013 (adimensional).

Tabela 3.2 - Variáveis oceanográficas SODA e produtos derivados, empregadas na caracterização ambiental das coletas de ictioplâncton.

| | Variável | Acrônimo | Unidade |
|----|---|---------------------|---------------------------------|
| 1 | Temperatura superficial (a profundidade de 5 m) | T05 | °C |
| 2 | Temperatura sub superficial (a profundidade de 15 m) | T15 | °C |
| 3 | Salinidade superficial (a profundidade de 5m) | S05 | p.s.u. |
| 4 | Salinidade sub superficial (a profundidade de 15 m) | S15 | p.s.u. |
| 5 | Altura relativa no Nível do Mar | ANM | m |
| 6 | Velocidade cross-shore das correntes em superfície (a profundidade de 5 m) | VC _{cs} 05 | m.s ⁻¹ |
| 7 | Velocidade cross-shore das correntes em sub superfície (a profundidade de 15 m) | VC _{cs} 15 | m.s ⁻¹ |
| 8 | Velocidade along-shore das correntes em superfície (a profundidade de 5 m) | VC _{al} 05 | m.s ⁻¹ |
| 9 | Velocidade along-shore das correntes em sub superfície (a profundidade de 15 m) | VC _{al} 15 | m.s ⁻¹ |
| 10 | Tensão de cisalhamento (componente zonal a E) | TAU _u | N.m ⁻² |
| 11 | Tensão de cisalhamento (componente meridional a N) | TAU _v | N.m ⁻² |
| 12 | Transporte Vertical (a profundidade de 15 m) | W15 | m.dia ⁻¹ |
| 13 | Índice de Mistura | IM | m ³ .s ⁻³ |

3.2.3. Dados de Sensoriamento Remoto

A caracterização das condições oceanográficas da PCSB no período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2006 empregou dados obtidos exclusivamente

por sensores remotos orbitais. A Tabela 3.3 apresenta um sumário das variáveis empregadas neste trabalho.

Tabela 3.3 - Dados de sensoriamento remoto empregados no trabalho. Resoluções espaciais dadas em km.

| Variável | Símbolo | Unidade | Resolução Espacial (km) | Sensor |
|---------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|------------|
| Temperatura Superficial do Mar | TSM | °C | 4 | AVHRR |
| Concentração Chl - α | Chl α | mg.m ³ | 9 | SeaWiFS |
| Velocidade do vento (uv) | Vuv | m.s ⁻¹ | 27.78 | QuickScat |
| Velocidade do vento (u) | Vu | m.s ⁻¹ | 27.78 | QuickScat* |
| Velocidade do vento (v) | Vv | m.s ⁻¹ | 27.78 | QuickScat* |
| Tensão de cisalhamento (u) | $\vec{\tau}_u$ | N.m ⁻² | 27.78 | QuickScat* |
| Tensão de cisalhamento (v) | $\vec{\tau}_v$ | N.m ⁻² | 27.78 | QuickScat* |
| Tensão de cisalhamento (módulo) | $ \vec{\tau} $ | N.m ⁻² | 27.78 | QuickScat* |
| Transporte vertical | W | m.dia ⁻¹ | 27.78 | QuickScat* |

* Parâmetros calculados com base na velocidade resultante (m.s⁻¹) e na direção (em graus) do vento.

3.2.3.1. Temperatura Superficial do Mar

As medidas de TSM (em °C) foram obtidas dos sensores AVHRR, voando a bordo dos satélites da série NOAA. Os dados utilizados neste trabalho foram processados pelo Projeto *Pathfinder*, versão 5.1, correspondendo às médias

mensais do tipo *all pixel*, com resolução espacial de 4.2 km, obtidas exclusivamente a partir de passagens noturnas (*nighttime*). Os dados foram acessados através do sítio do *Physical Oceanography Distributed Data Archive Center* (PO.DAAC), endereço:

<http://podaac-opendap.jpl.nasa.gov/>

Os produtos *all pixel* são gerados a partir da aplicação do algoritmo NLSST sem qualquer filtragem prévia para remoção de dados contaminados por nuvens (GIGLIOTTI, 2009). As aquisições noturnas se caracterizam pelo uso adicional da banda 3B (vide Tabela 2.2) no cálculo das estimativas de TSM. O uso desta banda é restrito a aquisições noturnas em face da interferência ocasionada pela reflexão solar do tipo especular (*glint*) na superfície do oceano (SOUZA et al. 2005).

A remoção de dados contaminados por nuvens foi efetuada através do método descrito em Gigliotti et al. (2009), e Gigliotti (2009). O método envolve a filtragem e a interpolação de valores espúrios, através do ajuste de uma função de ciclo médio, representando a variação temporal da TSM cada ponto de grade (*pixel*). O critério para remoção de valores espúrios baseia-se na análise das anomalias calculadas em relação aos valores previstos pelo ciclo médio. Valores superiores a uma unidade de desvio padrão foram substituídos pelos valores previstos pela função de ciclo médio.

3.2.3.2. Concentrações de Clorofila - α

Os valores superficiais de concentração superficial de Clorofila- α (em mg.l^{-1}) foram obtidos pelo sensor SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*), instalado a bordo da plataforma orbital *SeaStar* (informações técnicas apresentadas nas Tabelas 2.3 e 2.4; páginas 47 e 48). As bases de dados utilizadas neste trabalho foram processadas arquivadas e disponibilizadas pelo *Ocean Color Project*, mantido pelo *Goddard Space Flight Centre*, vinculado a NASA. Os dados são originalmente disponibilizados em grades espaciais de

abrangência mundial (Produtos de Nivel 3), a uma resolução espacial de 9.2 km, sendo acessíveis através do sítio do Projeto *Ocean Color*:

<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/Mapped/>

3.2.3.3. Direção e velocidade do vento na superfície do oceano

Os dados de direção e velocidade do vento empregados neste estudo foram obtidos através do sensor *QuickSCAT*, que consistia de um radar escaterômetro, operando na faixa das micro-ondas (banda K_u), com um sistema visada cônica proporcionado por uma antena giratória e dois feixes simultâneos (13.46 Ghz), com ângulos de incidência fixos de 46° e 53° . Estes feixes emitiam sinais nas polarizações HH e VV, respectivamente (Tabela 3.4).

Os conjuntos de dados de direção e velocidade do vento foram produzidos pela *Remote Sensing Systems* (RSS), sob o patrocínio do *NASA Ocean Vector Winds Science Team*. O acesso foi provido através do endereço:

http://www.ssmi.com/qscat/qscat_browse.html

As variáveis empregadas neste estudo foram geradas através do reprocessamento das medidas de σ° obtidas pelo sensor *QuickSCAT*, utilizando-se o Modelo Geofísico Ku-2011 (RICCIARDULLI; WENTZ, 2011). Esse reprocessamento visou uma melhoria das estimativas de velocidade do vento superiores a 20 m.s^{-1} , bem como uma maior acurácia para as medidas de direção do vento em velocidades inferiores a 5 m.s^{-1} (RSS, 2011).

O modelo Ku-2011 tira proveito do padrão de varredura cônica do sensor, e das polarizações distintas de cada feixe radar. Os ângulos de incidência fixos fazem com que, em cada polarização, σ° dependa apenas da direção (φ_R) e da velocidade do vento (U). O modelo é expresso como uma função de transferência (Equação 3.6), que relaciona σ° ao somatório das funções harmônicas da direção do vento φ_R , em relação ao ângulo de visada do radar (ϕ) (RICCIARDULLI; WENTZ, 2011).

$$\sigma^0 = f(U, \varphi_R)_{POL} \cong \int_{\phi=0}^N A_j(U) \cos(\phi \varphi_R) \quad (3.5)$$

Onde o termo $A_j(w)$ representa coeficientes de expansão harmônica, calculados a partir de valores de velocidade de vento do *WindSat* (desenvolvido pelo *Naval Research Laboratory*; NRL), utilizados como verdade de campo (RICCIARDULLI; WENTZ, 2011).

Os vetores zonal (u) e meridional (v) de velocidade do vento foram calculados a partir dos dados de velocidade e direção em graus, utilizando-se as expressões:

$$V_u = V_{10} * (\cos(90^\circ - V_D)) \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (3.6)$$

$$V_v = V_{10} * (\sin(90^\circ - V_D)) \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (3.7)$$

V_u e V_v são as componentes zonal e meridional de velocidade do vento, respectivamente. V_{10} é a velocidade estimada do vento a 10 m da superfície do oceano (m.s^{-1}). V_D é a direção estimada do vento em graus ($0^\circ - 360^\circ$).

Utilizando-se os valores de V_u e V_v foram calculadas as componentes da tensão de cisalhamento do vento sobre a superfície do oceano, TAU_x e TAU_y :

$$TAU_x = (\rho C_u) * \sqrt[3]{10} * (V_u) * (\sqrt{(V_u)^2 + (V_v)^2}) \quad [\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}] \quad (3.8)$$

$$TAU_y = (\rho C_v) * \sqrt[3]{10} * (V_v) * (\sqrt{(V_u)^2 + (V_v)^2}) \quad [\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}] \quad (3.9)$$

sendo ρ a densidade do ar (1.0235 kg.m^{-3}), C_u e C_v os coeficientes de arrasto para as componentes de velocidade u e v.

O cálculo das componentes TAU empregou matrizes de coeficientes de arrasto, ou cisalhamento nas direções zonal e meridional (C_u e C_v ; em N.m^{-2}). Estas matrizes foram obtidas a partir do ajuste uma função polinomial de 4ª ordem, relacionando uma série crescente de velocidades de vento a 10 m da superfície ($V_{10} = 0; 2; 5; 10; 15; 20; 25$), a uma série crescente de coeficientes

de arrasto ($C_w = 0.98; 0.98; 1.03; 1.3; 1.56; 1.8; 2.04$). Estes valores foram obtidos em Smith (1988).

Finalmente, os valores de τ_x e τ_y foram utilizados na determinação das velocidades de transporte vertical de Ekman (W), através da expressão:

$$W = \frac{1}{f \rho_w} \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (3.10)$$

sendo ρ_w a densidade da água do mar (1028 kg.m^{-3}) e f o parâmetro de Coriolis (variável com a latitude). A expressão $\left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right)$ denota o rotacional do vento. Após o cálculo, os valores de W foram convertidos de metros por segundo para metros por dia, multiplicando-se as velocidades pelo número de segundos contidos em um dia (86400).

Tabela 3.4 - Características gerais do Sistema QuickSCAT.

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Orbita | 803 km; heliossíncrona; circular |
| Período orbital | 101 minutos |
| Revisita | 4 dias |
| Faixa imageada | 1400 km (HH); 1800 km (VV) |
| Resolução espacial (cobertura diária) | 27.78 km (~ 90% do globo) |
| Polarização (ângulos de incidência) | HH (46°); VV (54°) |

Fonte: Ricciarduli e Wentz (2011); CERSAT/IFREMER (2012).

3.3. Pré-processamento dos dados de pesca

3.3.1. Avaliação e padronização do esforço de captura.

Os dados de captura empregados neste trabalho foram expressos em medidas de Captura por Unidade de Esforço (CPUE).

A seleção da medida de Esforço de Captura envolveu uma análise da correlação entre os valores de captura mensal, totalizados por bloco de pesca, e diferentes variáveis representando o Esforço de Captura correspondente. As correlações foram avaliadas para os dados de captura não transformados, e para a mesma série de valores submetida à transformação logarítmica (\log_{10}).

Foram comparadas medidas de esforço mais diretas como Dias de Pesca e Número de Lances efetuado; e medidas derivadas como a razão (*Número de lances / Dias de Pesca*), o produto (*Dias de Pesca x Número de Lances*) e a soma (*Dias de Pesca + Número de Lances*) destas variáveis. Nesta etapa, a seleção baseou-se nas melhores correlações observadas, medidas através dos dois maiores coeficientes de Pearson (ρ) obtidos nas análises de regressão linear entre as variáveis transformadas e não transformadas.

As medidas de Esforço de captura que apresentaram melhor correlação com as capturas não transformadas foram o *Número de Lances*, com $\rho = 0.892$, e a soma *Nº Lances + Dias de pesca*, com $\rho = 0.881$ (Figura 3.5). Nota-se, entretanto que a maioria dos coeficientes ρ manteve-se acima de 0.700, a exceção da razão *Número de Lances / Dias de pesca*. De um modo geral, as correlações entre as medidas de Esforço e as capturas logaritimizadas foram mais fracas (Tabela 3.5).

Muito embora o *Número de dias de Pesca* tenha apresentado os melhores resultados como medida de esforço, tal medida mostrou-se inadequada para o método empregado no cálculo dos valores de Captura por Unidade de Esforço (CPUE), em decorrência da correção aplicada aos valores no processo de standardização do Esforço de Captura (descrita no item a seguir). Como a grande maioria das operações de pesca apresentou duração de 1 dia (Figura 3.6), o processo de standardização geraria um grande número de valores inferiores a 1, o que resultaria no cálculo de valores superestimados de CPUE (detalhes relacionados ao cálculo da CPUE encontram-se na Seção 3.3.2). Este problema foi contornado empregando-se a segunda melhor medida (*Dias de Pesca + Número de Lances*), com valor mínimo igual a 2.

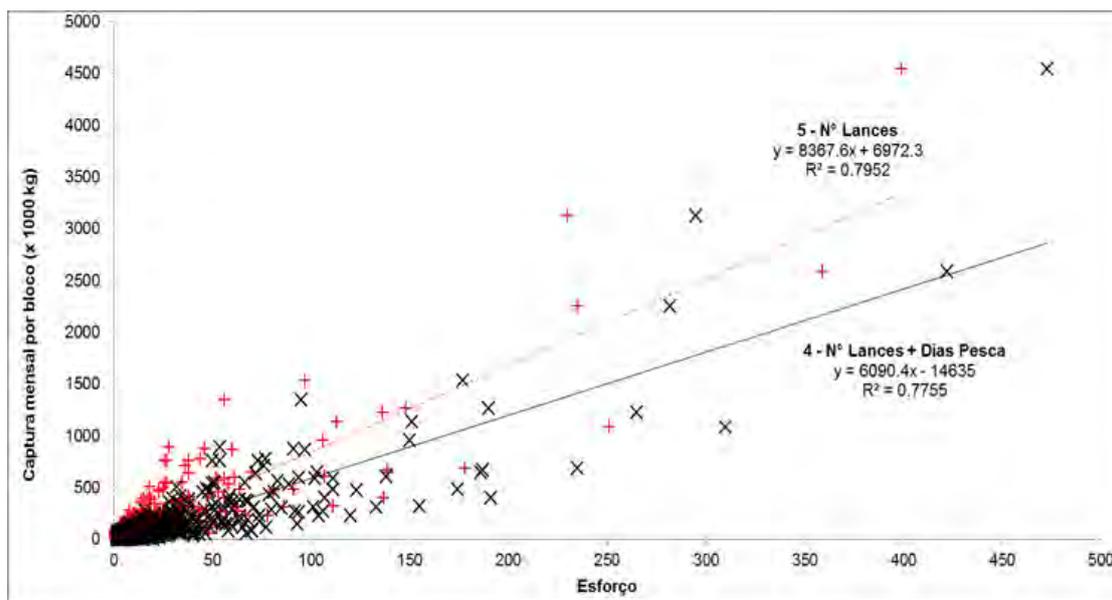


Figura 3.5 - Correlação linear entre medidas de esforço de captura (*N° Lances*; *N° Lances + Dias de Pesca*), e os totais não transformados de captura mensal de sardinha verdadeira, entre 2000 e 2006.

Tabela 3.5 - Coeficientes de correlação entre medidas de esforço de captura e as capturas totais mensais de sardinha verdadeira.

| Medida de Esforço | Coeficiente de correlação de Pearson (ρ) | |
|-------------------------------|---|-----------------------------|
| | Captura (kg) | Log ₁₀ (Captura) |
| 1 - N° de Dias de Pesca | 0.722 | 0.667 ¹ |
| 2 - N° de Lances | 0.892 ¹ | 0.517 |
| 3 - N° Lances/Dias de pesca | 0.507 | 0.335 |
| 4 - N° Lances x Dias de pesca | 0.874 | 0.385 |
| 5 - N° Lances + Dias de pesca | 0.881 ² | 0.587 ² |

¹ Maior coeficiente ρ ; ² Segundo Maior coeficiente ρ .

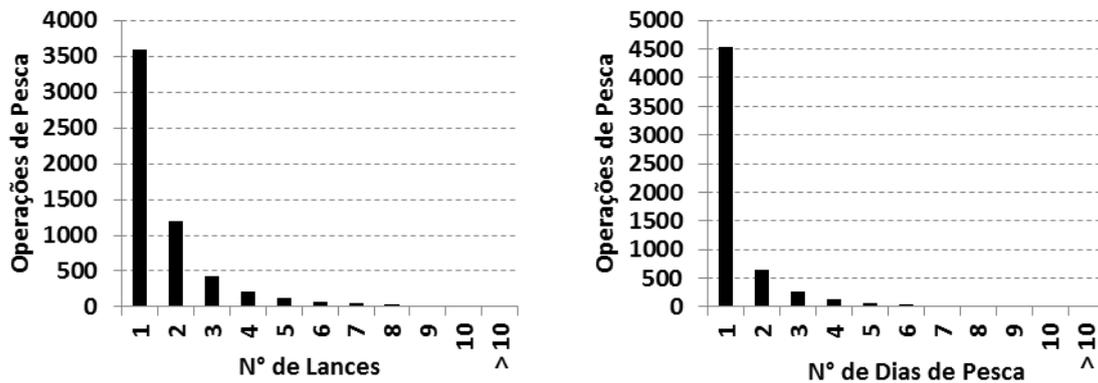


Figura 3.6 - Histograma de frequências absolutas para as medidas básicas de esforço *Nº de Lances* (a) e *Nº de Dias de Pesca* (b).

Os valores de Esforço de Captura foram submetidos a uma correção sistemática para reduzir os efeitos decorrentes das diferentes capacidades de captura das embarcações engajadas na pesca da sardinha verdadeira. O Esforço de Captura de uma embarcação em um dado intervalo de tempo pode ser entendido como um produto do seu Poder de Pesca por uma medida adequada que quantifique sua atividade de captura no mesmo período (GALBRAITH; STEWART, 1995).

O Poder de Pesca de uma embarcação, por sua vez, pode ser definido como uma medida relativa da sua capacidade de captura para um determinado recurso. Essa medida é usualmente estimada através de “parâmetros de capacidade”, definidos através de um conjunto de características tecnológicas da embarcação (ORTEGA-GARCIA; GÓMEZ-MUÑOZ, 1992; PARENTE, 2004).

A frota de cerco que opera na Costa Sudeste Brasileira apresenta características tecnológicas bastante heterogêneas, com embarcações menores e mais antigas operando na costa do Rio de Janeiro, e embarcações de maior porte, mais novas e melhor providas tecnologicamente, operando nas frotas de São Paulo e Santa Catarina (SCHWINGEL; OCCHIALINI, 2007, GASALLA et al., 2007, MAGRO et al., 2007). Os parâmetros de Esforço de

Captura discutidos anteriormente não seriam comparáveis, pois carregariam consigo um componente não determinado, relacionado ao Poder de Pesca das embarcações.

A primeira etapa do processo de standardização do Esforço de Captura consistiu na construção de um banco de dados de descritores técnicos das embarcações operantes no período de 2000 a 2006, a partir de conjuntos de dados fornecidos pela Subsecretaria de Pesca da Prefeitura de Angra dos Reis, Pelo Instituto de Pesca de Santos, e pelo Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA). Foram coligidos dados referentes ao **comprimento (em metros), potência (HP), ano de construção e o número médio de tripulantes**, para um total de 159 embarcações de cerco, sendo 75 registradas no Estado do Rio de Janeiro, 16 no Estado de São Paulo e 68 no Estado de Santa Catarina (Tabela 3.6). Os histogramas de frequência para as variáveis supracitadas podem ser visualizados na Figura A.1 do Apêndice A.1.

As embarcações para as quais não se dispunha de informações técnicas foram identificadas apenas quanto a sua origem, a partir de seus nomes, utilizando-se informações publicadas em Diário Oficial (Permissionamento para pesca da sardinha, Subsídios ao Óleo Diesel e afins). Informações referentes a mudanças de nome, embarcações que deixaram atividade, ou não identificadas pelo método supracitado, foram obtidas através dos monitores a serviço da Subsecretaria de Pesca de Angra dos Reis. Todas as embarcações do banco de dados consolidado tiveram seu nome substituído por um código alfanumérico discriminando apenas o seu estado de origem.

A identificação das 75 embarcações que desembarcaram em Santa Catarina (identificadas como SP ou SC na Tabela 3.6) foi efetuada em códigos numéricos, o que impossibilitou o levantamento de qualquer informação quanto sua origem. Neste caso particular, a correção dos valores de esforço assumiu que as operações de pesca correspondentes teriam sido realizadas predominantemente por embarcações dos Estados de Santa Catarina e São Paulo. Este pressuposto se baseou na autonomia de deslocamento supostamente menor da frota do Rio de Janeiro, sugerida pelos resultados

apresentados em Magro et al. (2007). O procedimento visou preservar todo o conjunto de dados correspondentes aos desembarques realizados na região, mantendo dessa forma, o máximo de cobertura espacial proporcionado pelo banco de dados de captura consolidado.

Tabela 3.6 - Número de embarcações atuantes no período coberto pelo banco de dados de captura.

| Estado | Atuantes Mar. 2000 a Nov. 2006 | Informações técnicas | % Relativo |
|----------------|-----------------------------------|----------------------|------------|
| Rio de Janeiro | 123 | 75 | 61% |
| São Paulo | 29 | 16 | 55% |
| Santa Catarina | 86 | 68 | 79% |
| SP ou SC * | 75 | - | - |
| Total | 313 | 159 | 50.7% |

* embarcações monitoradas nos desembarques realizados em Santa Catarina, desprovidas de identificação quanto à origem, e dados técnicos.

A segunda etapa do protocolo de standardização envolveu o cálculo de coeficientes de Poder de Pesca (FP) para cada uma das 159 embarcações, utilizando o método proposto por Ortega-Garcia e Gómez-Muñoz (1992). O método em questão emprega uma Análise de Componentes Principais (ACP) no reescalamento do conjunto de descritores técnicos das embarcações. As Componentes Principais (CPs) resultantes descrevem combinações lineares dos descritores técnicos (comprimento, potência, ano de construção e número médio de tripulantes). Estas combinações de variáveis podem ser consideradas como um novo conjunto de variáveis latentes, ordenadas de modo decrescente, em função de seus autovalores associados, e percentuais relativos de variância explicada.

Previamente a ACP, a matriz de descritores (159 linhas x 4 colunas) foi submetida a transformação por raiz cúbica, de forma a aproximar as distribuições de um comportamento gaussiano. Uma vez que os descritores técnicos foram mensurados em diferentes unidades, os dados de entrada da matriz também foram estandardizados em unidades de desvio padrão.

Os testes de significância para os CPs resultantes, e para os *loadings* - representando as contribuições relativas de cada variável, em cada CP - basearam-se em 10000 reamostragens do tipo *Bootstrapping* (com reposição), realizadas nas linhas da matriz original. Uma nova ACP foi efetuada em cada conjunto de dados reamostrados, gerando uma distribuição de autovalores e *loadings* nulos. Paralelamente, os autovalores e *loadings* originais foram reestimados a partir de um modelo *Broken-stick* (MacARTHUR, 1957; PÉRES-NETO et al., 2003). Os valores de *P* foram então estimados a partir da proporção de autovalores e *loadings* superiores aos obtidos pelo modelo *Broken-stick*. Exemplos da utilização de distribuições *Broken-stick* na avaliação da significância de eixos fatoriais podem ser encontrados em Jackson (1993), e em Legendre e Legendre (1998). As ACPs e testes de significância foram conduzidos no pacote estatístico *PAST* (HAMMER et al., 2001).

A Primeira Componente (CP 1) apresentou-se fortemente correlacionada a descritores diretamente (*Comprimento; Potência nominal*) e indiretamente (*Capacidade para tripulantes*) relacionados ao tamanho da embarcação (Figura 3.7b), explicando 69% da variância total (Tabela 3.7). A segunda Componente apresentou forte correlação com a *Idade da embarcação*, explicando 23% da variância dos dados. Os testes de reamostragem e a posterior comparação com estimativas *Broken-stick* mostraram apenas a primeira componente como significativa (Figura 3.78a). Todavia, considerando a quantidade de variância associada à CP 2, e a forte contribuição da variável *Idade das Embarcações*, optou-se pelo aproveitamento das duas primeiras CPs, representando aproximadamente 93% da variância total contida nos dados.

Tabela 3.7 - Resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada a matriz de descritores técnicos das embarcações.

| CP | Autovalor | Variância Explicada | | IC | |
|-----|-----------|---------------------|--------------|-------|--------|
| | | % | % cumulativo | 2.50% | 97.50% |
| 1 * | 2.77 | 69.14 | 69.14 | 65.36 | 72.78 |
| 2 * | 0.94 | 23.50 | 92.64 ** | 20.61 | 25.13 |
| 3 | 0.21 | 5.26 | 97.90 | 3.45 | 7.43 |
| 4 | 0.08 | 2.10 | 100.00 | 1.56 | 2.65 |

CP – Componente Principal; IC – Intervalos de confiança (definidos através de 10.000 permutações na matriz original); * Componentes Principais Seleccionadas; ** Variância total explicada pelas componentes CP 1 e CP 2.

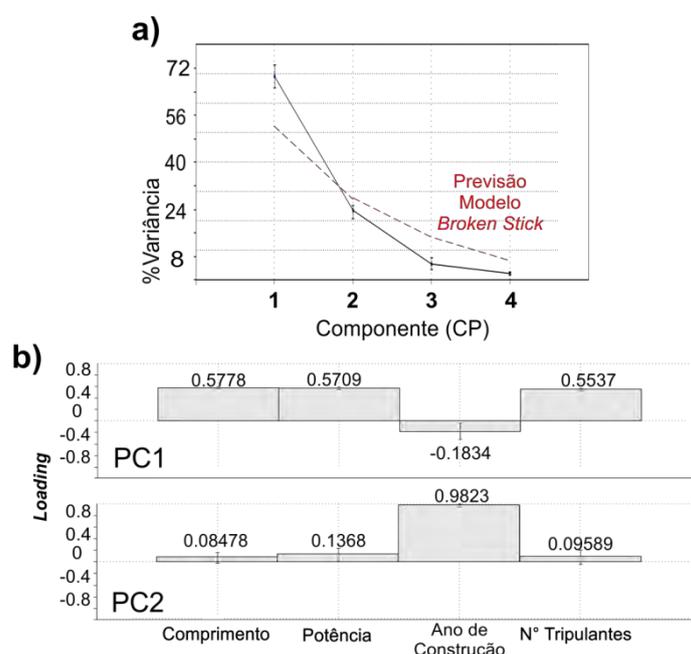


Figura 3.7 - Resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada a matriz de descritores técnicos para 159 embarcações de cerco que operaram na pesca da sardinha verdadeira, entre 2000 e 2006. a) Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo *Broken Stick* de fracionamento de variâncias (linha tracejada). b) Contribuições relativas dos descritores técnicos, dadas pelos *Loadings* correspondentes em cada CP.

Na etapa seguinte, os escores, ou projeções das embarcações, nas componentes CP 1 e CP 2, foram utilizadas como variáveis explanatórias em um modelo de regressão múltipla, relacionando estas variáveis a estimativas preliminares de CPUE (aqui chamada de CPUE I), calculadas para cada embarcação. Nesta etapa, a estimativa da Captura por unidade de Esforço (CPUE I) foi dada por:

$$CPUE I = \frac{\sum C_T}{\sum E_T} \quad (3.11)$$

sendo C_T a captura total (não transformada) obtida pela embarcação no período considerado (2000 a 2006) e E_T o esforço total empreendido pela mesma embarcação (PETRERE JR. et al. 2010). A relação entre ambas as variáveis resultou no modelo:

$$CPUE I_i = \alpha_0 + (\alpha_1 * CP1_i) - (\alpha_2 * CP2_i) \quad (3.12)$$

onde $CPUE I_i$ é o valor da Captura por Unidade de Esforço da embarcação i , e $CP1_i$ e $CP2_i$ são os escores correspondentes a embarcação i nas Componentes 1 e 2, respectivamente. Os coeficientes $\alpha_0 = 5462.47$; $\alpha_1 = 1282.57$ e $\alpha_2 = -288.77$ foram determinados através de um processo de otimização linear utilizando a função SOLVER, do *Microsoft EXCEL*.

O cálculo dos índices de Poder de Pesca (FP) individuais de cada embarcação foi obtido pela expressão dada em Ortega-Garcia e Gómez-Muñoz (1992):

$$FP = CPUE * (CPUE_{STD})^{-1} = 1 + \int_1^m \alpha_i * \alpha_0^{-1} * CPn_i \quad (3.13)$$

Ajustando-se a expressão para dois Componentes Principais, e os índices supracitados, obteve-se:

$$FP_i = 1 + \left(\frac{1282.57}{5462.47} * CP 1_i \right) + \left(\frac{-288.77}{5462.47} * CP 2_i \right) \quad (3.14)$$

Os valores dos coeficientes FP individuais calculados por este método são apresentados na Tabela B.2 do Apêndice B.

Na última etapa do processo de standardização, os índices FP médios para cada conjunto de embarcações (Tabela 3.8), representando as frotas do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina, foram calculados, e empregados como fator de correção do Esforço de captura.

A correção de medidas de esforço através de índices de Poder de Pesca é usualmente efetuada em nível individual (para cada embarcação) (ORTEGA-GARCIA; GÓMEZ-MUÑOZ, 1992; PARENTE, 2004). Neste trabalho, a extrapolação por índices médios foi necessária em função da impossibilidade de cálculo de índices individuais para a totalidade das embarcações monitoradas entre 2000 e 2006. Optou-se, ainda, pelo emprego de um índice único para as frotas de Santa Catarina e São Paulo (dado pela média aritmética dos índices *FP* das embarcações de ambas as localidades), em decorrência da ausência de identificação da origem das embarcações que desembarcaram em Santa Catarina (assumidas como sendo das duas localidades). A correção do esforço de pesca foi obtida pela expressão:

$$E_{cf} = (FP_f^{-1}) * E; \quad (3.15)$$

onde E_{cf} é o Esforço de Captura corrigido pelo índice de poder de pesca (FP_f), estimado para as embarcações da frota f (Rio de Janeiro ou São Paulo/Santa Catarina), E_i é a medida de esforço de Captura não corrigida da embarcação i .

Tabela 3.8 – Medidas de tendência para os Índices de Poder de Pesca (FP) das embarcações do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina.

| Estado | N° Barcos | FP Médio | DP | IC |
|---------------------|-----------|----------|-------|-------|
| Rio de Janeiro | 75 | 0.669 | 0.304 | 0.069 |
| São Paulo | 16 | 1.209 | 0.151 | 0.074 |
| Santa Catarina | 68 | 1.316 | 0.157 | 0.037 |
| Agrupado SP - SC | 84 | 1.295 | 0.161 | 0.034 |

FP – Índice de Poder de Pesca; DP – Desvio padrão; IC Intervalo de Confiança (95%).

A correção pelos índices médios faz com que os valores de Esforço executados pelas embarcações do Rio de Janeiro (de menor porte) correspondam a quase o dobro do esforço realizado por embarcações das frotas de Santa Catarina e São Paulo (vide Tabela 3.8).

Outros parâmetros como a distribuição espacial das áreas de captura, variações de Esforço, a experiência de tripulantes e dos mestres de embarcação também podem contribuir indiretamente para variações nos índices de captura (PARENTE, 2004; BISHOP et al., 2008). Neste trabalho optou-se por não corrigir efeitos decorrentes da distribuição espacial, considerando-se, nesta etapa, a distribuição de pescado como aleatória na área de estudo, e que o mestre da embarcação não sabe, *a priori*, onde se encontra o cardume que será pescado. Da mesma forma, efeitos decorrentes de aumentos progressivos de Esforço de captura também não foram considerados, uma vez que a maior parte das viagens de pesca teve duração de um dia, e contaram com a realização de apenas um lance (vide Figura 3.6).

3.3.2. Cálculo da Captura por Unidade de Esforço (CPUE)

Os valores de captura por unidade de esforço (CPUE) foram calculados com base no método proposto em Petrere Jr. et al. (2010). O método envolveu, inicialmente, o cálculo de estimativas definitivas de Captura por Unidade de Esforço (aqui denominadas de CPUE II), utilizando-se o estimador de razão proposto por Snedecor e Cochran (1967), dado pela expressão:

$$CPUE II_{ijk} = \frac{C_{ijk} * E_{ijk}}{(E_{ijk})^2} \quad (3.16)$$

onde $CPUE II_{ijk}$ corresponde a Captura por Unidade de Esforço (kg/dias de pesca + n° lances) da embarcação i , no quadrante de pesca j , no mês k ; C_{ijk} a captura total (valores em kg), e E_{ijk} o Esforço corrigido de captura.

As medidas organizadas por quadrante de pesca e mês foram submetidas a uma série de permutações do tipo *Jackknife*. Nesta modalidade de permutação, uma série de sub-amostragens é efetuada no conjunto de embarcações que pescaram no quadrante, durante um mês. Cada sub-amostragem omite uma destas embarcações, até que todas as observações do conjunto tenham sido eliminadas uma vez (LEGENDRE; LEGENDRE, 1993). Para cada reamostragem, um indicador, denominado *pseudo-valor*, foi calculado através da expressão:

$$PV_{pjk} = (CPUE II_{jk} * N_{jk}) - (CPUE II_{pjk} * (N_{jk} - 1)) \quad (3.17)$$

onde PV_{pjk} é o *pseudo-valor* correspondente a reamostragem p , calculado para o quadrante j , durante o mês k ; N_{jk} o número de embarcações de pesca registrado no quadrante j , durante o mês k ; $CPUE II_{jk}$ a Média da Captura por Unidade de Esforço no quadrante j (incluindo todas as embarcações), durante o mês k ; $CPUE II_{pjk}$ a Média da CPUE após a exclusão de uma das embarcações. O valor resultante de CPUE II correspondeu à média aritmética dos *pseudo-valores* calculados em cada quadrante de pesca, para cada mês.

Segundo Petrere Jr. et al. (2010), a técnica se mostra robusta, frente a pequenos desvios do pressuposto de proporcionalidade entre Captura e

Esforço, e a diversos tipos de distribuição de dados, adequando-se, portanto, a situações onde o real comportamento das variáveis é pouco conhecido.

O processo de permutação e o cálculo das estatísticas associadas foram efetuados através de rotina MATLAB (MATHWORKS, 2008). O uso desta técnica resultou em 1231 estimativas espacializadas de CPUE II, distribuídas ao longo de 54 meses de atividade (meses de defeso não contabilizados).

3.3.3. Definição dos cenários de análise para a fase adulta

Neste trabalho, os padrões de distribuição espacial da sardinha verdadeira durante sua fase adulta foram analisados em diferentes períodos do ciclo anual, referidos aqui como cenários de análise. A definição destes cenários de análise baseou-se em uma análise visual das distribuições da CPUE corrigida, ao longo dos meses da temporada de pesca; e em aspectos da história de vida da sardinha verdadeira, obtidos através das informações disponíveis na literatura dedicada a espécie.

A temporada de pesca da sardinha verdadeira apresentou durações em meses variadas entre 2000 e 2006 (Figura 3.8). Em todos os anos, a atividade é interrompida entre dezembro e fevereiro, pelo defeso reprodutivo, o qual vem sendo implementado em períodos móveis ao longo dos últimos anos. A partir de 2004, houve restabelecimento de um segundo defeso anual, e a temporada de pesca passou a sofrer uma interrupção adicional, entre os meses de julho e agosto, período em que o recrutamento atinge seu ápice (CERGOLE, 1995; JABLONSKI, 2007). Nestes meses as médias foram calculadas com base em quatro anos (2000 a 2003). Ainda em virtude dos defesos de recrutamento e reprodutivo, as médias para os meses de setembro e novembro foram calculadas com base em 6 (2000 a 2004, e 2006), e 5 anos (2000 a 2003, e 2006), respectivamente (Figura 3.8).

O intervalo bimensal **março-abril** constituiu o primeiro período, ou cenário de análise. Este período sucede o ápice da desova da sardinha (MATSUURA,

1998), sendo doravante denominado **Pós-Desova**. Segundo Rossi-Wongtchowski (1977), nestes meses, grande parte da população adulta encontra-se em fase de recuperação gonadal. O período também coincidiria com os máximos de acumulação de lipídeos no tecido muscular (FURUYA, 1959; WATANABE, 1963), sugerindo uma intensificação da atividade forrageira. O intervalo **maio-junho** foi utilizado na constituição do segundo cenário, denominado de **Pré-Inverno**. Os meses de **julho-agosto** constituíram o terceiro cenário, denominado de período **Inverno**, apresentando menor cobertura temporal (4 anos). Os três últimos meses (**setembro – novembro**) constituíram um único cenário, denominado **Pré-desova** (Figura 3.8).

Após a definição dos cenários de análise, os valores de CPUE foram recalculados, adotando-se os intervalos de cada cenário de análise como unidades referenciais de tempo.

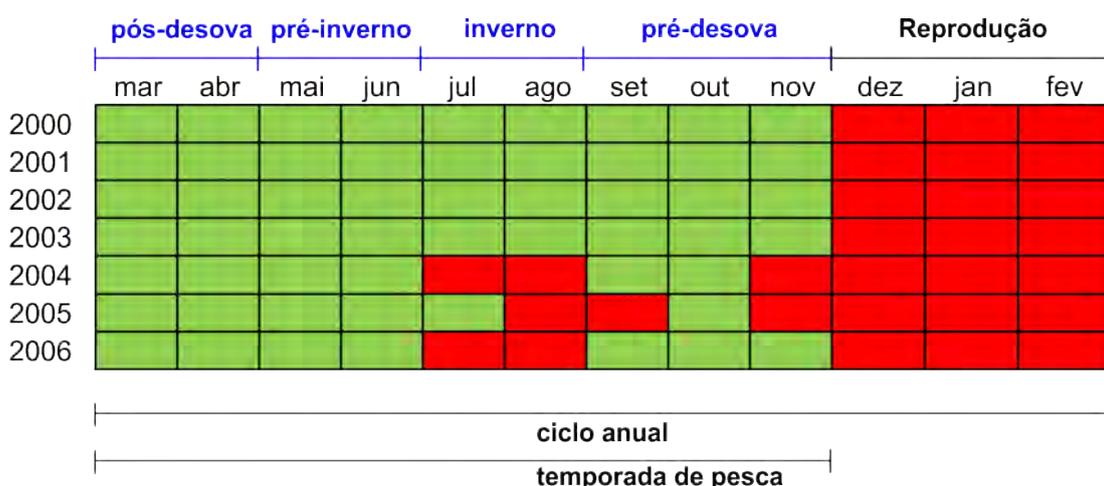


Figura 3.8 – Meses de pesca (verde), defeso (vermelho), e cenários temporais (em azul) empregados na análise dos dados de captura de *Sardinella brasiliensis*.

3.4. Pré-processamento dos dados físicos

3.4.1. Criação de Descritores Ambientais Multivariados a partir das variáveis de Reanálise (SODA) (fases planctônicas – 1976 a 1993).

O conjunto de variáveis de Reanálise SODA foi submetido a uma transformação por Componentes Principais (ACP), objetivando uma redução do número de variáveis de caracterização das condições físicas da PCSB, no período coberto pelos cruzeiros de amostragem do ictioplâncton (1976 a 1993). Foram utilizadas apenas CPs estatisticamente significativos ($\alpha = 0.05$), selecionados através dos testes de reamostragem *Bootstrap*. Previamente à ACP, os dados foram submetidos a uma transformação por raiz cúbica, sendo também padronizados em unidades de desvio padrão.

Esta análise não incluiu o cruzeiro realizado em Janeiro de 1977, devido à sua menor área total de amostragem (vide Figura 3.3; página 60). Os dados foram organizados em uma matriz, contendo as distribuições das 13 variáveis SODA em uma grade de 79 quadrantes de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, organizadas cronologicamente ao longo dos 8 cruzeiros (632 linhas por 13 colunas). A grade foi definida ajustando-se todas as posições de amostragem de ictioplâncton, nos oito cruzeiros, à grade de dados SODA, composta por quadrantes de 0.5° . Os 79 quadrantes foram selecionados de forma a englobar todas as amostras de ictioplâncton, coletadas ao longo de todos os cruzeiros (Quadrados vazados na Figura 3.9).

Algumas amostragens, por se localizarem muito próximas à costa, recaíram em quadrantes localizados predominantemente sobre o continente. Estes quadrantes não possuíam estimativas de velocidade da corrente fornecidas pelo modelo de reanálise (variáveis VCal e VCcs). Nestes casos, um algoritmo de vizinhança mais próxima (COVER; HART, 1967) foi utilizado na estimativa dos valores ausentes.

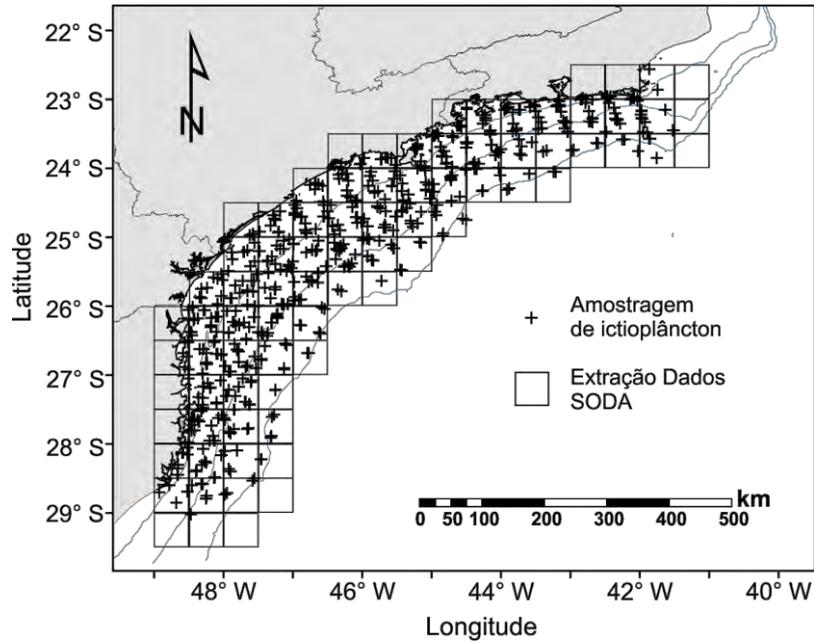


Figura 3.9 - Grade de quadrantes empregada na extração dos dados de Reanálise SODA.

Os três primeiros CPs foram significativos, respondendo por aproximadamente 67% da variância total dos dados (Tabela 3.9). O quarto componente apresentou uma variância explicada bem próxima ao limite de rejeição estimado pelo modelo *broken-stick* (Figura 3.10). Os CPs significativos foram empregados como variáveis sintéticas, ou Descritores Ambientais Multivariados (DAM), representando os principais gradientes ambientais vigentes na PCSB.

Tabela 3.9 - Resultados da Análise de Componentes principais aplicada aos dados de Reanálise SODA. CPs significativas destacadas em negrito.

| CP | Autovalor | % Variância | | IC | |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | % | % Cumulativo | 2.5% | 97.5% |
| 1 | 4.08 | 31.35 | 31.35 | 29.75 | 33.31 |
| 2 | 2.50 | 19.23 | 50.58 | 17.48 | 21.14 |
| 3 | 2.12 | 16.30 | 66.88 | 14.98 | 17.63 |
| 4 | 1.40 | 10.80 | 77.68 | 9.84 | 11.72 |
| 5 | 0.97 | 7.45 | 85.13 | 6.62 | 8.25 |
| 6 | 0.63 | 4.88 | 90.01 | 4.39 | 5.42 |
| 7 | 0.51 | 3.94 | 93.95 | 3.46 | 4.29 |
| 8 | 0.38 | 2.90 | 96.85 | 2.46 | 3.29 |
| 9 | 0.23 | 1.73 | 98.58 | 1.45 | 1.97 |
| 10 | 0.10 | 0.74 | 99.32 | 0.65 | 0.80 |
| 11 | 0.05 | 0.36 | 99.67 | 0.18 | 0.57 |
| 12 | 0.04 | 0.28 | 99.95 | 0.21 | 0.33 |
| 13 | 0.01 | 0.05 | 100.00 | 0.03 | 0.06 |

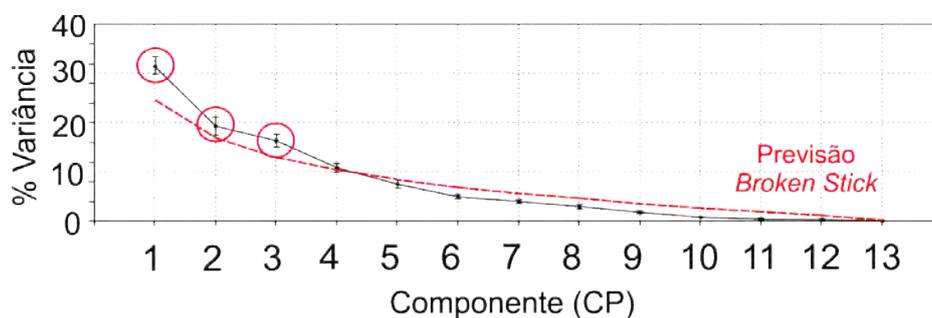


Figura 3.10 - Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo *Broken Stick* de fracionamento de variâncias (linha tracejada).

3.4.2. Extração dos dados de Sensoriamento Remoto

A extração dos dados de Sensoriamento remoto envolveu o cálculo dos valores médios de TSM, e das concentrações de Clorofila- α , em cada quadrante componente da *Grade de Quadrantes de Pesca*. No caso das concentrações de Clorofila-a, a contaminação por nuvens fez com que alguns quadrantes não dispusessem dados que permitissem o cálculo das médias. Nestes casos utilizou-se um valor médio, calculado com base nas médias de concentração de Clorofila- α nos quadrantes de pesca vizinhos.

As variáveis de velocidade vetorial do vento, e produtos derivados (Tensão de cisalhamento e transporte vertical de Ekman), apresentaram resoluções espaciais inferiores (0.25° , ou aproximadamente 27.78 km) à resolução dos dados de pesca (aproximadamente 0.17° , ou 18.52 km). Como consequência vários quadrantes de pesca posicionaram-se nas divisas de duas ou mais células de dados QuickSCAT. Nestes casos, os valores extraídos corresponderam as médias dos valores das células QuickSCAT sobrepostas pelo quadrante de pesca. A ausência de dados de vento para determinados quadrantes de pesca, localizados próximo à costa, foi suprida através do cálculo da média dos valores das células vizinhas.

A extração dos dados para a *Grade de Quadrantes de Pesca* resultou em nove matrizes (192 x 84), contendo séries mensais das distribuições das variáveis na região de abrangência da grade. Estas matrizes foram utilizadas no cálculo das anomalias de cada variável, em cada um dos cenários de análise definidos na Seção 3.3.3.

3.4.3. Criação de Descritores Ambientais Multivariados a partir das variáveis de Sensoriamento Remoto (fase adulta – 2000 a 2006).

A exemplo do conjunto de variáveis de Reanálise, os dados de Sensoriamento Remoto, utilizados na caracterização das condições ambientais da PCSB entre os anos de 2000 e 2006, também foram submetidos a uma transformação por

ACP, visando a obtenção de um conjunto de Descritores Ambientais Multivariados.

As séries de anomalias (TSM, Clorofila- α , Velocidades e tensões de cisalhamento do vento, e Transporte vertical de Ekman) foram organizadas em uma matriz de nove variáveis, obedecendo a sequência cronológica dos cenários de análise definidos na Seção 3.4.5. Esta matriz de dados foi transformada por raiz cúbica, estandardizada e submetida a uma ACP. Os testes de reamostragem *Bootstrap* apontaram as Componentes Principais 1 e 2 como significativas (Tabela 3.10; Figura 3.11), explicando aproximadamente 62% da variância total dos dados.

Tabela 3.10 - Resultados da ACP aplicada sobre a matriz de variáveis de Sensoriamento Remoto. CPs significativas destacadas em negrito.

| Componente | Autovalor | Variância Explicada | | Intervalo de Confiança | |
|------------|-------------|---------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | | % | % cumulativo | 2.5% | 97.5% |
| 1 | 3.53 | 39.26 | 39.26 | 38.71 | 39.89 |
| 2 | 2.04 | 22.62 | 61.88 | 22.29 | 22.93 |
| 3 | 1.16 | 12.94 | 74.82 | 12.57 | 13.35 |
| 4 | 0.96 | 10.66 | 85.48 | 10.32 | 10.99 |
| 5 | 0.80 | 8.92 | 94.40 | 8.62 | 9.19 |
| 6 | 0.40 | 4.45 | 98.85 | 4.28 | 4.61 |
| 7 | 0.06 | 0.63 | 99.48 | 0.56 | 0.70 |
| 8 | 0.04 | 0.43 | 99.91 | 0.40 | 0.46 |
| 9 | 0.01 | 0.09 | 100.00 | 0.08 | 0.11 |

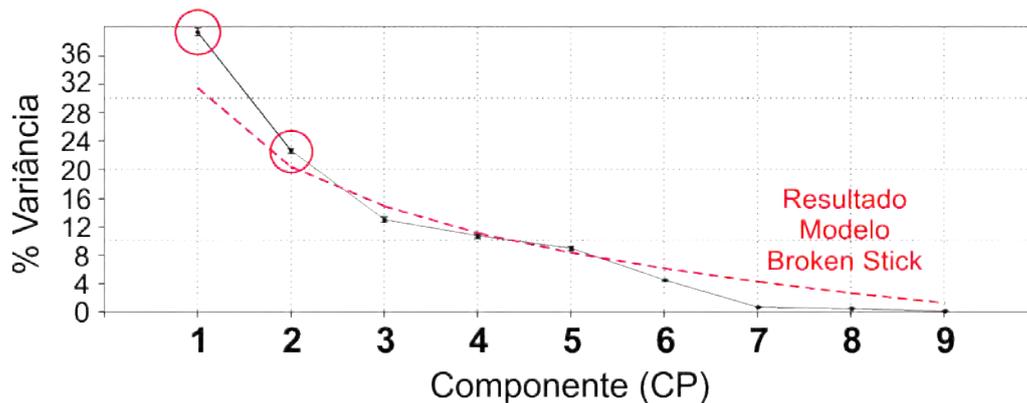


Figura 3.11 - Percentuais de variância atribuídos às Componentes Principais (CP) (linha sólida), e valores previstos por um modelo *Broken Stick* de fracionamento de variâncias (linha vermelha).

As CPs estatisticamente significativas 1 e 2 foram então selecionadas para composição do conjunto de DAMs, empregado na caracterização das condições ambientais vigentes na área coberta pelos quadrantes de pesca (vide Figura 3.4; página 64), ao longo dos cenários de análise definidos na Seção 3.3.3 (página 84).

3.5. Métodos de Análise

3.5.1. Decomposição da variabilidade espacial por escalas

A partição da variância espacial em diferentes escalas envolve o uso de Mapas de Autovetores, ou Autovetores Espaciais, como variáveis explanatórias em modelos de Regressão Múltipla, ou Análises de Redundância Canônica (ADR) (GRIFFITH, 2003; GRIFFITH; PERES-NETO, 2006). Autovetores Espaciais (AEsp) são conjuntos de funções ortogonais (Funções Autovetor), utilizadas na representação das relações espaciais, entre amostras coletadas em uma determinada área. Estas funções são geradas pela decomposição, por autoanálise, de uma matriz binária centrada, denominada de matriz de conectividade:

$$QCQ, \text{ com } Q = I - (1/n)11^T \quad (3.18)$$

sendo \mathbf{Q} uma matriz de centragem na média, obtida através da subtração de uma matriz identidade \mathbf{I} ($n \times n$) pelo produto de um escalar $1/n$ por uma matriz unitária (de valores 1) ($n \times n$). n representa o número de amostragens, enquanto $\mathbf{1}$ representa um vetor de dimensões $n \times 1$, constituídos por valores iguais a unidade (1). O sobrescrito \mathbf{T} denota a transposição de matrizes. A matriz binária de conectividade \mathbf{C} fornece uma representação das relações de vizinhança entre as amostragens, equivalendo a matriz de pesos w_{ij} , empregada no cálculo do Coeficiente de Auto Correlação de Moran (CM) (GRIFFITH; PERES-NETO, 2006; DRAY et al., 2006).

$$CM(x) = \frac{n \sum_{(2)} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{(2)} w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.19)$$

onde x representa um vetor contendo medidas de uma variável de interesse. A Figura 3.12 descreve o processo de criação dos $AEsp$.

Os $AEsp$ gerados a partir da Matriz \mathbf{C} representam combinações lineares de variáveis indicadoras, que apontam se as amostragens são vizinhas entre si ou não (GRIFFITH, 2003). Em um âmbito analítico, os $AEsp$ podem ser interpretados como funções topológicas, representando estruturas espaciais descorrelacionadas entre si, e ordenadas em um gradiente decrescente de auto correlação espacial. A primeira função (primeira ordem) representaria o máximo de auto correlação, definível pelo valor máximo do CM , considerando-se o arranjo espacial definido por \mathbf{C} . As funções seguintes seriam constituídas por conjuntos de valores que maximizariam essa auto correlação, mantendo a ortogonalidade em relação às funções precedentes. Essa construção sequencial persiste até a detecção do último conjunto de valores (última ordem) atendendo a estes critérios (GRIFFITH, 2003; GRIFFITH; PERES-NETO, 2006). O gradiente decrescente de auto correlação espacial é representado pela sequência decrescente de autovalores associados, ou pela ordem crescente dos $AEsp$.

Conjuntos de $AEsp$ são comumente utilizados na representação de gradientes de escalas espaciais. Estruturas espaciais de larga escala seriam

representadas por *AEsp* de menor ordem (maior autovalor), representando níveis maiores de auto correlação. *AEsp* de ordem maior (autovalores menores) representariam estruturas em escalas espaciais mais locais (ver exemplos para as amostragens do cruzeiro de 1993 na Figura 3.12). Estruturas com dimensões maiores que as áreas amostradas, ou menores que a resolução espacial de amostragem, não são adequadamente representadas pelo método. O método também pode ser utilizado na representação de relações e escalas temporais, em séries de eventos registrados em uma sequencia temporal qualquer. A ortogonalidade entre as Funções Autovetor também facilita sua inclusão em modelos estatísticos, permitindo uma modelagem de relações causais e processos dentro de limites de escala pré-definidos (McCLATCHIE et al., 2007; BRIND'AMOUR et al., 2005).

O método gera autovalores positivos e negativos, representando padrões de auto correlação positiva e negativa, respectivamente (DRAY et al., 2006). Autovetores com autovalores negativos foram automaticamente descartados neste trabalho. Embora possam ser utilizados na descrição de alguns padrões espaciais, estes são compostos por números complexos (BORCARD; LEGENDRE, 2002), o que impossibilita seu uso em modelos estatísticos tradicionais.

Neste trabalho, conjuntos de *AEsp* foram empregados como variáveis sintéticas explanatórias em modelos de regressão múltipla, com o intuito de se decompor estruturas espaciais de interesse ao longo de suas principais escalas de variabilidade. Os modelos de regressão múltipla envolveram um protocolo de seleção de variáveis com poder explanatório significativo, frente às distribuições das variáveis de interesse. Os testes envolveram a exclusão sequencial das variáveis explanatórias, seguidas de 10000 permutações dos resíduos do modelo, e do cálculo da estatística *F* associada. A estatística *F* corresponde à razão estandardizada entre as variâncias “explicadas” pelo modelo, e as variâncias residuais, “não explicadas”. Com base nos resultados das permutações, foram construídas distribuições nulas de valores de *F*. A seleção das variáveis explanatórias baseou-se na comparação entre os valores

originais e nulos de F , adotando-se um limiar de significância de 5% ($\alpha = 0.05$). Os modelos de regressão e testes de significância das variáveis explanatórias foram computados através de funções desenvolvidas em linguagem R (<http://cran.r-project.org/>): *forward.sel*, disponível no pacote *packfor* versão 0.0-7 (DRAY, 2009; BLANCHET et al., 2008), *rda* (Redundancy Analysis) e *permutest*, disponíveis no pacote *vegan* versão 1.17-0 (OKSANEN et al., 2010).

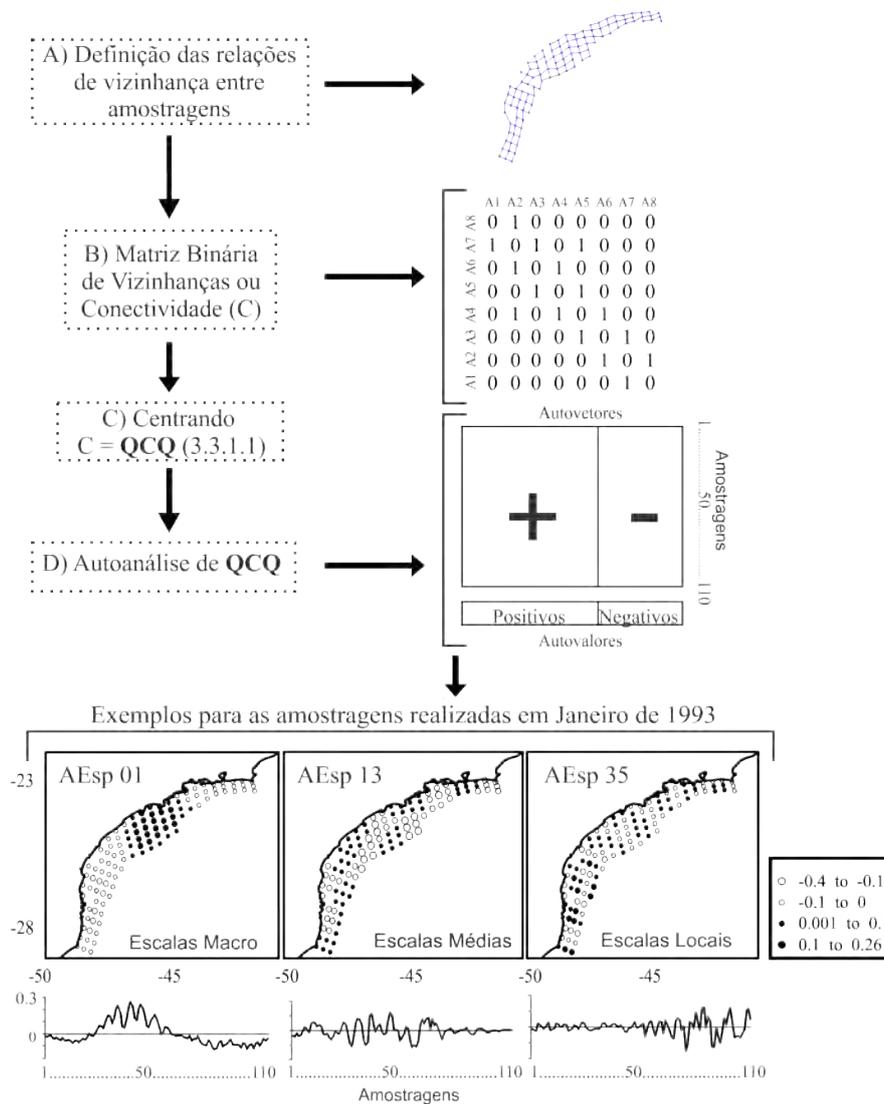


Figura 3.12 - Método empregado na criação dos Autovetores Espaciais (AEsp). Exemplos apresentados correspondem aos autovetores espaciais de ordem 01, 13 e 35, criados com base nas amostragens de ictioplâncton realizadas em Janeiro de 1993.

A cada AEsp selecionado é atribuído um Coeficiente de determinação (R^2) que quantifica sua contribuição relativa isolada ao modelo de regressão múltipla, em termos do percentual de variância dos dados explicado a partir de sua inclusão.

