



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/08.17.16.47-TDI

## A INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NOS EXTREMOS DE PRODUÇÃO COMERCIAL DA SARDINHA VERDADEIRA

Mainara Biazati Gouveia

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelo Dr. Douglas Francisco  
Marcolino Gherardi, aprovada  
em 28 de agosto de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K4B5TP>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

## **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

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

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

### **Membros:**

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

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

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

Dr<sup>a</sup> 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)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - 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)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/08.17.16.47-TDI

## A INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NOS EXTREMOS DE PRODUÇÃO COMERCIAL DA SARDINHA VERDADEIRA

Mainara Biazati Gouveia

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Sensoriamento Remoto, orientada  
pelo Dr. Douglas Francisco  
Marcolino Gherardi, aprovada  
em 28 de agosto de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3K4B5TP>>

INPE  
São José dos Campos  
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Gouveia, Mainara Biazati.

G745i A influência dos processos de circulação oceânica nos extremos de produção comercial da sardinha verdadeira / Mainara Biazati Gouveia. – São José dos Campos : INPE, 2015.  
xxx + 102 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/08.17.16.47-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.  
Orientador : Dr. Douglas Francisco Marcolino Gherardi.

1. Modelagem biofísica. 2. Sensoriamento remoto. 3. Sardinha verdadeira. I.Título.

CDU 551.465:597.541

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

Dr. Douglas Francisco Marcolino  
Gherardi



---

Presidente / Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. João Antonio Lorenzetti



---

Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini



---

Convidado(a) / UFBA / Salvador - BA

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

Título: "A INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NOS EXTREMOS DE PRODUÇÃO  
COMERCIAL DA SARDINHA VERDADEIRA"

Aluno (a): **Makara Biazati Gouveia**

**São José dos Campos, 28 de Agosto de 2015**



*"Uma mente depois de aberta jamais volta ao seu tamanho original."*

ALBERT EINSTEIN





*Em memória dos meus dois avôs, Raimundo Salustriano Gouveia e João Biazati,  
e do meu amado tio-padrinho, João Luiz Biazati.*



## AGRADECIMENTOS

Para muitas pessoas isto é apenas mais uma etapa concluída, para mim, isto é muito mais que um diploma. Isto é um sonho de menina, uma superação de todos os meus achismos, é uma vitória inexplicável. Agradecer a todos que de certa forma me ajudaram a estar aqui seria impossível pelas poucas linhas que me restam, mas, deixo meu singelo muito obrigada por tudo.

Inicialmente, quero agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido em forma de bolsa de mestrado e, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade de estudo, aperfeiçoamento, utilização das instalações e do acesso ao Super Computador, Kerana.

Ao meu orientador, Dr. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, por ter acreditado na minha capacidade para desenvolver este trabalho. E acima de tudo, obrigada pela oportunidade, aprendizado, preocupação, paciência, incentivo e principalmente, pelo apoio todos os momentos. Serei sempre grata por tudo, jamais esquecerei.

A todo corpo docente do INPE, pelo aprendizado e o fomento em fazer pesquisas científicas, em especial para duas professoras, Elizabete Caria de Moraes e Tereza Florenzano, responsáveis por me apresentarem o Sensoriamento Remoto através da sua formação continuada para professores.

A minha família, que é minha força eletromotriz, sem eles nada disto seria possível. Em especial, a meus pais, que sempre estão ao meu lado apoiando em todas as minhas decisões e jamais me desamparam. Vocês dois são os principais responsáveis por eu estar realizando um sonho e ser a pessoa que sou hoje. E ao meu pequeno monstrinho Miguel, que enche o coração da tia todos os dias. Amarei todos vocês eternamente.

Ao Programa de Pós-Graduação da Física Ambiental de Mato Grosso, PGFA, UFMT, por todo apoio e aprendizado compartilhado. Obrigada por sempre me receberem tão bem e por toda a ajuda, em particular ao Professor Dr José Nogueira e Dr. Marcelo Biudes.

Ao Marcos Prado, por ter me apresentado o mundo acadêmico. Obrigada por sempre estar presente, me estender a mão quando penso em desistir e me incentivar a ir “ Até o Fim”. Você é muito mais que um companheiro.

À Paula Campos, por ser uma amiga e sempre estar disposta a ajudar. Obrigada pela sua paciência e todas as ajudas com as “monstruosas” rotinas no Matlab. Você foi fundamental para o término deste documento. Que você possa brilhar cada vez mais e eu, aprender sempre mais contigo.

Ao CEFAPRO-MT, por me trazerem de volta a sede de aprender cada vez mais. Ter feito parte da equipe de vocês foi uma honra. Obrigada a cada profissional brilhante que conheci e me ensinou o sabor do saber.

À SEDUC-MT e à Escola Estadual Porfíria Paula de Campos, por me liberarem para licença qualificação.

Aos amigos distantes, que sempre me recebem com braços abertos e estão disponíveis para me ouvir chorar e sorrir, em especial àqueles, que estão comigo há uma longa data. Cada um de vocês são as flores do meu jardim, o presente maravilhoso, que o Cosmo trouxe até a mim. Meu muito obrigada a todos.

Aos meus antigos mestres, que desde a minha primeira série dividem seu conhecimento comigo, em especial aos meus inspiradores Prof. Dr. Sérgio e Gladys Wielewski da Matemática – UFMT e dos meus queridos Prof. Msc. Fábio Ramos e Prof. Dr. Marcelo Paes de Barros da Física – UFMT. Todos vocês têm uma enorme colaboração com cada palavra escrita neste documento.

Aos meus ex-alunos, que compartilharam bons e maus momentos comigo. Cada um de vocês faz parte do meu livro de vida e de aprendizagem.

À Daniela Dias, por ter cedido sua grade e as suas zonas no experimento do MBI, bem como toda ajuda inicial e colaboração até o término deste trabalho.

Ao brilhante Dr. Luiz Moraes, que tive o prazer de conhecer e me forneceu vários dados iniciais da sua pesquisa.

Aos meus colegas de sala, que dividiram tanto tempo comigo: Daniela, Andressa, Regiane, Carina, Ueslei e Paula. Obrigada por cada palavra de apoio, banhos de sol, risadas, abraços, preocupações e brigas pelo ar condicionado. Também gostaria de agradecer a ajuda de todo o grupo como um todo, que apesar de não estarmos na mesma sala, sempre estão dispostos a ajudar, Isabel, Leonardo, Marcelo e Prof. Dr. Luciano Pezzi.

E por último, por cada amizade nova que construí aqui em São José dos Campos, tornando a minha estadia aqui mais agradável.

Muito obrigada !!!!

## RESUMO

A sardinha verdadeira distribui-se ao longo da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) e, economicamente é a espécie pelágica mais importante no Brasil. Seu recrutamento é dependente das áreas de maior ocorrência de desova e do transporte de ovos e larvas que está diretamente ligado ao padrão de circulação superficial do oceano. Com base no uso combinado de um modelo hidrodinâmico, de dados de sensoriamento remoto e de um modelo baseado no indivíduo (MBI) buscou-se verificar possíveis relações de causa e o efeito entre a circulação oceânica na PCSE e os extremos de desembarques comercial da sardinha. Para tanto, foram realizados dois experimentos de desova, aleatório e por zonas, entre os anos de 1980 a 2007, com a finalidade de rastrear essas partículas e verificar o impacto das condições ambientais no desenvolvimento larval até seu recrutamento. Os resultados indicam que não há diferenças significativas entre os extremos de capturas comercial para mortalidade por temperatura e por perda de advecção, a um nível de 5% de significância, ou seja, os extremos de capturas comercial são apenas variações casuais. Porém, a mortalidade por temperatura foi significativamente maior que a mortalidade por perdas de advecção ao longo da série histórica, sendo assim, a mortalidade por temperatura foi a principal causa da mortalidade da sardinha para o período de estudo. Os anos de 1995, 1996, 1989 e 2000, foram indicados nos dois experimentos, aleatório e por zonas, como valores discrepantes nos testes de Kruskal-Wallis representando desta forma, os ápices de desembarques comercial registrado entre 1980 a 2007. Baseado nos dois modelos utilizados, as sardinhas preferem áreas de ressurgência para a sua desova por ser uma região com água mais rica em nutrientes, produtividade fitoplântica cinco vezes maior na zona eufótica, entretanto, quando a ACAS encontra-se na superfície ela ocasiona a morte das larvas por baixa temperatura. Ao longo dos 45 dias de experimento, período da desova até o seu desenvolvimento larval, pode-se verificar que as massas d' água presentes para o período de estudo foram a Água Tropical e Água Subtropical, regiões mais favoráveis ao seu desenvolvimento. Portanto, o processo de circulação superficial oceânica é responsável pela distribuição temporal da sardinha na quantidade de indivíduos para o seu recrutamento.

Palavras-chave: Modelagem biofísica. Sensoriamento remoto. Sardinha verdadeira.



# **THE INFLUENCE OF OCEANIC CIRCULATION PROCESS ABOUT EXTREME OF COMMERCIAL PRODUCTION THE BRAZILIAN SARDINE**

## **ABSTRACT**

Brazilian Sardine occur along the South Brazil Bight being the most economically important species in Brazil. Its recruitment depends on the areas with the highest spawning occurrence and the transport of eggs and larvae, which is directly associated with the ocean surface circulation pattern. The possible cause-effect relationship between the oceanic circulation in the SBB and the extremes of commercial sardine landings were accessed through the combined use of an hydrodynamical model, remote sensing data and an Individual Based Model (IBM). Two spawning experiments (random and zonal distribution) were performed for the 1980-2007 time span, in order to track these particles and analyze the impact of the environmental conditions on the larval development. Results show no significant differences between extreme sardine landings (years of maxima and minima), both for death by temperature and by advection (5% significance level) so, commercial catches are only casual variations. However, the temperature mortality was significantly higher than mortality losses advection along the time series, and thus the mortality temperature was the main cause of mortality sardine for the study period. The years of 1995, 1996, 1989 and 2000, were nominated in both experiments, and random areas like outliers in the Kruskal-Wallis test thus representing the apex of commercial landings registered between 1980-2007. Brazilian Sardine chooses preferably upwelling areas for spawning, due to the high nutrient concentration of the water (phytoplactonic production is up to five times higher in the euphotic zone of upwelling areas). On the other hand, when ACAS reaches the surface, it induces low temperature, which is one of the most important causes of mortality. The most favorable water masses for the sardine development are Tropical Water (TW) and Subtropical Shelf Water (STSW). Hence, oceanic surface circulation process is responsible for the temporal distribution of The Brazilian Sardine in the number of individual for recruitment.

Keywords: Biophysical modeling. Remote sensing. The Brazilian Sardine.





## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2. 1 - Ciclo de vida da sardinha verdadeira. Fonte: Soares (2009) . . . . .	6
Figura 2. 2 – Distribuição horizontal e abundância relativa dos ovos da sardinha nas estações de coletas regularizadas para todos os nove cruzeiros realizados no projeto de pesquisa do Dr. Matssura do IO/USP entre 1976 a 1993. Fonte Gigliotti (2009).....	7
Figura 2. 3 – Porcentagem de barcos legais, por estado, nos portos de: Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, entre os anos de 2004 e 2005. E suas respectivas porcentagens de licenças. Fonte: IBAMA (2011). . . . .	9
Figura 2. 4 – Parâmetros envolvidos da determinação da altura da superfície do mar. Fonte JPL (2002).....	17
Figura 3. 1 – Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE) associada as suas linhas isobatimétricas. Fonte: Gigliotti (2009) . . . . .	27
Figura 3. 2 – Esquema das massas d' água na Plataforma Continental Sul do Brasil: Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP) e Frente Subtropical de Plataforma (FSTP). Fonte: Piola et al., (2008).....	29
Figura 3. 3 – Representação esquemática do giro subtropical do Atlântico Sul. Fonte Soares (2009), adaptado Peterson e Stramma (1991).....	30
Figura 3. 4 – Condições de contornos utilizados no experimento ROMS, compreendida entre latitudes de 20°S a 30°S e longitudes de 40°W a 50°W, com resolução horizontal de 1/12° e vertical de 30 níveis sigma. Bordas abertas apenas no Leste e Sul e fechadas no continente, Norte e Oeste.....	31
Figura 3. 5 – Série histórica anual (1980 a 2007) destendenciada da FAO, de taxa de captura média, em toneladas por ano, da sardinha na PCSE.....	38
Figura 3. 6 – Distribuição acumulada de probabilidade (pdf) de Fréchet (linha preenchida em azul), de Weibull (linha preenchida em verde) e de Gumbel	

- (linha preenchida em vermelho. Em todos os casos as suas distribuições de valores extremos são analisadas pelos parâmetros de locação ( $\mu$ ), escala ( $\sigma$ ) e de forma ( $\varepsilon$ ).....40
- Figura 3. 7 – Gráfico quantil-quantil para diagnóstico do ajuste da distribuição GEV da taxa média de captura (ton/ano) da sardinha. Os dados da amostra (toneladas/ano) são exibidos pelos pontos azuis, cuja a linha cheia une os primeiros e terceiros quartis. Já a linha tracejada extrapola a linha sólida. Esta linha é extrapolada para as extremidades da amostra para ajudar avaliar a linearidade dos dados. Os quantis plotados são os menores quantis dos conjuntos de dados. Este mapa é um ajuste linear robusto de ordem estatística das duas amostras (ano e ton/ano)..... 40
- Figura 3. 8 – Probabilidade de presença de ovos da sardinha nas áreas das estações de coletas regularizadas para todos os nove cruzeiros realizados no projeto de pesquisa do Dr. Matssura da IO/USP entre 1976 a 1993. Fonte Gigliotti et al., (2010) ..... 43
- Figura 3.9 - Experimento aleatório (A) ao longo da PCSE limitado pela isóbata de 100 metros e as quatro áreas (B) (Z1 – Cabo de Santa Marta/RJ; Z2 – São Sebastião/SP; Z3 – Rio de Janeiro/RJ; Z4 – Cabo Frio/RJ), delimitadas por polígonos definidos por latitudes e longitudes (Tabela 3.1), para o experimento realizado por zonas, definidas no estudo de Gigliotti et al., (2010), limitada por duas isobatimétricas de 5 e 30m. A Zona 5, zona mais offshore, foi descartada deste estudo, visto que no estudo de Dias et al., (2014), foi verificado que a maior concentração das larvas sobreviventes estavam abaixo da isóbata de 50m.....45
- Figura 4. 1 – Perfil longitudinal das médias sazonais verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro) da TSM (em °C, de 1980 a 2007) no modelo ROMS e do sensor orbital AVHRR (produto *all-pixel SST*) nas latitudes 22°S, 24°S, 25°S e 29°S respectivamente..... 48

Figura 4. 2 – Médias horizontais sazonais de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro) de TSM (em °C, de 1980 a 2007) do ROMS, do AVHRR (produto <i>Pathfinder</i> Versão 5 Nível 3, SST) e as suas respectivas diferenças entre os dois produtos (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de SantaMarta).....	50
Figura 4. 3 – Mapas anuais de TSM (em °C, de 1980 a 2007) do modelo ROMS, do sensor orbital AVHRR (produto SST) e das suas respectivas diferenças entre dos dois produtos (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).....	51
Figura 4. 4 – Média sazonal de verão (janeiro, fevereiro, março) e inverno (julho, agosto, setembro) de ASM (em m, de 1992 a 2007) do modelo ROMS, do produto MDT (AVISO) e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta). Olhar as diferenças das escalas das figuras, para melhor visualização das feições oceanográficas. . . . .	52
Figura 4. 5 – Média anual de ASM (em metros, de 1992 a 2007) para o modelo Roms, para o produto AVISO (MDT) e as suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta). Olhar as diferenças das escalas das figuras, para melhor visualização das feições oceanográficas. ....	54
Figura 4. 6 – Média sazonal das componentes meridional (V) e zonal (U) no verão (janeiro, fevereiro e março) e inverno (julho, agosto e setembro), em m/s (de 1992 a 2007) do modelo ROMS, OSCAR e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).....	55
Figura 4. 7 – Velocidade da corrente (em m/s, de 1992 a 2007) para o verão (janeiro, fevereiro e março) e para o inverno (julho, agosto e setembro), do modelo ROMS, do produto OSCAR e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).....	56
Figura 4. 8 – Teste de Kruskal Wallis para os anos de mínima e máxima captura comercial da sardinha no experimento aleatório para a morte por temperatura (Morte T) e mortalidade por advecção (Morte A). ....	57
Figura 4. 9 – Anos de maiores (A) e menores capturas comerciais (B e C). Os grupos (A, B e C) foram identificados no experimento aleatório como valores	

- discrepantes de desembarques comercial da sardinha correspondendo a série histórica..... 59
- Figura 4. 10 – Taxa de sobrevivência da sardinha para o período de duração dos experimentos (45 dias). Linhas pontilhadas máxima captura, linhas cheias mínima captura.Há uma similaridade entre os anos do experimento aleatório.....59
- Figura 4. 11 – Teste de Kruskal-wallis (à esquerda) analisando como grupo as causas de mortalidade do experimento aleatório para as 30 mil partículas lançadas ao longo da PCSE. Teste de acompanhamento (à direita) para identificar qual amostra de dados vem de distribuição diferente para o experimento aleatório. Observar que há uma diferença significativa entre os dois tipos de mortalidade identificando que os grupos são de distribuições diferentes. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).....60
- Figura 4. 12 – Teste de Kruskal – Wallis para o somatório de todas as zonas agrupadas nos extremos de produção da sardinha. As diferenças entre os dois tipos de mortalidade não foram significativas para os referidos grupos. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).....61
- Figura 4. 13 – Taxa de sobrevivência das partículas ao longo dos 45 dias de desova por zonas. Anos de máximos (linhas pontilhadas) e de mínimos (linha cheia).....62
- Figura 4. 14 - Teste de Kruskal-Wallis (à esquerda) e Teste de Acompanhamento (à direita), para as devidas causas de mortalidades ao longo dos 18 anos. Os testes rejeitam a hipótese nula ao nível de 5% de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). ..... 63
- Figura 4. 15 - Teste de kruskal-Wallis para a mortalidade por temperatura e por perdas de advecção em cada uma das quatro zonas. Para todas as análises aceita-se a hipótese nula ao nível de 5% de significância. Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá

e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).. ..... 64

Figura 4. 16 - Teste de Kruskal-Wallis para analisar a mortalidade por temperatura e por advecção em cada uma das zonas durante os 18 anos de experimento. Teste rejeita a hipótese nula para 5% de significância. Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio). ..... .67

Figura 4. 17 - Teste de Kruskal Wallis para as causas de mortalidade em cada experimento. Random (desova aleatória). Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).....71

Figura 4.18 - Teste de Kruskal-Wallis para as mortalidades em cada experimento e entre os dois experimentos. Space (desova por zonas) e Random (desova aleatória). Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).....73

Figura 4.19 - Gráfico de temperatura e salinidade do modelo ROMS no período de desova da sardinha entre 1980 a 2007, para as quatro zonas analisadas na região de estudo Rio de Janeiro (azul), Cabo Frio (verde), São Sebastião (vermelho) e, entre Paranaguá e Florianópolis (cian).....76

Figura 4.20 - Trajetórias das 30 mil partículas para cada ano analisado na PCSE durante os 45 dias de experimento aleatório.....78

Figura 4.21 - Trajetórias das 30 mil partículas para cada ano analisado na PCSE durante os 45 dias de experimento por zonas.....79



## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
Tabela 2. 1 - Total de barcos legais da pesca comercial entre 2006 a 2010. Fonte: Adaptado IBAMA (2011).....	9
Tabela 2. 2 - Características gerais do sensor AVHRR.....	13
Tabela 2.3 - Características espectrais do sensor AVHRR. ....	.13
Tabela 3. 1 - Área de desovas do experimento por zonas, delimitada por polígonos de latitude e longitude e por duas linhas batimétricas de 5 e 30 m. Fonte: Adaptado Dias et al., (2014).....	44
Tabela 4.1 - Resultado do teste de Kruskal-wallis do experimento aleatório para mortalidade por temperatura e por perda de advecção. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de $p$ para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).....	58
Tabela 4.2 - Resultado do teste de Kruskal – Wallis para os dois tipos de mortalidade. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de $p$ para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).....	61
Tabela 4.3 - Teste de Kruskal-Wallis para cada tipo de mortalidade por cada zona. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de $p$ para aceitar ou rejeitar a hipótese nula). Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre	

Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).....65

Tabela 4.4 - Número de partículas lançadas por zona em cada ano, e a sua totalidade no final dos 18 anos.....66

Tabela 4.5 - Teste de kruskal-wallis para as causas das mortalidades dentro de cada zona. Rejeita-se a hipótese nula para 5% do nível de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).....68

Tabela 4.6 - Teste de Kruskal Wallis para mortalidade por temperatura em cada zona comparado com a mortalidade por temperatura no experimento aleatório, e para mortalidade por perda de advecção em cada zona comparado com a mortalidade por perda de advecção no experimento aleatório. Rejeita-se a hipótese nula em 5% de nível de significância, com exceção de Morte TZ4 – Morte T Aleatório, que aceita a hipótese nula. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).....69

Tabela 4.7 - Teste de Kruskal- Wallis para analisar as duas causas de mortalidades em cada experimento no final dos 45 dias considerando todos os 18 anos. Apenas a mortalidade por temperatura nos dois experimentos aceita a hipótese nula a 5% de nível de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).....72



Tabela 4.8 - Taxa de mortalidade por ano para o experimento aleatório (EA) e para o experimento por zonas (EZ).....	74
---	----



## LISTA DE ABREVIATURAS

AASM	Anomalia da altura da superfície do mar
AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
ADT	Absolute Dynamic Topography
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASM	Altura da Superfície do Mar
AT	Água Tropical
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution</i>
BSST	<i>Best Surface Temperature</i>
CB	Corrente do Brasil
CF	Cabo Frio
CFSR	<i>Climate Forecast System Reanalysis</i>
Chi-sq	Qui quadrado
CM	Corrente das Malvinas
CM	Cabo de Santa Marta
CNES	<i>Centre National d'Etudes Spatiales</i>
df	Graus de liberdade
EA	Experimento de desova Aleatória

EZ	Experimento de desova por zona
EGD	Escala de Dimensão Genérica
ERA-40	Centro Europeu de Médio Alcance Previsões e Meteorologia
ERS	<i>European Research Satellite</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FHS	Frente Halina Superficial
FTP	Frente Térmica Profunda
GAC	<i>Global Area Coverage</i>
Geosat	<i>Geodetic Satellite</i>
GEV	Distribuição Generalizada de Valores Extremos
GPE	Grupo Permanente de Estudo sobre Sardinha
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
KPP	Parametrização de perfil-k
KS	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>
KW	Kruskal-Wallis
LAC	<i>Local Area Coverage</i>
MBI	Modelo Baseado no Indivíduo
MDT	Combined Mean Dynamic Topography
Morte A	Mortalidade por Perda de Advecção

Morte T	Mortalidade por Temperatura
MS	Erro Quadrático Médio
NASA	<i>National Aeronautics Space Administrations</i>
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NetCDF	<i>Network Common Data Form</i>
NLSST	<i>Nonlinear Sea Surface Temperature</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NODC	<i>National Oceanographic Data Center</i>
ODD	<i>Overview-DesignDetails</i>
OISSTv2	<i>Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2</i>
PCSE	Plataforma Continental Sudeste Brasileiro
PODAAC	<i>Physical Oceanography Distributed Archive Center</i>
POP	<i>Parallel Ocean Program</i>
PR	Paraná
Prob	Valor de $p$
<i>qqplot</i>	Mapa de quantil quantil
Reynolds	<i>Reynolds Optimally Interpolates SST</i>
RJ	Rio de Janeiro
ROMS	<i>Regional Ocean Modeling System</i>

RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SLA	<i>Sea Level Anomalies</i>
SMFs	Sistemas Meteorológicos Frontais
SODA	<i>Simple Ocean Data Assimilation</i>
SP	São Paulo
SS	Soma dos Quadrados
SSH	Altura da superfície oceânica
SST	<i>All-pixel-SST</i>
SUDEPE	Superintendência de Desenvolvimento da Pesca
TB	Temperatura de Brilho
TS	Temperatura e Salinidade
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
Z1	Zona 1 (entre Paranagua –PR e Florianópolis – SC)
Z2	Zona 2 (São Sebastião –SP)
Z3	Rio de Janeiro
Z4	Cabo Frio (RJ)
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	3
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 A pesca comercial da sardinha .....	8
2.2 A importância do sensoriamento remoto para o setor pesqueiro .....	10
2.2.1 Caracterização do sensor AVHRR para estimar a TSM .....	11
2.2.2 Altimetria do oceano por satélite .....	15
2.3 Modelagem aplicada a estudos pesqueiros.....	19
2.3.1 Modelo de circulação oceânica .....	19
2.3.2 Modelo baseado no indivíduo - MBI .....	23
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>27</b>
3.1 Área de estudo.....	27
3.2 Configuração do modelo ROMS.....	30
3.2.1 O domínio da grade .....	31
3.2.2 Batimetria e linha de costa .....	31
3.2.3 Dados de reanálise atmosférica .....	32
3.2.4 Dados de contorno oceânico .....	33
3.2.5 O <i>spin-up</i> do modelo .....	33
3.3 Avaliação do experimento hidrodinâmico .....	34
3.3.1 Comparação da TSM do ROMS com dados do sensor AVHRR .....	35
3.3.2 Comparação da ASM do ROMS com os dados do AVISO .....	36
3.4 Série de tempo dos extremos de produção da sardinha.....	37
3.5 Configuração do modelo lagrangeano.....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1 Desempenho do modelo hidrodinâmico.....	47
4.1.1 Temperatura da superfície do mar.....	47
4.1.2 Altura da superfície do mar .....	52
4.1.3 Velocidades de superfície sazonais .....	54
4.2. Padrão de dispersão e sobrevivência de ovos e larvas da sardinha, relativo aos extremos de produção pesqueira.....	57

4.2.1. Experimento de desova aleatória.....	57
4.2.2 Desova por zonas .....	60
4.2.3 Mortalidade entre os dois experimentos.....	68
4.3 A circulação oceânica influencia a ocorrência de extremos de produção da sardinha? .....	75
<b>5 SÍNTESE BIOFÍSICA E PESQUEIRA DA SARDINHA .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*; Steindachner, 1879), doravante citada apenas como sardinha, é uma espécie de peixe da família Clupeidae (FIGUEIREDO et al., 1978), de hábito pelágico e planctófago (MATSUURA, 1977a). Essa espécie distribui-se ao longo da Plataforma Sudeste do Brasil entre 22°S a 29°S (CERGOLE, 1995). Essa região possui uma complexa estrutura oceanográfica (MATSUURA, 1986) caracterizada pela penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), no período de desova da sardinha, nas camadas superficiais da coluna d' água na primavera, com maior intensidade no verão.

As maiores concentrações de ovos foram encontradas entre a costa até a isóbata de 100m (ROSSI- WONGTSCHOWSKI et al., 1991) sendo que, as áreas de maiores probabilidades de desovas estão localizadas em Cabro Frio, Rio de Janeiro, São Sebastião e entre Paranaguá e Florianópolis (GIGLIOTTI et al., 2010).

Seu recrutamento acontece com maior intensidade durante o inverno, quando a sardinha atinge 90 mm. A pesca da sardinha é a principal atividade pesqueira do Brasil (CERGOLE, 1995). Por ano as traineiras chegam a capturar até 15% do seu estoque (DIAS-NETO et al., 2011). Essa espécie sustenta as pescarias nas regiões Sudeste e Sul e a produção de processamento de pescado responsável pela produção de conservas e sua distribuição em escala nacional (CERGOLE, 1995).

As capturas comerciais apresentam oscilações nas últimas décadas com enorme redução no início de 2000, comprometendo o comércio da sardinha (CERGOLE et al., 2002). Seu recrutamento está relacionado à interação da sua biologia com os processos oceânicos da plataforma continental e com a disponibilidade de alimentos no período de desenvolvimento larval (HJORT, 1914; MORAES, 2012), bem como o manejo da sua pesca (KATSURAGAWA et al., 2006; MORAES, 2012), que chegou a atingir seu recorde em 1973 com 228 mil toneladas (CERGOLE et al., 2012). Tais oscilações relacionadas ao recrutamento e à sobrepesca levaram a pescaria dessa espécie à crise, gerando impactos no âmbito social e econômico (MORAES, 2012).

O monitoramento do estoque pesqueiro da sardinha (MATSUURA, 1996), por meio da investigação da variação do seu recrutamento, relaciona os estágios iniciais do ciclo de vida do Ictioplâncton com as condições ambientais (MATSUURA, 1977b). O transporte do ictioplâncton é um processo dinâmico e complexo, em particular, nas zonas de ressurgências altamente instáveis (HUTCHINGS, 1992). Em tais ambientes, as espécies se adaptam ao meio através de suas estratégias reprodutivas, de modo a maximizar o recrutamento, evitando potenciais fatores limitantes, como a variabilidade no fornecimento de alimento e perda de larvas devido ao transporte superficial (GARAVELLI et al., 2012). Esses resultados comparados com a avaliação de seus estoques, possibilitam associar o tamanho da desova, a intensidade do recrutamento e a produção pesqueira (CERGOLE, 1995).

A influência da restrição ambiental, principalmente durante o período de desova, quando há suficiente disponibilidade de alimentos (SHERMAN et al., 1984) ou, quando a desova ocorre em áreas com condições ambientais em que a espécie está adaptada (SAKURAI et al., 2000). Muitas teorias têm tentado explicar o sucesso do recrutamento da espécie (COLE; McGLADE, 1998) e não há atualmente, consenso de quais fatores influenciam simultaneamente no recrutamento (CURY; ROY, 1989; BAKUN, 1996).

O desenvolvimento de novas abordagens para o estudo da dinâmica da sardinha, incluindo o uso de dados de sensoriamento remoto, simulações numéricas, modelos hidrodinâmicos e modelos baseados no indivíduo (MBI), permitem analisar a influência das condições oceânicas e a sua flutuabilidade interanual da pesca (HUGGET et al., 2003; VAN DER LINGEN, 2005; BERNAL et al., 2007; IBAIBARIAGA et al., 2007; PLANQUE et al., 2007, DIAS et al., 2014). Dessa forma, este trabalho pretende contribuir para o entendimento da circulação superficial oceânica na PCSE no período de reprodução da sardinha para identificar se há alguma relação com os extremos de desembarques comerciais realizados entre 1980 a 2007.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é verificar se existe uma relação de causa e efeito entre a circulação superficial oceânica na PCSE, no período de reprodução da sardinha, com os seus extremos de produção (desembarques comerciais).