Nas análises enfocando a fase ictioplanctônica da sardinha verdadeira, foram criados nove conjuntos de AEsp, a partir das distribuições das amostragens em cada cruzeiro de ictioplâncton. Estes foram utilizados na análise e descrição da estrutura espacial das distribuições de ovos e larvas.

Nas análises dirigidas a fase adulta, um único conjunto de AEsp foi criado, com base na distribuição de quadrantes de pesca (vide Figura 3.4), servindo de referência na análise da evolução ano a ano das distribuições de CPUE.

Os cálculos das matrizes de conectividade (**C**) e a criação dos conjuntos de Mapas de Autovetores foram efetuados no aplicativo SAM (*Spatial Analysis and Macroecology*) (RANGEL et al., 2010). As relações de vizinhança espacial foram definidas segundo o critério de Vizinhanças Relativas (*Relative Neighborhood*) (TOUSSAINT, 1980).

3.5.2. Determinação das escalas espaciais empregadas na comparação de resultados.

Grande parte dos dados empregados neste trabalho distribuiu-se em grades de amostragem irregulares, com resoluções espaciais variáveis até certo ponto. Distribuições de amostras irregulares tendem a influenciar os parâmetros de amplitude, fase e período, empregados na quantificação das relações espaciais, gerando conjuntos de *AEsp* irregulares (BORCARD; LEGENDRE, 2002). Nestes casos, uma determinação explícita das escalas físicas representadas pelos Autovetores Espaciais (AEsp) pode se tornar difícil (MCCLATCHIE et al., 2007).

É possível, entretanto se identificar domínios, ou “classes” de escalas que permitem uma comparação de resultados. Trabalhos como McClatchie et al. (2007), Lacey et al., (2007) e Roy et al. (2010) empregam abordagens distintas na estimativa de “classes” de escalas espaciais a partir de distribuições irregulares de amostras. Neste trabalho, os limites aproximados das extensões físicas, representadas pelos conjuntos de AEsp definidos anteriormente, foram estimados através do cálculo dos períodos aproximados de cada função autovetor (p_i). O valor de p_i foi estimado através da expressão provida por Guénard et al. (2010):

$$p_i = 2 \frac{La+Si}{i+1} \quad (3.20)$$

relacionando a ordem dos autovetores (ou PCNMs) (i), intervalos amostrais (Si) e as distâncias máximas entre amostragens (La).

Para cada coleta de ictioplâncton, um intervalo amostral (Si) médio foi definido calculando-se as distâncias geográficas médias entre todos pares de vizinhança. Como a distribuição de amostras nos cruzeiros de ictioplâncton apresentou uma orientação geral alongada, de orientação NE – SW (ver exemplos da Figura 3.13), a estimativa das dimensões das escalas representadas pelos Mapas de Autovetores baseou-se somente nas distâncias *alongshore* médias, cobertas por cada evento de amostragem. O cálculo de p_i considerou as distâncias máximas entre amostragens no sentido along-shore (La). Estas foram estimadas calculando-se a distância geográfica média entre as amostragens localizadas nos extremos sul e norte das grades de amostragem de cada cruzeiro.

O mesmo procedimento foi adotado para a estimativa das escalas representadas na Grade de Quadrantes de Pesca, e no conjunto de quadrantes de 0.5° , amostrados em todos os cruzeiros de ictioplâncton (Área Comum de amostragem do Ictioplâncton - ACI). A Tabela 3.11 apresenta os parâmetros de distância empregados no cálculo de λ_i , para cada conjunto de autovetores espaciais utilizados neste trabalho. As distâncias máximas no sentido *cross-*

shore (L_c) também são apresentadas na mesma tabela, muito embora não tenham sido utilizadas nos cálculos de p_i por apresentaram grande variabilidade.

Utilizando-se as dimensões dadas por $\frac{p_i}{2}$, foram estabelecidas três classes de escala: Escalas macro (Mc; $\frac{p_i}{2} = 200$ km a 500 km), Escalas médias (Md; $\frac{p_i}{2} = 50$ km a 199 km) e Escalas locais (Lo; $\frac{p_i}{2} < 50$ km). As três últimas colunas da Tabela 3.11 mostram como estas classes de escalas são representadas em cada conjunto de AEsp utilizado neste trabalho, tomando-se como referência os respectivos intervalos de ordem dos autovetores espaciais.

A comparação de resultados baseou-se nos totais de variância explicada para cada classe de escala espacial. Estes totais foram obtidos através da soma dos coeficientes de determinação dos AEsp (R_a^2), em cada intervalo de ordem representativo de uma classe de escala (considerando-se somente os AEsp selecionados pelo modelo de regressão). Os valores resultantes foram submetidos a correção de Ezekiel (ZAR, 1999), contrabalançando diferentes números de amostras e previsores, permitindo comparação entre modelos obtidos para diferentes classes de escalas e cruzeiros (PÉRES-NETO et al., 2006).

Tabela 3.11 - Parâmetros de distância (\pm IC a 95%) empregados no cálculo de p_i . As três últimas colunas mostram a representação das classes de escala para cada distribuição de amostragens, em função dos intervalos de ordem dos autovetores espaciais.

| Ordem dos Autovetores Espaciais | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| Cruzeiros ictioplâncton | L_a (km); [N] | L_c (km); [N] | S_i (km); [N] | Macro (Mc) | Média (Md) | Local (Lc) |
| Dez 1976 | 908.90 \pm 36.67; [3] | 127.55 \pm 14.14; [24] | 37.08 \pm 0.41; [196] | 1 - 3 | 4 - 16 | 17 - 60 |
| Jan 1977 | 734.55 \pm 62.45; [3] | 130.09 \pm 16.33; [20] | 37.04 \pm 0.44; [159] | 1 - 2 | 3 - 14 | 15 - 49 |
| Jan 1978 | 861.46 \pm 50.74; [3] | 125.47 \pm 13.81; [26] | 36.96 \pm 0.38; [200] | 1 - 3 | 4 - 16 | 17 - 60 |
| Jan 1980 | 790.72 \pm 42.47; [2] | 74.61 \pm 11.81; [16] | 53.33 \pm 1.37; [63] | 1 - 3 | 4 - 15 | 16 - 20 |
| Jan 1981 | 790.38 \pm 43.14; [2] | 75.02 \pm 11.85; [16] | 51.80 \pm 2.14; [65] | 1 - 3 | 4 - 15 | 16 - 21 |
| Jan 1988 | 847.02 \pm 78.48; [2] | 71.44 \pm 13.92; [24] | 36.84 \pm 0.77; [117] | 1 - 3 | 4 - 16 | 17 - 36 |
| Jan 1991 | 886.47 \pm 30.13; [3] | 67.86 \pm 11.94; [26] | 34.30 \pm 0.90; [133] | 1 - 3 | 4 - 17 | 18 - 44 |
| Dez 1991 | 896.83 \pm 23.04; [3] | 81.67 \pm 13.93; [26] | 32.78 \pm 0.94; [175] | 1 - 3 | 4 - 17 | 18 - 54 |
| Jan 1993 | 897.09 \pm 23.06; [3] | 74.94 \pm 14.03; [26] | 32.48 \pm 1.04; [170] | 1 - 3 | 4 - 17 | 18 - 51 |
| Grades Comuns | | | | | | |
| A. C. I. | 855.7 \pm 143.20; [2] | 76.94 \pm 6.96; [12] | 53.18 \pm 1.18; [46] | 1 - 3 | 4 - 17 | NR |
| Grade de Pesca | 791.3 \pm 27.00; [3] | 67.04 \pm 10.42; [34] | 18.77 \pm 0.61; [297] | 1 - 3 | 4 - 15 | 16 - 91 |

L_a – Distância média *alongshore* da área coberta pelas amostragens; L_c – média das distâncias *cross shore*; S_i – distância média entre amostragens. [N] - número de medidas empregadas no cálculo de L_a e L_c . A. C. I – Área comum amostrada em todos os cruzeiros de ictioplâncton (quadrantes de 0.5°); NR – Escala Não Representada.

3.5.3. Testes de significância para variações na estrutura espacial;

Um dos objetivos deste trabalho consistiu em avaliar se as estruturas espaciais observadas nas fases ictioplânctônicas, e nas distribuições de capturas da sardinha verdadeira, variaram significativamente ao longo dos anos cobertos pelos respectivos intervalos de amostragem.

As Análises de Variância (ANOVA) na forma bi fatorial são tradicionalmente empregadas na avaliação do efeito de dois fatores sobre uma variável de interesse. De acordo com Legendre et al. (2010), um modelo ANOVA bi fatorial, admitindo a interação entre fatores, pode ser analisado sob um contexto de regressão múltipla, sendo expresso na forma matricial como:

$$y = 1\mu + X_{s-1}\alpha + X_{t-1}\beta + X_{Int}(\alpha\beta) + \varepsilon \quad (3.21)$$

onde s e t são os números de amostras no espaço e no tempo, respectivamente; 1 é um vetor $n \times 1$ de valores iguais a um; α , β e $(\alpha\beta)$ são vetores de coeficientes de regressão para os fatores espaço, tempo, e para o termo de interação espaço-tempo, respectivamente, e ε o vetor de resíduos. X_{s-1} e X_{t-1} são matrizes *dummy*, codificando os fatores espaço e tempo. Estas matrizes são criadas através do método de Contrastes de Helmert (VENABLES; RIPLEY, 2002), sendo constituídas por $s - 1$ variáveis, codificando as amostras, e $t - 1$ variáveis, codificando os eventos de amostragem. O termo de interação espaço-tempo X_{Int} é composto pelo produto destas matrizes, gerando $(s - 1)(t - 1)$ variáveis ortogonais entre si. O modelo de decomposição da soma dos quadrados (SQ) é representado na forma:

$$SQ_{Tot} = SQ(1) + SQ(X_{s-1}) + SQ(X_{t-1}) + SQ(X_{Int}) + SQ_{Res} \quad (3.22)$$

O número de graus de liberdade para estimativa dos quadrados dos resíduos (SQ_{Res}) é dado por $s * t * (r - 1)$, sendo r o número de réplicas de amostragem. No caso de desenhos amostrais em que não há replicação ao nível das amostras ($r = 0$), o número de graus de liberdade disponíveis para a estimativa

das somas de quadrados residuais é igual à zero. Conseqüentemente, o denominador empregado no cálculo da estatística F para o termo de interação iguala-se a zero, o que impede não viabiliza o teste de significância. A realização de testes isolados para as variações espacial e temporal teria de assumir, portanto, uma inexistência de interação entre ambos os fatores (ZAR, 1999; LEGENDRE et al., 2010).

Conforme visto nas seções anteriores, as distribuições das densidades de ovos, larvas e CPUE não dispuseram de réplicas individuais. Isto limitaria o uso de modelos ANOVA tradicionais para se verificar a existência de variações significativas na estrutura espacial, ou variações temporais significativas nos quadrantes de amostragem. Considerando-se as variações das densidades de ovos, larvas, e de valores de CPUE no espaço e no tempo, pode-se dizer que uma interação significativa entre ambos os fatores indicaria: 1) a existência de variações temporais na estrutura espacial; 2) a existência de comportamentos temporais diferenciados entre as amostragens (LALIBERTÉ et al., 2009; LEGENDRE et al, 2010).

Legendre et al. (2010) propuseram o uso de conjuntos de variáveis $s_r < (s - 1)$, e $t_r < (t - 1)$, na codificação dos termos espaço, tempo e interação espaço-tempo, produzindo um “ganho” de graus de liberdade em relação aos métodos tradicionais de codificação. Esse “ganho” seria, então, utilizado na estimativa de SQ_{Res} . Os mesmos autores propuseram o uso de Funções Autovetor como variáveis de codificação s_r e t_r , baseado em suas propriedades ortogonais, e de representação das relações espaciais e temporais entre as amostras. O uso de um número menor de variáveis na codificação de fatores e interações é, entretanto, penalizado por um menor poder de explicação do modelo estatístico, quando comparado a experimentos com replicação.

Este trabalho empregou um modelo ANOVA bi fatorial, no qual os termos correspondentes aos fatores (fixos) espaço e tempo (X_{s-1} e X_{t-1}) foram codificados pelo método tradicional (Contrastes de Helmert), ao passo que o

termo de Interação X_{Int} , foi codificado através do produto $\frac{t_r}{2} * \frac{s_r}{2}$ funções autovetor, representando relações espaciais e temporais, respectivamente. Uma importante vantagem deste modelo, é que as taxas de incidência de Erros Tipo I se mantém baixas, independente da existência ou não de interação (LEGENDRE et al., 2010). A representação do fator tempo foi feita através de Matrizes de Coordenadas Principais de Vizinhança (*Principal Coordinate Neighbor Matrices* - PCNM). PCNMs são casos particulares de Mapas de Autovetores, criados a partir de critérios de distância (no caso, intervalos de tempo) entre as amostragens (PÉRES-NETO et al., 2006).

Os testes de significância para os fatores espaço, tempo e interação empregaram 10000 permutações de Monte Carlo no vetor resposta, seguidos da comparação entre estatísticas F originais e nulas (permutadas), adotando-se um $\alpha = 0.05$ (5%). No caso da rejeição da hipótese de não interação, as significâncias dos fatores tempo e espaço foram testadas separadamente, através de modelos ANOVA do tipo hierárquico ou aninhado.

Todos os testes foram computados através da rotina em linguagem R *QuickSTI*, disponível no pacote *STI* (LEGENDRE et al., 2009).

Para a análise dos dados de ictioplâncton, considerou-se uma área comum, coberta pelas amostragens de todos os cruzeiros (excetuando-se Janeiro de 1977). Esta área é representada pelos quadrantes em vermelho na Figura 3.13, e engloba grande parte do setor interno e médio da PCSB. A análise também exigiu uma degradação da resolução espacial dos dados a 0.5° , em decorrência da menor resolução de amostragem empregada em Janeiro de 1980 e Janeiro de 1981 (Seção 3.1.1). Assim, as densidades médias de ovos e larvas foram recalculadas para cada quadrante de 0.5° . Um conjunto de Autovetores Espaciais (A.C.I. na Tabela 3.11), gerados com base nas relações espaciais entre estes quadrantes, foi utilizado na codificação do fator espaço.

As PCNMs foram criadas automaticamente pela função *QuickSTI*, utilizando-se a sequência temporal dos cruzeiros de amostragem. O mesmo protocolo foi empregado no teste das variações espaço-temporais dos DAM (Seção 3.4).

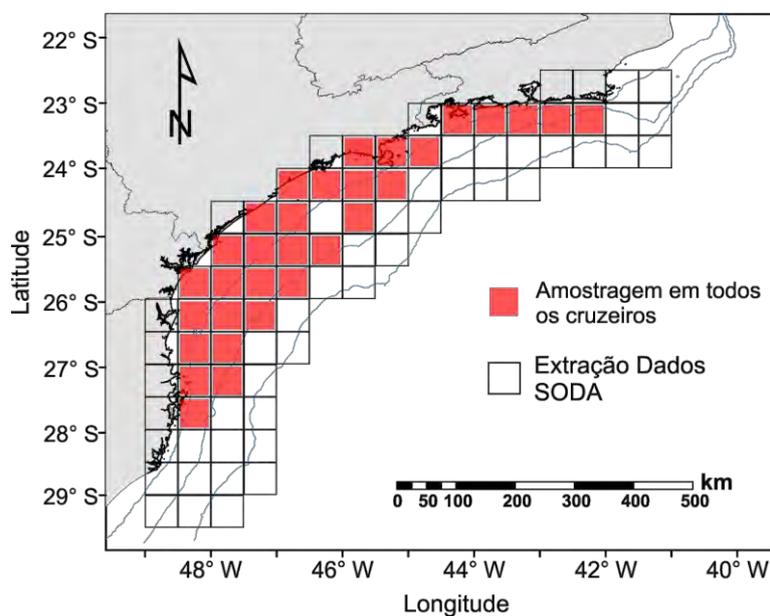


Figura 3.13 - Grades compostas pelos quadrantes de extração dos dados SODA (quadrados vazados), e pelos quadrantes amostrados em todos os cruzeiros de ictioplâncton (quadrados em vermelho).

A existência de variações interanuais na estrutura espacial da CPUE, e nos Descritores Ambientais Multivariados foi testada separadamente, para cada cenário de análise (Seção 3.3.3; página 84), utilizando-se o conjunto de Mapas de Autovetores criado para a *Grade de Quadrantes de Pesca* (Tabela 3.11) na codificação do fator espaço. A codificação do fator tempo empregou PCNMs criadas a partir de sequências 7 anos (4 anos para os dados de CPUE no cenário de inverno). Os testes consideraram um número igual de variáveis codificadoras de tempo, dado pelas três primeiras PCNMs.

3.5.4. Análises de Codependência Multi-Escala

As correlações entre parâmetros *in situ*, Descritores Ambientais Multivariados (DAMs) e as distribuições espaciais de ovos, larvas e CPUE foram analisadas sob um contexto de múltiplas escalas espaciais, empregando-se Análises de Codependência Multi-Escala (ACM) (GUÉNARD et al., 2010). A codependência pode ser definida como uma relação de dependência espacial entre quaisquer variáveis empregadas na descrição de habitats ou nichos ecológicos, e distribuições de organismos, representada através de padrões similares de distribuição espacial. Na Ecologia, as relações de codependência são geralmente associadas a processos causais, físicos ou biológicos, ocorrentes em diversas escalas de tempo e espaço (LEGENDRE, 1993). A descrição do protocolo de procedimentos empregados na MCA, a seguir, baseia-se no trabalho de Guénard et al. (2010), onde o método é apresentado.

A ACM baseia-se na premissa de que o padrão de codependência espacial entre uma variável explanatória x e uma variável resposta y pode ser representado através do produto de suas correlações com uma variável W , representando um padrão de distribuição (estrutura) espacial. A primeira etapa da análise envolve o cálculo de um vetor de coeficientes de codependência ($C_{y,x,W}$), calculados a partir dos coeficientes de correlação entre as variáveis x e W_i , e y e W_i :

$$C_{x,y,w} = \frac{w_i y}{\sqrt{y^T y}} \frac{w_i x}{\sqrt{y^T x}} \quad (3.23)$$

com T denotando a transposição do vetor y . As variáveis de estrutura W_i podem ser representadas por conjuntos de Mapas de Autovetores, com o índice i denotando a ordem da Função Autovetor. O uso de mapas de autovetores como descritores de estrutura espacial permite uma explicitação do gradiente de escalas espaciais, proporcionado pelo conjunto de amostras analisadas. As propriedades ortogonais das funções autovetor, por sua vez,

permitem o estudo de relações de modo isolado, em classes de escala de interesse.

Na segunda etapa, os coeficientes de codependência $C_{y,x,W}$ são ordenados em sequência decrescente, e testados quanto a sua significância estatística. O teste envolve o cálculo da estatística T , dada pelo produto das estatísticas t de *Student*, derivadas de ambos os coeficientes de correlação, com relação a variável de estrutura espacial w_i . O cálculo de T é dado pela expressão:

$$T_{x,y,w \in w_i} = (n - q - 1) \frac{w_i y}{\sqrt{[y - w_s w_s' y]' [y - w_s w_s' y]}} \frac{w_i x}{\sqrt{[x - w_s w_s' x]' [x - w_s w_s' x]}} \quad (3.24)$$

sendo n o tamanho da amostra, e q o número de variáveis estruturadoras em w_s . As probabilidades P associadas foram obtidas através de 10000 permutações em x e y , sofrendo correções *a posteriori* através do ajuste de Sidak (WRIGHT, 1992). A exemplo dos demais procedimentos adotou-se um limiar de rejeição de 5% ($\alpha = 0.05$).

O sinal positivo ou negativo de $C_{y,x,W}$ é definido exclusivamente pelos sinais dos coeficientes de correlação entre y e w_i , e x e w_i . Desta forma, coeficientes positivos indicariam uma tendência comum a y e x , descrevendo relações positivas entre ambas as variáveis, ao passo que valores negativos, por sua vez, representariam tendências opostas. Essa propriedade é útil na descrição das relações significativas detectadas pelo método.

No estudo das fases planctônicas da sardinha verdadeira, as análises de codependência avaliaram as relações entre as distribuições de ovos, larvas, temperaturas, salinidades (superficiais e sub superficiais), e descritores ambientais derivados das variáveis SODA. As relações com medidas *in situ* de temperatura e salinidade foram analisadas cruzeiro a cruzeiro, utilizando os conjuntos de Mapas de Autovetores, criados para cada evento de amostragem, como variáveis de estrutura W .

O estudo das relações de codependência com os DAM criados a partir das variáveis SODA considerou apenas as distribuições de ictioplâncton na área amostrada em todos os cruzeiros (Figura 3.14). Neste caso, o conjunto de variáveis w foi provido pelo conjunto de *AEsp* A.C.I. (vide Tabela 3.11; página 98). Vale salientar que a análise exigiu a degradação das resoluções espaciais dos dados de ictioplâncton a 0.5° , criando os vetores empregados como variável resposta (y).

Na fase adulta, as ACM relacionaram as distribuições anuais de CPUE, durante cada Cenário de Análise, ao conjunto de DAMs, criados a partir das variáveis de Sensoriamento Remoto (Seção 3.4.3). As variáveis W foram providas pelo conjunto de Mapas de Autovetores, criado a partir da *Grade de Quadrantes de Pesca* (vide Figura 3.4; página 64, e Tabela 3.11; página 98).

As ACM foram computadas através das funções em linguagem R *mca* (*Multiscale Codependence Analysis*), e *permute.mca* (testes de significância com permutações), disponíveis no pacote *codep* versão 0.1 - 6 (GUÉNARD, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO - FASE PLANCTÔNICA

4.1. Padrões de distribuição e estrutura espacial

4.1.1. Estágio embrionário (ovos)

As distribuições espaciais de ovos de sardinha verdadeira, e os resultados da decomposição em escalas espaciais são apresentados, respectivamente, nos mapas e gráficos da Figura 4.1. A organização espacial dos ovos da sardinha verdadeira estruturou-se predominantemente em Escalas Médias e Locais (< 200 km). A variabilidade em Escalas Macro (200 a 500 km) restringiu-se aos cruzeiros iniciais (dezembro de 1976 / janeiro de 1977) e finais (janeiro de 1993) da série analisada. Nestes cruzeiros, os modelos de regressão múltipla responderam, respectivamente, por 35.5% e 29.8% da variância total dos dados (Tabela 4.1). O modelo correspondente a Janeiro de 1980 apresentou o desempenho mais fraco, explicando apenas 16.2% da variância dos dados, tendo sua variabilidade espacial inteiramente representada nas Escalas Médias. No modelo computado para o cruzeiro de janeiro de 1991, nenhum AEsp foi selecionado (Figura 4.1).

Analisando-se os mapas com as distribuições originais de ovos, apresentados na Figura 4.1, nota-se que, em dezembro de 1976/janeiro de 1977, as principais áreas de desova se localizam a sul de 24°S, com poucos aglomerados ocorrendo na porção Norte da PCSB. Em janeiro de 1993 os agregados de ovos se concentram principalmente na região do entorno de Ilha Bela (23°S a 25°S), e ao longo da costa de Santa Catarina (26°S a 28°S). De um modo geral, observa-se que a variabilidade em escalas Macro reproduz uma tendência de concentração das principais áreas de desova na região centro-sul da PCSB. Nota-se também que a desova ocorre com pouca frequência na região costeira do Rio de Janeiro, ao longo da latitude 23° S, e entre 42° W e 44° W. Não obstante, em janeiro de 1978; 1980; 1981, e em dezembro de 1991, observa-se alguns núcleos de desova entre Ubatuba e Cabo Frio.

A Tabela 4.2 apresenta as médias logaritimizadas para as densidades de ovos e larvas (calculadas para estações positivas apenas). Nota-se que as densidades máximas são registradas nos cruzeiros entre 1976 e 1978, em 1981, e em janeiro de 1993. No cruzeiro de janeiro de 1980, as densidades médias de ovos apresentam notável redução. Entre janeiro de 1988 e dezembro de 1991, essa redução é observada em ambos os estágios analisados.

Nos cruzeiros realizados em janeiro de 1978, janeiro de 1988, e janeiro de 1991 a distribuição de ovos ocorre em agregados menores e mais esparsos, localizando-se bem próximos à costa nos dois primeiros cruzeiros (Figura 4.1). Em 1988 e 1991 a contração das áreas de desova coincide com proporções menores de estações positivas, e com as menores densidades médias de ovos registradas em toda série de cruzeiros analisada (Tabela 4.2) (MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010).

As contribuições em escalas Médias foram recorrentes em praticamente todos os cruzeiros, atingindo valores máximos em janeiro de 1993 ($R_{aMd}^2 = 0.188$), onde se observam “núcleos” de desova mais bem definidos (Figura 4.1). A variabilidade em escalas Locais também foi atributo recorrente na distribuição de ovos da sardinha verdadeira, respondendo pela maior parte da variabilidade espacial em janeiro de 1977, e em janeiro de 1988 (Tabela 4.1). Apesar da resolução espacial mais grosseira (de cerca de 50 km), a variabilidade em escalas Locais mostrou-se significativa em janeiro de 1981, sendo modelada por um único Autovetor Espacial.

As diferenças entre os cruzeiros de dezembro de 1976 e janeiro de 1977 se caracterizaram por um decréscimo da variabilidade em escalas Médias, compensado por um aumento nas escalas Locais, em janeiro de 1977 (Tabela 4.1). Isso mostra que a estrutura espacial dos habitats de desova pode variar ao longo de uma única temporada reprodutiva. Vale ressaltar que as mudanças na estrutura espacial das distribuições de ovos se caracterizam,

predominantemente, por variações nas contribuições das escalas Médias e Locais (Figura 4.1). No caso dos cruzeiros supracitados, as principais mudanças na estrutura espacial se concentram nestas mesmas classes de escalas.

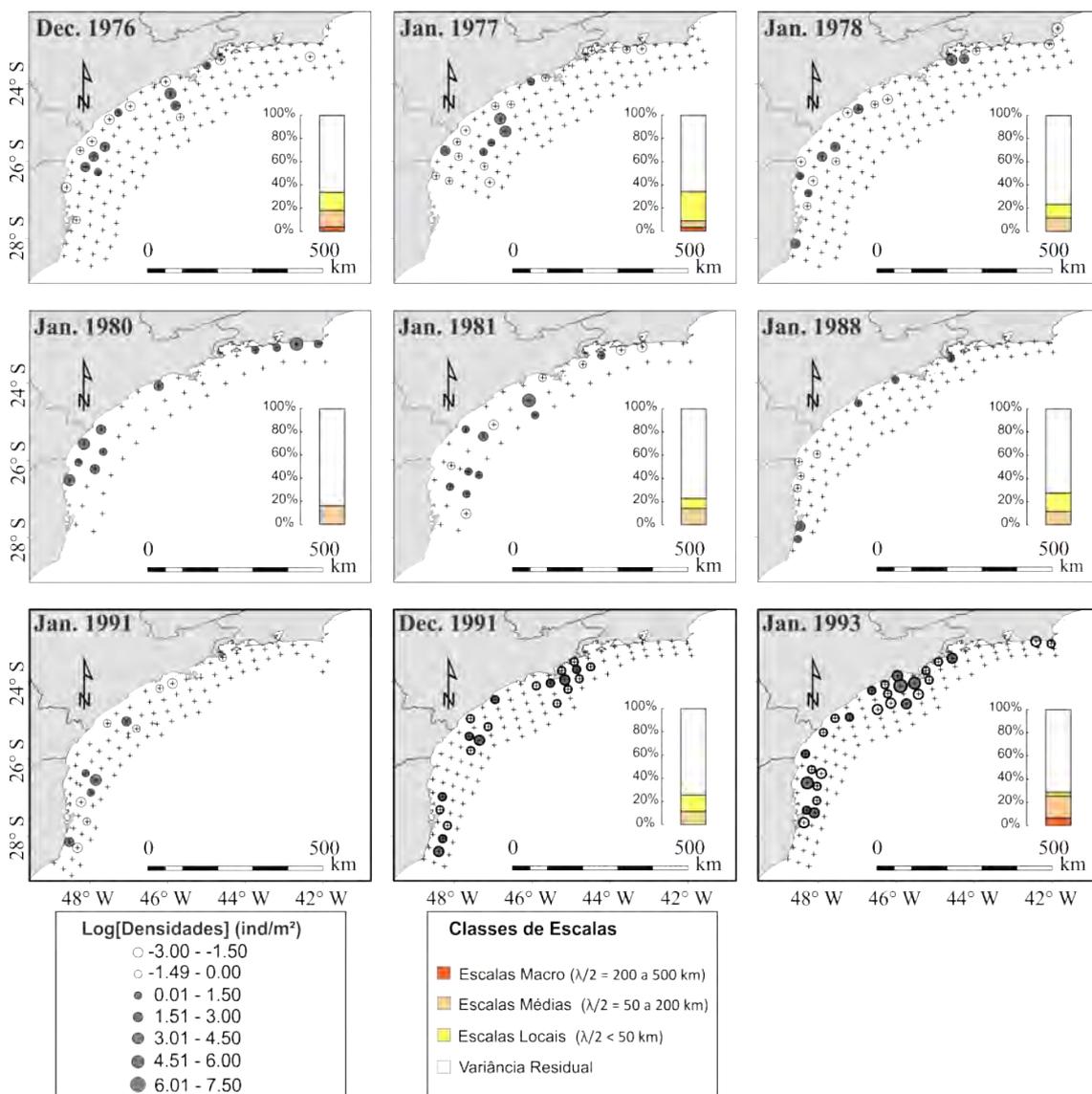


Figura 4.1 - Mapas com as distribuições originais de densidades (logaritimizadas e centradas na média) de ovos de *Sardinella brasiliensis* ao longo dos nove cruzeiros de ictioplâncton. Gráficos de barra apresentam os resultados da decomposição em escalas espaciais.

A variação temporal da estrutura espacial das distribuições de ovos sugere a ocorrência de contrações e expansões relativas dos habitats de desova. Durante as expansões de habitat, a variabilidade espacial seria representada em todas as classes de escala, conforme observado nos cruzeiros realizados no verão de 1976/1977, e em janeiro de 1993, caracterizados também por densidades médias mais altas (Tabela 4.2). Essas expansões ocorreriam preferencialmente no setor centro-sul da PCSB, onde a plataforma continental é mais extensa. Nos demais cruzeiros, a variabilidade espacial se concentraria nas escalas Médias ou Locais, devido à ocorrência de aglomerados reprodutivos menores e mais dispersos espacialmente ao longo da costa.

Tabela 4.1. - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de ovos de *Sardinella brasiliensis*.

| | | Dez. 1976 | Jan. 1977 | Jan. 1978 | Jan. 1980 | Jan. 1981 | Jan. 1988 | Jan. 1991 | Dez. 1991 | Jan. 1993 |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.040 | 0.036 | - | - | - | - | - | - | 0.066 |
| | AEsp | 1 | 1 | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.140 | 0.056 | 0.116 | 0.162 | 0.140 | 0.116 | - | 0.117 | 0.188 |
| | AEsp | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | - | 1 | 4 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.156 | 0.249 | 0.118 | - | 0.088 | 0.159 | - | 0.139 | 0.032 |
| | AEsp | 5 | 5 | 5 | - | 1 | 2 | - | 5 | 1 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.355 | 0.355 | 0.242 | 0.162 | 0.235 | 0.282 | - | 0.263 | 0.298 |
| | VR | 0.665 | 0.665 | 0.758 | 0.838 | 0.765 | 0.718 | - | 0.737 | 0.702 |

R_{aMc}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Macro; R_{aMd}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Médias; R_{aLo}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Locais; R_{aT}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados Totais totais para cada cruzeiro (considerando todos os Mapas de Autovetores selecionados); AEsp – Número

de Mapas de Autovetores Seleccionados em cada classe de escalas. VR – Variância residual.

Tabela 4.2 – Medidas de tendência (IC a 95%) para as densidades de ovos e larvas, considerando-se apenas as estações positivas (densidades de ovos/larvas > 0).

| Data | Ovos | | Larvas | |
|-----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| | Estações Positivas | Log (Densidade Média) + IC (95%) | Estações Positivas | Log [Densidade Média] + IC (95%) |
| Dec. 1976 | 18 | 2.54 ± 1.00 | 71 | 1.97 ± 0.38 |
| Jan. 1977 | 19 | 2.11 ± 0.74 | 53 | 2.20 ± 0.40 |
| Jan. 1978 | 18 | 2.63 ± 0.99 | 69 | 2.48 ± 0.39 |
| Jan. 1980 | 11 | 1.94 ± 1.12 | 32 | 1.16 ± 0.39 |
| Jan. 1981 | 17 | 2.69 ± 1.03 | 26 | 3.17 ± 0.53 |
| Jan. 1988 | 9 | 1.66 ± 0.80 | 38 | 1.60 ± 0.39 |
| Jan. 1991 | 13 | 1.79 ± 0.88 | 37 | 1.29 ± 0.36 |
| Dec. 1991 | 21 | 1.42 ± 0.49 | 52 | 1.38 ± 0.35 |
| Jan. 1993 | 28 | 2.02 ± 0.70 | 62 | 1.72 ± 0.34 |

4.1.2. Estágios larvais

Durante seus estágios larvais, a estrutura espacial da sardinha verdadeira se caracterizou por uma variabilidade predominante nas Escalas Média (50 a 200 km) e Macro (200 a 500 km) (Figura 4.2). Os máximos de variância explicada foram observados nos cruzeiros de dezembro de 1976 e janeiro de 1977 ($R_{aT}^2 = 0.641$, e 0.609 , respectivamente), enquanto o modelo correspondente ao cruzeiro de Janeiro de 1991 apresentou o pior desempenho ($R_{aT}^2 = 0.169$) (Tabela 4.3). Em janeiro de 1980, nenhuma relação significativa foi observada entre os descritores espaciais e as densidades de larvas.

A dinâmica temporal da estrutura espacial das larvas apresentou um padrão similar ao observado para as distribuições de ovos, com uma variação cíclica na importância relativa das escalas Macro e Médias. A variabilidade em escalas Macro foi mais evidente em dezembro de 1976, sendo gradualmente reduzida ao longo dos cruzeiros subsequentes, até Janeiro de 1978, sofrendo novo incremento entre janeiro de 1988 e janeiro de 1993 (Figura 4.2). Este decréscimo é acompanhado por um incremento progressivo na variabilidade em escalas Médias, entre Janeiro de 1977 e Janeiro de 1981. Neste último cruzeiro, toda a variância explicada ($R_{aT}^2 = 0.311$) concentra-se nesta classe de escalas (Tabela 4.3). Ao longo dos três últimos cruzeiros observa-se um novo incremento na importância relativa das escalas Macro, enquanto a variabilidade nas escalas Médias decresce nos cruzeiros de 1991, aumentando novamente em janeiro de 1993.

Analisando-se os mapas na Figura 4.2, observa-se que a distribuição das larvas também se concentra preferencialmente na porção centro-sul, o que justifica o padrão de variabilidade em escalas Macro, recorrente nos resultados para a maioria dos cruzeiros. Não obstante, em janeiro de 1993, a distribuição apresenta um padrão inverso, com uma maior concentração de larvas no setor entre 23° S e 26° S, caracterizando-se por um padrão de distribuição mais esparsa a sul. Em janeiro de 1981 a ausência de contribuições nesta escala

pode ser atribuída à ocorrência de larvas no setor localizado entre a Baía da Guanabara e a Ilha Grande (23°S).

A variabilidade nas escalas Locais (< 50km) apresenta-se como aspecto recorrente ao longo de quase todos os cruzeiros. Todavia, as contribuições nestas escalas apresentam valores baixos ($R_{aLo}^2 < 0.076$), e uma importância relativa pequena (Tabela 4.3), contrastando, neste aspecto, com os resultados observados para as distribuições de ovos.

A variância residual dos modelos de regressão múltipla variou de 0.421 (janeiro de 1976) a 0.836 (janeiro de 1991), mantendo-se abaixo de 0.600 entre 1976 e 1978 (Tabela 4.3). De um modo geral os valores se mostram mais altos em relação às distribuições de ovos, o que sugere uma maior adequabilidade do protocolo de amostragem à representação da variabilidade espacial das larvas.

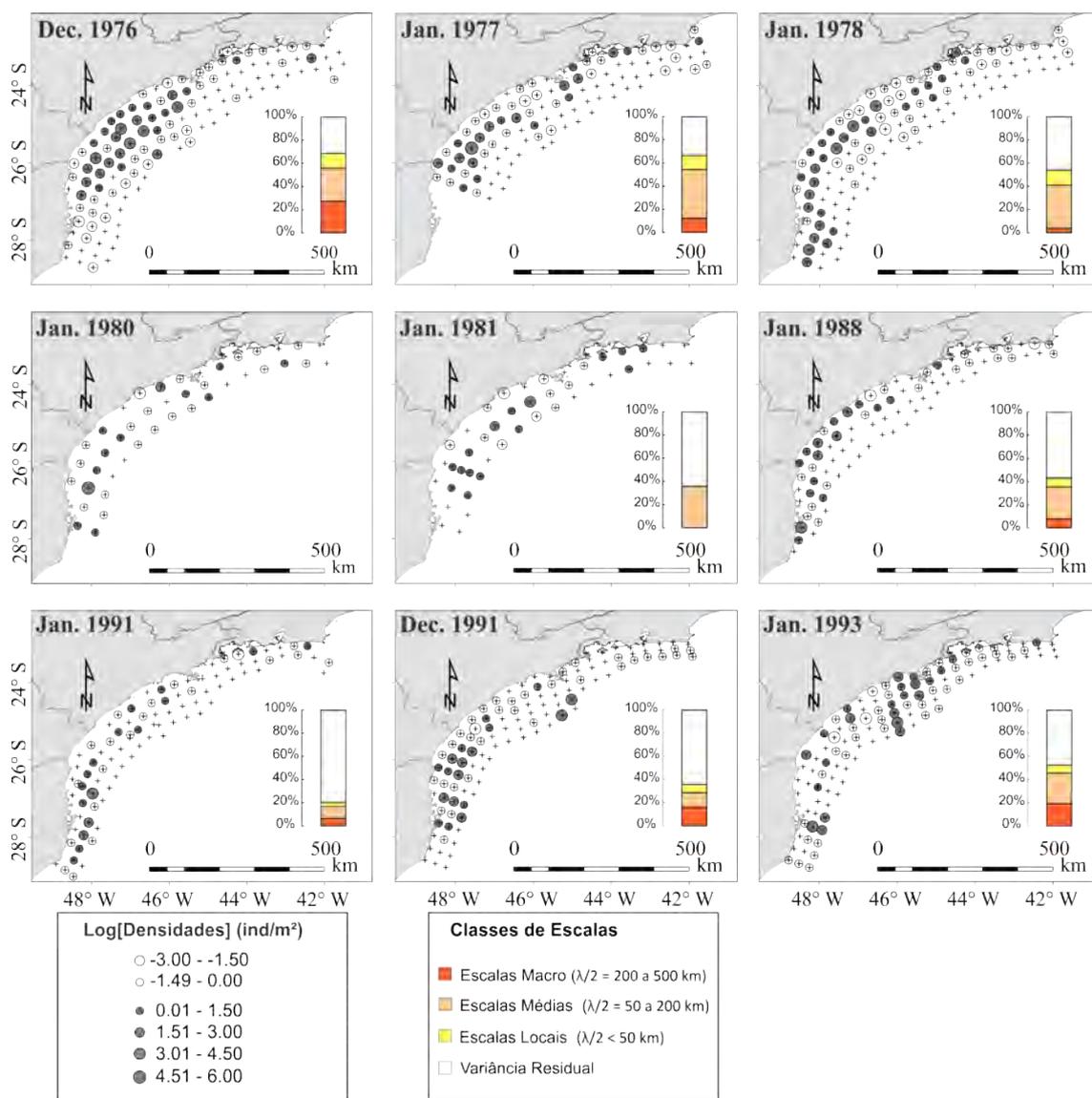


Figura 4.2 - Mapas com as distribuições originais de densidades (logaritimizadas e centradas na média) de larvas de *Sardinella brasiliensis*, ao longo dos nove cruzeiros de ictioplâncton. Gráficos de barra apresentam os resultados da decomposição em escalas espaciais.

Tabela 4.3 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de larvas de *Sardinella brasiliensis*. Acrônimos - vide Tabela 4.1.

| | | Dez. 1976 | Jan. 1977 | Jan. 1978 | Jan. 1980 | Jan. 1981 | Jan. 1988 | Jan. 1991 | Dez. 1991 | Jan. 1993 |
|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.257 | 0.107 | 0.032 | - | - | 0.066 | 0.056 | 0.140 | 0.178 |
| | AEsp | 2 | 2 | 1 | - | - | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.246 | 0.396 | 0.338 | - | 0.311 | 0.249 | 0.082 | 0.107 | 0.152 |
| | AEsp | 6 | 9 | 6 | - | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.076 | 0.058 | 0.085 | - | - | 0.050 | 0.026 | 0.055 | 0.051 |
| | AEsp | 7 | 3 | 6 | - | - | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.641 | 0.609 | 0.486 | - | 0.311 | 0.383 | 0.169 | 0.315 | 0.398 |
| | VR | 0.359 | 0.391 | 0.514 | - | 0.689 | 0.617 | 0.831 | 0.685 | 0.602 |

4.1.3. Estruturação espacial das variáveis termohalinas

Os modelos de regressão múltipla empregados na análise dos dados de temperatura e salinidade *in situ* explicaram grande parte da variação espacial dos dados. A maioria dos Coeficientes de Determinação Total (R_{aT}^2) foi superior a 0.500 (Tabelas 4.4 e 4.5), o que mostra uma estruturação espacial bem marcada para ambas as variáveis. Essa estruturação se mostrou mais evidente para os dados de temperatura na camada superficial (0 - 10 m), com R_{aT}^2 variando de 0.65 (janeiro de 1991) a 0.84 (janeiro de 1977).

A variabilidade espacial em escalas Macro (200 – 500 km) dominou a estrutura dos dados de Temperatura superficial nos verões de 1976/1977, em janeiro de 1980, janeiro de 1981, e em dezembro 1991 (Figura 4.3, painéis à esquerda). Esse padrão persistiu nos dados de sub superfície (10 - 20m), incluindo o cruzeiro de janeiro de 1991, sugerindo a existência de um padrão cíclico de

variação. A variabilidade em escalas Médias (50 - 200 km) foi dominante nas camadas de superfície e sub superfície em janeiro de 1988, e em janeiro de 1993 (superfície), apresentando contribuições menores, e variáveis ao longo dos demais cruzeiros. A variabilidade em escalas Locais também apresentou contribuições relativas variáveis entre cruzeiros, sendo dominante nas camadas de superfície e sub superfície em janeiro de 1978, e nas camadas superficiais em janeiro 1991. Em janeiro de 1980 e janeiro de 1981 se mostrou ausente, possivelmente devido a menor resolução espacial das amostragens adotada nestes cruzeiros.

A distribuição espacial dos valores de Salinidade superficial (0 – 10m) estruturou-se predominantemente nas escalas Médias e Macro (Figura 4.3, painéis à direita), com uma maior importância relativa das escalas Médias em quase todos os cruzeiros, a exceção de dezembro de 1976 e dezembro de 1991. As contribuições em escalas Locais se mantiveram abaixo de 15% da variância explicada, em todos os cruzeiros, atingindo valores mínimos em dezembro de 1976, janeiro de 1980 e janeiro de 1981.

A distribuição espacial das salinidades em sub superfície (10 – 20m) apresentou dinâmica temporal similar à observada na camada superficial. As principais diferenças foram observadas nos cruzeiros de janeiro de 1980 e janeiro de 1981. Em 1980 a distribuição espacial dos valores estruturou-se predominantemente nas escalas Macro. Em dezembro de 1991 a variabilidade em escalas Médias sofreu uma drástica redução, para 2 % da variância explicada pelo modelo (Tabela 4.5).

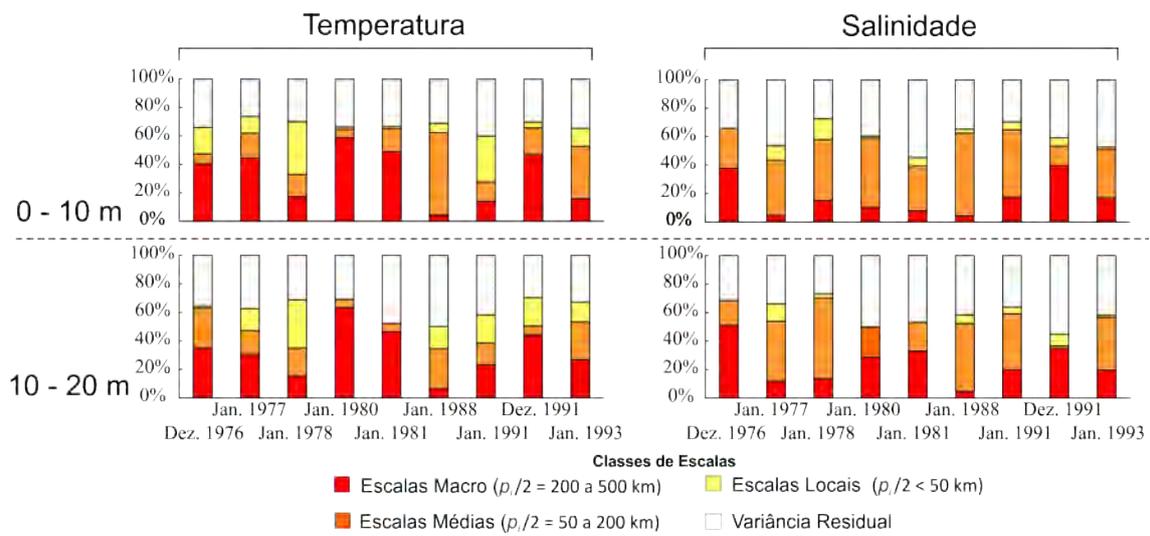


Figura 4.3 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de temperatura e salinidade *in situ* ao longo dos nove cruzeiros de ictioplâncton (1976 a 1993): Percentuais de variância explicada por classe de escala espacial.

Tabela 4.4 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de temperatura superficial (0 – 10m) e sub superficial (10 – 20 m). Acrônimos - vide Tabela 4.1.

| | | Dez. 1976 | Jan. 1977 | Jan. 1978 | Jan. 1980 | Jan. 1981 | Jan. 1988 | Jan. 1991 | Dez. 1991 | Jan. 1993 |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (0 – 10 m) | | | | | | | | | | |
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.403 | 0.444 | 0.173 | 0.589 | 0.490 | 0.043 | 0.138 | 0.467 | 0.159 |
| | AEsp | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.071 | 0.176 | 0.155 | 0.058 | 0.161 | 0.580 | 0.140 | 0.189 | 0.368 |
| | AEsp | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 6 | 3 | 2 | 9 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.185 | 0.118 | 0.373 | 0.017 | 0.015 | 0.066 | 0.321 | 0.042 | 0.126 |
| | AEsp | 8 | 8 | 17 | 1 | 1 | 4 | 7 | 5 | 6 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.722 | 0.840 | 0.804 | 0.738 | 0.734 | 0.769 | 0.653 | 0.749 | 0.728 |
| Residual | | 0.278 | 0.160 | 0.196 | 0.262 | 0.266 | 0.231 | 0.347 | 0.251 | 0.272 |
| (10 – 20 m) | | | | | | | | | | |
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.352 | 0.308 | 0.156 | 0.636 | 0.465 | 0.068 | 0.231 | 0.445 | 0.268 |
| | AEsp | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.281 | 0.168 | 0.197 | 0.059 | 0.060 | 0.278 | 0.155 | 0.062 | 0.269 |
| | AEsp | 9 | 7 | 7 | 2 | 1 | 5 | 6 | 3 | 7 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.015 | 0.154 | 0.339 | - | - | 0.157 | 0.198 | 0.200 | 0.138 |
| | AEsp | 2 | 6 | 22 | - | - | 4 | 5 | 15 | 9 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.695 | 0.712 | 0.835 | 0.732 | 0.540 | 0.547 | 0.652 | 0.824 | 0.769 |
| | VR | 0.305 | 0.288 | 0.165 | 0.268 | 0.460 | 0.453 | 0.348 | 0.176 | 0.231 |

Tabela 4.5 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de salinidade superficial (0 – 10m) e sub superficial (10 – 20 m). Acrônimos - vide Tabela 4.1.

| | | Dec. 1976 | Jan. 1977 | Jan. 1978 | Jan. 1980 | Jan. 1981 | Jan. 1988 | Jan. 1991 | Dec. 1991 | Jan. 1993 |
|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| (0 – 10 m) | | | | | | | | | | |
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.378 | 0.044 | 0.151 | 0.103 | 0.078 | 0.041 | 0.175 | 0.395 | 0.166 |
| | AEsp | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.280 | 0.389 | 0.428 | 0.487 | 0.317 | 0.582 | 0.474 | 0.139 | 0.344 |
| | AEsp | 12 | 4 | 11 | 5 | 2 | 8 | 10 | 4 | 6 |
| Local | R_{aLo}^2 | <0.001 | 0.101 | 0.148 | 0.013 | 0.057 | 0.028 | 0.055 | 0.059 | 0.016 |
| | AEsp | 5 | 2 | 13 | 1 | 1 | 3 | 7 | 5 | 1 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.772 | 0.556 | 0.852 | 0.668 | 0.479 | 0.709 | 0.816 | 0.645 | 0.549 |
| Residual | | 0.228 | 0.444 | 0.148 | 0.332 | 0.521 | 0.291 | 0.184 | 0.355 | 0.451 |
| (10 – 20 m) | | | | | | | | | | |
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.511 | 0.123 | 0.137 | 0.287 | 0.331 | 0.048 | 0.201 | 0.347 | 0.197 |
| | AEsp | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.175 | 0.418 | 0.567 | 0.215 | 0.204 | 0.477 | 0.393 | 0.020 | 0.373 |
| | AEsp | 11 | 7 | 9 | 2 | 3 | 7 | 8 | 1 | 8 |
| Local | R_{aLo}^2 | <0.001 | 0.123 | 0.029 | - | - | 0.061 | 0.046 | 0.083 | 0.014 |
| | AEsp | 1 | 15 | 11 | - | - | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Cruzeiro | R_{aT}^2 | 0.752 | 0.813 | 0.839 | 0.528 | 0.572 | 0.657 | 0.702 | 0.463 | 0.620 |
| | VR | 0.248 | 0.187 | 0.161 | 0.472 | 0.428 | 0.343 | 0.298 | 0.537 | 0.380 |

4.2. Descritores Ambientais Multivariados empregados na caracterização ambiental dos cruzeiros de amostragem de ictioplâncton (1976 a 1993).

Nesta seção serão descritos os gradientes ambientais representados pelos Descritores Ambientais Multivariados (DAM), criados a partir da Análise de Componentes Principais aplicada a uma matriz de variáveis de reanálise SODA. Na Figura 4.4 são apresentadas as contribuições relativas (*loadings*) das variáveis SODA, em cada CP significativo (DAM 1; 2 e 3) (ver Tabela 3.16).

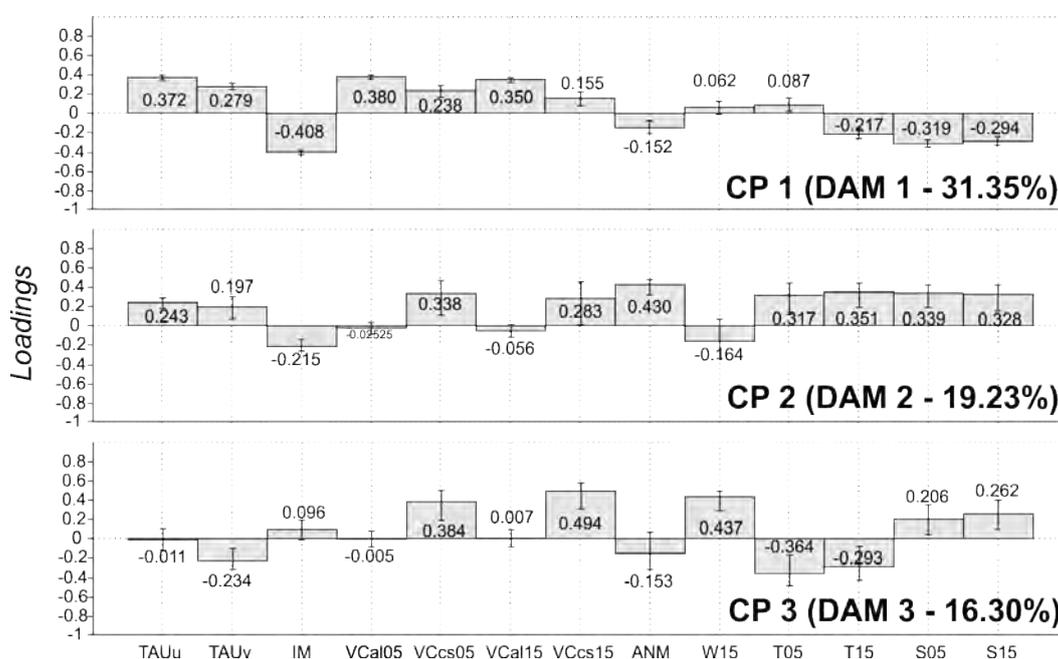


Figura 4.4 - Contribuições relativas (*loadings*) das variáveis de reanálise SODA nas Componentes Principais 1 a 3 (DAM 1 a 3). Acrônimos das variáveis apresentados na Tabela 3.2, página 67.

O DAM 1 (definido pelos escores na CP 1, Figura 4.4) se caracterizou por contribuições positivas das Velocidades de corrente (ambas as componentes, em ambas as profundidades), e pelos componentes de cisalhamento (TAU; ambas as componentes). As variáveis Transporte vertical (W15), e Temperatura Superficial (T05), apresentaram contribuições menores, dadas por *loadings* inferiores a 0.10. As principais contribuições negativas foram

proporcionadas pelo índice de Mistura (IM), seguido pelas salinidades (S05 e S15), temperaturas sub superficiais (T15) e Altura do Nível do Mar (NAM).

A relação negativa entre TAU e IM pode ser explicada pela direção predominante do vento na PCSB (de NE para SW) (WAINER; TASCETTO, 2006), que faz com que os valores das componentes zonal e meridional de TAU sejam predominantemente negativos (Tabela 4.5). Sendo função do cisalhamento resultante, o Índice de Mistura (IM) assume valores exclusivamente positivos. Sendo assim, uma intensificação do vento a E – NE seria representada por vetores de cisalhamento (TAU_u e TAU_v) negativos, gerando incremento em IM.

As médias, desvios e amplitude de valores das variáveis de velocidade da corrente, fornecidos na Tabela 4.6, indicam um predomínio de velocidades negativas para as correntes *alongshore*, e um relativo equilíbrio entre velocidades *cross-shore* positivas e negativas. A Figura 4.5 apresenta as distribuições espaciais dos escores (projeções das amostras no CP1) ao longo dos oito cruzeiros analisados. É possível se observar uma predominância de escores positivos nas porções internas da plataforma continental, o que representaria um aumento nas velocidades de corrente a *offshore*, acompanhado por uma redução nas velocidades *alongshore*. Esse padrão sugeriria, a princípio, um predomínio do transporte de Ekman, associado a ventos de direção Nordeste nas regiões dominadas por escores positivos. Todavia, a intensificação de ventos de Nordeste não é corroborada pelas contribuições positivas das variáveis de cisalhamento (TAU), que sugerem uma atenuação progressiva dos ventos em direção à costa (valores máximos de TAU próximos de zero, vide Tabela 4.6). Da mesma forma, as contribuições negativas do IM mostram uma intensificação dos ventos (inferidas pelo aumento em TAU) a *offshore*.

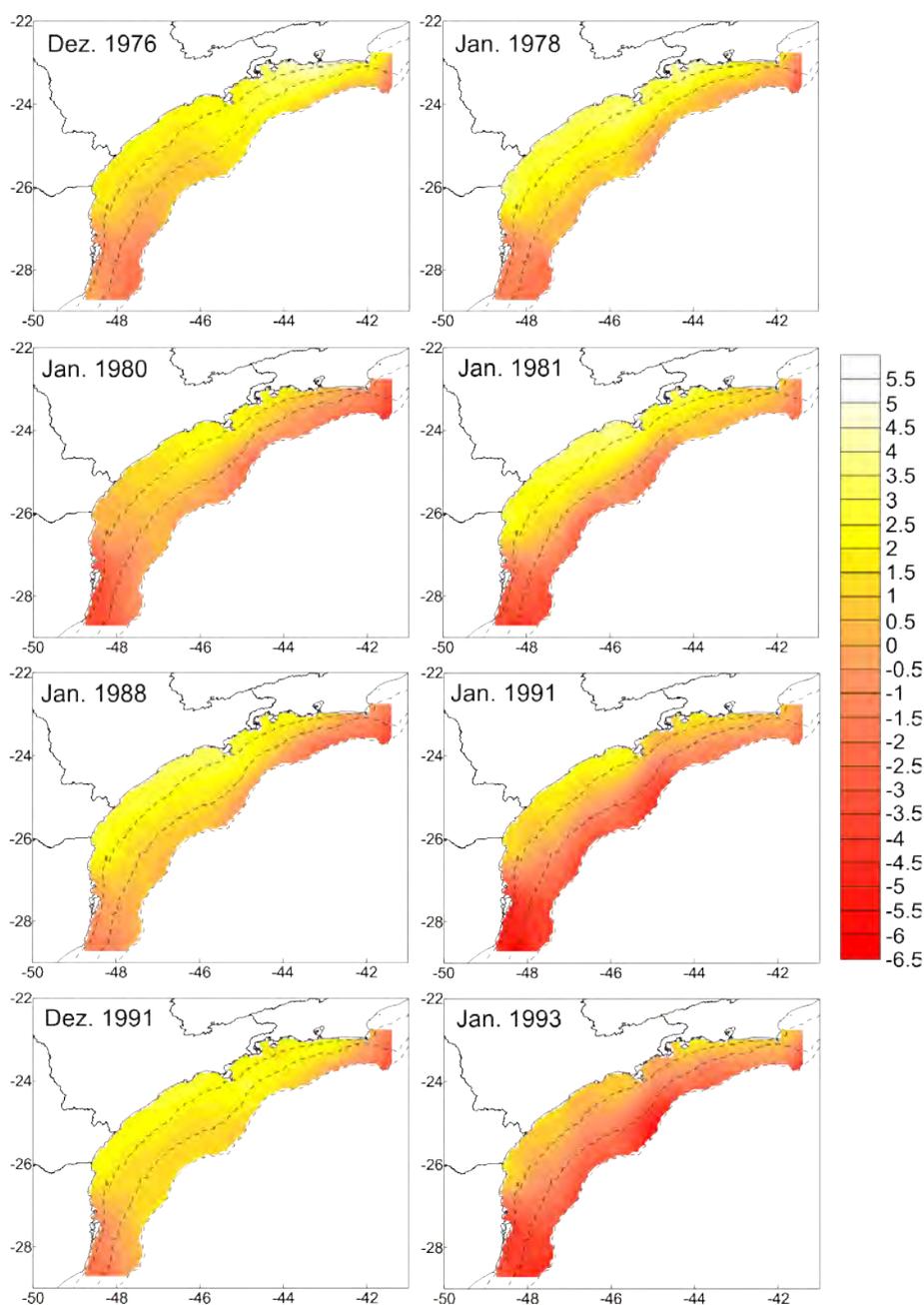


Figura 4.5 – Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 1. Isóbatas de 50 m; 100 m e 200 m representadas na figura.

De acordo com a Figura 4.5, os escores negativos são observados principalmente entre as isóbatas de 100 e 200m, indicando um transporte superficial com direcionamento *inshore* na porção externa da plataforma continental. Essa tendência poderia ser associada a influência do fluxo

superficial da CB, sobre a região de quebra da plataforma. As contribuições negativas das variáveis T15, S05 e S15 mostram um predomínio de altas temperaturas e salinidades, condizentes com as características da Água Tropical, transportada pela CB (CASTRO et al., 2006).

Tabela 4.6 - Medidas de tendência para as variáveis de Reanálise SODA submetidas à Análise de Componentes Principais. Lista de acrônimos fornecida na Tabela 3.2; página 67.

| Variável | Unidade | Média | DP | IC | Mínimo | Máximo |
|---------------------|---------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| T05 | °C | 25.27 | 0.93 | 0.07 | 21.66 | 27.34 |
| T15 | °C | 23.13 | 2.14 | 0.17 | 15.96 | 26.80 |
| S05 | p.s.u. | 35.51 | 0.57 | 0.04 | 33.90 | 36.91 |
| S15 | p.s.u. | 35.84 | 0.44 | 0.03 | 34.55 | 37.03 |
| ANM | m | 0.05 | 0.07 | 0.01 | -0.11 | 0.41 |
| VC _{cs} 05 | m.s ⁻¹ | -0.02 | 0.05 | 0.00 | -0.19 | 0.14 |
| VC _{cs} 15 | m.s ⁻¹ | 0.00 | 0.05 | 0.00 | -0.17 | 0.17 |
| VC _{al} 05 | m.s ⁻¹ | -0.10 | 0.10 | 0.01 | -0.51 | 0.06 |
| VC _{al} 15 | m.s ⁻¹ | -0.08 | 0.08 | 0.01 | -0.46 | 0.07 |
| TAUu | N.m ⁻² | -0.03 | 0.02 | 0.00 | -0.11 | 0.00 |
| TAUv | N.m ⁻² | -0.01 | 0.01 | 0.00 | -0.06 | 0.01 |
| W15 | m.dia ⁻¹ | 0.18 | 0.30 | 0.02 | -0.63 | 2.24 |
| IM | m ³ .s ⁻³ | 125.53 | 130.57 | 10.18 | 7.98 | 836.27 |

DP – Desvio padrão; IC - Intervalo de Confiança ($\alpha = 0.05$).

Considerando o exposto acima pode-se concluir que essa variável sintética sumariza as tendências de transporte superficial predominantes nas regiões interna e externa da plataforma continental. Valores positivos indicariam aumento no transporte a *offshore*, predominantes no domínio interno e médio

da PCSB, ao passo que valores negativos descreveriam um transporte superficial em direção a costa, associado a uma maior influência da CB.

O DAM 2 (escores na CP2) se caracterizou por contribuições positivas das variáveis Altura do Nível do Mar (ANM), Temperatura, Salinidade (ambas as profundidades), e velocidades *cross-shore* da corrente. As componentes TAU também apresentaram contribuições positivas nessa CP. A única contribuição negativa significativa foi fornecida pelo Índice de Mistura (IM). A contribuição positiva das temperaturas, salinidades e da Altura do nível do mar, em oposição ao aumento de IM, sugere uma relativa estabilidade térmica superficial, em conjunto a uma ausência de processos de divergência superficial (sugeridos pela forte contribuição de ANM). As distribuições espaciais dos escores desta componente (Figura 4.6) mostram que estas condições ocorrem com certa recorrência no setor Centro-Sul da PCSB, entre IlhaBela e Santa Marta (SC). Este cenário se contraporia a redução nas temperaturas e salinidades superficiais, observada no setor norte da PCSB, e de modo mais localizado na costa de Santa Catarina (Figura 4.6). Uma contribuição positiva das correntes *cross-shore* sugere uma predominância relativa de um transporte superficial a leste. Neste trabalho, o DAM 2 foi considerado como variável representativa de condições favoráveis (escores positivos) e desfavoráveis a estabilidade térmica superficial.

O DAM 3 (escores na CP 3) (Figura 4.7) recebeu contribuições positivas das componentes *cross-shore* de velocidade da corrente, do transporte vertical (W), e das salinidades em superfície e sub superfície. As principais contribuições negativas foram proporcionadas pelas Temperaturas superficiais e sub superficiais, e pela componente zonal da Tensão de Cisalhamento (TAU_v). O gradiente representado ajusta-se ao mecanismo clássico de ressurgência, observado na costa sudeste brasileira (CASTRO et al., 2006). Os escores positivos representariam uma intensificação do vento (e cisalhamento) a NE, modulada pela intensidade da componente meridional, ocasionando um aumento do transporte vertical, e a redução nas temperaturas superficiais

(escores positivos). Escores negativos indicariam um enfraquecimento da componente meridional do cisalhamento, e um incremento nas temperaturas superficiais. Neste trabalho o DAM 3 representou condições favoráveis ou desfavoráveis a ressurgência costeira.

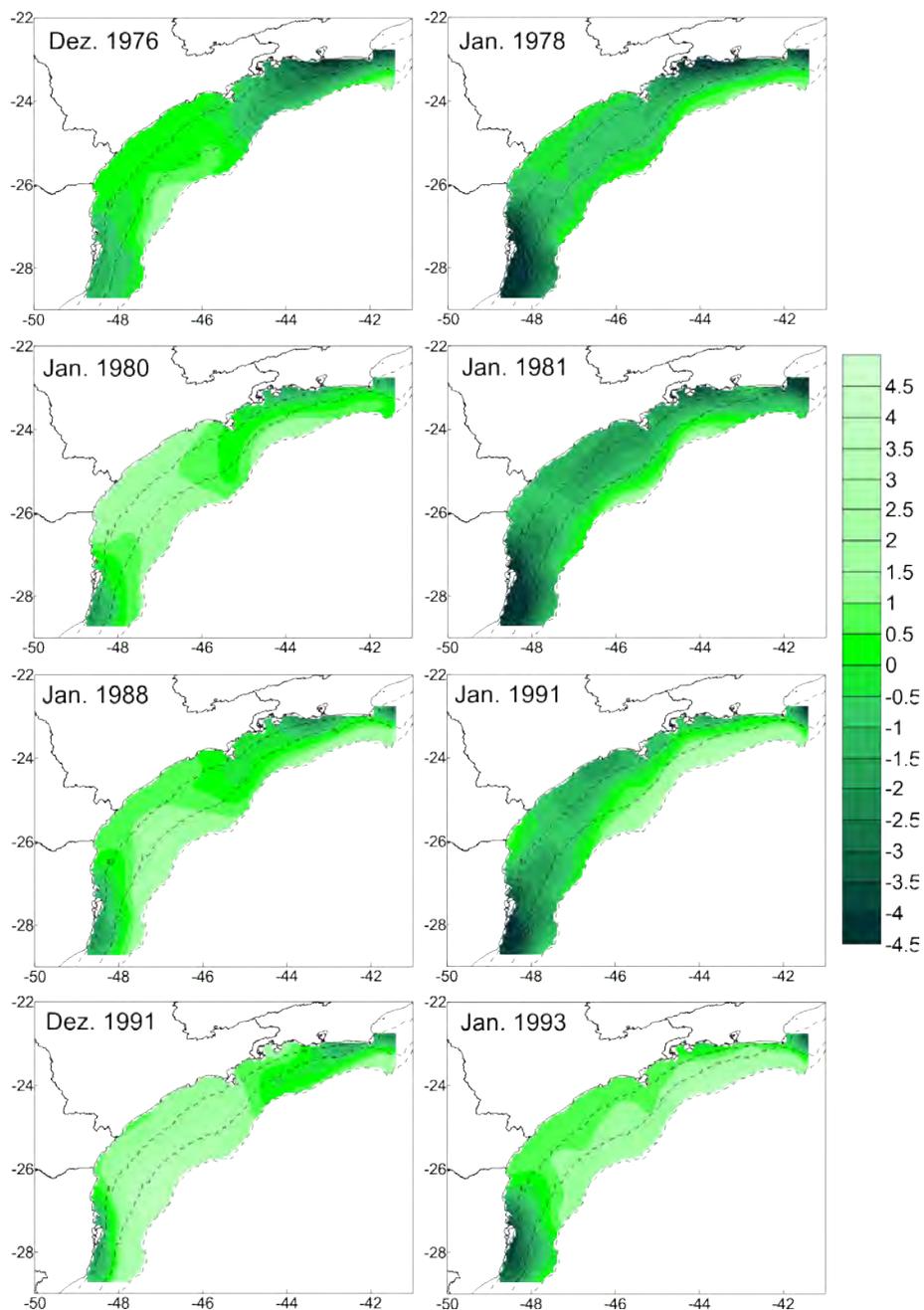


Figura 4.6 - Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 2.

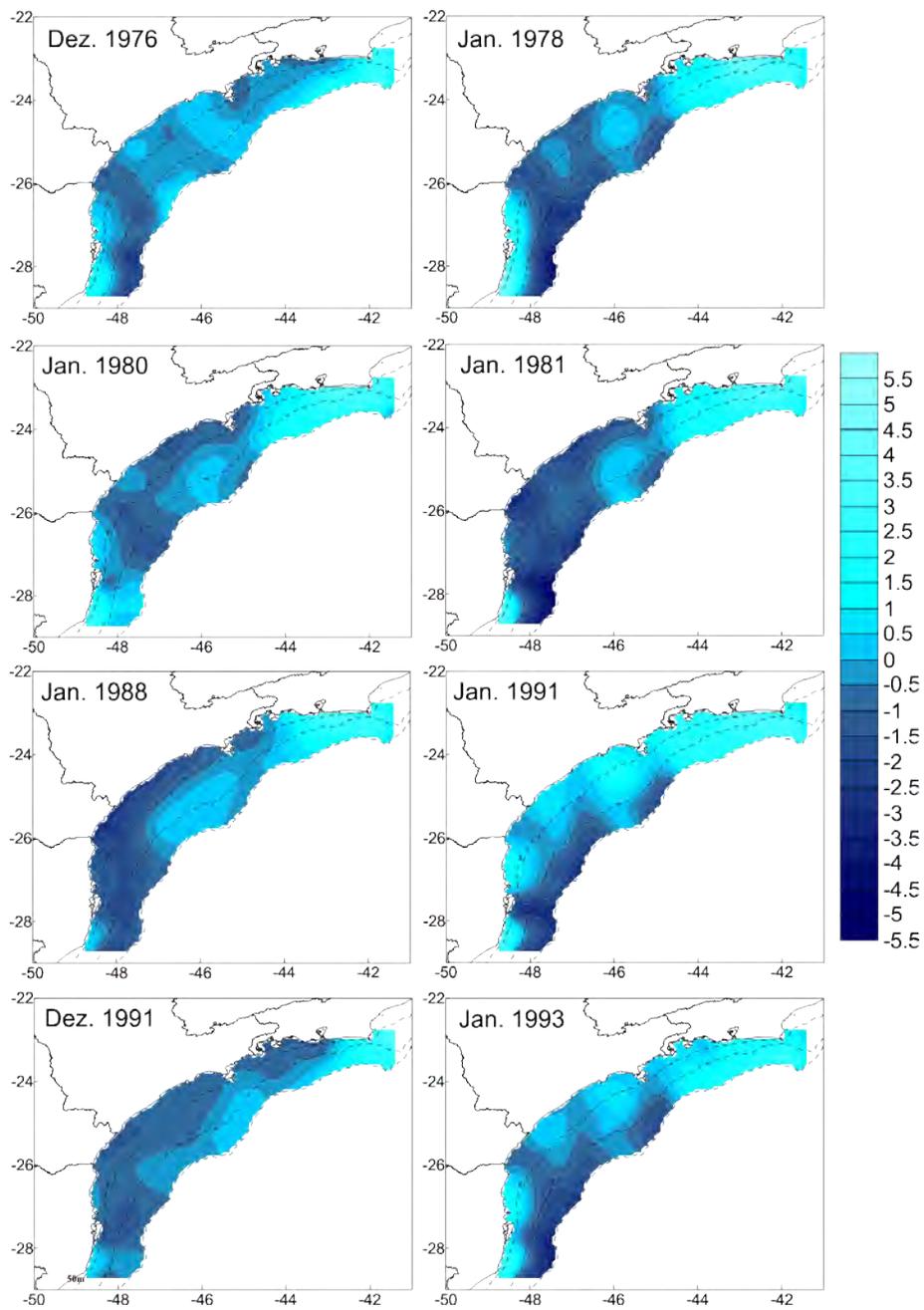


Figura 4.7 - Representação espacial do Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 3.

4.3. Variações temporais na estrutura espacial

4.3.1. Estágios embrionários e larvais

Para ambos os estágios ictioplanctônicos, não foram detectadas variações temporais significativas nas estruturas espaciais ($p > 0.10$) (Tabela 4.7). As distribuições de ovos não apresentaram estruturação espacial significativa ($p = 0.209$). Todavia, a variação temporal das densidades, em cada área de amostragem (quadrantes de 0.5° no caso), apresenta estrutura altamente significativa ($p \leq 0.01$). No caso das densidades de larvas, as estruturas espaciais e temporais apresentam-se altamente significativas ($p \leq 0.01$).

Estes resultados mostram que a estrutura espacial das densidades de larvas de sardinha verdadeira se manteve relativamente estável ao longo do tempo, com variações temporais ocorrendo de modo relativamente homogêneo ao longo das áreas de amostragem. A ausência de estrutura espacial para as distribuições de ovos pode estar relacionada à degradação na resolução espacial, imposta pelo desenho amostral empregado neste teste, bem como à limitação da região geográfica de referência. Vale lembrar que a distribuição espacial dos ovos de sardinha estrutura-se principalmente nas escalas Médias e Locais, e que as escalas Locais não são representadas no conjunto de AEsp empregados neste experimento (ver Tabela 3.11). As estruturas temporais significativas ($p < 0.02$) (Tabela 4.6), por outro lado, indicam uma alternância entre cenários distintos com diferentes intensidades de desova e recrutamento larvar.

Tabela 4.7 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de ovos e larvas de *S. brasiliensis*.

| | Espaço | | | Tempo | | | Interação | | |
|--------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| | R ² | F | p | R ² | F | p | R ² | F | p |
| Ovos | 0.141 | 1.225 | 0.209 | 0.060 | 2.607 | 0.017 | 0.214 | 0.956 | 0.561 |
| Larvas | 0.241 | 2.892 | ** | 0.130 | 7.804 | ** | 0.207 | 1.277 | 0.103 |

Graus de liberdade (g.l.) residual (empregado nos testes das interações espaço-tempo = 177); g.l. (espaço) = 35; g.l. (tempo) = 7; ** p < 0.01.

4.3.2. Variáveis termohalinas

A estrutura espacial das temperaturas nas camadas de superfície variou significativamente no tempo ($R^2 = 0.139$; $p \leq 0.01$; Tabela 4.8). Este comportamento não foi observado nas camadas de sub superfície ($R^2 = 0.108$; $p = 0.056$). Não obstante, a estrutura espacial mostrou-se significativa em ambos os intervalos de profundidade, sendo mais evidente nas camadas superficiais ($R^2 = 0.599$). As variações temporais das temperaturas em cada quadrante também apresentaram estruturas significativas ($p \leq 0.01$).

Interações não significativas ($p > 0.500$) mostram que as distribuições espaciais da salinidade mantiveram uma estrutura mais estável ao longo do tempo, e que a variação temporal ocorreu de modo relativamente homogêneo no espaço ($R^2 < 0.100$). Os resultados para o fator Tempo apontam para uma variação temporal significativamente estruturada ($R^2 > 0.330$; $p < 0.01$).

Tabela 4.8 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de temperaturas (T) e salinidades (S) *in situ*.

| | Espaço | | | Tempo | | | Interação | | |
|--------|----------------|--------|----|----------------|--------|----|----------------|-------|-------|
| | R ² | F | p | R ² | F | p | R ² | F | p |
| T sup | 0.599 | 5.790 | ** | 0.443 | 2.189 | ** | 0.139 | 2.215 | ** |
| T ssup | 0.165 | 20.313 | ** | 0.522 | 12.868 | ** | 0.108 | 1.364 | 0.056 |
| S sup | 0.249 | 25.170 | ** | 0.405 | 8.183 | ** | 0.095 | 0.989 | 0.512 |
| S ssup | 0.371 | 8.035 | ** | 0.333 | 36.057 | ** | 0.063 | 0.697 | 0.957 |

sup - camadas superficial; ssup - camada sub superficial.

Graus de liberdade (g.l.) residual (interações espaço-tempo = 177); g.l. (espaço) = 35; g.l. (tempo) = 7; ** p < 0.01.

4.3.3. Descritores Ambientais Multivariados (DAM) derivados das variáveis de Reanálise SODA.

Os gradientes representados pelos três Descritores Ambientais Multivariados apresentaram estruturação espacial altamente significativa ($p < 0.01$) (Tabela 4.8). Os gradientes ambientais relacionados a circulação superficial (DAM 1), e a ressurgência (DAM 3) apresentaram variabilidade espaço-temporal significativa ($p < 0.01$) ao longo dos cruzeiros analisados. Não obstante, o comportamento destas variáveis não apresenta uma estrutura temporal bem definida ($p > 0.722$).

O gradiente relacionado à estabilidade térmica superficial (DAM 2), apresentou uma estrutura espacial mais estável no tempo (Tabela 4.9), com variações temporais ocorrendo de modo espacialmente uniforme ao longo dos cruzeiros de amostragem. A estrutura espacial estável no tempo, e as variações temporalmente estruturadas compõem um padrão similar ao observado para os dados *in situ* (seção anterior).

Tabela 4.9 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais dos Descritores Ambientais Multivariados (DAM).

| | Espaço | | | Tempo | | | Interação | | |
|-------|----------------|--------|----|----------------|--------|-------|----------------|-------|-------|
| | R ² | F | p | R ² | F | p | R ² | F | p |
| DAM 1 | 0.632 | 12.779 | ** | 0.226 | 0.715 | 0.965 | 0.060 | 1.817 | ** |
| DAM 2 | 0.253 | 8.003 | ** | 0.512 | 80.850 | ** | 0.075 | 1.221 | 0.151 |
| DAM 3 | 0.837 | 13.994 | ** | 0.179 | 0.891 | 0.722 | 0.125 | 3.087 | ** |

g.l. residual (empregados nos testes das interações espaço-tempo) = 177. Para interações espaço-tempo significativas ($p < 0.05$): g.l. (tempo) = 144; g.l. (espaço) = 136. Para interações não significativas: g.l. residual (interações espaço-tempo) = 177; g.l. (espaço) = 35; g.l. (tempo) = 7; ** $p < 0.01$.

4.4. Análise das relações de dependência espacial com o ambiente físico em múltiplas escalas.

4.4.1. Codependência com a estrutura termohalina de superfície

As relações de codependência espacial entre as distribuições de ovos, larvas, e temperaturas são representadas graficamente nas Figuras 4.8 e 4.9. Os coeficientes de codependência (C_{xyW}) significativos, estatísticas τ , e valores de p obtidos a partir dos testes de permutação, são apresentados nas Tabelas A.2.2 a A.2.10 do Apêndice A.2.

Observa-se que a maioria dos coeficientes de codependência (C_{xyW}) significativos (representados nas figuras por símbolos cheios em vermelho) foram positivos para os dados de temperatura, concentrando-se recorrentemente nas classes de escalas Macro (Mc) e Médias (Md) (delimitadas nas figuras por barras tracejadas verticais). Esse padrão mostra que, de um modo geral, os principais habitats de desova e berçário da sardinha verdadeira se caracterizam por temperaturas superficiais mais altas, e que a relação de dependência espacial com a temperatura manifesta-se em escalas superiores a 50 km. As relações significativas se mostram igualmente positivas para dados das camadas superficiais (coeficientes representados por círculos),

e sub superficiais (coeficientes representados por triângulos), conforme observado no verão de 1976/1977, em janeiro de 1981, e em dezembro de 1991 (Figuras 4.8 e 4.9).

As relações com a temperatura nas escala Macro se mostram bem menos evidentes para as distribuições de ovos (Figura 4.8), sendo significativas apenas no verão de 1976/1977, e em janeiro de 1981. As distribuições de larvas, por outro lado, mostram relações de codependência significativas nesta classe de escala, em praticamente todos os cruzeiros, à exceção de Janeiro de 1991 (Figura 4.9).

Nas escalas Médias, as codependências mostram-se significativas, para as distribuições de ovos, em dezembro de 1976, janeiro de 1978, janeiro de 1981, e nos três últimos cruzeiros. Para as distribuições de larvas, as relações significativas nestas escalas são observadas entre 1976 e 1978, em janeiro de 1980, em janeiro de 1988, e em dezembro de 1991 (Figura 4.9). A influência das temperaturas superficiais, na maior parte dos casos analisados, manteve-se limitada às classes de escala supracitadas. Não obstante, os resultados incluem algumas relações positivas com a temperatura superficial nas escalas Locais (< 50 km), observadas para a distribuição de ovos em dezembro de 1976 (Figura 4.8).

As relações com a temperatura foram negativas apenas nas camadas sub superficiais (10 a 20 m), ocorrendo nas escalas Médias, em dezembro de 1976, janeiro de 1978 (larvas e ovos; Figuras 4.8 e 4.9), e em janeiro de 1981 (ovos; Figura 4.8). Nas escalas Macro foi observada apenas em janeiro de 1993, para as larvas (Figura 4.9). Embora restritos a quatro dos nove cruzeiros, estes casos mostram a ocorrência de maiores densidades de ovos e larvas associadas à presença de termoclinas mais rasas. Não obstante, em janeiro de 1981, a relação entre as distribuições de ovos e temperaturas sub superficiais também se mostra positiva nas escalas Médias (Figura 4.8).

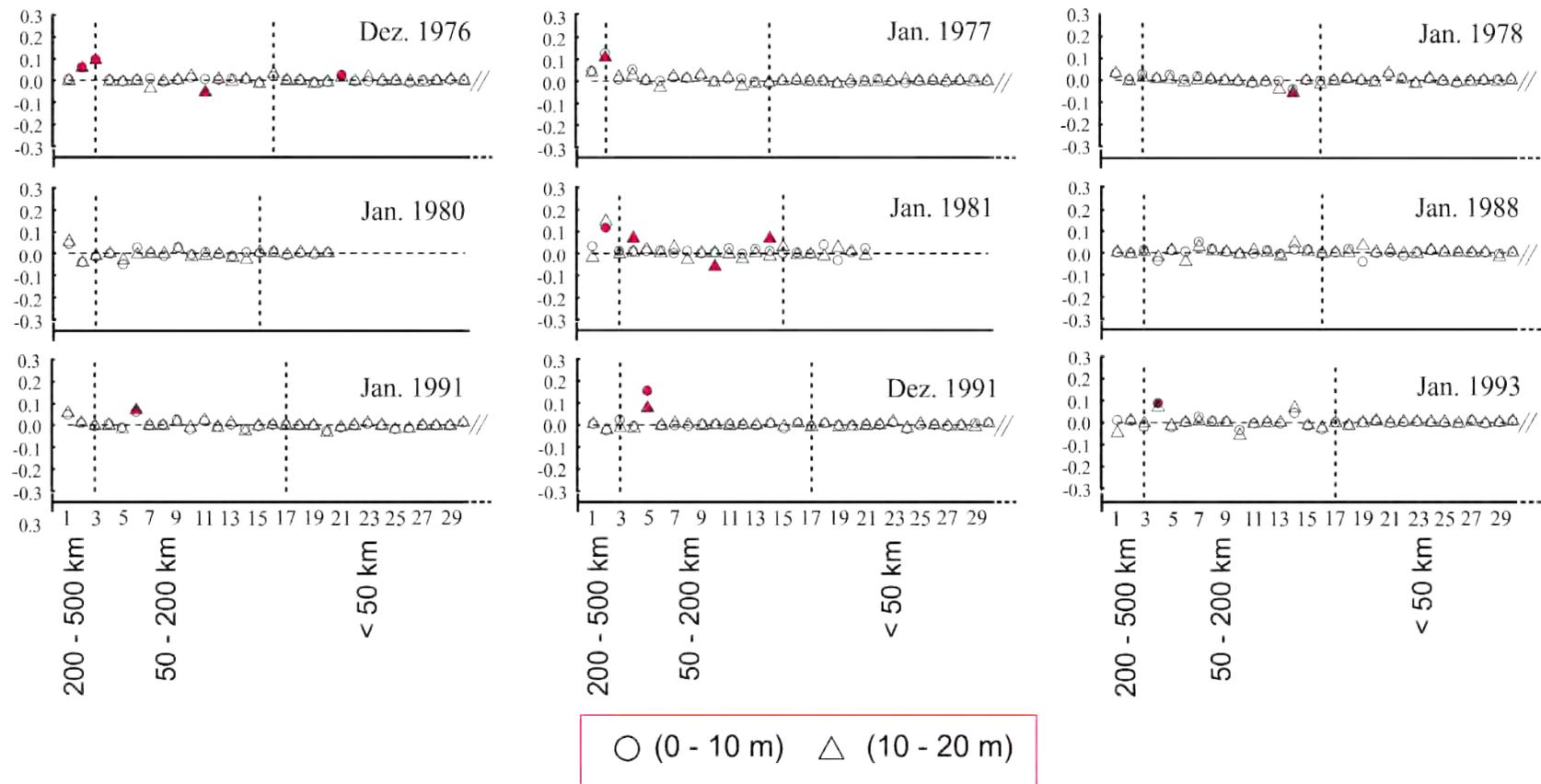


Figura 4.8 - Coeficientes de Codependência (C_{xyW_i} , representados no eixo y) relacionando densidades de ovos às temperaturas superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) *in situ*.

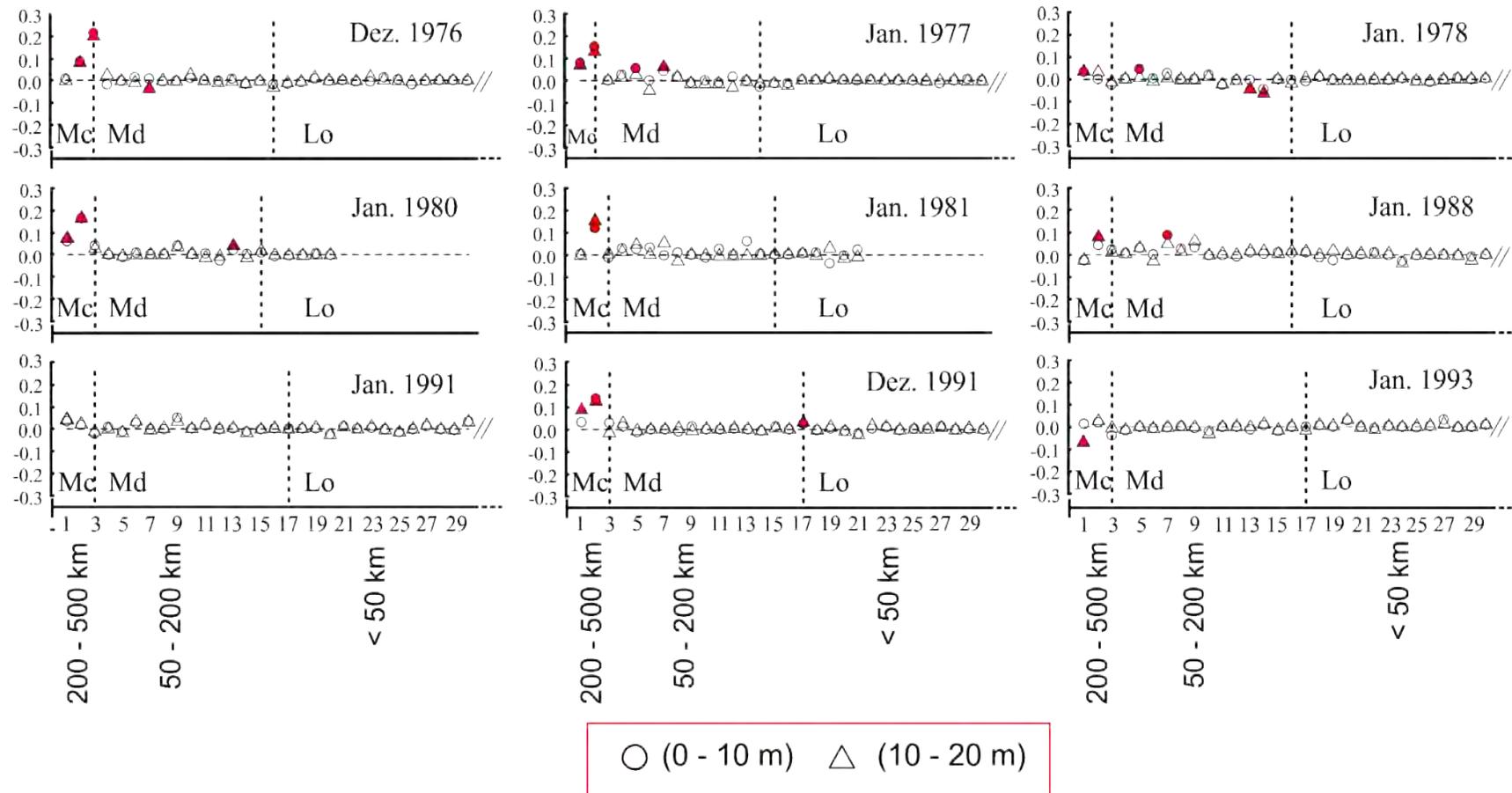


Figura 4.9 - Coeficientes de Codependência (C_{xyw_i} ; representados no eixo y) relacionando as densidades de larvas às temperaturas superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) *in situ*.

Em janeiro de 1980, e em janeiro de 1988, não foram observadas relações de codependência espacial significativas entre as distribuições de ovos e as temperaturas (Figura 4.8). O mesmo ocorreu para as distribuições de larvas, no cruzeiro de janeiro de 1991 (Figura 4.9).

A relação com a distribuição da Salinidade mostra um caráter predominantemente negativo (Figuras 4.10 e 4.11), associando a distribuição das maiores densidades de ovos e larvas à presença de menores salinidades, em ambas as camadas de profundidade. Essa relação negativa também se manifestou predominantemente nas escalas Médias para as distribuições de ovos, e nas escalas Macro e Médias para as distribuições de larvas. A despeito da tendência negativa, alguns coeficientes positivos se mostraram significativos nas escalas Macro, para a distribuição de larvas (janeiro de 1978) (Figura 4.11), e nas escalas Médias, para a distribuição de ovos (janeiro de 1991; Figura 4.10) e larvas (dezembro de 1991; Figura 4.11). É interessante notar que a associação negativa persiste em situações de contração extrema dos habitats de desova e berçário, conforme observado nos cruzeiros de janeiro de 1980 e janeiro de 1988 (distribuições de ovos e larvas podem ser visualizadas nas Figuras 4.1 e 4.2).

Em alguns casos, como nos cruzeiros de janeiro de 1981, e em janeiro de 1993, as relações entre a salinidade e os padrões de distribuição de larvas podem apresentar comportamento positivo e negativo, em uma mesma classe de escalas (no caso, as escalas Médias; vide Figura 4.11). Nenhum coeficiente foi significativo nas análises das distribuições de larvas dos cruzeiros de janeiro de 1980, e janeiro de 1991. Nas escalas Locais, as relações significativas se restringem ao cruzeiro de janeiro de 1991 (coeficiente omitido na Figura 4.10 por questões de espaço), e mostram associações positivas entre as distribuições de ovos, salinidades superficiais, e sub superficiais.

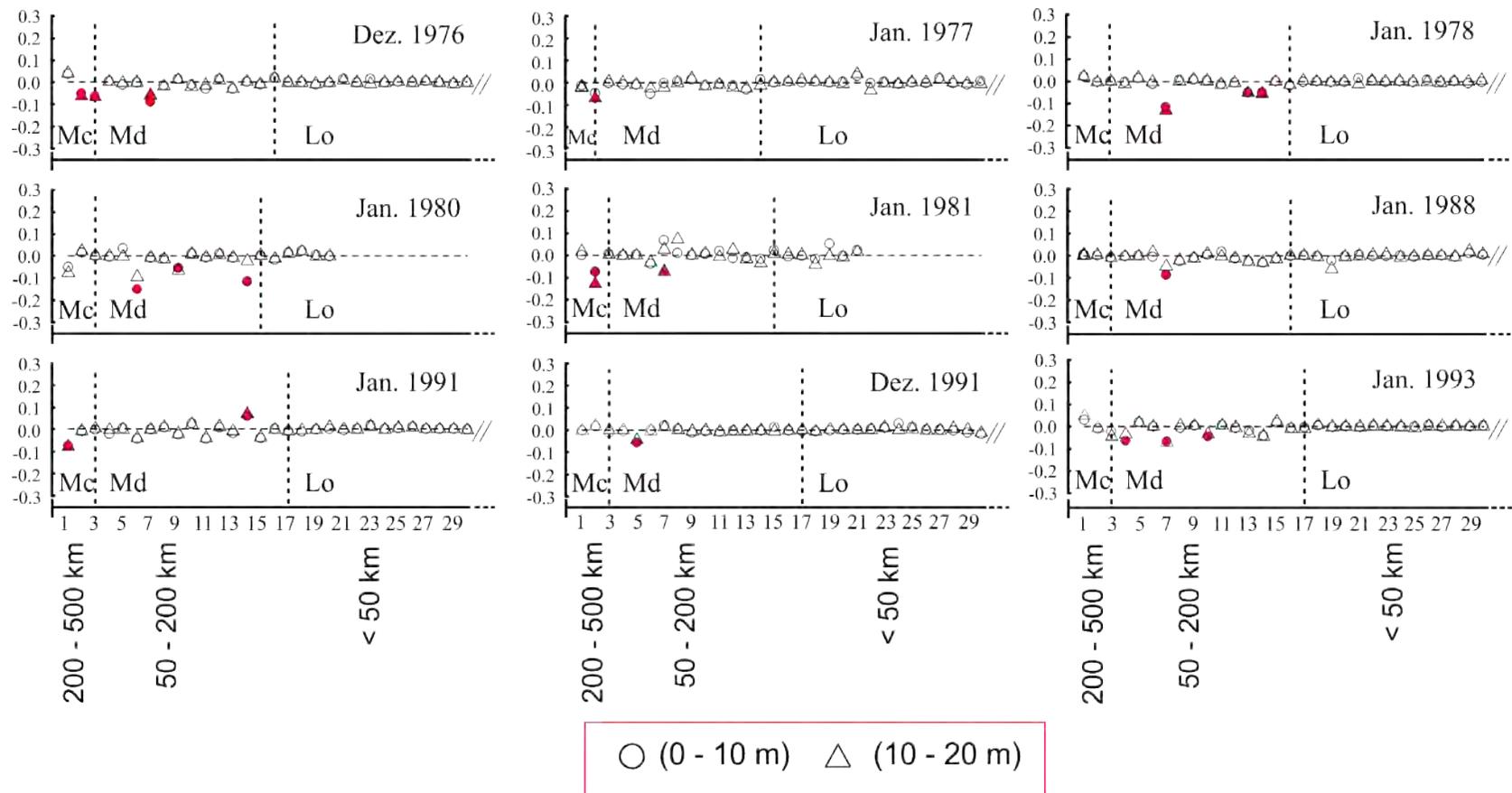


Figura 4.10 - Coeficientes de Codependência (CxyW; representados no eixo y) relacionando densidades de ovos (painel esquerdo) às salinidades superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) *in situ*.

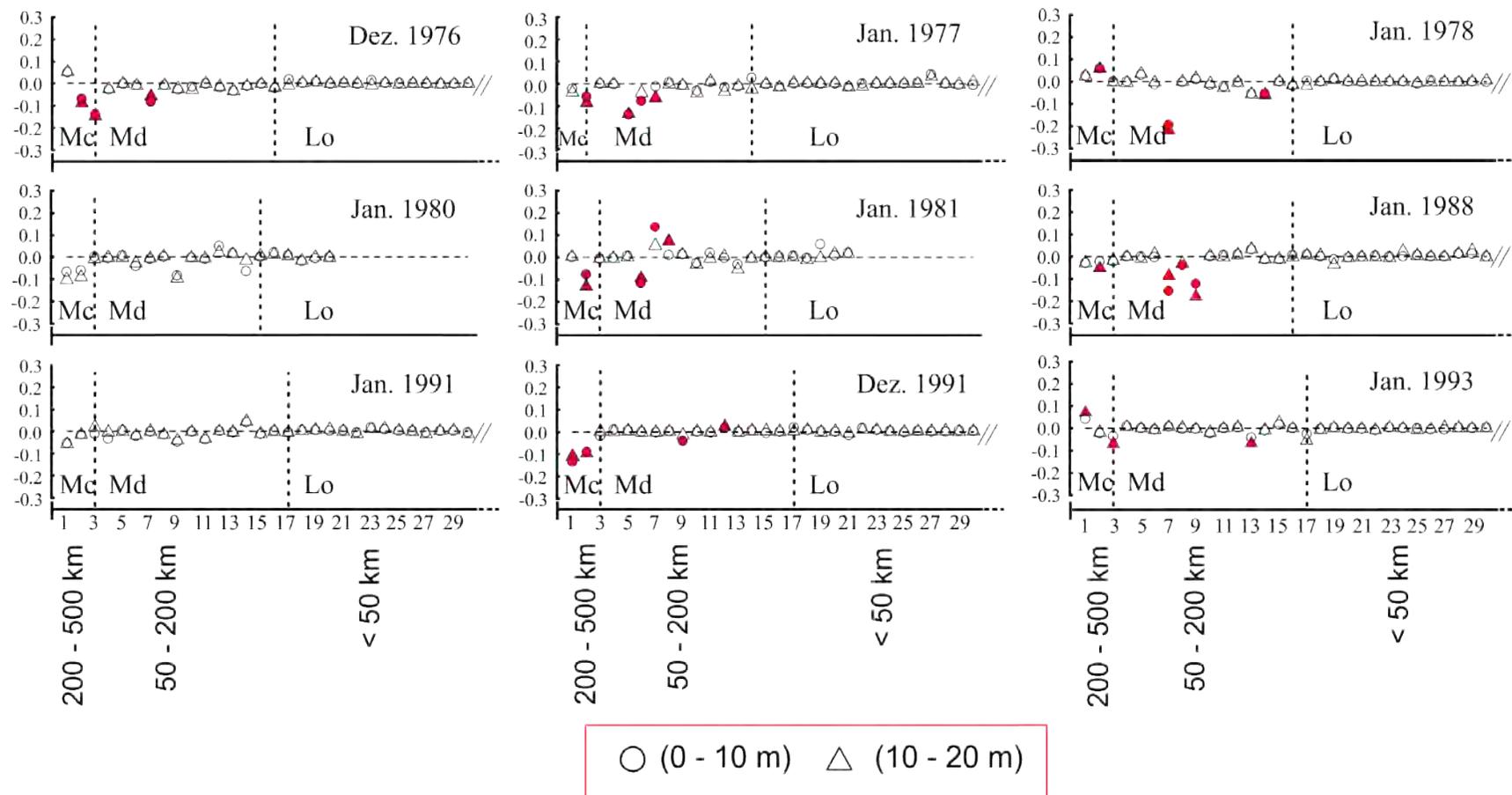


Figura 4.11 - Coeficientes de Codependência (C_{xyW} ; representados no eixo y) relacionando densidades de ovos (painel esquerdo) às salinidades superficiais (círculos) e sub superficiais (triângulos) *in situ*.

4.4.2. Codependência com Descritores Ambientais Multivariados (variáveis de Reanálise SODA)

As relações significativas entre as distribuições de ovos e a variável sintética DAM 1 restringiram-se às escalas Médias, nos cruzeiros de janeiro de 1978, janeiro de 1981, e janeiro de 1993, apresentando sinais positivos nos dois primeiros cruzeiros, e negativos no último. Para as distribuições de larvas, estas relações foram de natureza negativa nas escalas Macro e Medias em dezembro de 1976, assumindo caráter positivo nas escalas Médias, em janeiro de 1981, e em janeiro de 1988 (Figura 4.12). Conforme visto na Seção 4.2, o DAM 1 representa um gradiente associado a circulação superficial, respondendo por cerca de 32% da variância dos dados SODA (vide Figura 4.4, página 119). Nos cruzeiros de janeiro de 1978, janeiro de 1981 e janeiro de 1988, a organização espacial dos habitats de desova e berçário nas escalas Médias (50 a 200 km) pode ser associada a uma circulação superficial com direcionamento predominante a Leste (escores positivos), bem como a uma atenuação do processo de mistura causada por ventos de NE. Vale lembrar que a variabilidade espacial em escalas médias foi uma característica marcante nestes cruzeiros (ver Seções 4.1.1 e 4.1.2) e que, em 1978 e 1988, as distribuições espaciais de ovos e larvas mantiveram-se muito próximas à costa (vide Figuras 4.1 e 4.2, páginas 108 e 113). Por outro lado, os coeficientes negativos, observados em dezembro de 1976 (larvas), e em janeiro de 1993 (ovos), sugerem uma prevalência de transporte superficial com direção a Sudoeste, nas escalas Macro e Medias. Ambos os cruzeiros se caracterizaram por uma expansão na distribuição de larvas e ovos de sardinha, cenário oposto ao observado nos cruzeiros de janeiro de 1978 e janeiro de 1988.

As relações entre as distribuições de ovos e o DAM 2 (foram significativas nos cruzeiros de dezembro de 1976 (escalas Macro e Médias), dezembro de 1991 (escala Macro), e janeiro de 1993 (escalas Macro e Médias), assumindo sinal positivo nos dois primeiros cruzeiros, e negativo no último. (Figura 4.13, painel esquerdo). Para as distribuições de larvas, as relações de codependência

foram positivas nas escalas Macro, em dezembro de 1976, e em dezembro de 1991. Nas escalas Médias, as relações apresentaram sinais negativos, de janeiro de 1988 a dezembro de 1991. O DAM 2 (19.23% da variância dos dados SODA; vide Figura 4.4, página 119) foi interpretado como um gradiente relacionado a estabilidade superficial, contrapondo valores altos de temperatura, salinidade e altura do nível do mar (escores positivos), a uma intensificação do processo de mistura pelo vento (escores negativos), e reduções nas temperaturas e salinidades. Observa-se, portanto, que as distribuições de ovos e larvas nas escalas Macro, em dezembro de 1976 e dezembro de 1991, são positivamente associadas à cenários de estabilidade térmica relativa e convergência superficial.

Entre 1988 e 1991, a distribuição de larvas nas escalas Médias é associada a uma possível intensificação do processo de mistura pelo vento (*loadings* negativos de IM, vide Figura 4.4, página 119), e a uma redução nas temperaturas e salinidades superficiais. Em janeiro de 1993 essa relação negativa com a estabilidade superficial é observada para as distribuições de ovos, nas escalas Macro e Média.

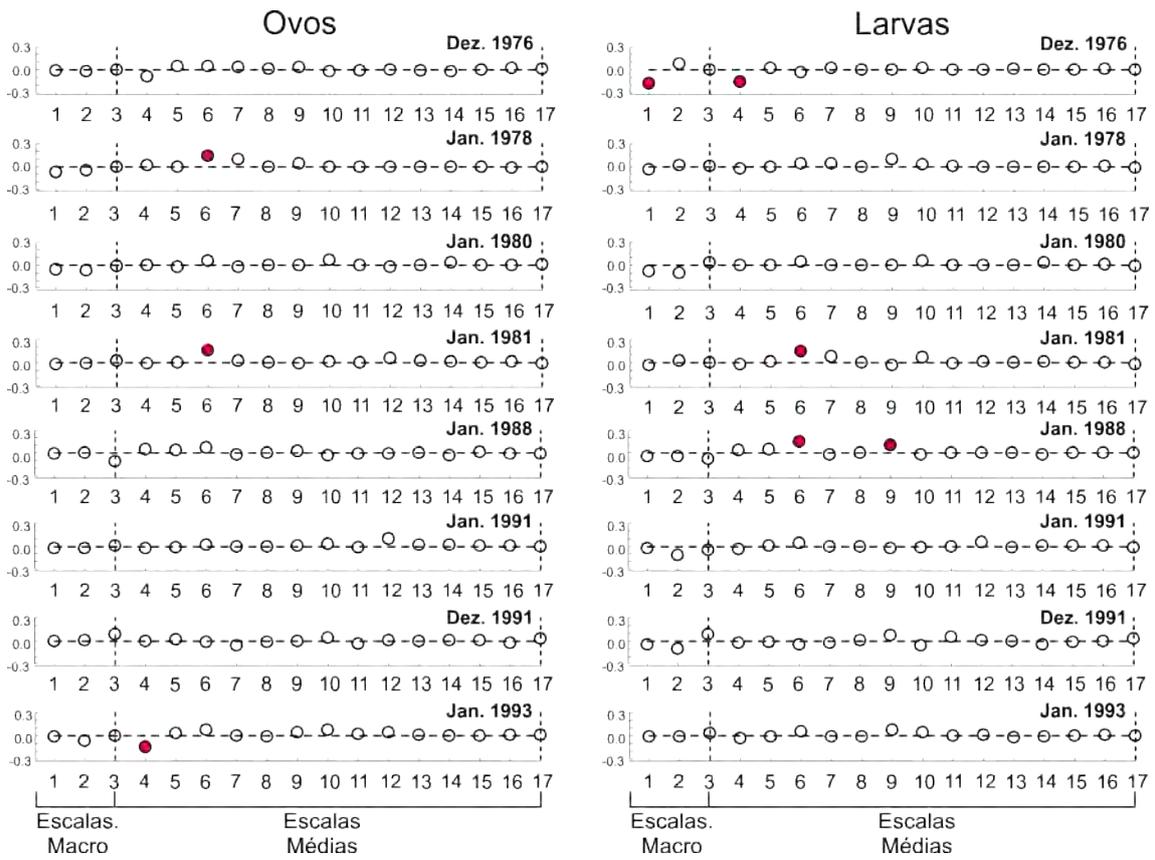


Figura 4.12 - Coeficiente de codependência C_{xyW} (eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 1.

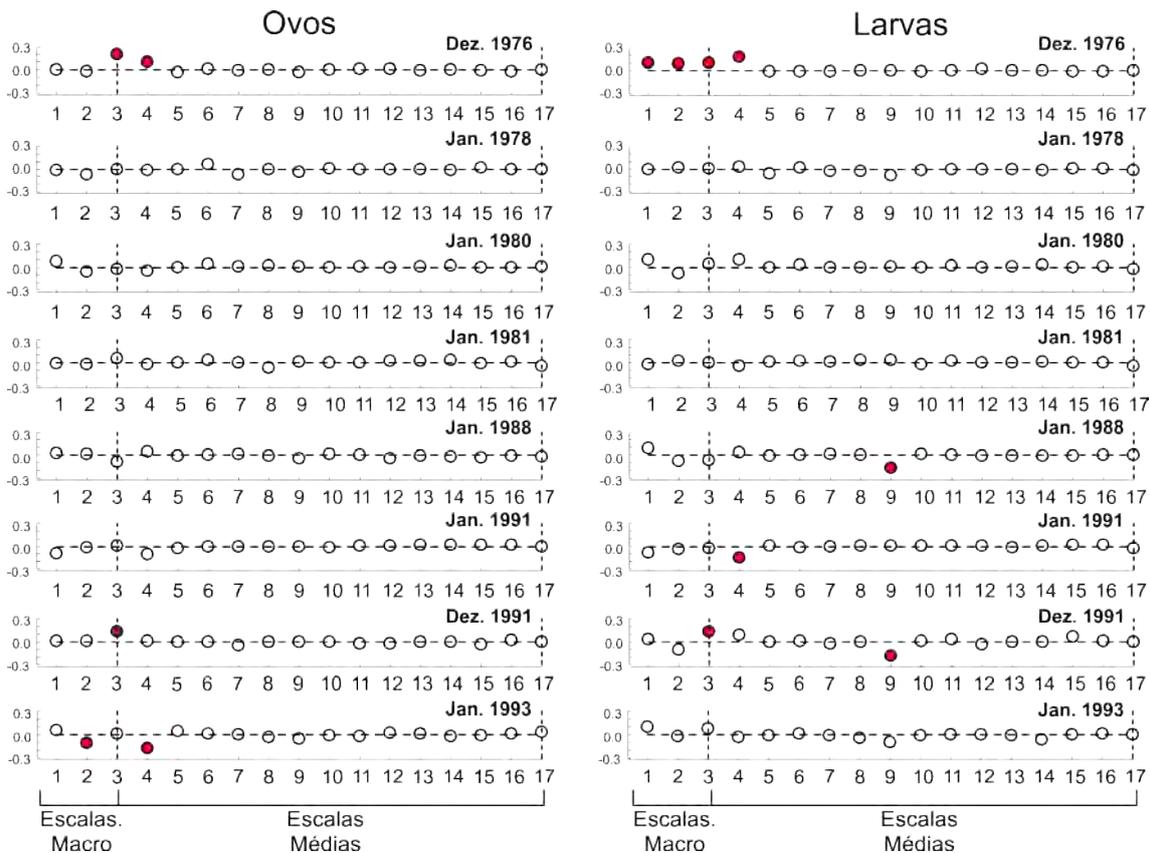


Figura 4.13 - Coeficiente de codependência C_{xyW} (eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao DAM 2.

As relações de codependência com o DAM 3 (16.30% da variância dos dados SODA) foram exclusivamente negativas (Figura 4.14), apontando para uma associação negativa com processos relacionados a ressurgência costeira. As distribuições de ovos aparecem significativamente correlacionadas a este gradiente nas escalas Macro, em dezembro de 1976, e nas escalas Médias, em janeiro de 1993. Para as distribuições de larvas, as relações significativas são observadas nas escalas Macro em janeiro de 1991, e em janeiro de 1993; e nas escalas Médias, em janeiro de 1980, janeiro de 1981, janeiro de 1991 e janeiro de 1993. Estes resultados enfatizam associações positivas com as temperaturas superficiais, e negativas com as salinidades superficiais, repetindo o padrão observado nas análises utilizando dados *in situ*. As relações

com o transporte vertical (W_{15}) também se mostram exclusivamente negativas. Nesta análise, as relações com as componentes *cross-shore* de velocidade da corrente (VC_{cs05} e VC_{cs15}) são negativas, contrariando a tendência positiva prevalente até então.

Os resultados numéricos destas análises, incluindo os coeficientes de codependência significativos, as escalas de correlação, e estatísticas de teste, são apresentados nas Tabelas A.2.11 a A.2.18 do Apêndice A.2.

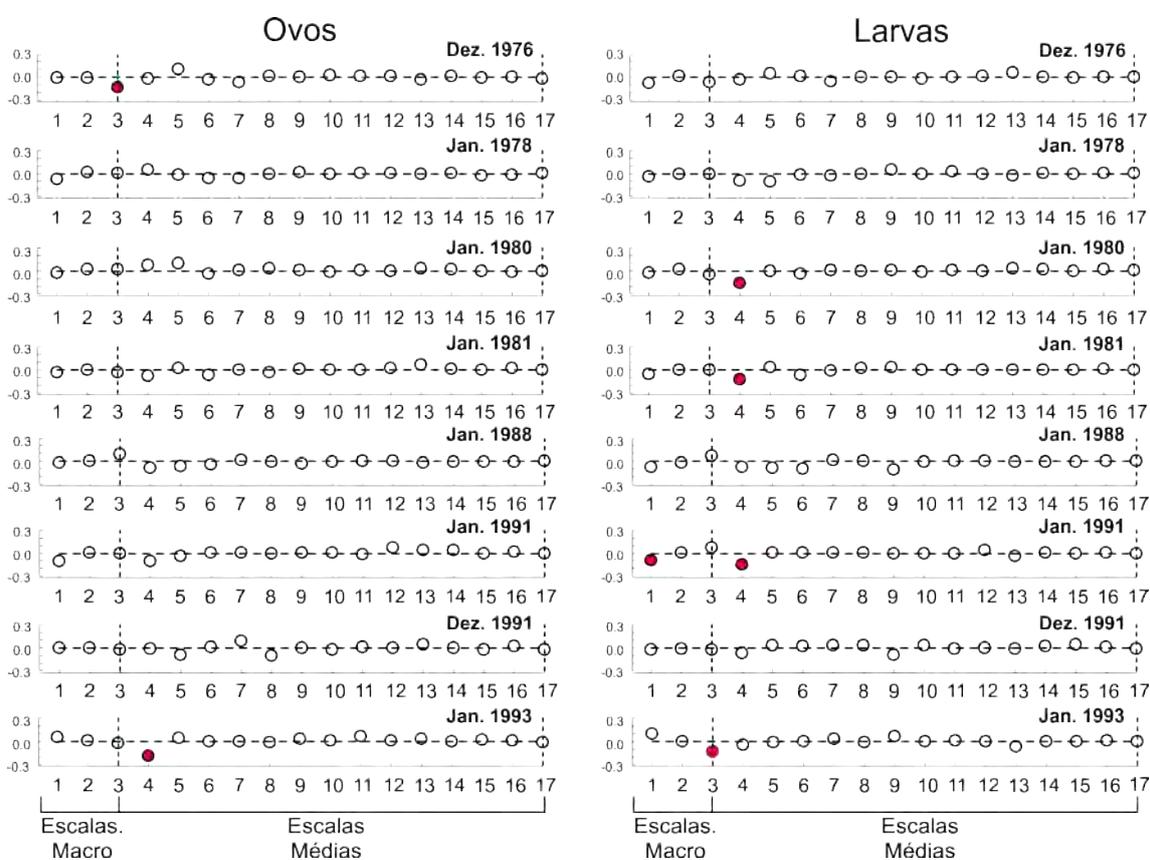


Figura 4.14 - Coeficientes de codependência (C_{xyW} - eixo y) relacionando as distribuições de ovos (painel esquerdo) e larvas (painel direito) ao DAM 3.

4.5. Discussão

4.5.1. Estrutura espacial nos estágios planctônicos

Os resultados da decomposição em escalas mostram que a distribuição espacial das densidades de ovos de *S. brasiliensis* estrutura-se predominantemente em escalas Médias e Locais (até 200 km) (vide Figura 4.1). Não obstante, a variabilidade pode se expressar nas escalas Macro (> 200 km), conforme observado no verão de 1976/1977, e em Janeiro de 1993. Nestes cruzeiros, os percentuais de variância explicada atingem valores entre 28.7% e 34.0%, indicando um aumento na estruturação espacial.

A organização espacial em escalas Macro coincide com os períodos de expansão de habitat propostos por Gigliotti et al. (2010). Segundo os autores, estas expansões ocorreriam durante aumentos na biomassa do estoque desovante e no recrutamento, ocorridos entre 1977 e 1978, e entre 1991 e 1994 (Figura 4.15). Esta hipótese considera a série de estimativas demográficas para o período entre 1977 e 1997, obtidas por Cergole et al. (2002), através de Análises de População Virtual. Os cruzeiros de Janeiro de 1980 e Janeiro de 1981 coincidem com uma tendência geral de queda na biomassa desovante, muito embora um aumento relativo no recrutamento seja observado a partir de 1981. Cabe lembrar que as densidades médias de ovos oscilam, de valores muito baixos no verão de 1980, para valores máximos no verão de 1981 (vide Tabela 4.2, página 110). Curiosamente a captura anual manteve comportamento estável entre 1976 e 1986 (~ 135 mil ton.), sofrendo redução substancial apenas em 1982 (96 mil ton.) (CERGOLE et al., 2002). Os cruzeiros de Janeiro de 1988 e Janeiro de 1991 representariam contrações extremas nos habitats reprodutivos, atribuídos a uma tendência de redução da biomassa desovante e do recrutamento, que perdurou de 1984 a 1989. Em ambos os cruzeiros, observa-se um deslocamento das áreas de desova a sul, reduções nos percentuais de estações positivas (< 15%), e nas densidades médias de ovos e larvas (vide Tabela 4.2; página 110) (MATSUURA, 1998;

GIGLIOTTI et al., 2010). Em janeiro de 1988, a organização espacial ocorre predominantemente em escalas Locais. No caso do cruzeiro de Janeiro de 1991, o método analítico empregado não pôde recuperar a estrutura espacial dos ovos. Os efeitos na pesca são retratados através de acentuado decréscimo nas capturas anuais, a partir de 1987, culminando no primeiro colapso da pesca da sardinha, registrado em 1990 (32 mil ton.).

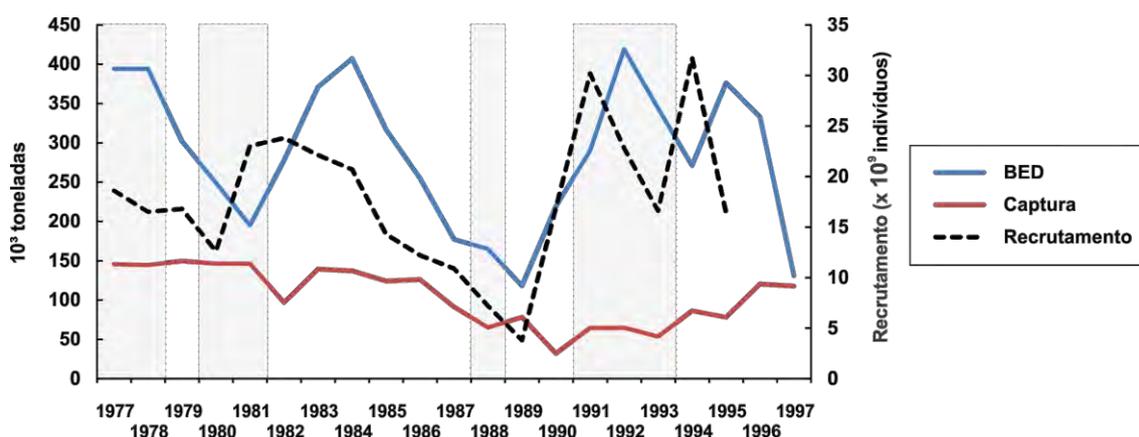


Figura 4.15 – Capturas anuais (em 10^3 ton), estimativas de Biomassa do Estoque Desovante (BED; em 10^3 ton) e Recrutamento (Rec; em 10^9 indivíduos) para *Sardinella brasiliensis*. As faixas cinza demarcam os períodos cobertos pelos cruzeiros de ictioplâncton. Fonte: Baseado nos dados de Cergole et al. (2002).

As variâncias residuais mantiveram-se altas para as distribuições de ovos, variando de 66% (Janeiro de 1977) a 83% (Janeiro de 1980) (vide Tabela 4.1, página 109). Em um âmbito geral, estes resultados sugerem uma estruturação espacial relativamente fraca para os habitats de desova da sardinha. Não obstante, a estrutura espacial apresenta ganhos substanciais durante episódios de expansão das áreas de desova (verões de 1977 e 1993) (GIGLIOTTI et al., 2010). De acordo com as estimativas da Figura 4.15, os cruzeiros de Janeiro de 1980, e Janeiro de 1981 transcorreram durante um período caracterizado por reduções drásticas no estoque desovante, tendência que perdurou de 1978 a 1981 (CERGOLE et al, 2002). As altas densidades médias de ovos e larvas

em janeiro de 1981 sugerem uma independência relativa entre a intensidade da desova, a biomassa desovante, e a extensão espacial dos habitats reprodutivos. O aumento súbito no recrutamento, registrado no mesmo ano, reforça a idéia de condições favoráveis à desova.

A variabilidade recorrente nas escalas Médias (50 a 200 km) reflete a presença de agregados de extensão mediana, delimitando “núcleos” de desova ao longo do eixo *alongshore* da PCSB. Segundo Matsuura (1998), a desova da sardinha distribui-se por setores distintos da PCSB, incluindo a costa do Rio de Janeiro (norte), entre Santos e Iguape (centro), e entre Paranaguá e Itajaí (sul). A importância relativa destes setores pode variar, conforme observado em cruzeiros de ictioplâncton realizados entre os verões de 1971 e 1975 (MATSUURA, 1977). Não obstante, as probabilidades de ocorrência apresentam-se maiores nos setores central e sul da PCSB (GIGLIOTTI et al., 2010), onde também são observadas as maiores densidades de ovos (MATSUURA, 1998). A extensão e o posicionamento geográfico dos principais centros de desova variam entre os cruzeiros, o que provavelmente se reflete nas diferentes contribuições relativas das escalas Médias e Locais. Essa variação se mostra mais frequente entre Ilha Bela e Paranaguá, o que explicaria os padrões em escala Macro da estrutura espacial, observáveis durante os períodos apontados como de expansão dos habitats de desova (1976/77 e 1993) (GIGLIOTTI et al., 2010). A distribuição espacial em manchas ou “núcleos” reprodutivos recorrentes, e a variação interanual no seu posicionamento e importância relativa, parecem constituir um padrão típico em sardinhas, observado em populações de *Sardinops sagax* da costa da África do Sul (VAN DER LINGEN; HUGGETT, 2003); e de *Sardina pilchardus* nas regiões costeiras da Península Ibérica (BERNAL et al., 2007), e da Baía de Biscaia (BELLIER et al., 2007).