Para atingir esse objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Descrever e analisar a circulação oceânica na PCSE para os períodos de máximos e mínimos de produção comercial da sardinha verdadeira entre 1980 a 2007, com base nas simulações oceânicas e dados de satélites;
- b) Determinar se o padrão de dispersão e a sobrevivência dos ovos e larvas da sardinha é diferente para os períodos de máximos e mínimos da sua produção, com base em testes estatísticos realizados sobre os resultados obtidos pelas simulações oceânicas e de dispersão de larvas;
- c) Diagnosticar a influência da circulação oceânica sobre a ocorrência de extremos e produção da sardinha verdadeira.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sardinha verdadeira

A sardinha é uma espécie de peixe pelágico subtropical de hábitos costeiros, considerada o mais importante recurso pesqueiro marinho do Brasil, pois, corresponde por quase 40% da produção nacional. Essa espécie ocorre principalmente na Plataforma Continental do Sudeste Brasileiro (PCSE), compreendida entre 22°S (Cabo de São Tomé, RJ) a 28°S (Cabo de Santa Marta Grande, SC), em regiões com profundidades de até 200m (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

A disponibilidade da sardinha para a pesca não obedece um padrão definido, tal fato pode estar relacionado aos processos de circulação oceânica e às anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM), que podem promover deslocamentos dos cardumes, afastando-os da área de pesca comercial (CERGOLE, 1993). Essas oscilações naturais estão relacionadas não só à dinâmica de interação entre os componentes biológicos e oceanográficos, como também, às formas de manejo da pesca (MATSURA, 1996), indicando que o seu comércio está comprometido na Baía do Sudeste do Brasil (CERGOLE et al., 2005).

O hábito alimentar da sardinha é predominantemente planctófago, seu ciclo de vida é curto, de até quatro anos com um tamanho máximo de 270mm (CERGOLE; VALENTINI, 1994). O período de desova da sardinha ocorre durante o final da primavera e verão (Figura 2.1), quando há uma forte estratificação da coluna d' água (KURTZ; MATSUURA, 1998), com picos de desovas nos meses de dezembro e janeiro (MATSUURA, 1998; CASTELLO, 2006; GIGLIOTTI et al., 2010). As sardinhas preferencialmente desovam desde o estado do Rio de Janeiro até o Sul do país (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991; CASTELLO, 2006; GIGLIOTTI et al., 2010), na camada de mistura, com temperaturas entre 22°C a 26°C e isóbatas de 15 a 50m (MATSUURA, 1983; GIGLIOTTI et al., 2010). Cada fêmea libera em média de 20 a 50 mil ovos (VAZZOLER; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1976; MATSUURA, 1977a,b; ISSAC-NAHUM et al., 1988; ROSSI-WONGTSCHOWSKI et al., 1988;

CASTELLO, 2006), com um tamanho médio de cerca de 1,20mm podendo variar entre 1 a 1,40mm (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

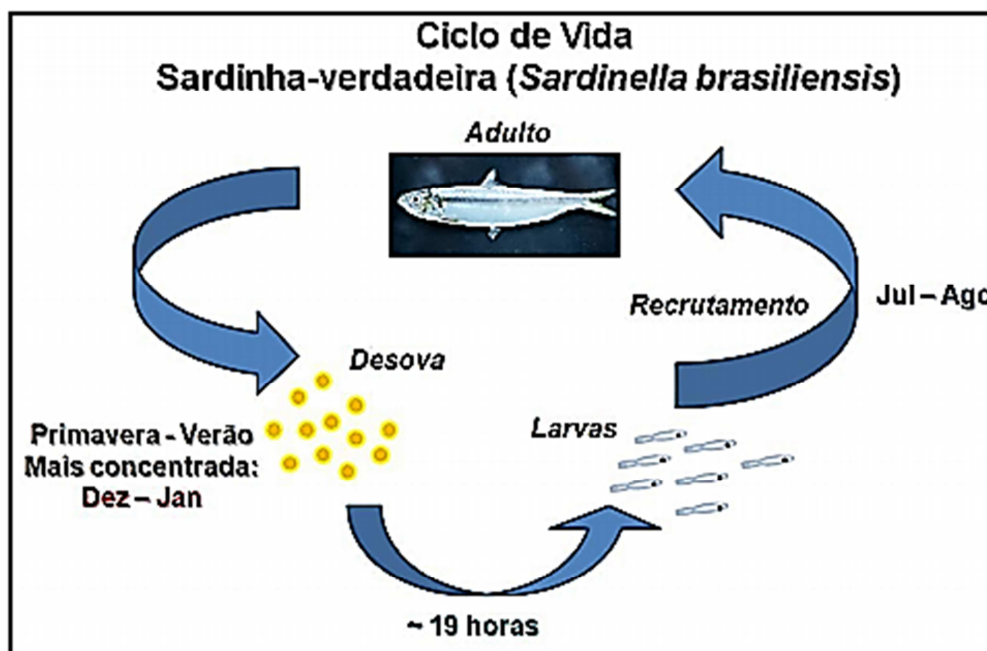


Figura 2.1 – Ciclo de vida da sardinha verdadeira.

Fonte: Soares (2009).

As desovas ocorrem parceladas a cada onze dias, na camada superior do oceano no período noturno (MATSUURA, 1983; SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991), entre 21 e 5 horas (MATSUURA, 1988). O tempo médio para eclosão dos ovos é de cerca de 19 horas, em temperatura de 24°C (MATSUURA, 1998). A maior densidade de ovos é encontrada da região costeira de até 20 milhas náuticas (Figura 2.2), essas abundâncias estão associadas à batimetria local. As maiores concentrações de larvas são encontradas desde a região costeira até as proximidades da margem da plataforma continental (MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010), concentrando-se nas regiões de Cabo Frio (RJ), Rio de Janeiro (RJ), São Sebastião (SP) e entre Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC) (CASTELLO, 2006; GIGLIOTTI et al., 2010).

O estágio larval compreende de 3,5 a 19mm de comprimento e o pré juvenil pode atingir até 30mm com 45 dias, enquanto o juvenil chega a medir até 40mm (YONEDA,

1987). No primeiro ano, ocorre a primeira maturação em indivíduos de 160 a 170mm de comprimento, com maior percentual de recrutamento nos meses de julho (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

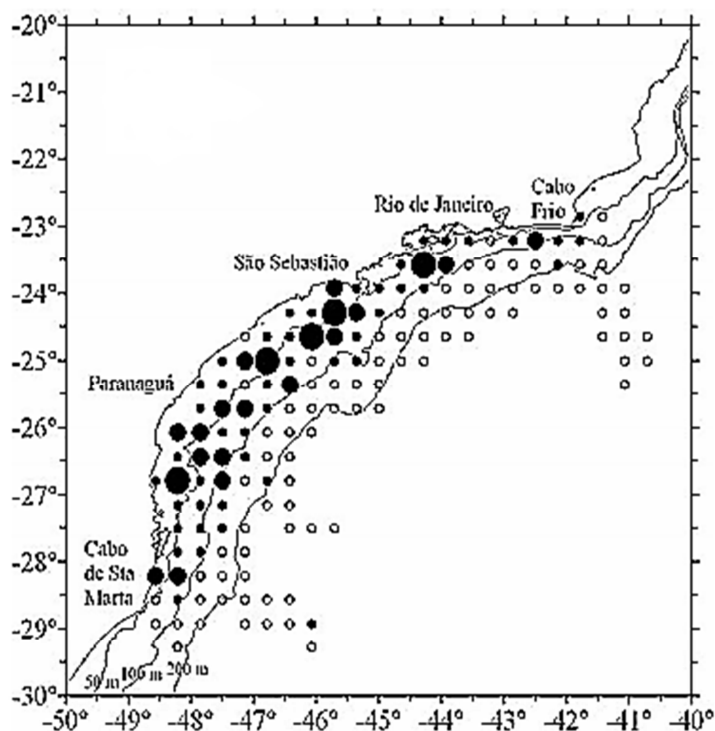


Figura 2.2 – Distribuição horizontal e abundância relativa dos ovos da sardinha nas estações de coletas regularizadas para todos os nove cruzeiros realizados no projeto de pesquisa do Dr. Matssura do IO/USP entre 1976 a 1993.

Fonte: Gigliotti (2009).

As variações populacionais e as condições ambientais desfavoráveis à dinâmica da sardinha implicam deslocamento espaço-temporal do habitat de desova, ocasionando a redução dos estoques (MATSUURA, 1996; GIGLIOTTI et al., 2010). Análises a cerca das distribuições espaço-temporais dos estágios iniciais de desenvolvimento da sardinha ainda são escassas (MORAES et al., 2012). É necessário, estudar a variabilidade do habitat e o desenvolvimento da sardinha até o seu recrutamento para melhor compreensão sobre suas variações populacionais (TURA; KATSURAGAWA, 2011).

### **2.1.1 A pesca comercial da sardinha**

A pesca da sardinha ocorre em regiões com até 70m de profundidade a uma distância de até 30 milhas náuticas da costa, também há registros de pesca em até 100m de profundidade (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991). Embora existam relatos de cardumes próximos à quebra da plataforma continental, entre 100 e 200m de profundidade, no período noturno (GIGLIOTTI, 2009). As concentrações de indivíduos adultos e seus deslocamentos determinam a área de pesca comercial, ocasionando a variação da disponibilidade do pescado na escala de tempo interanual (CERGOLE, 1993).

A pesca na região de Cabo Frio (RJ) e Ilha Grande (RJ) é afetada por parâmetros meteorológicos, pela ressurgência de Cabo Frio e ao padrão hidrodinâmico dessa região.

O desembarque da sardinha na região de Florianópolis (SC) e Torres (RS) está relacionado com os processos físicos e oceanográficos como a salinidade e a temperatura.

Já na região de São Sebastião (SP) e Paranaguá (PR), o padrão de circulação retém as larvas e possuem temperaturas mais favoráveis ao seu desenvolvimento larval (SUNYÉ; SERVAIN, 1998).

O desempenho da pesca comercial industrial da sardinha variou ao longo do tempo, sendo que antes da década de 1980 o seu crescimento era exponencial, totalizando na época, aproximadamente 500 embarcações (DIAS-NETO; DORNELLES, 1996). Após a década de 1990, esse número foi reduzido, mas, o esforço da pesca permaneceu elevado, prejudicando a recuperação do número total de recrutamento. Essa redução foi maior em São Paulo (74%), seguido por Santa Catarina (29%) e Rio de Janeiro (18%) (SCHWINGEL; OCCHIALINI, 2003).

A grande maioria da pesca comercial nos anos de 2004 e 2005 era oriunda do estado de Santa Catarina, que possuía 102 (82,4%) das 183 permissões legais disponíveis (Figura 2.3) e por apresentar um grande mercado consumidor. Entretanto, esses dados são



duvidosos pelo fato do monitoramento ter sido realizado apenas nos estados de São Paulo, pelo Instituto de Pesca, e por Santa Catarina, pela Univali (IBAMA, 2011).

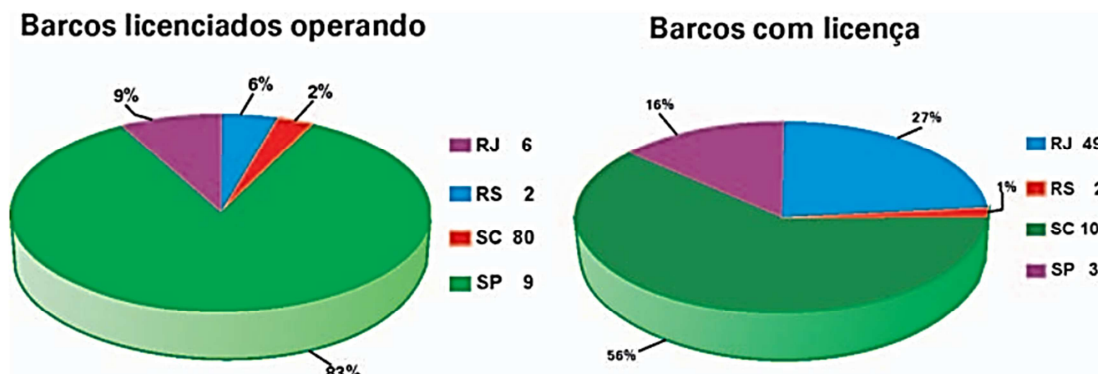


Figura 2.3- Porcentagem e número de embarcações legais (à esquerda, total de barcos licenciados em operação, e à direita, número total de barcos com licença liberados para a pesca), por estado, nos portos de: Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, entre os anos de 2004 e 2005.

Fonte: IBAMA (2011).

Dados do IBAMA de 2010 (2011, Tabela 2.1), indicam o resultado do recadastramento dos barcos legais de pescas comerciais realizadas entre 2009 e 2010. De acordo com esses dados, a maioria das embarcações era de Santa Catarina (80 embarcações). A acentuada queda na produção pesqueira em 2010, permite deduzir, que existe a possibilidade de um novo ciclo de queda na produção da sardinha, o que ocasionará mais um colapso em sua pescaria (DIAS NETO et al., 2011).

Tabela 2.1 - Total de barcos legais das pescas comerciais entre 2006 a 2010.

Estado	Ano				
	2006	2007	2008	2009	2010
RJ	49	50	49	75	58
SP	30	23	19	24	16
SC	102	100	88	108	80
RS	2	2	2	3	4
<b>Total</b>	183	175	158	210	159

Fonte: Adaptado IBAMA (2011).

Devido ao elevado número de indivíduos jovens capturados em 1973, o governo federal regulamentou a pescaria no Brasil, estabelecendo o tamanho mínimo de captura da espécie. Com o primeiro declínio da produção da sardinha ocorrido em 1976, foi definido seu período de defeso entre os meses de dezembro a março, época de reprodução da sardinha. Após 1991, esse período também foi aumentado para os meses de dezembro a fevereiro, para que assim, a espécie pudesse atingir o tamanho ideal até a sua inserção no cardume.

## **2.2 A importância do sensoriamento remoto para o setor pesqueiro**

O monitoramento dos oceanos realizado por dados orbitais se tornou uma ferramenta útil à comunidade e ao comércio mundial da pesca. O emprego das técnicas de sensoriamento remoto na pesca e na oceanografia, proporcionaram a possibilidade de adquirir informações sinóticas de média e grande escalas, e um contínuo monitoramento dos processos oceanográficos (SHERBININ et al., 2002; ROBINSON, 2004). Até 1970, os conhecimentos de diversos parâmetros oceanográficos de interesse para a pesca apoiavam-se apenas em medidas pontuais distribuídas no tempo e no espaço de forma bastante heterogênea, obtidas por campanhas em navios de pesquisa, a custos bastante elevados e de difícil operacionalização.

Entretanto, por meio de sensores instalados a bordo de satélites orbitais foi possível monitorar o oceano de forma contínua, com grande repetitividade temporal, permitindo o acompanhamento e a análise da evolução espaço-temporal de fenômenos oceanográficos e de estimar alguns indicadores ambientais, que podem influenciar na distribuição, abundância ou comportamento de algumas espécies comercialmente exploradas.

O sensoriamento remoto é a melhor ferramenta disponível para a obtenção de TSM em grandes extensões oceânicas, permitindo a elaboração de cartas de pesca através de correlações com dados de capturas (STEVENSON; MILLER, 1975). O Grupo Permanente de Estudo sobre Sardinha (GPE) recomenda, desde 1994, o uso de imagens

de satélites para monitorar as condições oceânicas dos locais de atuações das frotas pesqueiras e de pesquisar possíveis mudanças de condições oceânicas associadas a essas produções. Essas informações se tornaram eficientes para estimar as precisas capturas, de modo a protegerem os estoques pesqueiros da exploração de certas espécies de peixes pelágicos, acima dos níveis sustentáveis.

Embora as medições de TSM por satélite possam parecer simples, são necessárias técnicas extremamente apuradas para sua medida com precisão tendo em vista a sua ampla variação no tempo e no espaço. No Brasil, diversas pesquisas a partir da década de 70, utilizaram o uso de sensores orbitais para identificar áreas de maior probabilidade de ocorrência de certas espécies de peixes (LAURS; LYNN, 1977; MALUF, 1978; LASKER et al., 1981; LAURS et al., 1977,1984; LAURS; FIELDER ,1985; OLIVEIRA et al., 2005; SOARES et al., 2009; GIGLIOTTI et al., 2010; MORAES et al., 2012). A TSM é provavelmente o parâmetro que exerce maior influência sobre a distribuição e a abundância de diversas espécies de importância comercial, ou pode representar apenas um indicador ambiental. Porém, o uso indiscriminado dessas informações, principalmente para localizar locais propícios para a pesca, poderá acarretar na aceleração ou na crise total da atividade pesqueira sobre determinado estoque (GIGLIOTTI, 2009).

Vale ressaltar também que, muitas dessas flutuações dos recursos marinhos acessíveis para a pesca podem ser originadas por ações antrópicas como a sobrepesca (GIGLIOTTI et al., 2010; MORAES et al., 2012). Como a população humana cresce exponencialmente, um grande desafio é combater esse esgotamento das diversidades ou quantidades de peixes, como é o caso da sardinha.

### **2.2.1 Caracterização do sensor AVHRR para estimar a TSM**

Como visto na seção 2.2, uma das principais formas de determinar a distribuição de espécies que vivem próximas à superfície do mar é por meio de sensores orbitais que estimam a TSM (OLIVEIRA, 2005). Essa estimativa, conhecida como temperatura de pele (*skin temperature*), é obtida por sensores que atuam na região do infravermelho

termal, que medem da radiação emitida pela camada mais superficial da coluna d'água. Isso ocorre devido à alta absorvância da água no infravermelho termal, assim, a radiação de comprimento de onda longa é emitida da superfície do mar até alguns micrometros da espessura da coluna d'água.

Devido à emissividade da água ser em torno de 0,98, no infravermelho termal, a superfície do mar pode ser considerada como um corpo negro nesta faixa do espectro. A radiância detectada pelo sensor é determinada pela emissão de comportamento lambertiano da energia radiante da superfície do mar subtraindo a interferência atmosférica (ROBINSON, 2004). Um radiômetro, operando no infravermelho termal, mede a radiação de onda longa proveniente da camada milimétrica superficial do oceano sobre determinadas bandas de comprimento de onda. Para qualquer radiância medida dentro de uma banda específica, pode-se definir uma temperatura chamada de temperatura de brilho (TB). A TB é a temperatura que teria um corpo negro para emitir a mesma radiância naquela faixa do espectro.

Um dos principais problemas da estimativa da TSM por sensores orbitais está na presença de nuvens e na absorção da radiação eletromagnética na faixa do infravermelho pelo valor d'água. Além do mais, a radiância medida pelo sensor a bordo de um satélite contém, além da radiância emitida pela superfície do oceano, que é atenuada pela atmosfera, uma componente que é emitida pela própria atmosfera. Isso causa um deslocamento dos valores de radiância captados pelos sensores. Para estimar a TSM com precisão é necessário, portanto, minimizar a influência da atenuação e emissão atmosférica e calibrar os canais do sensor. Assim, a precisão de 0,5°C dessas medidas por meio de radiômetros termais dependem do grau de informação utilizado pelo algoritmo de correção atmosférica (KIDWELL, 1993).

Um dos principais sensores utilizados para estimar a TSM é o sensor orbital *Advanced Very High Resolution (AVHRR)*, a bordo dos satélites da série *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Os mais recentes sensores AVHRR são radiômetros de seis canais projetados com a finalidade de observar a cobertura de nuvens, a superfície terrestre e os campos de TSM com recobrimento global quase

diário. Porém, apenas cinco desses seis canais são direcionados diariamente para a superfície, visto que, as bandas 3A e 3B não podem operar simultaneamente. Sua resolução espacial máxima no nadir é de aproximadamente 1,09km, com ângulo de varredura de 54,4° para cada lado a partir do nadir, e com largura de faixa imageada do terreno de 2400km. Sua resolução espacial nos ângulos máximos de varredura chega a 2,4 x 6,9km (KIDWELL, 1993; FILHO, 2006). Demais características do sensor AVHRR podem ser observadas a seguir (Tabela 2.2 e 2.3).

Tabela 2.2 – Características gerais do sensor AVHRR

Resolução espacial no nadir	1,1 km (LAC) e 4,2 km (GAC)
Revisita	1 dia
Resolução radiométrica	10 bits (1024 níveis)
Largura imageada	2400 km (55,4° do nadir)
Órbita	Heliossíncrona quase polar
Período Orbital	102 minutos
Altitude	833 - 870 km
IFOV	1,3 miliradianos

Tabela 2.3 – Características espectrais do sensor AVHRR

Banda	Comprimento de onda	Faixa do espectro	Função
1	0,58 – 0,68 $\mu\text{m}$	Visível	Mapeamento de nuvens e superfície
2	0,725 - 1,0 $\mu\text{m}$	Infravermelho próximo	Limites da terra-água
3A	1,58 - 1,64 $\mu\text{m}$	Infravermelho próximo	Detectar gelo e neve
3B	3,55 – 3,93 $\mu\text{m}$	Infravermelho termal	Mapeamento de nuvens e TSM (noturno)
4	10,30 – 11,30 $\mu\text{m}$	Infravermelho termal	Mapeamento de nuvens e TSM (diurno/noturno)
5	11,50 – 12,50 $\mu\text{m}$	Infravermelho termal	TSM (diurno/noturno)

As calibrações dos canais 1 e 2 são baseadas em testes de pré-lançamento e os dados são explanados em termos de albedo solar percentual. Os canais 3, 4 e 5 são calibrados a bordo do satélite para cada linha de varredura utilizando a visada do espaço e do corpo negro interno em cada rotação do espelho de varredura (McCLAIN et al., 1985).

Os produtos do sensor AVHRR possuem duas opções diferentes de resolução espacial, 1,1 e 4km respectivamente, o *Local Area Coverage* (LAC) e o *Global Area Coverage* (GAC). O produto GAC possui precisão na TSM maior do que o produto LAC, cujo

estes, são mais ruidosos devido à existência de fortes gradientes termais horizontais como nuvens quentes, baixas e nevoeiros.

Os dados de TSM são produzidos e disponibilizados pelo projeto *Pathfinder* versão 5.0, que empregam as medidas fornecidas pela *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature version 2* (OISSTv2), desenvolvido pelo *National Oceanographic Data Center* (NODC). Dentre os produtos disponibilizados encontram-se o *Best Surface Temperature* (BSST), que é submetido a um processo de interpolação onde apenas pixels com menor contaminação por nuvens baseado em uma série de testes estatísticos são considerados. Assim, essas imagens não apresentam pixels espúrios resultantes da contaminação por nuvens, entre outras fontes de erro. Para esse processo de interpolação espacial, é utilizado o algoritmo *Nonlinear Sea Surface Temperature* (NLSST) (WALTON; 1998; KILPATRICK et al., 2001; CASEY et al., 2010). O produto *all-pixel-SST* (SST) gerado a partir do algoritmo utilizando todos os pixels independentes de estarem ou não contaminados por nuvens.

O processo de geração da TSM precisa passar por três etapas: i) transformar os números digitais em níveis de radiância aparente no sensor ( $L_\lambda$ ) (Equação 2.1); ii) calcular a temperatura de brilho da superfície do mar (TB) (Equação 2.2) e; iii) determinar a TSM. Na etapa do processamento, o algoritmo utiliza as temperaturas de brilho dos canais 3, 4 e 5 do AVHRR em três diferentes regimes de vapor d'água (Equação 2.3), que geram dados com precisão de 0,3 a 0,5°C, quando comparados com os dados de TSM coletados *in situ* (SOUZA et al., 2005; CASEY et al., 2010). Para o horário diurno, o algoritmo utiliza as temperaturas de brilho de dois canais (*split window*), enquanto no noturno, utiliza as temperaturas de brilho de três canais (*triple window*).

$$L_\lambda = \alpha_0 + \alpha_1 ND + \alpha_2 (ND)^2 [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \mu m^{-1}] \quad (2.1)$$

$$L(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right)} - 1} \quad (2.2)$$

Para utilização diurna e noturna, o algoritmo segue:

$$NLSST = \alpha_1 + \alpha_2 T_4 + \alpha_3 T_{sfc}(T_4 - T_5) + \alpha_4 (\sec\theta - 1)(T_4 - T_5) \quad (2.3)$$

Sendo que:

$ND$ : números digitais;

$\alpha_n$  : coeficientes pré-determinados para cada banda e sensor obtidos por regressão entre medições realizadas por satélite e *in situ*, para cada satélite por um determinado período;

$L_\lambda$  : radiância aparente do sensor;

$T, T_3, T_4$  e  $T_5$ : temperatura de brilho do mar e dos canais 3, 4 e 5, respectivamente (em  $K$ );

$\lambda$ : comprimento de onda;

$T_{sfc}$ : é uma estimativa *first guess* da TSM (temperatura real suposta para TSM, obtida por algoritmos ou combinação de dados);

$\theta$ : ângulo zenital de visada para um dado pixel na imagem dos canais 4 e 5.

Por fim, para avaliar os dados e representa-los em 7 níveis diferentes de qualidades, realiza-se a quantificação dos pixels espúrios, teste de uniformidade, testes para efeitos das radiações espalhadas, reflexão especular e do ângulo zenital do satélite, a eliminação de pixel de borda e, uma comparação com um campo de TSM de referência (no caso da *Pathfinder* versão 5, a base OISSTv2) (CASEY et al., 2010).

### 2.2.2 Altimetria do oceano por satélite

O GEOS-3 foi primeiro altímetro para estudo da oceanografia, lançado em 1975. Nas duas últimas décadas, foram lançados os sensores altimétricos ERS-1 (1991 – 1999),

ERS-2 (1995 – 2011), o TOPEX/Poseidon (1992 – 2006), o Jason-1 (2001 – presente) e o Altika. Esses produtos altimétricos com as devidas correções estão disponibilizados para comunidade científica pelo *Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data* (AVISO).

A Altura da Superfície do Mar (ASM) está relacionada com às condições de expansão e contração térmica da coluna de água por perdas e ganhos de calor entre o oceano e atmosfera. O que permite a extração de informações tais como: correntes geostróficas, ondas de gravidade, marés e geodésia marinha. Os dados de ASM são coletados por sensores ativos chamados de radares altímetros.

O radar altímetro é um instrumento ativo, unidirecional, que opera na região do micro-ondas, banda C ~5,3 GHz e banda Ku ~13GHz, apontado em direção ao nadir (Figura 2.4). Seu funcionamento é baseado no envio de um pulso eletromagnético em direção a superfície. A interação entre o pulso e a superfície faz com que parte desta radiação emitida seja refletida em direção ao satélite (KOBILINSKY et al., 1993). A partir do tempo gasto para realizar este percurso e da velocidade de propagação deste pulso na atmosfera, é possível calcular a distância do satélite em relação ao oceano (Equação 2.5) (FU; LE TRAON, 2006). Porém, ao passar pela atmosfera o sinal eletromagnético sofre refração devido principalmente a vapor d'água e ionização. Fenômenos que precisam ser corrigidos para se obter uma medida com precisão de 2 cm. Essas correções são baseadas em correções de órbita, dos próprios instrumentos, a propagação do sinal de radar e às correções efetuadas em relação ao estado da superfície do mar e seus efeitos geofísicos variados (FU; CAZENAVE, 2001).



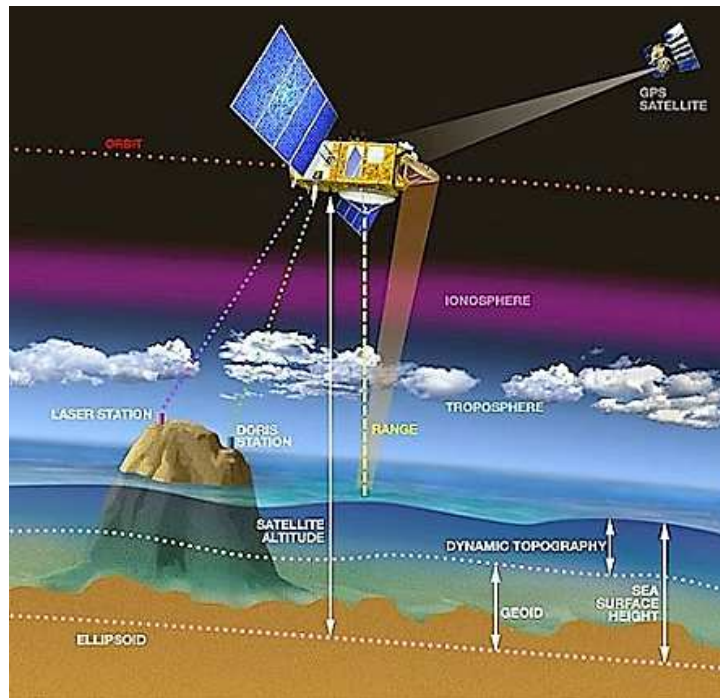


Figura 2.4 – Parâmetros envolvidos da determinação da altura da superfície do mar.

Fonte: JPL (2002).

$$h_a = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (2.4)$$

Sendo que:

$h_a$ : medida efetuada pelo altímetro;

$c$ : velocidade da onda eletromagnética;

$\Delta t$  : tempo gasto para realizar o percurso.

Uma vez conhecendo com precisão a órbita do satélite é possível ter uma estimativa da altura da superfície do mar, normalmente, em relação a um elipsóide de referência (FU; LE TRAON, 2006). A altura da superfície oceânica (SSH) pode ser representada pelas Equações (2.6) e (2.7), e seu range corrigido pela Equação (2.8). Porém, é importante lembrar que, o elipsóide é um referencial teórico não condizente com o geóide marinho,

que é uma superfície equipotencial. No entanto, as estimativas do geóide, atualmente, são realizadas com auxílio de modelos numéricos, que possuem erros, que podem ser maiores que o desnível associado às correntes oceânicas, em escalas horizontais menores que 2400km.

$$SSH = h - h_a \quad (2.5)$$

$$SSH = TDAS + N \quad (2.6)$$

$$RC = R + C_{tropseca} + C_{tropunida} + C_{iono} + ondas \quad (2.7)$$

Cujo:

$h$ : altura do satélite em relação a um elipsoide de referência;

$h_a$ : medida efetuada pelo altímetro após as devidas correções;

$SSH$ : altura da superfície oceânica;

$TDAS$ : topografia dinâmica absoluta da superfície;

$N$ : ondulação do geóide;

$RC$ : range corrigido;

$R$ : range;

$C_{tropseca}$  : correção da troposfera seca;

$C_{tropumido}$  : correção da troposfera úmida;

$C_{iono}$  : correção ionosférica;

$Ondas$ : viés do estado do mar.

Por usar como referência uma superfície média de altura dos oceanos (*Combined Mean Dynamic Topography*, MDT), as medidas dos satélites altimétricos são de anomalias da

superfície do mar (*Sea Level Anomalies*, SLA). A longo prazo, foi possível montar uma série temporal de anomalias longas, o suficiente, para confeccionar um mapa (Equação 2.9) de altura dinâmica média dos oceanos (*Absolute Dynamic Topography, along-track*, ADT) (SMITH; SANDWELL, 1997).

$$ADT = SLA + MDT \quad (2.8)$$

Onde:

*ADT*: altura dinâmica do oceano;

*SLA*: anomalia de altura dinâmica do oceano;

*MDT*: superfície média do oceano.

## **2.3 Modelagem aplicada a estudos pesqueiros**

Para auxiliar nas diversas pesquisas e nas decisões de questões ambientais, o uso da modelagem procura simular os fenômenos da natureza descrevendo comportamentos possíveis dentro de uma determinada condição. Isso pode ser feito de maneira determinística, estocástica (EIGER, 1989) ou com base no resultado de modelo bem calibrado aliado ao MBI. Assim, é possível realizar prognósticos e relacionar causa e efeito de alguns impactos ambientais (LETT, 2008).

Estudos utilizando o modelo regional de circulação oceânica e MBI mostraram resultados que deram ênfase em algumas espécies de peixes como podem ser observados nos estudos de Dias et al., 2014; Silva, 2014; Andrello et al., 2015; Koeck et al., 2015; Olivares et al., 2015; Mbaye et al., 2015).