As oscilações nas contribuições relativas em cada classe de escala espacial sugerem uma variação interanual na estrutura espacial dos habitats de desova. Todavia, os resultados dos testes ANOVA não mostram uma interação

significativa entre as estruturas espaciais e temporais, apontando também para uma ausência de estrutura espacial. Este resultado deve ser visto com cautela, uma vez que o desenho experimental exigiu um reescalonamento espacial dos dados a 0.5° , em virtude das diferenças entre as grades de amostragem, visando à inclusão do maior número possível de cruzeiros ao modelo. Os resultados da decomposição em escalas mostram que as variações nas escalas Locais, não representadas no conjunto de AEsp empregado no modelo ANOVA (A.C.I.; Tabela 3.11; página 98), respondem por uma parcela significativa da estrutura espacial dos ovos. Desta forma, as variações temporais na estrutura espacial dos ovos seriam avaliadas quase que exclusivamente através das variações nas contribuições em escalas médias. Por outro lado, a existência de uma estrutura temporal significativa pode ser associada a uma alternância de cenários, onde a desova ocorreria com intensidades distintas, não excluindo a hipótese da existência de regimes de expansão/contração, sugerida em Gigliotti et al. (2010), e reforçada pelos resultados da decomposição em escalas espaciais.

As larvas de sardinha verdadeira apresentam uma estrutura espacial significativa, com variações predominantes nas escalas Macro e Médias (vide Figura 4.2; página 113), corroborando a distribuição preferencial das principais áreas reprodutivas no setor centro sul da PCSB. A variação temporal na estrutura se expressa principalmente através das contribuições relativas nas escalas Macro e Médias. O padrão de evolução temporal da estrutura espacial é similar ao observado para os ovos, e sugere a expansão dos habitats berçário entre 1976 e 1978, seguida de uma contração, entre janeiro de 1980 e janeiro de 1991, e uma nova expansão, de 1991 a 1993. Estas contrações/expansões se caracterizariam pelo decréscimo/aumento na variabilidade, e na importância relativa das escalas Macro na estrutura espacial das larvas. O comportamento temporal se ajusta igualmente às oscilações no estoque adulto e no recrutamento, retratadas na Figura 4.17.

Os totais de variância explicada pelos modelos de regressão múltipla, dados pelos coeficientes ajustados de determinação (R_{aT}^2 ; vide Tabelas 4.1 e 4.3, páginas 109 e 114), mostram uma estruturação espacial mais evidente na fase larvar. Estas diferenças de desempenho dos modelos podem ser atribuídas a um desajuste entre as escalas de observação, e as escalas intrínsecas de agregação dos ovos de sardinha. Segundo Spach (1990), a desova da sardinha verdadeira produz agregados de ovos de formato esférico-elíptico, com dimensões variando entre 2.81 km e 9.52 km. Outros estudos, enfocando diferentes espécies e populações de sardinhas e anchovetas, mostram que as escalas de decorrelação para agregados de ovos raramente excedem 30 km (CURTIS, 2004; ZWOLINSKI et al., 2006; MAYNOU et al., 2008), valor inferior à máxima resolução espacial empregada nos cruzeiros (cerca de 37 km). Não obstante, a variabilidade em escalas Médias mostra-se recorrente na maioria dos cruzeiros, permitindo a identificação de áreas preferenciais (“núcleos”) de desova, e de processos ecológicos relevantes, como contrações e expansões de habitat.

As diferenças nas estruturas espaciais de ovos e larvas também podem ser associadas às diferenças na duração de ambos os estágios planctônicos. Segundo Matsuura (1977) a eclosão dos ovos de sardinha ocorre até 24 h após a fertilização, ao passo que os estágios larvais estendem-se por até 45 dias (KURTZ, 2000). O maior tempo de incorporação ao plâncton implica em um maior tempo de exposição individual a forçantes físicas, incluindo processos de difusão e advecção (ZWOLINSKI et al., 2006); interações ecológicas como competição, predação e canibalismo (SMITH, 1973; BAILEY; HOUDE, 1989; SZEINFELD, 1991), e o risco de inanição (DIAS et al., 2004) (vide Figura 2.6, página 23). Uma análise da distribuição de comprimentos das larvas coletadas entre Dezembro de 1976 e Janeiro de 1981 mostra um predomínio absoluto dos estágios de pré-flexão da notocorda (4.5 mm a 11.0 mm; *sensu* KURTZ, 2000), sendo as abundâncias relativas dos estágios mais avançados de desenvolvimento frequentemente inferiores a 10%. Os resultados de Kurtz

(2000) sugerem um padrão de distribuição de comprimentos similar para os cruzeiros de Dezembro de 1991 e Janeiro de 1993. Nestes estágios a capacidade de locomoção das larvas é limitada por aparatos natatórios subdesenvolvidos, e pelo tamanho corporal reduzido (FUIMAN, 2002), potencializando os efeitos de processos físicos difusivos e advectivos sobre os padrões de distribuição (SMITH, 1973). Ainda, segundo Spach (1990), a agregação ativa só se iniciaria 23 dias após desova. Nota-se, portanto, que grande parte das larvas analisadas neste trabalho mostra susceptibilidade potencial a ação de processos hidrodinâmicos, e uma dependência relativa das condições tróficas locais. Por outro lado, o pequeno percentual de larvas em estágios pós-flexionais pode estar relacionado à maior capacidade de fuga (SPACH, 1990; KURTZ, 2000), ou a uma estratificação vertical diferenciada entre estágios larvais (KATSURAGAWA, 1985), sendo também potencial indicador de taxas altas de mortalidade durante a transição entre ambos os estágios (HOUDE, 1997).

As larvas de *S. brasiliensis* não apresentaram variação temporal significativa em sua estrutura espacial. A estruturação espacial significativa pode ser atribuída às escalas de variabilidade predominantes (Macro e Médias), melhor representadas nos modelos ANOVA. A estrutura temporal apresentou-se significativa, como observado para as distribuições de ovos. Resultados das decomposições em escalas mostram um padrão temporal similar nas contribuições relativas das escalas Macro à estrutura espacial de ovos e larvas, o que corrobora a existência de cenários de contração e expansão dos habitats reprodutivos.

4.5.2. Relações entre a estrutura espacial e o ambiente oceanográfico: Possíveis mecanismos estruturadores e seus efeitos em múltiplas escalas.

A distribuição espaço temporal da atividade de desova é frequentemente atribuída a fatores climáticos e oceanográficos (BELLIER et al., 2007), bem como a caracteres populacionais intrínsecos, como o tamanho e a estrutura etária do estoque (McCALL, 1990). A variação espaço-temporal se apresentou significativa para a maior parte dos indicadores ambientais empregados neste trabalho, o que mostra que o período reprodutivo da sardinha verdadeira transcorre em cenários ambientais altamente variáveis.

Os resultados das análises de codependência multiescala (ACM) mostram uma relação positiva recorrente entre a distribuição da temperatura superficial e as distribuições de densidades de ovos e de larvas. Estas relações se mostram significativas nas escalas Macro e Médias (> 50km). Análises pretéritas, empregando o método de Quocientes (VAN DER LINGEN et al., 2001), mostram uma ocorrência preferencial de ovos de *S. brasiliensis* em faixas de temperatura entre 23°C e 27°C (GIGLIOTTI et al., 2010). O padrão de distribuição dos ovos, analisado pelos mesmos autores, mostra que a desova é menos frequente no setor Norte da PCSB, na região entre Cabo Frio e Ilha Bela (23°S e 24°S). A região é frequentemente sujeita à influência de fenômenos de ressurgência costeira, os quais se intensificam durante o verão austral (CASTRO et al., 2006), em decorrência da intensificação dos ventos de Nordeste, coincidindo com a temporada reprodutiva da sardinha verdadeira. O sistema de ressurgência da região de Cabo Frio se caracteriza por ciclos alternados de afloramento e subsidência de águas frias, ocorrentes em escalas sub inerciais (GONZALEZ-RODRIGUEZ et al., 1992; LOPES et al., 2006a). Como consequência, a temperatura superficial, e os processos de transporte vertical, turbulência e advecção de Ekman, sofrem um incremento local na variabilidade.

Esta instabilidade relativa pode explicar a menor frequência de desova da sardinha no setor norte da PCSB. Segundo Gonzalez-Rodriguez et al. (1992), variações bruscas na temperatura e no transporte vertical tendem a interferir localmente nos processos sucessionais das comunidades planctônicas. Perturbações frequentes na estabilidade vertical da coluna d'água também podem interferir negativamente na alimentação larval (LASKER, 1975; 1978), em particular durante os estágios pré-flexionais. A advecção pelo transporte superficial de Ekman também pode ocasionar a dispersão de produtos reprodutivos (ovos e larvas), ou seu transporte para áreas menos favoráveis (COLE; McGLADE, 1998). Cabe lembrar que a variabilidade sub inercial das ressurgências costeiras de Cabo Frio (CASTRO et al., 2006) envolve intervalos de tempo inferiores ao período total de desenvolvimento larval (45 dias, segundo KURTZ, 2000), o que implicaria em janelas de sobrevivência demasiadamente curtas para o ciclo ontogenético das larvas. Para espécies de sardinhas com ampla distribuição, como *Sardina pilchardus* e *Sardinops sagax*, as faixas de temperatura ideal para desova podem variar com a região, entre sub-populações, e entre diferentes estudos (PLANQUE et al., 2006; COOMBS et al., 2006). Associações negativas com áreas de ressurgência e temperaturas baixas também são observadas para *S. sagax* na costa Sul Australiana (McCLATCHIE et al., 2007); e para *Sardinella aurita* na região Nordeste do Mar Mediterrâneo (MAYNOU et al., 2008).

A variabilidade termal e hidrodinâmica do setor norte da PCSB também pode ser relacionada a outros processos oceanográficos. A atividade em mesoescala da Corrente do Brasil (CB) intensifica-se na região entre Cabo Frio e Ilha Bela (CAMPOS et al., 2000), ocasionando mudanças frequentes no posicionamento de sua frente térmica superficial (LORENZZETTI et al., 2009), além da formação frequente de meandramentos e vórtices (CALADO et al., 2008). A região também se caracteriza por uma menor extensão física da plataforma continental (vide Figura 2.8, página 29), o que limitaria fisicamente a área disponível para reprodução. Tal hipótese foi sugerida por Bernal et al. (2007),

que atribuíram as descontinuidades na distribuição *alongshore* dos habitats de desova da sardinha ibérica (*Sardina pilchardus*) a presença de estreitamentos da plataforma continental.

A associação positiva com as temperaturas superficiais também é expressa através de relações positivas de codependência com a variável sintética DAM 2 (dezembro de 1976 e dezembro de 1991), e negativas com a variável DAM 3 (dezembro de 1976, janeiro de 1980, 1981, 1991 e 1993) (vide Figuras 4.13 e 4.14; páginas 139 e 140). As codependências negativas com o DAM 3 corroboram a relação negativa com as salinidades superficiais, previamente evidenciada nas análises empregando dados *in situ*. Elas também ressaltam uma relação negativa com o transporte vertical, e com as velocidades de corrente *cross-shore*, que reforçam a importância da estabilidade vertical, e da ausência de mecanismos advectivos intensos, na manutenção dos habitats reprodutivos da sardinha verdadeira.

As distribuições espaciais de ambos os estágios planctônicos da sardinha parecem seguir o padrão em escalas Macro de variabilidade da temperatura superficial, prevalente na PCSB durante os períodos de verão. A maior frequência dos fenômenos de ressurgência costeira no setor norte limitaria as principais áreas reprodutivas aos setores Central e Sul (24°S to 29°S). Segundo Parrish et al. (1983), a concentração de estoques de zooplâncton e peixes pelágicos tende a ocorrer à jusante de áreas de intensa ressurgência, uma vez que há uma defasagem entre o desenvolvimento de comunidades planctônicas e processos de enriquecimento. O mesmo mecanismo foi proposto por Castello e Castello (2003), na tentativa de explicar a ocorrência preferencial de larvas de *Engraulis anchoita* a sul de Ilha Bela (24°S). Durante o verão os contrastes termais superficiais são drasticamente reduzidos nos setores Central e Sul da PCSB. Por outro lado, observa-se uma intensificação nas intrusões da ACAS, estabelecendo uma termoclina estável, e provendo nutrientes às camadas inferiores da zona fótica (CASTRO; MIRANDA, 1998). Esse conjunto de evidências sugere que a estratégia reprodutiva da sardinha

verdadeira apoia-se não só em incrementos na produção primária e na disponibilidade potencial de alimento, mas em um balanço entre estabilidade, e um enriquecimento relativo, provido pelas intrusões da ACAS. É importante salientar que a espécie em análise passa todo seu ciclo de vida confinada em uma área de cerca de 1000 km de extensão, localizada em uma zona intertropical de características oligotróficas, onde a produção primária pode apresentar grande dependência de mecanismos de reciclagem microbiana (CUSHING, 1989).

O efeito da estabilidade vertical sobre distribuições de larvas em larga escala foi constatado para *Sardinops sagax* na costa Sul da Austrália (McCLATCHIE et al., 2007). Neste caso, as condições de estabilidade foram relacionadas a perturbações locais, associadas à presença de barreiras naturais, e a “efeitos ilha” (SUTHERS et al., 2004). Trabalhos pretéritos (BAKUN; PARRISH, 1990; CERGOLE, 1995; MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010) sugerem as intrusões sazonais da ACAS como principal mecanismo responsável pela estabilidade vertical, e pela injeção de nutrientes, necessários ao sucesso reprodutivo da sardinha. Neste trabalho, os efeitos da estratificação vertical da coluna d’água sobre a estrutura espacial dos habitats reprodutivos são apenas sugeridos por relações negativas de dependência espacial, observadas entre ovos, larvas e temperaturas em sub superfície (10 a 20m). Esta associação se mantém predominantemente restrita às escalas Médias, conforme observado em dezembro de 1976, Janeiro de 1978 e Janeiro de 1981, o que sugere uma relação dependente da escala espacial de análise.

As relações de codependência com a salinidade se mostraram predominantemente negativas nas escalas Macro e Médias. Estes resultados mostram que a distribuição espacial das áreas reprodutivas apresenta uma dependência relativa da presença de aportes estuarinos na PCSB. Curiosamente, a região não se caracteriza por aportes continentais volumosos, recebendo algumas pequenas contribuições provenientes dos complexos estuarinos da Baía da Guanabara, de Cananéia-Iguape (CASTRO et al. 2006),

e de Paranaguá (MARONE et al., 2005). A presença de gradientes de densidade pode induzir a retenção de organismos planctônicos (BAKUN, 2006), o que reforça o potencial de frentes halinas em mesoescala como sítios de retenção larval e arenas alimentares. Lopes et al. (2006a), apontam as regiões adjacentes a complexos estuarinos, como o de Paranaguá, como áreas de concentração de biomassa zooplânctônica, apresentando também grandes abundâncias de ictioplâncton. Aportes continentais também podem gerar células de recirculação, impedindo a advecção de ovos e larvas, conforme sugerido para *E. anchoita* na Plataforma Continental Sul (VAZ et al., 2007).

A influência da salinidade sobre a reprodução das sardinhas tem recebido pouca atenção da literatura especializada (PLANQUE et al, 2006), muito embora a variável seja frequentemente empregada na caracterização de habitats reprodutivos (CHECKLEY et al., 2000; VAN DER LINGEN et al. 2005; OOZEKI et al., 2007). A importância relativa da salinidade parece variar geograficamente, e em função da espécie considerada. Plumas de baixa salinidade são apontadas como importantes mecanismos de retenção para ovos e larvas de *S. pilchardus* na costa Noroeste de Portugal (SANTOS et al. 2004). Em outras regiões como a Baía de Biscaia (PLANQUE et al, 2006), e o Mar Mediterrâneo (SOMARAKIS et al., 2006), a salinidade assume papel secundário, ou irrelevante, na definição dos habitats de desova da espécie. Algumas espécies, como *Sardinops sagax* da região Sul de Benguela (TWATWA et al., 2005), e na costa da Califórnia (CHECKLEY, 2000), mostram uma tendência similar à *S. brasiliensis*, desovando preferencialmente em áreas de menor salinidade.

A evolução temporal na distribuição espacial das temperaturas e salinidades se caracteriza por incrementos de variabilidade nas escalas Macro, nos verões de 1977, em 1980 e 1981, e ao final da série de cruzeiros (verões de 1991/1992). Este padrão se ajusta, parcialmente, ao modo de variação temporal observado nas estruturas espaciais de ovos e larvas de sardinha, diferindo apenas nos cruzeiros de 1980/1981, onde a estruturação espacial se mostra reduzida para

ambos os estágios planctônicos. Não obstante, o ano de 1981 demarcaria o início de uma recuperação do estoque, que perduraria até 1984 (vide Figura 4.15, página 142). Considerando essa recuperação, e as supostas expansões dos habitats reprodutivos nos verões 1977 e 1993 (GIGLIOTTI et al., 2010), é possível traçar um paralelo entre períodos favoráveis à reprodução da sardinha verdadeira, e uma estruturação espacial do ambiente termohalino nas escalas Macro. Essa hipótese é reforçada pelas associações significativas com a Temperatura e a Salinidade, nas escalas Macro. A relação com o incremento no estoque desovante, por outro lado, também sugere a ação de mecanismos denso-dependentes modulando a extensão dos habitats reprodutivos (BARANGE et al., 2009).

Neste trabalho, os principais padrões de transporte superficial foram representados na variável sintética DAM 1. A distribuição espacial de escores mostra um predomínio do transporte a *offshore* nas porções internas da plataforma continental, e um fluxo de direção nordeste-sudoeste sobre a borda externa (vide Figura 4.5, página 121). Em linhas gerais, esse padrão reproduz o sistema de circulação geostrófica semi-fechado, proposto por Bakun e Parrish (1990). A distribuição de escores no DAM 1 mostra um padrão similar à essa célula de retenção, entre Janeiro de 1978 e Janeiro de 1991. Nesse sistema, o transporte de Ekman sofreria uma atenuação relativa nos setores internos da PCSB. Essa atenuação atuaria em sinergia com o padrão semi-fechado de circulação geostrófica, favorecendo a retenção larval nas porções internas da plataforma continental.

As relações de codependência foram positivas nas escalas Médias em 1978 (ovos), 1981 (ovos e larvas) e 1988 (larvas), sugerindo uma associação positiva com um aumento relativo do transporte a *offshore* (escores positivos). Spach (1990) constatou o transporte de larvas de sardinha para maiores profundidades, atribuindo essa dispersão ao transporte de Ekman, derivado da ação de ventos de Nordeste (CASTRO et al., 2006). No entanto, as contribuições positivas da tensão de cisalhamento, aliadas às contribuições

não significativas do transporte vertical (W15), não suportam uma representação do transporte de Ekman nesta variável sintética.

No cruzeiro de dezembro de 1976 a distribuição de larvas nas escalas Macro e Médias mostra-se positivamente associada ao DAM 1. Em janeiro de 1993 essa associação é significativa para a distribuição espacial de ovos nas escalas Médias. Estas associações positivas coincidem com uma predominância de escores próximos à zero ou ligeiramente negativos, no setor sul da PCSB, respectivamente em 1976 e 1993 (Figura 4.5; página 121). Nestes anos, as expansões dos habitats reprodutivos (berçário em 1976 e desova em 1993) estariam associadas a um transporte superficial atenuado (1976), ou com direcionamento predominante a sudoeste. Soares (2009) constatou que os máximos de produção pesqueira da sardinha verdadeira são precedidos por verões caracterizados por anomalias negativas do módulo da tensão de cisalhamento, e por valores de transporte de Ekman próximos à média climatológica. Estes cenários foram atribuídos a uma intensificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à geração de bloqueios atmosféricos em altos níveis (250 hPa), alterando o padrão de ventos incidente na PCSB. A autora atribui um maior sucesso reprodutivo da sardinha a uma redução no IM. Essa relação negativa é observada nas escalas Médias em 1978, e em 1988, quando se observam reduções no habitat reprodutivo e baixas densidades de ovos e larvas. A relação positiva, observada nos cruzeiros de 1976 e 1993, pode ser atribuída à atuação de outros fatores, que teriam contrabalançado um possível cenário desfavorável em termos de transporte superficial.

As relações negativas com o DAM 2, observadas para os cruzeiros de janeiro de 1988 e dezembro de 1991, mostram um incremento local nas densidades de larvas, associado a um aumento no IM, e a reduções nas temperaturas superficiais. Matsuura (1998) caracterizou este período como uma sequência de temporadas reprodutivas malsucedidas, causadas por uma drástica redução no recrutamento entre 1986 e 1988, culminando no primeiro colapso da pesca da sardinha, ocorrido em 1990 (CERGOLE et al., 2002). Esta falha no

recrutamento foi associada a uma redução nas intrusões da ACAS (MATSUURA et al., 1992), a qual teria perdurado até o verão de 1989 (MIRANDA; KATSURAGAWA, 1991). Essa associação negativa entre as densidades larvais e as temperaturas superficiais pode ser explicada pela ocorrência de larvas em áreas próximas aos sistemas de ressurgência de Florianópolis e, em menores densidades, no setor norte, na região costeira sob influência das ressurgências de Cabo Frio (Figura 4.16). O DAM 2 representa os contrastes térmico superficiais associados a ambos os sistemas (valores negativos na Figura 4.16), durante os cruzeiros de janeiro de 1988 e dezembro de 1991. Em janeiro de 1991, além dos sistemas de ressurgência, os dados SODA mostram temperaturas mais baixas ocupando uma extensa área alongada, disposta ao longo da porção central da PCSB. É curioso notar que a associação com áreas de ressurgência (mais precisamente com o sistema de Florianópolis), se apresenta mais evidente durante verões historicamente desfavoráveis à reprodução. Em dezembro de 1991 e janeiro de 1993, as associações negativas coincidem com o registro de fortes intrusões da ACAS, observadas nas imediações de Ilha Bela e Santos (KURTZ; MATSUURA, 2001).

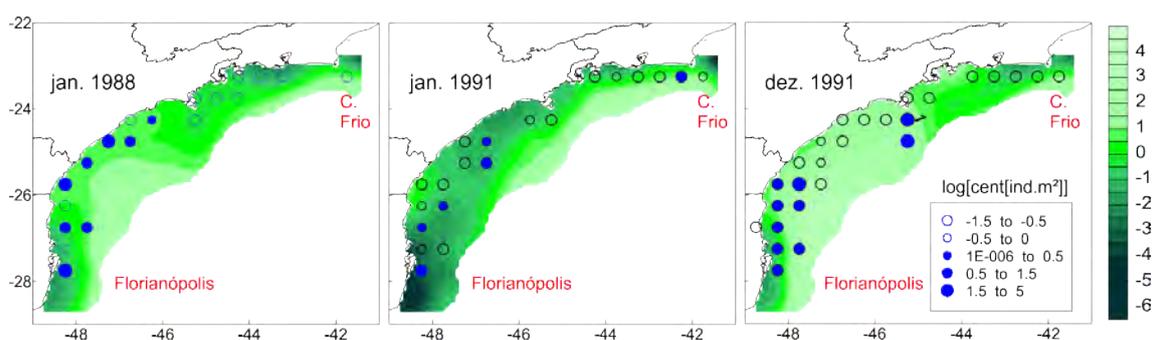


Figura 4.16 – Distribuições de escores no DAM 2 (PC2) e distribuições de larvas de *S. brasiliensis* (valores logaritimizados e centrados na média) para os cruzeiros de janeiro de 1988, janeiro de 1991 e dezembro de 1991.

As associações significativas com os descritores ambientais empregados neste trabalho foram restritas nas escalas Locais, ocorrendo somente nos cruzeiros

de Dezembro de 1976, e Janeiro de 1991. Nestas escalas, processos comportamentais e interações denso-dependentes assumem uma maior importância relativa na organização espacial, gerando o desacoplamento entre estruturas espaciais biológicas e físicas (WIENS, 1989). Como consequência de interações mais complexas, e das limitações na percepção individual dos organismos, as relações de dependência espacial tornam-se menos evidentes. Efeitos de processos comportamentais e denso dependentes são de difícil mensuração em campo, variando de acordo com a capacidade de suporte do ambiente, e com a estrutura da comunidade pelágica.

Interações biológicas e com o ambiente em pequenas escalas espaciais seriam abordadas mais adequadamente através de experimentos locais, empregando observações nas escalas adequadas. Os resultados aqui apresentados mostram-se parcialmente limitados por resoluções de amostragem superiores a 30 km. Resultados anteriores, baseados no dimensionamento dos agregados de ovos (SPACH, 1990), sugerem resoluções de amostragem ideais menores que 10 km. Outras possíveis abordagens podem incluir o uso de simulações numéricas, modelos baseados no indivíduo, e modelos ecológicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO – FASE ADULTA

5.1. Padrões de distribuição e estrutura espacial

Os mapas com as distribuições mensais da CPUE média (por quadrante, considerando o período de cobertura dos dados) durante a temporada de pesca da sardinha (março a novembro) são apresentados na Figura 5.1. Entre os meses de março e abril, as capturas ocupam uma extensa área da porção centro-sul da PCSB, concentrando-se particularmente na região *offshore* da Baía de Santos. De maio a junho as áreas de captura sofrem marcada contração, restringindo-se principalmente as imediações das regiões de Santos, e a costa norte de Santa Catarina. A região da Baía de Angra dos Reis foi utilizada continuamente como área de pesca durante estes quatro meses.

Durante o período de inverno, as áreas de pesca sofrem ligeira expansão em direção norte, atingindo a costa do Paraná e a região de Cananéia, na costa sul de São Paulo. Na Baía de Ilha Grande as capturas atingem valores mínimos em agosto. Nos meses de setembro e outubro, as áreas de captura sofrem nova contração concentrando-se nas regiões costeiras de Santa Catarina, Santos e na Baía da Ilha Grande. Em novembro ocorre nova expansão em direção às regiões centro-sul da PCSB.

As seções seguintes descreverão a dinâmica da estrutura espacial das capturas, em cada um dos cenários de análise definidos na Seção 3.3.3 (página 84).

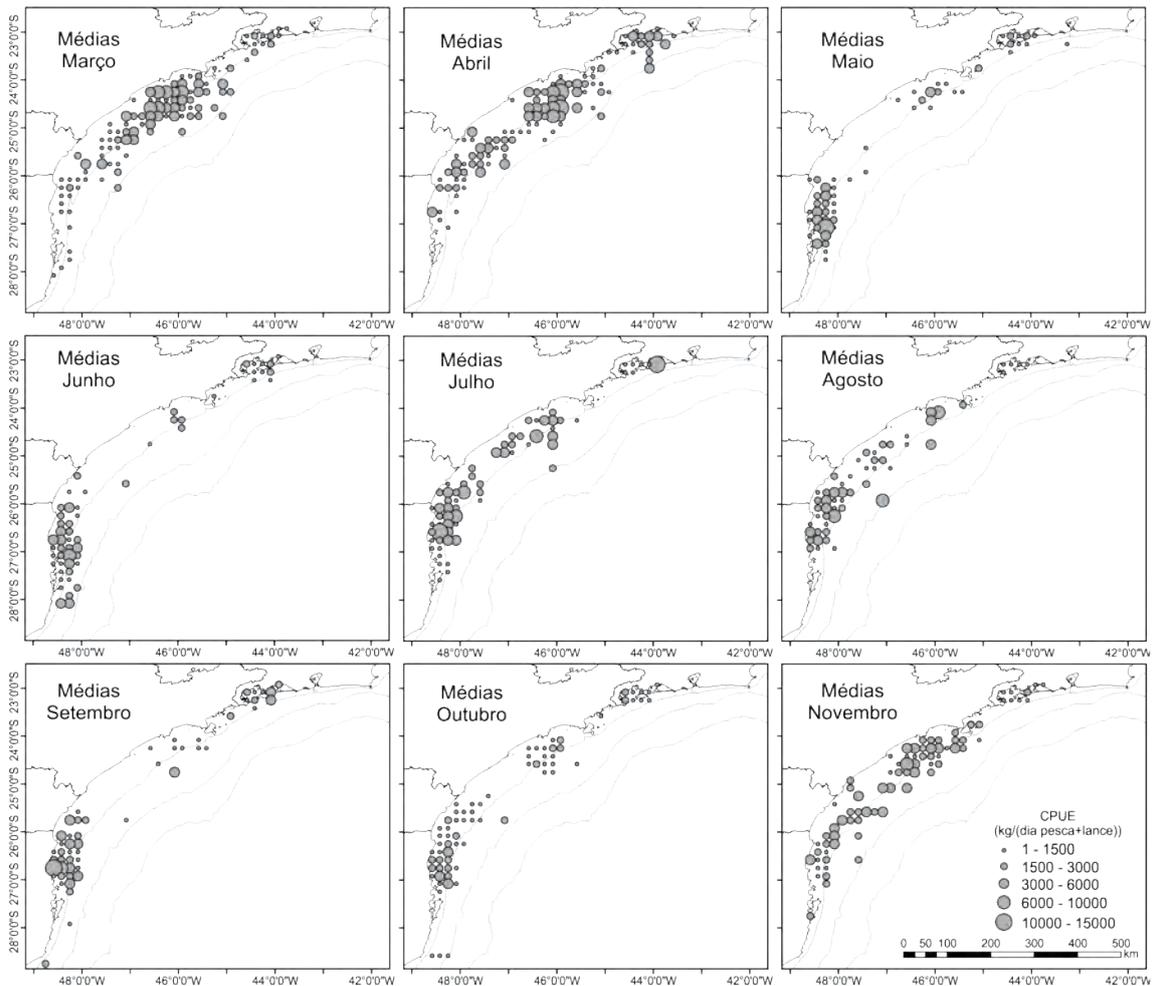


Figura 5.1 - Distribuição das médias de Captura por Unidade de Esforço para os meses de março a novembro, correspondentes à temporada anual de pesca da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). Linhas isobatimétricas correspondem às profundidades de 50, 100 e 200 m.

5.1.1. Cenário Pós-desova (Março e Abril)

A estrutura espacial mostrou variabilidade significativa nas três classes de escalas espaciais, a exceção do ano de 2002, que não apresenta variação nas escalas Macro. Os coeficientes totais (R_{aT}^2) registraram percentuais de variância explicada variando entre 26 % (2000) e 45 % (2006) (Figura 5.2; Tabela 5.1).

Observou-se grande variação interanual nas importâncias relativas das três classes de escalas (Figura 5.2). A variabilidade em escalas Macro foi mais expressiva em 2001, 2003, 2004 e 2006, constituindo o modo dominante nos últimos três anos ($R_{aMc}^2 > 0.181$) (Tabela 5.1). Em quase todos os anos, a exceção de 2005, as principais áreas de captura se concentram, preferencialmente, na região adjacente a Santos (24°S a 26° S). Nos anos de 2001 e 2004, este núcleo se expande até a região de Paranaguá (26° S), ocupando as plataformas interna e média, ao longo da isóbata de 50m (Figura 5.2). Apesar destas expansões, as contribuições máximas nas escalas Macro são observadas em 2003 ($R_{aMc}^2 = 0.21$), e 2006 ($R_{aMc}^2 = 0.36$) (Tabela 5.1), quando a distribuição manteve padrão similar, polarizado a SW da Ilha Bela.

A variação nas escalas Médias foi máxima em 2001, 2002 e 2005 ($R_{aMd}^2 \sim 0.13$), com contribuições muito pequenas nos demais anos (Tabela 5.1). Em 2002 observou-se um deslocamento da principal área de captura em direção ao setor norte da área de estudo, entre a Baía da Ilha Grande (23°S) e a região do entorno da Ilha Bela (Figura 5.2). Em 2005 o padrão de distribuição em “manchas” foi mais evidente, devido à fragmentação das principais áreas de captura, que se distribuíram pela Baía de Ilha Grande, a SW de Ilha Bela, e na região entre Paranaguá e a costa N de Santa Catarina (26° S a 27° S).

A variabilidade em escalas Locais foi mais evidente entre 2000 e 2003 ($R_{aLo}^2 > 0.145$), e em 2005 ($R_{aLo}^2 = 0.139$) (Tabela 5.1). Em 2003 e 2005, as capturas se distribuíram de forma mais esparsa (Figura 5.2), ao passo que, em 2001 os valores de CPUE se mostram mais heterogêneos na área de captura expandida à plataforma média de São Paulo. Nos anos de 2000 e 2002, a importância relativa desta classe de escalas pode ser relacionada à menor extensão das áreas de captura, e captura em quadrantes isolados entre Paranaguá e Santa Catarina.

Tabela 5.1 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de Captura por Unidade de Esforço (CPUE) de *S. brasiliensis* no cenário Pós-Desova (março e abril), entre os anos de 2000 e 2006:

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.070 | 0.131 | - | 0.218 | 0.181 | 0.115 | 0.360 |
| | AEsp | 2 | 2 | - | 3 | 2 | 1 | 3 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.035 | 0.137 | 0.137 | 0.005 | 0.050 | 0.126 | 0.030 |
| | AEsp | 1 | 5 | 5 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.153 | 0.150 | 0.180 | 0.145 | 0.060 | 0.139 | 0.050 |
| | AEsp | 6 | 9 | 7 | 10 | 4 | 9 | 4 |
| Total | R_{aT}^2 | 0.265 | 0.443 | 0.328 | 0.385 | 0.301 | 0.399 | 0.454 |
| | VR | 0.735 | 0.557 | 0.672 | 0.615 | 0.699 | 0.601 | 0.546 |

R_{aMc}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Macro; R_{aMd}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Médias; R_{aLo}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Locais; R_{aT}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados Totais (considerando todos os Mapas de Autovetores selecionados); AEsp – Número de Mapas de Autovetores Selecionados em cada classe de escalas.

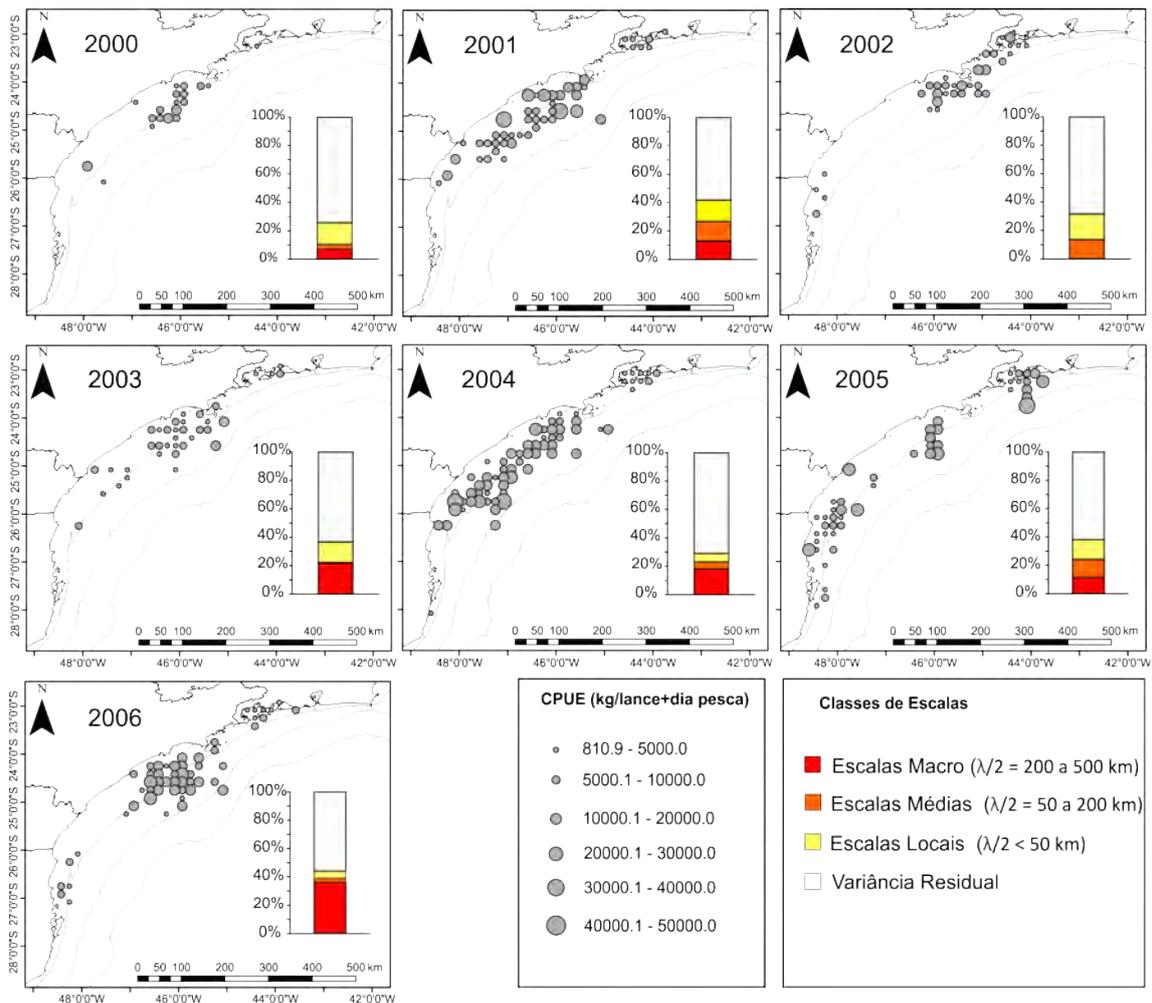


Figura 5.2 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de *S. brasiliensis*, no cenário Pós-Desova (março e abril).

5.1.2. Cenário Pré-Inverno (Maio e Junho)

A estrutura espacial da CPUE recebeu contribuições das três classes de escalas, não se observando dominância por uma escala específica. Observou-se uma melhora relativa no desempenho dos modelos de regressão, com percentuais de variância explicada entre 43.6 % (2000 e 2005) e 71.8 % (2006) (Figura 5.3; Tabela 5.2).

A variabilidade em escalas Macro foi máxima nos anos de 2004 e 2006 ($R_{aMc}^2 > 0.20$) (Tabela 5.2). Nestes dois anos, a principal área de concentração foi quase que exclusivamente restrita à costa N de Santa Catarina. Em 2001, 2003 e 2005, observa-se um padrão similar, com algumas capturas esparsas registradas nas regiões à SW de Ilha Bela (2001; 2003), e na Baía da Ilha Grande (2005). Nos anos de 2000 e 2002, as contribuições nestas escalas foram mínimas ($R_{aMc}^2 < 0.10$) (Tabela 5.2), coincidindo com um padrão de distribuição mais esparsa, e com uma maior ocorrência de capturas no setor Norte, entre 23° S e 24°S (Figura 5.3).

As contribuições das escalas Médias foram máximas em 2000 ($R_{aMd}^2 = 0.209$), e 2001 ($R_{aMd}^2 = 0.261$), mantendo um grau de importância relativa considerável em todos os cruzeiros (Tabela 5.2). Sua importância relativa diminuiu a partir de 2003. As variações em escalas Locais também constituíram um atributo recorrente da estrutura espacial neste cenário. As contribuições nestas escalas foram máximas entre 2002 e 2004 ($R_{aLo}^2 > 0.171$), e parecem coincidir com uma distribuição mais dispersa da CPUE, especialmente em 2002 e 2003 (Figura 5.3).

Tabela 5.2 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de CPUE de *Sardinella brasiliensis*, no cenário Pré-Inverno (maio e junho), entre os anos de 2000 e 2006. Acrônimos - vide Tabela 5.1.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.090 | 0.151 | 0.085 | 0.115 | 0.222 | 0.161 | 0.384 |
| | AEsp | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.209 | 0.261 | 0.158 | 0.107 | 0.133 | 0.122 | 0.148 |
| | AEsp | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 4 | 5 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.113 | 0.092 | 0.171 | 0.215 | 0.194 | 0.129 | 0.144 |
| | AEsp | 8 | 10 | 9 | 11 | 11 | 9 | 8 |
| | | | | | | | | |
| Total | R_{aT}^2 | 0.436 | 0.539 | 0.436 | 0.462 | 0.589 | 0.436 | 0.718 |
| | VR | 0.564 | 0.461 | 0.564 | 0.538 | 0.411 | 0.564 | 0.325 |

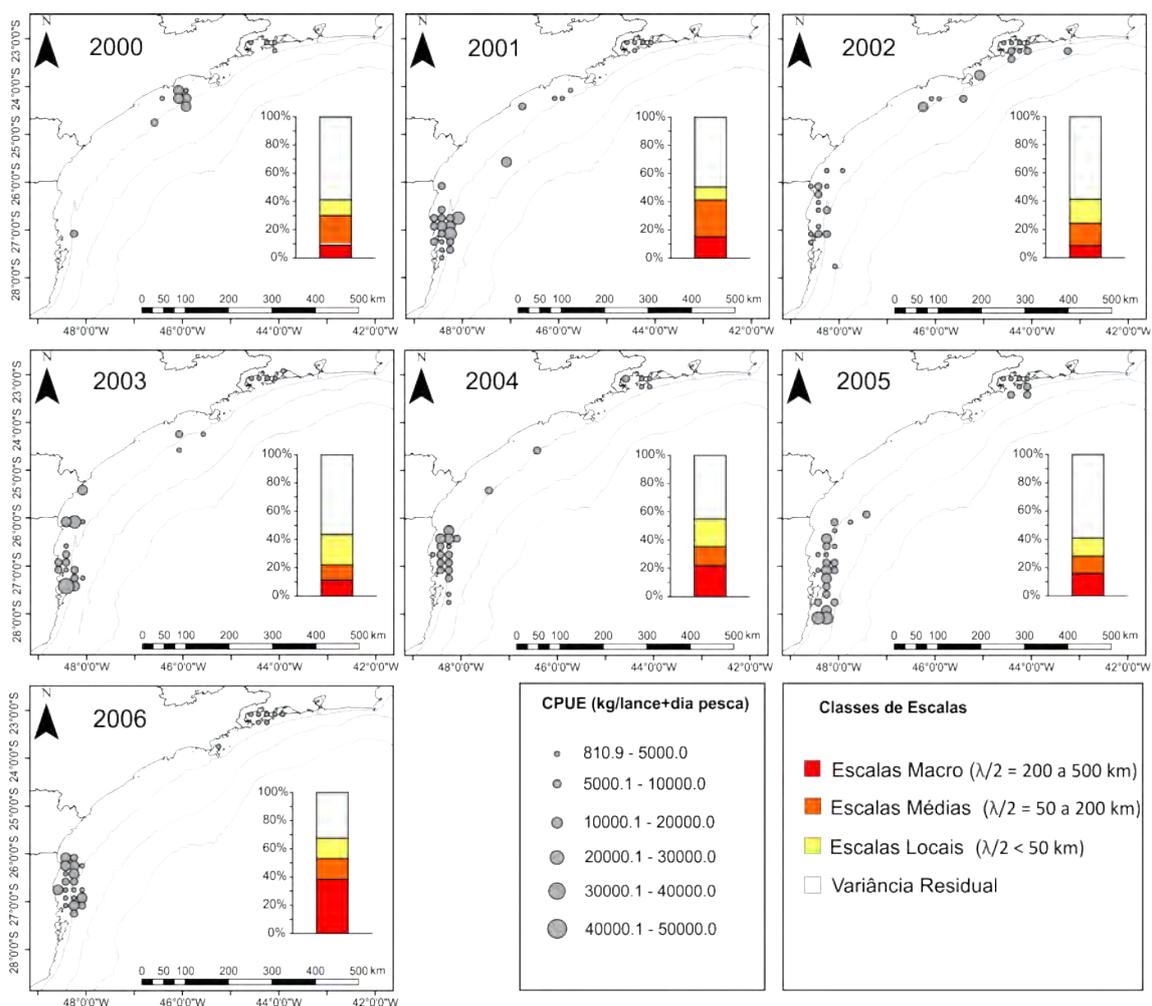


Figura 5.3 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de *S. brasiliensis*, no cenário Pré-Inverno (maio e junho).

5.1.3. Cenário de Inverno (Julho e Agosto)

A variância total explicada (R_{aT}^2) nos quatro anos de cobertura variou de 39.2% (2000) a 69.1% (2003) (Tabela 5.3). A variabilidade em escalas Macro atingiu máximos em 2001 e 2003 ($R_{aMc}^2 > 0.180$). Nestes anos, a distribuição espacial se caracterizou por uma concentração das áreas de captura entre Paranaguá e Santa Catarina (26°S a 27°S), assumindo padrão similar ao descrito para os

meses de maio e junho, entre os anos de 2001 e 2006 (Figura 5.4). Em 2000, as capturas mantiveram-se concentradas à Sudoeste de Ilha Bela, diferindo do padrão de concentração a Sul observado nos anos seguintes. Vale ressaltar que, neste ano, a distribuição da CPUE ocupa uma área visivelmente mais extensa, quando comparada aos cenários precedentes (ver Figuras 5.2 e 5.3).

As contribuições em escalas Médias apresentaram incremento contínuo, variando de 8.1% em 2000, a 26.1% em 2003 (Tabela 5.3). A representação gráfica dos coeficientes (Figura 5.4) mostra um aumento na importância relativa destas escalas em 2002 e 2003. A variação nas escalas Locais manteve-se relativamente estável ao longo dos 4 anos analisados (Tabela 5.3), sofrendo redução apenas em 2002 ($R_{aLo}^2 = 0.12$). Neste ano, a área de captura expandiu-se a Norte, estendendo-se até a região de Cananéia, na costa S de São Paulo (24.5° S).

Tabela 5.3 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de CPUE de *Sardinella brasiliensis*, no cenário Inverno (julho e agosto), entre os anos de 2000 e 2004. Acrônimos - vide Tabela 5.1.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.125 | 0.266 | 0.090 | 0.181 |
| | AEsp | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.081 | 0.111 | 0.173 | 0.261 |
| | AEsp | 4 | 4 | 4 | 5 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.166 | 0.168 | 0.123 | 0.188 |
| | AEsp | 10 | 12 | 8 | 17 |
| | | | | | |
| Total | R_{aT}^2 | 0.392 | 0.583 | 0.406 | 0.691 |
| | VR | 0.608 | 0.417 | 0.594 | 0.309 |

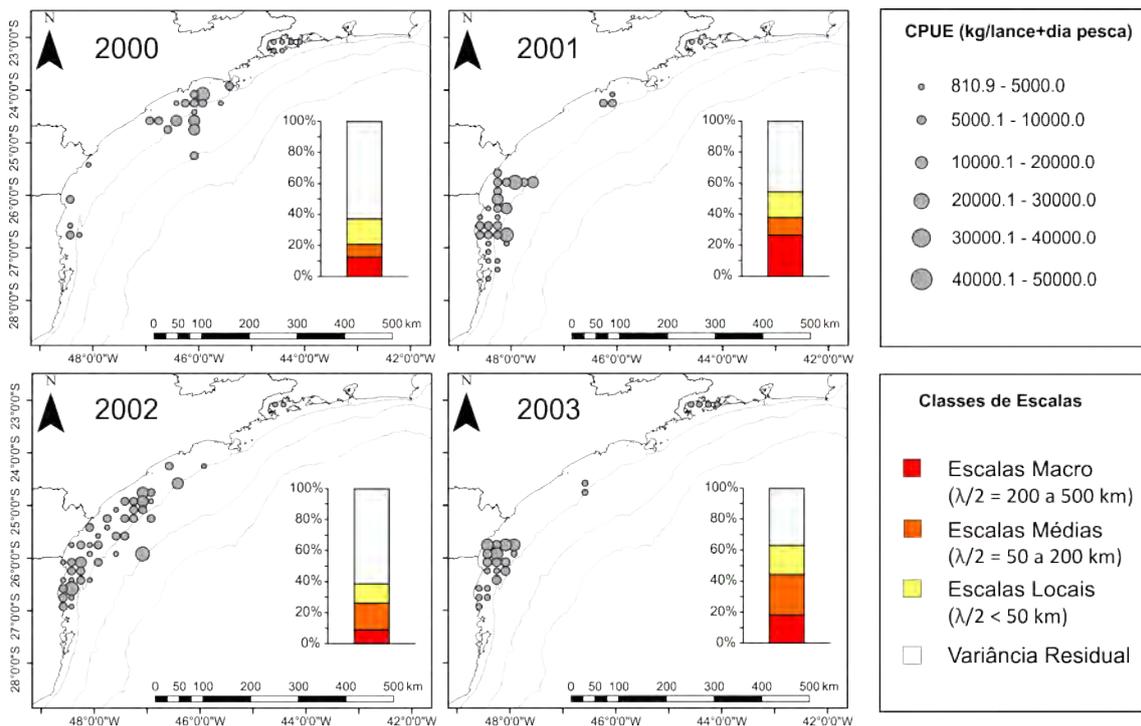


Figura 5.4 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de *S. brasiliensis*, no cenário de Inverno (julho e agosto).

5.1.4. Cenário Pré-Desova (Setembro a Novembro)

Nos meses precedentes à reprodução as principais áreas de ocorrência da sardinha verdadeira se organizam em núcleos a norte (23°S 25°S) e a sul (26° a 28°S) da PCSB (Figura 5.5). Mais uma vez, a estrutura espacial envolveu contribuições das três classes de escalas espaciais. Os modelos empregados na decomposição da estrutura espacial da CPUE nos meses de setembro a novembro explicaram entre 41% e 62% da variância dos dados ($R_{aT}^2 > 0.408$) (Tabela 5.4).

De um modo geral, o posicionamento dos núcleos de captura se apresentou mais variável na porção norte da PCSB. Entre 2000 e 2005, a variabilidade em

escalas Macro manteve-se em evidência, respondendo por até um terço da estrutura espacial representada nos modelos (Tabela 5.4). Neste intervalo, o padrão geral de distribuição mostra duas áreas principais de concentração, localizadas a sul, entre o litoral Norte de Santa Catarina e Paranaguá; e a norte, entre a Baía de Ilha Grande e a região de Santos (Sudoeste de Ilha Bela) (Figura 5.5). Em 2001, a área de concentração a sul expande-se para a região e Paranaguá. Em 2002 o principal núcleo de captura é observado a Norte, no entorno de Ilha Bela, enfraquecendo-se em 2003, e deslocando-se mais a Norte, para a Baía da Ilha Grande, em 2004. Em 2000, 2003 e 2005, as CPUEs mostram-se menores e as distribuições da captura são mais esparsas a Norte e a Sul da área de estudo. Em 2006, algumas capturas esparsas são observadas a Sul, ao longo da isóbata de 50 m, a partir do núcleo de Santos, atingindo o Sul de Cananéia.

As contribuições nas escalas Médias foram máximas em 2000 ($R_{aMd}^2 = 0.257$) 2002 ($R_{aMd}^2 = 0.201$), e 2004 ($R_{aMd}^2 = 0.277$) (Tabela 5.4). Nestes anos o núcleo de distribuição a Sul se manteve mais restrito à costa N de Santa Catarina, ao passo que, no setor Norte, as áreas de captura variaram seu posicionamento (Figura 5.5). A variabilidade em escalas Locais apresenta um decaimento entre 2000 e 2003, sofrendo novo incremento nos últimos três anos da série analisada. Vale notar que as contribuições máximas nesta escala, observadas em 2000 e 2005 ($R_{aLo}^2 = 0.197$) (Tabela 5.4), coincidem com situações similares, de baixas CPUE e contração das áreas de captura (Figura 5.5).

Tabela 5.4 - Resultados da decomposição em escalas espaciais das distribuições de Captura por Unidade de Esforço (CPUE) de *Sardinella brasiliensis*, no período pré-desova (setembro a novembro), entre os anos de 2000 e 2006. Acrônimos - vide Tabela 5.1.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Macro | R_{aMc}^2 | 0.101 | 0.126 | 0.151 | 0.166 | 0.161 | 0.192 | 0.045 |
| | AEsp | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| Média | R_{aMd}^2 | 0.257 | 0.111 | 0.201 | 0.137 | 0.277 | 0.137 | 0.168 |
| | AEsp | 6 | 4 | 7 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| Local | R_{aLo}^2 | 0.197 | 0.172 | 0.142 | 0.097 | 0.127 | 0.197 | 0.168 |
| | AEsp | 15 | 11 | 13 | 7 | 16 | 15 | 12 |
| | | | | | | | | |
| Total | R_{aT}^2 | 0.602 | 0.437 | 0.537 | 0.421 | 0.623 | 0.571 | 0.408 |
| | VR | 0.398 | 0.563 | 0.463 | 0.579 | 0.377 | 0.429 | 0.592 |

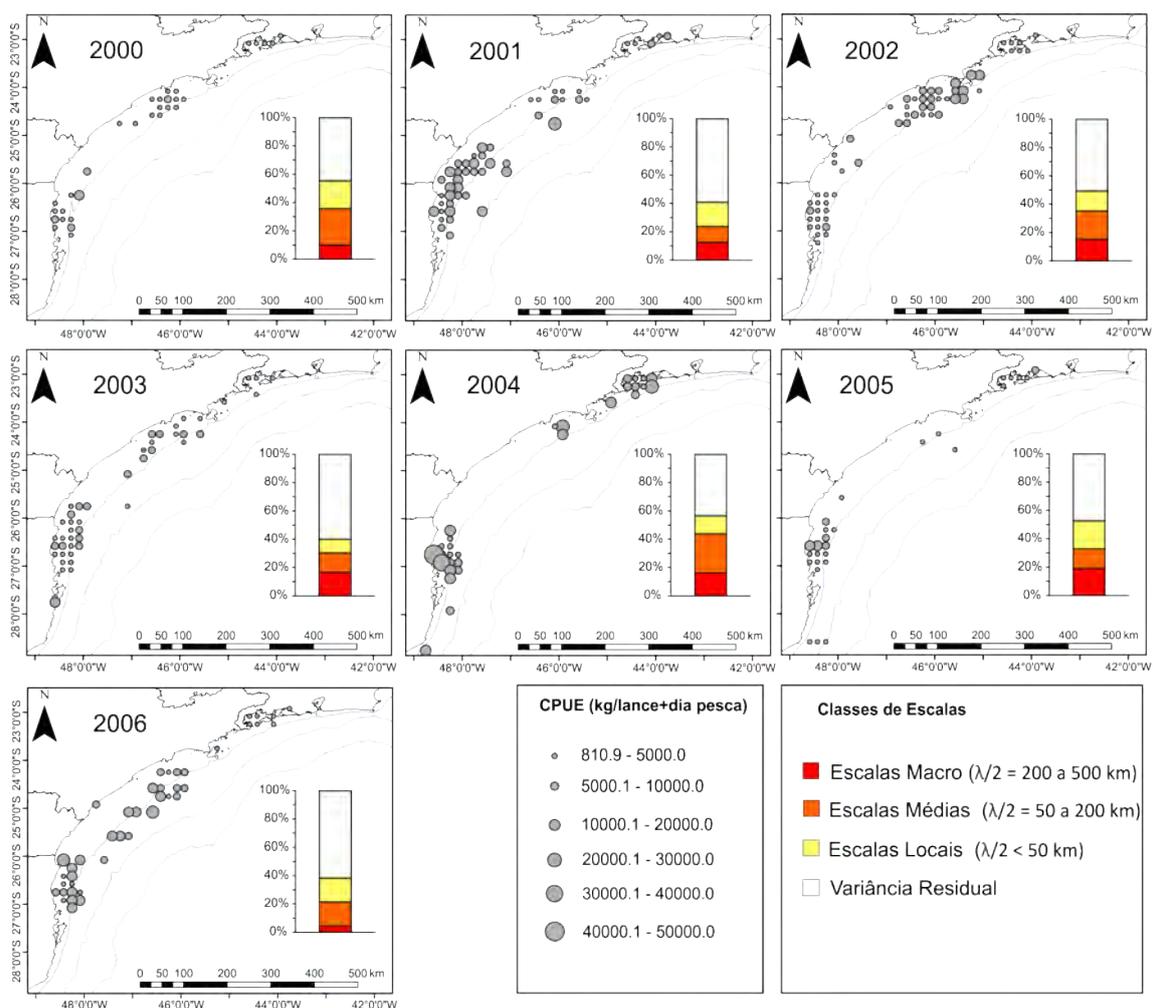


Figura 5.5 - Mapas de distribuição espacial e resultados da decomposição da variabilidade espacial por escalas (gráficos de barra) para as distribuições de CPUE de *S. brasiliensis* no cenário Pré-Desova (setembro a novembro).

5.2. Descritores Ambientais Multivariados (DAM) empregados na caracterização ambiental da PCSB durante o estudo da fase adulta (2000 a 2006)

Esta seção descreve os gradientes ambientais representados pelos Descritores Ambientais Multivariados (DAM) criados a partir de um processo de rescalonamento por Componentes Principais de uma matriz de variáveis de

Sensoriamento Remoto (Seção 3.4.3; página 89). As contribuições relativas de cada variável (*loadings*), em cada CP (DAM), são apresentadas na Figura 5.6.

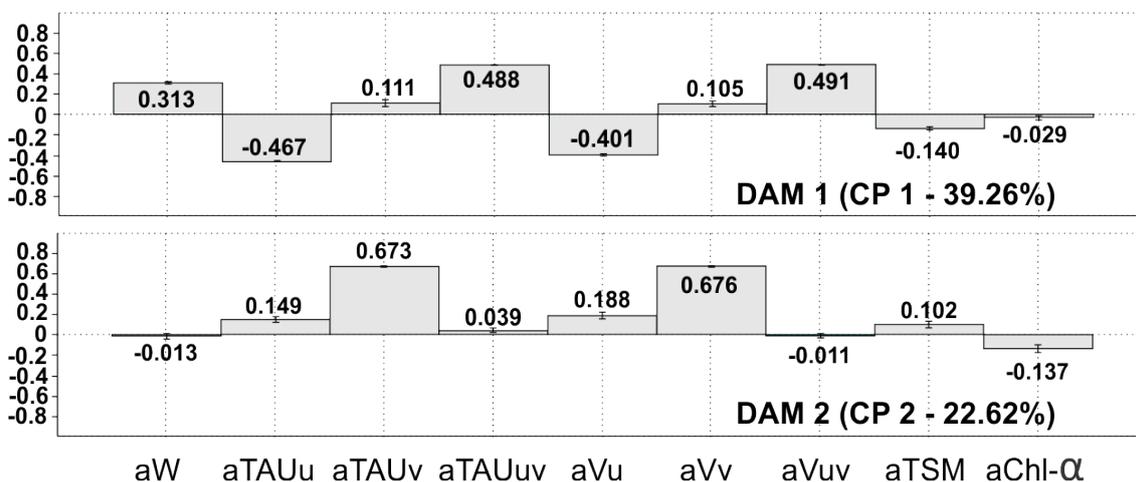


Figura 5.6 - Contribuições relativas (*loadings*) das variáveis de Sensoriamento Remoto (período de 2000 a 2006) nos descritores ambientais multivariados (DAM) 1 e 2 (Componentes Principais 1 e 2, respectivamente).

O DAM 1 (39.26 % da variância total explicada) se caracterizou por contribuições positivas das anomalias de Transporte vertical (aW), e das componentes resultantes de Cisalhamento (aTAUuv), e da Velocidade do Vento (aVuv). As variáveis relacionadas à componente meridional do vento apresentaram contribuições positivas menores, porém significativas. As maiores contribuições negativas corresponderam às anomalias de cisalhamento e de velocidade do vento na componente zonal (aTAUu; aVu). As anomalias de TSM apresentaram uma contribuição menor, porém significativa. Não houve contribuição significativa das anomalias de concentração de Clorofila-α. Este DAM foi interpretado como um gradiente relacionado à intensificação dos ventos de Nordeste, com resposta positiva do transporte vertical (W). Numericamente, a intensificação do vento a Nordeste seria representada por uma redução das anomalias na componente zonal, e um aumento nas anomalias na componente meridional. Portanto, escores positivos

indicam uma intensificação dos ventos de Nordeste, um aumento no Transporte vertical, e uma resposta negativa, porém significativa das anomalias TSM. A relação negativa com a TSM apresenta-se de acordo com o mecanismo clássico associado à ressurgência, representando maior influência de águas ressurgidas nas camadas superficiais. Todavia, a variável sintética parece não representar os efeitos indiretos do fenômeno sobre a produção primária.

No DAM 2 (22.62% da variância) as anomalias relacionadas à componente meridional do vento ($aTAUv$; aVv) apresentaram as principais contribuições positivas. Contribuições positivas menores, porém significativas, foram proporcionadas pelas componentes zonais das anomalias de velocidade (aVu) e cisalhamento ($aTAUu$) do vento, e pelas anomalias de TSM. As únicas contribuições negativas significativas são representadas pelas anomalias de Clorofila- α . Este gradiente representaria um processo de atenuação (intensificação) da componente meridional do vento. A atenuação (representadas por escores positivos) também ocorreria em menor intensidade na componente zonal, estando relacionada a um aumento na TSM, e um decréscimo nas concentrações da Clorofila- α . A intensificação (representada nos escores negativos) ocasionaria um efeito inverso, gerando decréscimos na temperatura, e aumento nas concentrações de Chl- α . Nota-se que tanto o resfriamento da TSM, quanto o aumento na produção primária apresentam-se modulados pela velocidade da componente meridional do vento.

5.3. Estrutura espacial dos Descritores Ambientais Multivariados

5.3.1. Cenário Pós-Desova (março-abril)

A Figura 5.6 apresenta a evolução anual da distribuição de escores, e as variações correspondentes na estrutura espacial dos gradientes ambientais representados pelos DAM, durante o cenário de Pós-Desova. Os resultados

mostram uma intensa variabilidade espaço-temporal nas condições oceanográficas vigentes, refletida nos três gradientes analisados.

As variações na distribuição espacial dos escores do DAM 1 (Figura 5.7, painéis superiores) mostram uma alternância de cenários contrastantes, nos quais se observa predominância de escores positivos (2000; 2004 e 2005), ou negativos (2001; 2003 e 2006). Estes cenários representariam, respectivamente, períodos de intensificação (escores positivos) e atenuação (escores negativos) na intensidade dos ventos de Nordeste, com aumento/redução no transporte vertical (W), e redução/aumento relativo da TSM. Essa alternância parece ocorrer de modo cíclico, com transições abruptas, como em 2002, onde se observa uma tendência de atenuação dos ventos a norte de 25°S, e uma intensificação a Sul. A estrutura espacial se caracteriza por contribuições relativas nas três escalas. As contribuições nas Escalas Macro foram máximas entre 2001 e 2004, coincidindo as transições entre os regimes de atenuação (2000 a 2001) e intensificação do vento (2003 a 2004) na área de estudo. As contribuições nas Escalas Médias foram máximas em 2004 e 2006, e provavelmente se relacionam a presença de condições diferenciadas em áreas restritas, como as regiões da costa Norte de Santa Catarina (escores negativos em 2004), e a região do entorno de Ilha Bela (escores positivos em 2006). A variabilidade em Escalas Locais foi máxima em 2001, em 2005, e em 2006, sendo mínima em 2002, e 2004.

A distribuição espacial dos escores no DAM 2 (Figura 5.7; painel inferior) apresentou um padrão de variação anual similar ao descrito anteriormente, com alternância de períodos dominados por escores positivos (2000 a 2001 e 2006) e negativos (2002 a 2003). Em 2000 e 2001, observa-se uma atenuação gradativa na componente meridional do vento, ao longo de praticamente toda a área de estudo, a exceção do setor norte (23°S). Em 2003 e 2004 a situação inverte-se, com a intensificação do vento, um decréscimo relativo na TSM e o aumento na concentração de Clorofila- α . Os anos de 2002, 2004 e 2005 apresentam situações de transição entre os cenários anteriores, onde se

observam áreas delimitadas com escores positivos ou negativos. Em 2002 a intensificação do vento na componente meridional estende-se por toda região entre os paralelos 23°S e 27°S. Um padrão inverso é observado em 2004 e 2005, com a atenuação desta componente nos setores norte e central da área de estudo (23°S a 25°S). As estruturas espaciais apresentaram contribuições de todas as escalas, exceto em 2003, onde as variações se restringiram em escalas médias e locais. Mais uma vez, as variações máximas nas Escalas Macro foram observadas durante transições entre regimes de intensificação e atenuação do vento (2002 e 2005) ($R_{aMc}^2 > 0.450$) (Tabela 5.5). As variações em Escalas Médias mantiveram-se altas em todos os anos, atingindo valores menores ($R_{aMd}^2 < 0.30$) nos anos de transição supracitados. As contribuições em Escalas Locais foram máximas em 2000, 2001 e 2003, mantendo-se inferiores a 20 % nos demais anos.

Tabela 5.5 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pós Desova.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DAM 1 | R_{aMc}^2 | 0.116 | 0.289 | 0.390 | 0.279 | 0.177 | 0.090 | 0.045 |
| | AEsp | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| | R_{aMd}^2 | 0.232 | 0.122 | 0.311 | 0.228 | 0.450 | 0.142 | 0.297 |
| | AEsp | 7 | 6 | 8 | 8 | 7 | 4 | 9 |
| | R_{aLo}^2 | 0.296 | 0.360 | 0.119 | 0.292 | 0.142 | 0.423 | 0.476 |
| | AEsp | 20 | 15 | 11 | 13 | 13 | 19 | 16 |
| | R_{aT}^2 | 0.715 | 0.840 | 0.898 | 0.874 | 0.841 | 0.701 | 0.884 |
| | VR | 0.285 | 0.160 | 0.102 | 0.126 | 0.159 | 0.299 | 0.116 |
| DAM 2 | R_{aMc}^2 | 0.086 | 0.015 | 0.454 | - | 0.212 | 0.492 | 0.171 |
| | AEsp | 3 | 1 | 2 | - | 2 | 3 | 2 |
| | R_{aMd}^2 | 0.465 | 0.454 | 0.304 | 0.610 | 0.374 | 0.180 | 0.402 |
| | AEsp | 9 | 9 | 10 | 10 | 5 | 7 | 9 |
| | R_{aLo}^2 | 0.208 | 0.385 | 0.076 | 0.200 | 0.199 | 0.157 | 0.137 |
| | AEsp | 15 | 14 | 9 | 12 | 17 | 12 | 14 |
| | R_{aT}^2 | 0.837 | 0.920 | 0.910 | 0.864 | 0.863 | 0.910 | 0.781 |
| | VR | 0.163 | 0.080 | 0.090 | 0.136 | 0.137 | 0.090 | 0.219 |

R_{aMc}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Macro; R_{aMd}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Médias; R_{aLo}^2 - Coeficientes de Determinação Ajustados para escalas Locais; R_{aT}^2 -

Coeficientes de Determinação Ajustados Totais (considerando todos os Mapas de Autovetores selecionados); AEsp – Número de Mapas de Autovetores Selecionados em cada classe de escalas.

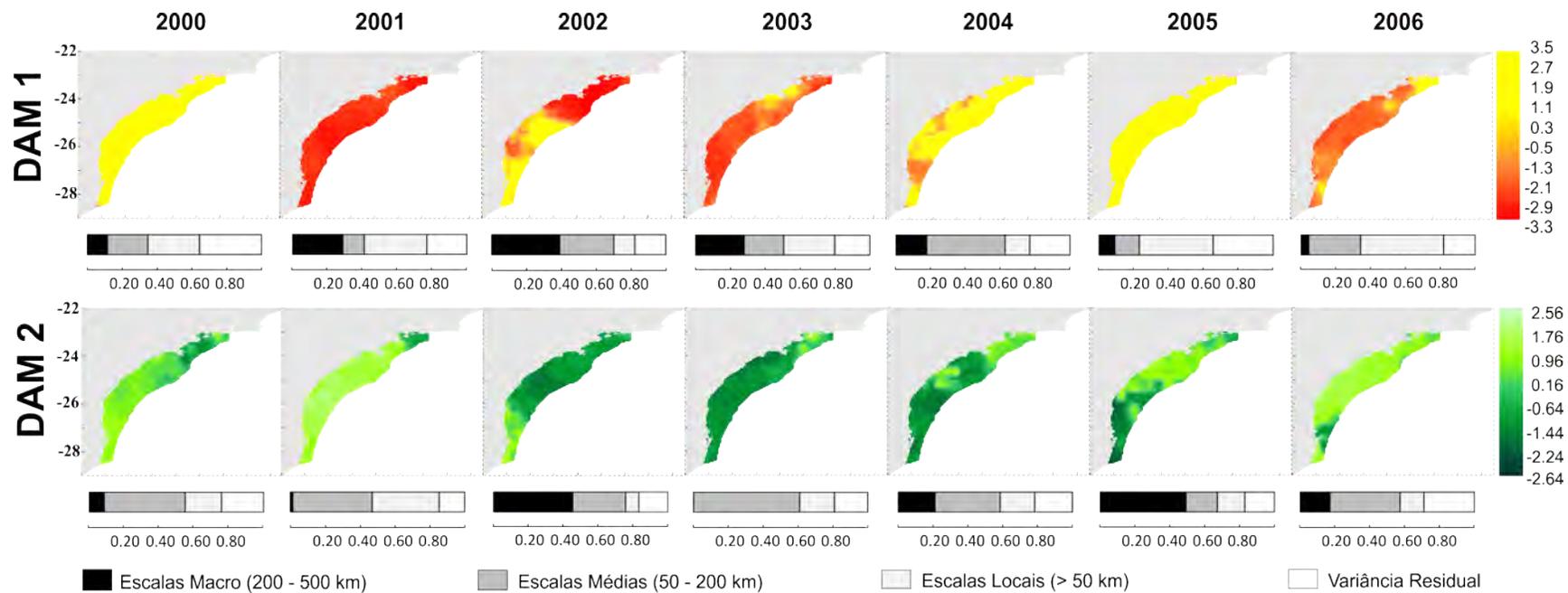


Figura 5.7 - Mapas anuais de distribuição de escores para os Descritores Ambientais Multivariados (DAM 1 e 2), no cenário Pós-Desova (março-abril), e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais.

5.3.2. Cenário Pré-Inverno (Maio a Junho)

Neste cenário de análise, a distribuição espacial de escores no DAM 1 (Figura 5.8 painéis superiores) também se caracterizou pela alternância do predomínio de escores positivos e negativos. Os anos de 2000 a 2002, e 2006 (escores negativos) mostram uma atenuação relativa nos ventos de Nordeste, uma diminuição de W e o aumento nas TSMs, em grande parte da área de estudo. Em 2004 e 2005 (escores positivos), a situação se inverte, a partir da intensificação dos ventos em grande parte da PCSB. Durante a transição entre ambos os regimes (2002 e 2003), observa-se uma intensificação dos ventos nas áreas a sul de 25°S. A estrutura espacial mostrou contribuições máximas em Escalas Macro entre 2001 e 2004 ($R_{aMc}^2 > 0.25$) (Tabela 5.6). Já a variação em escalas médias atingiu máximos em 2002 e 2004 ($R_{aMd}^2 > 0.416$), e mínimos em 2003 e 2006 ($R_{aMd}^2 < 0.164$). As contribuições nas Escalas Locais foram máximas ao início (2000) e ao final (2005 e 2006) do período analisado ($R_{aLo}^2 > 0.240$), decaindo entre 2001 e 2004 ($Ra^2 < 0.194$).

A evolução anual do padrão de distribuição espacial dos escores no DAM 2 mostra uma intensificação dos ventos a sul em praticamente toda a PCSB, nos anos de 2000, 2001 e 2004 (Figura 5.8; painéis inferiores). Esse cenário assume um caráter inverso em 2003 e em 2005. Em 2002, durante a transição entre estes regimes, a intensificação dos ventos aparece restrita ao extremo norte da área de estudo, ao sul (Santa Catarina), e em uma faixa contínua a *offshore* dos litorais de São Paulo e Paraná. Em 2006 essa intensificação restringe-se a porção costeira, entre Santos e Santa Catarina. A estrutura espacial apresentou contribuições em Escalas Macro superiores a 12% da variância explicada, exceto em 2003 ($R_{aMc}^2 = 0.070$). As contribuições das Escalas Médias foram máximas em 2002, 2004 e 2006 (Tabela 5.6). As variações Locais foram máximas entre 2000 e 2001, e entre 2004 e 2005, decaindo em 2002, 2003 e 2006.

Tabela 5.6 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pré-Inverno. Acrônimos - vide Tabela 5.5.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DAM 1 | R_{aMc}^2 | 0.171 | 0.464 | 0.269 | 0.462 | 0.258 | 0.045 | 0.228 |
| | AEsp | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 |
| | R_{aMd}^2 | 0.170 | 0.165 | 0.416 | 0.164 | 0.436 | 0.305 | 0.160 |
| | AEsp | 7 | 8 | 8 | 6 | 8 | 7 | 9 |
| | R_{aLo}^2 | 0.240 | 0.137 | 0.119 | 0.194 | 0.093 | 0.407 | 0.345 |
| | AEsp | 15 | 14 | 11 | 11 | 12 | 17 | 16 |
| | R_{aI}^2 | 0.634 | 0.851 | 0.876 | 0.888 | 0.864 | 0.816 | 0.813 |
| | VR | 0.366 | 0.149 | 0.124 | 0.112 | 0.136 | 0.184 | 0.187 |
| | | | | | | | | |
| DAM 2 | R_{aMc}^2 | 0.147 | 0.218 | 0.218 | 0.070 | 0.126 | 0.208 | 0.293 |
| | AEsp | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| | R_{aMd}^2 | 0.221 | 0.226 | 0.412 | 0.164 | 0.305 | 0.133 | 0.308 |
| | AEsp | 7 | 6 | 9 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| | R_{aLo}^2 | 0.256 | 0.267 | 0.169 | 0.164 | 0.345 | 0.331 | 0.158 |
| | AEsp | 19 | 19 | 14 | 15 | 16 | 14 | 14 |
| | R_{aI}^2 | 0.693 | 0.789 | 0.884 | 0.432 | 0.850 | 0.727 | 0.830 |
| | VR | 0.307 | 0.211 | 0.116 | 0.568 | 0.150 | 0.273 | 0.170 |
| | | | | | | | | |

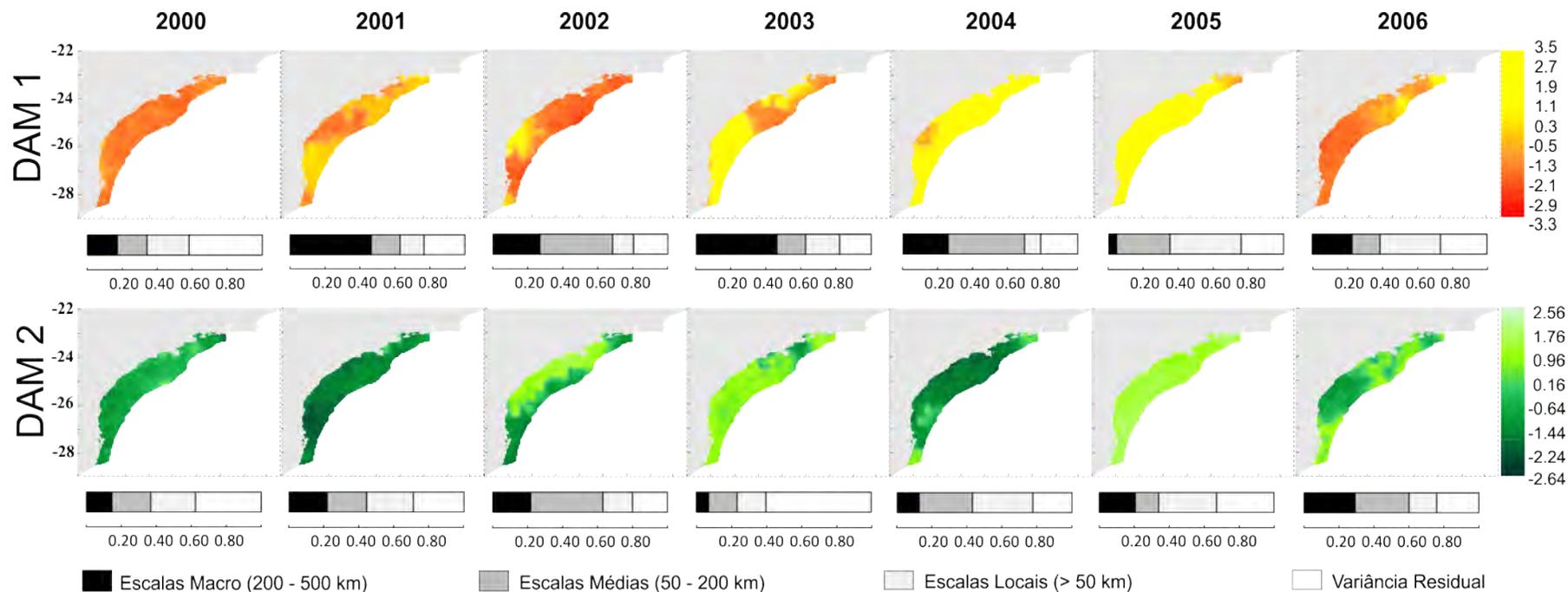


Figura 5.8 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Pré-Inverno (maio-junho); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais.

5.3.3. Cenário de Inverno (Julho-Agosto)

Durante os meses de julho e agosto, a PCSB se mostra dominada por um ciclo aproximadamente bi anual, que intercala cenários de intensificação (anos pares), e atenuação (anos ímpares) do vento Nordeste (Figura 5.9). No período coberto pelos dados de pesca, os anos de 2001 e 2003 representam cenários de atenuação, enquanto 2000 e 2002 se caracterizam por uma intensificação dos ventos. A estrutura espacial mostra variações em Escalas Macro mais proeminentes em 2001, 2002 e 2004 ($R_{aMc}^2 > 0.228$), e mínimas em 2006 ($R_{aMc}^2 = 0.09$) (Tabela 5.7). A variabilidade em Escalas Médias respondeu por um mínimo de 25% da estrutura espacial, em praticamente todos os anos analisados, atingindo a contribuição máxima em 2006 ($R_{aMd}^2 = 0.576$). As variações em Escalas Locais explicaram entre 14.8% (2006) e 41.9% (2003) das estruturas espaciais analisadas.

A variação interanual na distribuição espacial de escores no DAM 2 mostra uma intensificação dos ventos a Sul, e uma tendência de redução na TSM, durante os primeiros quatro anos da série (período coberto pelos dados de pesca) (Figura 5.9, painéis inferiores). Em 2005 e 2006, observa-se uma situação inversa, com predominância de escores positivos (atenuação na componente meridional do vento e tendência de aumento na TSM). Em 2006 ocorre nova intensificação dos ventos a Sul ao longo de toda a área de estudo. A estrutura espacial mostra uma importância relativa maior para as Escalas Médias ($R_{aMd}^2 < 0.25$), na maior parte dos anos. As contribuições máximas nas Escalas Macro são observadas em 2002 ($R_{aMc}^2 = 0.272$), sendo praticamente ausentes em 2006 ($R_{aMc}^2 = 0.01$). As variações em Escalas Locais se mostram maiores nos dois anos iniciais e finais da série ($R_{aLo}^2 > 0.214$) (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário de Inverno. Acrônimos – vide Tabela 5.5.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DAM 1 | R_{aMc}^2 | 0.050 | 0.228 | 0.289 | 0.010 | 0.303 | 0.096 | 0.090 |
| | AEsp | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 |
| | R_{aMd}^2 | 0.509 | 0.249 | 0.294 | 0.263 | 0.308 | 0.310 | 0.576 |
| | AEsp | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 | 11 | 11 |
| | R_{aLo}^2 | 0.288 | 0.280 | 0.198 | 0.419 | 0.154 | 0.303 | 0.148 |
| | AEsp | 14 | 16 | 10 | 20 | 15 | 13 | 14 |
| | R_{aT}^2 | 0.920 | 0.837 | 0.844 | 0.752 | 0.841 | 0.779 | 0.895 |
| | VR | 0.080 | 0.163 | 0.156 | 0.248 | 0.159 | 0.221 | 0.105 |
| | | | | | | | | |
| DAM 2 | R_{aMc}^2 | 0.126 | 0.090 | 0.272 | 0.131 | 0.157 | 0.141 | 0.015 |
| | AEsp | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| | R_{aMd}^2 | 0.307 | 0.286 | 0.408 | 0.288 | 0.493 | 0.246 | 0.342 |
| | AEsp | 9 | 9 | 7 | 6 | 10 | 6 | 8 |
| | R_{aLo}^2 | 0.214 | 0.327 | 0.110 | 0.186 | 0.114 | 0.374 | 0.346 |
| | AEsp | 16 | 15 | 15 | 15 | 12 | 17 | 10 |
| | R_{aT}^2 | 0.719 | 0.768 | 0.874 | 0.659 | 0.839 | 0.827 | 0.745 |
| | VR | 0.281 | 0.232 | 0.126 | 0.341 | 0.161 | 0.173 | 0.255 |
| | | | | | | | | |

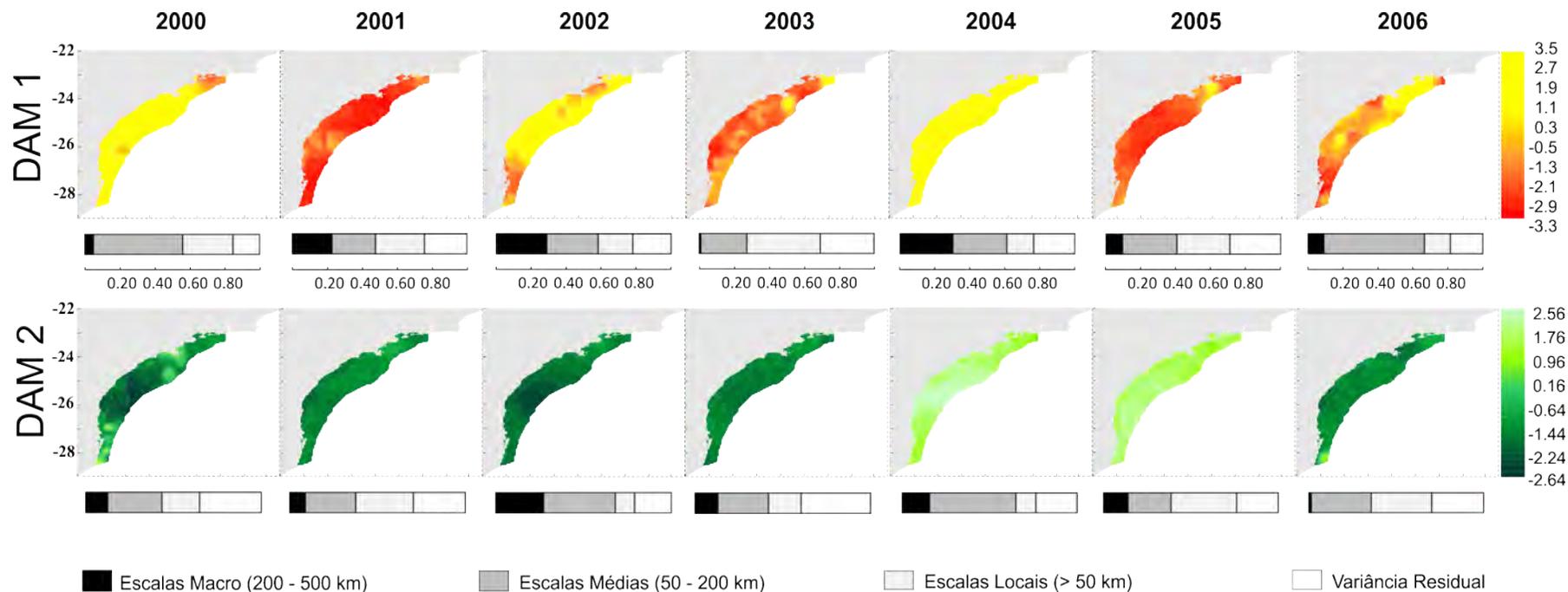


Figura 5.9 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Inverno (julho-agosto); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais.

5.3.4. Cenário Pré-Desova (Setembro-Novembro)

A distribuição espacial de escores do DAM 1 mostra uma intensificação dos ventos de Nordeste, em grande parte da área de estudo, entre 2000 e 2002, seguida de um período de atenuação no biênio 2003/2004 (Figura 5.10, painel superior). Em 2005 as velocidades dos ventos se apresentam próximas à média na porção sul (escores próximos à zero). Em 2006, a atenuação é restrita à região entre Paranaguá e Santa Catarina. Apesar da predominância de escores positivos no período de 2000 a 2002, é possível se observar áreas bem delimitadas com escores próximos de zero (2000), ou negativos (2001/2002), localizadas na costa de Paranaguá, no entorno de Ilha Bela, e no extremo Norte da área de estudo. O mesmo ocorre durante episódios de intensificação do vento (2003; 2004): áreas como a região entre Cananéia e Paranaguá, e a região do entorno de Ilha Bela apresentam valores de escores próximos à zero, ou positivos. A Estrutura espacial mostra contribuições maiores em escalas Macro nos anos de 2000 ($R_{aMc}^2 = 0.414$), e entre 2003 e 2006 ($R_{aMc}^2 > 0.298$). As contribuições em Escalas Médias são máximas entre 2001 e 2003, e em 2005 ($Ra^2 > 0.308$). As contribuições em Escalas Locais mantiveram-se acima de 20% entre 2000 e 2002, decaindo nos anos subsequentes.

As variações temporais na distribuição espacial dos escores no DAM 2 (Figura 5.10, painel inferior) foram mais intensas, com uma alternância quase anual entre períodos de intensificação (2000, 2002, 2003 e 2005) e atenuação (2001, 2004 e 2006) dos ventos a sul. Variações localizadas na intensidade do vento são observadas no setor sul da área de estudo (atenuação em 2000 e 2003, intensificação em 2001), e a sudoeste de Ilha Bela (atenuação em 2000 e 2002). A estrutura espacial mostra contribuições máximas das escalas Macro em 2003 e 2004. As variações em Escalas Médias são máximas entre 2001 e 2002 ($R_{aMd}^2 > 0.374$), e em 2006 ($R_{aMd}^2 = 0.475$). As variações em escalas Locais atingem máximos em 2002 e 2005 ($R_{aLo}^2 = 0.374$; 0.285 , respectivamente), apresentando uma importância relativa secundária no demais anos.

Tabela 5.8 - Resultados da decomposição em escalas espaciais dos Descritores Ambientais Multivariados: cenário Pré-Desova. Acrônimos – vide Tabela 5.5.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DAM 1 | R_{aMc}^2 | 0.414 | 0.192 | 0.090 | 0.329 | 0.444 | 0.299 | 0.411 |
| | AEsp | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| | R_{aMd}^2 | 0.128 | 0.377 | 0.374 | 0.350 | 0.232 | 0.308 | 0.246 |
| | AEsp | 7 | 10 | 8 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| | R_{aLo}^2 | 0.200 | 0.208 | 0.374 | 0.168 | 0.142 | 0.186 | 0.142 |
| | AEsp | 12 | 15 | 14 | 12 | 13 | 15 | 13 |
| | R_{aI}^2 | 0.809 | 0.860 | 0.909 | 0.921 | 0.898 | 0.874 | 0.876 |
| | VR | 0.191 | 0.140 | 0.091 | 0.079 | 0.102 | 0.126 | 0.124 |
| | | | | | | | | |
| DAM 2 | R_{aMc}^2 | 0.121 | 0.192 | 0.090 | 0.424 | 0.523 | 0.055 | 0.080 |
| | AEsp | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| | R_{aMd}^2 | 0.419 | 0.377 | 0.374 | 0.251 | 0.159 | 0.286 | 0.475 |
| | AEsp | 7 | 10 | 8 | 10 | 7 | 9 | 9 |
| | R_{aLo}^2 | 0.164 | 0.208 | 0.374 | 0.119 | 0.104 | 0.285 | 0.169 |
| | AEsp | 15 | 15 | 14 | 11 | 12 | 20 | 14 |
| | R_{aI}^2 | 0.771 | 0.860 | 0.909 | 0.875 | 0.864 | 0.692 | 0.793 |
| | VR | 0.229 | 0.140 | 0.091 | 0.125 | 0.136 | 0.308 | 0.207 |
| | | | | | | | | |

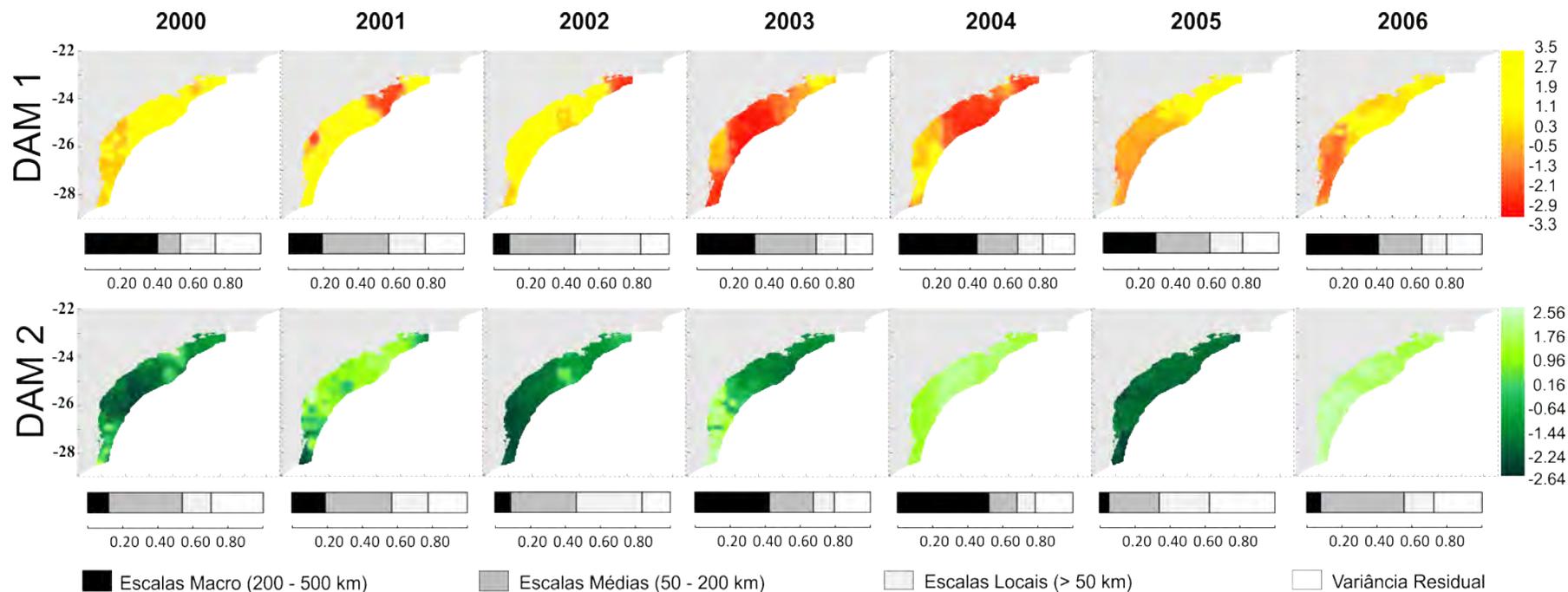


Figura 5.10 - Mapas anuais de distribuição de escores para os DAM 1 e 2 no cenário Pré-Desova (setembro-novembro); e resultados gráficos (barras horizontais) da decomposição em escalas espaciais.

5.4. Variações temporais na estrutura espacial

5.4.1. Captura por Unidade de Esforço

A estruturação espacial da CPUE se mostrou altamente significativa em todos os cenários de análise, sendo um pouco menos evidente nos meses Pós-desova ($R^2 < 0.700$). A interação altamente significativa ($p < 0.01$) entre os fatores tempo e espaço corrobora a existência de variações interanuais na estrutura espacial, em todos os cenários de análise (Tabela 5.9). O comportamento temporal da CPUE, em cada quadrante de pesca, não apresentou estrutura significativa em nenhum dos cenários analisados ($p > 0.395$).

Tabela 5.9 - Resultados dos Modelos ANOVA: variações espaço-temporais nas distribuições de CPUE em cada cenário de análise.

| | Espaço | | | Tempo | | | Interação | | |
|-------------|----------------|-------|----|----------------|-------|-------|----------------|-------|----|
| | R ² | F | p | R ² | F | p | R ² | F | p |
| Pós-Desova | 0.664 | 2.440 | ** | 0.320 | 0.887 | 0.919 | 0.185 | 1.292 | ** |
| Pré-Inverno | 0.727 | 3.017 | ** | 0.290 | 1.032 | 0.395 | 0.184 | 1.547 | ** |
| Inverno | 0.709 | 2.804 | ** | 0.383 | 0.912 | 0.755 | 0.252 | 1.655 | ** |
| Pré-Desova | 0.721 | 3.049 | ** | 0.279 | 0.952 | 0.690 | 0.172 | 1.437 | ** |

Graus de liberdade (g.l.) empregados em cada teste – 700 (Fator espaço); 576 (Fator tempo); 873 (interação). Para o período de inverno (julho-agosto): g.l. = 400 (Fator espaço); 192 (Fator tempo); 300 (interação); ** $p < 0.01$.

5.4.2. Descritores Ambientais Multivariados

Os resultados dos modelos ANOVA aplicados aos gradientes definidos pelas variáveis DAM, derivadas de Sensoriamento Remoto, mostram uma estruturação espacial altamente significativa nos três gradientes representados ($p < 0.01$) (Tabela 5.10). As estruturas espaciais apresentam variação significativa no tempo, em praticamente todos os cenários de análise. A única

exceção correspondeu à estrutura espacial do DAM 2 no cenário de Pré-Desova. Neste caso o valor de p manteve-se muito próximo ao limite de rejeição ($\alpha = 0.05$), o que levou a uma não rejeição da hipótese nula (ausência de diferenças).

As variações temporais dos escores no DAM 1 foram significativas em todos os cenários de análise, a exceção do período de Inverno. Conforme observado na Figura 5.8 (página 181), a variação temporal deste descritor no cenário Inverno se caracteriza por um padrão aproximadamente bi anual, onde a PCSB se mostra dominada por escores positivos (intensificação do vento de Nordeste), ou negativos (atenuação dos ventos de Nordeste). Neste caso específico, a não significância do fator tempo, pode estar relacionada à redução do número de variáveis codificadoras de tempo empregadas no modelo ANOVA (que equivale ao número de PCNMs dividido por dois; $t/2$), o que reduziria o poder de detecção do método no caso de variações em alta frequência.

A variável DAM 2 apresentou estruturação espacial mais evidente no cenário Pós-Desova ($R^2 = 0.408$), e mais fraca (porém significativa) durante o cenário de Inverno ($R^2 = 0.042$), mostrando uma divisão espacial de ambientes mais clara no primeiro cenário. As estruturas temporais foram significativas em ambos os cenários, atestando a variabilidade em escalas interanuais para as anomalias da componente meridional do vento. Nos demais cenários de análise a variação temporal não mostra uma estrutura significativa.

Tabela 5.10 - Resultados dos Modelos ANOVA: Descritores Ambientais Multivariados (DAM).

| Cenário | Espaço | | | Tempo | | | Interação | | |
|--------------|----------------|--------|----|--------------------|--------------------|----|----------------|-------|----|
| | R ² | F | p | R ² | F | p | R ² | F | p |
| DAM 1 (PC 1) | | | | | | | | | |
| Pós-Desova | 0.200 | 19.136 | ** | 0.535 | 0.535 | * | 0.102 | 3.201 | ** |
| Pré-Inverno | 0.288 | 16.746 | ** | 0.670 | 2.127 | ** | 0.145 | 3.175 | ** |
| Inverno | 0.241 | 15.840 | ** | 0.324 ¹ | 0.487 ¹ | ns | 0.167 | 6.545 | ** |
| Pré-Desova | 0.567 | 20.355 | ** | 0.602 | 1.547 | ** | 0.287 | 3.044 | ** |
| DAM 2 (PC 2) | | | | | | | | | |
| Pós-Desova | 0.408 | 20.064 | ** | 0.759 | 3.344 | ** | 0.280 | 6.560 | ** |
| Pré-Inverno | 0.262 | 12.205 | ** | 0.480 | 0.949 | ns | 0.163 | 4.717 | ** |
| Inverno | 0.042 | 10.473 | ** | 0.835 | 5.122 | ** | 0.029 | 6.086 | ** |
| Pré-Desova | 0.226 | 14.747 | ** | 0.129 | 0.150 | ns | 0.063 | 1.168 | ns |

Graus de liberdade (g.l.) empregados em cada teste – 700 (Fator espaço); 576 (Fator tempo); 873 (interação). ** p < 0.01; * p < 0.05; ns – p > 0.05.

5.5. Relações de dependência espacial com o ambiente físico

Os resultados gráficos das Análises de Codependência Multiescala (ACM) são exibidos nas Figuras 5.11 a 5.14; e consistem da plotagem dos coeficientes de codependência ($C_{x,y,w}$; eixo y dos gráficos de barras) ao longo das escalas espaciais (representadas no eixo x). A representação das classes de escalas com base no conjunto de AEsp criado a partir da *Grade de Quadrantes de Pesca* (Figura 3.4; página 64) segue os limites apresentados na Tabela 3.11 (página 98). Para uma melhor apresentação e descrição dos resultados, as distribuições espaciais dos escores de cada DAM (apresentadas previamente na Seção 5.2) serão reapresentadas, juntamente aos resultados das ACMs.

De um modo geral, a maior parte das associações significativas concentra-se nas escalas Macro e Médias. Os coeficientes relativos às escalas Locais (< 50km) foram omitidos das figuras, uma vez que sua significância apresentou comportamento errático.

Resultados numéricos, incluindo os valores de $C_{x,y,W}$ significativos, e os resultados dos testes de permutação (valores de τ e p), são apresentados nas Tabelas A.19 a A.30, do Apêndice A.2.

5.5.1. Cenário Pós-Desova (março – abril)

As relações com a variável DAM 1 se mostram positivas nas escalas macro, nos anos 2000, e entre 2003 e 2005 (vide gráficos de barra na Figura 5.11). Esse resultado mostra uma associação positiva entre uma intensificação relativa dos ventos de nordeste, a distribuição em escalas macro da CPUE. Vale lembrar que a intensificação dos ventos de nordeste está associada ao incremento do transporte vertical (W), e a um decréscimo relativo na TSM. Em 2001 e 2002 essa associação assume caráter predominantemente negativo nas escalas macro, muito embora correlações positivas também sejam observadas nesta escala em 2001. Estas relações negativas coincidem com uma tendência de atenuação dos ventos NE, entre 2001 e 2003 (vide mapas do DAM 1 na Figura 5.11). Em 2006 não se observam relações significativas nesta classe de escalas.

As associações nas escalas Médias se apresentam positivas com a intensificação do vento NE em 2000, adotando caráter negativo em 2002, e entre 2004 e 2006. Em 2006 observa-se uma transição nos sinais de codependência, que assumem sinal positivo com o decréscimo das escalas espaciais (eixo x) (Figura 5.11). Essas variações de sinal coincidem com uma tendência de atenuação dos ventos de Nordeste, conforme indicado pela predominância de valores negativos (em vermelho) neste ano.

As relações entre a CPUE e o DAM 2 mostram, nas escalas Macro, uma tendência de associação positiva com a intensificação da componente meridional do vento (no caso, dada por coeficientes de codependência negativos) (Figura 5.11; painéis inferiores). Em 2002 e 2004 observam-se

transições de sinal nas escalas Macro (Mc), variando de negativas (coeficientes positivos) para positivas (coeficiente negativos) com o decréscimo das escalas. As distribuições espaciais de escores mostram, nestes anos, uma intensificação relativa do vento, que seriam acompanhadas por reduções relativas na TSM, e aumentos relativos nas concentrações de Clorofila- α . Em 2006 a situação se inverte, e os coeficientes variam de positivos para negativos com o decréscimo da escala espacial. Neste ano, a situação dominante mostra uma atenuação da componente meridional do vento (escores positivos, em verde claro), ao longo de toda a área de estudo.

A associação com a componente meridional do vento assume um padrão complexo nas escalas Médias (Md). Os coeficientes significativos apresentam sinais positivos e negativos nesta classe de escala em 2001, 2003 e 2005, e mostram, em 2001, uma transição de sinal positivo (associação negativa com a componente) para negativo (associação positiva com a componente) com o decréscimo das escalas espaciais. Em 2002, a associação é exclusivamente positiva. Em 2003 e 2005 observa-se uma transição entre associações positivas (coeficientes negativos) e negativas (coeficientes positivos), coincidente com atenuações localizadas na velocidade da componente meridional, no setor Norte da PCSB (Figura 5.11). Em 2006 (atenuação em toda a PCSB), a correlação como o gradiente assume sinal exclusivamente negativo. Vale ressaltar que, entre 2001 e 2005, grande parte das relações significativas é detectada nas escalas entre 70 km e 80 km (correspondendo aos AEsp 10 e 11) (Tabela B.23, Apêndice B).

Nas escalas Locais, as relações significativas entre a CPUE e a intensificação do vento nas componentes zonal e meridional foram exclusivamente negativas, sendo observadas em 2001, 2003 e 2005.

É possível se observar que os episódios de expansão das áreas de captura, ocorridos em 2001 e 2004, transcorreram sob condições ambientais distintas. Em 2001 a expansão ocorre sob condições de atenuação do vento, transporte

vertical fraco, e TSMs mais altas na região da plataforma continental média de São Paulo. Um cenário ambiental oposto caracteriza o episódio de expansão de 2004, ocorrido sob condições de intensificação dos ventos (ambas as componentes), aumento no transporte vertical, redução relativa na TSM, e concentrações de Clorofila- α mais elevadas (vide resultados para o DAM 1 e 2, na Figura 5.11).

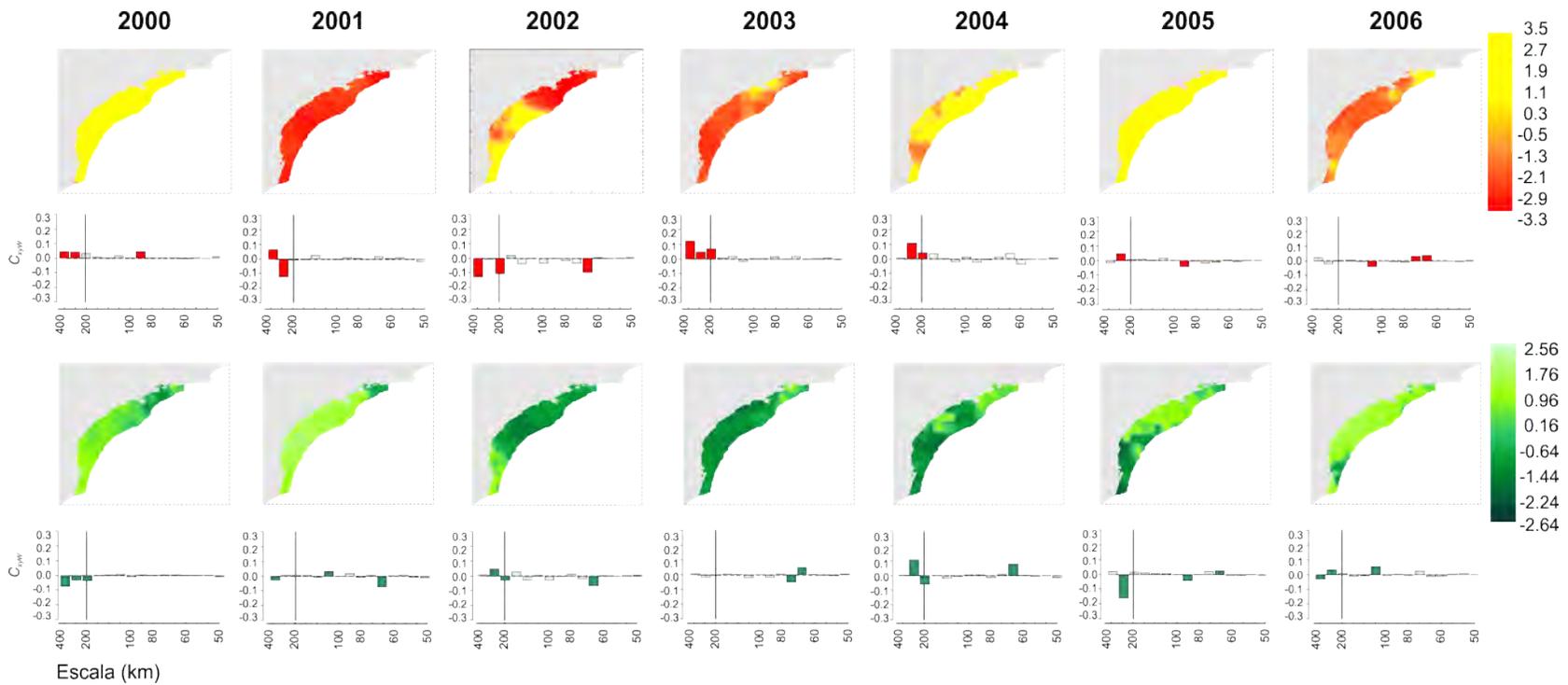


Figura 5.11 – Representações gráficas (barras) para os Coeficientes de Codependência (C_{xyw} ; no eixo y), relacionando as distribuições de CPUE no cenário Pós-Desova (março a abril) aos DAM, ao longo de diferentes escalas espaciais (eixo x). Escalas Locais omitidas por questões de espaço.

5.5.2. Cenário Pré-Inverno (maio – junho)

As relações entre a CPUE e o gradiente relacionado à intensidade do vento nordeste (DAM 1) se mostram positivas nas escalas Macro, em 2001 e 2003 (Figura 5.12, painéis superiores). Nestes anos a tendência predominante é de atenuação do vento nordeste, ocasionando diminuição de W , e aumento na TSM. Entre 2004 e 2006 as relações são positivas, coincidindo com período de intensificação em 2004/2005. Em 2004 observa-se transição de sinal negativo para positivo, com o decréscimo das escalas Macro. Nas escalas Médias, as relações apresentam sinais exclusivamente positivos em 2001, 2004 e 2006, e sinais negativos em 2002 e 2005, não mantendo relação aparente com tendências de intensificação/atenuação, observadas nos mapas de distribuição de escores do DAM 1, reproduzidos na Figura 12.

Em 2000, e entre 2004 e 2006, a distribuição da CPUE mostra-se negativamente correlacionada (coeficientes positivos) com o gradiente de intensificação da componente meridional do vento (DAM 2) nas escalas Macro (Figura 5.12; painéis inferiores). Em 2000 a distribuição de escores negativos na PCSB mostra um aumento generalizado na velocidade meridional, acompanhada de reduções na temperatura e aumento na Clorofila- α . Entre 2004 e 2006 o comportamento espacial deste gradiente oscila anualmente, mostrando uma intensificação da componente meridional ao longo de quase toda a região de estudo em 2004, uma atenuação generalizada em 2005, e incrementos localizados na região do entorno de Paranaguá, e na costa do Rio de Janeiro em 2006. As relações positivas observadas em 2001 e 2002 coincidem com condições associadas a intensificação do vento meridional, localizadas na região da costa de Santa Catarina.

Nas escalas Médias os sinais das correlações assumem sinais positivos em 2000 e 2003, e negativos em 2001 e 2002. Em 2006 as associações com esta componente assumem sinal positivo (coeficiente negativo) com o decréscimo das escalas (Figura 5.12).

Nas escalas Locais não se observam relações de codependência significativas com a intensidade do vento Nordeste (DAM 1). Nos anos de 2002 e 2005, a CPUE apresenta uma distribuição positivamente associada a intensificação da componente meridional (DAM 2) nestas escalas.

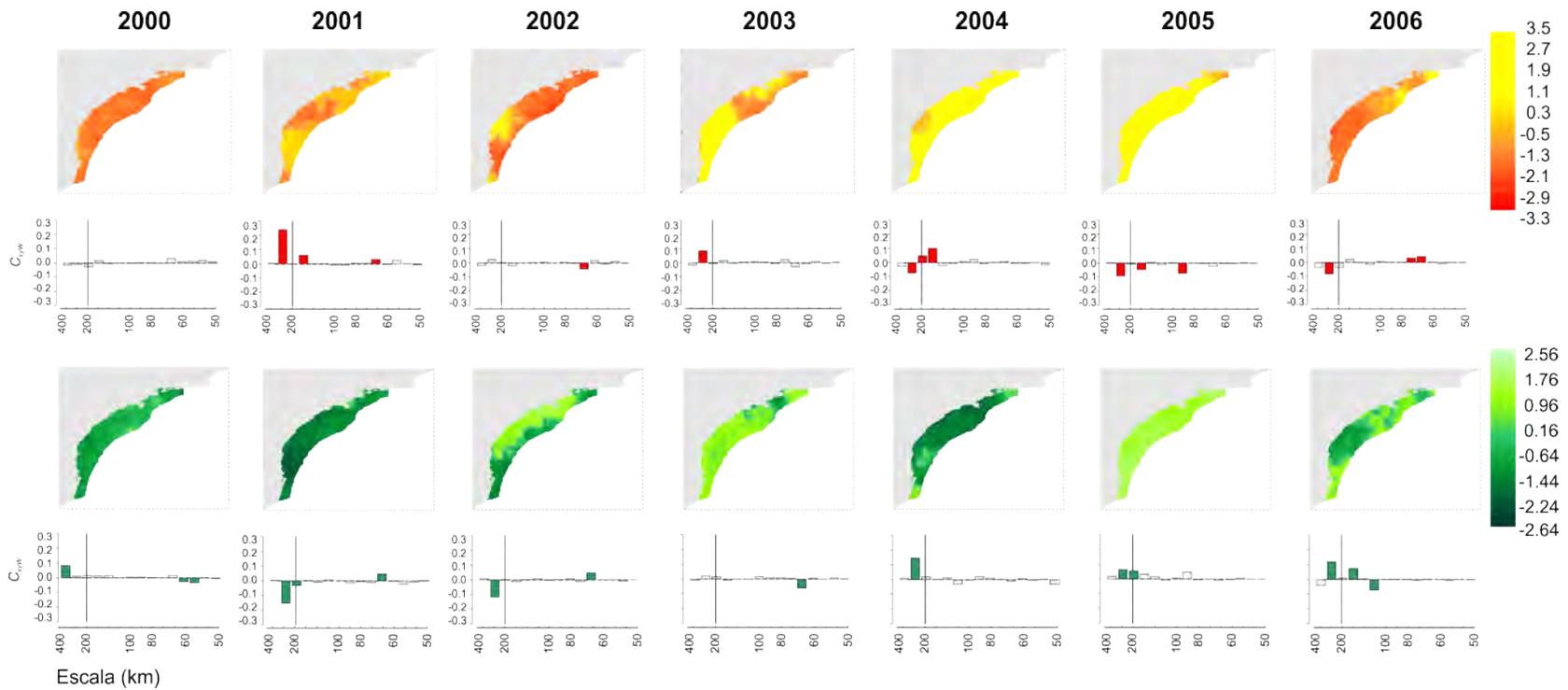


Figura 5.12 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Pré-Inverno (maio a junho).

5.5.3. Cenário de Inverno (julho – agosto)

Durante os meses de julho e agosto, a relação entre a CPUE e a intensificação do vento se manteve positiva nas escalas Macro, durante o período de 2000 a 2002, assumindo um sinal negativo em 2003 (Figura 5.13, painéis superiores). A variação anual deste gradiente no período coberto pelos dados de pesca mostra uma alternância de anos caracterizados por atenuação/intensificação do vento Nordeste, com períodos que seriam dominados por TSMs mais baixas (2000 e 2002) e mais altas (2001; 2003). Nas escalas Médias as associações se mantiveram positivas durante o biênio 2001/2002, assumindo caráter exclusivamente negativo nos anos precedentes (2000) e posteriores (2003).

As associações com o gradiente do vento meridional (DAM 2) (Figura 5.13, painéis inferiores) são positivas nas escalas Macro, entre 2000 e 2002, invertendo de sinal em 2003. Nas escalas médias estas associações mostraram-se positivas em todos os anos cobertos pelos dados de CPUE. Em 2000 e 2003, os coeficientes são negativos nas escalas de 100km (2000) e 160km (2003), assumindo sinais positivos em escalas menores (~ 70 km).

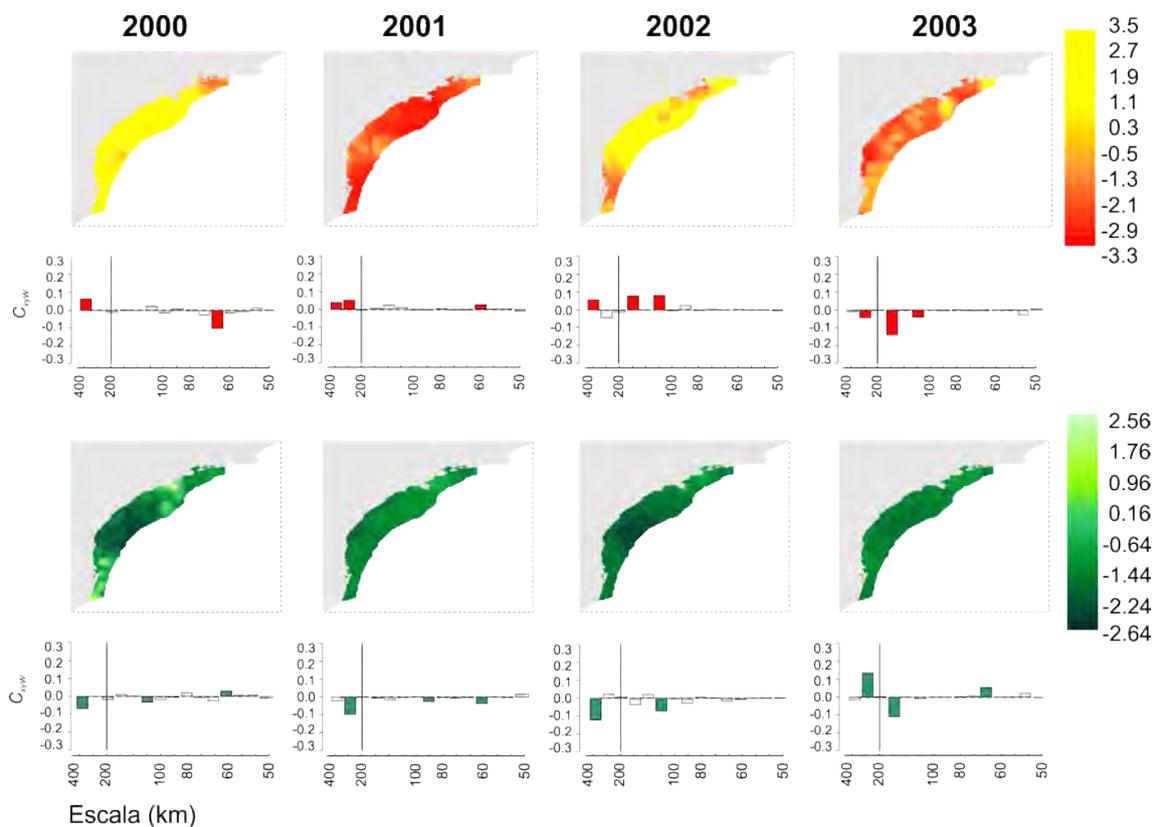


Figura 5.13 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Inverno (julho a agosto).

Além da relação positiva com a intensificação dos ventos (zonal e meridional), observada entre 2000 e 2002, a CPUE mostra-se, neste cenário, negativamente associada a TSM, e positivamente associada a Clorofila- α . Nota-se ainda que a expansão da área de captura registrada em 2002 ocorreu sob condições de intensificação dos ventos e TSMs mais baixas.

5.5.4. Cenário Pré-Desova (setembro – novembro)

Nas escalas Macro, a relação entre a CPUE e o gradiente relacionado a intensificação do vento Nordeste (DAM 1) se mostra exclusivamente negativa nos biênios 2001/2002, e 2005/2006, assumindo caráter positivo no biênio 2003/2004 (Figura 5.14, painéis superiores). As relações negativas coincidem

com períodos de intensificação do vento ao longo de grande parte da PCSB, entre 2000 e 2002, e entre 2005 e 2006. Em 2003/2004 (coeficiente positivos), escores negativos mostram a atenuação do vento Nordeste em grande parte da plataforma continental entre Santos/Ilha Bela e Cananéia/Paranaguá. Em 2000 a intensificação do vento ocorre de forma espacialmente mais homogênea, e os coeficientes de codependência assumem sinal positivo (maior) e negativo (menor) nesta classe de escalas.

Nas escalas Médias as associações são exclusivamente positivas em 2000, 2002 e 2005, e predominantemente negativas nos demais anos (Figura 5.14). Inversões de sinal e coeficientes baixos ($C_{xyW} < 0.050$) (Tabela B.22 do Apêndice B) caracterizam as relações nestas escalas em 2003; 2004 e 2006.

Para o gradiente relacionado a componente meridional do vento (DAM 2; vide Figura 5.14, painéis inferiores), os coeficientes nas escalas Macro se mostram predominantemente positivos entre 2000 e 2003, indicando uma associação negativa com o incremento da componente meridional do vento. Neste intervalo, a tendência de intensificação nas velocidades da componente meridional domina grande parte da região de estudo, a exceção do ano de 2001. Apesar das associações predominantemente negativas (dadas por coeficientes positivos de maior valor absoluto; vide Tabela B.26 do Apêndice A.2), os coeficientes para os anos de 2001 a 2003 alternam sinais positivos e negativos nas escalas Macro. Em 2004 a distribuição espacial da CPUE mantém associação positiva com o conjunto de condições associadas a intensificação do vento (coeficientes negativos). Neste ano, a PCSB encontra-se tomada por escores positivos, indicando a prevalência de condições inversas (TSMs mais altas e um decréscimo nas concentrações de Clorofila- α). Nas escalas Médias, as relações são positivas em 2000, 2003/2004 e 2006, assumindo sinal negativo em 2001/2002 e 2005. De um modo geral, as variações nos coeficientes não acompanham as tendências de intensificação/atenuação do vento (vide os mapas de escores para os DAM 1 e 2; Figura 5.14).

Nas escalas locais, as relações significativas de codependência envolveram associações positivas e negativas com o DAM 2, observadas apenas no ano de 2005.