### **2.3.1 Modelo de circulação oceânica**

O *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), usado no presente trabalho, é um modelo oceânico tridimensional de superfície livre, coordenadas seguidoras do terreno e equações primitivas. Utiliza a média de *Reynolds* e o método de diferenças finitas para

resolver as equações de *Navier-Stokes* assumindo aproximações hidrostáticas e de *Boussinesq* (HAIDVOGEL et al., 2008). O modelo usa processamento em linguagem C para ativar ou desativar opções numéricas e físicas, alguns arquivos com algoritmos Fortran (.F), arquivo de cabeçalho (.h), configuração dos arquivos de entrada (.in), um arquivo de definição de metadados (varinfo.dat) e um único *makefile*. Seus arquivos de entrada e de saída estão no formato *Network Common Data Form* (NetCDF) (ABSY et al., 2010).

Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais com valores positivos de  $x$  no sentido leste e de  $y$  no sentido norte e realizando a transformação para coordenada sigma, tem-se as seguintes equações básicas utilizadas pelo ROMS.

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial n}{\partial t} = 0 \quad (2.9)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UV D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial n}{\partial x} \\ & + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (2.10)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial n}{\partial y} \\
& + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \\
& = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + Fy
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Equação da conservação de calor:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} \\
& = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z}
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Equação da conservação de sal:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} \\
& = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_s
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Equação da densidade em função de S,  $\theta$  e P:

$$\rho = \rho(S, \theta, P) \tag{2.14}$$

Sendo que,  $D = H + n$ ,  $U$  e  $V$  são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente,  $f$  é o parâmetro de Coriolis,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $\rho$  é a densidade,  $\rho_0$  é a densidade de referência,  $\rho'$  é a anomalia da densidade,  $\theta$  é a

temperatura potencial,  $S$  é a salinidade,  $K_M$  é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical,  $K_H$  é o coeficiente de difusão do calor vertical,  $\partial R/\partial z$  é o termo de fluxo de calor radiativo e  $\omega$  é a velocidade vertical correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. A velocidade vertical  $W$  é dada por:

$$W = \omega + U \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial n}{\partial x} \right) + V \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial n}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial n}{\partial t} \quad (2.15)$$

As equações hidrostáticas primitivas de *momentum* utilizam um esquema de passo de tempo “*Split-explicit*” realizado em um número finito de passos de tempo barotrópicos, rápido, onde cada passo baroclínico, lento, é efetuado para desenvolver as equações de superfície livre e momento verticalmente integrado. O passo de tempo separado mantém a conservação de volume e a preservação de consistência, que são necessárias para as equações de traçadores (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

As coordenadas do tipo *terrain-following*, seguidoras de terrenos, (SONG; HAIDVOGEL, 1994) são discretizadas verticalmente permitindo o aumento da resolução nas profundidades das áreas de estudo ao longo da coluna d’água. A grade padrão utiliza diferenças finitas de segunda ordem, centradas em uma grade vertical irregular, garantindo a conservação de momento e de traçadores (HAIDVOGEL et al., 2000). Na horizontal, as equações primitivas são calculadas usando coordenadas curvilíneas ortogonais em uma grade irregular estruturada do tipo *C* de *Arakawa* (ARAKAWA; LAMB, 1977). Os contornos de costa também podem ser especificados como uma grade discretizadas finita via máscara terra/mar (DIAS et al., 2014).

O algoritmo numérico do ROMS de formulação jacobiana, (SONG, 1998) minimiza os erros de gradiente de pressão, que devido a sensibilidade de topografia, podem aumentar à divisão desse gradiente em um componente ao longo da coordenado sigma e uma correção hidrostática (HAIDVOGEL; BECKMANN, 1999). Com essa formulação, a conservação de *momentum*, energia e a representação precisa da pressão no fundo foi

validada (SONG; WHITE, 1998). A conservação dessas propriedades pode restringir os erros gerados pelo modelo. Recentemente, Shchepetkin e McWilliams (2003), propuseram um novo esquema de gradiente de pressão baseado na reconstrução do campo de densidade e da coordenada física  $z$  como função contínua das coordenadas transformadas com posterior integração analítica para o cálculo da força de gradiente. Isso, permite melhor precisão do balanço hidrostático e não perde muita precisão em grades verticais não uniformes de baixa resolução.

O modelo apresenta uma estrutura flexível, que permite diferentes escolhas de componentes para resolução de esquemas advectivos, de turbulência e de condições de borda (EZER et al., 2002). Existem duas parametrizações de subgrade presentes no ROMS: i) a mistura horizontal (harmônica ou bi harmônica) de momento, que pode ser ao longo de níveis verticais, superfícies geopotenciais (profundidade constante), ou superfície isopícnais (densidade constante). ii) a mistura vertical, que pode ser tanto por esquemas de fechamentos locais ou não-locais (HAIDVOGEL et al., 2000). Os esquemas de fechamentos locais são baseados nas equações de energia cinética turbulenta de nível 2,5 de Mellor e Yamada, (1982) e a parametrização de Escala de Dimensão Genérica (EGD) (UMLAUF; BURCHARD, 2003). O esquema de fechamento não local é baseado na formulação da camada limite perfil -k definida por Large et al., (1994).

### **2.3.2 Modelo baseado no indivíduo - MBI**

O movimento e dispersão dos componentes do icteoplâncton, ovos e larvas, são elementos importantes, que podem determinar a quantidade de indivíduos adultos disponíveis para o recrutamento (MILLER, 2007). Para a simulação de dispersão destes organismos, são utilizadas saídas de modelo de circulação oceânica combinado com um software que ressample as partículas e calcula suas trajetórias virtuais lançadas dentro do campo de velocidade do modelo de circulação, no caso desse estudo, o ROMS. Um dos modelos desenvolvidos para simular essas dispersões e estudar os efeitos de fatores físicos e biológicos na dinâmica do icteoplâncton é o Ichthyop. Uma ferramenta

lagrangeana, gratuita e que segue o protocolo *Overview-DesignDetails* (ODD) para descrever o MBI (GRIMM et al., 2006).

O Ichthyop considera os organismos como entidades únicas e discretas, compreende cada indivíduo e o seu espaço físico. Os indivíduos são caracterizados pelas suas variáveis, que mudam durante o seu ciclo de vida: idade [Dia], comprimento [mm], fase [ovo, larva], localização [longitude, latitude e profundidade] e seu status [vivo ou morto]. Portanto, as variabilidades estocásticas, espacial e temporal são facilmente manejadas devido à interação do indivíduo com o ambiente (DIAS, 2013).

As variáveis de estado do ambiente: campos de velocidade, temperatura e salinidade, são fornecidas pela grade tridimensional simulada do ROMS, que permite controlar os derivadores virtuais e as propriedades do oceano no experimento. No MBI, esses campos são interpolados no espaço para fornecer valores individuais em qualquer local. Também são interpolados em tempo para alimentar o espaço de tempo do MBI (PUTMAN; HE, 2013).

As simulações consistem em rastrear os locais e as propriedades dos indivíduos, de acordo com o período a ser estudado. Após a desova, cada movimento do indivíduo no tempo, aumenta a sua probabilidade de mortalidade e recrutamento. Portanto, cada movimento, crescimento, mortalidade e recrutamento são submodelos. Cada variável do ambiente de estado é atualizada durante toda a simulação com a mesma frequência utilizada pelo ROMS.

Após carregar os arquivos de configuração, o local da desova é escolhido de forma aleatória de acordo com cada área especificada pelo simulador. O MBI simula distribuições desiguais ou uniformes dependendo do tamanho de cada área específica. Na fase do ovo, utiliza-se o comprimento inicial de 0,025 milímetros.

O Ichthyop rastreia as partículas e calcula suas trajetórias de acordo com os campos modelados, permitindo estabelecer a influência dos parâmetros físicos (correntes, temperatura e salinidade da água) e biológicos (flutuabilidade de ovos e tempo de



permanência no plâncton), que afetam o transporte e sobrevivência dos ovos e larvas de peixes (HUTCHINGS, 1992).

Estudos têm utilizado essa ferramenta para identificar prováveis locais de desova (SOTO-MENDOZA et al., 2012; DIAS et al., 2014), quantificar a desova (BRICKMAN et al., 2001; STENEVIK et al., 2003; DIAS et al., 2014), analisar o crescimento, a sobrevivência e a mortalidade (THANASSEKOS et al., 2012; DIAS et al., 2013), alteração na mudança dos ovos (ALVAREZ et al., 2011), na trajetória dos ovos e das larvas (BROWN et al., 2004; BROCHIER et al., 2008b, 2011; DIAS et al., 2013; SILVA, 2014) e na conectividade e recrutamento (SILVA, 2014; ANDRELLO et al., 2015).

Alguns estudos abordaram as condições bióticas e abióticas de diversas espécies de peixes pelágicos (MULLON et al., 2003; KONÉ, 2006; MILLER et al., 2006; PARADA et al., 2008; DIAS et al., 2014). Já para as espécies demersais há poucas pesquisas devido as suas preferências de habitat e longevidade (GRAVIELLI et al., 2012). O MBI adiciona propriedades biológicas e físicas nas partículas criando indivíduos, assim, permite representar espacialmente a integração de dados ambientais, ecológicos, biológicos e físicos (LETCHER et al., 1996; HUGGET et al., 2003; GRIMM, 2005).

### **2.3.2.1 Submodelos de MBI**

i). A desova pode liberar as partículas por zona, o que depende do número de ovos, profundidade, frequência, número e o tamanho das áreas de desovas. Cada área é definida por latitude e longitude e por duas linhas batimétricas *inshore* e *offshore*, delimitando um polígono quadrangular. A profundidade da desova é definida pelo usuário em profundidade superior e inferior. A desova começa no início da simulação, podendo ocorrer várias vezes, desde que essa opção seja definida no simulador. Há a possibilidade de liberar as partículas permitindo que leia a localização inicial dos indivíduos liberados a partir dos arquivos de entrada.

ii). As partículas podem se movimentar por: advecção horizontal e vertical, dispersão horizontal e vertical e migração vertical da flutuabilidade dos ovos e lavas.

iii). Os crescimentos dos indivíduos aumentam linearmente com o tempo (Equação 2.16), a uma taxa  $r$ , tomando como função linear a temperatura,  $T$  (Equação 2.17). Assim, os indivíduos mudam de estágios de acordo com seus comprimentos (LETT et al., 2008).

$$l(t + \Delta t) = l(t) + r\Delta t \quad (2.16)$$

$$r = 0,02 + 0,03T \quad (2.17)$$

iv). As partículas são recrutadas quando chegam na idade definida pelo simulador e passou um tempo dentro da área estabelecida.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo é na Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE), caracterizada como uma das principais feições geomorfológicas da costa brasileira (Figura 3.1). A PCSE cobre em extensão aproximadamente 1100km e uma área de 150 000km<sup>2</sup>. Essa região se estende ao longo da latitude 23°S, Cabo Frio, RJ, até a latitude de 29°S, Cabo de Santa Marta, SC. Suas isóbatas seguem paralelamente à linha de costa até a profundidade da quebra da plataforma continental, que varia entre 120m a 180m, sendo sua parte mais larga com 230km localizada em frente a Santos e as partes mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50km, e Cabo de Santa Marta, com 70km (CASTRO et al., 2006).

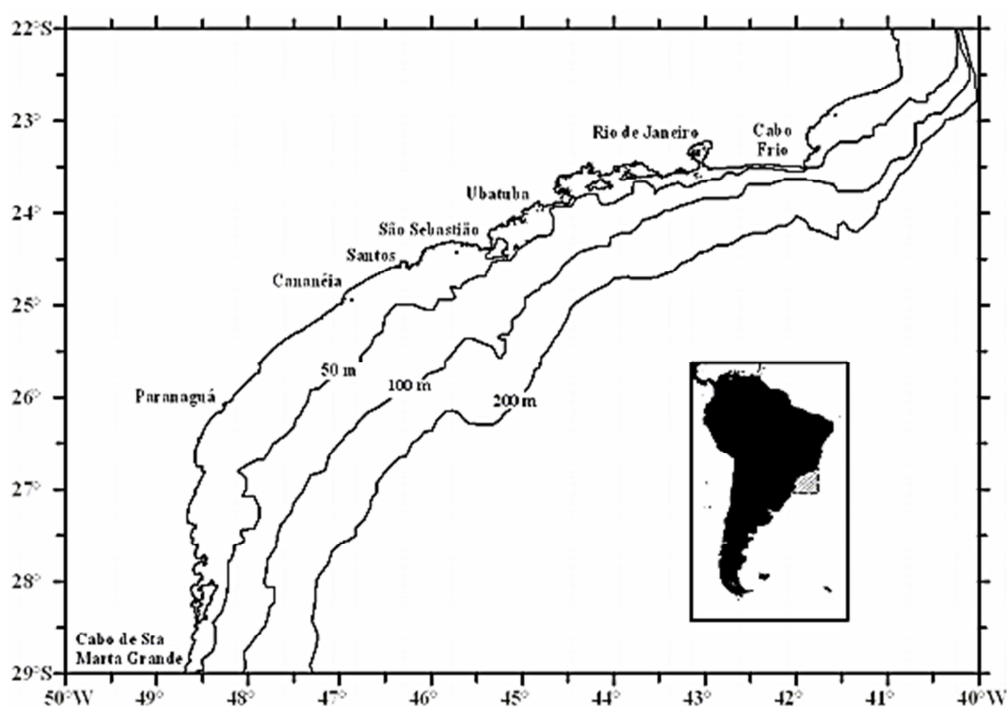


Figura 3.1- Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE) associada as suas linhas isobatimétricas

Fonte: Gigliotti (2009)

As massas d' água predominante na área de estudos são: i) Água Tropical (AT) quente e salina, é transportada para sul-sudeste na camada mais superficial da Corrente do Brasil (CB) próximo ao talude continental, na quebra da plataforma. ii) Água Central do Atlântico Sul (ACAS), menos quente e salina, ocupa uma camada mais inferior da CB, ao longo do talude continental entre 200m a 500m de profundidade. iii) Água Costeira (AC), mais quente e salina, resulta de uma mistura entre água do aporte continental e as águas oceânicas presentes na plataforma (EMILSON, 1961; MIRANDA, 1982; CASTRO; MIRANDA, 1998).

No interior da plataforma continental sul, estão presentes dois tipos de massas d' água: i) Água Subantártica de Plataforma (ASAP), relativamente mais fria e de baixa salinidade, por ser gerada pela diluição da água de origem subantártica derivadas da Corrente Costeira da Patagônia. As características da ASAP variam de acordo com a precipitação e aporte das águas continentais sobre áreas costeiras da região do Atlântico Sudoeste. ii) Água Subtropical de Plataforma (ASTP), formada por diluição da ACAS, tem a sua localização restrita à profundidade máxima de 50m, sendo influenciada pela AT transportada pela CB. O limite entre a ASAP e a ASTP é identificada por uma frente termohalina, que se localiza próximo à latitude de 33°S, denominada de Frente Subtropical de Plataforma (FSTP) (PIOLA et al., 2000). Estudo de Piola et al., (2008) afirma que a posição da FSTP se mantém fixa ao longo do ano (Figura 3.2).

A presença das massas d' água sobre a PCSE transportadas sob a ação dos ventos na superfície do mar, pelo transporte da CB e pelas marés, varia em escalas espaciais e temporais, sendo associada a processos que atuam diretamente na plataforma continental e a processos que estão relacionados ao talude (CASTRO et al., 2006).

O vento de NE, que atua na superfície do mar na região da PCSE, gera um transporte de volume da camada de Ekman, próximo à linha da costa, denominado de ressurgência costeira, que ocorre mais intensamente na região de Cabo de São Tomé (22°S) e de Cabo Frio (23°S). Durante o verão, esses ventos induzem o afloramento de águas frias e com alto teor de nutrientes próximo à costa.

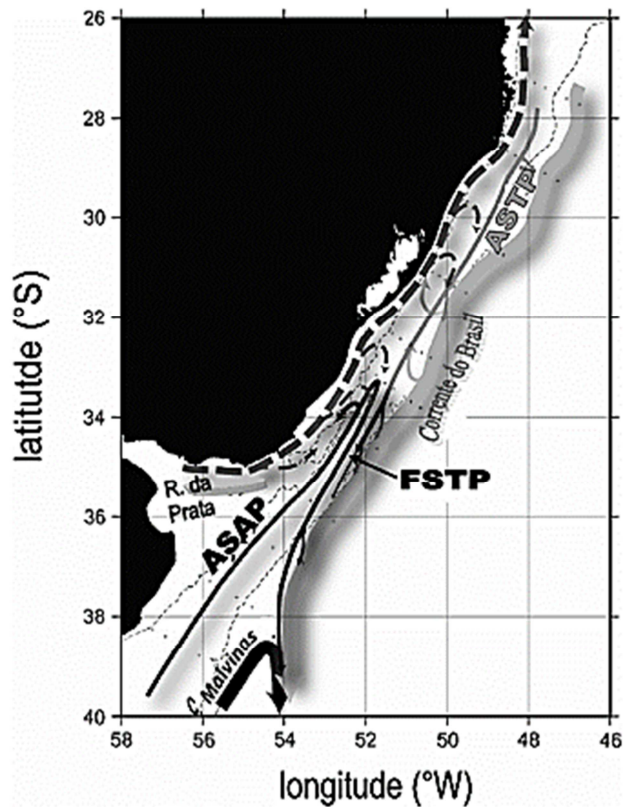


Figura 3.2- Esquema das massas d' água na Plataforma Continental Sul do Brasil: Água Subantártica de Plataforma (ASAP), Água Subtropical de Plataforma (ASTP) e Frente Subtropical de Plataforma (FSTP).

Fonte: Piola et al., (2008)

A CB é a corrente de contorno oeste que está associada ao giro subtropical atmosférico do Atlântico Sul. É o principal eixo de transporte na PCSE, fluindo ao longo da margem continental brasileira em direção sudoeste, seguindo o talude continental até cerca de 36°S (Figura 3.3). Devido à mudança brusca de direção, quando vindo de norte para sul, e efeitos da batimetria local, a CB sofre uma reflexão em decorrência da conservação da vorticidade potencial e penetra na PCSE. A CB passa a compor um sistema de correntes baroclinicamente instáveis com efeitos de instabilidades, que resultam na formação de vórtices e meandros (SILVEIRA, 2006). Esses no hemisfério sul, apresentam caráter divergente nas camadas superficiais, permitindo o bombeamento da ACAS até a superfície e ressurgência através de processos de advecção do fundo para a superfície

(CASTRO; MIRANDA, 1998). Através dos deslocamentos horizontais superficiais, os vórtices e meandros, induzem mecanismos de bombeamento contínuo capazes de trazer a ACAS de forma constante desde a região do talude até profundidades muito baixas próximas à costa (CAMPOS et al., 2000).

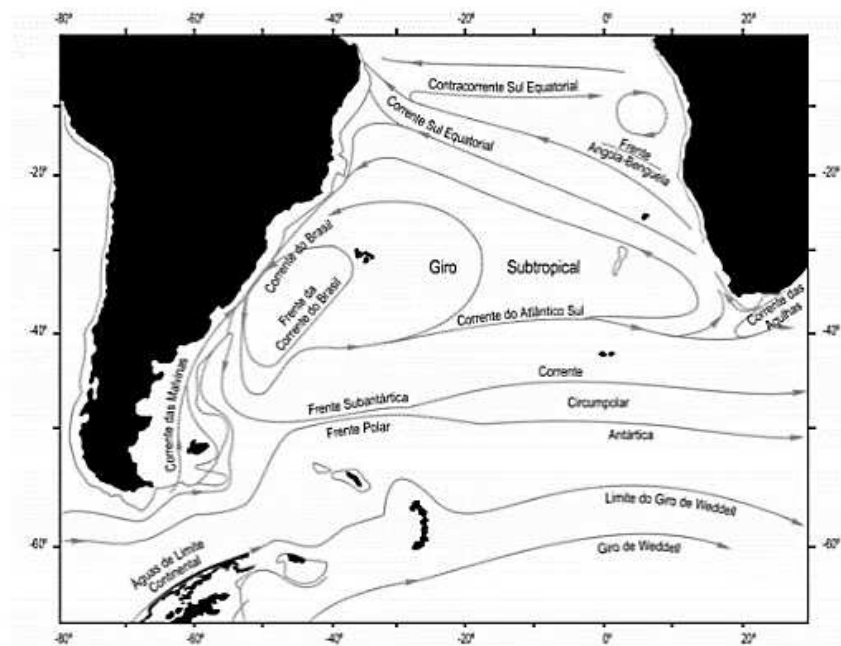


Figura 3.3 - Representação esquemática do giro subtropical do Atlântico Sul.

Fonte: Soares (2009), adaptado de Peterson e Stramma (1991).

### 3.2 Configuração do modelo ROMS

As etapas de simulação hidrodinâmica utilizando o modelo ROMS, para os anos de 1980 a 2007, envolveram a definição do domínio e a configuração da grade. Primeiramente, foi realizada uma rodada de *spin-up* de cinco anos para equilibrar as equações físicas. Posteriormente, foi realizado um experimento de 27 anos para gerar as séries temporais do padrão superficial de circulação oceânica e, experimentos horários nos meses de dezembro e janeiro para 18 anos, selecionados por métodos estatísticos, que foram utilizados como forçantes físicas de temperatura, salinidade e correntes superficiais no MBI.

### 3.2.1 O domínio da grade

A grade utilizada foi a mesma do experimento realizado por Dias et al., (2014). Essa grade (FIGURA 3.4) está compreendida entre as latitudes de 20°S a 30°S e as longitudes entre 40°W a 50°W. Essas latitudes representam as áreas de desovas das sardinhas. A condição de contorno do modelo apenas é aberta no Leste e no Sul e, fechada no Oeste e Norte. A resolução na horizontal da grade é de 1/12°, o que permite a representação da mesoescala, como pode ser observado em Dias et al., (2014). Na vertical, utilizou-se 30 níveis sigma, para melhor representar os processos que ocorrem na camada eufótica.

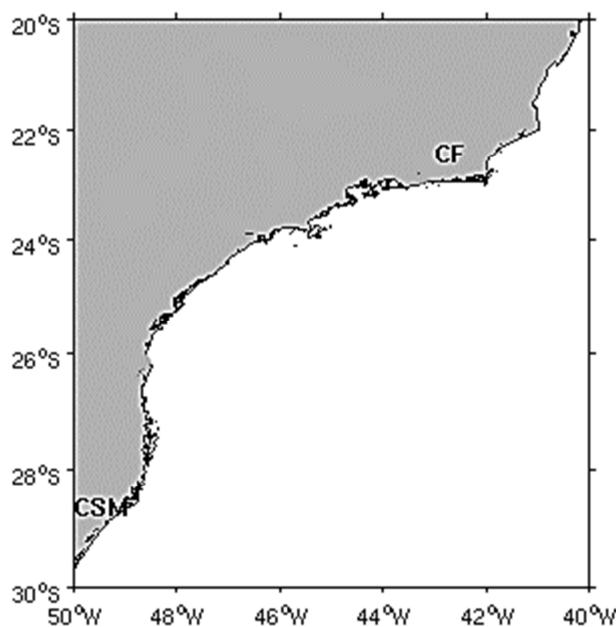


Figura 3.4 – Condições de contornos utilizados no experimento ROMS, compreendida entre latitudes de 20°S a 30°S e longitudes de 40°W a 50°W, com resolução horizontal de 1/12° e vertical de 30 níveis sigma. Bordas abertas apenas no Leste e Sul e fechadas no continente, Norte e Oeste.

### 3.2.2 Batimetria e linha de costa

Para a confecção da batimetria, utilizou-se a base global SRTM30 *plus* (BECKER et al., 2009), com resolução de 30 segundos de arco, de aproximadamente 1km encontrado no

endereço <[http://topex.ucsd.edu/www\\_html/srtm30\\_plus.html](http://topex.ucsd.edu/www_html/srtm30_plus.html)>. A batimetria provém de um modelo satélite-gravidade onde a taxa de gravidade para a topografia é calibrada utilizando 298 milhões de sondagens editadas (SCHULTZS, 2012).

A linha de costa utilizada como definição da máscara terra/água foi da *World Coast Line* da NOAA, cuja resolução espacial é de 1:5.000.000 disponível no site <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast>>.

### **3.2.3 Dados de reanálise atmosférica**

Os fluxos na interface oceano/atmosfera necessários para forçar o modelo, podem ser inseridos de duas formas: fornecendo dados com fluxos de calor ou, ativando a camada limite do modelo para calcular tanto o fluxo total de calor quanto o estresse do vento através de campos atmosféricos (rotina `bulk_flux.F`).

Para esse experimento, a forçante atmosférica utilizada entre 1979 a 2007, foi do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), em formato NetCDF, disponível em <<http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/>>. Esses dados de reanálise são provenientes de dados orbitais, medidas *in situ* de navios de pesquisa e/ou boias, estações meteorológicas e oceanográficas, além de resultados de modelo (KALNAY et al., 1996; SCHULTZS, 2012).

Sua resolução atmosférica vertical é de aproximadamente 38km com 64 níveis, que se estendem desde a superfície até 0,26hPa, com resolução horizontal de 0,5° de latitude e longitude, resolução temporal de 6 horas e resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Esses dados são oriundos da *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) interpolados para a grade com informações de fluxo incidente de onda longa, fluxo incidente de radiação solar de superfície, taxa de precipitação e pressão superficial.

Também foram utilizadas umidade e temperatura do ar a 2 metros de altura e as componentes zonal e meridional do vento a 10 metros. Cada arquivo é composto por valores de temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica superficial, taxa de



precipitação e fluxo líquido de radiação de onda curta (SAHA et al., 2010; SCHULTZS, 2012).

### **3.2.4 Dados de contorno oceânico**

Os dados de reanálises utilizados, para o período de 1980 a 2007, como condições iniciais do experimento e contornos laterais para as bordas abertas da grade foi o *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) versão 2.0.2-4, disponível em <<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p0p2-4/>>.

Esses dados de reanálise do SODA são produzidos por um modelo de circulação geral do oceano com base no Programa Numérico Paralelo Oceânico (*Parallel Ocean Program*, POP) (SMITH et al., 1992; CARTON et al., 2000a, b) e uma assimilação de dados observacionais oriunda de diversas fontes.

A reanálise do SODA foi desenvolvida por Carton e Geise (2008) e visa reconstruir a variabilidade oceânica. A simulação é corrigida por dados recentes a cada dez dias, após uma análise incremental, seguindo a metodologia de Bloom et al., (1996).

Logo, os campos médios são remapeados para um campo uniforme global de grade horizontal com resolução de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ , resolução espacial de  $0,4^{\circ}$  e 40 níveis verticais com espaçamentos de 10 metros. Cada arquivo possui: i) variáveis tridimensionais de temperatura, salinidade e componente zonal e meridional da velocidade e, ii) variáveis bidimensionais da altura do nível do mar e componentes zonal e meridional da velocidade integrada na vertical.

### **3.2.5 O *spin-up* e a série temporal do modelo**

*Spin-up* é o nome dado ao período de simulação para que o modelo atinja o equilíbrio dinâmico. Após este período é possível obter a condição inicial do experimento de modo que, a simulação pode ser considerada válida no ponto de vista de estabilidade (DIAS, 2013; SILVA, 2014). No referido estudo, o *spin-up* foi de 5 anos, de janeiro de 1980 a dezembro de 1985. O resultado do último mês foi utilizado como condição

inicial para a realização do experimento de 27 anos, devido as disponibilidades das forçantes atmosféricas, seguindo o procedimento realizado por Dias et al., (2014).

Após o experimento de 27 anos, foram selecionados 18 anos para serem utilizadas como forçantes físicas do MBI. A seleção foi feita com base em testes estatísticos sobre a série histórica de captura da sardinha, que indicaram quais eram os anos extremos dessa série temporal. Para análise dos extremos de produção da sardinha, foram utilizadas saídas de médias horárias dos meses de dezembro e janeiro, referentes aos anos anteriores àqueles selecionados. Esta defasagem de 12 meses se refere ao período de desova responsável pela geração dos indivíduos adultos, que foram pescados nos anos de máximas ou mínimas capturas comerciais. As variáveis de interesse para esse experimento foram: salinidade, temperatura, altura do nível do mar e velocidades meridionais e zonais das correntes. Para todos os experimentos foi utilizado um passo de tempo barotrópico de 30s e baroclínico de 600s.

### **3.3 Avaliação do experimento hidrodinâmico**

Para avaliar a capacidade do experimento hidrodinâmico de representar as características oceanográficas da área de estudo, as soluções do modelo foram comparadas com dados de TSM, ASM e Corrente Superficial do Mar (CSM) obtidos por satélite. Portanto, foi necessário reamostrar espacialmente as soluções do ROMS para as resoluções dos dados dos sensores orbitais.

Para a comparação dos campos superficiais, foram calculadas as médias anuais e sazonais da TSM, ASM e CSM observados pelos sensores orbitais (AVHRR, AVISO e OSCAR, respectivamente) com as resultantes do modelo, para que fossem calculadas as suas diferenças entre os produtos. Esses mapas foram utilizados para analisar quais áreas apresentaram maiores concordâncias e diferenças entre as variáveis consideradas.

Dias et al., (2014) analisou os perfis verticais de temperatura e salinidade, utilizando médias anuais e sazonais do modelo para verificar se esses representam as massas de água presentes na PCSE. Gerou também, para região de Ubatuba – SP, perfis de

temperatura e salinidade (TS) comparados com perfil de TS calculados com base em dados hidrográficos de Castro, (1996).

### **3.3.1 Comparação da TSM do ROMS com dados do sensor AVHRR**

Neste trabalho, optou-se pelos dados de TSM denominados *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 – first guess SST field*. Para esses dados, o algoritmo é disponibilizado pelo projeto *Pathfinder*, Versão 5.0 do sensor AVHRR. Para tal procedimento, foram utilizados dados *all-pixel SST*, em que a TSM é determinada a partir de um algoritmo padrão, sem os dados de Reynolds (*Reynolds Optimally Interpolates SST*).

As 312 imagens mensais correspondentes ao período da série analisada, em HDF, nível 3 (*Level 3*), com resolução espacial de 4 km e com passagens ascendentes, estão disponibilizadas no endereço eletrônico do projeto NOAA *Pathfinder* em :<<http://nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/available.html>>. As séries de médias mensais derivadas dos dados “*all-pixel-SST*” foram submetidas a um processo de interpolação, para remoção de pixels espúrios, por meio de um ajuste de função senoidal, que representa o ciclo médio da TSM. A remoção desses pixels, com valores inferiores à média, baseou-se na análise de anomalias, após o ajuste da série original e da função do ciclo médio. Os pixels em que, seu desvio padrão eram superiores à média foram substituídos pelos valores da função do ciclo médio.

Após a interpolação dos dados de TSM do ROMS para a grade de menor resolução (AVHRR), foi realizado um mapa de perfil longitudinal (em °C, de 1980 a 2007, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro) para as latitudes de: 22°S, 24°S, 25°S e 29°S. A posteriori, foram gerados mapas sazonais de verão (janeiro, fevereiro e março) e inverno (julho, agosto e setembro) de TSM (em °C, de 1980 a 2007) do ROMS, AVHRR e suas respectivas diferenças. Para uma análise precisa do modelo, também se utilizou mapas de médias anuais (em °C, de 1980 a 2007) de TSM do Roms, AVHRR e suas respectivas diferenças, para a comparação espacial dos campos superficiais.