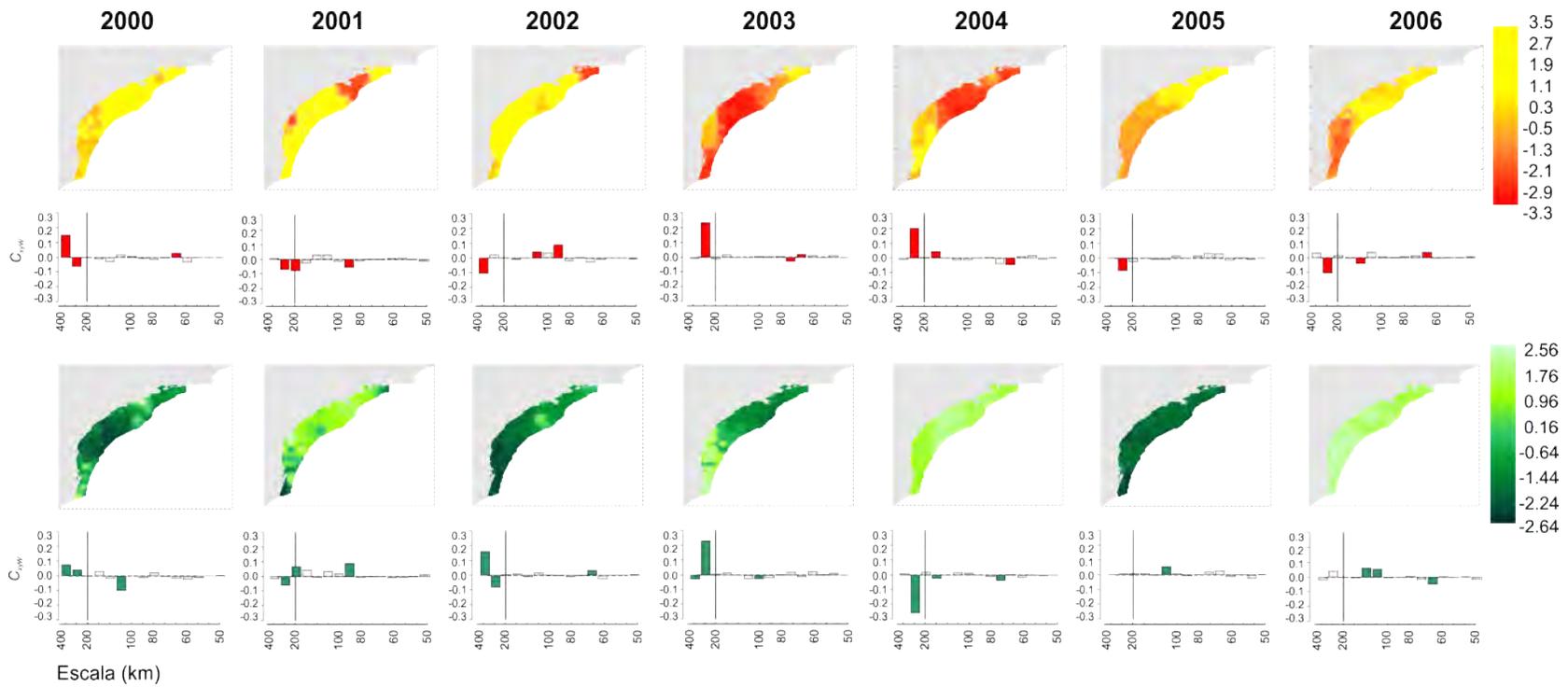


Figura 5.14 - Representação gráfica dos Coeficientes de Codependência para o cenário Pré-Desova (setembro a novembro).

5.6. Discussão

5.6.1. Estrutura espacial das áreas de captura: padrões de variabilidade

Neste trabalho foram avaliados, pela primeira vez, os padrões de abundância e distribuição espacial da sardinha verdadeira durante sua fase adulta, com base nas informações disponíveis de captura pela frota pesqueira de cerco, para o período compreendido entre 2000 e 2006. A descrição da dinâmica de sua estrutura espacial foi conduzida a partir da análise de suas escalas de variabilidade, em diferentes cenários definidos em função do ciclo biológico da espécie.

A distribuição das áreas de captura da sardinha verdadeira apresentou estruturação espacial significativa nos quatro cenários analisados (Pós-desova, Pré-Inverno, Inverno, Pré-Desova). A estrutura apresenta contribuições das três classes de escalas espaciais, variando significativamente com o tempo em todos os cenários de análise. Estas variações não ocorreram em padrões temporais bem definidos, o que tornou necessária a condução de uma análise ano a ano da estrutura espacial (LALIBERTÉ et al., 2009; LEGENDRE et al., 2010).

O padrão geral de distribuição, inferido através dos dados de captura, mostra áreas preferenciais de concentração bem delimitadas, com extensão entre 100 e 200 km, correspondente a organização espacial de sub estoques (FRÉON et al., 2005) (vide Tabela 2.1, página 26). Esse modo de organização espacial é uma característica recorrente no grande grupo das sardinhas, sendo observada em espécies com ampla distribuição geográfica como *Sardina pilchardus* e *Sardinops sagax* (BARANGE; HAMPTON, 1997; BARANGE et al., 2005; 2009). A sardinha verdadeira adulta tende a formar agregados (núcleos de ocorrência) em áreas recorrentes como a Baía de Ilha Grande, a plataforma interna (profundidades < 50 m) a sudoeste de Ilha Bela, e entre o complexo estuarino de Paranaguá e a costa Norte de Santa Catarina. A importância relativa destas áreas varia ano a ano, independente do cenário de análise considerado.

No cenário de Pós-Desova, as principais áreas de ocorrência concentram-se na porção norte e central da área de estudo, mais particularmente nas regiões de Santos e da Baía de Ilha Grande. De um modo geral, a variabilidade da estrutura nas escalas Macro (200 km – 400 km) reflete esse padrão polarizado de distribuição. As variações ano a ano envolvem expansões (2001 e 2004) e contrações (2000; 2002 e 2003) do núcleo de captura localizado em Santos. Não obstante, as áreas de captura também podem sofrer deslocamento para o extremo norte da área de estudo (2002), ou uma fragmentação em núcleos menores (2005), neste caso ocupando áreas mais a Sul da PCSB (Paranaguá/Norte de Santa Catarina). Em ambos os casos, observa-se um aumento da importância relativa das escalas Médias e Locais, que pode ser associado às contrações das principais áreas de ocorrência, e à fragmentação das áreas de captura em núcleos de menores dimensões.

Durante a transição do outono para o inverno (de maio a agosto), a sardinha adulta desloca-se a sul, ocupando preferencialmente a costa Norte de Santa Catarina. Este deslocamento é acompanhado de uma contração nas áreas de distribuição. A importância relativa do núcleo de captura de Santos é drasticamente reduzida em todos os anos da série, a exceção de 2000. Apesar deste padrão, recorrente em ambos os cenários, as estruturas espaciais apresentam variações significativas em escalas de tempo superiores a interanual. No cenário Pré-Inverno, esta variação provavelmente reflete diferentes níveis de dispersão das capturas, conforme observado em 2002 e 2003, e uma maior polarização na costa norte de Santa Catarina (2001; 2004 e 2006) (vide Figura 5.3; página 164). Durante julho e agosto (Inverno) as principais áreas de ocorrência sofrem ligeira expansão para a região de Paranaguá, podendo se estender pela plataforma interna até a região de Cananéia, conforme observado em 2002 (vide Figura 5.4; página 166).

A distribuição da sardinha apresenta um padrão mais complexo durante o cenário Pré-Desova (setembro a novembro). As principais áreas de posicionamento dos sub estoques (Ilha Grande, Santos e o Norte de Santa Catarina), entretanto, se mantêm. Nota-se que as expansões nestes núcleos

parecem ocorrer com mais frequência, sendo observados em 2001 (Santa Catarina/Paranaguá), 2002 (Santos), 2004 (Ilha Grande) e 2006 (para sul, ao longo da plataforma continental média de São Paulo). As variações em escalas Macro podem ser relacionadas principalmente as expansões dos núcleos de Santa Catarina/Paranaguá (2001) e de Santos (2002). De um modo geral, o padrão de distribuição neste cenário mostra alguma similaridade com a distribuição das áreas de desova, descrita nos resultados correspondentes a fase planctônica, e em outros trabalhos pretéritos (MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010). Esta configuração também se ajusta ao padrão de distribuição espaço temporal observado durante o período reprodutivo, conforme evidenciado nos resultados correspondentes à fase planctônica (ver Seção 4.1; página 106), e nos trabalhos de Matsuura (1998), e Gigliotti et al. (2010). Para o início da primavera, Rossi-Wongtchowski (1977) sugere uma concentração da atividade reprodutiva nos setores entre 26° e 28°S, e 23° e 25°S ao passo que, no verão, a desova se manteria mais restrita ao segundo setor.

As capturas da sardinha nos setores norte (23° e 25°S) apresentam relativa variabilidade espaço-temporal, em escala de tempo interanual. Admitindo-se que o deslocamento para a região de Santos esteja relacionado ao processo de maturação e início da temporada reprodutiva, pode-se especular que esta variabilidade seja modulada por variações no recrutamento, e no próprio processo de maturação sexual e reprodução. Segundo Saccardo et al. (1988; 1991), juvenis resultantes das primeiras desovas da temporada reprodutiva anterior, podem atingir maturidade sexual ao final do primeiro ano de vida (ano 0), o que permite sua participação na temporada reprodutiva subsequente. Recrutas mais jovens, por outro lado, só atingiriam maturidade sexual ao final do segundo ano de vida (ano I). Variações espaço-temporais na duração do processo de maturação da sardinha foram constatadas anteriormente por Rossi-Wongtchowski (1977). Para o período de 2000 a 2009, Schwingel et al. (*apud* CERGOLÉ; DIAS-NETO, 2011) observaram uma antecipação da temporada reprodutiva de novembro para setembro. Por outro lado, parte desta variabilidade pode também ser creditada a ausência de dados para os meses

de Setembro (2004), e Novembro (2004; 2005), em decorrência das temporadas móveis de defeso reprodutivo e de recrutamento.

Uma análise cronológica dos mapas de distribuição espacial entre 2001 e 2003 (Figura 5.15) mostra um deslocamento recorrente das principais áreas de pesca a sul (Santa Catarina e Paranaguá), durante os meses de outono/inverno, seguido de um retorno parcial aos setores norte (Santos), durante a primavera/verão. A distribuição espacial da CPUE nos demais cenários sugere uma manutenção deste padrão nos anos de 2004 e 2006, a despeito da ausência de dados para os meses de julho-agosto (cenário Inverno). A existência de migrações sazonais da sardinha verdadeira foi pouco abordada pela literatura. Richardson e Sadowski (1960) e Rossi-Wongtchoswki (1977) sugeriram a existência de deslocamentos entre as regiões de Cananéia, Santos e a costa do Rio de Janeiro, ocorrentes durante a primavera e o outono.

A concentração preferencial da sardinha a sul, entre maio e agosto, coincide com um incremento na produção desembarcada em Itajaí a partir do mês de maio, (DALLAGNOLO et al., 2010). Dados de produção para os anos de 1998 e 1999 (SCWINGELL; OCCHIALINI, 2007) mostram que a participação da sardinha verdadeira, nas capturas realizadas na região entre Itajaí e Cananéia, sofre visível redução nos meses de março e abril. A análise dos dados de desembarque da frota de cerco na região de Santos entre 1995 e 1999 (GASALLA et al., 2007) mostra picos de produtividade nos meses de março a maio, e em novembro, coincidindo com os picos de produção da sardinha verdadeira. Os mesmos autores registram um ligeiro espraiamento a sul das áreas de pesca, durante o segundo e terceiro trimestres dos anos de 1997 e 1998. Nestes meses a frota de cerco direciona suas atividades a recursos acessórios como a tainha (*Mugil* sp.), a palombeta (*Chloloschombrus chrysurus*), e a corvina (*Micropogonias furnieri*) (GASALLA et al., 2007; JABLONSKI, 2007; MIRANDA et al., 2011). O uso de técnicas precárias na conservação da sardinha faz com que os desembarques ocorram geralmente próximos aos locais de captura (VALENTINI; CARDOSO, 1991; PINAYA,

2008). Consequentemente, uma concentração preferencial da atividade na costa de Santa Catarina, durante o período outono-inverno, favorece a hipótese de um deslocamento sazonal da espécie. Os deslocamentos da sardinha para o extremo norte da área de estudo parecem ocorrer de modo irregular, refletindo-se no comportamento errático da produção desembarcada no Rio de Janeiro (SUNYÉ; SERVAIN, 1998; CERGOLÉ; DIAS-NETO, 2011).

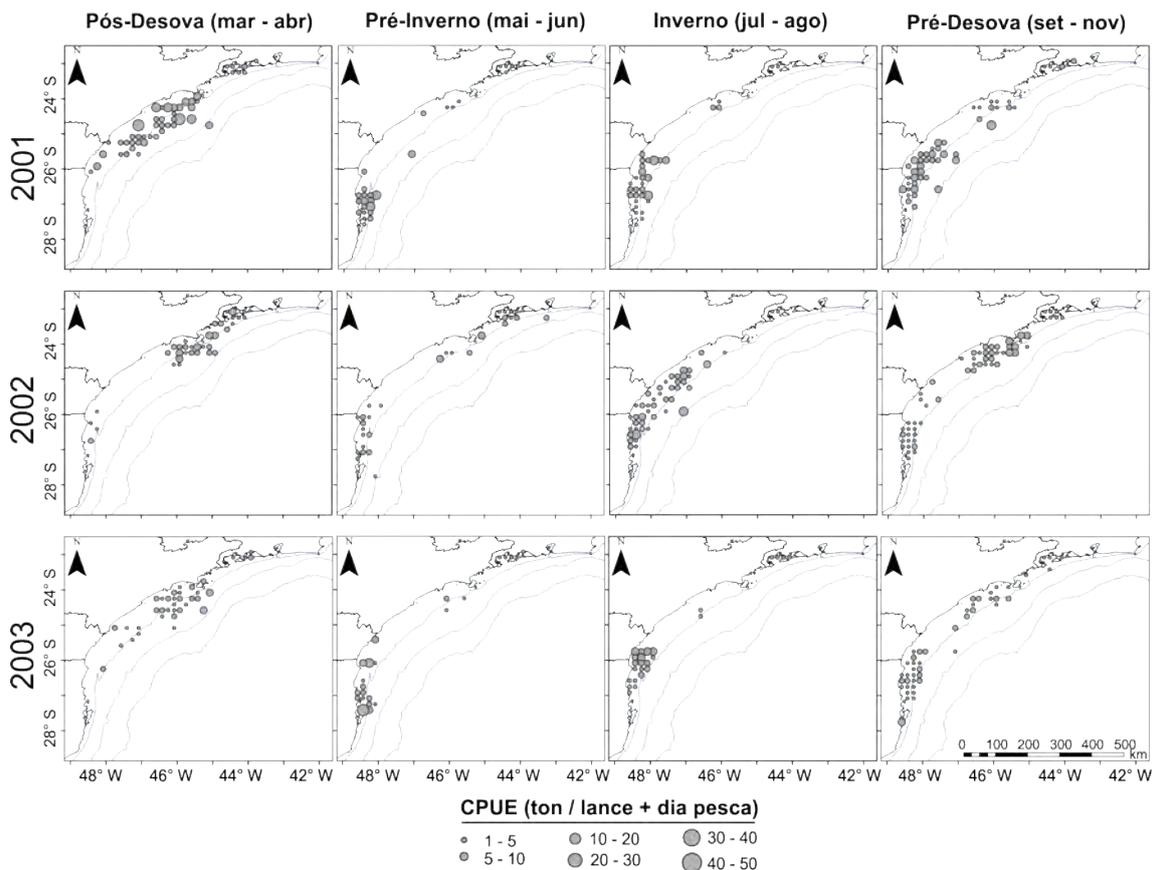


Figura 5.15 - Variações na distribuição espacial da CPUE de *Sardinella brasiliensis*, por cenário de análise, para os anos de 2001 a 2003.

O histórico de produção da sardinha verdadeira mostra uma grande variabilidade nas contribuições relativas dos principais centros de desembarque à produção total anual (CERGOLÉ; DIAS-NETO, 2011), o que sugere deslocamentos interanuais nas principais áreas de captura. Esse padrão ajusta-se à variabilidade interanual no posicionamento dos núcleos de captura, evidente durante o período estudado. Esta variabilidade é mais intensa nos

períodos anteriores (setembro a novembro) e posteriores (março e abril) a desova, que normalmente coincidem com os picos anuais de produção pesqueira (SUNYÉ; SERVAIN, 1998; GASALLA et al., 2007). Em situações anômalas, conforme observado recentemente no biênio 2008/2009, o estoque pode permanecer integralmente concentrado no setor norte da PCSB. Este episódio coincidiu com um incremento na produção anual da espécie (DIAS-NETO et al., 2011). A redução da área de distribuição de uma espécie pode ocasionar um aumento na sua vulnerabilidade à pesca, em decorrência da concentração do esforço de captura em uma área de distribuição restrita, podendo desencadear colapsos da produção em temporadas de pesca subsequentes (PITCHER, 1995; PETITGAS, 1998). Esse padrão de resposta é bem documentado em outras espécies pequeno-pelágicas (PITCHER, 1995; ULLTANG, 1980; McCALL, 1990). Considerando-se o padrão sazonal de distribuição sugerido pelos resultados deste trabalho, pode-se inferir que a susceptibilidade da sardinha verdadeira a pesca aumenta durante o período correspondente à transição outono-inverno (cenários pré-inverno e inverno), quando a concentração do estoque atingiria valores máximos. Neste sentido, a supressão da pesca através dos defesos de recrutamento proveria algum tipo de defesa ao estoque, ao menos durante parte do período citado.

Em 2000, os dados de captura mostram uma distribuição espacial concentrada preferencialmente na região costeira de Santos. As capturas na costa de Santa Catarina e Paranaguá foram bastante restritas entre março e agosto, expandindo-se apenas no período antecedente à desova. Neste ano, a produção anual da sardinha atingiu seu nível histórico mais baixo (17.22 mil toneladas), caracterizando o segundo colapso no histórico das pescarias dirigidas à espécie (CERGOLE et al, 2002). A partir de levantamentos hidroacústicos, Castelo et al (1991) descreveram um padrão de distribuição similar para o ano de 1988. Neste ano os autores reportam uma estimativa de biomassa de 57 mil toneladas, enquanto as estimativas por Análises de População Virtual, em Cergole et al. (2002), mostram uma tendência de declínio na biomassa do estoque desovante, entre 1987 e 1989. Nestes casos extremos, a contração das áreas de pesca reflete claramente as contrações na

biomassa e na distribuição espacial do recurso. O padrão diferenciado de distribuição também pode refletir um direcionamento da frota de cerco para outros recursos pesqueiros (GASALLA et al., 2007; JABLONSKI, 2007), decorrente de uma redução prolongada na disponibilidade da espécie.

A ausência de estimativas independentes de biomassa para o período estudado impede uma correlação direta com as variações no padrão de distribuição das capturas. Todavia, é possível se tecer algumas considerações com base no histórico da produção pesqueira anual. A média das capturas da sardinha é de cerca de 36.5 mil toneladas anuais para o período estudado. Os anos de 2001, e entre 2004 e 2006, registram produções anuais superiores a 40 mil toneladas (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011). Estes aumentos coincidem com um maior espriamento das áreas de captura de Santos, ao longo da plataforma média de São Paulo, durante os períodos precedentes (2006) e posteriores a reprodução (2001; 2004). Uma exceção é provida pela fragmentação relativa nas áreas de ocorrência, conforme observado em 2005 no cenário Pré-Desova, muito embora este ano registre uma produção anual menor (42.6 mil toneladas) em relação às capturas anuais registradas nos anos vizinhos (superiores a 50 mil toneladas). Considerando o aumento na produção total como um indicativo de aumento na biomassa do estoque, e assumindo uma variabilidade relativa das densidades de cardumes por área, teríamos respostas condizentes com o modelo de Bacias de McCall (1990). Neste caso, vale ressaltar que as expansões e multiplicações dos núcleos de captura apresentam curta duração, o que faz com que os aumentos na produção anual sejam sustentados por períodos breves (inferiores a três meses) de maior disponibilidade da espécie.

De um modo geral, os incrementos na biomassa populacional de pequenos pelágicos são acompanhados por expansões nas áreas de distribuição (BARANGE et al., 2009). Não obstante, as oscilações espaciais podem ser mediadas por interações espaciais não triviais entre diferentes escalas de agregação (FRÉON et al., 2005). Os resultados de Petitgas et al. (2001) e Muiño et al. (2003), para algumas espécies da costa Europeia, mostram que

aumentos na biomassa se refletem primariamente em incrementos de densidade, nas escalas dos cardumes, e de agregados de cardumes, sem incorrer necessariamente em aumento no tamanho e número de agregados. Segundo Barange et al. (2009), esse padrão de resposta parece ser mais recorrente em populações de sardinha, sendo atribuído ao modo predominante de alimentação filtradora, que permitiria menores distâncias entre indivíduos, e uma maior variabilidade na densidade. A caracterização destas interações envolve estudos nas menores escalas de agregação (cardumes e agregados), os quais são normalmente conduzidos através de métodos hidroacústicos (BAHRI; FRÉON, 2000; PETITGAS, 1998; PETITGAS et al., 2001). Os levantamentos hidroacústicos dedicados à sardinha verdadeira (revisão em CERGOLÉ; DIAS-NETO, 2011) apresentam um enfoque mais direcionado a estimativas da biomassa do estoque, o que deixa sua estrutura espacial em pequenas escalas como um campo inexplorado de pesquisa. A relação entre distribuição espacial e biomassa parece ser válida para a sardinha verdadeira durante casos extremos como o colapso ocorrido em 2000, sendo reforçada pelos resultados dos cruzeiros hidro acústicos ECOSAR realizados entre 2008 e 2010 (CERGOLÉ; DIAS-NETO, 2011).

5.7. Relações com o ambiente físico

Neste trabalho, possíveis relações de dependência espacial (LEGENDRE, 1993), entre as capturas da sardinha verdadeira e o ambiente oceanográfico da PCSB, foram avaliadas considerando-se um conjunto predeterminado de escalas de organização espacial. A estrutura espacial do ambiente oceanográfico foi representada por um conjunto de descritores sintéticos (Descritores Ambientais Multivariados, ou DAM), criados a partir de um conjunto de variáveis de sensoriamento remoto. Ambos os descritores (DAM 1 e 2) ressaltam o importante papel do campo de ventos na modulação das condições oceanográficas nas porções internas e médias da PCSB.

A análise dos descritores sintéticos (DAM) empregados neste trabalho mostra que a sardinha verdadeira passa seu ciclo de vida confinada em um ambiente altamente dinâmico, sujeito a variações interanuais nas condições físicas e biofísicas. Essa variabilidade temporal é significativa em fases críticas do estágio adulto, como o período de recrutamento, quando juvenis se incorporam à população adulta (julho a setembro) (CERGOLE et al., 2002), e os meses precedentes à reprodução (setembro a novembro), quando ocorre o desenvolvimento gonadal dos adultos (ROSSI-WONGTCHOWSKI, 1977). A influência na configuração espacial dos habitats da espécie é comprovada pelas variações significativas na estrutura espacial, observadas para os dois DAM avaliados.

O comportamento espaço-temporal dos gradientes ambientais definidos pelos DAM variou significativamente em função do descritor e do cenário de análise. O gradiente relacionado à intensificação/atenuação dos ventos de Nordeste (DAM 1) apresentou variação temporal bem estruturada em todos os cenários. Já o gradiente associado às oscilações na componente meridional do vento (DAM 2) não mostrou padrão definido de variação temporal nos cenários Pré-Inverno e Pré-Desova, apresentando uma estruturação espacial mais evidente no período Pós-Desova, e menos desenvolvida no Inverno. A análise das séries de mapas de escores (Figuras 5.7 a 5.10; páginas 175; 178; 181 e 184) mostra um comportamento de intensificação/atenuação alternada dos vetores de vento, cujo efeito pode se estender por toda a extensão geográfica da PCSB. Apesar da curta série temporal (7 anos), os resultados sugerem uma periodicidade recorrente, aproximadamente bianual ou em ciclos de aproximadamente três anos, o que justificaria presença de estrutura temporal, enfatizada nos resultados dos modelos ANOVA. As transições entre episódios de intensificação/atenuação podem dividir a PCSB geograficamente, estabelecendo áreas com condições diferenciadas, e extensões variáveis. Estas variações no ciclo anual das anomalias de vento são consistentes com o padrão observado por Wainer e Taschetto (2006) para a costa Sul-Sudeste, no período entre 1996 e 1998. Os autores também atestam a existência de ciclos anuais diferenciados, e aparentemente independentes, para as componentes

zonal e meridional do vento, os quais são expressos nos resultados deste trabalho através do comportamento temporal dos gradientes definidos pelos vetores de vento zonal (DAM 1) e meridional (DAM 2) (vide Seção 5.3; página 169).

A variação interanual no campo de ventos que atua sobre a PCSB é modulada pelo posicionamento e pela intensidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (WAINER; TASCHETTO, 2006; SOARES, 2009). A ASAS pode interagir com Sistemas Frontais, ou com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sofrendo enfraquecimento e fragmentação (PEZZI; SOUZA, 2009). A ZCAS consiste de uma banda de nebulosidade que se estende no sentido Noroeste-Sudeste, desde a Amazônia até o Oeste do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988), sendo associada a aumentos na precipitação, e a reduções locais na TSM, causadas pelo incremento da nebulosidade. A formação de bloqueios atmosféricos a partir de centros de alta pressão localizados a sul do cinturão de altas subtropicais, também induz mudanças no padrão de circulação dos ventos, que assumem um modo meridional de escoamento (CASARIN, 1982). A caracterização das condições atmosféricas vigentes durante o período de desova da sardinha (dezembro a janeiro), feita por Soares (2009), mostra uma intensa variação interanual no campo de vento, associada à frequência e intensidade da ZCAS. A autora associa uma redução na intensidade dos ventos de Nordeste (por conseguinte do transporte de Ekman e do processo de Mistura vertical) a uma intensificação dos episódios ZCAS, ocasionada por bloqueios atmosféricos e pela intensificação da passagem de sistemas frontais.

As relações de codependência espacial com a distribuição da sardinha verdadeira adulta apresentam um padrão complexo, caracterizado por uma alternância temporal de associações positivas e negativas com os DAM, nas escalas Macro e Médias. Os resultados mostram que estas variações temporais nos sinais das codependências nem sempre acompanham os ciclos de intensificação e atenuação das anomalias das componentes do vento. Este ajuste é sugerido apenas no cenário Pós-Desova (março - abril), onde as associações nas escalas Macro parecem acompanhar as tendências de

intensificação do vento Nordeste (DAM 1), apresentando um padrão aproximadamente inverso com relação à intensificação da componente meridional (DAM 2; vide Figura 5.11; página 191). Neste cenário, a associação com gradientes relacionados a intensificação do vento (considerando pelo menos uma de suas componentes) manteve-se positiva entre 2000 e 2001, e entre 2003 e 2005, coincidindo parcialmente com aumentos relativos na produção pesqueira (2001; e entre 2004 a 2006; vide página 206) (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011), e com episódios de expansão nas áreas de captura (2004).

Durante a estação precedente (verão), observa-se uma predominância de ventos de direção Leste – Nordeste, que se intensificam no setor Norte da PCSB, entre 20°S e 24°S. Este regime de ventos é mantido pelo deslocamento sazonal a sul da ASAS, e por um aquecimento superficial no continente, promovendo um aumento no gradiente de pressão com o oceano (SOARES et al., 2010). O processo intensifica as ressurgências no setor Norte da PCSB, gerando afloramentos frequentes de águas frias (ACAS) na região de Cabo Frio (CASTRO et al., 2006). As plumas de águas ressurgidas deslocam-se a sudoeste, em sentido *alongshore*, e são responsáveis pela criação de contrastes térmicos superficiais entre os setores Norte e Centro-Sul da PCSB, gerando o padrão de variação em escalas Macro, observado para os dados *in situ* de temperatura superficial (ver Seção 4.1.3; página 114). Durante março e abril os principais sub estoques de sardinha posicionam-se preferencialmente na porção central da PCSB, agregando-se na região costeira de Santos, entre 24°S e 25°S (vide Figura 5.2, página 161), área eventualmente atingida por ressurgências mais intensas (LORENZZETTI; GAETA, 1996). As associações positivas com o DAM 1 entre 2000 e 2001, e entre 2003 e 2005 mostram, nestes anos, um aumento da CPUE relacionado à TSMs mais frias. Os campos de TSM média (março – abril), apresentados na Figura 5.16, mostram temperaturas inferiores a 22°C ocupando grande parte da PSCB nos anos de 2001, 2004 e 2006. Conforme exposto no parágrafo anterior (e anteriormente, na página 206), estes anos se caracterizam por aumentos relativos na produção pesqueira.

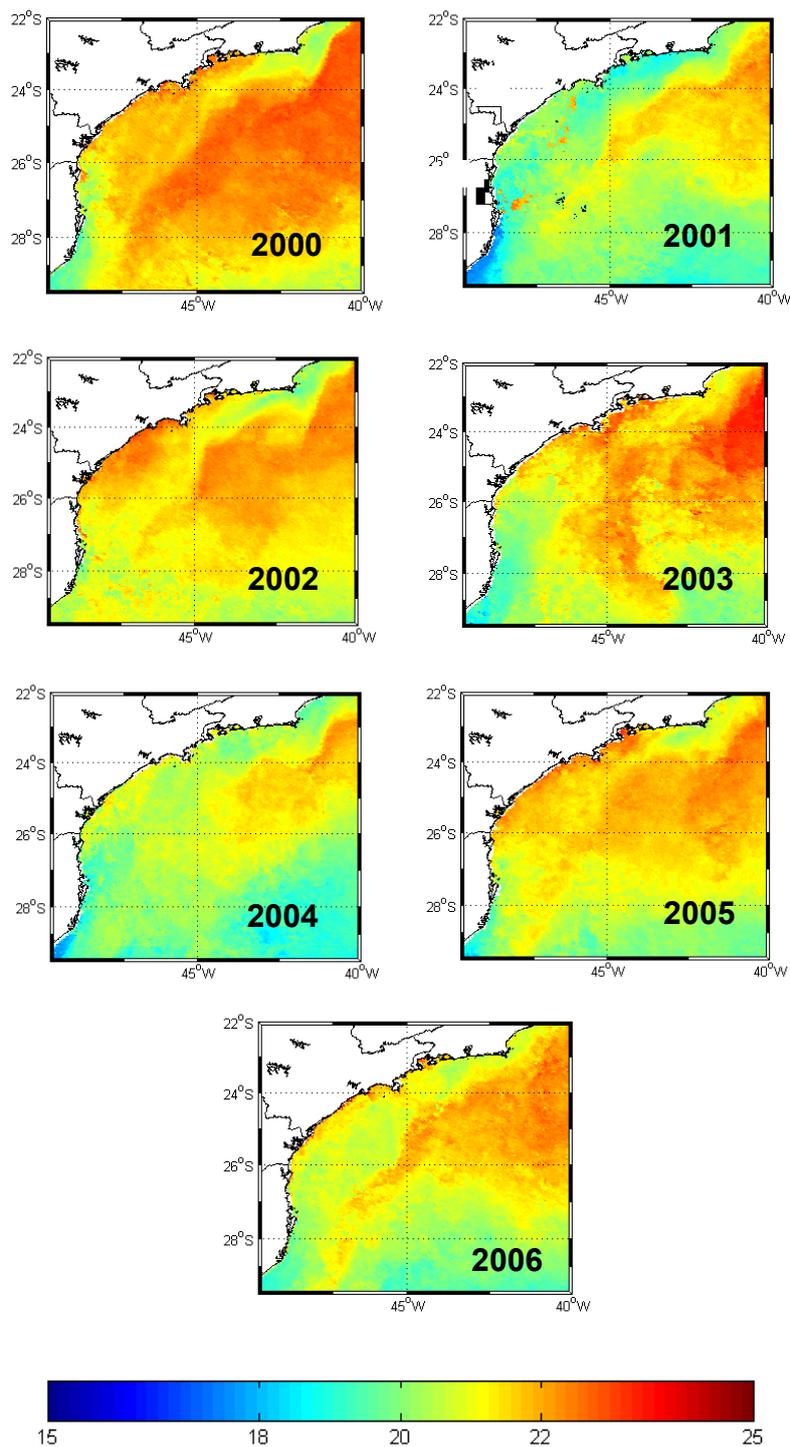


Figura 5.16 - Campos de Médias TSM obtidas com o sensor AVHRR (Projeto Pathfinder, versão 5.1) para o cenário Pós-Desova (março - abril).

Segundo Watanabe (1963), os meses de março a maio demarcam um aumento nos teores de gordura corporal da sardinha, o que sugere uma intensificação do comportamento forrageiro após o período de desova. A sardinha verdadeira

adulta apresenta modo de alimentação filtrador consumindo, predominantemente, organismos zooplânctônicos (GOITEIN, 1986). Matsuura et al. (1980) reportaram a existência núcleos de biomassa zooplânctônica na região costeira de Santos, associados à presença da ACAS na plataforma continental média. Com base na distribuição sazonal reportada pelo autor, o cenário Pós-Desova corresponderia ao início de um período de declínio das biomassas do zooplâncton.

A distribuição do zooplâncton na costa sudeste é fortemente associada à processos de enriquecimento da coluna d'água como ressurgências costeiras, e aportes alóctones (LOPES et al., 2006a). Embora normalmente restritas a costa do Rio de Janeiro, as plumas de ressurgência podem transportar nutrientes até a região de Ilha Bela, influenciando remotamente a produtividade primária local (LORENZZETTI; GAETA, 1996). A intensificação dos ventos de Nordeste também favorece a ocorrência de intrusões da ACAS (CASTRO et al., 2006), responsáveis pela estratificação térmica vertical na região entre Ilha Bela e Paranaguá. A injeção de nutrientes na camada fótica, e a presença de organismos fotossintetizantes, adaptados a baixas intensidades luminosas, é associada à formação de máximos sub superficiais de Clorofila- α entre a zona de mistura e o limite superior da nutriclina (BRANDINI, 1990; AIDAR et al., 1993; GAETA; BRANDINI, 2006). Nas escalas Macro, as associações entre a CPUE e a concentração de Clorofila- α foram positivas entre 2000 e 2001, e em 2005. Nas escalas médias, as associações exclusivamente positivas restringem-se aos anos de 2001 e 2002. Estes resultados não suportam uma relação direta e recorrente entre a CPUE e a produtividade primária local durante os meses de março e abril. Por outro lado, considerando o comportamento migratório nictimeral da sardinha verdadeira, registrado por Rossi-Wongtchowski et al (1991), e uma suposta intensificação do comportamento forrageiro, sugerida pelos resultados de Watanabe (1963), pode-se inferir que o posicionamento dos sub estoques estaria provavelmente associado às intrusões sub superficiais da ACAS, e não à processos de enriquecimento direto do domínio pelágico como as ressurgências costeiras.

Em 2002 a associação entre a CPUE e ambos gradientes relacionados a intensificação dos ventos (DAM 1 e 2) assume sinal negativo. Nos anos de 2001 e 2002, os meses de março e abril se caracterizam pela atuação de ventos mais fracos ao longo de todo o setor norte da PCSB (Figura 5.7; página 175). Dados do boletim Climanálise (INPE/CPTEC, 2001; 2002) registram uma atenuação da ASAS durante os meses de março e abril de 2001 e 2002, o que justificaria essa atenuação relativa dos ventos, bem como a ocorrência de um padrão de circulação (850 hPa) anticiclônico sobre a PCSB. A distribuição da TSM em março/abril de 2002 (Figura 5.16) mostra a presença de águas quentes ($> 27^{\circ}\text{C}$) ocupando a plataforma entre Santa Catarina e a Baía da Guanabara. Neste ano, as capturas sofrem um ligeiro deslocamento a norte, ocupando a zona costeira entre Ilha Bela e Ubatuba. Os anos 2000, 2003 e 2005 também se caracterizam por TSMs mais altas (Figura 5.16), muito embora as distribuições de CPUE mostrem-se associadas à temperaturas mais baixas nas escalas Macro (todos os anos) e Médias (2000 apenas).

Em abril de 2005 registra-se a presença de um episódio ZCAS (INPE/CPTEC, 2005). No biênio 2004/2005, o processo de intensificação do vento Nordeste em toda a PCSB é corroborado pela presença de anomalias positivas de pressão ao nível do mar na região do Atlântico, indicando uma Intensificação da Alta Subtropical Atlântica (INPE/CPTEC, 2004; 2005). A intensificação do vento é acompanhada pela ocorrência de TSMs mais baixas em 2004 (Figura 5.16).

Embora não haja disponibilidade de dados de temperatura em sub superfície, não se pode excluir a hipótese de que o deslocamento das áreas de pesca a Norte esteja relacionada a uma redução nas intrusões da ACAS na plataforma de Santos, e a uma manutenção da frente na plataforma média próximo à Ilha Bela. Os resultados de Vega-Péres (2008) para o verão de 1994, e primavera de 1997, destacam as áreas a leste, e a Sul de Ilha Bela, como mais favoráveis ao desenvolvimento de comunidades zooplanctônicas. O posicionamento das áreas de pesca ao longo da isóbata de 50m coincide com as zonas batimétricas de maior densidade do zooplâncton, identificadas pela autora.

Nos meses de maio e junho (Pré-Inverno) o comportamento temporal das relações de codependência assume um padrão mais complexo. Essa relação dúbia com os gradientes ambientais pode refletir a transição entre os regimes de verão e inverno, e uma mudança dos principais processos físicos responsáveis pela manutenção da produção biológica na PCSB. Durante o inverno, a mudança no regime sazonal de ventos faz com que as intrusões da ACAS na plataforma continental se atenuem, ocasionando uma retração da Frente térmica Profunda (FTP) em direção às isóbatas de 50 m a 70 m (CASTRO et al, 2006). A quebra da estratificação é associada a uma redução na produção de matéria orgânica na plataforma interna, devido à ausência de interação entre a FTP e a zona fótica. Neste cenário, as relações em escalas Macro com W se mostram predominantemente negativas (exceções em 2001 e 2002, quando a associação é positiva), o que seria esperado em decorrência da mudança climatológica no regime de ventos (WAINER; TASCHETTO, 2006; CASTRO et al., 2006).

Durante o cenário Pré-Inverno, a sardinha verdadeira mostra um padrão similar de distribuição ao longo dos anos, tendo sua principal área de concentração limitada à costa norte de Santa Catarina. Esse comportamento aparentemente obstinado sugere uma dependência de processos locais de menor escala. Através de dados orbitais de TSM e Clorofila- α , Pereira et al., (2009) observaram a formação de frentes e vórtices de pequena escala na costa de Santa Catarina, bem como pequenos aumentos localizados na produção primária, fatores estes que favoreceriam o desenvolvimento de biomassa zooplanctônica (BAKUN, 2006). A formação destes sistemas decorreria das interações entre as intrusões da Corrente Costeira do Brasil (CCB) e a Corrente do Brasil (CB), fluindo em sentido contrário (SOUZA; ROBINSON, 2004), sendo mais frequente entre os meses de abril e setembro. Segundo Gaeta e Brandini (2006) e Lopes et al. (2006a; 2006b), máximos locais de biomassa fito e zooplanctônica também podem ser atribuídos à contribuição de sistemas estuarinos no norte de Santa Catarina, e no complexo de Paranaguá-Cananéia.

No cenário Inverno (meses de julho e agosto), os sinais das relações de codependência mostram uma maior estabilidade nas escalas Macro, descrevendo uma relação predominantemente positiva com uma intensificação dos ventos entre 2000 e 2002 (DAM 1 e 2). Neste período o fluxo da CCB intensifica-se, eventualmente atingindo os setores central e sul da PSCB (SOUZA; ROBINSON, 2004). As intrusões de águas frias (Figura 5.17) justificam as associações negativas entre a CPUE a TSM, recorrentes nas escalas macro entre 2000 e 2002 (vide Figura 5.13, painéis superiores; página 196). As associações positivas entre a CPUE e as concentrações de Clorofila- α (DAM 2), particularmente recorrentes nas escalas médias (vide Figura 5.13, painéis inferiores; página 196), são explicadas pelo aumento subsequente na produção primária, resultado da introdução de nutrientes novos pelas águas da CCB (GAETA; BRANDINI, 2006; PEREIRA et al., 2009).

O deslocamento das principais áreas de captura para a região entre o Norte de Santa Catarina e Paranaguá coincide com o regime aproximadamente sazonal de intensificação da CCB (SOUZA; ROBINSON, 2004), responsável pelos picos sazonais de produção e biomassa fitoplanctônica da região (AIDAR et al., 1993). Segundo Gaeta e Brandini (2006), as intrusões da CCB são o principal mecanismo de fertilização em larga escala atuante no inverno, afetando diretamente a zona eufótica das águas da plataforma. Essa sazonalidade pode desempenhar um papel relevante no ciclo de deslocamento da sardinha, proporcionando condições tróficas favoráveis durante o período em que a espécie permanece concentrada no setor sul a PCSB. Essa hipótese é reforçada pela constatação de que, durante o inverno, a sardinha passa a consumir preferencialmente organismos fitoplanctônicos, especialmente diatomáceas (SCHNEIDER; SCHWINGEL, 1999), tidas como táxons dominantes nesta estação (BRANDINI, 1990).

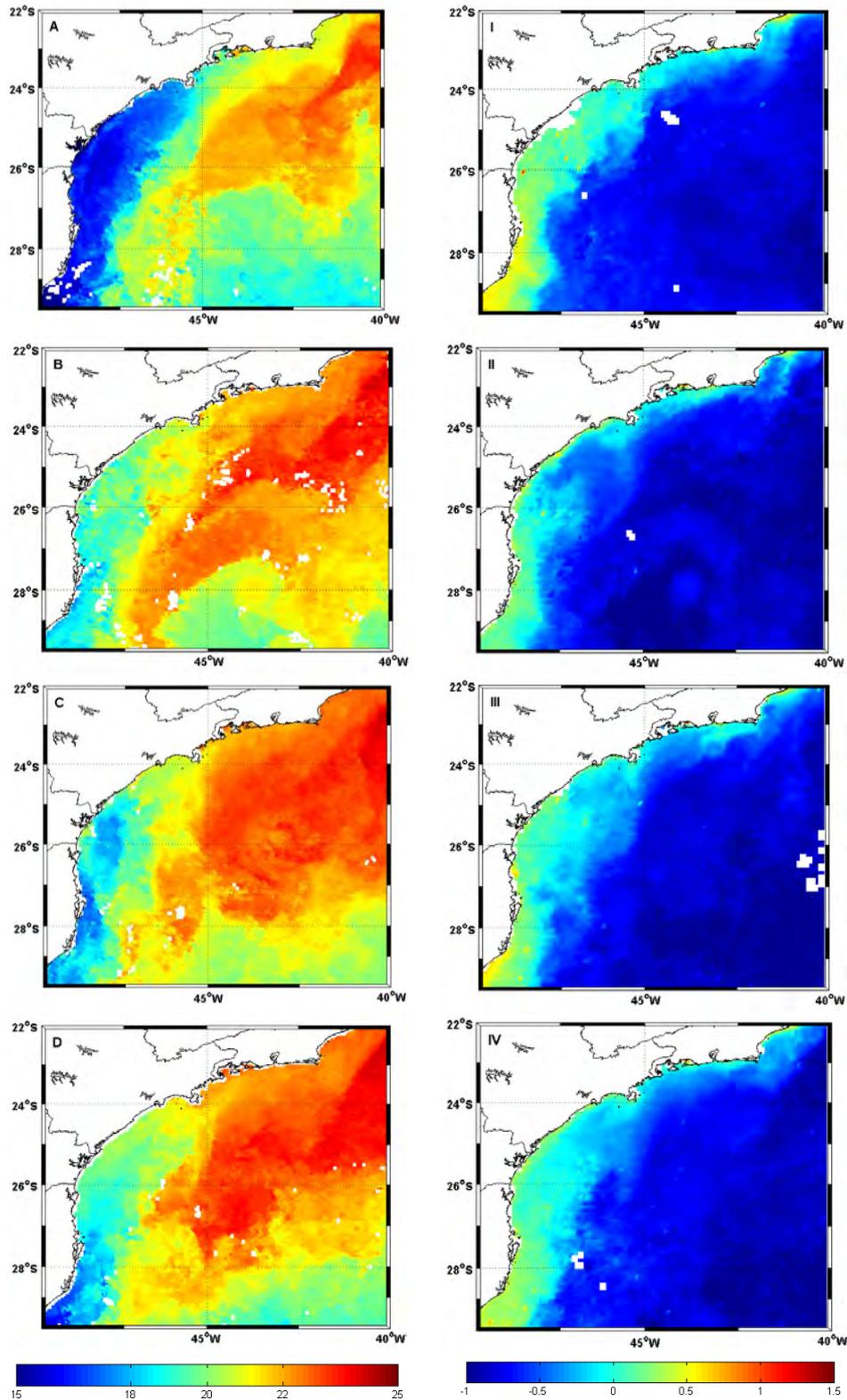


Figura 5.17 - Campos de TSM ($^{\circ}\text{C}$) obtidos do sensor AVHRR (Projeto Pathfinder, versão 5.1) (A a D); e de Corifila- α ($\log [\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}]$), obtidos do Sensor SeaWiFS (I a IV), para o período julho/agosto dos anos de 2000 a 2003.

A penetração da CCB foi mais intensa em 2000, quando águas superficiais de 15°C a 18°C atingiram a plataforma interna de Santos (Figura 5.17; A). Essa intrusão mais acentuada justificaria as associações negativas com a TSM nas escalas Macro, a despeito do padrão anômalo de distribuição da sardinha observado neste ano. No período entre 2001 e 2003 as intrusões são menos intensas. Ainda sim, sua influência sobre o setor costeiro compreendido entre Paranaguá e o Cabo de Santa Marta pode ser constatada através dos campos de TSM e de Clorofila- α da Figura 5.17 (B a D). As associações negativas com a TSM mostram-se atreladas a intensificação de ambas as componentes do vento em 2001 e 2002 (escalas Macro e Médias) (vide Figura 5.13; página 196), e apenas à componente meridional em 2003 (escalas Médias). Em 2002, a expansão das áreas de pesca até a costa de Cananéia coincide com uma intensificação nos contrastes térmicos superficiais (Figura 5.17; C), sugerindo a presença de frentes oceânicas de maior escala.

No cenário Pré-Desova, as relações espaciais com os gradientes ambientais assumem novamente um padrão complexo, com variações de sinais no tempo, e entre escalas. Esse aspecto coincide com uma maior variabilidade na distribuição espacial da CPUE, manifestada principalmente no posicionamento e na extensão das áreas de pesca ao Norte da área de estudo, e na extensão das áreas de pesca ao Sul. Parte dessa ausência de padrão poderia ser atribuída à persistência dos núcleos de ocorrência a Sul (Santa Catarina e Paranaguá), independente da alta variabilidade nas condições ambientais locais, observada ao longo do período analisado.

Durante as expansões das áreas de pesca localizadas entre Paranaguá e o norte de Santa Catarina (2001), e entre Ilha Bela a Santos (2002) (vide Figura 5.5; página 169), as associações predominantemente negativas com os DAM 1 e 2 (Escalas Macro e Médias) (Figura 5.14; página 199) indicam associações positivas com a TSM. A associação positiva com as temperaturas de superfície é novamente observada em 2006, durante uma expansão a sul do núcleo de pesca de Santos (vide Figura 5.5; página 169).

Independente do cenário analisado, as capturas da sardinha parecem se manter na região da Baía de Ilha Grande, sofrendo alguma redução apenas durante o inverno. A manutenção destas capturas pode estar associada a presença de uma sub unidade populacional residente na região, conforme proposto anteriormente por Richardson e Sadowski (1960). Analisando os padrões de distribuição do zooplâncton durante o inverno, Matsuura et al (1980) e Muxagata (1999) constataram uma maior concentração de núcleos de biomassa planctônica entre 23°S e 25°S, o que favoreceria a permanência destes subgrupos durante as estações do outono e inverno.

A despeito da variabilidade nas condições climáticas, e de variações significativas na sua estrutura espacial, a sardinha verdadeira parece manter um padrão sazonal de distribuição, ocupando a porção Central e Norte durante o outono, e se deslocando para o setor sul da PCSB na transição outono-inverno. De um modo geral, as mudanças nos sinais das codependências podem ser parcialmente explicadas por aspectos comportamentais obstinados, e relacionados à manutenção da coesão de cardumes, agregados e sub-estoques (PITCHER, 1995), mantendo um padrão de utilização das mesmas áreas, a despeito de oscilações nas condições ambientais. Além disso, deve-se considerar que uma exploração de novos habitats seria limitada pelas escalas individuais de percepção do ambiente (KENNEDY; GRAY, 1993; SHEPHERD; LITVAK, 2004), e pelos custos associados ao deslocamento e exploração de novas áreas de forrageamento (KENNEDY; GRAY, 1997; TYLER; HARGROVE, 1997).

Em um estudo recente, Folmer et al. (2012) demonstraram que a atração coespecífica (entre indivíduos da mesma espécie) também pode introduzir variabilidade ao padrão de organização espacial, particularmente quando a distribuição de recursos é incerta ou desconhecida pelos organismos. O processo de atração coespecífica pode propagar padrões de comportamento forrageiro através de diferentes escalas de agregação. Como resultado, o ajuste dos organismos às condições do ambiente pode ocorrer em níveis sub

ótimos, ocasionando uma redução na dependência espacial com o ambiente físico.

No caso específico da sardinha verdadeira, o curto ciclo de vida, e a mortalidade seletiva de adultos pela pesca são fatores que, em teoria, não favoreceriam processos individuais de aprendizagem. Por outro lado, a variação no padrão de distribuição em escalas Macro da sardinha adulta parece ajustar-se aos ciclos temporais de produtividade da PCSB, favorecendo um aproveitamento dos recursos mais abundantes entre os cenários de outono e primavera. Esse ajuste pode resultar em janelas de sobrevivência mais regulares, contrabalanceando os custos de um deslocamento aleatório, o qual se tornaria particularmente alto em situações de redução da biomassa e da área de distribuição do estoque. No domínio temporal, os trabalhos de Sunyé e Servain (1998), e Paes et al. (2007), mostram correlações altas entre séries regionalizadas de desembarques da sardinha, dados TSM (AVHRR), e outras variáveis meteorológicas e oceanográficas, o que reforça a hipótese de um padrão de ajuste evolutivo a variabilidade sazonal da PCSB.

6 CONCLUSÕES

6.1. Padrões de distribuição e estrutura espacial da sardinha verdadeira

- Durante os estágios embrionários a estrutura espacial da sardinha verdadeira se caracteriza por variabilidade predominante nas escalas Medias e Locais, com estruturas de agregação inferiores a 200 km de extensão em direção *alongshore*. A estrutura espacial nas fases larvais mostra variabilidade predominante nas escalas Macro e Média, com estruturas de agregação de 200 a 400 km.
- A variação temporal na estrutura espacial segue um padrão similar para ovos e larvas da sardinha verdadeira, e mostra a ocorrência de contrações e expansões nos habitats reprodutivos, conforme proposto em Gigliotti et al. (2010).
- O padrão de estrutura espacial observado nos verões de 1976/1977 e 1992/1993 mostra uma maior importância relativa dos componentes de variação em escalas de 200 a 400km, sugerindo episódios de expansão dos habitats reprodutivos.
- Entre 1980 e 1988, os principais componentes da variabilidade espacial apresentaram escalas menores que 200 km, sugerindo contrações nos habitats reprodutivos.
- A variação da estrutura espacial ao longo dos eventos de amostragem analisados segue um padrão similar para ovos e larvas da sardinha verdadeira. As supostas contrações e expansões nos habitats reprodutivos ajustam-se a hipótese proposta por Gigliotti et al. (2010). Estas contrações e expansões mostram-se fortemente atreladas às oscilações temporais no recrutamento e na biomassa do estoque desovante.

- Nos estágios adultos a variabilidade espacial ocorre nas escalas Macro, Médias e Locais. Os resultados não evidenciaram padrões claros de variação temporal na organização por escalas espaciais.
- As áreas de captura sofrem expansões, ocorrentes principalmente durante os períodos anterior e posterior à desova. Estas expansões são transientes, e coincidem com aumentos na produção pesqueira anual.
- A variação temporal no posicionamento das áreas de pesca sugere uma tendência sazonal de deslocamento ao longo do eixo *alongshore* da PCSB. No período posterior à temporada reprodutiva (março-abril), a espécie é encontrada principalmente entre a região de Santos e a Baía da Ilha Grande, deslocando-se a sul com a chegada do inverno, para a região entre Paranaguá e a costa Norte de Santa Catarina. No período precedente à desova, observa-se um retorno parcial à região de Santos, que não transcorre de modo regular ao longo dos anos.

6.2. Variações temporais na estrutura espacial

- As variações na estrutura espacial não se mostram significativas para as distribuições de ovos e larvas.
- Não se observam variações significativas na distribuição horizontal das variáveis termohalinas, à exceção das temperaturas nas camadas superficiais (0 – 10 m).
- As variações na estrutura espacial mostram-se significativas para gradientes ambientais relacionados à circulação superficial, e a mecanismos favoráveis à ressurgência;
- No estágio adulto, as variações interanuais na estrutura espacial são altamente significativa, não se identificando padrões temporais claros em nenhum cenário analisado.

- A análise de descritores ambientais, gerados a partir de dados de sensoriamento remoto, mostra que a sardinha verdadeira passa seu ciclo anual confinada em um ambiente altamente dinâmico, sujeito a variações interanuais nas condições físicas e biofísicas. Essa variabilidade pode, em grande parte, ser associada às variações no regime local de ventos nordeste, moduladas por mecanismos atmosféricos de grande escala, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul.

6.3. Relação com processos físicos e oceanográficos da PCSB

- Para os estágios embrionários e larvais, observa-se uma dependência espacial positiva com relação ao padrão em escala Macro de distribuição de temperaturas superficiais na PCSB. Essa dependência espacial pode ser relacionada a uma maior estabilidade térmica superficial nos setores Central e Sul da PCSB (24°S a 28°S).
- As distribuições de larvas e ovos são negativamente correlacionadas às salinidades superficiais, nas escalas Macro e Médias, o que ressalta a importância dos aportes continentais e habitats estuarinos na configuração espacial dos habitats reprodutivos da sardinha.
- De um modo geral, a distribuição da sardinha verdadeira adulta não apresentou relações recorrentes de dependência espacial com o ambiente físico, o que sugere que sua permanência nas áreas de captura nem sempre ocorre sob condições de ajuste ótimo com o ambiente. Interações conspecíficas, e questões relacionadas aos custos de deslocamento para habitats mais favoráveis, podem constituir explicações plausíveis para essa ausência de padrão.
- O deslocamento sazonal da sardinha verdadeira parece acompanhar os ciclos de produtividade da PCSB. O posicionamento preferencial no setor Norte coincide com a intensificação dos fenômenos de enriquecimento na região, notadamente o deslocamento de plumas de

ressurgência originárias da região de Cabo Frio, e a intensificação das intrusões da ACAS. O deslocamento para o setor Sul da PCSB coincide com a intensificação sazonal da Corrente Costeira do Brasil, que afeta regionalmente o ambiente pelágico, gerando aumentos locais na produção planctônica. A existência de mudanças sazonais na dieta da sardinha fornecem suporte adicional a esta hipótese.

A hipótese de trabalho examinada nesta tese propõe que a variabilidade atmosférica e oceânica da PCSB exerce influência na abundância e distribuição espacial e, por conseguinte, da captura da sardinha verdadeira, em ao menos um estágio de seu ciclo de vida. Os resultados mostram que a distribuição espacial dos habitats reprodutivos pode ser parcialmente explicada por relações de dependência espacial com o ambiente físico, particularmente no tocante aos padrões de distribuição horizontal de massas d'água na PCSB. No estágio adulto, esta relação de dependência espacial não é evidenciada. Entretanto, os padrões de organização espacial da sardinha mostram uma tendência sazonal, a qual se ajusta aos principais ciclos de enriquecimento observados na PCSB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.F.; HUFFMAN, G.J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 1147 – 1167, 2003.

AGOSTINI, V.; BAKUN, A. 'Ocean triads' in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). **Fisheries Oceanography**, v. 11, n. 3, p. 129 - 142, 2002.

AGOSTINI, V.; BAKUN, A.; FRANCIS, R.C. Larval stage controls on Pacific sardine recruitment variability: high zooplankton abundance linked to poor reproductive success. **Marine Ecology Progress Series**, v. 345, p. 237–244, 2007.

AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S.M.F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA C. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba (SP). **Publicação especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, v.10, p. 9 – 43, 1993.

ALHEIT, J. Egg cannibalism versus egg predation: their significance in anchovies. **South African Journal of Marine Science**, v. 5, p. 467 – 470, 1987.

ANDERSON, J.T.; GREGORY, R.S. Factors regulating survival of northern cod (NAFO 2J3KL) during their first 3 years of life. **ICES Journal of Marine Science**, v. 57, p. 349 – 359, 2000.

ANDERSON, C.N.K.; HSIEH, C.H.; SANDIN, S.A.; HEWITT, R.; HOLLOWED, A.; BEDDINGTON, J.; MAY, R.M.; SUGIHARA, G. Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. **Nature**, v. 452, p. 835 – 839, 2008.

ANDRADE, K.M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2005**. 185 p. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em < <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: jun. de 2012.

ANDRADE, H.A.; GARCIA, C.A. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature in the southeastern Brazilian coast. **Fisheries Oceanography**, v. 8, n. 4, p. 245 - 254, 1999.

ARAVÉQUIA, J.A.; HERDIES, D.L.; SAPUCCI, F.F.; SOUZA, R.V.A.; FERREIRA, S.H.S.; GONÇALVES, L.G.G. Reanálise Regional 2000-2004 sobre a América do Sul com o modelo RPSAS/ETA: descrição do experimento e dos produtos derivados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET)**, v. 30, n. 1 - 2; p. 71 - 77, 2008.

ÁVILA DA SILVA, A.O.; CARNEIRO, M.H.; MENDONÇA, J.; SERVO, G.; BASTOS, G.; BATISTA, P.A. Produção pesqueira marinha no Estado de São Paulo em 2005. Santos: Instituto de Pesca. 2007. 47 p. (Série Relatórios Técnicos n. 26).

BAHRI, T.; FRÉON, P. Spatial structure of coastal pelagic schools descriptors in the Mediterranean Sea. **Fisheries Research**, v. 48, p. 157 – 166, 2000.

BAILEY, K. M.; HOUDE, E. D. Predation on eggs and larvae of marine fishes and the recruitment problem. **Advances in Marine Biology**, v. 25, p.1 - 83, 1989.

BAKUN, A. **Patterns in the ocean**: ocean processes and marine population dynamics. La Jolla, CA: California Sea Grant College System / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) / Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, 1996. 323 p.

BAKUN, A. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. **Scientia Marina**, v. 70, p. 93 - 104, 2006.

BAKUN, A.; PARRISH, R.H. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the Brazilian sardine (*Sardinella aurita*). **Journal du conseil international pour l'exploration de la mer**, v. 46, p. 269 - 283, 1990.

BAKUN, A.; BROAD, K. Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific. **Fisheries Oceanography**, v. 12, 458 – 473, 2003.

BARANGE, M.; HAMPTON, I. Spatial structure of co-occurring anchovy and sardine populations from acoustic data: implications for survey design. **Fisheries Oceanography**, v. 6, n. 2, p. 94 - 108, 1997.

BARANGE, M., HAMPTON, I.; ROEL, B.A. Trends in the abundance and distribution of anchovy and sardine on the South African continental shelf in the 1990s. **South African Journal of Marine Science**, v. 21, p. 367 – 391, 1999.

BARANGE, M.; COETZEE, J.C; TWATWA, N.M. Strategies of space occupation by anchovy and sardine in the southern Benguela: the role of stock size and intra-species competition. **ICES Journal of Marine Science**, v. 62, p. 645 – 654, 2005.

BARANGE, M.; COETZEE, J.C.; TAKASUKA, A.; HILL, K.; GUTIERREZ, M.; OOZEKI, Y.; VAN DER LINGEN, C.; AGOSTINI, V. Habitat expansion and contraction in anchovy and sardine populations. **Progress in Oceanography**, v. 83, p. 251 – 260, 2009.

BASILONE, G.; GUISANDE, C.; PATTI, B.; MAZZOLA, S.; CUTTITTA, A.; BONANNO, A.; VERGARA, A.R.; MANEIRO, I., Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. **Fisheries Oceanography**, v. 15, n. 4, p. 271 - 280, 2006.

BAUER, S.; NOLET, B.A.; GISKE, J.; CHAPMAN, J.W.; ÅKESSON, S.; HENDERSTRÖM, A.; FRYXELL, J.M. Cues and decision rules in animal migration. In: MILNER-GULLAND, E.J.; FRYXELL, J.M.; SINCLAIR, A.R.E. **Animal migration: a synthesis**. New York: Oxford University Press, p. 63 – 87, 2011.

BAUMGATNER, R.T.; SOUTAR, A.; FERREIRA-BARTRINA, V. Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara Basin, California. **CalCOFI Report**, v. 33, p 24 – 40, 1992.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de individuos a ecosistemas**. Porto Alegre: Artmed. 1986. 752 p.