### 3.3.2 Comparação da ASM do ROMS com os dados do AVISO

Dados de Altura da Superfície do Mar (ASM) tem sido frequentemente utilizado para a verificação do desempenho de modelos hidrodinâmicos (MARCHESIELLO et al., 2003; CHASSIGNET et al., 2006; HALLBER; GNANADESIKAN, 2006; KELLY et al., 2007; HAIDVOGEL et al., 2008; IVANOV et al., 2009). Os dados de altimetria empregados neste trabalho são do tipo *merged* fornecidos pelo *Archiving Validation and Interpretation of satellite Oceanographic Data* (AVISO) com intervalos de sete dias. Essa base é composta por dados de diferentes altímetros, como os presentes nos satélites da NASA e da *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES): TOPEX/Poseidon e Jason-1 e 2, ERS 1 e 2 e ENVISAT. Dados encontrados em: <<http://aviso.altimetry.fr/en/data.html>>.

Os dados utilizados representam o período de 1992 até dezembro de 2007, totalizando 946 arquivos na forma de mapa com grade amostral fixa ao longo do tempo com resolução de  $1/3^\circ$ . Cada arquivo possui os parâmetros hora de registro de medida, latitude, longitude e ASM em relação ao geóide.

Foram calculadas médias mensais do AVISO e do ROMS e, reamostragem espacial para transformar os dados de resolução espacial do ROMS de  $1/12^\circ$  para resolução espacial dos dados do radar altímetro, que é de  $1/3^\circ$ .

### 3.3.3 Comparação da CSM do ROMS com os dados do OSCAR

Os dados de correntes superficiais do mar do OSCAR (*Ocean surface Currntes Analyses*), são oriundos de dados da ASM, ventos de escaterômetros (*W*) e TSM por sensores radionétricos (BONJEAN; LAGERLOEF, 2002). O produto Oscar expressa as correntes superficiais considerando a componente geostrófica e ageostrófica. Suas correntes são calculadas em intervalo de 5 dias, com cada mapa sendo derivado de mapas de grade de ASM, *W* e TSM, representando 10 dias de dados.

Os dados do Oscar possuem dados de satélite do TOPEX/Poseidon desde outubro de 1992 a junho de 2002, a partir de julho de 2002 são utilizados os dados do Jason 1

(LAGERLOEF et al., 1999).  $W$  é fornecida pela análise variacional do sensor de Imagem de Microondas, Seawinds, de outubro de 1991 a setembro de 2001 (ATLAS et al., 1996) e do Quikscat, de agosto de 2001 até o presente. E para o TSM, dados de Reynolds e Smith versão 2 (REYNOLDS et al., 2002).

As correntes do OSCAR são projetadas para representar a média ao longo de uma camada superficial de 30 m de espessura, com resolução espacial de  $0.33^\circ$  e temporal de 5 dias.

A grade do OSCAR foi reamostrada para a grade de  $1/12^\circ$  do ROMS para garantir que os resultados reproduzissem a variabilidade espacial e temporal das correntes marítimas.

### **3.4 Série de tempo dos extremos de produção da sardinha**

A série temporal das taxas médias de capturas (toneladas por ano) são resultados das capturas dividido pelo número de dias disponíveis para a pesca das sardinhas, no período de 1980 a 2007. Esses dados estão disponíveis na *Food and Agriculture Organization* (FAO), (Figura 3.5), oriunda de várias fontes oficiais: de 1980 a 2000 os dados de captura são da Superintendência de Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE), Instituto de Pesca de Santos – SP e do Ministério de Agricultura e de 2001 a 2007 são dados estatísticos do IBAMA. Vale ressaltar que, nesta série não foram considerados 366 dias nos anos bissextos, sendo utilizado apenas 365 dias no ano.

Para identificar os anos de extremos de desembarques comerciais da sardinha foi aplicada a teoria dos valores extremos, que estuda o comportamento estocástico de extremos associados a um conjunto de variáveis aleatórias com distribuição comum (COX et al., 2002), imprescindível para estudos de variáveis ambientais (JENKINSON, 1995). Dentro dessa denominação geral de extremos incluímos o máximo e o mínimo, ou seja, estatística de ordem extremas e excessos acima de limiares altos. As características e propriedades dessas distribuições extremas são determinadas pelas caudas extremas da distribuição subjacente (COLES; DIXON, 1999). Portanto, para modelar a extensa variedade de extremos naturais, usa-se a Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV).

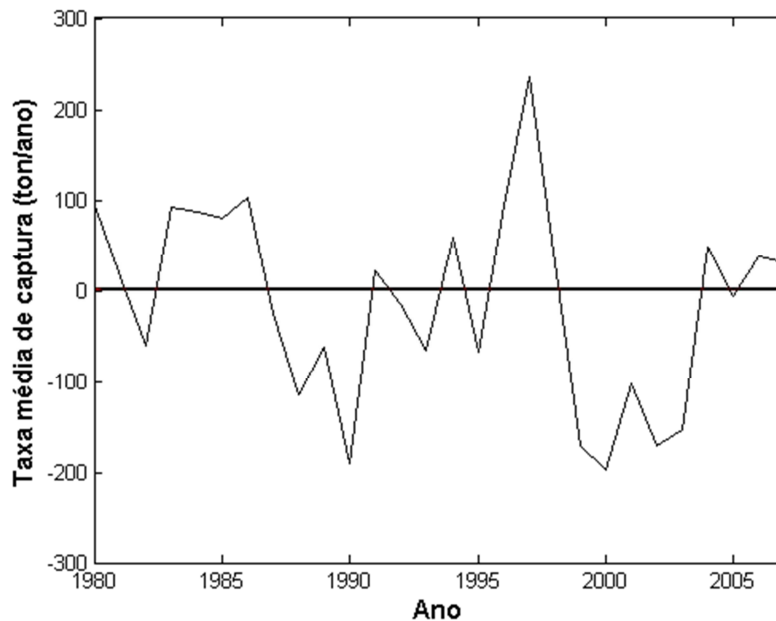


Figura 3.5- Série histórica anual (1980 a 2007) destendenciada da FAO, de taxa de captura média, em toneladas por ano, da sardinha na PCSE.

A fim de estimar se esses eventos estão relacionados com a variação da intensidade, frequência (BEHRENS et al., 2004) e que tipo de comportamento descreve de forma satisfatória, os extremos da série, calculado por GEV, englobam as três formas assintóticas de distribuição de valores extremos (FISHER; TIPPETT, 1928; MISES, 1936; JENKINSON, 1995) e tem função de distribuição acumulada de probabilidade (Figura 3.6) dada por:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\varepsilon}} \right\} \quad (3.1)$$

definida em  $-\infty < x < \mu - \frac{\sigma}{\varepsilon}$  para  $\varepsilon < 0$ ,  $-\infty < x < +\infty$  para  $\varepsilon \rightarrow 0$ ,  $\mu - \frac{\sigma}{\varepsilon} < x < +\infty$  para  $\varepsilon > 0$ , sendo  $\mu, \sigma$  e  $\varepsilon$  os parâmetros de localização, escala e de forma respectivamente, com  $\sigma > 0$ .

As distribuições de valores extremos de Fréchet e de Weibull correspondem aos casos particulares da Equação (3.1) em que  $\varepsilon > 0$  e  $\varepsilon < 0$ , respectivamente. Como limite de  $F(x)$  com  $\varepsilon \rightarrow 0$  tem-se que:

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right] \quad (3.2)$$

que é a função de distribuição acumulada de Gumbel com parâmetros de locação e de escala com  $\sigma > 0$ .

Derivando-se a Equação 3.1 em relação a  $x$  obtém-se a função densidade de probabilidade da distribuição GEV dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\varepsilon}{\varepsilon}\right)} \exp \left\{ - \left[ 1 + \varepsilon \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\varepsilon}} \right\} \quad (3.3)$$

definida em  $-\infty < x < \mu - \frac{\sigma}{\varepsilon}$  para  $\varepsilon < 0$ ,  $\mu - \frac{\sigma}{\varepsilon} < x < +\infty$  para  $\varepsilon > 0$ , cujo limite para  $\varepsilon \rightarrow 0$  é:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left\{ \exp \left( - \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x-\mu}{\sigma} \right) \right] \right\} \quad (3.4)$$

definida em  $-\infty < x < +\infty$ .

Para verificar se a série é bem representada por GEV foi gerado um mapa de quantil-quantil (*qqplot*) para verificar a sua distribuição (Figura 3.6). Como o mapa representou o esperado para a série, calculou-se então, o referido o valor de  $\varepsilon$ , que foi de -0,369162 ou seja,  $\varepsilon < 0$ , portanto, esta distribuição de extremos pertence a Weibull (SMITH; NAYLOR, 1987).

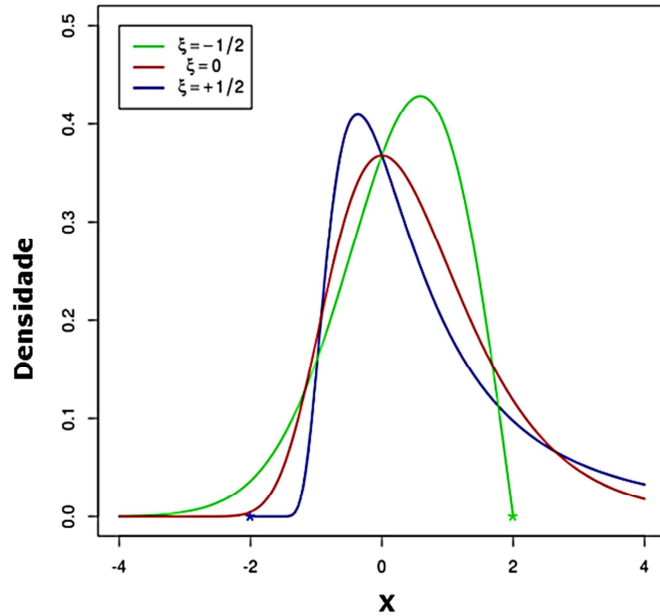


Figura 3.6- Distribuição acumulada de probabilidade (pdf) de Fréchet (linha preenchida em azul), de Weibull (linha preenchida em verde) e de Gumbel (linha preenchida em vermelho). Em todos os casos as suas distribuições de valores extremos são analisadas pelos parâmetros de localização ( $\mu$ ), escala ( $\sigma$ ) e de forma ( $\xi$ ).

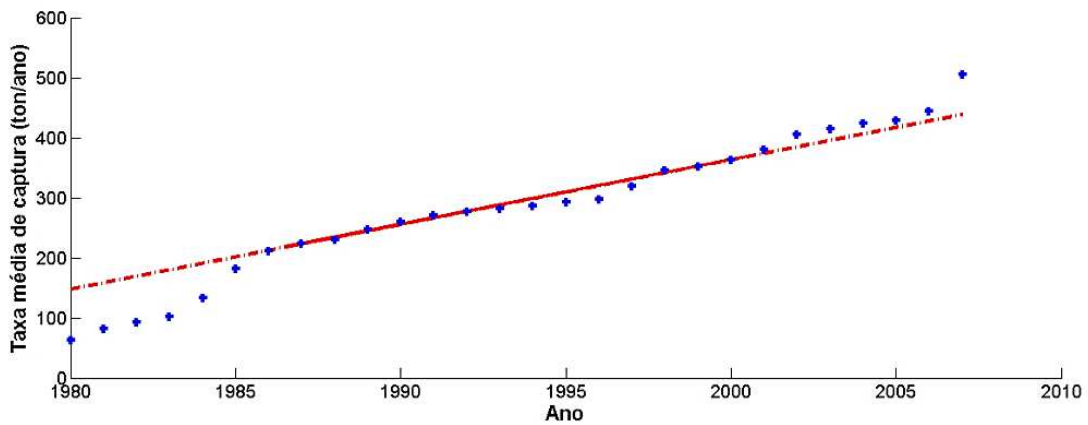


Figura 3.7- Gráfico quantil-quantil para diagnóstico do ajuste da distribuição GEV da taxa média de captura (ton/ano) da sardinha. Os dados da amostra (toneladas/ano) são exibidos pelos pontos azuis, cuja a linha cheia une os primeiros e terceiros quartis. Já a linha tracejada extrapola a linha sólida. Esta linha é extrapolada para as extremidades da amostra para ajudar a avaliar a linearidade dos dados. Os quantis plotados são os menores quantis dos conjuntos de dados. Este mapa é um ajuste linear robusto de ordem estatística das duas amostras (ano e ton/ano).



Além da análise gráfica foi realizado uma análise de aderência de *Kolmogorov-Smirnov*, KS, com nível de significância de 5%, para testar a suposição que esses dados realmente seguem a referida distribuição (ZAR, 1999). Como metodologia para a sua aplicação, pode-se considerar  $F(x)$  a proporção dos valores esperados menores ou iguais a  $x$  pela distribuição teórica e  $S(x)$  a proporção dos valores observados menores ou iguais a  $x$  pela distribuição empírica em que,  $D_{obs}$  é o módulo do desvio máximo observado por (EISENHAT; SWED, 1943):

$$D_{obs} = \text{Max } |F(x) - S(x)| \quad (3.5)$$

Para isto, compara-se  $D_{obs}$  com  $D_{tab}$ , o desvio máximo tabelado. Se  $D_{obs}$  for menor, existe concordância entre as frequências observadas e esperadas, ou seja, a amostra provém de uma população que segue a distribuição de probabilidade sob teste (CATALUNHA et al., 2002). O resultado do teste de KS foi de 0,25 o que indica que a distribuição GEV ajusta-se bem aos valores máximos e mínimos visto que, o  $D_{tab}$  é de 0,7960 para o nível de significância de 95%, concordando com as conclusões obtidas a partir da análise gráfica.

Por fim, foi realizado a distribuição de Weibull (WEIBULL, 1951) para estimar a máxima verossimilhança os intervalos de confiança da série da FAO, com 95%. O referido teste mostrou que os anos de 1988, 1989, 1990, 1993, 1995, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005 e 2007, foram anos de mínima, ao passo que 1980, 1983, 1984, 1985, 1986, 1995 e 1996, foram os de máxima. Como os dados de reanálise começam em 1980, este ano foi descartado do estudo permanecendo apenas os dezoito anos restantes.

A decisão se as duas amostras, máximos e mínimos, provêm de populações diferentes é realizada pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW). Assim, é possível averiguar se as diferenças entre estas duas amostras significam diferenças efetivas ou se representam apenas variações casuais. No cálculo de KW, cada uma das  $n$  observações é substituída por um posto, ao menor escore atribui-se o posto 1, ao seguinte o posto 2 e assim sucessivamente, até o maior posto que é  $n$ , o número total de observações

independentes nas  $k$  amostras. Posteriormente, denomina-se a soma dos postos em cada amostra para verificar se são tão diferentes entre si que não seja provável que tenham sido todas retiradas de uma mesma população, isto é, se  $H_o$  é verdadeira. Então,  $H$  (Equação 3.6) tem uma distribuição qui-quadrado com  $gl = k - 1$ , amostras maiores que 5 dados:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (3.6)$$

Onde,

$k$ : número de amostras;

$n_j$ : número de elementos na amostra;

$R_j$ : soma dos postos na amostra;

$n = \sum n_j$  : somatório de todas as amostras combinadas.

Portanto, a região de rejeição consiste de todos os valores de  $H$  maiores que a probabilidade associada com sua ocorrência sob  $H_o$ , é igual ou menor que 0,05.

### 3.5 Configuração do modelo lagrangeano

Para estudar os efeitos de fatores físicos e biológicos na dinâmica de ovos e larvas da sardinha foi utilizado como ferramenta de MBI, o Ichthyop (LETT, 2008). Esse modelo lagrangeano é livre e está disponível no endereço <<http://www.ur097.ird.fr/projects/ichthyop/>>. O MBI considera o campo de velocidade euleriana na mesma escala espacial. Os domínios de variáveis de estado do ambiente, velocidades meridionais e zonais, temperatura e salinidade, são as entradas do MBI fornecidos por meio de simulações arquivadas no ROMS. Assim, esses campos são interpolados no espaço para fornecer valores do indivíduo em qualquer local. Eles

também são interpolados no tempo para alimentar o passo de tempo do MBI (LETT, 2008).

As simulações rastream 30 mil partículas lançadas nos primeiros 30 metros de coluna de água durante 45 dias, de 15 de dezembro a 30 de janeiro, que corresponde ao período de máxima desova da sardinha. Cada simulação registrou os passos de cada indivíduo, quantos viveram, e a taxa de mortalidade por advecção ou por temperatura letal de acordo com a bibliografia.

Para analisar a desova, foram incluídos processos de: i) advecção horizontal; ii) advecção vertical de acordo com a profundidade de 5 e de 30 metros, devido a maior presença de ovos estarem relacionadas em regiões com profundidade menores que 100 m (GIGLIOTTI et al., 2010); iii) dispersão horizontal e vertical; iv) flutuabilidade dos ovos levando em consideração a velocidade vertical, que depende da diferença entre a densidade do ovo e da água (PARADA et al., 2003); v) a migração de larvas na vertical (LETT, 2008) e; vi) mortalidade por temperatura (menor que 17°C para o ovo e de 16,5°C para a larva) e mortalidade por advecção (caso a partícula seja transportada para profundidades maiores que 200 metros).

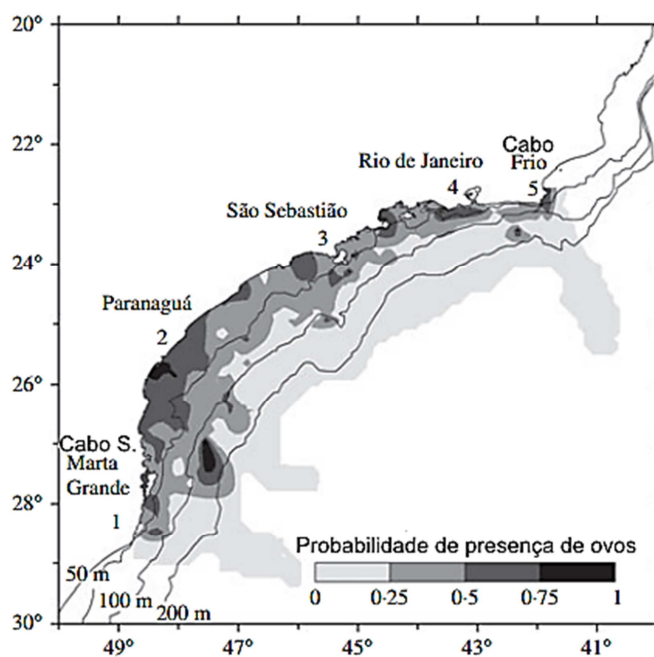


Figura 3.8- Probabilidade de presença de ovos da sardinha nas áreas das estações de coletas regularizadas para todos os nove cruzeiros realizados no projeto de pesquisa do Dr. Matssura do IO/USP entre 1976 a 1993.

Fonte: Gigliotti et al., (2010)

Essas partículas são consideradas recrutadas quando chegam a um comprimento mínimo, ou idade, ao final de 45 dias, sendo então, gravados em arquivos de saída NetCDF, que contém o estado de todas as partículas e do seu ambiente. Para tal análise das desovas, foram realizados dois experimentos para os dezoito anos estudados: um caracterizado pela desova aleatória e outro com desovas realizadas nas zonas propostas por Gigliotti et al., (2010), veja também Dias et al., (2014) (Figura 3.8).

O primeiro experimento foi o de desova aleatória ao longo de toda PCSE, limitado pela isóbata dos 100 metros, e o segundo foi delimitado por zonas, definidas pelas coordenadas de quatro pontos e por duas linhas batimétricas de 5 e 30 m. Dias et al., 2014 delimitou 5 zonas, que seriam as áreas de desova da sardinha, que apresentam probabilidade de presença de ovos maior que 0,5 elaborado por Gigliotti et al., (2010). Para esse estudo, foram utilizados apenas 4 (tabela 3.1; Figura 3.9) das 5 zonas utilizadas por Dias et al., (2014) sendo descartada a zona *off-shore* por verificar que, a maior concentração das larvas sobreviventes estavam abaixo da isóbata de 50m.

Tabela 3.1- Área de desovas do experimento por zonas, delimitada por polígonos de latitude e longitude e por duas linhas batimétricas de 5 e 30 m.

<b>Código da área</b>	<b>Região</b>	<b>Limites de latitudes</b>	<b>Limites de longitudes</b>
Zona 1	Entre Florianópolis (SC) e Paranaguá (PR)	25°S a 27°S	47,5°W a 48,8°W
Zona 2	São Sebastião (SP)	23,8°S a 24,8°S	45,7°W a 46,1°W
Zona 3	Rio de Janeiro (RJ)	23°S a 24°S	43°W a 44°W
Zona 4	Cabo Frio (RJ)	22,8°S a 23,8°S	41,7°W a 42,2°W

Fonte: Adaptado Dias et al., (2014)

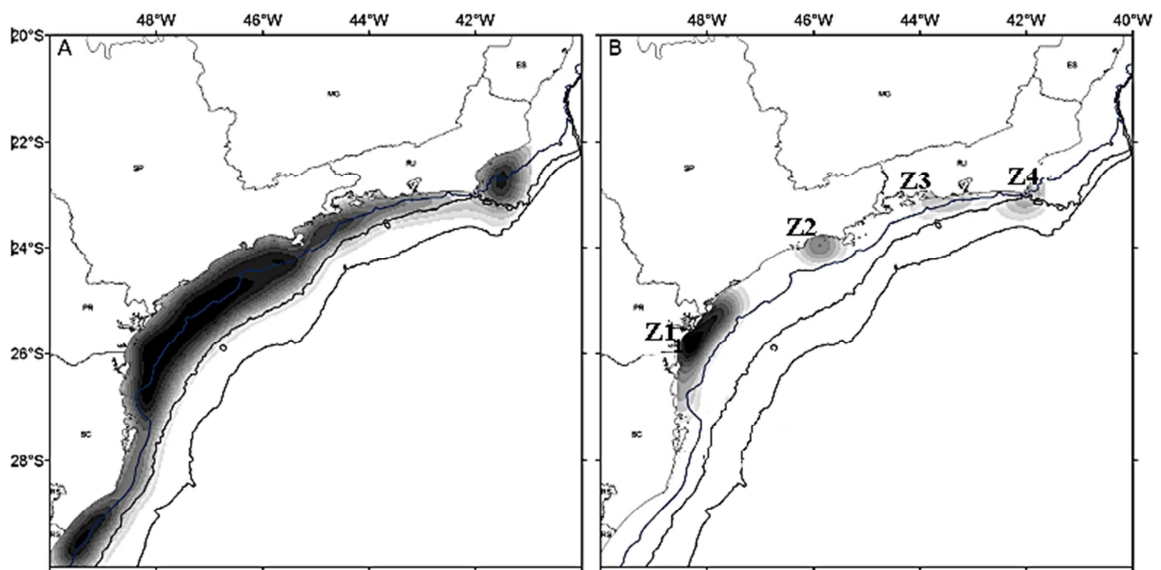


Figura 3.9 – Experimento aleatório (A) ao longo da PCSE limitado pela isóbata de 100 metros e as quatro áreas (B) (Z1 – Cabo de Santa Marta/RJ; Z2 – São Sebastião/SP; Z3 – Rio de Janeiro/RJ; Z4 – Cabo Frio/RJ), delimitadas por polígonos definidos por latitudes e longitudes (Tabela 3.1), para o experimento realizado por zonas, definidas no estudo de Gigliotti et al., (2010), limitada por duas isobatimétricas de 5 e 30m. A Zona 5, zona mais offshore, foi descartada deste estudo, visto que no estudo de Dias et al., (2014), foi verificado que a maior concentração das larvas sobreviventes estavam abaixo da isóbata de 50m.

Fonte: Adaptado Dias et al., 2014.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Desempenho do modelo hidrodinâmico

#### 4.1.1 Temperatura da superfície do mar

Os perfis médios de TSM (em °C, de 1980 a 2007) para o verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro), nas latitudes de 22°S, 24°S, 25°S e 29°S (Figura 4.1) do ROMS apresentam valores semelhantes aos estimados pelo sensor AVHRR. A escolha do perfil longitudinal de TSM nestas latitudes específicas, nos detalham a precisão do modelo na região: i) mais ao Norte de Cabo Frio, região altamente instável, relacionada com eventos de ressurgência induzida pelo vento geostrófico (CASTELAO; BARTH, 2006; RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001); ii) na região de São Sebastião, predominante a Água Continental e, iii) na região mais ao Sul, intrusão de água fria das latitudes mais altas.

As maiores diferenças de TSM foram encontradas no perfil de verão na região norte de Cabo Frio, RJ, latitude de 22°S. Em 41°W o modelo Roms apresentou ser aproximadamente 3°C mais frio, para o verão, quando comparado com os dados do AVHRR. Essa mesma latitude mostrou valores mais similares de TSM no perfil de inverno. A variação de TSM na latitude de 22°S no verão também pode ser observada no trabalho de Dias et al., (2014) referente a mesma grade de estudo, Silva (2014) referente ao estudo realizado nos Bancos de Abrolhos e Royal Charlotte e de Dufois et al., (2012) ao comparar dados do AVHRR e MODIS em zonas costeiras de Benguela.

Na região intermediária, 24°S e 25°S, o modelo manteve uma similariedade com os dados do satélite. No perfil de TSM para a Região de 29°S tanto para o inverno quanto para o verão, nota-se uma melhoria da representabilidade do modelo quando comparado com o sensor orbital.

Os mapas sazonais de verão (janeiro, fevereiro e março) e de inverno (julho, agosto e setembro) (Figura 4.2) de TSM (em °C, de 1980 a 2007), mostram boa concordância com a posição e a forma das características térmicas da superfície na PCSE em ambas estações. Os campos de TSM sazonais acompanharam as variações da radiação solar

incidente ao longo do ano, que proporciona o aquecimento ou o resfriamento sazonal (WAINER; TASHETTO, 2006), e a intrusão de água fria vinda do Sul (Figura 4.3).

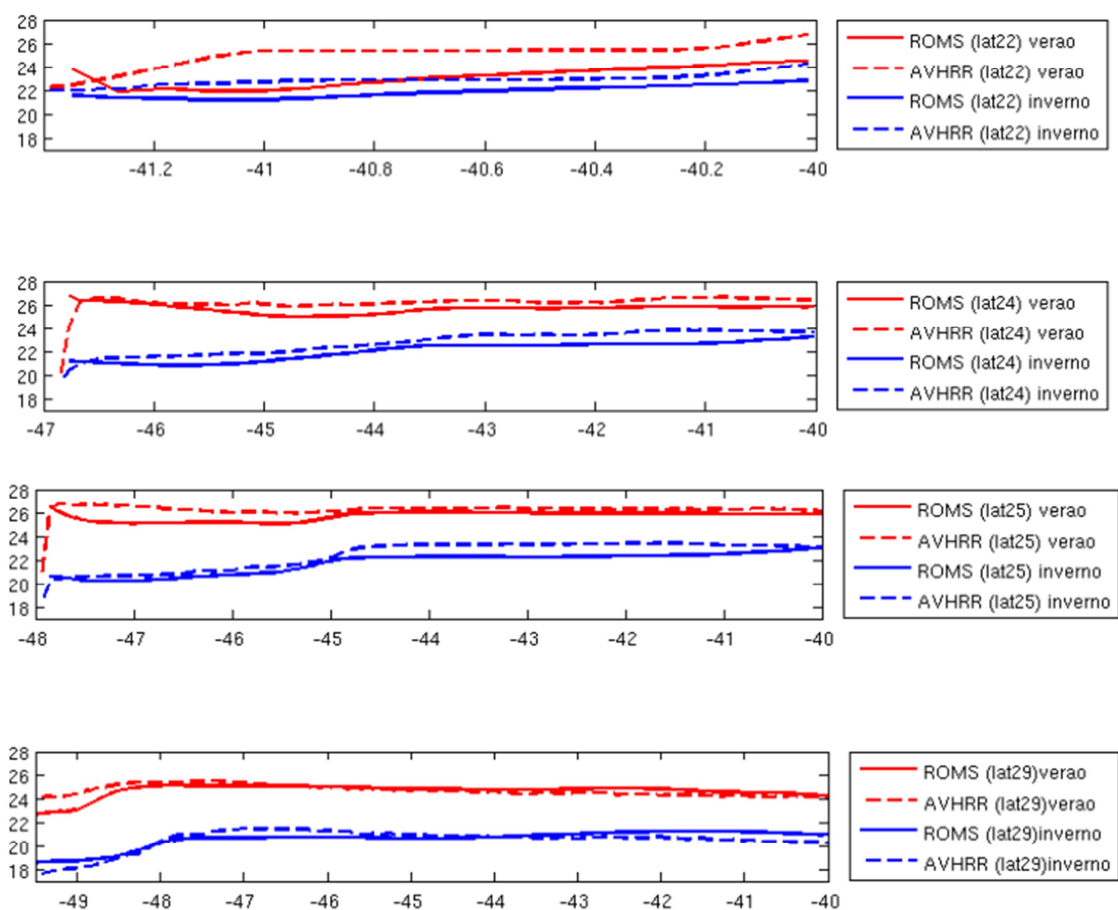


Figura 4.1- Perfil longitudinal das médias sazonais verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro) da TSM (em °C, de 1980 a 2007) no modelo ROMS e do sensor orbital AVHRR (produto *all-pixel SST*) nas latitudes 22°S, 24°S, 25°S e 29°S respectivamente.

Durante o verão as TSMs estiveram com os seus valores entre 25°C a 27°C na região de 24°S a 26°S. Na região mais ao Sul (29°S) e de Cabo Frio, as temperaturas superficiais permearam em 22°C a 24°C (Figura 4.2). A TSM da PCSE é predominante de águas mornas devido a presença da Água Tropical (AT), esse aumento da TSM é oriundo da advecção das águas quentes de baixas latitudes (LENTINI et al., 2000). Um gradiente



de temperatura mais próximo e mais longe da costa pode ser observado nas Figuras 4.2 e 4.3.

Os mapas das diferenças (Figuras 4.2 e 4.3) mostraram uma boa coerência entre os dois produtos, com diferenças de aproximadamente 0.5°C. Isto está relacionado com a diferença entre a resolução horizontal do ROMS (~9km) com o AVHRR (4km) e, ao fato do uso do algoritmo do *Pathfinder* em sua correção atmosférica, principalmente próxima a plataforma (SILVA et al., 2009; DUFOIS et al., 2012), devido à influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no verão (CHAVES; NOBRES, 2004; ALMEIDA et al., 2007). Também deve-se ressaltar que, essa diferença de gradiente de temperatura sobre a região da plataforma no verão, tem uma forte influência das águas de origem tropical, que estão associadas ao transporte da corrente do CB (SINGNORINI et al., 1989; CAMPOS et al., 2000; LENTINI et al., 2000). Na região de 30°S, pode-se observar que o modelo superestimou os dados do sensor, devido o modelo não estar configurado para descargas de rios, fato esse, que deve ser levado em consideração, pois nesta região é presente a penetração de água fluvial e de baixa salinidade (LENTINI et al., 2001; PIOLA et al., 2000; PIOLA et al., 2005).