BELLIER, E., PLANQUE, B. & PETITGAS, P. Historical fluctuations in spawning locations of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967–73 and 2000–2004. **Fisheries Oceanography**, v. 16, p. 1 – 15, 2007.

BERNAL, M., STRATOUDAKIS, Y.; COOMBS, S.; ANGELICO, M.M.; LAGO DE LANZÓS, A.; PORTEIRO, C.; SAGARMINAGA, Y.; SANTOS, M.; URIARTE, A.; CUNHA, E.; VALDÉS, L.; BORCHERS, D. Sardine spawning off the European Atlantic coast: characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. **Progress in Oceanography**, v. 74, p. 210 - 227, 2007.

BERTRAND, A.; SEGURA, M.; GUTIERREZ, M.; VASQUEZ, L. From small-scale habitat loopholes to decadal cycles: a habitat-based hypothesis explaining fluctuation in pelagic fish populations off Peru. **Fish and Fisheries**, v. 5, p. 296 - 316, 2004.

BERTRAND, A.; GERLOTTO, F.; BERTRAND, S.; GUTIÉRREZ, M.; ALZA, L.; CHIPOLLINI, A.; DÍAZ, E.; ESPINOZA, P.; LEDESMA, J.; QUESQUÉN, R.; PERALTILLA, S.; CHAVEZ, F. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchovetas distribution: An analysis across multiple spatial scales. **Progress in Oceanography**, v. 79, p. 264 - 277, 2008a.

BERTRAND, S.; DEWITTE, B.; TAMC, J.; DÍAZ, E.; BERTRAND, A. Impacts of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current system: scenarios of spatial reorganizations from physics to fishers. **Progress in Oceanography**, v. 79, p. 278 -289, 2008b.

BISHOP, J.; VENABLES W.N.; DICHMONT C.M.; STERLING, D.J. Standardizing catch rates: is logbook information by itself enough? **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, p. 255 – 266, 2008.

BLANCHET, F. G., LEGENDRE, P., BORCARD, D. Forward selection of explanatory variables. **Ecology**, v. 89, p.: 2623 - 2632, 2008.

BLAXTER, J.H.S.; HUNTER, J.R. The biology of clupeoid fishes. **Advances in Marine Biology**, v. 20, p. 1 - 223, 1982.

BORCARD, D.; LEGENDRE, P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. **Ecological Modelling**, v. 153, p. 51 – 68, 2002.

BORJA, A.; URIARTE, A.; VALENCIA, V.; MOTOS, L.; URIARTE, A. Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) recruitment and the environment in the Bay of Biscay. **Scientia Marina**, v. 60, sup. 2, p. 179 -192, 1996.

BORZONE, C.A.; PEZZUTO, P.R.; MARONE, E. Oceanographic Characteristics of a Multi-Specific Fishing Ground of the Central South Brazil Bight. **Marine Ecology**, v. 20, n. 2, p. 131 - 146, 1999.

BOYER, D.C.; HAMPTON, I. An overview of the living marine resources of Namibia. **South African Journal of Marine Science**, v. 23, p. 9 – 35, 2001.

BRANDINI, F.P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia**, v. 196, n. 2, p. 111 - 148, 1990.

BRIND'AMOUR, A., BOISCLAIR, D., LEGENDRE, P., AND BORCARD, D. Multiscale spatial distribution of a littoral fish community in relation to environmental variables. **Limnology and Oceanography**, v. 50, p. 465 – 479, 2005.

BROCHIER, T.; COLAS, F.; LETT, C.; ECHEVIN, V.; CUBILLOS, L.A.; TAM, J.; CHLAIDA, M.; MULLON, C.; FRÉON, P. Small pelagic fish reproductive strategies in upwelling systems: A natal homing evolutionary model to study environmental constraints. **Progress in Oceanography**, v. 83, p. 261 – 269, 2009.

BROWNELL, C. L. Laboratory analysis of cannibalism by larvae of the Cape anchovy *Engraulis capensis*. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 114, n. 4, p. 512 - 518, 1985.

BULLEN, R.J.; CORNFORD, D.; NABNEY, I.T. Outlier detection in scatterometer data: neural network approaches. **Neural Networks**, v. 16, n. 3 - 4, p. 419 – 426, 2003.

CADDY, J.F. Fisheries Management in the twenty-first century: will new paradigms apply? **Reviews in Fish Biology**, v. 9, p. 1 – 43, 1999.

CAHUIN, S.M.; CUBILLOS, L.A.; ÑIQUEN, M.; ESCRIBANO, R. Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 84, n. 4, p. 591 - 597, 2009.

CALADO, L.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I.C.A. Feature-oriented regional modeling and simulation (FORMS) for the western South Atlantic: Southeastern Brazil Region. **Ocean Modeling**, v. 25, p. 48 – 64, 2008.

CAMPOS, E.J.D.; GONÇALVES, J.E.; IKEDA, Y. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. 9, p. 18537 - 18550, 1995.

CAMPOS, E.J.D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I.C.A. Shelf Break upwelling driven by Brazil Current Cyclonic Meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751 - 754, 2000.

CARTON, J.; GIESE, B. S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). **Monthly Weather Review**, v. 136, p. 2999 – 3017, 2008.

CASARIN, D. P. **Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul**. 1982. 82 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.27.16.55/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: mai. 2012.

CASEY, K.S.; BRANDON, T.B.; CORNILLON, P.; EVANS, R. The Past, Present, and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program. In: BARALE, V.; GOWER, J.F.R.; ALBEROTANZA, L. **Oceanography from space: revisited**. New York: Springer Dordrecht Heidelberg. 2010. p. 273 – 288. ISBN 978-90-481-8680-8.

CASTELAO, R. M.; CAMPOS, E. J. D.; MILLER, J. L. A modeling study of coastal upwelling driven by wind and meanders of the Brazil Current. **Journal of Coastal Research**, v. 20, n. 3, p. 662 - 671, 2004.

CASTELLO, J. P. Síntese sobre a sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: HAIMOVICI, M. **A prospecção pesqueira e abundância de estoques marinhos no Brasil nas décadas de 1960 a 1990**: levantamento de dados e avaliação crítica. Brasília: MMA/SMCQ. 2007. p. 225 – 231. ISBN 978-85-7738-083-1.

CASTELLO, L.; CASTELLO, J.P Anchovy stocks (*Engraulis anchoita*) and larval growth in the Southwest Atlantic. **Fisheries Research**, v. 59, p. 409 – 421, 2003.

CASTILLO, J.; ROBOTHAM, H. Spatial structure and geometry of schools of sardine (*Sardinops sagax*) in relation to abundance, fishing effort, and catch in northern Chile. **ICES Journal of Marine Science**, v. 61, p. 1113 – 1119, 2004.

CASTILLO, J.; BARBIERI, M. A.; GONZALEZ; A. Relationships between sea surface temperature, salinity, and pelagic fish distribution off northern Chile. **ICES Journal of Marine Science**, v. 53, p. 139–146, 1996.

CASTRO, B.M., 1990. Estado atual do conhecimento dos processos físicos das águas da Plataforma Continental Sudeste do Brasil. In: II SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, 1990, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP). 1990. 19 p.

CASTRO, B. M., AND MIRANDA, L. B. Physical oceanography of western Atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S. **The Sea**, v. 11, p. 209 - 251, 1998.

CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. E MIYAO, S.Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 35, n. 2, p. 135 - 151, 1987.

CASTRO, B.M.; LORENZZETTI, J.A.. SILVEIRA, I.C.A.; MIRANDA, L.B. Estrutura termohalina e circulação entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí. In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L. S. P. **O Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006. p. 9 - 120.

CERGOLE, M.C. Stock assessment of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, of the southeastern coast of Brazil. **Scientia Marina**, v. 59, n. 3 – 4, p. 597 - 610, 1995.

CERGOLE, M.C.; DIAS-NETO, J. **Plano de gestão para o uso sustentável da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis* no Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2011. 180 p. Disponível em <
<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/planogestaosardinhaverdadeiradigital.pdf>
> Acesso em: set. 2012.

CERGOLE, M.C.; VALENTINI, H. Growth and mortality estimates of *Sardinella brasiliensis* in the southeastern Brazilian Bight. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 42, n. 1/2, p.113 - 127, 2002.

CERGOLE, M.C., SACCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1977 - 1997. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 50, p. 13 -26, 2002.

CHAVEZ, F.P.; RYAN, J.; LLUCH-COTA, S.E.; ÑIQUEN, C.M. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. **Science**, v. 299, p. 217 - 221, 2003.

CHECKLEY, D.M. Spawning Habitats of Small Pelagic Fish off North Carolina and California, USA. In: CHECKLEY, D.M.; HUNTER, J.R.; MOTOS, L.; VAN DER LINGEN, C. D. Report of a workshop on the use of the Continuous Underway Fish Egg Sampler (CUFES) for mapping spawning habitats of pelagic fish. **Proceedings...** San Sebastian: GLOBEC International Project Office, 2000. p. 34 - 35. (GLOBEC Report v. 14).

CHÍCHARO, M.A., CHÍCHARO, L.; VALDÉS, L.; LÓPEZ-JAMARC, E.; RÉ, P. Does the nutritional condition limit survival potential of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) larvae off the north coast of Spain? RNA/DNA ratios and their variability. **Fisheries Research**, v. 39, p. 43 - 54, 1998.

CIOTTI, A.M.; ODEBRECHT, C.; FILLMANN, G.; MÖLLER, O.O. Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research**, v.15, 1737 - 1756, 1995.

CLARO, M. S. **Extração do campo de vento na bacia de Campos, RJ, a partir de imagens ENVISAT/ ASAR**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2007.

COLE, J.; McGLADE, J. Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 8, p. 445 – 471, 1998.

COOMBS, S.H.; SMYTH, T.J.; CONWAY, D.V.P.; HALLIDAY, N.C.; BERNAL, M.; STRATOUDAKIS, Y.; ALVAREZ, P. Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 86, p. 1245 – 1252, 2006.

COVER, T.; HART, P. Nearest-neighbour pattern classification. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 13, p. 21 - 27, 1967.

COWAN, J.H.; SHAW, R.F. 2002. Recruitment. In: FUIMAN, L.A.; WERNER, R.G. **Fishery science: the unique contributions of early life stages**. 2002. 326 p. Oxford: Blackwell Science. 2002. p. 88 – 111. ISBN-10: 0-632-05661-4.

CURTIS, A. Fine scale spatial pattern of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) eggs. **Fisheries Oceanography**, v. 13, p. 239 – 254, 2004.

CURY, P.; ROY, C. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 46, p. 670 - 680, 1989.

CURY, P.; BAKUN, A.; CRAWFORD, R.J.M.; JARRE, A.; QUIÑONES, R.A.; SHANNON, L.J.; VERHEYE, H.M. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. **ICES Journal of Marine Science**, v. 57, p. 603 – 618, 2000.

CURY, P.; SHANNON, L.; SHIN, Y.J. The functioning of the marine ecosystems: a fisheries perspective. In: SINCLAIR, M.; VALDIMARSSON, G. **Responsible fisheries in the marine ecosystem**. Wallingford: CADI. p. 103 - 123, 2003.

CUSHING, D.H. **Marine Ecology and Fisheries**. Londres: Cambridge University Press. 1975. 278 p.

CUSHING, D.H. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. **Journal of Plankton Research**, v. 11, n. 1, p. 1 - 13, 1989.

CUSHING, D.H.; KINNE, O.; COSTLOW, J.D. **Towards a science of recruitment in fish populations**. Michigan: Ecology Institute. 1996. 175 p.

CUSHMAN, S.A.; MCGARIGAL, K. Hierarchical, Multi-scale decomposition of species-environment relationships. **Landscape Ecology**, v. 17, p. 637 – 646, 2002.

DALLAGNOLO, R.; SCHWINGEL, P. R.; PEREZ, J. A. A. Estimativas de produção anual de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) em Santa Catarina: um modelo de projeção de capturas a partir dos padrões mensais de desembarque no Estado. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v. 14, n. 2, p. 95 - 104.

DASKALOV, G. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. **Fisheries Research**, v. 41, p. 1 – 23, 1999.

DIAS, J.F.; CLEMMESSEN, C.; UEBERSCHÄR, B. Condition of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) larvae in the São Sebastião inner and middle continental shelf (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 52, n. 1, p. 81 - 87, 2004.

DIAS-NETO, J.; OLIVEIRA, G.M.; SANTOS, G.C.B. Comportamento da produção total e por estado, frota permissionada e balança comercial da sardinha-verdadeira. **Revista CEPSUL - Biodiversidade e Conservação Marinha**, v. 2, n. 1, p. 34 – 49, 2011. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/ojs/index.php/cepsul>>. Acesso em fevereiro de 2012.

DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E INVESTIGAÇÃO (DIRPED)/CENTRO DE PESQUISA E EXTENSÃO PESQUEIRA DAS REGIÕES SUDESTE E SUL (CEPSUL). **Relatório da Reunião do Grupo Permanente de Estudos sobre Sardinha (*Sardinella brasiliensis*)**. Itajaí: IBAMA. 1994. 22 p. Disponível em <http://www4.icmbio.gov.br/cepsul/index.php?id_menu=256> Acesso em junho de 2011.

DRAY, S.; LEGENDRE, P.; PERES-NETO, P. Spatial modelling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbour matrices (PCNM). **Ecological Modeling**, v. 196, p. 483–493, 2006.

DUNBAR, R. S.; LUNGU, T.; WEISS, B.; STILES, B.; HUDDLESTON, J.; CALLAHAN, P.S.; SHIRTLIFFE, G.; PERRY, K. L., HSU, C.; MEARS, C.; WENTZ, F., SMITH, D. **QuikSCAT science data product users manual, version 3.0**. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory (JPL). 2006. 85 p. (JPL Document D-18053 - Rev A).

DUTILLEUL, P. **Spatio-temporal heterogeneity: concept and analysis**. Cambridge: Cambridge University Press. 2011. 393 p. ISBN: 978-1-107-40035-1.

EMERY, W.J.; THOMSON, R.E. **Data analysis methods in physical oceanography**. Amsterdam: Elsevier B.V. 2004. 638 p.

EPLER, R.E.; BARNES, R.A. Lunar data analysis for SeaWiFS calibration. In: HOOKER, S.B. FIRESTONE, E.R. **SeaWiFS postlaunch technical report series**. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory (JPL), 2000. p. 17 – 27. (NASA Technical Memorandum 2000-206892 v. 9).

FOLT, C. L.; BURNS, C. Biological drivers of zooplankton patchiness. **Trends in Ecology & Evolution**, v.14, p. 300 - 304, 1999.

FOLMER, E.O.; OLFF, H.; PIERSMA, T. The spatial distribution of flocking foragers: disentangling the effects of food availability, interference and conspecific attraction by means of spatial autoregressive modeling. **OIKOS**, v. 121, p. 551 - 561, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The State of world Fisheries and Aquaculture** - 2010. Roma: FAO, 2010. 218 p. ISBN 978-92-5-106675-1.

FREITAS, D.M.; MUELBERT J.H. Ichthyoplankton Distribution and Abundance off Southeastern and Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 4, p. 601 - 612, 2004.

FRÉON, P.; CURY, P.; SHANNON, L.; ROY, C. Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. **Bulletin of Marine Science**, v. 76, n. 2, p. 385–462, 2005.

FRETWELL, S.D.; LUCAS, H.L. On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds: I. Theoretical development. **Acta Biotheoretica**, v. 19, n. 1, p. 19 – 36, 1969.

FUIMAN, L.A. Special considerations of fish Eggs and Larvae. In: FUIMAN, L.A.; WERNER, R.G. **Fishery science: the unique contributions of early life stages**. Oxford: Blackwell Science. 2002. p. 1 – 32. ISBN-10: 0-632-05661-4.

GAETA, S.A.; BRANDINI, F.P. Produção Primária do Fitoplâncton na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L. S. P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006. p. 219 - 264.

GALBRAITH, R.D.; STEWART, P.A.M. **Fishing effort: a gear technologist's perspective**. Copenhagen: The Committee. 1995. 10 p. (ICES CM - International Council for the Exploration of the Sea. Fish Capture Committee document v. 1995/B:28).

GASALLA, M.L.A.; SERVO, G.J.M.; TOMÁS, A.R.G. In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; BERNARDES, R.A.; CERGOLE, M.C. Dinâmica da frota de traineiras da região de Santos, SP, **Dinâmica das Frotas Pesqueiras Comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Instituto Oceanográfico – USP. 2007. p. 218 – 247. (Série Documentos REVIZEE: Score Sul).

GERLOTTO, F.; PARAMO, J. The three-dimensional morphology and internal structure of Clupeid schools as observed using vertical scanning multibeam sonar. **Aquatic Living Resources**, v. 16, p. 113 - 122, 2003.

GERLOTTO, F.; CASTILLO, J.; SAAVEDRA, A.; BARBIERI, M.A.; ESPEJO, M.; COTEL, P. Three-dimensional structure and avoidance behaviour of anchovy and common sardine schools in central southern Chile. **ICES Journal of Marine Science**, v. 61, p. 1120 – 1126, 2004.

GIGLIOTTI, E.S. **Medidas da Variabilidade Interanual Marinha sobre a Plataforma Continental Sudeste do Brasil e sua relação com áreas de desova da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**. 2009. 169 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

GIGLIOTTI, E.S; MORAES, L.E.S; SOUZA, R.B.; SATO, O.P. Uso de parâmetros “all-pixel-sst” na estimativa de campos de TSM com base em dados do sensor AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, NATAL (RN). **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009a., P.6479 - 6486. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15885-PRE/10495). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.13.54.58>>. Acesso em: 17 ago. 2012.

GIGLIOTTI, E. S., GHERARDI, D. F. M., PAES, E. T., SOUZA, R. B.; KATSURAGAWA, M. Spatial analysis of egg distribution and geographic changes in the spawning habitat of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Journal of Fish Biology**, v. 77, p. 2248 – 2267, 2010.

GOITEIN, R. ***Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): estudo sobre alimentação nas regiões de Ubatuba (23°26'S), Santos (24°02'S) e Cananéia (25°01'S), Brasil.** 1978. 43 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 1978.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J.L.; ANDRE, D.L.; JACOB, A.S. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. **Journal of Plankton Research**, v. 14, p. 289 - 306, 1992.

GORDON, H.R. Calibration requirements and methodology for remote sensors viewing the ocean in the visible. **Remote Sensing of Environment**, v. 22, n. 1, p. 103–126, 1987.

GORDON, H. R.; MOREL, A. Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery: a review. In: WOOSTER, W.S. **Lecture notes on coastal and estuarine studies**. New York: Springer-Verlag. 1983. 118 p.

GORDON, H.R.; WANG, M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. **Applied Optics**, v. 33, n. 3, p. 443 – 452, 1994.

GORDON, H.R.; BROWN, O.B.; JACOBS, M.M. Computed Relationships Between the Inherent and Apparent Optical Properties of a Flat Homogeneous Ocean. **Applied Optics**, v.14, n. 2, p. 417 – 427, 1975.

GRIFFITH, D. A. **Spatial autocorrelation and spatial filtering**: gaining understanding through theory and scientific visualization. Berlin: Springer-Verlag. 2003. 261 p. ISBN 3-540-00932-9.

GRIFFITH, D. A.; PERES-NETO, P. Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses. **Ecology**, v. 87, p. 2603 - 2613, 2006.

GUÉNARD, G.; LEGENDRE, P.; BOISCLAIR, D.; BILODEAU, M. Multiscale codependence analysis: an integrated approach to analyze relationships across scales. **Ecology**, v. 91, p. 2952 - 2964, 2010.

GUÉNARD, G. **codep - Multiscale Codependence Analysis versão 0.1-6 (Pacote de funções em linguagem R)**. 2010. Disponível em < <http://cran.r-project.org/web/packages/codep/index.html>>, Acesso em agosto de 2010.

GUERRERO, R.A.; ACHA, E.M.; FRAMIÑAN, M.B.; LASTA, C.A. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary, Argentina. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 7, p. 727 - 742, 1997.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, 4: 9pp. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm> Acesso em jul. 2012.

HAMMANN, M.G.; PUSCHELL, J.J. SeaWiFS-2: an ocean color data continuity mission to address climate change. In: SPIE CONFERENCE ON REMOTE SENSING SYSTEM ENGINEERING II, 2009, Bellingham, WA. **Proceedings...** Bellingham: SPIE, 2009. v. 7458, 745804-2.

HARDMAN-MOUNTFORD, N.J.; BUNDI, A.; DULVY, N.; PLATT, T. Introduction to SAFARI, In: FORGET, M.H.; STUART, V.; PLATT, T. **Remote Sensing in Fisheries and Aquaculture**. Dartmouth, Canada: International ocean-color coordinating group, 2009. p. 1 – 10. (Report n. 8).

HAURY, L. R.; MCGOWAN, J. S.; WIEBE P. Patterns and Processes in the time-space scales of plankton distributions. In: STEELE, H. **Spatial pattern in plankton communities**. New York: Plenum Press. 1978. p. 277 – 327. (NATO Conference Series: IV, marine sciences, n. 3). ISBN 0-306-40057-X.

HEWITT, R. The value of pattern in the distribution of young fish. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**. Copenhagen, Dinamarca: International Council for the Exploration of the Sea (ICES), v. 178, p. 229 – 236, 1981.

HIDDINK, J.G.; JENNINGS, S.; KAISER, M.J. Do haddock select habitats to maximize condition? **Journal of Fish Biology**, v. 67, sup. B, p. 111 - 124, 2005.

HILBORN, R.; WALTERS, C.J. **Quantitative fisheries stock assessment: choice dynamics and uncertainty**. New York: Chapman and Hall. 1992. 570 p. ISBN 978-04-1202-271-5.

HINCKLEY, S.; MEGREY, B.A.; MILLER, T. Application 3: Recruitment Prediction. In: **Manual of Recommended Practices for modeling physical-biological interactions during fish early life**. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 2009. p. 77 - 81. (ICES Cooperative Research Report n. 295).

HJORT, J. Fluctuations in the great Fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**. Copenhagen: International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 1914. 228 p. 1914.

HOLT, B. SAR Imaging of the ocean surface. In: JACKSON, C.R.; APEL, J.R. **Synthetic Aperture Radar marine user's manual**. Washington DC: NOAA. 2004. p. 25 – 80.

HOOKER, S.B.; McCLAIN, C.R. The calibration and validation of SeaWiFS data. **Progress in Oceanography**, v. 45, p. 427 - 465, 2000.

HOOKER, S.B.; ESAIAS, W.E.; FELDMAN, G.C.; GREGG, W.; McCLAIN, C.R. An overview of SeaWiFS and ocean colour. In: HOOKER, S.B.; FIRESTONE, E.R. **SeaWiFS Technical report series**. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Centre. 1992. 24 p. (NASA Technical Memorandum 104566).

HOUDE, E.D. Fish early life dynamics and recruitment variability. **American Fisheries Society Symposium**, v. 2, p. 17 – 29, 1987.

_____. Patterns and trends in larval-stage growth and mortality of teleost fish. **Journal of Fish Biology**, v. 51(s. A), p. 52 – 83, 1987. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1997.tb06093.x

_____. Emerging from Hjort's Shadow. **Journal of Northwestern Atlantic Fisheries Sciences**, v. 41, p. 53–70, 2008.

HU, C.; LIN, I-I.; LIEN, C-C. Introduction to SeaWiFS/MODIS Chlorophyll data products and data analysis tools. In: LIU, K-K.; ATKINSON, L.; QUINONES, R.; TALAUE-McMANUS, L. **Carbon and nutrient fluxes in continental margins: a global synthesis**. Berlin: Springer-Verlag. 2010. p. 620 - 624.

HUNTER; J.R.; COYNE, K.M. The onset of schooling in northern anchovy larvae, *Engraulis mordax*. **CalCOFI Report**, v. 23, p. 246 – 251, 1982.

ILES, T.D.; SINCLAIR, M. Atlantic herring: stock discreteness abundance. **Science**, v. 215, n. 4533, p. 627 – 633, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA); CENTRO DE PESQUISA E EXTENSÃO PESQUEIRA DAS REGIÕES SUDESTE E SUL - CEP SUL. **Relatório de Reunião sobre a pesca de sardinha-verdadeira nas regiões nas regiões Sudeste e Sul**. Itajaí: IBAMA. 2004. 34 p. Disponível em <http://www4.icmbio.gov.br/cepsul/index.php?id_menu=256> Acesso em junho de 2011.

ISAAC-NAHUM, V.J.; CARDOSO, R.D.; SERVO, G.; ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D. Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeidae). **Journal of Fish Biology**, v. 32, n. 3, p. 383 - 396, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) / CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 16, n. 3, 2001. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0301/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 16, n. 4, 2001. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0401/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 17, n. 3, 2002. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0302/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 17, n. 4, 2002. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0402/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 19, n. 3, 2004. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0304/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 19, n. 4, 2004. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0404/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 20, n. 3, 2005. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0305/index.html>> Acesso em jun. 2012.

_____. **CLIMANÁLISE - boletim de monitoramento e análise climática**, v. 20, n. 4, 2005. Disponível em <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0405/index.html>> Acesso em jun. 2012.

INTERNATIONAL OCEAN-COLOUR COORDINATING GROUP (IOCCG). **Remote sensing of ocean colour in coastal, and other optically-complex, waters**. Dartmouth: IOCCG. 2000. 145p. (Report, n. 3).

_____. **SeaWiFS**. Desenvolvido por IOCCG. Nova Scotia. 2012. Disponível em: <<http://www.ioccg.org/sensors/seawifs.html>> Acesso em: Jul. 2012.

IWAHASHI, M.; ISODA, Y., ITO, S.I., OOZEKI, Y., SUYAMA, S. Estimation of seasonal spawning ground locations and ambient sea surface temperatures for eggs and larvae of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the western North Pacific. **Fisheries Oceanography**, v. 15, n. 2, p. 125 - 138, 2006.

JABLONSKI, S. The Brazilian sardine. Is there any room for modelling? **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 2, n. 2, p. 86 - 93, 2007.

JABLONSKI, S.; LEGEY, L.F.L. Quantifying environmental effects on the recruitment of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*), 1922-1993. **Scientia Marina**, v. 68, n. 3, p. 385 - 398, 2004.

JACKSON, D.A. Stopping rules in principal component analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology**, v. 74, p. 204 - 214, 1993.

JENNINGS, M.; KAISER, M.J.; REYNOLDS, J.D. **Marine Fisheries Ecology**. Oxford: Blackwell Publishing. 2011. 415 p. ISBN 978-0-632-05098-7.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora. 2009. 598 p. ISBN 978-85-60507-06-1.

JET PROPULSION LABORATORY (JPL). **SeaWinds Science Data Product User's Manual: Overview & Geophysical Data Products (Version 1.1)**. Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory (JPL), 2003. 128 p. Disponível em: <ftp://ftp.scp.byu.edu/data/seawinds/docs/SWS_SDPUG_V2.0.pdf>. Acesso em: jun. 2012.

JOMBART, T.; DRAY, S.; DUFOUR, A. B. Finding essential scales of spatial variation in ecological data: a multivariate approach. **Ecography**, v. 32: 161 - 168, 2009.

JURY, M. R. Environmental Influences on Caribbean Fish Catch. **International Journal of Oceanography**, v. 2011, ID 174729, 11 p., 2011.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R., COLLINS, W.; DEAVEN, D., e outros. The NCEP/NCAR 40 - Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437 – 471, 1996.

KAMPEL, M. **Estimativa da Produção Primária e Biomassa Fitoplanctônica através de Sensoriamento Remoto da Cor do Oceano e dados *in situ* na Costa Sudeste Brasileira**. 2003. 311 p. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 2003.

KAMPEL, M.; NOVO, E.M.L.M. O Sensoriamento Remoto da Cor da Água. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005. p. 179 – 196.

KATARA, I.; PIERCE, G.J.; ILLIAN, J.; SCOTT, B.E. Environmental drivers of the anchovy/sardine complex in the Eastern Mediterranean. **Hydrobiologia**, v. 670, p. 49 – 65, 2011.

KATSURAGAWA, M. **Estudos sobre a variabilidade de amostragem, distribuição e abundância de larvas de peixes da região sudeste do Brasil**. 1985. 107 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo, 1985.

KENNEDY, M.; GRAY, R.D. Can ecological theory predict the distribution of foraging animals? A critical analysis of experiments on Ideal Free Distribution. **OIKOS**, v. 68, 158 – 166, 1993.

KENNEDY, M.; GRAY, R.D. Habitat choice, habitat matching and the effect of travel distance. **Behavior**, v. 134, p. 905 – 920, 1997.

KLYASHTORIN, L. B. **Climate change and long-term fluctuations of commercial catches: the possibility of forecasting**. Roma: FAO. 2001. 86 p. (FAO Fisheries Technical Paper 410). ISBN: 9251046956.

KOUSKY, V.E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217 – 231, 1988.

KRAUTZ, M.C.; GONZÁLEZ, M. CASTRO, L.C. Detection of anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) eggs in euphausiid diets using immunoassays (ELISA). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 294, p. 27 – 39, 2003.

KURTZ, F. W. **Dinâmica larval de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Teleostei, Clupeidae) na região sudeste do Brasil e implicações no recrutamento**. 1999. 169p. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

KURTZ, F.W.; MATSUURA, Y. Food and feeding ecology of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) larvae from the southeastern Brazilian Bight. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n.1/2; p. 61 – 74, 2001.

LACEY, R.W.J.; LEGENDRE, P.; ROY, A.G. Spatial-scale partitioning of in situ turbulent flow data over a pebble cluster in a gravel-bed river. **Water Resources Research**, v. 43, W03416, 2007.

LALIBERTÉ, E.; PAQUETTE, A.; LEGENDRE, P.; BOUCHARD, A. Assessing the scale-specific importance of niches and other spatial processes on beta diversity: a case study from a temperate forest. **Oecologia**, v. 159, p. 377–388, 2009.

LASKER, R. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. **Fishery Bulletin US**, v. 73, 453 - 462, 1975.

LASKER, R. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**, v. 173, p. 212 – 230, 1978.

LASKER, R. **Marine fish larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries**. Seattle, CA: Washington Sea Grant. 1981. 131 p. ISBN 978-02-9595-883-5.

LEGENDRE, P. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? **Ecology**, v.74, p. 1659 -1673, 1993.

LEGENDRE, P., LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. Amsterdam: Elsevier Science. 1998. 853 p.

LEGENDRE, L.; DEMERS, S.; LEFAIVRE, D. Biological production at marine ergoclines. In: NIHOUL, J. **Marine interfaces ecohydrodynamics**. Amsterdam: Elsevier Science. 1986. p. 1 - 30. ISBN 978-04-4441-623-0.

LEGENDRE, P.; BORCARD, D.; DE CACERES, M. STI, Version 1.0.2 - Space-time ANOVA models without replications. R Language Package, 2009. Disponivel em < <https://sites.google.com/site/miqueldecaceres/software> > Acesso em: 24 set. 2012.

LEGENDRE, P.; CÁCERES, M.; BORCARD, D. Community surveys through space and time: testing the space–time interaction in the absence of replication. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 262 – 272, 2010.

LEHODEY, P.; ALHEIT, J.; BARANGE, M. BAUMGARTNER, T.; BEAUGRAND, G.; DRINKWATER, K.; FROMENTIN, J.-M.; HARE, S.R.; OTTERSEN, G.; PERRY, R.I.; ROY, C.; VAN DER LINGEN, C.D.; WERNERIOLSEN, F. Climate Variability, Fish, and Fisheries. **Journal of Climate**, v. 19, p. 5009 – 5030, 2006.

LEHODEY, P.; SENINA, I.; CALMETTES B.; HAMPTON, J.; NICOL, S.; WILLIAMS, P.; MOLINA, J.J.; OGURA, M.; KIYOFUJI, H.; OKAMOTO, S. **SEAPODYM working progress and applications to Pacific skipjack tuna population and fisheries**. Pohnpei: Western and Central Pacific Fisheries Commission. 2011. 61 p. (Report of the Scientific Committee, 7th Regular Session).

LETCHER, B.H.; RICE, J.A. Prey patchiness and larval fish growth and survival: inferences from an individual-based model. **Ecological Modelling**, v. 95, p.29 – 43, 1997.

LETT, C.; ROY, C., LEVASSEUR, A.; VAN DER LINGEN, C.; MULLON, C. Simulation and quantification of enrichment and retention processes in the southern Benguela upwelling ecosystem. **Fisheries Oceanography**, v. 15, n. 5, p: 363 - 372, 2006.

LETT, C.; PENVEN, P.; AYÓN, P.; FRÉON, P. Enrichment, concentration and retention processes in relation to anchovy (*Engraulis ringens*) eggs and larvae distributions in the northern Humboldt upwelling ecosystem. **Journal of Marine Systems**, v. 64, p. 189 – 200, 2007.

LEVIN, S.A. The problem of pattern and scale in ecology. **Ecology**, v. 73, p. 1943 -1967, 1992.

LLOYD, M. Mean Crowding. **Journal of Animal Ecology**, v. 36, p. 1 – 30, 1967.

LLUCH-COTA, S.E.; LLUCH-COTA, D.B.; LLUCH-BELDA, D.; NEVÁRES-MARTÍNEZ, M.O.; PARÉS-SIERRA, A. Variability of sardine catch as related to enrichment, concentration, and retention processes in the Central Gulf of California. **CalCOFI Report**, v. 40, p. 184 - 190, 1999.

LOPES, R.M.; MONTÚ, M.A.; GORRI, C.; MUXAGATA, E.; MYIASHITA, L.K.; OLIVEIRA, L.P. O zooplâncton marinho na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L. S. P. O. **O Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006a. p. 265 – 358. ISBN 978-85-314-0948-6.

LOPES, R. M.; KATSURAGAWA, M.; DIAS, J. F.; MONTÚ, M. A.; MUELBERT, J. H.; GORRI, C.; BRANDINI, F. P., 2006. Zooplankton and Ichthyoplankton distribution on the Southern Brazilian Shelf: an overview. **Scientia Marina**, v. 70, p. 189 - 202, 2006b.

LORENC, A.C. A global Three-Dimensional Multivariate Statistical Interpolation Scheme. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 701 – 721, 1981.

LORENZZETTI, J.A.; GAETA, S. A. The Cape Frio upwelling effect over the Southern Brazil Bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 31, n. B7, p. 448 - 453, 1996.

LORENZZETTI, J.L.; ARAÚJO, C.E.S. Determinação da temperatura da superfície do mar (TSM), a partir do sensor AVHRR. In: FERREIRA, N.J. **Aplicações Ambientais brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos. 2004. 272 p. ISBN 858623835-X.

LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L. MELO-FILHO, W.L.; ASSIREU, A.T. Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 17, p. 2061 – 2068, 2009.

MACHU, E.; ETTAHIRI, O.; KIFANI, S.; BENAZZOUZ, A.; MAKAOUI, A.; DEMARCQ, H. Environmental control of the recruitment of sardines (*Sardina pilchardus*) over the western Saharan shelf between 1995 and 2002: a coupled physical/biogeochemical modeling experiment. **Fisheries Oceanography**, v. 18, n. 5, p. 287 - 300, 2009.

MacARTHUR, R.H. On the relative abundance of bird species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 43, p. 293 - 295, 1957.

MAGRO, M.; MOREIRA, L.H.A.; CARDOSO, L.C.C. Estrutura e dinâmica da frota pesqueira de cerco atuante em Angra dos Reis e Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brasil). In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; BERNARDES, R.A.; CERGOLE, M.C. **Dinâmica das Frotas Pesqueiras Comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Instituto Oceanográfico (USP). 2007. p. 165 – 198. (Série Documentos REVIZEE: Score Sul).

MARONE, E.; MACHADO, E.C.; LOPES, R.M.; SILVA, E.T. Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 53, p. 169-181, 2005.

MASON, D.M.; BRANDT, S.B. Space, time, and scale: new perspectives in fish ecology and management. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 56 (Supl. 1), p. 1 - 3, 1999.

MATSUURA, Y. A study of the life history of Brazilian sardines, *Sardinella aurita*. I. Distribution and abundance of sardine eggs in the region of Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 20, n. 1, p. 33 - 60, 1971.

MATSUURA, Y. A study of surface currents in the spawning of Brazilian Sardine. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 24, p. 31 - 34, 1975.

MATSUURA, Y. O ciclo de vida da sardinha-verdadeira (introdução à oceanografia pesqueira). **Publicação especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, v. 4, p.1 – 46, 1977.

MATSUURA, Y. **Estudo comparativo das fases iniciais do ciclo de vida da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, e da sardinha-cascuda, *Harengula jaguana*, (Pisces: Clupeidae), e nota sobre a dinâmica da população de sardinha-verdadeira na região sudeste do Brasil**. 1983. 150 p. Tese (Livre docência em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 1983.

MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). **Ciência e Cultura**, v. 38, n. 8, p. 1439 - 1450, 1986.

MATSUURA, Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 1, p. 33 - 43, 1998.

MATSSURA, Y. Large scale fluctuations of small pelagic fish, populations and climate change: a review. **Bulletin of the Tokohu National Fisheries Research Institute**, v. 62, p. 195 - 205, 1999.

MATSUURA, Y.; HEWIT, R. Changes in the spatial patchiness of Pacific mackerel, *Scomber japonicus*, larvae with increasing age and size. **Fishery Bulletin**, v. 93, p. 172 - 178, 1995.

MATSUURA, Y.; NAKATANI, K.; TAMASSIA, S.T.J. Distribuição sazonal de zooplâncton, ovos e larvas de peixes na Região Centro-Sul do Brasil (1975-77). **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 29, n. 2, p. 231 - 235, 1980.

MATSUURA, Y.; SPACH, H.L.; KATSURAGAWA, M. Comparison of spawning patterns of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and anchoita (*Enguraulis anchoita*) in Ubatuba Region, southern Brazil during 1985 through 1988. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 40, n.1/2, p. 101 - 115, 1992.

McCLATCHIE, S.; ROGERS, P.J.; MACLEAY, L. Importance of scale to the relationship between abundance of sardine larvae, stability, food. **Limnology and Oceanography**, v. 52, p. 1570 – 1579, 2007.

MALUF, S. **Cartas de pesca: um modelo de cartas de pesca utilizando dados oceanográficos e de sensoriamento remoto, aplicado à sardinha (*Sardinella brasiliensis*)**. 1978. 166 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1978.

MARAVELIAS, C. D.; REID, D.G. Relationship between herring (*Clupea harengus*) distribution and sea surface salinity and temperature in the northern North Sea. **Scientia Marina**, v. 59, p. 427–438, 1995.

MASSÉ, J.; KOUTSIKOPOULOS, C.; PATTY, W. The structure and spatial distribution of pelagic fish schools in multispecies clusters: an acoustic study. **ICES Journal of Marine Science**, v. 43, n. 2, p. 155 – 160, 1996.

MAYNOU, E.; OLIVAR, M. P.; EMELIANOV, M. (2008). Patchiness and spatial structure of the early developmental stages of clupeiforms in the NW Mediterranean Sea. **Journal of Plankton Research**, v. 30, p. 873 - 883, 2008.

McCALL, A.D. **Dynamic Geography of Marine Fish Populations**. Seattle: Washington Sea Grant Program. 1990. 153 p.

McCLAIN, E.P.; PICHEL, W.G.; WALTON, C.C. Comparative performance of AVHRR-based multi-channel sea surface temperatures. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p. 11587 - 11601, 1985.

McGURK, M.D. Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: role of spatial patchiness. **Marine Ecology Progress Series**, v. 34, p. 227 – 242, 1986.

McMANUS, M.; ALLDREDGE, A.L.; BARNARD, A.H.; BOSS, E.; CASE, J.F.; COWLES, T.J.; DONAGHAY, P.L.; EISNER, L.B.; GIFFORD, D.J.; GREENLAW, C.F.; HERREN, C.M.; HOLLIDAY, D.V.; JOHNSON, D.; MACINTYRE, S.; McGEHEE, D.M.; OSBORN, T.R.; PERRY, M.J.; PIEPER, R.E.; RINES, J.E.B.; SMITH, D.C.; SULLIVAN, J.M.; TALBOT M.K.; TWARDOWSKI, M.S.; WEIDEMANN, A.; ZANEVELD, J.R.. Characteristics, distribution and persistence of thin layers over a 48 hour period. **Marine Ecology Progress Series**, v. 261, p. 1 – 19, 2003.

MENEZES, N.A., BUCKUP, P.A., FIGUEIREDO, J.L. & MOURA, R.L. **Catálogo das espécies de peixes marinhos do Brasil**. São Paulo: Museu de Zoologia USP. 2003. 160 p. ISBN 85-87735-02-0.

MESINGER, F.; DIMEGO, G.; KALNAY, E.; SHAFRAN, P.; EBISUZAKI, W.; JOVIC, D., e outros. North American Regional Reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 87, n. 3, p. 343 - 360, 2006.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA (MPA). **Boletim estatístico da pesca e aquicultura – Brasil 2010**. Brasília: MPA. 2010. 129 p. Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/index.php/informacoes-e-estatisticas/estatistica-da-pesca-e-aquicultura>> Acesso em setembro de 2012.

MIRANDA, L.B. Forma da correlação T – S de massas d’água das Regiões costeiras e oceânicas entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 33, n.2, p. 105 – 119, 1985.

MIRANDA, L.B.; KATSURAGAWA, M. Estrutura térmica na região sudeste do Brasil (outubro-novembro de 1988). **Publicação especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, v. 8, p. 1 - 14, 1991.

MIRANDA, L.W.; CARNEIRO, M.H.; PERES, M.B.; CERGOLE, M.C.; MENDONÇA, J.T. **Contribuições ao processo de ordenamento da pesca da espécie *Mugil liza* (Teleostei:Mugilidae) nas regiões Sudeste e Sul do Brasil entre os anos de 2006 e 2010. 2011.** Santos: Instituto de Pesca. 2011. 25 p. (Série Relatórios Técnicos n. 49).

MOLLOY, P.P.; CÔTE, I.M; REYNOLDS, J.D. Why spawning in aggregations? In: SADOVY DE MITCHESON, Y.S.; COLIN, P.L.L. **Reef fish spawning aggregations: biology, research and management.** New York: Springer Dordrecht Heidelberg. 2012. p. 57 – 84. ISBN 978-94-007-1979-8.

MÖLLER JR. , O. O. ; PIOLA, A. R. ; FREITAS, A. C., CAMPOS, E. J.D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1607 - 1624, 2008.

MÖLLMANN, C.; KORNILOVS, G.; FETTER, M.; KÖSTER, F.W. Climate, zooplankton, and pelagic fish growth in the central Baltic Sea. **ICES Journal of Marine Science**, v. 62, n. 7, p. 1270 – 1280, 2005.

MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 709 – 722, 1977.

MOREL, A. Optical modeling of the upper ocean in relation to its Biogenous Matter content (Case I waters). **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. C9, p. 10749 - 10748, 1988;

MOREL, A., HUOT, Y.; GENTILI, B.; WERDELL, P.J.; HOOKER, S.B.; FRANZ, B.A. Examining the consistency of products derived from various ocean color sensors in open ocean (Case 1) waters in the perspective of a multi-sensor approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, p. 69 - 88, 2007.

MUELBERT, J.H.; LEWIS, M.R.; KELLEY, D.E. The importance of small-scale turbulence in the feeding of herring larvae. **Journal of Plankton Research**, v. 16, n. 8, p. 927 – 944, 1994.

MUELBERT, J. H.; ACHA, M.; MIANZAN, H., GUERRERO, R.; RETA, R.; BRAGA, E.; GARCIA, V.M.T. BERASATEGUI, A.; GOMEZ-ERACHE, M.; RAMÍREZ, F. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 28, p.1662– 1673, 2008.

MUIÑO, R.; CARRERA, P.; IGLESIAS, M. The characterization of sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) schools off the Spanish-Atlantic coast. **ICES Journal of Marine Science**, v. 60, p. 1361 – 1372, 2003.

MURAWSKI, S.A.; FINN, J.T. Biological bases for mixed-species fisheries: species co-distribution in relation to environmental and biotic variables. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 45, n. 10, p. 1720 - 1735, 1988.

MUXAGATA, E. **Avaliação da Biomassa e distribuição zooplanctônica na Plataforma Continental Sudeste Brasileira, durante o inverno de 1995**. 1999. 176 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica), Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande. 1999.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION SATELLITE INFORMATION SYSTEM (NOAASIS). **NOAA's Geostationary and Polar-Orbiting Weather Satellites**. Desenvolvido por Maryland: NOAASIS.. 2012a. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/genlsatl.html>> Acesso em jul. 2012.

_____. **Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR**.

Desenvolvido por NOAASIS. Maryland. 2012b. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>>, Acesso em: jul. 2012.

NATIONAL SNOW AND DATA CENTER (NSDIC). **Instrument Description: Spaceborne Scatterometers**. Desenvolvido por University of Colorado Boulder. Colorado. 2008. Disponível em <http://nsidc.org/data/docs/daac/scatterometer_instrument.gd.html>. Acesso em: jul. 2012.

O'REILLY, J. E.; MARITORENA, S.; SIEGEL, D.A; O'BRIEN, M.; TOOLE, D., e outros. Ocean Color Chlorophyll-a Algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4, Version 4. In: HOOKER, S.B; FIRESTONE, E.R. **SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series v. 11**. Maryland: Goddard Space Flight Center, 2000. p. 9 - 23. (NASA Technical Memorandum 2000-206892).

ODEBRECHT, C.; GARCIA, V.M.T. Coastal and marine environments and their biota: Phytoplakton. In: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C., CASTELLO, J.P. **Subtropical convergence environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic**. Berlin: Springer-Verlag. 1997. 308 p. ISBN 3-540-61365-X

OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; HENRY, M.; STEVENS, H.; WAGNERVEGAN, H. **vegan - Community ecology package (pacote de funções em linguagem R) versão 1.17-9**. 2012. Disponível em < <http://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>> Acesso em junho de 2012.

OLIVEIRA, F.S.C.; GHERARDI, D.F.M.; STECH, J.L. The relationship between multi-sensor satellite data and Bayesian estimates for skipjack tuna catches in the South Brazil Bight. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, p. 4049 – 4067, 2010;

OLSEN, E.M.; OTTERSEN, G.; LLOPE, M.; CHAN, K.-S.; BEAUGRAND, G.; STENSETH, N.C. Spawning stock and recruitment in North Sea cod shaped by food and climate. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 278 n. 1705, p. 504 - 510 2011. doi:10.1098/rspb.2010.1465. Disponível em: < <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/278/1705/504.full> >. Acesso em jul. 2012.

ORTEGA-GARCIA, S.; GÓMEZ-MUÑOZ, V.M. Standardization of Fishing Effort using Principal Component Analysis of vessel characteristics: the Mexican tuna purse-seiners. **Scientia Marina**, v. 56, n. 1, p. 17 – 20, 1992.

PAES, E.T.; SOPPA, M.A.; SOUZA, R.B. Covariações entre os desembarques da sardinha-verdadeira - *Sardinella janeiro* (Eigenmann, 1894) em seus extremos de ocorrência na plataforma sudeste brasileira e anomalias de temperatura da superfície do mar estimadas por satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p: 4651 - 4658. On-line. ISBN : 978-85-17-00031-7. Disponível em: < <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.21/doc/4651-4658.pdf> > Acesso em: 24 set 2012.

PALMA, E.D.; MATANO, R.P.; PIOLA, A.R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing et al. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, C11010, 22 p., 2008.

PALOHEIMO, J.; DICKIE, L. Abundance and fishing success. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**, v. 155, p. 152 - 163, 1964.

PARADA, C.; VAN DER LINGEN, C.D.; MULLON, C.; PENVEN, P. Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: an IBM approach. **Fisheries Oceanography**. v. 12, n. 3, p. 170–184, 2003.

PARENTE, J. Predictors of CPUE and standardization of fishing effort for the Portuguese coastal seine fleet. **Fisheries Research**, v. 69, p. 381 - 387, 2004.

PARRISH, D.F.; DERBER, J.C. The National Meteorological Center's Spectral Statistical-Interpolation Analysis System. **Monthly Weather Review**, v. 120, p. 1747 – 1763, 1992.

PARRISH, R.H.; BAKUN, A.; HUSBY, D.M.; NELSON, C.S. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Report of the expert consultation on the conditions of access to the fish resources of the Exclusive Economic Zones**. Roma: FAO. 1983. p. 731 - 777. (FAO Fisheries Report, v. 293, n. 3).

- PARRISH, R.H.; NELSON, C.S.; BAKUN, A. Transport Mechanisms and Reproductive Success of Fishes in the California Current. **Biological Oceanography**, v. 1, n. 2, p. 175 - 203, 1981.
- PEREIRA, M.D.; SCHETTINI, C.A.F.; OMACHI, C.Y. Caracterização de feições oceanográficas na Plataforma de Santa Catarina através de imagens orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, p. 81 - 93, 2009.
- PÉRES-NETO, P.; JACKSON, D.A.; SOMERS, K.M. Giving meaningful interpretation to ordination axes: assessing loading significance in Principal Component Analysis. **Ecology**, v. 84, n. 9, p. 2347–2363, 2003.
- PETERSON, R.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress In Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1-73, 1991.
- PETITGAS, P. Biomass-dependent dynamics of fish spatial distributions characterized by geostatistical aggregation curves. **ICES Journal of Marine Science**, v. 55, p. 443 – 453, 1998.
- PETITGAS, P.; REID, D.; CARRERA, P. IGLESIAS, M.; GEORGAKARAKOS, S.; LIORZOU, B.; MASSE, J. On the relation between schools, clusters of schools, and abundance in pelagic fish stocks. **ICES Journal of Marine Science**, v. 58, p. 1150 -1160, 2001.
- PETRERE-JR., M.; GIACOMINI, H.C.; DE MARCO Jr., P. Catch-per-unit-effort: Which estimator is best? **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 2, p. 631 – 637, 2010.
- PEZZI, L. P; SOUZA, R. B. Variabilidade de meso-escala e interação Oceano-Atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A.; JUSTI, M. J. **Tempo e clima no Brasil**. 2009. p. 385 - 405 São Paulo, Brasil, 2009.
- PIERSON JR., W.J. Probabilities and Statistics for Backscatter Estimates Obtained by a Scatterometer. **Journal Of Geophysical Research**, v. 94, n. C7, p. 9743 - 9759, 1989.
- PINAYA, W.H.D. **Variabilidade Climática Marinha na Plataforma Sudeste Brasileira e sua relação coma a pesca da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**. 2008. 184p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos), CEM/UFPR, Pontal do Paraná. 2008.
- PIOLA, A.R., MATANO, R.P., PALMA, E., MOLLER, O.O., CAMPOS, E.J.D. The influence of the Plata river discharge on the western South Atlantic Shelf. **Geophysical Research Letters** v. 32, L01603, 2005.
- PITCHER, T.J. The impact of pelagic fish behaviour on fisheries. **Scientia Marina**, v. 59, n. 1 – 3, p. 295 - 306, 1995.

PLANQUE, B., BELLIER, E.; LAZURE, P. Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. **Fisheries Oceanography**, v. 16, n. 1, p. 16 - 30, 2007.

PREISENDORFER, R.W. **Hydrologic optics**: introduction. Honolulu: U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories, Pacific Marine Environmental Laboratory. 1976. 218 p.

PRIEUR, L.; SATHYENDRANATH, S. An Optical Classification of Coastal and Oceanic Waters Based on the Specific Spectral Absorption Curves of Phytoplankton Pigments, Dissolved Organic Matter, and Other Particulate Materials. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 671 - 689, 1981.

PURCELL; J.E.; ARAI, M.N. Interactions of pelagic cnidarians and ctenophores with fish: a review. **Hydrobiologia**, v. 451, p. 27 – 44, 2001.

RANGEL, T.F.; DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. **Ecography**, v. 33, p. 46-50, 2010.

REMOTE SENSING SYSTEMS (RSS). **Description of Scatterometer data products**. Desenvolvido por RSS. Califórnia. 2009-2012. Disponível em: <http://www.ssmi.com/qscat/qscat_description.html#version> Acesso em jun. 2012.

REYNOLDS, R.W.; RAYNER, N.A.; SMITH, T.M.; STOKES, D.C.; WANG, W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **Journal of Climate**, v. 15, p. 1609 – 1625, 2002.

RICCIARDULLI, L.; WENTZ, F. **Reprocessed QuikSCAT (V04) wind vectors with Ku-2011 Geophysical Model Function**. Santa Rosa, CA: Remote Sensing Systems, 2011. 8 p. (Technical Report, n. 043011). Disponível em: <http://www.ssmi.com/qscat/qscat_Ku2011_tech_report.pdf>. Acesso em: 25 set. 2012.

RICHARDSON, I.D.; SADOWSKI, V. Note on the Sampling of Sardine (*Sardinella allecia*) at Cananéia, State of São Paulo, Brazil. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**. v.1, n.1, p. 87 - 97, 1960.

ROBEL, J. **NOAA KLM User's Guide**. Desenvolvido por National Climatic Data Center (NCDC). North Carolina. 2006 - 2009. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/cover.htm>> Acesso em: Jul. 2012.

ROBINSON, I. **Satellite Oceanography**: an introduction for oceanographers and remote sensing scientists. Chichester: J. Willey & Sons. 1985. 455 p. ISBN 978-04-7195-424-8.

ROCHA, C.A.S.; CUNHA, V.L.; FERREIRA, A.G. Avaliação das capturas de atuns e afins do Nordeste do Brasil, com base em dados obtidos por Sensoriamento Remoto. **Revista Científica Faculdade Lourenço Filho**, v. 1, n. 1, p. 41-49, 2001. Disponível em <<http://www.flf.edu.br/revista-flf.php>>, Acesso em junho de 2012.

ROTHSCHILD, B.J.; OSBORN, T.R. Small-scale turbulence and plankton contact rates. **Journal of Plankton Research**, v.10, n.3, p. 465 – 474, 1988.

ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B. Estudo das variações de relação peso total/comprimento total em função do ciclo reprodutivo e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) da costa do Brasil, entre 23° S e 28° S. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 26, p. 131 – 180, 1977.

ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; VAZZOLER, A.E.A.; BRAGA, F.M.S. Estudos sobre estrutura, ciclo de vida e comportamento de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), na área entre 22°S e 28°S, Brasil. 1. Morfologia dos otólitos. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 31, n. 2, p. 57 - 76, 1982.

ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; SACCARDO, S.A.; VAZZOLER, A.E.A. Características biológicas dos cardumes de sardinha e relação com as condições oceanográficas na região sudeste do Brasil (outubro/novembro e 1988). **Publicação especial do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, v. 8, p. 31 - 39, 1991.

ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; SACCARDO, S.A.; CERGOLE, M.C. Are fluctuations in Brazilian sardine catches related to global-scale climate changes? **Anais da Academia brasileira de Ciências**, v. 68, Supl.1, p. 239 - 250, 1996.

ROUYER, T.; FROMENTIN, J.-M.; MÉNARD, F.; CAZELLES, B.; BRIAND, K.; PIANET, R.; PLANQUE, B.; STENSETH, N.C. Complex interplays among population dynamics, environmental forcing, and exploitation in fisheries. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 104, n.14, p. 5420–5425.

ROY, C.; CURY, P.; KIFANI, S. Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises. **South African Journal of Marine Science**, v. 12, n. 1, p. 135 – 146, 1992.

ROY, M.L.; ROY, A.G.; LEGENDRE, P. The relations between ‘standard’ fluvial habitat variables and turbulent flow at multiple scales in morphological units of a gravel-bed river. **River Research Applications**, v. 26, p. 439 – 455, 2010.

SACCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; CERGOLE, M.C.; BITTENCOURT, M.; M. Age and growth of the southeastern Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, 1981-83. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 36, n. 1, p.17 - 35, 1988.

SACCARDO, S.A.; ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B. Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. **Atlântica, Rio Grande**, v. 13, n. a, p. 29 - 43, 1991.

SAIZ, E.; CALBET, A.; BROGLIO, E. Effects of small-scale turbulence on copepods: The case of *Oithona davisae*. **Limnology and Oceanography**, v. 48, n. 3, p. 1304–1311, 1992.

SANTOS, A. M. P., PELIZ, A., DUBERT, J., OLIVEIRA, P. B., ANGÉLICO, M. M., RÉ, P. Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine (*Sardina pilchardus*) eggs and larvae off western Iberia: a retention mechanism. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 149 – 165, 2004.

SCHILLING, N.S. Survival of the Fittest: Fish in Patchy Environments Show Ideal Free Distribution (IFD). **Eukaryon**, v. 1, p. 11-16, 2005.

SCHLATTER, T.W. Some Experiments with a Multivariate Statistical Objective Analysis Scheme. **Monthly Weather Review**, v. 103, p. 246 - 257, 1975.

SCHNEIDER, D.C.; METHVEN, D.A.; DALLEY, E.L. Geographic contraction in juvenile fish: a test with northern cod (*Gadus morhua*) at low abundances. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 54, sup. 1, p. 187 - 199, 1997.

SCHNEIDER, F.; SCHWINGEL, P.R. Estudo preliminar da Ecologia Trófica da *Sardinella brasiliensis* na Costa Sudeste do Brasil (1999). **Notas Técnicas da FACIMAR**, v. 3, p. 67 - 72, 1999.

SCHWARTZLOSE, R.A.; ALHEIT, J.; BAKUN, A.; BAUMGARTHER, T. R.; CLOETE, R.; CRAWFORD, R. J. M., FLETCHER, W. J., GREEN-RUIZ, Y., HAGEN, E., KAWASAKI, T., LLUCH-BELDA, D., LLUCH-COTA, S. E., MACCALL, A. D., MATSSURA, Y., NEVAREZ-MARTINEZ, M. O., PARRISH, R. H., ROY, C., SERRA, R., SHUST, K. V., WARD, M. N. & ZUZUNAGA, J. Z. Worldwide large-scale fluctuation of sardine and anchovy populations. **African Journal of Marine Science**, v. 21, p. 289 – 347, 1999.

SCHWINGEL, P.R.; OCCHIALINI, D.S. Descrição e dinâmica da frota de traineiras no Porto de Itajaí (SC) entre 1997 e 1999. In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; BERNARDES, R.A.; CERGOLE, M.C. **Dinâmica das Frotas Pesqueiras Comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Instituto Oceanográfico (USP). 2007. p. 104 – 164. (Série Documentos REVIZEE: Score Sul).

SHAW, E. Schooling fishes. **American Scientist**, v. 66, p. 166 - 175, 1978.

SHEPHERD, T.D.; LITVAK, M.K., Density-dependent habitat selection and the ideal free distribution in marine fish spatial dynamics: considerations and cautions. **Fish and Fisheries**, v. 5, p. 141-152, 2004.

SHERBININ, A.; KLINE, K.; RAUSTIALA, K., Remote Sensing data: valuable support for environmental treaties. **Environment**, v. 44, n. 1, p. 22 - 31, 2002.

SIKORA, T.D.; YOUNG, G.S.; WINSTEAD, N.S. A Novel Approach to Marine Wind Speed Assessment Using Synthetic Aperture Radar. **Weather and Forecasting**, v. 21, p. 109 – 115, 2006.

SINCLAIR, M.; TREMBLAY, M.J. Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the Match-Mismatch theory. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 41, n. 7, p. 1055 – 1065, 1984.

SINCLAIR, M.; ILES, T.D. Atlantic herring (*Clupea harengus*) distributions in the Gulf of Maine – Scotian Shelf area in relation to Oceanographic features. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 42, n. 5, p. 880 – 887, 1985.

SINCLAIR, M.; TREMBLAY, M.J.; BERNAL, P. El Niño events and variability in a Pacific Mackerel (*Scomber japonicus*) survival index: support for Hjort's second hypothesis. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 42, n. 3, p. 602 – 608, 1985.

SLOTTE, A. Patterns of aggregation in Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.) during the spawning season. **ICES C. M. 1998/J:32**, p. 1 – 5, 1998. Disponível em <http://brage.bibsys.no/imr/bitstream/URN:NBN:no-bibsys_brage_6315/3/J32-1998.pdf>. Acesso em maio de 2012.

SMITH, P.E. The mortality and dispersal of sardine eggs and larvae. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**, v. 164, p.: 282 - 292, 1973.