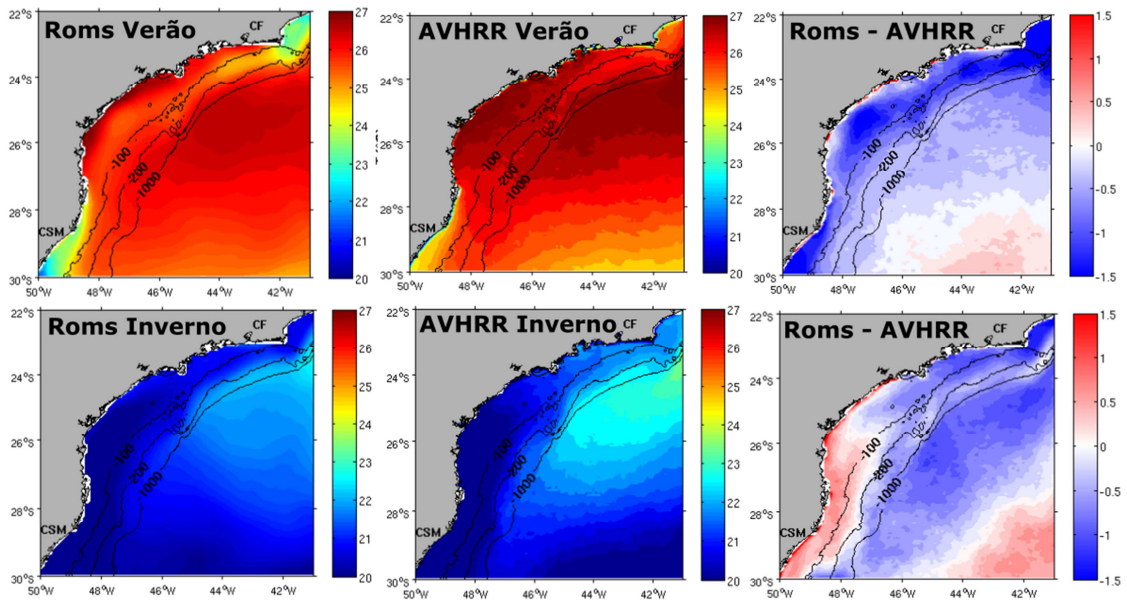


Figura 4.2 – Médias horizontais sazonais de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (julho, agosto e setembro) de TSM (em °C, de 1980 a 2007) do ROMS, do AVHRR (produto *Pathfinder* Versão 5 Nível 3, SST) e as suas respectivas diferenças entre os dois produtos (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).

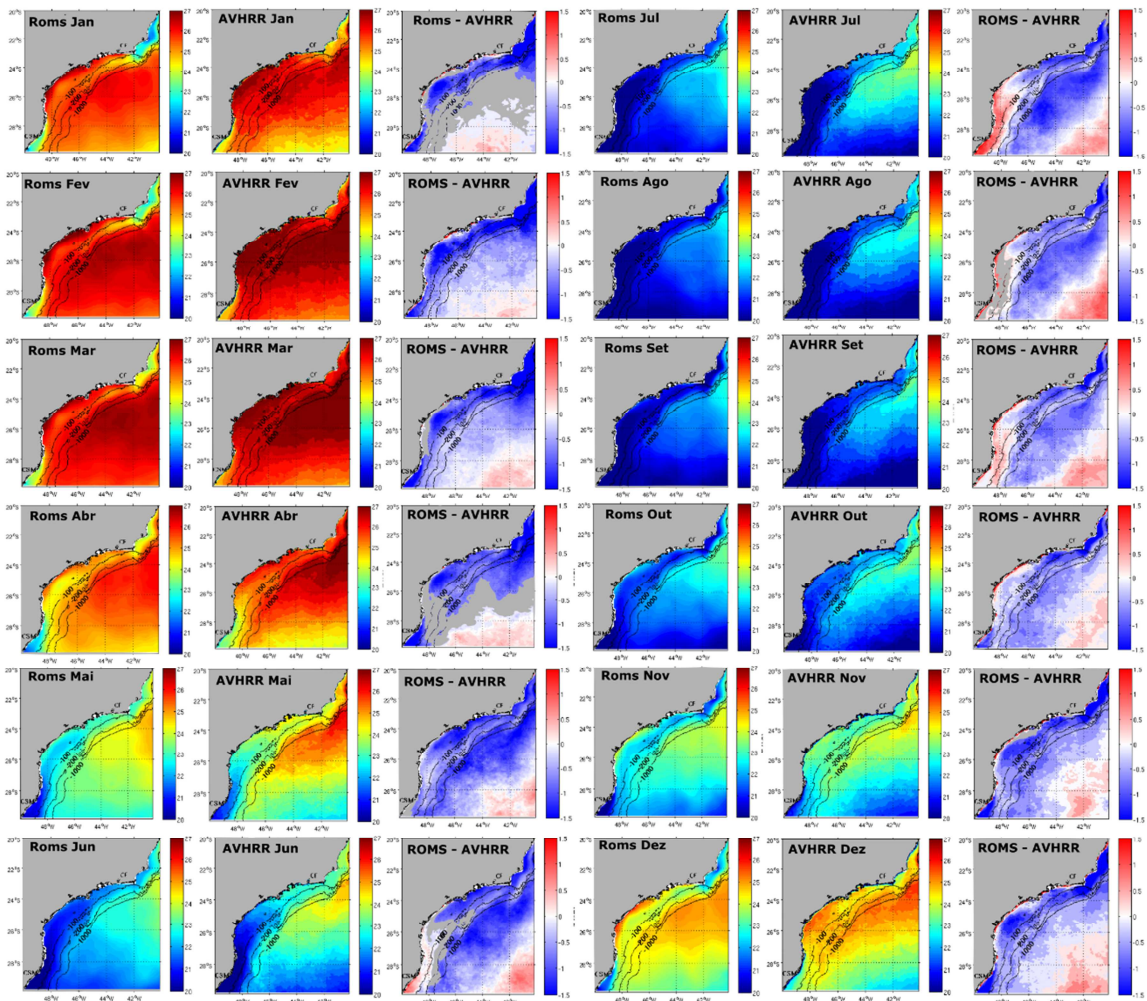


Figura 4.3 – Mapas anuais de TSM (em °C, de 1980 a 2007) do modelo ROMS, do sensor orbital AVHRR (produto SST) e das suas respectivas diferenças entre dos dois produtos (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).

Também podemos observar nos mapas anuais (Figura 4.3), que o modelo consegue representar outras feições oceanográficas da PCSE como: i) a intrusão de água fria de latitude sul no inverno, próximo ao Cabo de Santa Marta (SC), ii) a posição da CB ao longo da plataforma continental e talude no verão. O modelo também resolve os processos dinâmicos de meso-escala, incluindo estruturas frontais, meandros, redemoinhos ao longo da CB e na Ressurgência de Cabo Frio.

#### 4.1.2 Altura da superfície do mar

Médias sazonais de verão (janeiro, fevereiro e março) e inverno (julho, agosto e setembro) (Figura 4.4) de ASM (em metros, de 1992 a 2007) do ROMS apresentam valores mais baixos do que os dados altimétricos (produto MDT, AVISO). Entretanto, existe uma coerência na representação das características espaciais dos campos como meandramentos e vórtices parecidos com os principais padrões observados nas estimativas de ASM do AVISO (LEGECKIS; GORDON, 1982; LIMA et al., 1996; ASSIREU, 2003; SOUZA; ROBINSON, 2004).

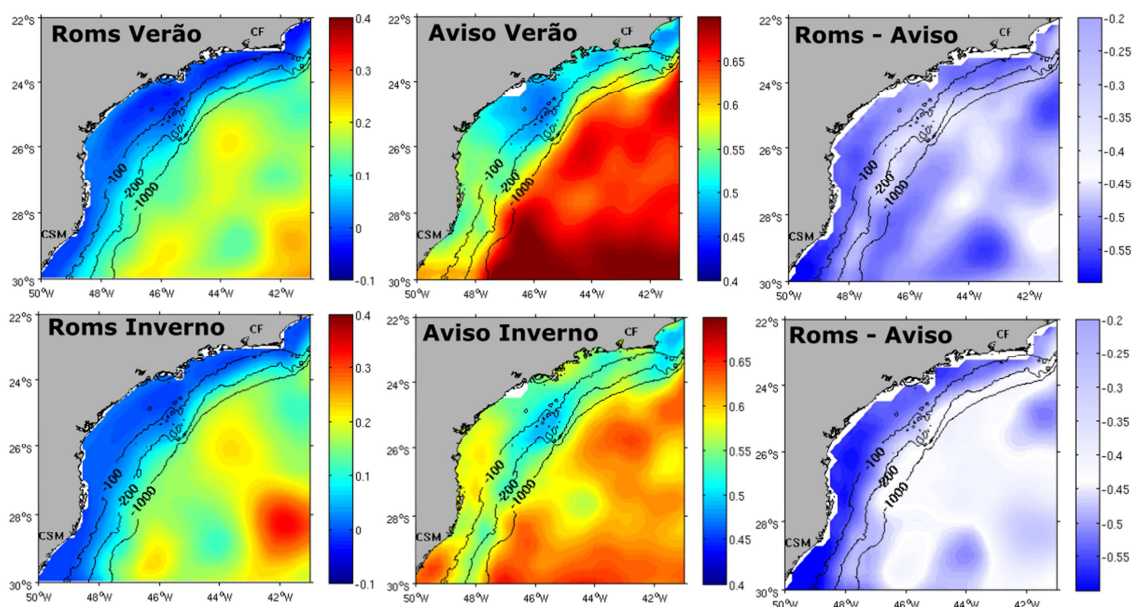


Figura 4.4- Média sazonal de verão (janeiro, fevereiro, março) e inverno (julho, agosto, setembro) de ASM (em m, de 1992 a 2007) do modelo ROMS, do produto MDT (AVISO) e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta). Olhar as diferenças das escalas das figuras, para melhor visualização das feições oceanográficas.

Apesar da ASM apresentar boa coerência, as magnitudes diferem em até 0,4 metros, dimensão também encontrada nos trabalhos de: Lemarie et al., (2011) na região da corrente do Kuroshio, por Dias et al., (2014) na PCSE e por Silva (2014) na região das latitudes de 14°S e 25°S. Esta diferença subestimada, próximo a costa, ocorre pelo fato

de que o ROMS não considera os efeitos de expansão e contração do volume de água no oceano devido as mudanças de densidades em toda a coluna d'água. O modelo ROMS utiliza a aproximação de *Boussinesq*, o qual considera variações de densidade negligenciáveis, exceto para força de empuxo (BOUFFARD et al, 2008).

Os campos climatológicos de ASM obtidos do ROMS e do AVISO, embora apresentem mínimos bem distintos, evidenciam um padrão de circulação semelhante. Nos dois mapas do ROMS, verão e inverno, podem ser observados dois núcleos de alturas máximas, um entre 24°S a 26°S e outro em 28°S a 30°S. Entre as latitudes 22°S e 30°S, nota-se a presença de meandros e vórtices com maiores intensidades no verão do que no inverno, característica conhecida da circulação da CB (SOUZA; ROBINSON, 2004).

Apesar dos resultados do ROMS subestimar a ASM nas regiões mais rasas ressalta-se que, a posição da CB, localizada nas regiões de maior gradiente de ASM, se apresentou próxima ao verificado nos dados do AVISO (Figura 4.5) e que os erros associados às medidas de altimetria por satélite sobre a plataforma continental diminuem a sua confiabilidade (VOLKOV et al., 2007).

Esses valores subestimados próximo a costa, está relacionado com interferência do pulso do radar no próprio continente, das maiores amplitudes de maré e efeito de ondas, e outras dinâmicas não lineares como as correntes geradas pelo vento (ROBINSON, 2010). As diferenças visualizadas nas Figuras (4.4 e 4.5), também estão correlacionadas com a resolução horizontal do modelo ROMS e com o produto do AVISO.

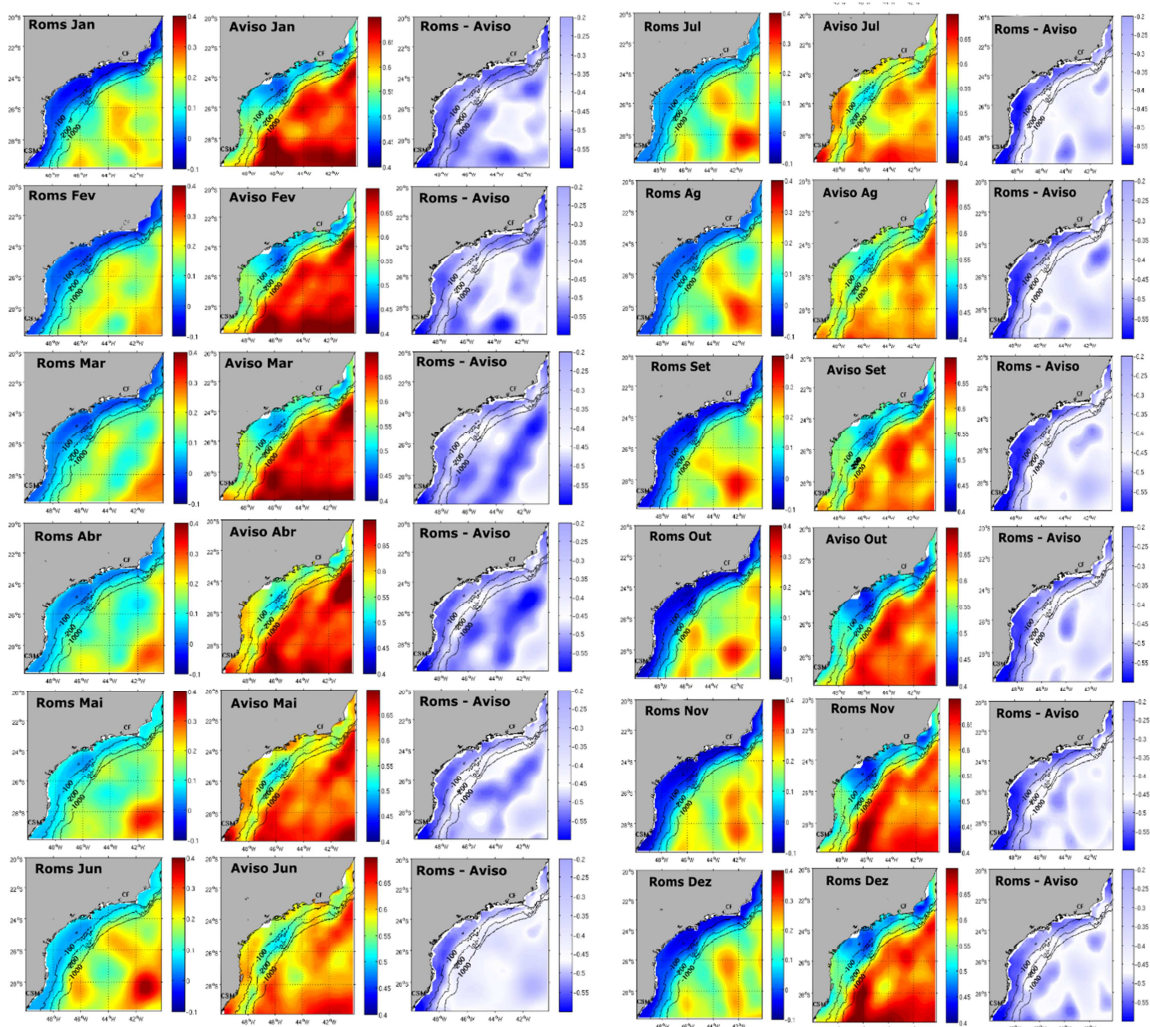


Figura 4.5- Média anual de ASM (em metros, de 1992 a 2007) para o modelo Roms, para o produto AVISO (MDT) e as suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta). Olhar as diferenças das escalas das figuras, para melhor visualização das feições oceanográficas.

#### 4.1.3 Velocidades de superfície sazonais

Para melhor comparação das correntes superficiais do modelo ROMS com os dados do OSCAR, foram realizados mapas sazonais de verão (janeiro, fevereiro, março) e inverno (julho, agosto, setembro) das componentes zonais e meridionais (Figura 4.6). As componentes zonais e meridionais do ROMS são maiores do que a do OSCAR,

principalmente próximo à costa. O modelo consegue representar a variabilidade entre o verão e o inverno.

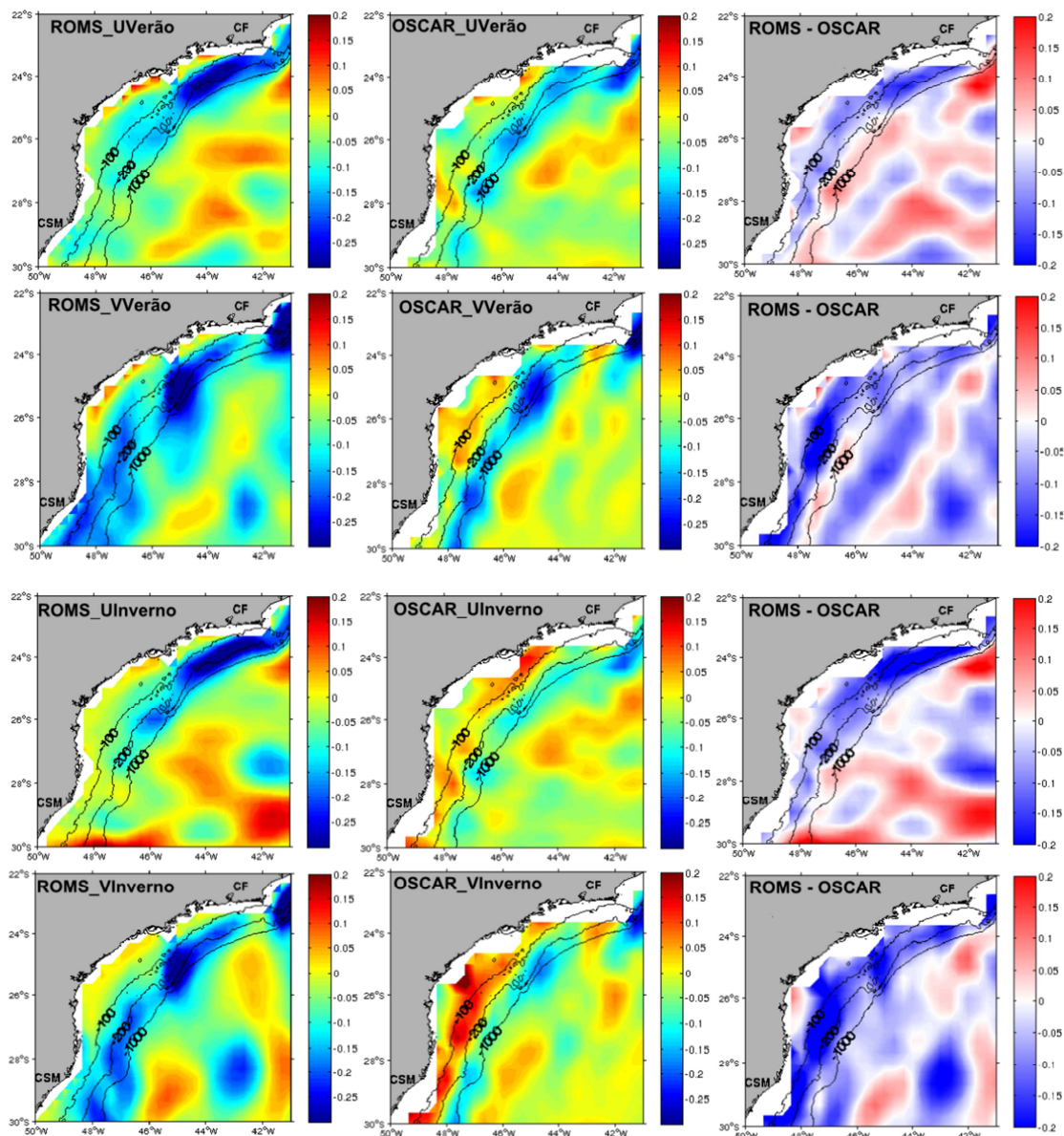


Figura 4.6- Média sazonal das componentes meridional (V) e zonal (U) no verão (janeiro, fevereiro e março) e inverno (julho, agosto e setembro), em m/s (de 1992 a 2007) do modelo ROMS, OSCAR e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).

No verão (Figura 4.7) há uma intensificação da velocidade nas componentes  $U$  e  $V$ , que podem ser causadas pelos ventos de maior intensidade no verão do que no inverno (TEIXEIRA et al., 2012).

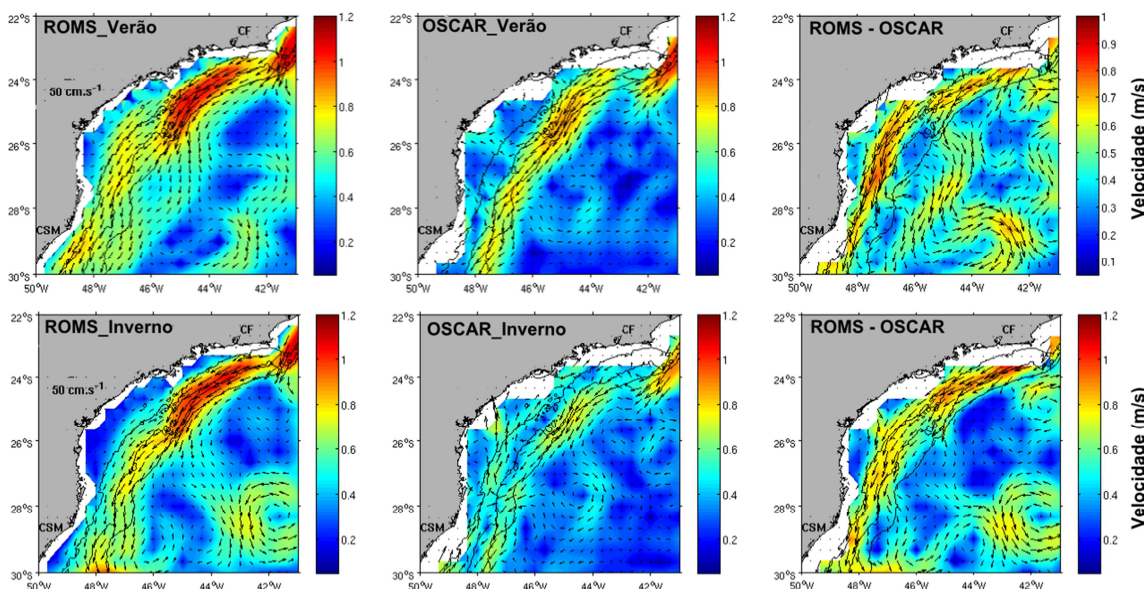


Figura 4.7- Velocidade da corrente (em m/s, de 1992 a 2007) para o verão (janeiro, fevereiro e março) e para o inverno (julho, agosto e setembro), do modelo ROMS, do produto OSCAR e suas respectivas diferenças. (CF, Cabo Frio; CSM, Cabo de Santa Marta).

O modelo ROMS e o produto do OSCAR, possuem velocidades de boas concordâncias, capturando as características de mesoescalas associados aos meandros e vórtices presentes na PCSE. No verão, a direção e a intensidade da velocidade são basicamente iguais ao lado de Cabo Frio. O modelo tende a acelerar um pouco o fluxo perto da plataforma e no talude continental, mas, próximo ao sul, se encontra mais bem definido com os dados do OSCAR. Portanto, o modelo possui um comportamento dinâmico de superfície esperado da PCSE.



## 4.2. Padrão de dispersão e sobrevivência de ovos e larvas da sardinha, relativo aos extremos de produção pesqueira

### 4.2.1. Experimento de desova aleatória

O experimento de desova aleatória, a seguir EA, ao longo da PCSE (Figura 4.8), limitada pela isóbata de 100 m, mostra que, a taxa de mortalidade por temperatura foi maior nos anos de mínimas capturas e a taxa de mortalidade por advecção foi maior nos de máximas capturas. Os resultados apontam que, aproximadamente 80% da taxa de mortalidade é por temperatura e apenas aproximadamente 20%, é destinado a mortalidade por advecção. Porém, o teste não paramétrico demonstra, que para o nível de significância de 95%, tanto para a mortalidade por temperatura como por advecção que, não há diferença significativa entre os extremos de produção (Tabela 4.1) para o EA, ou seja, os anos de extremos de capturas comerciais representam apenas variações casuais. Isso pode ser visualizado tanto a proximidade das medianas (Figura 4.8) entre os dois extremos de desembarques comerciais analisados para cada tipo de mortalidade, como na variação intra grupos (Tabela 4.1), que apresentam valores muito próximos e valores de  $p$  maior que 0,05.

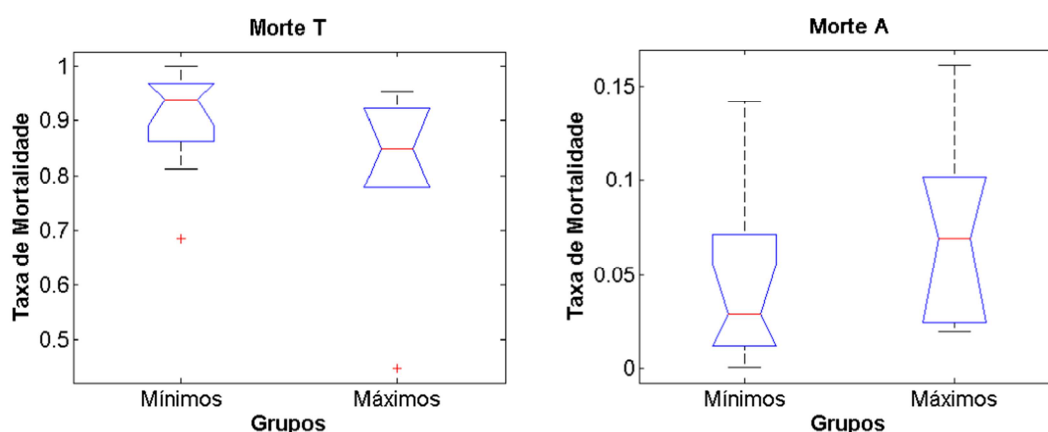


Figura 4.8- Teste de Kruskal Wallis para os anos de mínima e máxima captura comercial da sardinha no experimento aleatório para a morte por temperatura (Morte T) e mortalidade por advecção (Morte A).

Dentre os extremos de desembarques comerciais os anos em que mais obtiveram partículas sobreviventes (Tabela 4.8) foram referentes as desovas de: 1987 com 18%, 1995 com 11%, 1996 com 46%, 1998 com 12%, 1999 com 14% e 2001 com 13%. Apenas dois destes anos, conferem com o período de máximas capturas comerciais (1995 e 1996, respectivamente), os demais são referentes aos de mínimas capturas.

Os anos com maior taxa de mortalidade, aproximadamente 99%, foram 1989 e 2000, dois anos de mínimas capturas comerciais. Olhando por esta perspectiva, estes anos representam os maiores e menores anos de extremos da série histórica de desembarques comerciais (Figura 4.9) encontrados como valores discrepantes (*outliers*) nos testes de KW para o EA.

Tabela 4.1- Resultado do teste de Kruskal-wallis do experimento aleatório para mortalidade por temperatura e por perda de advecção. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).

<b>Morte T</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	81	1	81	2,84	0,0918
<b>Erro</b>	403,5	16	25,2188		
<b>Total</b>	484,5	17			
<b>Morte A</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupo</b>	56,25	1	56,25	1,97	0,1601
<b>Erro</b>	428,25	16	26,7565		
<b>Total</b>	484,5	17			
<b>Morte T x Morte A</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
Grupos	2916	1	2916	26,27	2,9682e-7
Erro	969	34	28,5		
Total	3885	35			

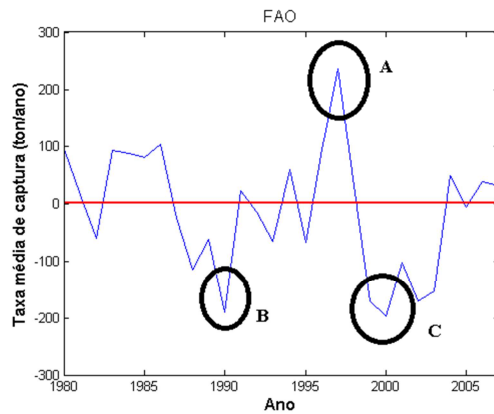


Figura 4.9- Anos de maiores (A) e menores capturas comerciais (B e C). Os grupos (A, B e C) foram identificados no experimento aleatório como valores discrepantes de desembarques comercial da sardinha correspondendo a série histórica.

As partículas têm uma alta taxa de mortalidade antes dos primeiros 5 dias de experimentos, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4.10, isso pode ser vinculado ao fato da média da TSM ser maior do que a indicada no experimento para ovos (17°C). A variabilidade da sobrevivência das larvas está, portanto, correlacionadas às condições oceanográficas da região, como a presença de água mais quente e menos salina, e o deslocamento pode estar associado aos meandramento da CB (GIGLIOTTI et al., 2010, MORAES, 2012).

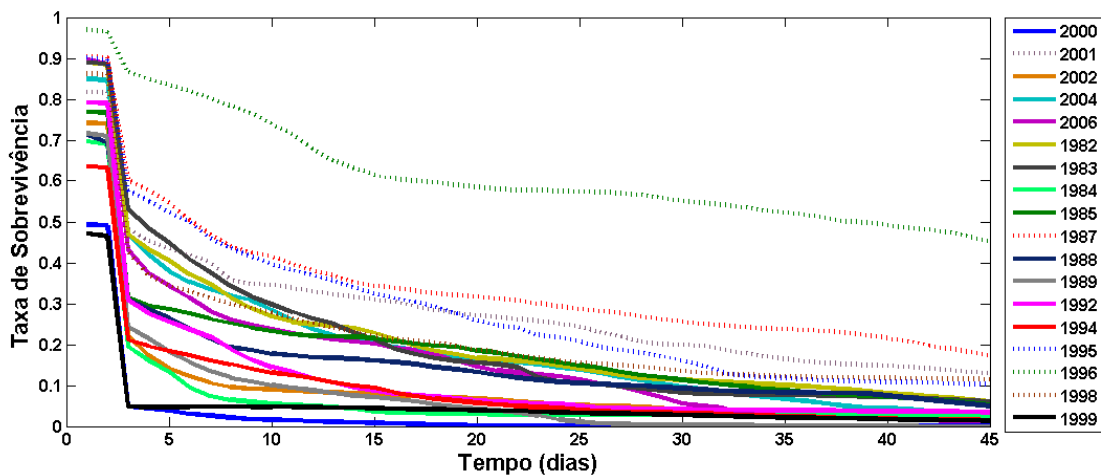


Figura 4.10– Taxa de sobrevivência da sardinha para o período de duração dos experimentos (45 dias). Linhas pontilhadas máxima captura, linhas cheias mínima captura. Há uma similaridade entre os anos do experimento aleatório.

O teste de KW (Figura 4.11) e de acompanhamento (Figura 4.11) confirmam que a mortalidade por temperatura é significativamente diferente à mortalidade por advecção,  $p = 2,96823e-7$  (Tabela 4.1). Os resultados apontam que, 99% da taxa de mortalidade é por temperatura e apenas aproximadamente 1% representam a mortalidade por advecção (Figura 4.11) confirmando que a principal causa da mortalidade da sardinha durante seu período de desova até o desenvolvimento larval (45 dias) é devido a temperatura.