SMITH, P.E.; RICHARDSON, S.L. Standard techniques for pelagic fish egg and larvae surveys. **FAO Fisheries Technical Paper**, v. 175, p. 1 - 100, 1977.

SMITH, P.E.; HEWITT, R.P. Anchovy egg dispersal and mortality as inferred from close-internal observations. **CalCOFI Report**, v. 26, p. 97 - 110, 1981.

SMITH, R.D.; DUKOWICZ, J.K.; MALONE, R.C. Parallel ocean general circulation modeling. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 60, n. 1 - 4, p. 38 - 61, 1992.

SMITH, S.D. Coefficients for Sea Surface Wind Stress, Heat Flux, and Wind Profiles as a Function of Wind Speed and Temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. C12, p. 15467 -15472, 1988.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. Ames: The Iowa State University Press. 1967. 503 p.

SOARES, H.C. **Estudo das condições atmosféricas e oceânicas do atlântico sudoeste e suas associações com extremos de captura da Sardinha-verdadeira**. 2009. 147 p. Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

SOARES, H.C.; PEZZI, L.P.; GHERARDI, D.F.M.; PAES, E.T. Oceanic and atmospheric patterns during spawning periods prior to extreme catches of the Brazilian Sardine (*Sardinella brasiliensis*) in the Southwest Atlantic. **Scientia Marina**, v. 75, n. 4, p. 665 – 677, 2011.

SOLANKI, H.U.; Dwivedi, R.M., Nayak, S.R., 2001b. Synergistic analysis of SeaWiFS chlorophyll concentration and NOAA-AVHRR SST features for exploring marine living resources. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 3877 - 3882, 2001.

SOLANKI H.U.; MANKODI, P.C.; NAYAK, S.R.; SOMVANSHI, V.S. Evaluation of remote-sensing-based potential fishing zones (PFZs) forecast methodology. **Continental Shelf Research**, v. 25, p. 2163 – 2173, 2005.

SOMARAKIS, S.; GANIAS, K.; SIAPATIS, A.; KOUTSIKOPOULOS, C.; MACHIAS, A.; PAPACONSTANTINO, C. Spawning habitat and daily egg production of sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern Mediterranean. **Fisheries Oceanography**, v. 15, n. 4, p. 281 - 292, 2006.

SOUZA, R.B. Introdução à Oceanografia por Satélites. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005. p.15 -19.

SOUZA, R.B.; ROBINSON; I.S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 241 - 262, 2004.

SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005. p.102 - 116.

SPACH, H. L. **Estudo comparativo da distribuição espaço - temporal e de padrões de agregação de ovos e larvas de Harengula jaguana, Sardinella brasiliensis e Engraulis anchoita na Costa Sudeste do Brasil**. 1990. 87 p. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo, 1990.

STECH, J.L. Assimilação de dados de vento sobre a superfície dos oceanos em modelos de circulação. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005. p. 20 – 31.

STECH, J.L.; LORENZZETTI, J.A. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. 6, p. 9507 – 9520, 1992.

STEVENSON, M.R.; DIAS-BRITO, D.; STECH, J.L.; KAMPEL, M.; How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Continental Shelf Research**, v. 18, p. 1595 - 1612, 1998.

STEWART, R.H. **Methods of Satellite Oceanography**. London: University of California Press. 1985. 360 p. ISBN 978-05-2004-226-1

STOFFELEN, A.; ANDERSON, D. Scatterometer Data Interpretation: Measurement Space and Inversion. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 14, p. 1298 – 1313, 1997.

SUNYÉ, P.S.; SERVAIN, J. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. **Fisheries Oceanography**, v. 7, n. 2, p. 89 - 100, 1998.

SUTHERS, I.M.; TAGGART, C.T.; KELLEY, D.; RISSIK, D.; MIDDLETON, J.H. Entrainment and advection in an island's tidal wake, as revealed by light attenuation, zooplankton, and ichthyoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 49, n. 1, p. 283 - 296, 2004.

SWAIN, D.P.; SINCLAIR, A.F. Fish Distribution and Catchability: What Is the Appropriate Measure of Distribution? **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 51, n. 5, p. 1046 – 1054, 1994.

SWAIN, D.P.; MORIN, R. Relationships between geographic distribution and abundance of American plaice (*Hippoglossoides platessoides*) in the southern Gulf of St. Lawrence, **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 53, n. 1, p. 106 - 119, 1996.

SZEINFELD, E.V. Cannibalism and intraguild predation in clupeoids. **Marine Ecology Progress Series**, v. 79, p. 17 - 26, 1991.

TAKASUKA, A.; OOZEKI, Y.; KUBOTA, H.; TSURUTA, Y.; FUNAMOTO, T. Temperature impacts on reproductive parameters for Japanese anchovy: Comparison between inshore and offshore waters. **Fisheries Research**, v. 76, p. 475–482, 2005.

TAKASUKA, A.; OOZEKI, Y.; AOKI, I. Optimal growth temperature hypothesis: why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 64, p. 768–776, 2007.

TAKASUKA, A., OOZEKI, Y.; KUBOTA, H., LLUCH-COTA, S.E. Contrasting spawning temperature optima: why are anchovy and sardine regime shifts synchronous across the North Pacific? **Progress in Oceanography**, v. 77, p. 225 – 232, 2008.

THEILACKER, G.H.; LO, N.C.H.; TOWNSEND, A.W. An immunochemical approach to quantifying predation by euphausiids on the early stages of anchovy. **Marine Ecology Progress Series**, v. 92, p. 35 – 50, 1993.

- TILMAN, D.; LEHMAN, C.L.; KAREIVA, P. Population Dynamics in Spatial Habitats, In: TILMAN, D.; KAREIVA, P. **Spatial Ecology: the role of space in population dynamics and interspecific interactions**. New Jersey: Princeton University Press. 1997. p. 3 – 20. ISBN 0-691-01653-4.
- TOURRE; Y.M.; LLUCH-COTA, S.E.; WHITE, W.B. Global multi-decadal ocean climate and small-pelagic fish population. **Environmental Research Letters**, v. 2, 034005, 2007. Disponível em: < <http://iopscience.iop.org/1748-9326/2/3/034005> > Acesso em jul. 2012.
- TOUSSAINT, A. The relative neighbourhood graph of a finite planar set. **Pattern Recognition**, v. 12, p. 261 - 268, 1980.
- TUBINO, M.F.A. **Pescarias da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro (Brasil)**. 2002, 127p. Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha) – Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2002.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R.H.; O'NEILL, R.V. **Landscape Ecology in theory and practice: pattern and processes**. New York: Springer. 2001. 401 p. ISBN: 0-387-95123-7.
- TWATWA, N.M.; VAN DER LINGEN, C.D.; DRAPEAU, L.; MOLONEY, C.L.; FIELD, J.G. Characterizing and comparing the spawning habitats of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the southern Benguela upwelling ecosystem. **African Journal of Marine Science**, v. 27, n.2, p. 587 - 499, 2005.
- TYLER, J.A.; HARGROVE, W.W. Predicting spatial distribution of foragers over large resource landscapes: a modeling analysis of the Ideal Free Distribution. **OIKOS**, v. 79, n. 2, p. 376 – 386, 1997.
- ULLTANG, O. Factors effecting the reaction of pelagic fish stocks to exploitation and requiring a new approach to assessment and management. **Rapports et Procs-Verbaux des Reunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer**, v. 177, p. 489 - 509, 1980.
- UPPALA, S.M.; KÅLLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J.; ANDRAE, U.; BECHTOLD, V.C., e outros. The ERA-40 re-analysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 131, p. 2961 - 3012, 2005.
- VALDÉS, E.S.; SHELTON, P.A.; ARMSTRONG, M.J.; FIELD, J.G. Cannibalism in south african anchovy: egg mortality and egg consumption rates. **South African Journal of Marine Science**, v. 5, p. 613 – 622, 1987.
- VALDÉS-SZEINFELD, E.S.; COCHRANE, K.L. The potential effects of cannibalism and intraguild predation on anchovy recruitment and clupeoid fluctuations. **South African Journal of Marine Science**, v. 12, p. 695 – 702, 1992.

VALENTINI, H.; CARDOSO, R.D. Análise da pesca da sardinha-verdadeira na costa sudeste-sul do Brasil. **Atlântica**, v. 13, p. 45 – 54, 1991.

VAN DER LINGEN, C.D.; HUTCHINGS, L.; MERKLE, D.; VAN DER WESTHUIZEN, J.J.; NELSON, J. Comparative spawning habitats of anchovy (*Engraulis capensis*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the southern Benguela upwelling ecosystem. In: KRUSE, G.M.; BEZ, N.; BOOTH, A.; DORN, M.W.; MILLS, S.; LIPCIUS, R.N.; PELLETIER, D.; ROY, C.; SMITH, S.J.; WITHERELL, D. Lowell Wakefield Symposium, 17: Spatial Processes and the Management of Fish Populations, 2001, Fairbanks, Alaska. **Proceedings...** Fairbanks: University of Alaska Sea Grant. 2001. p. 185 – 209.

VAN DER LINGEN, C.; HUGGETT, J.A. The role of ichthyoplankton surveys in recruitment research and management of South African anchovy and sardine, In: BROWMAN, H.I.; SKIFTESVIK, A.B. The Big Fish Bang: Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference, 2003, Bergen, Norway. **Proceedings....** Bergen: AFS-ELHS. p. 303 – 343, 2003. ISBN 82-7461-059-82003

VAN DER LINGEN, C. D.; CASTRO, L.; DRAPEAU, L.; CHECKLEY JR., D. Report of a GLOBEC-SPACC workshop on characterizing and comparing the spawning habitats of small pelagic fish, Concépcion, 2004. **Proceedings...** Plymouth: GLOBEC International Project Office, 2005. n. XII, 33 p. (GLOBEC Report v. 21).

VASCONCELLOS, M. An analysis of harvest strategies and information needs in the purse seine fishery for the Brazilian sardine. **Fisheries Research**, v.59, p. 363-378, 2003.

VAZ, A.C.; PARADA, C.E.; PALMA, E.D.; MUELBERT, J.H.; CAMPOS, E.J.D. 2007. Modeling transport and retention of *Engraulis anchoita* Hubbs & Marini, 1935 (Clupeiformes, Engraulidae) early life stages along the Central Southwestern Atlantic Continental Shelf. **Panamjas**, v. 2, p. 179-190, 2007.

VEGA-PÉRES, L.A. Zooplâncton. In: PIRES-VANIM, A.M.S. **Oceanografia de um Ecossistema Subtropical**: Plataforma de São Sebastião. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2008. p. 253 – 272. ISBN 978-85-314-1033-8.

VENABLES, W.N.; RIPLEY. B.D. **Modern applied statistics with S**. 4a. Ed. Berlin: Springer-Verlag. 2002. 495 p. ISBN 0-387-95457-0.

VERHOEF, A.; STOFFELEN, A. **ASCAT wind product user manual, version 1.11**. De Bilt: KNMI. 2012. 26 p. (SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/MA/126). Disponível em: <<http://www.knmi.nl/scatterometer/publications/>>. Acesso em: jul. 2012.

VERHOEF, A.; STOFFELEN, A. **SeaWinds product user manual version 1.6**. De Bilt: KNMI. 2009. 33 p. (SAF/OSI/KNMI/TEC/MA/134). Disponível em: <<http://www.knmi.nl/scatterometer/publications/>>. Acesso em: jul. 2012.

WAGNER; H.H.; FORTIN, M.J. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics 2005. **Ecology**, v. 86, n.8, p. 1975 – 1987, 2005.

WAINER, I.; TASCHETTO, A.S. Climatologia na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS): Diagnóstico para os períodos relativos aos Levantamentos Pesqueiros do Programa REVIZEE In: ROSSI-WONGTCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L. S. P. **O Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2006. p. 121 – 160. ISBN 978-85-314-0948-6.

WALTON, C.C.; PICHEL, W.G.; SAPPER, J.F.; MAY, D.A. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. **Journal of Geophysical Research**, 103(C12): doi: 10.1029/98JC02370. issn: 0148 - 0227, 1998.

WATANABE, K., Variation in chemical composition in some commercial fishes from the south of Brazil. **Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish**, v. 29, n. 5, p. 469 - 475, 1963.

WENTZ, F.; MATTOX, L.A. New algorithms for Microwave Measurements of Ocean Winds: Applications to SEASAT and the Special Sensor Microwave Imager. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, n. C2, p. 2289-2307, 1986.

WERNER, R.G. Habitat requirements. In: FUIMAN, L.A.; WERNER, R.G. **Fishery science: the unique contributions of early life stages**. 2002. 326 p. Oxford: Blackwell Science. 2002, p. 161 -182. ISBN-10: 0-632-05661-4.

WIENS, J.A. Spatial Scaling in Ecology. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4., p. 385-397, 1989.

WINTERS, G.H.; WHEELER, J.P. Interaction Between Stock Area, Stock Abundance, and Catchability Coefficient. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 42, n. 5, p. 989 - 998, 1985.

WRIGHT, S.P. Adjusted P-values for simultaneous inference. **Biometrics**, v. 48, p. 1005 – 1013, 1992.

YÁÑEZ, E.R.; SILVA, C.; NIETO, K.; BARBIERI, M.A.; MARTINEZ, G.; RAMIREZ, B. Prediction of probable fishing grounds in northern Chile from pelagic distributions and environmental conditions. 2002. p 324 - 326, In: VAN DER LINGEN, C. D.; ROY, C. FRÉON, P.; CASTRO, L.G., NYKJAER, L. M.; SHILLINGTON, F. Report of a GLOBEC-SPACC/IDYLE/ENVIFISH workshop on spatial approaches to the dynamics of castal pelagic resources and their environment in upwelling areas, Cape Town, 2001. **Proceedings...** Plymouth: GLOBEC International Project Office, 2002. 97 p. (GLOBEC Report 16).

ZAGAGLIA, C.R.; LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L. Remote sensing data and logline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 267 - 281, 2004.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. Prentice Hall: New Jersey. 1999. 663 p. ISBN 0-13-081542-X.

ZEMBRUSKI, S.G. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: CHAVES, H.A.F. **Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das áreas oceânicas adjacentes (Projeto REMAC)**. Rio de Janeiro: Petrobrás, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES), Divisão de Informação Técnica e Propriedade Industrial (DINTEP). 1979. 177 p..

ZWOLINSKI, J.; MASON, E.; OLIVEIRA, P.B.; STRATOUDAKIS, Y. Fine-scale distribution of sardine (*Sardina pilchardus*) eggs and adults during a spawning event, **Journal of Sea Research**, v. 56, p. 294 – 304, 2006.

APÊNDICE A - FIGURAS COMPLEMENTARES

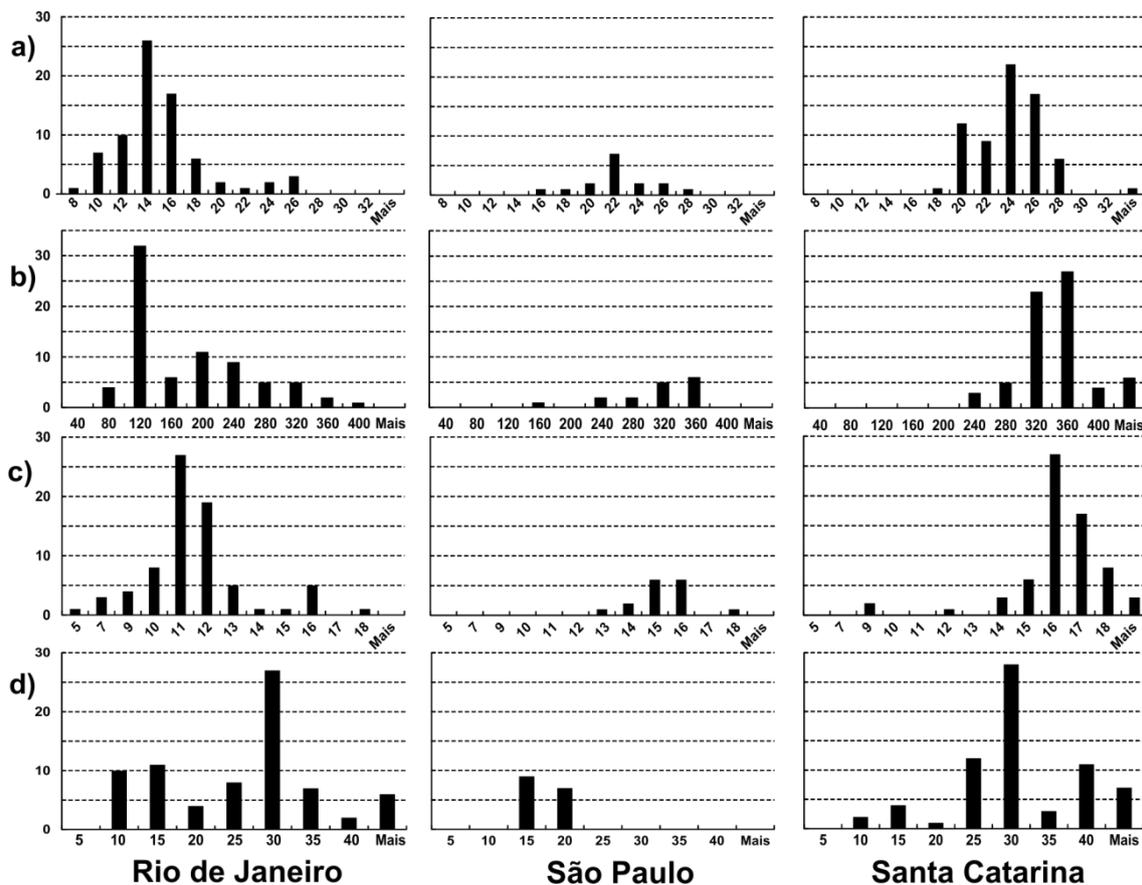


Figura A.1 – Distribuições de classes de valores para os descritores técnicos de 159 embarcações de cerco engajadas na pesca da sardinha verdadeira entre 2000 e 2006. (a) Comprimento (m); (b) Potência (HP); (c) Numero de Tripulantes e (d) Idade.

APÊNDICE B - TABELAS COMPLEMENTARES

Tabela B.1 - Parâmetros empregados na standardização do esforço de captura para 159 embarcações de cerco atuantes na pesca da sardinha verdadeira entre 2000 e 2006.

| | Dias atividade | N° lances | Captura total | CP 1 | CP 2 | FP |
|------|----------------|-----------|---------------|--------|--------|-------|
| RJ01 | 103 | 109 | 834500 | -1.323 | -0.978 | 0.741 |
| RJ02 | 5 | 5 | 8500 | -4.267 | -0.093 | 0.003 |
| RJ03 | 33 | 36 | 239500 | -0.352 | 1.265 | 0.851 |
| RJ04 | 116 | 119 | 708700 | -1.204 | 0.552 | 0.688 |
| RJ05 | 139 | 139 | 1153700 | -0.231 | -0.159 | 0.954 |
| RJ07 | 83 | 86 | 518000 | -1.823 | 0.246 | 0.559 |
| RJ08 | 133 | 134 | 1021100 | -1.574 | 0.123 | 0.624 |
| RJ09 | 79 | 77 | 605800 | -1.517 | 0.348 | 0.625 |
| RJ10 | 34 | 34 | 139180 | -1.888 | 0.956 | 0.506 |
| RJ11 | 60 | 60 | 652500 | 0.674 | 3.985 | 0.947 |
| RJ12 | 94 | 93 | 520900 | -1.604 | 0.201 | 0.613 |
| RJ13 | 124 | 123 | 783400 | -1.624 | 0.564 | 0.589 |
| RJ14 | 58 | 60 | 369600 | -1.436 | 0.189 | 0.653 |
| RJ15 | 86 | 88 | 588700 | -0.924 | -1.259 | 0.850 |
| RJ16 | 1 | 1 | 1500 | -3.026 | -0.844 | 0.334 |
| RJ17 | 38 | 38 | 170000 | -1.734 | 0.325 | 0.576 |
| RJ18 | 43 | 45 | 162700 | -2.329 | -1.313 | 0.523 |
| RJ19 | 22 | 23 | 102500 | -2.083 | -1.440 | 0.587 |
| RJ20 | 51 | 50 | 400500 | -2.190 | 0.310 | 0.469 |
| RJ21 | 8 | 8 | 58000 | -1.954 | 0.623 | 0.508 |
| RJ22 | 71 | 74 | 435700 | -1.761 | 0.676 | 0.551 |
| RJ23 | 56 | 56 | 449900 | -2.035 | 0.548 | 0.493 |
| RJ25 | 78 | 78 | 445400 | -1.866 | 0.431 | 0.539 |
| RJ26 | 196 | 199 | 1341300 | -1.443 | 0.331 | 0.644 |
| RJ27 | 116 | 121 | 774100 | -1.621 | 0.222 | 0.608 |
| RJ28 | 16 | 19 | 141900 | -0.226 | -1.648 | 1.034 |
| RJ30 | 12 | 12 | 45500 | -1.435 | -0.941 | 0.713 |
| RJ31 | 132 | 134 | 995300 | -2.085 | -0.162 | 0.519 |
| RJ32 | 1 | 1 | 4000 | -2.425 | 1.568 | 0.348 |
| RJ33 | 106 | 114 | 918100 | -0.747 | -1.208 | 0.888 |
| RJ36 | 4 | 4 | 23920 | -0.440 | -0.011 | 0.897 |
| RJ37 | 105 | 107 | 1634820 | 1.476 | -0.724 | 1.385 |

continua

Tabela B.1 Continuação.

| | Dias atividade | N° lances | Captura total | CP 1 | CP 2 | FP |
|------|----------------|-----------|---------------|--------|--------|--------|
| RJ38 | 104 | 103 | 856800 | -0.491 | -0.203 | 0.896 |
| RJ39 | 62 | 61 | 315600 | -1.546 | 3.534 | 0.450 |
| RJ40 | 149 | 172 | 1398900 | -0.713 | -1.216 | 0.897 |
| RJ41 | 20 | 20 | 105000 | -1.443 | 0.331 | 0.644 |
| RJ43 | 12 | 14 | 64000 | -2.686 | -1.250 | 0.436 |
| RJ44 | 8 | 8 | 40500 | -2.801 | -0.715 | 0.380 |
| RJ45 | 106 | 108 | 994000 | -1.271 | -1.083 | 0.759 |
| RJ46 | 95 | 99 | 638800 | -1.859 | -1.060 | 0.620 |
| RJ47 | 31 | 31 | 268000 | -1.833 | -0.614 | 0.602 |
| RJ49 | 11 | 11 | 56000 | -3.318 | -0.551 | 0.250 |
| RJ50 | 15 | 16 | 72000 | -2.775 | -1.155 | 0.410 |
| RJ51 | 2 | 2 | 3800 | -4.241 | 0.703 | -0.033 |
| RJ52 | 49 | 49 | 353000 | -1.191 | 0.294 | 0.705 |
| RJ53 | 126 | 128 | 841000 | -2.063 | 0.808 | 0.473 |
| RJ54 | 140 | 141 | 807400 | -2.066 | -0.147 | 0.523 |
| RJ55 | 101 | 102 | 676000 | -1.802 | 0.317 | 0.560 |
| RJ56 | 184 | 193 | 1542600 | -1.578 | 0.351 | 0.611 |
| RJ57 | 99 | 104 | 719200 | -1.390 | 0.150 | 0.666 |
| RJ59 | 78 | 79 | 502400 | -1.837 | 0.340 | 0.551 |
| RJ60 | 163 | 172 | 1724800 | -1.271 | -1.083 | 0.759 |
| RJ61 | 42 | 48 | 295000 | -1.067 | -1.583 | 0.833 |
| RJ62 | 125 | 128 | 966000 | -1.258 | -1.550 | 0.786 |
| RJ63 | 73 | 76 | 667400 | -0.525 | 0.059 | 0.874 |
| RJ64 | 53 | 53 | 194900 | -1.624 | 0.564 | 0.589 |
| RJ65 | 50 | 47 | 163100 | -1.656 | 0.395 | 0.590 |
| RJ66 | 3 | 3 | 5000 | -0.992 | 2.565 | 0.632 |
| RJ67 | 65 | 64 | 309100 | -1.286 | 0.743 | 0.659 |
| RJ68 | 23 | 28 | 157000 | -0.356 | -0.136 | 0.924 |
| RJ69 | 1 | 3 | 15000 | 0.095 | -1.772 | 1.116 |
| RJ70 | 14 | 14 | 52000 | -3.425 | 0.556 | 0.166 |
| RJ71 | 158 | 164 | 1176600 | -1.326 | 0.327 | 0.671 |
| RJ72 | 129 | 136 | 1027200 | -0.025 | 3.319 | 0.819 |
| RJ73 | 9 | 9 | 23500 | -3.700 | -0.813 | 0.174 |
| RJ75 | 53 | 56 | 406500 | -2.103 | -0.574 | 0.537 |
| RJ77 | 1 | 1 | 2800 | -4.365 | 0.803 | -0.067 |
| RJ78 | 30 | 30 | 108400 | -2.721 | -1.341 | 0.432 |
| RJ80 | 80 | 77 | 522000 | -0.957 | -0.644 | 0.809 |
| RJ81 | 24 | 27 | 437475 | 1.317 | 0.013 | 1.309 |

continua

Tabela B.1 Continuação.

| | Dias atividade | Nº lances | Captura total | CP 1 | CP 2 | FP |
|------|----------------|-----------|---------------|-------|--------|-------|
| RJ83 | 4 | 4 | 40690 | 1.145 | 1.000 | 1.216 |
| RJ84 | 10 | 10 | 134400 | 0.701 | 0.556 | 1.135 |
| RJ86 | 11 | 12 | 201110 | 1.835 | -0.524 | 1.459 |
| RJ90 | 16 | 14 | 200957 | 1.195 | 0.297 | 1.265 |
| RJ91 | 3 | 3 | 95000 | 1.395 | 0.667 | 1.292 |
| SC01 | 1 | 1 | 40000 | 1.386 | -0.183 | 1.335 |
| SC02 | 4 | 4 | 18000 | 1.500 | -0.467 | 1.377 |
| SC03 | 10 | 11 | 63800 | 1.437 | -0.805 | 1.380 |
| SC04 | 23 | 25 | 232670 | 1.188 | -0.315 | 1.296 |
| SC06 | 10 | 11 | 129000 | 2.964 | -0.740 | 1.735 |
| SC07 | 50 | 58 | 745400 | 0.923 | -0.189 | 1.227 |
| SC09 | 5 | 6 | 103000 | 0.903 | -0.199 | 1.223 |
| SC11 | 5 | 5 | 37000 | 2.165 | 0.732 | 1.470 |
| SC13 | 27 | 30 | 422100 | 0.940 | -0.283 | 1.236 |
| SC15 | 10 | 13 | 198800 | 1.436 | -1.428 | 1.413 |
| SC17 | 7 | 8 | 77650 | 1.207 | 0.193 | 1.273 |
| SC18 | 8 | 9 | 156000 | 1.743 | 0.716 | 1.371 |
| SC19 | 26 | 27 | 383700 | 1.957 | -1.431 | 1.535 |
| SC20 | 29 | 32 | 650320 | 0.523 | -0.044 | 1.125 |
| SC21 | 23 | 25 | 218500 | 0.880 | -0.005 | 1.207 |
| SC22 | 28 | 30 | 452220 | 2.169 | -0.686 | 1.546 |
| SC23 | 38 | 46 | 564530 | 0.762 | -0.162 | 1.187 |
| SC24 | 26 | 31 | 569980 | 0.762 | -0.162 | 1.187 |
| SC25 | 43 | 48 | 718460 | 1.475 | 0.848 | 1.302 |
| SC26 | 63 | 74 | 951080 | 1.355 | 0.081 | 1.314 |
| SC27 | 13 | 13 | 211600 | 1.757 | 0.621 | 1.380 |
| SC28 | 17 | 18 | 174780 | 1.584 | 0.546 | 1.343 |
| SC29 | 33 | 39 | 432400 | 0.841 | -0.080 | 1.202 |
| SC30 | 75 | 89 | 1779150 | 1.913 | 2.889 | 1.296 |
| SC31 | 23 | 26 | 333500 | 1.316 | -0.160 | 1.318 |
| SC32 | 8 | 9 | 195400 | 1.638 | -1.718 | 1.475 |
| SC34 | 15 | 15 | 334000 | 0.570 | -0.286 | 1.149 |
| SC35 | 52 | 41 | 871200 | 1.404 | -1.585 | 1.413 |
| SC36 | 17 | 17 | 189740 | 0.769 | -0.067 | 1.184 |
| SC38 | 2 | 2 | 45000 | 1.877 | -0.444 | 1.464 |
| SC39 | 11 | 12 | 207500 | 1.346 | -0.173 | 1.325 |
| SC40 | 8 | 7 | 62600 | 1.627 | -0.401 | 1.403 |
| SC41 | 1 | 1 | 20000 | 1.437 | -0.449 | 1.361 |
| SC42 | 4 | 4 | 57920 | 1.627 | -0.401 | 1.403 |

continua

Tabela B.1 Continuação.

| | Dias atividade | Nº lances | Captura total | CP 1 | CP 2 | FP |
|------|----------------|-----------|---------------|--------|--------|-------|
| SC43 | 22 | 25 | 257860 | 1.640 | -0.569 | 1.415 |
| SC45 | 10 | 14 | 258750 | 1.227 | -0.244 | 1.301 |
| SC46 | 13 | 17 | 261120 | 3.198 | -2.272 | 1.871 |
| SC47 | 24 | 25 | 294390 | 1.231 | -0.245 | 1.302 |
| SC48 | 27 | 30 | 403000 | 0.958 | -0.368 | 1.244 |
| SC49 | 52 | 57 | 1054260 | 1.455 | -0.542 | 1.370 |
| SC50 | 51 | 54 | 706602 | 1.102 | -0.399 | 1.280 |
| SC52 | 43 | 48 | 649071 | 0.206 | 0.308 | 1.032 |
| SC53 | 18 | 20 | 385200 | 1.954 | -1.257 | 1.525 |
| SC54 | 41 | 40 | 547600 | 1.178 | 1.100 | 1.219 |
| SC55 | 23 | 21 | 279400 | 1.360 | -2.078 | 1.429 |
| SC56 | 43 | 51 | 1122500 | 1.929 | 1.210 | 1.389 |
| SC57 | 3 | 3 | 8100 | 0.850 | -0.242 | 1.212 |
| SC59 | 17 | 21 | 237300 | 1.643 | 0.909 | 1.338 |
| SC61 | 28 | 29 | 223420 | 1.329 | 0.979 | 1.260 |
| SC62 | 28 | 36 | 665850 | 1.531 | -0.385 | 1.380 |
| SC63 | 5 | 6 | 84040 | 0.555 | -0.202 | 1.141 |
| SC64 | 11 | 12 | 77800 | 1.100 | 0.950 | 1.208 |
| SC65 | 10 | 10 | 104700 | 2.220 | 0.639 | 1.487 |
| SC66 | 2 | 3 | 42000 | 1.963 | -0.548 | 1.490 |
| SC67 | 2 | 2 | 8000 | -0.566 | -0.014 | 0.868 |
| SC68 | 5 | 5 | 54700 | -0.566 | -0.014 | 0.868 |
| SC69 | 40 | 44 | 665540 | 0.762 | -0.162 | 1.187 |
| SC70 | 24 | 26 | 462270 | 1.209 | -0.269 | 1.298 |
| SC71 | 24 | 27 | 421660 | 1.298 | -0.505 | 1.331 |
| SC72 | 25 | 27 | 252080 | 1.549 | 0.582 | 1.333 |
| SC73 | 19 | 21 | 309000 | 0.937 | 0.765 | 1.180 |
| SC74 | 20 | 25 | 379500 | 1.414 | 0.685 | 1.296 |
| SC75 | 19 | 20 | 167200 | 1.526 | 0.926 | 1.309 |
| SC76 | 5 | 5 | 36000 | 1.479 | 0.505 | 1.321 |
| SC77 | 23 | 26 | 169300 | 1.383 | 1.052 | 1.269 |
| SC80 | 9 | 10 | 93000 | 1.328 | -0.245 | 1.325 |
| SC81 | 16 | 19 | 387740 | 1.709 | -0.239 | 1.414 |
| SC82 | 18 | 21 | 206950 | 0.472 | -0.024 | 1.112 |

continua

Tabela B.1 Conclusão.

| | Dias atividade | Nº lances | Captura total | CP 1 | CP 2 | FP |
|------|----------------|-----------|---------------|--------|--------|-------|
| SP01 | 106 | 113 | 1344260 | 0.557 | 1.633 | 1.044 |
| SP03 | 47 | 53 | 701300 | 1.286 | 0.621 | 1.269 |
| SP06 | 33 | 42 | 378600 | 0.846 | -0.344 | 1.217 |
| SP07 | 30 | 30 | 210278 | 0.248 | 1.259 | 0.992 |
| SP13 | 143 | 161 | 2080610 | 1.188 | -0.238 | 1.292 |
| SP15 | 14 | 16 | 309740 | 1.905 | 0.251 | 1.434 |
| SP17 | 58 | 68 | 830020 | 0.950 | 0.137 | 1.216 |
| SP18 | 80 | 91 | 1173490 | 1.263 | -0.326 | 1.314 |
| SP19 | 99 | 109 | 1406920 | 1.200 | 0.826 | 1.238 |
| SP20 | 56 | 61 | 464446 | 1.576 | 1.638 | 1.284 |
| SP22 | 71 | 78 | 989795 | 0.923 | -0.185 | 1.226 |
| SP23 | 37 | 48 | 684490 | 1.267 | -0.346 | 1.316 |
| SP25 | 35 | 37 | 573440 | 1.066 | -0.212 | 1.261 |
| SP26 | 105 | 104 | 995000 | -1.137 | -1.089 | 0.791 |
| SP28 | 60 | 66 | 781230 | 0.923 | -0.185 | 1.226 |
| SP29 | 9 | 11 | 197590 | 0.891 | -0.354 | 1.228 |

Capturas totais em kg (2000 – 2006);

CP 1 e CP 2 - Escores nas Componentes Principais 1 e 2;

FP - Índice de Poder de Pesca.

Tabela B.2 – Resultados das Análises de Codependência Multiescala (ACM) relacionando distribuições de ovos e larvas de *Sardinella brasiliensis*, temperaturas (T°) e salinidades (S) superficiais (0 – 10m), e sub superficiais (10 – 20m): Cruzeiro de dezembro de 1976.

| | Dez. 1976 | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|--------|----------------|------|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (0 – 10 m) | 2 | 315.3 | 0.06 | 9.58 | 0.00 |
| | | 3 | 236.5 | 0.10 | 13.56 | 0.00 |
| | | 21 | 43.0 | 0.02 | 4.01 | 0.03 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 315.3 | 0.06 | 8.70 | 0.01 |
| | | 3 | 236.5 | 0.09 | 12.36 | 0.00 |
| | | 11 | 78.8 | -0.05 | -9.04 | 0.01 |
| | S (0 – 10 m) | 2 | 315.3 | -0.05 | -7.58 | 0.03 |
| | | 3 | 236.5 | -0.06 | -8.86 | 0.01 |
| | | 7 | 118.2 | -0.09 | -11.52 | 0.00 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 315.3 | -0.06 | -9.43 | 0.00 |
| | | 3 | 236.5 | -0.07 | -8.65 | 0.01 |
| | | 7 | 118.2 | -0.06 | -9.56 | 0.01 |
| Larvas | T° (0 – 10 m) | 3 | 236.5 | 0.21 | 32.70 | 0.00 |
| | | 2 | 315.3 | 0.08 | 15.27 | 0.00 |
| | | 41 | 22.5 | 0.02 | 3.28 | 0.04 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 315.3 | 0.08 | 29.81 | 0.00 |
| | | 3 | 236.5 | 0.20 | 13.85 | 0.00 |
| | | 7 | 118.2 | -0.04 | -6.62 | 0.00 |
| | S (0 – 10 m) | 2 | 315.3 | -0.07 | -12.17 | 0.00 |
| | | 3 | 236.5 | -0.14 | -13.09 | 0.00 |
| | | 7 | 118.2 | -0.08 | -19.52 | 0.00 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 315.3 | -0.09 | -15.02 | 0.00 |
| | | 3 | 236.5 | -0.15 | -20.85 | 0.00 |
| | | 7 | 118.2 | -0.06 | -10.33 | 0.00 |

C_{xyW} - Coeficientes de codependência significativos;

AEsp – ordem do Autovetor Espacial;

Tabela B.3 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1977. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1977 | Variável | AEsp | Escalas (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|-----------|----------------|------|--------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (0 – 10 m) | 1 | 385.8 | 0.04 | 6.66 | 0.00 |
| | | 2 | 257.2 | 0.13 | 15.35 | 0.00 |
| | | 4 | 154.3 | 0.05 | 7.11 | 0.02 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 257.2 | 0.11 | 11.92 | 0.00 |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 1 | 385.8 | 0.08 | 10.89 | 0.01 |
| | | 2 | 257.2 | 0.15 | 18.80 | 0.00 |
| | | 5 | 128.6 | 0.05 | 7.89 | 0.00 |
| | T° (10 – 20 m) | 1 | 385.8 | 0.07 | 8.34 | 0.01 |
| | | 2 | 257.2 | 0.13 | 14.61 | 0.00 |
| | | 7 | 96.4 | 0.06 | 7.93 | 0.00 |
| | S (0 – 10 m) | 2 | 257.2 | -0.06 | -15.58 | 0.00 |
| | | 5 | 128.6 | -0.14 | -15.58 | 0.00 |
| | | 6 | 110.2 | -0.08 | -9.62 | 0.00 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 257.2 | -0.09 | -10.81 | 0.00 |
| | | 5 | 128.6 | -0.14 | -15.34 | 0.00 |
| | | 7 | 96.4 | -0.06 | -8.49 | 0.00 |

Tabela B.4 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1978. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1978 | Variável | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|-----------|----------------|------|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (10 – 20 m) | 14 | 59.9 | -0.06 | -7.38 | 0.01 |
| | S (0 – 10 m) | 7 | 112.3 | -0.12 | -15.84 | 0.00 |
| | | 14 | 59.9 | -0.05 | -7.49 | 0.01 |
| | S (10 – 20 m) | 7 | 112.3 | -0.13 | -18.56 | 0.00 |
| | | 13 | 64.2 | -0.05 | -8.70 | 0.00 |
| | | 14 | 59.9 | -0.06 | -8.53 | 0.00 |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 5 | 149.7 | 0.05 | 5.79 | 0.05 |
| | T° (10 – 20 m) | 1 | 449.2 | 0.04 | 5.32 | 0.00 |
| | | 13 | 64.2 | -0.04 | -5.81 | 0.00 |
| | | 14 | 59.9 | -0.06 | -8.06 | 0.04 |
| | S (0 – 10 m) | 2 | 299.5 | 0.06 | 9.52 | 0.00 |
| | | 7 | 112.3 | -0.19 | -28.92 | 0.00 |
| | | 14 | 59.9 | -0.06 | -9.70 | 0.00 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 299.5 | 0.06 | 10.67 | 0.00 |
| | | 7 | 112.3 | -0.22 | -33.89 | 0.00 |
| | | 14 | 59.9 | -0.06 | -10.16 | 0.00 |

Tabela B.5 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1980. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1980 | Variável | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|-----------|----------------|------|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | S (0 – 10 m) | 6 | 120.6 | -0.15 | -7.18 | 0.01 |
| | | 9 | 84.4 | -0.05 | -3.21 | 0.00 |
| | | 14 | 56.3 | -0.11 | -6.11 | 0.02 |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 2 | 281.4 | 0.16 | 9.95 | 0.00 |
| | T° (10 – 20 m) | 1 | 422.0 | 0.07 | 5.09 | 0.02 |
| | | 2 | 281.4 | 0.16 | 10.32 | 0.00 |
| | | 13 | 60.3 | 0.04 | 3.19 | 0.01 |

Tabela B.6 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1981. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1981 | Variável | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------------|------|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (0 – 10 m) | 2 | 280.7 | 0.11 | 5.66 | 0.02 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 280.7 | 0.15 | 8.10 | 0.01 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 280.7 | -0.12 | -6.36 | 0.02 |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 2 | 280.7 | 0.12 | 5.96 | 0.02 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 280.7 | 0.15 | 8.53 | 0.00 |
| | S (0 – 10 m) | 2 | 280.7 | -0.08 | -4.90 | 0.01 |
| | | 6 | 120.3 | -0.12 | -6.73 | 0.02 |
| | | 7 | 105.3 | 0.14 | 6.62 | 0.02 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 280.7 | -0.13 | -6.70 | 0.02 |
| | | 6 | 120.3 | -0.09 | -5.44 | 0.02 |
| | | 8 | 93.6 | 0.07 | 4.53 | 0.00 |

Tabela B.7 – Resultados das ACM para o cruzeiro de dezembro de 1988. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1988 | Variável | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------------|------|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | S (0 – 10 m) | 7 | 110.5 | -0.09 | -7.56 | 0.02 |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 7 | 110.5 | 0.09 | 7.33 | 0.03 |
| | T° (10 – 20 m) | 2 | 294.6 | 0.08 | 6.55 | 0.02 |
| | S (0 – 10 m) | 7 | 110.5 | -0.15 | -14.06 | 0.00 |
| | | 8 | 98.2 | -0.04 | -4.21 | 0.01 |
| | | 9 | 88.4 | -0.12 | -13.03 | 0.00 |
| | S (10 – 20 m) | 2 | 294.6 | -0.05 | -5.67 | 0.00 |
| | | 7 | 110.5 | -0.09 | -8.95 | 0.00 |
| | | 9 | 88.4 | -0.18 | -16.82 | 0.00 |

Tabela B.8 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1991. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1991 | Variável | AE | Escala(km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------------|----|------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (10 – 20 m) | 6 | 131.5 | 0.07 | 6.58 | 0.02 |
| | | | | | | |
| | S (0 – 10 m) | 1 | 460.4 | -0.07 | -7.00 | 0.01 |
| | | 14 | 61.4 | 0.06 | 6.23 | 0.02 |
| | | 44 | 20.5 | 0.06 | 6.35 | 0.01 |
| | | | | | | |
| | S (10 – 20 m) | 1 | 460.4 | -0.08 | -7.55 | 0.01 |
| | | 14 | 61.4 | 0.07 | 7.29 | 0.01 |
| | | 44 | 20.5 | 0.05 | 5.23 | 0.01 |

Tabela B.9 – Resultados das ACM para o cruzeiro de dezembro de 1991. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Dez. 1991 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------------|----|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (0 – 10 m) | 5 | 154.9 | 0.15 | 19.67 | 0.00 |
| | | | | | | |
| | T° (10 – 20 m) | 5 | 154.9 | 0.08 | 9.09 | 0.00 |
| | | | | | | |
| | S (10 – 20 m) | 5 | 154.9 | -0.06 | -7.01 | 0.01 |
| | | | | | | |
| larvas | T° (0 – 10 m) | 2 | 309.9 | 0.14 | 20.41 | 0.00 |
| | | | | | | |
| | T° (10 – 20 m) | 1 | 464.8 | 0.09 | 13.72 | 0.00 |
| | | 2 | 309.9 | 0.13 | 17.51 | 0.00 |
| | | 17 | 51.6 | 0.03 | 5.22 | 0.01 |
| | | | | | | |
| | S (0 – 10 m) | 1 | 464.8 | -0.14 | -17.39 | 0.00 |
| | | 2 | 309.9 | -0.09 | -13.67 | 0.00 |
| | | 9 | 93.0 | -0.04 | -6.72 | 0.01 |

Tabela B.10 – Resultados das ACM para o cruzeiro de janeiro de 1993. Acrônimos na legenda da Figura A.1.

| Jan. 1993 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------------|----|-------------|-------------|--------|------|
| ovos | T° (0 – 10 m) | 4 | 185.9 | 0.09 | 10.58 | 0.01 |
| | | | | | | |
| | T° (10 – 20 m) | 4 | 185.9 | 0.07 | 7.84 | 0.01 |
| | | 10 | 84.5 | -0.06 | -7.89 | 0.01 |
| | | 14 | 62.0 | 0.07 | 8.22 | 0.00 |
| | | | | | | |
| | S (0 – 10 m) | 4 | 185.9 | -0.06 | -7.95 | 0.01 |
| | | 7 | 116.2 | -0.07 | -7.80 | 0.01 |
| | | 10 | 84.5 | -0.05 | -5.97 | 0.00 |
| | | | | | | |
| | S (10 – 20 m) | 7 | 116.2 | -0.07 | -8.75 | 0.01 |
| | | | | | | |
| larvas | T° (10 – 20 m) | 1 | 464.8 | -0.07 | -8.03 | 0.01 |
| | | | | | | |
| | S (10 – 20 m) | 1 | 464.8 | 0.07 | 8.34 | 0.01 |
| | | 3 | 232.4 | -0.07 | -8.61 | 0.01 |
| | | 13 | 66.4 | -0.07 | -9.16 | 0.00 |

Tabela B.11 - Resultados das ACM para relacionando as distribuições de densidades de ovos e larvas de *Sardinella brasiliensis* aos Descritores Ambientais Multivariados (DAM), gerados a partir das variáveis de Reanálise *Simple Ocean Data Reanalysis* (SODA): Cruzeiro de dezembro de 1976.

| Dez. 1976 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| ovos | DAM 2 | 3 | 227.2 | 0.207 | 8.905 | 0.003 |
| | | 4 | 181.8 | 0.107 | 6.979 | 0.006 |
| | | | | | | |
| | DAM 3 | 3 | 227.2 | -0.132 | -5.207 | 0.040 |
| | | | | | | |
| larvas | DAM 1 | 1 | 454.5 | -0.180 | -7.549 | 0.007 |
| | | 4 | 181.8 | -0.154 | -8.631 | 0.003 |
| | | | | | | |
| | DAM 2 | 1 | 454.5 | 0.100 | 8.424 | 0.003 |
| | | 2 | 303.0 | 0.098 | 6.282 | 0.010 |
| | | 3 | 227.2 | 0.102 | 7.365 | 0.050 |
| | | 4 | 181.8 | 0.178 | 9.225 | 0.007 |

Tabela B.12 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1978.

| Jan. 1978 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| ovos | DAM 1 | 6 | 129.8 | 0.144 | 6.012 | 0.047 |

Tabela B.13 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1980.

| Jan. 1980 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| larvas | DAM 1 | 4 | 181.8 | -0.159 | -6.835 | 0.012 |

Tabela B.14 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1981.

| Jan. 1981 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| ovos | DAM 1 | 6 | 129.8 | 0.161 | 7.201 | 0.010 |
| larvas | DAM 1 | 6 | 129.8 | 0.149 | 6.648 | 0.019 |
| | DAM 3 | 4 | 181.8 | -0.124 | -5.484 | 0.042 |

Tabela B.15 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1988.

| Jan. 1988 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| larvas | DAM 1 | 6 | 129.8 | 0.146 | 6.096 | 0.042 |
| | | 9 | 90.9 | 0.107 | 5.058 | 0.045 |
| | DAM 2 | 9 | 90.9 | -0.171 | -7.003 | 0.014 |

Tabela B.16 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1991.

| Jan. 1991 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| larvas | DAM 2 | 4 | 181.8 | -0.156 | -6.575 | 0.005 |
| | DAM 3 | 1 | 454.5 | -0.096 | -6.435 | 0.012 |
| | | 4 | 181.8 | -0.154 | -4.437 | 0.042 |

Tabela B.17 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Dezembro de 1991.

| Dez. 1991 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| ovos | DAM 2 | 3 | 227.2 | 0.133 | 5.393 | 0.032 |
| | | | | | | |
| larvas | DAM 2 | 3 | 227.2 | 0.138 | -7.573 | 0.005 |
| | | 9 | 90.9 | -0.182 | 7.003 | 0.011 |

Tabela B.18 - Resultados das ACM - Descritores Ambientais Multivariados (DAM):
Cruzeiro de Janeiro de 1993.

| Dez. 1991 | Variável | AE | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | p |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|--------|-------|
| ovos | DAM 3 | 3 | 227.2 | -0.137 | -5.457 | 0.022 |
| | | | | | | |
| larvas | DAM 1 | 4 | 181.8 | -0.142 | -5.796 | 0.032 |
| | DAM 2 | 2 | 303.0 | -0.111 | -7.452 | 0.003 |
| | | 4 | 181.8 | -0.178 | -5.492 | 0.017 |
| | | | | | | |
| | DAM 3 | 4 | 181.8 | -0.194 | -8.243 | 0.003 |

Tabela B.19 - Resultados das Análises de Codependência Multiescala (ACM) relacionando as distribuições de CPUE de *Sardinella brasiliensis* no cenário de Pós-Desova (março-abril), ao Descritor Ambiental Multivariado (DAM) 1.

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.042 | 9.612 | 0.027 | 8 | 89.7 | 0.043 | 1.679 | 0.018 | 20 | | -0.044 | -11.911 | 0.0089 |
| | 2 | 269.1 | 0.041 | 9.927 | 0.009 | | | | | | | - | - | - | - |
| 2001 | 1 | | 0.064 | 15.493 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | -0.120 | -25.911 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.128 | -28.841 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.097 | -29.928 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.105 | -27.514 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2003 | 1 | 403.6 | 0.123 | 26.696 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.048 | 11.978 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | 0.070 | 16.629 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | 0.109 | 23.206 | 0.009 | 12 | 62.1 | -0.039 | -9.018 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | 0.042 | 9.508 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2005 | 2 | 269.1 | 0.048 | 9.546 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.040 | -9.293 | 0.009 | 21 | 36.7 | -0.046 | -10.021 | 0.009 |
| 2006 | - | - | - | - | - | 6 | | -0.039 | -7.823 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | 10 | 73.4 | 0.030 | 6.412 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | 11 | 67.3 | 0.037 | 7.573 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.20 - Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | 0.241 | 66.067 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.062 | 19.249 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.030 | 9.748 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2002 | - | - | - | - | - | 11 | 67.3 | -0.042 | -8.454 | 0.027 | - | - | - | - | - |
| 2003 | 2 | 269.1 | 0.082 | 17.130 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | -0.073 | -17.568 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.101 | 21.519 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | 0.046 | 11.784 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2005 | 2 | 269.1 | -0.092 | -19.520 | 0.009 | 4 | 161.5 | -0.049 | -11.949 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 8 | 89.7 | -0.073 | -16.785 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2006 | 2 | 269.1 | -0.082 | -19.328 | 0.009 | 10 | 73.4 | 0.031 | -10.543 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.041 | 10.135 | 0.018 | - | - | - | - | - |

Tabela B.21 - Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Inverno (julho-agosto).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.065 | 16.023 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.103 | -23.281 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 1 | 403.6 | 0.038 | 9.391 | 0.009 | 12 | 62.1 | 0.028 | 7.246 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.052 | 11.530 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | 0.055 | 13.426 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.078 | 17.935 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 6 | 115.3 | 0.080 | 16.498 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2003 | 2 | 269.1 | -0.043 | -10.808 | 0.018 | 4 | 161.5 | -0.139 | -30.968 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 6 | 115.3 | -0.040 | -10.625 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.22 Resultados das ACM - DAM 1: Cenário de Pré-Desova (setembro-novembro).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.151 | 35.754 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.028 | -9.764 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | -0.061 | -16.103 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.068 | -15.280 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.055 | -13.109 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.077 | -16.026 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.105 | -22.207 | 0.009 | 6 | 115.3 | 0.041 | 10.206 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 8 | 89.7 | 0.088 | 21.049 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2003 | 2 | 269.1 | 0.234 | 59.155 | 0.009 | 10 | 73.4 | -0.030 | -8.370 | 0.018 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.020 | 6.725 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | 0.202 | 48.594 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.045 | 12.395 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | -0.047 | -12.069 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2005 | 2 | 269.1 | -0.086 | -18.461 | 0.009 | 10 | 73.4 | 0.033 | 7.275 | 0.044 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.030 | 7.194 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2006 | 2 | 269.1 | -0.105 | -24.777 | 0.009 | 5 | 134.5 | -0.040 | -10.116 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.037 | 9.858 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.23 Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Pós-Desova (março-abril).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | -0.073 | -15.601 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | -0.031 | -7.028 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.033 | -7.431 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2001 | 1 | 403.6 | -0.025 | -5.582 | 0.009 | 6 | 115.3 | 0.032 | 6.906 | 0.035 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | -0.073 | -15.264 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2002 | 2 | 269.1 | 0.047 | 13.083 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.064 | -13.054 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.030 | -8.806 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | - | - | 10 | 73.4 | -0.049 | -12.945 | 0.009 | 21 | 36.7 | 0.038 | 11.528 | 0.009 |
| | - | - | - | - | - | 11 | 67.3 | 0.050 | 10.693 | 0.009 | | | | | |
| 2004 | 2 | 269.1 | 0.104 | 22.175 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.078 | 18.860 | 0.009 | | | | | |
| | 3 | 201.8 | -0.059 | -16.107 | 0.044 | | | | | | | | | | |
| 2005 | 2 | 269.1 | -0.161 | -39.551 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.039 | -10.297 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.024 | 6.480 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2006 | 1 | 403.6 | -0.029 | -7.529 | 0.009 | 6 | 115.3 | 0.054 | 10.993 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.032 | 7.063 | 0.035 | | | | | | - | - | - | - | - |

Tabela B.24 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.083 | 17.099 | 0.009 | 12 | 62.1 | -0.027 | -6.150 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 13 | 57.7 | -0.035 | -7.668 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.152 | -34.107 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.047 | 11.064 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.032 | -7.801 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.119 | -25.681 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.045 | 10.555 | 0.009 | 27 | 28.8 | 0.015 | 3.553 | 0.009 |
| 2003 | - | - | - | - | - | 11 | 67.3 | -0.062 | -12.710 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | 0.147 | 32.856 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2005 | 2 | 269.1 | 0.064 | 13.270 | 0.009 | - | - | - | - | - | 20 | 38.4 | 0.049 | 11.626 | 0.009 |
| | 3 | 201.8 | 0.056 | 12.558 | 0.009 | - | - | - | - | - | | | | | |
| 2006 | 2 | 269.1 | 0.120 | 28.637 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.075 | 20.101 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 6 | 115.3 | -0.073 | -21.769 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.25 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de Inverno (julho-agosto).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{v,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{v,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{v,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | -0.070 | -14.473 | 0.009 | 6 | 115.3 | -0.033 | -7.230 | 0.035 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 12 | 62.1 | 0.030 | 6.670 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.100 | -22.527 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.027 | -6.710 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 12 | 62.1 | -0.038 | -9.020 | 0.018 | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.125 | -27.816 | 0.009 | 6 | 115.3 | -0.071 | -17.074 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2003 | 2 | 269.1 | 0.135 | 29.977 | 0.009 | 4 | 161.5 | -0.110 | -28.652 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 11 | 67.3 | 0.054 | 15.527 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.26 - Resultados das ACM - DAM 2: Cenário de de Pré-Desova (setembro-novembro).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.074 | 17.100 | 0.009 | 6 | 115.3 | -0.100 | -21.284 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.042 | 10.298 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.060 | -14.801 | 0.009 | 8 | 89.7 | 0.087 | 18.650 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | 0.066 | 15.197 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | 0.161 | 36.745 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.032 | 8.704 | 0.044 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | -0.082 | -21.166 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2003 | 1 | 403.6 | -0.028 | -7.666 | 0.044 | 7 | 100.9 | -0.026 | -7.466 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.232 | 58.453 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | -0.258 | -71.115 | 0.009 | 4 | 161.5 | -0.023 | -7.154 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 10 | 73.4 | -0.036 | -10.386 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2005 | - | - | - | - | - | 6 | 115.3 | 0.055 | 11.096 | 0.009 | 19 | 40.4 | 0.052 | 10.901 | 0.009 |
| | - | - | - | - | - | | | | | | 52 | 15.2 | -0.030 | -6.488 | 0.009 |
| 2006 | - | - | - | - | - | 5 | 134.5 | 0.060 | 12.693 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | 6 | 115.3 | 0.052 | 11.812 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | 11 | 67.3 | -0.048 | -11.816 | 0.009 | - | - | - | - | - |

Tabela B.27 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Desova (março-abril).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.103 | 22.513 | 0.009 | 15 | 50.5 | 0.041 | 10.084 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | 0.062 | 14.543 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.067 | -13.733 | 0.009 | 15 | 50.5 | 0.032 | 6.895 | 0.044 | 68 | 11.7 | -0.030 | -6.759 | 0.009 |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.119 | -26.455 | 0.009 | 7 | 100.9 | -0.048 | -12.504 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.081 | -19.851 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2003 | 1 | 403.6 | 0.035 | 7.503 | 0.009 | 6 | 115.3 | 0.023 | 4.959 | 0.026 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.052 | 10.520 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2004 | 2 | 269.1 | 0.059 | 12.240 | 0.009 | 9 | 80.7 | -0.033 | -7.385 | 0.027 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 16 | 47.5 | -0.028 | -6.447 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2005 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2006 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabela B.28 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Inverno (maio-junho).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | -0.064 | -12.943 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.047 | -10.078 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 12 | 62.1 | -0.024 | -5.179 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | -0.157 | -35.411 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.059 | 14.983 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2002 | 2 | 269.1 | -0.069 | -14.165 | 0.009 | 11 | 67.3 | 0.023 | 5.314 | 0.018 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 19 | 40.4 | -0.036 | -7.641 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2003 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | - | - | - | 4 | 161.5 | 0.063 | 12.727 | 0.009 | 48 | 16.5 | -0.037 | -8.046 | 0.009 |
| | | | | | | | | | | | 52 | 15.2 | -0.039 | -8.318 | 0.027 |
| 2005 | 2 | 269.1 | -0.050 | -10.901 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.051 | -10.221 | 0.009 | 28 | 27.8 | 0.027 | 6.153 | 0.018 |
| 2006 | 2 | 269.1 | 0.037 | 8.703 | 0.018 | 11 | 67.3 | 0.036 | 9.424 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 3 | 201.8 | -0.037 | -9.018 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |

Tabela B.29 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Inverno (julho-agosto).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,W}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | -0.051 | -11.189 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.055 | -10.996 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 2 | 269.1 | 0.115 | 26.141 | 0.009 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | 0.061 | 12.270 | 0.009 | 6 | 230.7 | -0.028 | -6.254 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 8 | 89.7 | -0.042 | -8.900 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2003 | 2 | 269.1 | -0.053 | -11.295 | 0.009 | 11 | 67.3 | -0.047 | -10.704 | 0.009 | 17 | 44.8 | -0.038 | -9.156 | 0.009 |

Tabela B.30 - Resultados das ACM - DAM 3: Cenário de Pré-Desova (setembro-novembro).

| | Escalas Macro | | | | | Escalas Médias | | | | | Escalas Locais | | | | |
|------|---------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|---------|--------|----------------|-------------|-------------|--------|--------|
| | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ | AEsp | Escala (km) | $C_{y,x,w}$ | τ | ρ |
| 2000 | 1 | 403.6 | 0.085 | 17.714 | 0.009 | 6 | 230.7 | -0.032 | -7.658 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 12 | 62.1 | -0.079 | -18.022 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2001 | 1 | 403.6 | -0.055 | -12.896 | 0.009 | 8 | 89.7 | -0.053 | -13.301 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | -0.105 | -22.436 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2002 | 1 | 403.6 | -0.165 | -37.949 | 0.009 | 8 | 89.7 | 0.036 | 9.527 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.064 | 16.110 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2003 | 1 | 403.6 | -0.026 | -6.430 | 0.009 | 6 | 89.7 | 0.092 | 19.200 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | 2 | 269.1 | 0.069 | 16.168 | 0.009 | | | | | | - | - | - | - | - |
| 2004 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2005 | 2 | 269.1 | -0.067 | -14.262 | 0.009 | 4 | 161.5 | 0.036 | 8.361 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| | | | | | | 6 | 230.7 | -0.042 | -9.395 | 0.009 | - | - | - | - | - |
| 2006 | - | - | - | - | - | 6 | 230.7 | 0.049 | 9.999 | 0.009 | - | - | - | - | - |