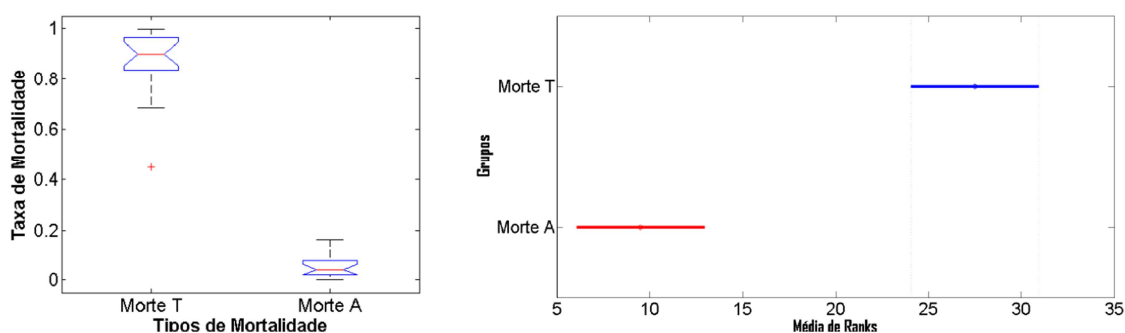


Figura 4.11- Teste de Kruskal-wallis (à esquerda) analisando como grupo as causas de mortalidade do experimento aleatório para as 30 mil partículas lançadas ao longo da PCSE. Teste de acompanhamento (à direita) para identificar qual amostra de dados vem de distribuição diferente para o experimento aleatório. Observar que há uma diferença significativa entre os dois tipos de mortalidade identificando que os grupos são de distribuições diferentes. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).

#### 4.2.2 Desova por zonas

No experimento por desova de zonas, por conseguinte EZ, foram liberadas 30 mil partículas para cada ano analisado. A análise mostra, que os anos de máximos e mínimos extremos não tiveram diferenças significativas (a 95% de nível de confiança), para a mortalidade por temperatura e por advecção, ou seja, os extremos provém de uma mesma distribuição. Portanto, conclui-se, que os dois experimentos, EA e EZ, comprovam que os extremos de capturas comerciais são apenas variações casuais. Ou seja, os dados de capturas comerciais da sardinha verdadeira, podem estar relacionados com a aproximação de alguns valores envolvidos, falta de dados, além de outros efeitos eventuais imprevisíveis e que, não podem ser cogitadas depois que os fatos já

ocorreram. Os de mínimas tiveram uma taxa de mortalidade maior que para os grupos de máximas, como demonstram a Figura (4.12) e Tabela (4.2).

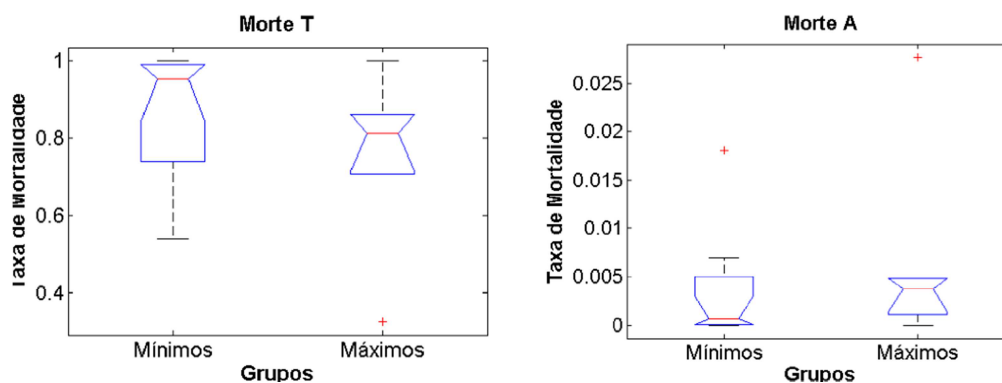


Figura 4.12- Teste de Kruskal – Wallis para o somatório de todas as zonas agrupadas nos extremos de produção da sardinha. As diferenças entre os dois tipos de mortalidade não foram significativas para os referidos grupos. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção)

Tabela 4.2- Resultado do teste de Kruskal – Wallis para os dois tipos de mortalidade. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).

<b>Morte T</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	30,25	1	30,25	1,06	0,3029
<b>Erro</b>	454,25	16	28,3906		
<b>Total</b>	484,5	17			
<b>Morte A</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	27,563	1	27,5625	0,98	0,3229
<b>Erro</b>	451,938	16	28,2461		
<b>Total</b>	479,5	17			
<b>Morte T x Morte A</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	26,3	2,9166e-7
<b>Erro</b>	964	34	28,53		
<b>Total</b>	3880	35			

Nesse experimento os anos em que mais tiveram partículas sobreviventes (Figura 4.13, Tabela 4.8) foram respectivamente 1982 com 18%, 1983 com 20%, 1985 com 14%, 1987 com 45%, 1988 com 17%, 1995 com 29%, 1996 com 65%, 1998 com 37% e 2001 com 34%. Esse experimento, melhor destacou as máximas produções, pois, cinco desses anos são referentes a máximas capturas (1982, 1983, 1985, 1995 e 1996), apenas o ano de 1984 não obteve uma taxa de sobrevivência maior que 10%.

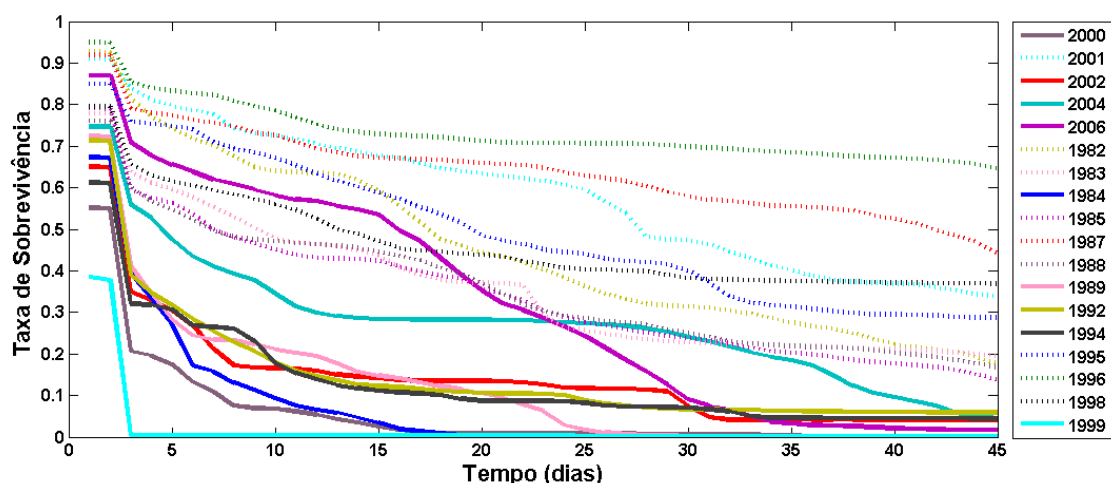


Figura 4.13- Taxa de sobrevivência das partículas ao longo dos 45 dias de desova por zonas. Anos de máximos (linhas pontilhadas) e de mínimos (linha cheia).

Dois desses anos também foram indicados como maior taxa de sobrevivência no EA, 1995 e 1996, coincidindo com os anos em que mais tiveram captura na série temporal (Figura 4.9-A). Quatro anos tiveram praticamente 100% de taxa de mortalidade: 1984, 1989, 1999 e 2000. Dois desses, também, tiveram uma alta taxa de mortalidade no experimento anterior, 1989 e 2000. Os três anos, condizem com os anos de menores capturas da série histórica (Figura 4.9-B e C). Portanto, 1995, 1996, 1989 e 2000, foram em ambos experimentos (EA e EZ) valores discrepantes (*outliers*), logo, representam os ápices de desembarques comerciais registrado entre 1980 a 2007.

O teste de KW e de acompanhamento (Figura 4.14) indicam que há uma diferença significativa,  $p = 2,91665e-7$ , entre a mortalidade por temperatura e por advecção, de modo que, os testes rejeitam a hipótese nula de que as mortalidades provém de uma

mesma distribuição. Também podemos observar, que praticamente 99% da mortalidade nesse experimento foi causada pela temperatura, afirmando portanto, que a temperatura é um fator crucial para a desova até o seu desenvolvimento larval. O que reforça a ideia de que a TSM teria um impacto negativo na reprodução e no recrutamento (RIJNSDORP et al., 2009).

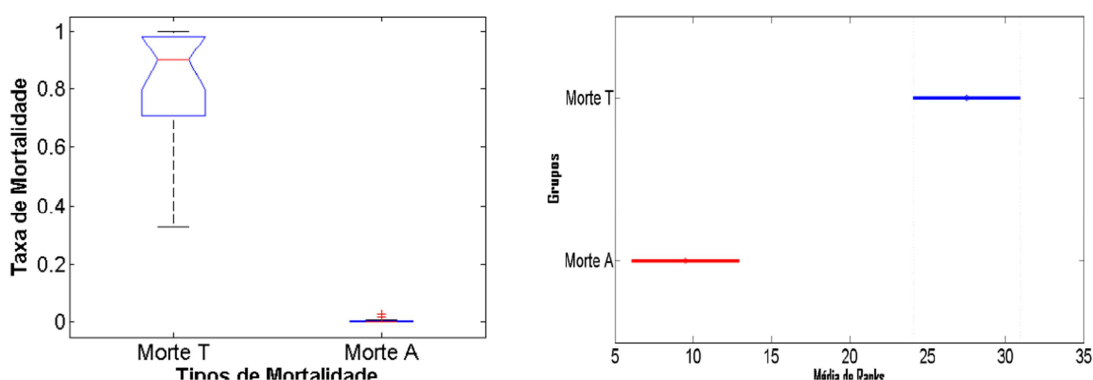


Figura 4.14- Teste de Kruskal-Wallis (à esquerda) e Teste de Acompanhamento (à direita), para as devidas causas de mortalidades ao longo dos 18 anos. Os testes rejeitam a hipótese nula ao nível de 5% de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).

Fazendo uma análise mais criteriosa sobre a significância das mortalidades em cada zona (Figura 4.15) podemos verificar, que nenhum dos testes rejeitaram a hipótese nula de que os dados provém de uma mesma distribuição, a um nível de significância de 95% (Tabela 4.3), ou seja, os extremos de desembarques comerciais analisados em cada zonas também foram significativamente diferentes, afirmando que, as máximas e mínimas capturas são apenas variações casuais ao longo da série histórica.

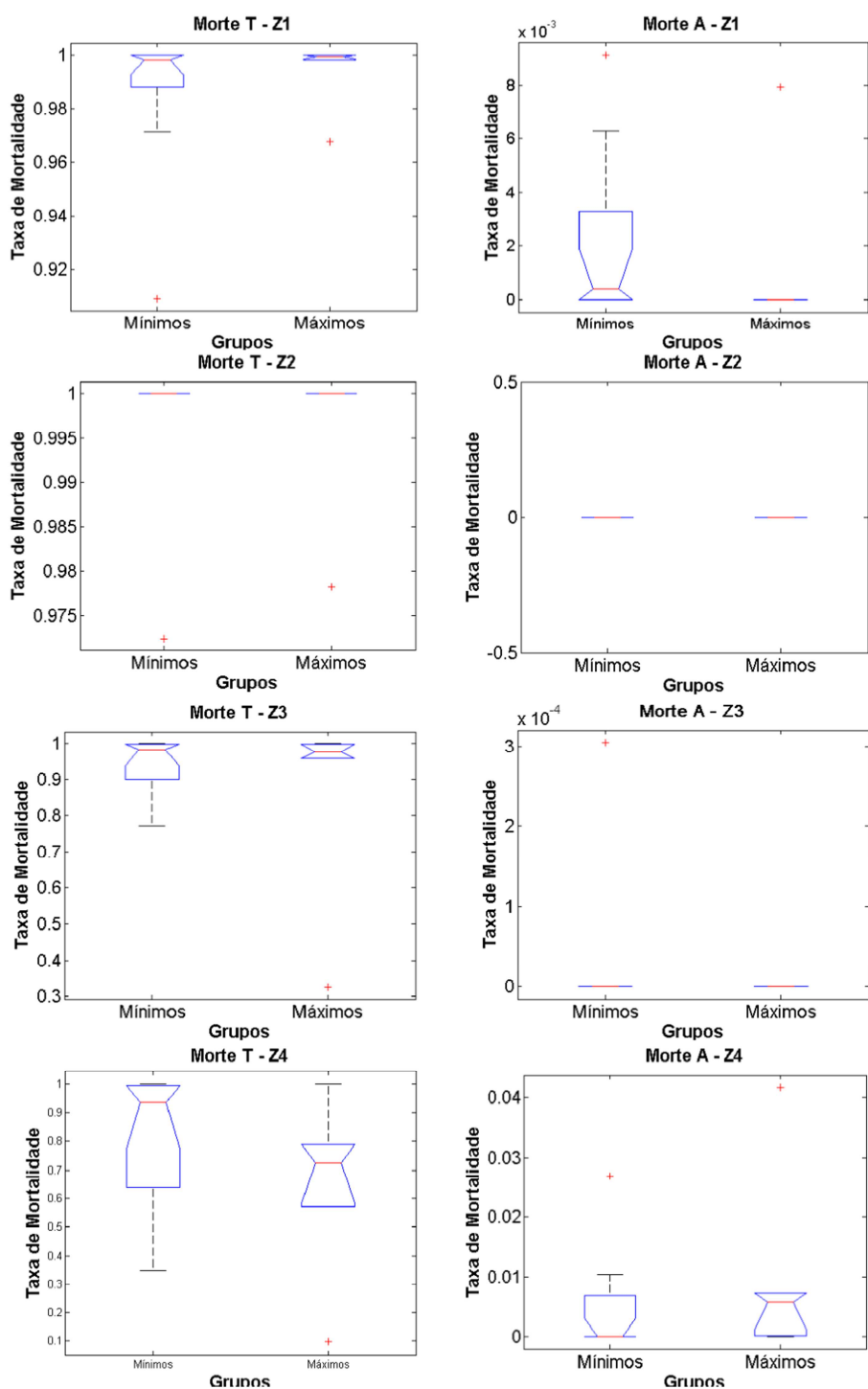


Figura 4.15- Teste de kruskal-Wallis para a mortalidade por temperatura e por perdas de advecção em cada uma das quatro zonas. Para todas as análises aceita-se a hipótese nula ao nível de 5% de significância. Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).



Tabela 4.3- Teste de Kruskal-Wallis para cada tipo de mortalidade por cada zona. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula). Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1 (Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).

<b>Morte T - Z1</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	7,563	1	7,5625	0,29	0,5899
<b>Erro</b>	434,938	16	27,1836		
<b>Total</b>	442,5	17			
<b>Morte A - Z1</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	25	1	25	1,13	0,2867
<b>Erro</b>	349,5	16	21,8438		
<b>Total</b>	374,5	17			
<b>Morte T - Z2</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	1,563	1	1,5625	0,18	0,6681
<b>Erro</b>	142,938	16	8,93359		
<b>Total</b>	144,5	17			
<b>Morte A - Z2</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	0	1	0	-	-
<b>Erro</b>	0	16	0		
<b>Total</b>	0	17			
<b>Morte T - Z3</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	0,563	1	0,5625	0,02	0,8877
<b>Erro</b>	478,938	16	29,9336		
<b>Total</b>	479,5	17			
<b>Morte A - Z3</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2,25	1	2,25	0,5	0,4795
<b>Erro</b>	74,25	16	4,64063		
<b>Total</b>	76,5	17			
<b>Morte T - Z4</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	36	1	36	1,27	0,2601
<b>Erro</b>	446,5	16	27,9063		
<b>Total</b>	482,5	17			
<b>Morte A - Z4</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	39,063	1	39,0625	1,5	0,2206
<b>Erro</b>	403,438	16	25,2148		
<b>Total</b>	442,5	17			

A decisão de como o modelo dividiu as 30 mil partículas lançadas anualmente em cada zona (Tabela 4.4) deduz que o teste de KW pode ter sido tendenciado devido ao número de partículas lançadas em cada zona. Pode-se concluir então, que o experimento lançou maiores números de partículas próximo às áreas de ressurgências, (Zonas 1 e 4) em, que a temperatura da água é mais próxima da temperatura mínima da desova (17°C) e do desenvolvimento larval (16,5°C) ressaltando, que a água de ressurgência é mais rica em nutrientes para o alimento larval da sardinha.

Tabela 4.4- Número de partículas lançadas por zona em cada ano, e a sua totalidade no final dos 18 anos.

<b>Zonas</b>	<b>Nº partículas lançadas <math>\cong</math> por ano</b>	<b>Nº Total de partículas lançadas</b>
Z1	3756	67602
Z2	2916	52485
Z3	3314	59669
Z4	20014	360244

As causas das mortalidades em cada uma das quatro zonas são significativamente diferentes entre si (tabela 4.5), pois, as duas medianas, Morte T e Morte A, mostram ser para cada uma das zonas (Figura 4.16) significativamente diferentes. Portanto, a mortalidade por temperatura nos primeiros 30m da coluna da água é a maior responsável pelas mortalidades dentro das zonas de probabilidades de maiores ocorrências de ovos definida por Gigliotti et al., (2010), sendo que poucas partículas são advectadas para profundidade de 200m.

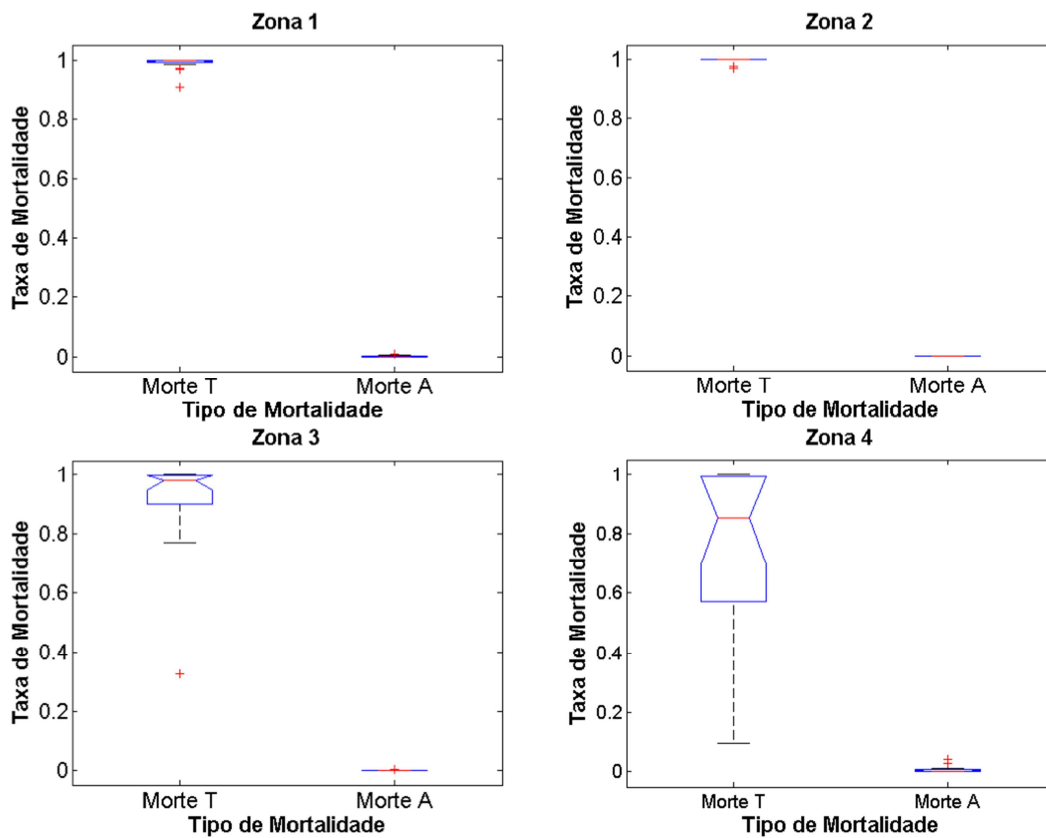


Figura 4.16- Teste de Kruskal-Wallis para analisar a mortalidade por temperatura e por advecção em cada uma das zonas durante os 18 anos de experimento. Teste rejeita a hipótese nula para 5% de significância. Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).

Tabela 4.5- Teste de kruskal-wallis para as causas das mortalidades dentro de cada zona. Rejeita-se a hipótese nula para 5% do nível de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).

<b>Zona 1</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	27,34	1,7065e-7
<b>Erro</b>	817	34	24,029		
<b>Total</b>	3733	35			
<b>Zona 2</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	33,35	7,70771e-9
<b>Erro</b>	144,5	34	4,25		
<b>Total</b>	3060,5	35			
<b>Zona 3</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	29,4	5,90248e-8
<b>Erro</b>	556	34	16,353		
<b>Zona 4</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	26,57	2,54001e-7
<b>Erro</b>	925	34	27,206		
<b>Total</b>	3841	35			

### 4.3.3 Mortalidade entre os dois experimentos

Entre os dois experimentos realizados (EA, EZ) podemos concluir, que as duas causas de mortalidades são significativamente diferentes entre si para um nível de significância de 95%, com exceção da mortalidade por temperatura na zona 4 quando comparado com o mortalidade por temperatura no EA (Tabela 4.6).

Tabela 4.6- Teste de Kruskal Wallis para mortalidade por temperatura em cada zona comparado com a mortalidade por temperatura no experimento aleatório, e para mortalidade por perda de advecção em cada zona comparado com a mortalidade por perda de advecção no experimento aleatório. Rejeita-se a hipótese nula em 5% de nível de significância, com exceção de Morte TZ4 – Morte T Aleatório, que aceita a hipótese nula. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).

<b>Morte TZ1 – Morte T Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2240,44	1	2240,44	20,4	6,26732e-6
<b>Erro</b>	1602,56	34	47,13		
<b>Total</b>	3843	35			
<b>Morte TZ2 – Morte T Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2809	1	2809	27,73	1,39236e-7
<b>Erro</b>	736	34	21,647		
<b>Total</b>	3545	35			
<b>Morte TZ3 – Morte T Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	676	1	676	6,1	0,0135
<b>Erro</b>	3204	34	94,2353		
<b>Total</b>	3880	35			
<b>Morte TZ4 – Morte T Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	44,44	1	44,44	0,4	0,5268
<b>Erro</b>	3838,56	34	112,899		
<b>Total</b>	3883	35			
<b>Morte AZ1 – Morte A Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2567,11	1	2567,11	23,8	1,06825e-6
<b>Erro</b>	1207,89	34	35,53		
<b>Total</b>	3775	35			
<b>Morte AZ2 – Morte A Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	30,01	4,29108e-8
<b>Erro</b>	484,5	34	14,25		
<b>Total</b>	3400,5	35			
<b>Morte AZ3 – Morte A Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	29,35	6,03265e-8
<b>Erro</b>	561	34	16,5		
<b>Total</b>	3477	35			
<b>Morte AZ4 – Morte A Aleatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	1936	1	1936	17,63	2,68032e-5
<b>Erro</b>	1907	34	56,088		
<b>Total</b>	3843	35			

Analisando a Figura (4.17) do teste de KW podemos verificar que a mortalidade por temperatura no EA teve praticamente a mesma taxa de mortalidade no EZ e, as suas mortalidades foram simetricamente bem distribuídas ao longo de todo o experimento. Ou seja, as partículas morreram ao longo do experimento, entre aproximadamente, 0,65 e 0,95. 50% que estas partículas tiveram suas taxas de mortalidades equidistantes de aproximadamente 0,1 ao contrários do EZ. A mortalidade por temperatura na zona 1 e 2 tiveram praticamente 100% das partículas mortas ao mesmo tempo no experimento.

Na zona 3, metade das partículas tiveram uma mortalidade assimetricamente ao limite inferior de aproximadamente 0,75 e 0,95, enquanto a outra metade teve sua mortalidade concentrada na mesma taxa ao longo do experimento.

A zona 4, provavelmente por ter o maior número de partículas lançadas ao longo dos 18 anos (Tabela 4.4) teve uma taxa de mortalidade melhor distribuída ao longo de todo os 45 dias, sendo que 50% das partículas tiveram sua mortalidade desde o quinto dia (Figura 4.14), enquanto as demais 50% partículas tiveram uma taxa de mortalidade superior a 0,9.

A mortalidade por advecção foi maior no EA do que nas desovas das zonas 1, 2, 3 e 4 confirmando, que as sardinhas preferem desovar em áreas específicas da PCSE do que ao longo (GIGLIOTTI et al, 2010). Portanto, podemos concluir que não há evidências de que os dois experimentos possuíram taxas de mortalidade por temperatura significativamente diferentes,  $p = 0,8993$ , enquanto que a mortalidade por advecção e a comparação entre as duas causas de mortalidades nos dois experimentos são significativamente diferentes, a 95% de significância (tabela 4.7).

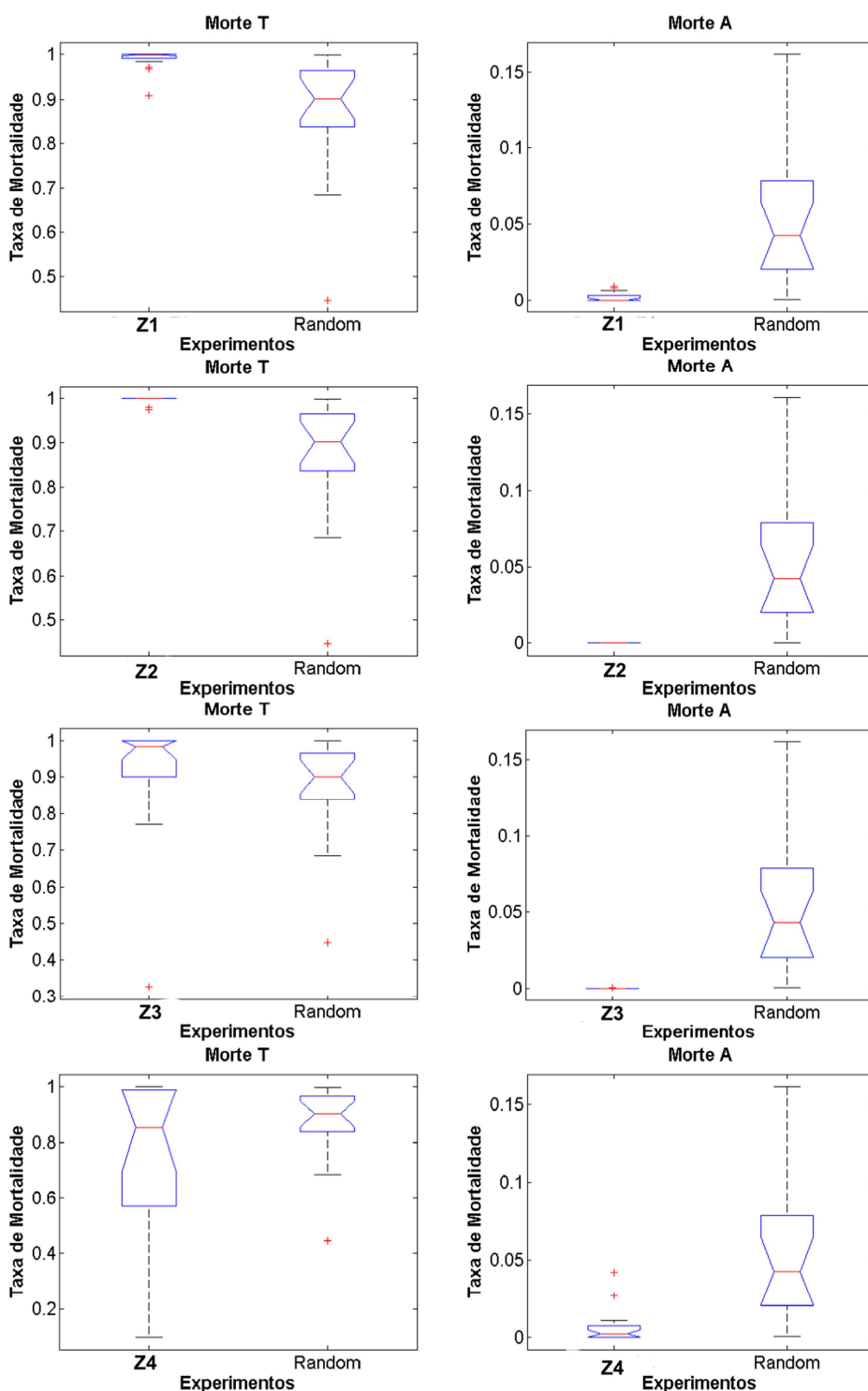


Figura 4.17- Teste de Kruskal Wallis para as causas de mortalidade em cada experimento. Random (desova aleatória). Morte T (Morte por temperatura), Morte A (Morte por advecção), Z1(Zona 1- Entre Paranaguá e Florianópolis), Z2 (Zona 2 – São Sebastião), Z3 (Rio de Janeiro) e Z4 (Cabo Frio).

Tabela 4.7- Teste de Kruskal- Wallis para analisar as duas causada de mortalidades em cada experimento no final dos 45 dias considerando todos os 18 anos. Apenas a mortalidade por temperatura nos dois experimento aceitam a hipótese nula a 5% de nível de significância. Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção). SS (somadas dos quadrados). df (graus de liberdade). MS (erro quadrático médio). F (razão entre a média do quadrado de erros). Prob (valor de  $p$  para aceitar ou rejeitar a hipótese nula).

<b>Morte T Zonas – Morte T Aletatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	1,78	1	1,778	0,02	0,8993
<b>Erro</b>	3883,22	34	114,212		
<b>Total</b>	3885	35			
<b>Morte A Zonas – Morte A Aletatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2116	1	2216	19,09	1,24852e-5
<b>Erro</b>	1764	34	51,882		
<b>Total</b>	3880	35			
<b>Morte T Zonas – Morte A Aletatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	26,27	2,96823e-7
<b>Erro</b>	969	34	28,5		
<b>Total</b>	3885	35			
<b>Morte A Zonas – Morte T Aletatório</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SS</b>	<b>df</b>	<b>MS</b>	<b>Chi-sq</b>	<b>Prob</b>
<b>Grupos</b>	2916	1	2916	26,3	2,91665e-7
<b>Erro</b>	964	34	28,353		
<b>Total</b>	3880	35			

A mortalidade por temperatura nas desovas foi assimetricamente distribuída ao longo do experimento, ou seja, 50% das partículas tiveram sua taxa de mortalidade entre 0,3 e 0,9, enquanto a outra metade teve sua taxa de mortalidade entre 0,9 e 0,95, aproximadamente. No EA, as taxas de mortalidade por temperatura foram simetricamente bem distribuídas com mortalidades entre 0,7 e 0,95. Ou seja, devido à alta taxa de mortalidade por temperatura em ambos os experimentos, demonstra que o teste de KW aceita a hipótese nula para 95% de significância (Figura 4.18). A mortalidade por temperatura letal é mais elevada da Região Sul para o Norte (Figura 4.17, 4.19 e 4.20).



Portanto, o teste da Figura 4.17 indica, que a mortalidade por temperatura e por advecção rejeitam a hipótese nula, indicando que as mortalidades em cada experimento não são provenientes da mesma distribuição.

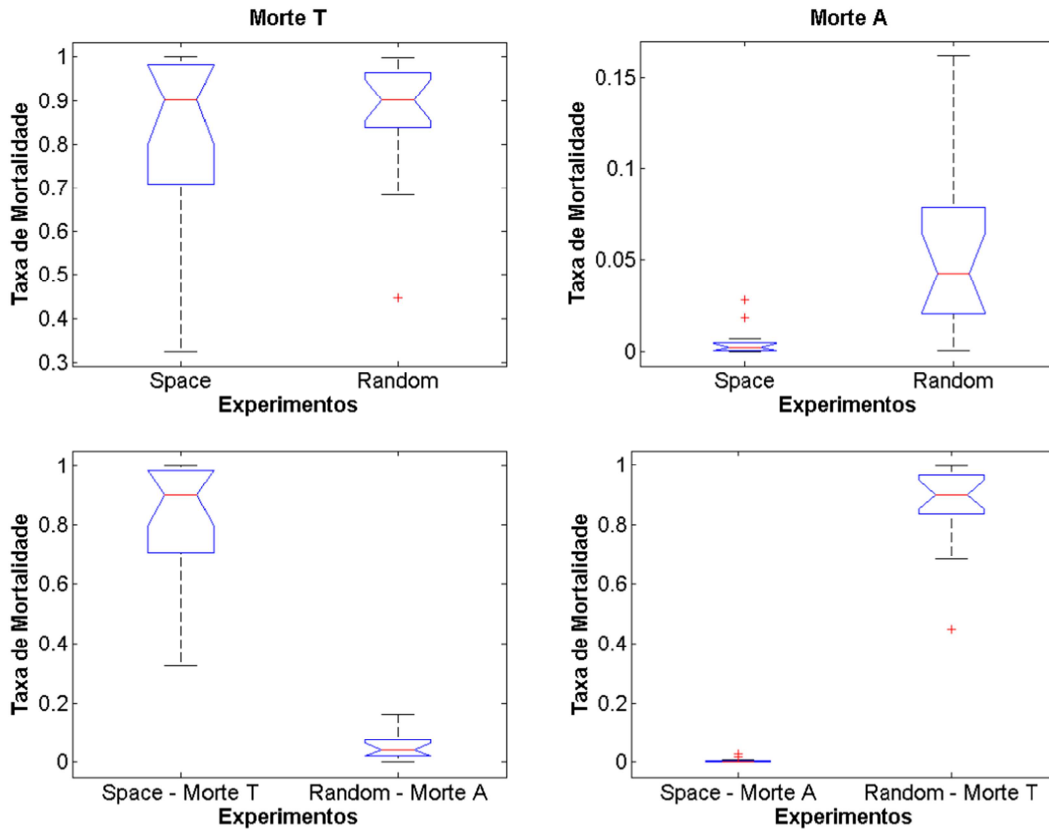


Figura 4.18- Teste de Kruskal-Wallis para as mortalidades em cada experimento e entre os dois experimentos. Space (desova por zonas) e Random (desova aleatória). Morte T (morte por temperatura). Morte A (morte por advecção).

Tabela 4.8- Taxa de mortalidade por ano para o experimento aleatório (EA) e para o experimento por zonas (EZ)

Ano	Taxa de mortalidade E.A	Taxa de mortalidade E.Z
1982	0,94	0,82
1983	0,93	0,8
1984	0,97	0,99
1985	0,94	0,86
1987	0,82	0,55
1988	0,95	0,83
1989	1	1
1992	0,96	0,94
1994	0,98	0,95
1995	0,89	0,71
1996	0,54	0,35
1998	0,88	0,63
1999	0,86	0,99
2000	0,99	0,99
2001	0,87	0,66
2002	0,97	0,95
2004	0,94	0,95
2006	0,98	0,98

### **4.3 A circulação oceânica influencia a ocorrência de extremos de produção da sardinha?**

A região do Cabro Frio é marcada pela transição entre o ambiente tropical ao norte e o subtropical ao sul. A ressurgência costeira, alimentada pela água rica em nutrientes da ACAS, é a principal característica oceanográfica desta região (EMILSON, 1960; MIRANDA, 1982; CASTRO 2006), responsável pela produtividade fitoplântica cinco vezes maior na zona eufótica (SUMIDA et al., 2004). Assim, esta ressurgência influencia as condições ecológicas, econômicas e sociais da região (SILVA, 2004). Portanto, as fertilizações da água associada à sua estratificação térmica contribuem para o aumento da atividade pesqueira nesta região e a desova da sardinha (GIGLIOTTI et al., 2010). Porém, a ressurgência da ACAS, tende a causar acentuada mortalidade dos ovos e larvas da sardinha por baixa temperatura (17°C e 16,5°C, respectivamente). Um processo parecido de ressurgência ocorre na região entre Paranaguá (PR) e Florianópolis (SC), que ocasiona uma zona probabilística de desova da sardinha (GIGLIOTTI et al., 2010).

Já na plataforma interna, ocupada pela AC com mistura da AT, ocorre uma forte estratificação vertical de temperatura e salinidade no verão devido a penetração da ACAS (EMILSON, 1960; MIRANDA, 1982; MAHIQUES et al., 1999; CASTRO, 2006), sendo também uma região adequada para a desova e o desenvolvimento larval da sardinha (GIGLIOTTI et al., 2010; MORAES, 2012). Isto pode ser observado nos testes de KW em que as partículas tiveram o mesmo padrão de mortalidade ao longo do experimento, taxa de mortalidade entre 0,95 e 0,98. Se o experimento por desova nas zonas tivesse inserido um número de partículas próximo ao que foi inserido na zona 4 seria possível afirmar, que a AT e ASTP (Figura 4.18) seriam mais indicadas para o desenvolvimento larval da sardinha.

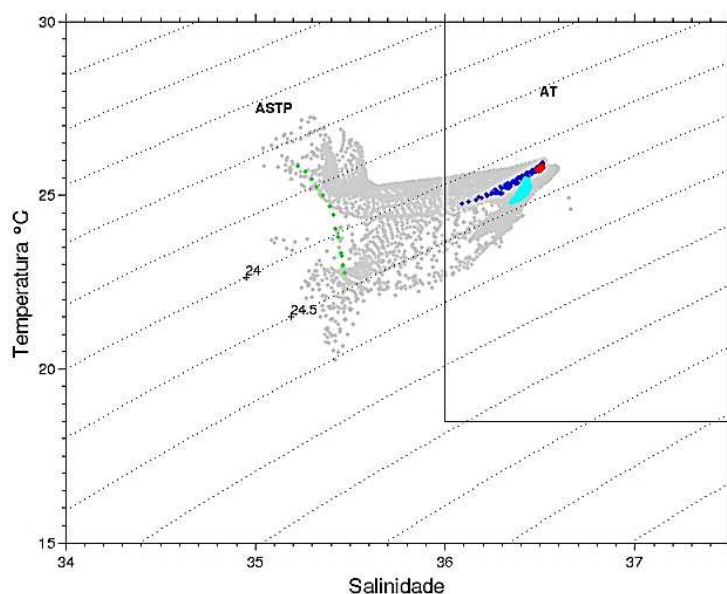


Figura 4.19- Gráfico de temperatura e salinidade do modelo ROMS no período de desova da sardinha entre 1980 a 2007, para as quatro zonas analisadas na região de estudo Rio de Janeiro (azul), Cabo Frio (verde), São Sebastião (vermelho) e, entre Paranaguá e Florianópolis (cian).

No inverno, a passagem de frentes frias muda o padrão dos ventos para Sul-Sudoeste proporcionando assim, o empilhamento das águas superficiais da costa fazendo com que a ACAS retorne. A plataforma interna é então denominada pela AC enquanto, AT passa a ocupar a plataforma externa desaparecendo, portanto, a estratificação vertical da temperatura e salinidade. Ocorrendo dessa forma, um fenômeno chamado subsdência (MIRANDA, 1982; MAHIQUES et al., 2004; SILVA, 2004), por esse motivo, esse período é propício para o recrutamento da sardinha onde elas chegam a atingir até 90 mm.

Quase metade do total de larvas lançadas no experimento desova aleatória morrem nos primeiros cinco dias de simulação, com pouca diferenciação entre os anos de máximas e mínimas de desembarques. Um comportamento diferente é descrito a partir da experiência de desova por zonas, onde as taxas de sobrevivência diminuem lentamente ao longo dos 45 dias de simulações. Além disso, os anos de máximos desembarques tendem a agrupar em torno de elevados valores de sobrevivência. Apesar de não serem estatisticamente significativas, gerado nas zonas pré-definidas tendem a maximizar a

sobrevivência e o total dos desembarques um ano depois. Como pode ser observado nas Figuras (4.19 e 4.20).

Na natureza, o destino da maior parte dos ovos e larvas é a morte, não só pelo estresse de temperatura e aos locais desfavoráveis a advecção, que podem levar à fome, mas também por predação ou canibalismo. Assim, as chances de sobrevivência são extremamente baixas exigindo condições hidrológicas específicas, e em conjunto com os processos dependentes da densidade faz com que seja muito difícil prever o recrutamento e futuras capturas (Fréon et al., 2005).

O período de reprodução da sardinha ocorre em ambientes altamente variáveis e instáveis, com a eclosão dos ovos em até 24 horas (MATSUURA, 1977) e seu estágio larval em até 45 dias (KURTZ, 1999). Essa exposição da sardinha nos processos hidrodinâmico de circulação superficial oceânica (ZWOLINSKI et al., 2006), nas interações biológicas e risco de inanição (MORAES, 2012) são, portanto, responsáveis pela sua distribuição temporal na quantidade de indivíduos no recrutamento.

Uma análise sobre os movimentos das 30 mil partículas em cada ano, para cada experimento (Figura 4.19 e 4.20) nos mostram que os movimentos das sardinhas adultas para locais específicos da PCSE não melhoram significativamente a sobrevivência das larvas ou afetam o desempenho da pesca. Os experimentos apontam que as faltas de condições oceânicas poderiam favorecer os extremos de desembarques comerciais da sardinha na PCSE. A estrutura da desova pode ser explicada por processos de mesoescala coincidindo com maiores variabilidades interanuais nas taxas de mortalidade por temperatura ao Norte da PCSE, antes dos períodos de desembarques mínimos.

O experimento de desova por zonas (Figura 4.20) aponta nos seus padrões de simulações do deslocamento das partículas, que sardinhas preferem as zonas definidas por Gigliotti et al., (2010) por serem ambientes propícios para a retenção larval. E que a probabilidade de ela morrer por advecção é maior quando a desova ocorre de forma aleatória ao longo da PCSE, devido as propensões das larvas serem capturadas por

meandros e vórtices. Ambas figuras exibem que a variabilidade interanual das trajetórias das partículas, são forçadas pela circulação superficial oceânica.

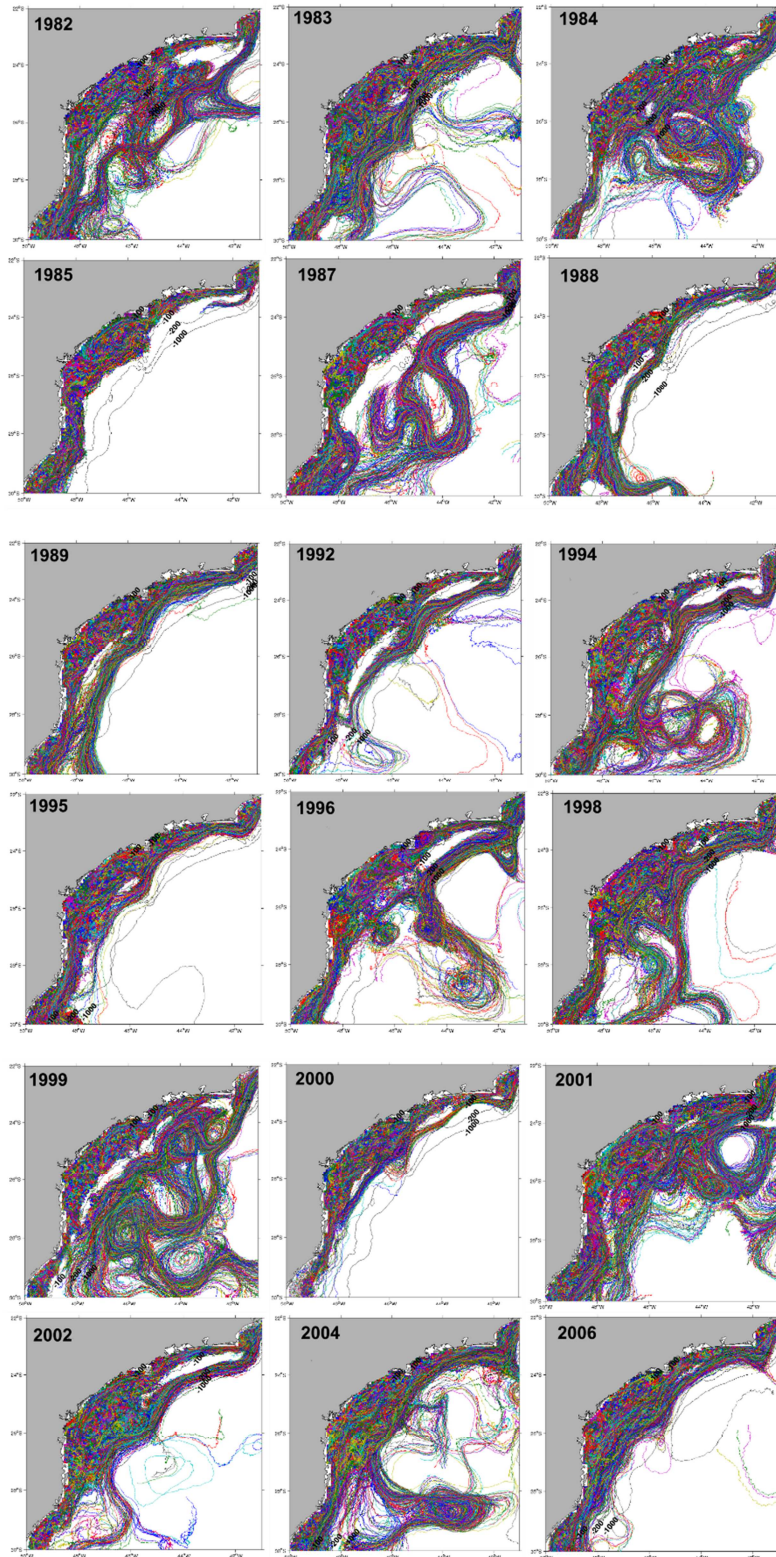


Figura 4.20- Trajetórias das 30 mil partículas para cada ano analisado na PCSE durante os 45 dias de experimento aleatório.

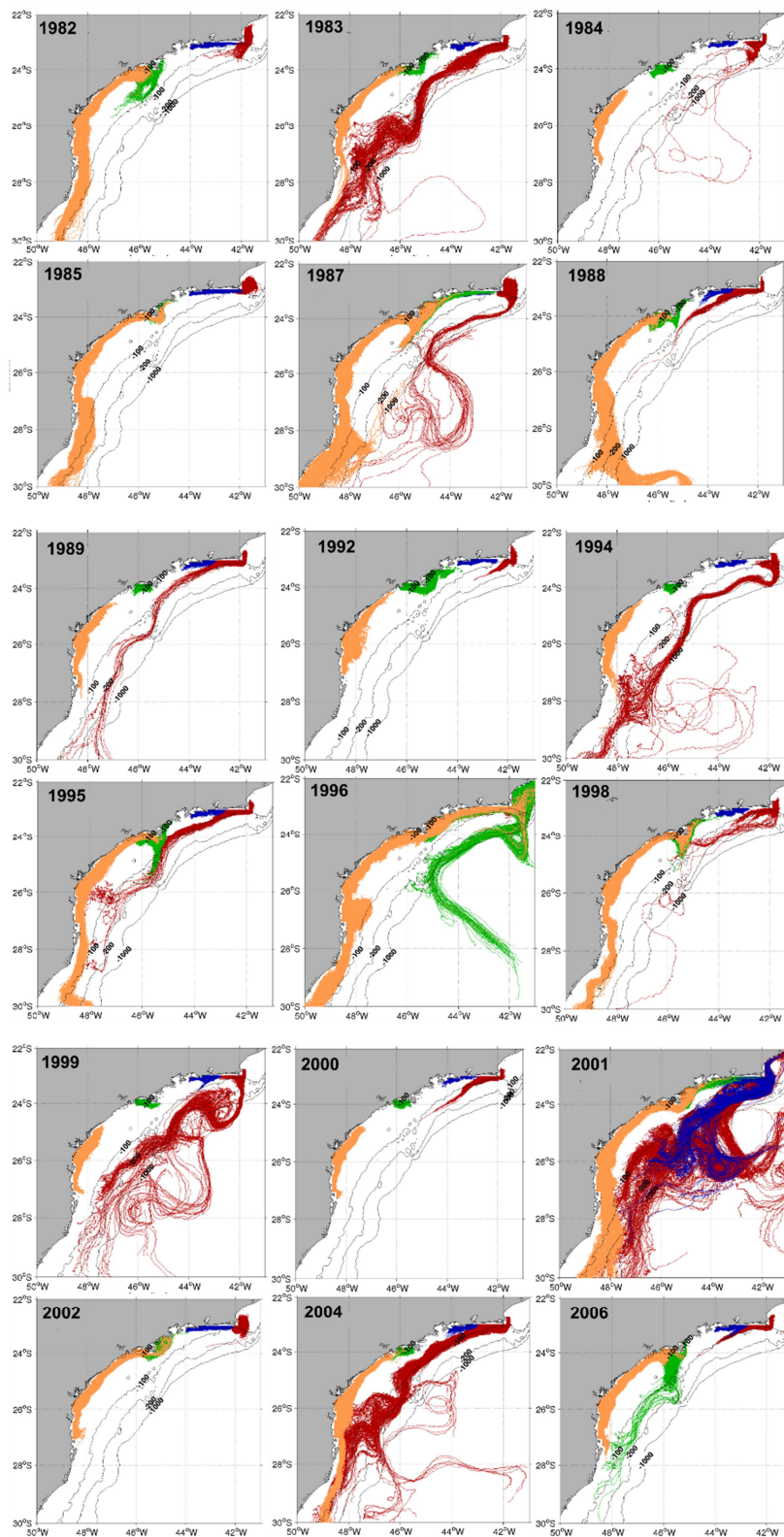


Figura 4.21- Trajetórias das 30 mil partículas para cada ano analisado na PCSE durante os 45 dias de experimento por zonas, (Vermelho – Cabo Frio; Azul – Rio de Janeiro; Verde – São Sebastião; Laranja – Cabo de Santa Marta).



A falta de uma relação estatisticamente significativa entre a mortalidade nas fases iniciais da sardinha com os desembarques comerciais, que vivem em um ambiente confinado, mas, altamente variável, salienta a importância de desova "no lugar certo e na hora certa" (Fréon et al., 2005) para maximizar o sucesso reprodutivo de alguns indivíduos sobreviventes. É certo que a captura varia de acordo com a agregação das espécies, influenciando na disponibilidade a longo e curto prazo (MORAES et al., 2012). Os efeitos ambientais posteriores ao recrutamento também podem afetar a mortalidade dos peixes, as taxas de crescimento e maturação sexual (FREON et al., 2005).



## 5 SÍNTESE BIOFÍSICA E PESQUEIRA DA SARDINHA

Através do uso da modelagem hidrodinâmica, modelagem baseado no indivíduo e de dados de satélites foi possível demonstrar, que os desembarques comerciais da sardinha estão diretamente relacionados ao padrão de circulação oceânico da PCSE. As principais conclusões baseadas nos resultados são:

- O utilização de um modelo numérico hidrodinâmico para simular as condições reais do ambiente marítimo e a sua variabilidade interanual, associado com modelo biofísico, que imitam o comportamento físico e biológico dos ovos e das larvas, são fundamentais para uma análise equilibrada e realistas dos cenários de desovas;
- Os anos de máximas e mínimas capturas comerciais não tiveram diferenças significativas, a 5% de nível de confiança, para a mortalidade por temperatura e por advecção. Portanto, os extremos de desembarques comercial são apenas variações casuais. Ou seja, os dados de capturas comerciais da sardinha verdadeira, podem estar relacionados com aproximação de alguns valores envolvidos, falta de dados, além de outros efeitos eventuais imprevisíveis e que não podem ser cogitadas depois que os fatos já ocorreram;
- Os anos de 1989, 1995, 1996 e 2000, representam serem os ápices de desembarques comerciais registrados entre 1980 a 2007. Apesar de não serem significativamente diferentes, esses anos maximizaram a taxa de sobrevivência e de mortalidade um ano depois do desembarque comercial;
- Quase metade do total das larvas lançadas em cada ano morrem nos primeiros cinco dias de simulação, independente do experimento realizado e dos extremos de capturas comerciais;
- No experimento de desovas por zonas, as taxas de mortalidades diminuem ao longo dos 45 dias de simulações quando comparado com o experimento aleatório. Confirmando que as sardinhas são favorecidas nas zonas especificadas por Gigliotti et al., (2010) para a sua desova;

- A mortalidade por advecção é maior nos experimentos aleatórios;
- A mortalidade por temperatura nos primeiros 30 metros da coluna d'água, antes dos anos de máximos e mínimos desembarques comerciais, é a maior responsável pelas mortalidades das sardinhas e poucas delas se advectam para profundidade de 200 metros;
- A mortalidade por baixa temperatura letal ocorre de maior probabilidade do Sul para o Norte;
- A mortalidade por advecção torna-se um processo importante dependendo da desova;
- A estrutura espacial dos ovos e das larvas das sardinhas são influenciadas pelo arrastamento dos processos de mesoescala, como meandros e vórtices, e seus regimes hidrodinâmicos;
- As sardinhas preferem áreas de ressurgência, água mais fria e menos salina, para sua desova por serem águas mais ricas em nutrientes, produtividade fitoplântica cinco vezes maior na zona eufótica, para o seu desenvolvimento larval, porém, quando a ACAS se encontra na superfície, ela ocasiona uma das principais mortalidades da sardinha, que é por baixa temperatura;
- A Água Tropical (AT) e Água Subtropical de Plataforma (ASTP) são as massas de águas em que se encontraram maior quantidade de partículas, portanto, ideal para o desenvolvimento larval da sardinha;
- A circulação superficial oceânica e seus processos de mesoescala influenciam na variabilidade interanual nas taxas de mortalidade da sardinha, como pode ser observado na zona de Cabo de Frio antes dos anos de mínimos desembarques comerciais e, no experimento aleatório em que mostrou que as partículas foram mais suscetíveis aos regimes de circulação superficial oceânica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABSY, J. M.; PEZZI, L. P.; DE CAMARGO, R.; SCHULTZ, C. Instalação e pré-processamento para o Regional Ocean Modelling System (ROMS). Centro de previsão e Estudos Climáticos (CPTEC) – Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) – Universidade de São Paulo (USP). 2010.
- ALLAIN, G.; PETITGAS, P.; LAZURE, P. The influence of mesoscale ocean processes on anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment in the Bay of Biscay estimated with a three-dimensional hydrodynamic mode. **Fisheries Oceanography**, v. 10, p. 151–163, 2001.
- 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.
- ANDRELLO, M.; MOUILLOT, D.; SOMOT, S.; THUILLER, W.; MANEL, S. Additive effects of climate change on connectivity between marine protected areas and larval supply to fished areas. **Diversity and Distributions**, v. 21, p. 139–150, 2015.
- ARAKAWA, A.; LAMB, V. Computational design of the basic processes of the UCLA general circulation model. **Methods in Computational Physics**, v. 17, p. 174- 265, 1977.
- ASSIREU, A. T.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L. Surface circulation and kinetic energy in the SW Atlantic obtained by drifters. **Continental Shelf Research**, v. 23, p.145–157, 2003.
- ATLAS, R., R. HOFFMAN, S. BLOOM, J. JUSEN. ARDIZZONE, J. A multiyear global surface wind velocity data set using SSM/I wind observations. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 77, 1996.
- AVISO - SATELLITE ALTIMETRY DATA. **Sea surface height products**. 2015. Disponível em: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/sea-surface-height-products.html>. Consultado a 02/07/2015.
- 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.
- BECKER, J. J. et al. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30 PLUS, **Marine Geodesy**, v. 32, n. 4, p. 355–371. 2009.
- BEHRENS, C. N.; LOPES, H. F.; GAMERMAN, D. Bayesian analysis of extreme events with threshold estimation. **Statistical modeling**, v. 4, n. 3, p. 227-244, 2004.
- BERNAL, M.; STRATOUDAKIS, Y.; COOMBS, S.; ANGELICO, M. M.; LAGO DE LANZÓS, A.; PORTEIRO, C.; SAGARMINAGA, Y.; SANTOS, M.; URIARTE, A.; CUNHA, M. E.; VALDÉS, L.; BORCHERS, D. Sardine spawning off the european atlantic coast: characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. **GLOBEC**

**International Newsletter**, v.13, n. 2, p. 20-22, 2007.

BLOOM, S.C.; TAKACS L.L.; da SILVA A.M; LEDVINA D. Data assimilation using incremental analysis updates. **Monthly Weather Review**, v. 124, p.1256-1271, 1996.

BONJEAN, F.; LAGERLOEF S. E Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical Pacific ocean. **J. Phys. Oceanogr.**, v 32, 2002.

BRICKMAN, D; SHACKELL, N. L.; FRANK, K. T. Modelling the retention and survival of Browns Bank haddock larvae using an early life stage model. **Fisheries Oceanography**, v.10, p.284–296, 2001.

BROCHIER, T.; RAMZI, A.; LETT, C.; MACHU, E.; BERRAHO, A.; FRÉON, P.; HERNÁNDEZ-LÉON, S. Modelling sardine and anchovy ichthyoplankton transport in the Canary Current System. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 10, p. 1133-1146, 2008b.

BUDGELL, W.P. Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region, **Ocean Dynamics**, DOI 10.1007/s10236-005-0008-3. , 2005

CAMPOS, E. D. J.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, p. 751–754, 2000.

CAMPOS, E.J.D., LENTINI, C.A.D., MILLER, J.L., PIOLA, A.R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. **Geophysical Research Letters** 26, 2061–2064. 1999.

CAMPOS, E.J.D. The equatorward translation of the Vitoria eddy in a numerical simulation. **Geophysical Research Letters** 33, L22607. doi:10.1029/ 2006GL026997. 2006.

CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E.; IKEDA, Y. Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight – summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, p. 18537-18550, 1995.

CARTON, J.A.; CHEPURIN G.A.; CAO X. A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950-1995 Part 2: results. **Journal of Geophysical Research**, v. 30, p. 311-326, 2000b.

CARTON, J.A.; CHEPURIN G.A.; CAO X.; GIESE B.S. A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950-1995, Part 1: methodology. **Journal of Geophysical Research**, v. 30, p. 294-309, 2000a.

CASEY, K.S. et al. The past, present and future of the AVHRR pathfinder SST program. In: BARALE, V.; GOWER, J.F.R.; ALBEROTANZA, L. (eds.). **Oceanography from space: revisited**. Springer, 2010.

CASTELÃO, R. M., Barth, J. A. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress curl, **Geophysical Research Letters**, vol. 33, 103602, doi:10.1029/2005gl025182. 2006.

CASTELLO, J. P. **Síntese sobre a distribuição, abundância, potencial pesqueiro**

**ebiologia da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*).** Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva MMA-REVIZEE. Análise/Refinamento de Dados sobre Prospecção Pesqueira. Departamento de Oceanografia. Fundação Universidade do Rio Grande, 2006. p. 15

CASTRO, B. M. **Correntes e massas d'água na plataforma continental Norte de São Paulo.** Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 248 p, 1996

CASTRO, B. M.; BRANDINI, F. P.; PIRES-VANIN, A. M. S.; MIRANDA, L. B. Multidisciplinary oceanographic processes on the Western Atlantic Continental Shelf located between 4 °N and 34 °S. In: ROBINSON, A.R.; BRINK, K.H. **The sea.** New York: John Wiley & Sons, vol. 14, p. 259-293. 2006.

CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B. (Ed.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil.** São Paulo: EDUSP, cap. 1, p. 11-120, 2006.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of western Atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment. In: ROBINSON, A. R.; BRINK, K. H. (Eds.). **The Sea.** Wiley, Berlinv. 11, p. 209–251, 1998.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B.; MIYAO, S. Y. Condições hidrográficas na Plataforma Continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em mesoescala. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 35, n. 2, p. 135-151, 1987.

CASTRO, L. A. B — **Mapeamento de áreas favoráveis à ocorrência de albacora-laje no norte e nordeste do Brasil, com a utilização de sensoriamento remoto e dados oceanográficos.** 1983. 101 p. (INPE-2632-TDL/112). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Sao Jose dos Campos, 1982. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3r59YD6/GNoeq>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

CATALUNHA, M.J., SEDIYAMA, G.C., LEAL, B.G., SOARES, C.P., RIBEIRO, A.B. Aplicação de cinco funções de densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Santa Maria**, v. 10, n.1, p. 153-162, 2002.

CEPERG. **Desembarque de pescados no Rio Grande do Sul em 2001.** Rio Grande: MMA/IBAMA/CEPERG, 2003. 44p.

CERGOLE, M. C. Avaliação do estoque de sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, da costa sudeste do Brasil, Período de 1977 a 1990. **Instituto oceanográfico** - Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 245. 1993.

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.; ÁVILA-DA-SILVA, A. O.; ROSSIWONGTSCHOWSKI, C. L. B. **Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste-Sul do Brasil: dinâmica**

populacional das espécies em exploração. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p.176. 2005.

CERGOLE, M. C.; VALENTINI, H. Growth and mortality of *Sardinella brasiliensis* in the southeast brazilian bight. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 42, n°1/2, p.113-127, 1994

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: jun. 2015.

CERGOLE, M. C.; SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. Fluctuations in the spawning stock biomass and recruitment of the brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) 1997-1997. **Revista Brasileira de Oceanografia**, n 50, pg 13-26, 2002.

CHASSIGNET et al. Generalized Vertical Coordinates For Eddy Resolving Global And Coastal Ocean Forecasts. **Oceanography**, vol 19, n 1, 2006.

CLAUZET, G.; WAINER, I. Identificação da Variabilidade de baixa frequência em algumas regiões da costa sudeste-nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 47, p. 69-78, 1999.

CHAVES, R.R., NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters** 31, L03204. 2004.

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.

COLES, S. G.; DIXON, J. Likelihood-based inference for extreme values models. **Extremes, Tyresoe**, v. 2, n. 1, p. 5-23, 1999

COX, D. R.; ISHAM, V. S.; NORTHROP, P. J. Floods: some probabilistic and statistical approaches. *Philosophical Transactions: Mathematical. Physical and Engineering Sciences A.*, v. 360, p. 1389-1408, 2002.

DE ALMEIDA, R.A.F., NOBRE, P., HAARSMA, R.J., CAMPOS, E.J.D. Negative ocean-atmosphere feedback in the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters** 34, L18809. 2007.

DIAS, D. F. **Determinação dos padrões de desova e da sobrevivência das larvas da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) na plataforma continental sudeste do Brasil, utilizando modelagem baseada em indivíduo** / Daniela Faggiani Dias. – Sao Jose dos Campos: INPE, 2013.



DIAS, D. F.; PEZZI, L. P.; GHERARDI, D. F. M.; CAMARGO, R. Modeling the Spawning Strategies and Larval Survival of the Brazilian Sardine (*Sardinella brasiliensis*). **Progress in Oceanography**, v. 123, p. 38–53, 2014.

DIAS, J. F. Estimativa da Fecundidade Instantânea de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879). In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA, 1, São Paulo, 1989. **Resumos...** 1989. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1989.

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 2015.

DINNIMAN, M. S.; J. M. KLINCK; AND W. O. SMITH JR., Cross shelf exchange in a model of the Ross Sea circulation and biogeochemistry, **Deep-Sea Res.**, Part II, v. 50, p. 3103-3120, 2003.

DUFOIS, F.; PENVEN, P.; WHITTLE, C. P.; VEITCH, J. On the warm nearshore, bias in Pathfinder monthly SST products over Eastern Boundary Upwelling Systems. **Ocean Modelling**, v. 47, p. 113-118, 2012.

EIAWNHART, C.; SWED, F. Tables for testing randomness if grouping in a sequence of alternatives. **Annals of Mathematical statistics**, Ann Arbor, v.14, n. 1, p. 66 – 87.

EIGER, S. Modelos de escoamentos turbulentos. In: SILVA, R.V. da (ed.). **Métodos numéricos em recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1989.

EMILSON I. The Shelf and coastal waters off southern Brazil. **Bolm. Inst. oceanogr.** S Paulo. V, 11, n 2, p. 101 - 112. 1961.

EZER, T.; H. ARANGO; SHCHEPETKIN, A. F. “Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects”, **Ocean Modelling**, v.4, p. 249-267, 2002.

FAIRALL, C.W.; BRADLEY, E.F.; ROGERS, D.P.; EDSON J.B.; YOUNG, G.S. Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment, **J. Geophys. Res.**, v. 101, p.3747-3764, 1996.

FAO. **FAO glossary**: Food and Agriculture Organization. Disponível em: <<http://www.fao.org/glossary/>>, 2005. Acessada em 21/05/2015.

MELO FILHO, W. L. **bservação de feições oceanográficas de superfície na costa sudeste brasileira aravés de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA**. 2006. 85 p. (INPE--T/). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/01.08.16.03>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

FRÉON, P., CURY, P., SHANNON, L., and ROY. CSustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. **Bulletin of Marine Science**, 76: 385–462. 2005.

FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do Sudeste do Brasil**. II. Teleostei (1). Museu de Zoologia da universidade de São Paulo, São Paulo, 110 p. 1978.

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Procs. Cambridge Philos. SOC*, v. 24, p. 180-190, 1928.

FU, L. L.; CAZENAVE, A. **Satellite altimetry and earth science** - a handbook of techniques and applications. London, UK: Academic Press, 2001. 464p.

FU, L.L; LE TRAON, P.Y. Satellite altimetry and ocean dynamics. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 338, n 14–15, p. 1063-1076, 2006.

GARAVELLI, L.; GRÜSS, B A.; GROTE, N.; CHANG, M.; SMITH, P.; VERLEY, E.; STENEVIK, D. K.; KAPLAN, M.; LETT, C.. Modeling the dispersal of Cape hake ichthyoplankton *J. Plankton Res.* first published online May 29, 2012  
doi:10.1093/plankt/fbs039.

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.

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. (INPE-16539-TDI/1560). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009. 2009. 169 p. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/35E4TLP>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

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 julho. 2015.

GRIMM, V.; BERGER, U.; BASTIANSEN, F.; ELIASSEN, S.; GINOT, V., et al., A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, v. 198, n 1e2, p. 115-126, 2006.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. **Individual-based modeling and ecology**. Princeton University Press, 2005. 45p.

HAIDVOGEL et al. Ocean forecasting in terrain following coordinates: formulation and skill assessment of the regional ocean modeling system. *Journal of computational Physics*, v. 227, p. 3595–3624, 2008.

HAIDVOGEL, D. B.; ARANGO, H. G.; HEDSTROM, K.; BECKMANN A.; MALANOTTE-RIZZOLI, P.; SHCHEPETKIN, A. F. Model evaluation

experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates, **Dyn. Atmos. Oceans**, v. 32, p. 239-281, 2000.

HAIDVOGEL, D. B.; BECKMANN, A. **Numerical ocean circulation modeling**. Imperial College Press, 1999.

HUGGETT, J., FRÉON, P., MULLON, C., PENVEN, P. Modelling the transport success of anchovy *Engraulis encrasicolus* eggs and larvae in the southern Benguela: the effect to spatio-temporal spawning patterns. **Marine Ecology Progress Series**, v. 250, p. 247–262, 2003.

HUTCHINGS, L. Fish harvesting in a variable, productive environment searching for rules or searching for exceptions? *S. Afr. J. Mar.Sci.*, V. 12, P. 297–318, 1992.

IBAIBARIAGA, L.; IRIGOIEN, X.; SANTOS, M.; MOTOS, L.; FIVES, J.; FRANCO, C.; LAGO DE LANZÓS, A.; ACEVEDO, S.; BERNAL, M.; BEZ, N.; ELTINK, G.; FARINHA, A.; HAMMER, C.; IVERSEN, S.; MILLIGAN, S.; REID, D. Egg and larvae distribution of seven fish species in the north-east atlantic waters. **Fisheries Oceanography**, v. 16, n.3, p. 284-293, 2007.

IBAMA. **Plano de Gestão para o Uso Sustentável da Sardinha-verdadeira do Brasil**. Maria Cristina Cergola; José Dias Neto, organizadores. – Brasília: Ibama, p. 180. 2011.

ISAAC – NAHUM, V. J.; CARDOSO, R. DE D.; SERVO, G.; ROSSI – WONGTSCHOWSKI, C. L. D. Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), (Clupeidae). **J. Fish. Biol.**, v. 32, n. 3, p. 383 – 396, 1988.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Reading, v. 81, n. 348, p. 158-171, 1955.

KELLY et al. Evaluation of HYCOM in the Kuroshio Extension region using new metrics. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, C01004, 2007.

KIDWELL, K. B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA11 and NOAA-12): user guide**. (National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, 1993. Technical report.

KILPATRICK, K. A.; G. P.; EVANS, R. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. **Journal of Geophysical Research**, v.106, n. C5, p. 9179-9197, 2001.

KOBLINSKY, C. J.; CLARKE, R. T.; BRENNER, A. C.; FREY, H. Measurement of River Level Variations with Satellite Altimetry. **Water Resources Research**, v. 29, n. 6, p. 1839-1848, 1993.

KOECK, B. *et al.* Connectivity patterns of coastal fishes following different dispersal scenarios across a transboundary marine protected area (Bonifacio strait Mediterranean). Estuarine. **Coastal and Shelf Science**, v. 154, p. 234 – 247, 2015.

KONE, V. **Mode 'lisation de la production primaire et secondaire de l'e 'cosyste `me du Benguela sud. Influence des conditions trophiques sur le recrutement des larves d'anchois.** PhD, University of Pierre & Marie Curie (Paris VI). (2006).

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.

KYIUNA, I.; ASSUMPÇÃO, R. Os fenômenos climáticos El niño e La niña e os preços de feijão no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 31, nº 6, p. 25-44, 2001

LA JOLLA, CA, Interamerican Tropical Tuna Commission (IATTC). **Manual da ICCAT - Manual de Operaciones para Las EstadisticasyYeEl Muestro de Tunidos y Especies Afines en el Oceano Atlántico.**

LARGE W.G.; McWILLIAMS J.C.; DONEY S.C. Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. **Rev. Geophys**, v. 32, p. 363-403, 1994.

LAGERLOEF, G. S. E.; GARY T.; MITCHUM, R. L.; PEARN P. N. Tropical Pacific surface currents estimated from altimeter, wind and drifter data. **J. Geophys. Res.**, 104, 23,313-23,326.1999

LASKER, R.; PELAÁEZ, J.; LAURS, R.M. The use of satellite infrared imagery for describing ocean processes in relation to spawning of the northern anchovy (*Engraulis mordax*). **Remote Sensing Environmental**, v. 11, p. 439-453, 1981.

LAURS, R. M.; FIEDLER, P. C.; MONTGOMERY, D. R. Albacore tuna catch distribution relative to environmental features observed from satellite. **Deep-Sea Research**, v. 31, p.1085-1099, 1984.

LAURS, R. M.; YUEN, H. S. H.; JOHNSON, J. H. Small-scale movements of albacore, *Thunnus alalunga*, in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. **Fishery Bulletin**, v. 75, n. 2, p. 347-355, 1977.

LAURS, R.M.; FIELDER, P.C. Application of satellite remote sensing to U.S Fisheries. In: OCEANS' 85 CONFERENCE RECORD, 1985, San Diego. CA. **Proceedings...** San Diego: IEEE, 1985. P. 320-323.

LEGECKIS, R.; GORDON, A. L. Satellite observations of the Brazil and Falkland Currents – 1975 to 1976 and 1978. **Deep-Sea Research**, v. 29, p. 375–401, 1982.

LEMARIÉ, F. et al. Are there inescapable issues prohibiting the use of terrain following coordinates in climate models? **Ocean Modelling**, v. 42, p. 57-79, 2012.

LENTINI C. A. D.; CAMPOS E. J. D.; PODESTÁ, G. G. The annual cycle of satellite derived Sea Surface Temperature on the Western South Atlantic Shelf. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 93-105, 2000.

LENTINI, C. A. D., PODESTÁ, G. G., CAMPOS, E. J. D. AND OLSON, D. B. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994, **Continental Shelf Research**, 21(1), 89-112, 2001.

LETCHER, B.H; J. A. RICE; CROWDER, L. B.; ROSE, K. A. Variability in survival of larva fish: disentangling componentes with a generalized individual based model. *Candian, Journal of Fiseries and Aquatic Sciences*. V. 53, p. 787-801, 1996.

LETT, C. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. **Environmental Modelling and Software**, v. 23, p. 1210-1214, 2008.

LIMA, E. B. Parameter estimation in model of estuarine hydrodynamic based on genetic algorithms. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 20., 2009, Gramado, RS, Brasil. **Proceedings...** Riode Janeiro : ABCM, 2009.

LIMA, I. D.; GARCIA, C. A. E.; MOLLER JR., O. O. Ocean surface processes on the Southern Brazilian Shelf: characterization and seasonal variability. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 10, p. 1307–1317, 1996.

MAHIQUES, M. M.; SOUZA, L. A. Shallow seismic reflectors and upper Quaternary sea level changes in the Ubatuba region, São Paulo State, Southeastern Brazil. **Rev. Bras. Oceanografia**, v. 47, p. 1-10, 1999.

MAHIQUES, M. M.; TESSLER, M. G.; CIOTTI, A. M.; SILVEIRA, I. C A.; SOUSA, S. H. M.; FIGUEIRA, R. C. L.; TASSINARI, C. C. G.; FURTADO, V. V.; PASSOS, F. R. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 1685-1697, 2004.

MALUF, S. **Cartas de pesca: um modelo de cartas de pesca utilizando dados oceanográficos e de sensoriamento remoto, aplicado à sardinha Sardinella brasiliensis**. 1978. 238 p. (INPE-1423-TDL/03). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1978. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3r59YD6/GLEpv>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

MARCHESIELLO, P.; MCWILLIAMS, J.C.; SHCHEPETKIN, A. Equilibrium structure and dynamics of the California Current System, **J. Phys. Oceanogr.**, v. 33, p. 753-783, 2003.

MASCARENHAS, A. S.; MIRANDA, L. B.; ROCK, N. J. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In: COSTLOW, J. D. (ed.). **Fertility of the Sea**. New York: Gordon and Breach, v. 1, p. 285-308, 1971.

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, L. Y. Rational utilization of coastal ecosystem in tropics: integrated investigation of coastal ecosystem in Ubatuba region. In: Simpósio de ecossistemas da costa sul e sudeste brasileira: estrutura, função e manejo, 2. Águas de Lindóia, 1990. São Paulo, **Academia de Ciências do Estado de São Paulo**. v. 1, p. 47 – 52, 1990.

MATSUURA, L.Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast

Brazilian Bight over the period 1976-1993. Rev. bras. oceanogr. 46(1): 33-43 MONTES, M.L.A. DE 1953. Nota sobre alimentação de alevinos da “sardinha – legítima” ou verdadeira, *Sardinella aurita* Cuvier & Valenciennes. **Bolm Inst. oceanogr. São Paulo**, v. 6, n. ½, p. 161 – 180, 1998.

MATSUURA, Y. A probable cause of recruitment failure of the Brazilian sardine, *Sardinella aurita* population during the 1974/75 spawning seasons. S. Afr. **J. mar. Sci.**, v. 17, p. 29-35, 1996.

MATSUURA, Y. A study of the history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. II. Spawning in 1970 and 1971. **Bolm Inst. oceanogr. São Paulo**, v. 24, p. 1 – 16, 1975a.

MATSUURA, Y. A study of the history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. III. Development of sardine larvae. **Bolm Inst. oceanogr. São Paulo**, v. 24, p. 17 – 29, 1975b.

MATSUURA, Y. A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. IV. Distribution and abundance of sardine larvae. **Bolm Inst. oceanogr. São Paulo**, v. 26, p. 219 – 247, 1977b.

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. **Bolm Inst. oceanogr. São Paulo**, v.20, n. 1, p. 33 – 60, 1971.

MATSUURA, Y. Análise econômica da produção da sardinha na região sudeste do Brasil. **Bol. Inst. oceanogr., São Paulo**, v. 30, n. 1, p. 57 – 64, 1981.

MATSUURA, Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, p. 33-43, 1998.

MATSUURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo Santa Marta Grande (SC). **Ciênc. Cult, São Paulo**, v. 38, n. 8, p. 1439 – 1450, 1986.

MATSUURA, Y. Distribution and abundance of eggs and larvae of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, during 1974 – 75 and 1975 – 76 seasons. **Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.**, v. 34, p. 1 – 12, 1979.

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 da sardinha – verdadeira na região sudeste do Brasil. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 150p. (Tese de livre – docência). 1983.

MATSUURA, Y. O ciclo de vida da sardinha – verdadeira (introdução à oceanografia pesqueira). **Publ. esp, Inst. oceanogr. , São Paulo**, v. 4, p. 1 – 146, 1977a.

MATSUURA, Y. Synopsis on the reproductive and early life history of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*, and related environmental conditions. In: IOC WORKSHOP REPORT (65), 1988, Montevideo. **Proceedings...** Montevideo, 1988. annex VIII. 8p.

MBAYE, B. CHEIKH et al. *Sardinella aurita* spawning seasons match local retention patterns in the Senegalese–Mauritanian upwelling region. **Fisheries Oceanography**, v. 24, p. 69–89, 2015.

MEDEIROS, A. D. **Influencia da maré e da batimetria sobre a intrusão salina no estuário do rio Itajaí-Açu**. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2003.

MELLOR, G.L.; YAMADA, T. Development of a turbulent closure model for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys.**, v. 20: p. 851-875, 1982.

MESQUITA, A. R. DE; LEITE, J. B. A. Sobre a Variabilidade do nível médio do mar na costa sudeste do Brasil. **Rev. bras. De Geofis.** V. 4, p. 229 – 236. 1986.

MESQUITA, A. R. DE. **Contribuição à oceanografia da região costeira sudeste do Brasil (Lat 24 S)** - subprojeto hidrodinâmica costeira: execução e resultados. 1983. 187p. Tese (Livre Docência) –Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo, SP. 1983.

MESQUITA, A. R. DE. PEREIRA, FILHO. N.; LEITE, J. B. DE; RIZZO, A. Circulation and evidence of Shelf Break upwelling near Lat. 26 07 S; Long. 47 39 W. **relat. Cruz. ser. NOc Prof W Besnard**. Inst. oceanogr. Univ. S Paulyo. SP. V,8, p. 1 – 27, 1989.

MESQUITA, A. R. DE. FRANCO, A. S.; HARARI, J. On mean sea level variation along the Brazilian coast I. **Gephys. J. R astr. SOC.** London, v. 87, n. 1, p. 67 – 77, 1986.

MILLER, D. C. M.; MOLONEY, C. L.; VAN DER LINGEN, C. D. et al. Modelling the effects of physical-biological interactions and spatial variability in spawning and nursery areas on transport and retention of sardine *Sardinops sagax* eggs and larvae in the Southern Benguela ecosystem. **J. Mar. Syst.**, v. 61, p. 212–229, 2006.

MILLER, T.J. Contribution of individual-based coupled physical biological models to understanding recruitment in marine fish populations. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, p. 127e138, 2007.

MIRANDA, L. B. **Análise das massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP)**. 194 f. Tese (Livre-Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

MORAES, L.E.D.S., GHERARDI, D.F.M., KATSURAGAWA, M., PAES, E.T. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) spawning and nursery habitats: spatial-scale partitioning and multiscale relationships with thermohaline descriptors. **ICES Journal of Marine Science** 69, 939–952. 2012.

MULLON, C., FRE ´ON, P., PARADA, C. et al. From particles to individuals: modelling the early stages of anchovy (*Engraulis capensis/encrasicolus*) in the southern Benguela. **Fish. Oceanogr.** v. 12, p. 396–406, 2003.

OLIVARES, G.; SEPÚLVEDA, H. H.; YANNICELLI, B. Definition of sanitary boundaries to prevent spread between salmon farms in southern Chile based on numerical simulations of

currents. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 158, p. 31 – 39, 2015.

OLIVEIRA, E. N. **Estimativas de correntes oceânicas superficiais pelo método da máxima correlação cruzada**. 2003. 102p. (9583-TDI/839). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/03.31.11.19>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

OLIVEIRA, F. S. C. **Estimativa de captura do bonito-listrado (*katsuwonus pelamis*) na costa sudeste do brasil usando um modelo estatístico e dados de sensoriamento remoto**. 2005. 117 p. (INPE-13595-TDI/1034). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.11.14.49>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PARADA, C., MULLON, C., ROY, C. et al. Does vertical migratory behaviour retain fish larvae onshore in upwelling ecosystems? A modelling study of anchovy in the southern Benguela. *Afr. J. Mar. Sci.*, v. 30, p. 437–452, 2008.

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.

PELIZ, A.; J. DUBERT; D. B. HAIDVOGEL; AND B. LE CANN, Generation and unstable evolution of a density-driven Eastern Poleward Current: The Iberian Poleward Current, *J. Geophys. Res.*, v. 108, C8, p. 3268, 2003.

PIOLA, A. R.;CAMPOS, E. J. D.; MOLLER Jr., O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. Subtropical Shelf Front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research* v.105, p.6565–6578, 2000.

PIOLA, A.R., CAMPOS, E.J.D., CAMPOS, MÖLLER, O.O., CHARRO, M., MARTINEZ, C. The Subtropical shelf front off eastern South America. *Journal of Geophysical Research* 105, 6565–6578. 2000.

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling, *Continental Shelf Research*, 21, 371 –394. 2001.

PIOLA, A.R.; MATANO, R.P.; PALMA, E.; MOLLER, O.O.; CAMPOS, E.J.D. The influenceof the Plata river discharge on the western South Atlantic Shelf. *Geophysical Research Letters* 32, doi:10.1029/2004GL021638. 2005.

PIOLA, A. R.; MOLLER Jr., O. O.; GUERRERO, R. A.; CAMPOS, E. J.D. Variability of the subtropical shelf front off eastern South America: Winter 2003 and summer 2004. *Continental Shelf Research*, v. 28, p. 1639-1648, 2008.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p.1-73, 1991.



PLANQUE, B.; BELLIER, E.; LAZURE, P. Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardine pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. **Fisheries Oceanography**, v. 16, n. 1, p. 16-30, 2007.

PUTMAN NF, HE R. Tracking the long-distance dispersal of marine organisms: sensitivity to ocean model resolution. **J R Soc Interface** 10: 20120979.  
<http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2012.0979>. 2013

QUADROS, C. J. L. **Morfodinâmica praial associada a passagens de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense**. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná. 2002.

REYNOLDS, R. W.; NICK A. R.; SMITH T. M.; STOKES D. C.; WANQUI W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **J. Climate** 15, 16091625.2002.

RIJNSDORP, A. D., PECK, M. A., ENGELHARD, G. H., MOLLMANN, C., AND PINNEGAR, J. K. Resolving the effect of climate change on fish populations. – **ICES Journal of Marine Science**, 66: 1570–1583. 2009.

ROBINSON, I. S. **Satellite oceanography - measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography**. Springer Science & Business Media, 2004.

ROBINSON, I. S. **Measuring the oceans from space, the principles and methods of satellite oceanography**. Chichester: Praxis Publishing Ltd., 2010.685 p.

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.

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-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; MADUREIRA, L. S. P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo. EDUSP. 2006.

ROSSIWONGTSCHOWSKI, C. L.D.B. (Coord.). Dinâmica das Frotas Pesqueiras – Análise das principais pescarias comerciais do Sudeste e Sul do Brasil. Avaliação do potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – Revizee – Área de Dinâmica de Populações e Avaliação de Estoques. Femar. MMA; **Revizee**, p. 251-282. 2003.

ROSSI -WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; SACCARDO, S. A. Distribuição e abundância da sardinha e da anchoita na região sudeste do Brasil: outubro – novembro, 1988. **Boletim Inst. oceanogr.** S. Paulo, v. 8, p. 50, 1991.

ROSSI -WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; WENZEL, M. S. M. T. & OLIVEIRA, M. A. PIEBS – Programa Integrado de Estudos Biológicos sobre sardinha. II – Caracterização

macro e microscópica das gônadas, tipo de desova, ciclo reprodutivo e fecundidade. SIMPÓSIO DA FURG SOBRE PESQUISA PESQUEIRA, 1988, Rio Grande, RS. **Resumos...** Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande, 1988. 44p.

ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B. *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): estudo sobre a estrutura da espécie na área entre 23°S (RJ) a 28°S (SC), Brasil. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Biociência, São Paulo, 1978.

SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B. Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. **Atlântica Rio Grande**, v. 13, n. 1, p. 29-43, 1991.

SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B.; CERGOLE, M. C.; BITTENCOURT, M. M. Age and growth of the southeastern brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 36, n.1, p. 81-83, 1988.

SAHA, S. et al. The NCEP Climate forecast system reanalysis. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 91, p. 1015–1057, 2010.

SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; GILLE, S.; JAYNE, S.; SOOFI, K. ; COAKLEY, B. **Bathymetry from Space**: white paper in support of a high-resolution, ocean altimeter mission. 2001. Disponível em: [http://topex.ucsd.edu/marine\\_grav/white\\_paper.pdf](http://topex.ucsd.edu/marine_grav/white_paper.pdf)

SANTOS, A. M. P. Fishery's oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. **Fisheries Research**, v. 49, p. 1–20, 2000.

SCHULTZ, C. **Ciclos biogeoquímicos e modos de variabilidade climática na região da confluência Brasil-Malvinas**. 2012. 218 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.11.20.49-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BGFBKH>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

SCHMID, C., SCHAFFER, H., PODESTA, G., ZENK, W. The Vitoria eddy and its relation to the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography** 25, 2532– 2546. 1995.

SCHWINGEL, P. R.; OCCHIALINI, D. S. Descrição e dinâmica da frota das traineiras no porto de Itajaí/SC entre 1997 e 1999. In: CERGOLE, M.C.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.B (cords.). Análise das principais pescarias comerciais do sudeste-sul do Brasil: dinâmica das frotas pesqueiras. São Paulo: Editora Evoluir, 2003. P. 251-298.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIANS, J. C. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, **J. Geophys. Res.**, v. 108(C3), p. 3090, doi: 10.1029/2001JC001047. 2003.

SHCHEPETKIN, A. F; J. C. MCWILLIANS. The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, **Ocean Modelling**, v. 9, p. 347-404, 2005.

SHERBININ, A.; KLINE, K.; RAUSTIALA, K., Remote Sensing data: valuable support for environmental treaties. **Environment**, v. 44, n. 1, p. 22 - 31, 2002.

SIGNORINI S. R.; MIRANDA L. B. de; EVANS, D. L.; STEVENSON, M. R.; INOSTROZA, H. M. V. Corrente do Brasil estrutura térmica entre 19° a 25° S e circulação geostrofica. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 37, n. 1, p. 33-49, 1989.

SILVA, A. D'A. **Determinação da conectividade de ambientes recifais utilizando modelagem biofísica**. 2014. 107 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.09.16.38-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G4R9GP>>. Acesso em: 25 ago. 2015

SILVA, I. R. **Praias da Costa do Descobrimento: uma contribuição para a gestão ambiental**. Salvador. 2004. 227 p. Tese (Doutorado em Geologia Costeira e Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SILVA, M.; ARAUJO, J.; SERVAIN, P.; LENTINI, C. A. L. High-resolution regional oceanic dynamics simulation in the southwestern tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, v. 20, n. 4, p. 256-269, 2009.

SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SILVEIRA, I. C. A. **O sistema corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ**. 2006. 160 p. Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 2006.

SMITH W. H. F., SANDWELL D. T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. **Science**, v. 277, p. 1957-1962, 1997.

SMITH, R. L.; NAYLOR, J. C. A comparison of maximum likelihood and bayesian estimators for three-parameter Weibull distribution. **Applied Statistics**, v.36, p. 358-369, 1987.

SMITH, R.D.; DUKOWICZ J.K.; MALONE R.C.Parallel ocean general circulation modeling. **Physica D**, v. 60, p. 38-61, 1992

SMITH, W. H. F. & WESSEL, P. Gridding with continuous curvature splines in tension. **Geophysics**, v. 55, p. 293-305, 1990.

SMITH, W. H. F; SANDWELL, D. T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. **Science**, v. 277, p.1956-1962, 1997.

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.

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. (INPE-15759-TDI/1502). Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/34S9BUB>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

SOARES, I. D. **The Southern Brazilian Shelf buoyancy-driven currents.** Ph.D. Dissertation – University of Miami, Miami, p. 318, 2003.

SONG, Y.; D. B. HAIDVOGEL. A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. **J. Comp. Phys.**, v. 115, n. 1, p. 228-244, 1994.

SONG, Y.T. A general pressure gradient formulation for ocean models. Part I: Scheme design and diagnostics analysis. **Mon. Wea. Rev.**, v.126, p. 3213-3230, 1998.

SONG, Y.T.; WHITE, D. G. A general pressure gradient formulation for ocean models. Part II: Energy, momentum and bottom torque consistency. **Mon. Wea. Ver.** 126, p. 3231-3247, 1998.

SOTO-MENDONZA, S.; PARADA, C.; CASTRO, L.; COLAS, F.; SCHNEIDER, W. Modeling the transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: assessing spatial and temporal spawning parameters. **Progress in Oceanography**, v. 32-35C, p. 178-191, 2012.

SOUTELINO, R. G. **On the dynamics of the Brazil Current site of origin.** 2012. 97p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SOUZA, R. B. et al. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. (ed.). **Oceanografia por satélites.** São Paulo: Oficina de Textos, 2º Ed, 2009.

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. Introdução à Oceanografia por Satélites. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites.** São Paulo: Oficina de Textos. P.15 -19. 2005.

STEINDACHNER, F. Ichthyologische Beiträge (VIII). **Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Classe**, v 80, n 1-2, pg 119-191, 1879.

STENEVIK, E. K.; SKOGEN, M.; SUNDBY, S.; BOYER, D. The effect of vertical and horizontal distribution on retention of sardine (*Sardinops sagax*) larvae in the northern Benguela – observations and modelling. **Fisheries Oceanography**, v. 12, p. 185–200, 2003.

STENVENSON, M. R.; MILLER, F. R. **Application of satellite data to problems in fishery oceanography:** final report. California: Inter-American Tropical Tuna Commission, 1975.

STRAMMA, L. The Brazil Current transport south of 23°S. **Deep Sea Research**, v.36, n.4A, p.639-646, 1989.

SUMIDA, P.Y.G.; YOSHINAGA, M.Y.; MADUREIRA, L.A.S.; HOVLANND, M. Seabed pockmarks associated with deepwater corals off SE. Brazilian continental slope, Santos Basin. **Marine Geology**, v. 207, p. 159-167, 2004.

TASCHETTO, A. S.; WAINER, I. Estudo climatológico da ressurgência na região sudoeste do Atlântico sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA: OCEANOGRAFIA E POLÍTICAS PÚBLICAS, 1999, Santos, SP. **Anais...** Santos, 1999. P. 23.

TEIXEIRA, S. F.; FERREIRA, B. P. e PADOVAN, I. P. Aspects of fishing and reproduction of the black grouper *Mycteroperca bonaci* (Poey, 1860) (Serranidae: Epinephelinae) in the Northeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, Brasil, v. 2, n. 1, p. 1-44, 2004.

TEIXEIRA, C. E. P., LESSA, G. C., CIRANO, M., LENTINI, C. A. The inner shelf circulation on the Abrolhos Bank, 18°S, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 13-26, 2013.

THANASSEKOS, S.; ROBERT, D.; FORTIER, L. An Individual based model of Artic cod (*Boreogadus saida*) early life in Artic polynas: II. Length-dependent and growthdependent mortality. **Journal of Marine Systems**, v. 93, p. 39-46, 2012.

TURA, P.M.; KATSURAGAWA, M. Distribuição de ovos de *Sardinella brasiliensis* na Plataforma Continental Sudeste, uma revisão bibliográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA: OCEANOGRAFIA E POLÍTICAS PÚBLICAS, 2011, Santos, SP. **Anais...** Santos, 2011.

UMLAUF, L.; BUCHARD, H. A generic length-scale equation for geophysical turbulence models. **J. Marine Res.**, v. 61, p. 235-265, 2003.

VALENTINI, H.; CARDOSO, R. D. Análise da pesca da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*, na costa sudeste-sul do Brasil. **Atlântica Rio Grande**, v. 13 n° 1, p. 45- 54, 1991.

VAN DER LINGEN, C. D. Characterizing spawning habitat of anchovy (*Engraulis encrasicolus*), redeye round herring (*Etrumeus whiteheadi*), and sardine (*Sardinops sagax*) from CUFES sampling in the Southern Benguela. **Report of Global Ocean Ecosystem dynamics (GLOBEC)**, n. 21, p. 29-30, Special issue on GLOBEC/SPACC Workshop on characterizing and comparing the spawning habitats of small pelagic fish. January 2005.

VAZZOLER, A. E. A. e ROSSI – WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. *Sardinella brasiliensis*: tipo de desova, fecundidade e potencial reprodutivo relativo. I. Área entre 23°40'S e 24°20'S, Brasil. **Bol. Inst. oceanogr.** São Paulo, v. 25, p. 131 – 155. 1976.

VOLKOV D. L.; LARNICOL, G.; DORANDEU, J. Improving the quality of satellite altimetry data over continental shelves, **J. Geophys. Res.**, v. 112, (C06020). 2007.

WEIBULL W. A statistical distribution function of wide applicability, **J. Appl. Mech**, v. 18, p. 293-296, 1951.

WAINER, I.; TASCETTO, A. S. Climatologia na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). Diagnóstico para os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do programa REVIZEE. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKY, C. L. D. B. (Ed.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, cap. 2, p. 121-160. 2006.

WALTON, C. C. Nonlinear Multichannel Algorithms for Estimating Sea Surface Temperature with AVHRR Satellite Data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 27, p.115-124, 1998.

WESSEL, P.; SMITH, W. H. F. New, improved version of Generic Mapping Tools released. **EOS. Trans AGU**, v. 79, n.47, p. 579, 1998.

YONEDA, N. T. **Criação em laboratório de larvas da sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis* e estudo dos incrementos diários nos otólitos**. 1987. 92p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 1987.

ZAGAGLIA, C. R.; HAZIN, F. V. H. Sensoriamento remoto aplicado à pesca. In: SOUZA, R. B. (Ed.). **Oceanografia por satélite**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. cap. 18, p. 276-285.

ZAMBRONI DE SOUZA, A. C.; PINHEIRO. C. A. M. **Introdução a modelagem, simulação de sistemas dinâmicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 166p.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. 4. Ed. New Jersey: Prentice Hall, p.911, 1999.

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.