



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.09.16.38-TDI

DETERMINAÇÃO DA CONECTIVIDADE DE AMBIENTES RECIFAIS UTILIZANDO MODELAGEM BIOFÍSICA

Andressa D'Agostini Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 28 de abril de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G4R9GP>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.09.16.38-TDI

DETERMINAÇÃO DA CONECTIVIDADE DE AMBIENTES RECIFAIS UTILIZANDO MODELAGEM BIOFÍSICA

Andressa D'Agostini Silva

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 28 de abril de 2014.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3G4R9GP>>

INPE
São José dos Campos
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Andressa D'Agostini.

Si38d Determinação da conectividade de ambientes recifais utilizando modelagem biofísica / Andressa D'Agostini Silva. – São José dos Campos : INPE, 2014.

xxiii + 85 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.09.16.38-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

Orientadores : Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi.

1. Dispersão larval. 2. Peixe recifal. 3. Modelagem hidrodinâmica. 4. Modelo baseado no indivíduo. 5. Energia cinética total. I.Título.

CDU 528.88:551.46



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 / SJCampos - SP

Dr. Luciano Ponzi Pezzi



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. João Antonio Lorenzetti



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Carlos Eduardo Leite Ferreira



Convidado(a) / UFF / Niterói - RJ

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Andressa D'Agostini Silva**

São José dos Campos, 28 de Abril de 2014

À grande mulher que sempre me inspirou
e incentivou a seguir meus sonhos:
minha mãe, Iara Ana D'Agostini.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro concedido na forma de bolsa para a realização do mestrado, e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudo e de utilização de suas instalações.

Aos meus orientadores Dr. Douglas F. M. Gherardi e Dr. Luciano P. Pezzi, pela confiança em mim depositada, pelo suporte nos momentos mais difíceis e por todos os ensinamentos. Muito obrigada!

Às pessoas que de alguma forma contribuíram para este trabalho, em especial à Msc. Daniela F. Dias, pela ajuda com os modelos (ROMS e Ichthyop), ao Dr. Phillipe Verley pelos esclarecimentos sobre a implementação do Ichthyop, ao Rafael Soutelino pelos esclarecimentos sobre o ROMS, e ao Leandro R. Freitas pelas conversas esclarecedoras sobre nossas dissertações.

Agradeço à companhia e aos bons momentos que passei com os colegas da sala 37: Carina, Dani, Cláudia, Luiz Moraes, Catarina, Regiane e Mainara. Aos grandes amigos que fiz aqui no mestrado, que sempre me ajudaram e deixaram os dias no INPE mais alegres, em especial: Luiz, Carlos Leandro, Rafaela, Leandro, Veronika, Annia e Ricardo. Aos amigos queridos com quem dividi moradia, bons momentos e aprendizados: Karinne, Vagner, Liliam e Vivi.

Aos bons e velhos amigos que fazem parte da minha trajetória, em especial à Bárbara, Vinícius, Samira e Milton. Ao meu companheiro, amigo, parceria para todas as horas, Thiago Cruz, por sempre me apoiar e permanecer presente na minha vida, mesmo longe, todos esses anos.

Ao meu padrasto Ildefonso José Schroeber (*in memoriam*) por todo apoio quando resolvi seguir meu sonho de me tornar oceanógrafa. E por fim agradeço imensamente a minha família, minha mãe Iara Ana, e meus irmãos Maurício e Raquel, obrigada pelo carinho, apoio, bons momentos, e se fizerem presentes mesmo longe.

RESUMO

O intercâmbio de indivíduos entre populações é definido de conectividade. Este é um processo importante na manutenção populacional, especialmente em habitats que sofrem impactos antrópicos como os ambientes recifais. Para a análise da conectividade desses ambientes marinhos na plataforma continental leste (PCL) do Brasil, foi empregado um modelo numérico hidrodinâmico (ROMS) e um modelo baseado no indivíduo (MBI – Ichthyop) utilizando como grupo funcional os badejos do gênero *Mycteroperca*. Primeiramente a representatividade do modelo ROMS foi avaliada por meio da comparação com dados de sensores remotos. Os dados do ROMS demonstraram boa concordância e consistência quando comparados com as observações de dados de satélite, sendo adequados para inserção como forçantes físicas no MBI. O experimento no MBI foi realizado entre os meses de abril a setembro com uma desova por mês, e conduzido por seis anos (2002 - 2007), considerando cinco áreas em Unidades de Conservação (UCs) na PCL. Os resultados indicam que a conectividade entre os ambientes recifais é direcional ocorrendo das áreas do norte para as áreas do sul da PCL. Além disso, foi observada variabilidade inter e intra-anual dos parâmetros de recrutamento e autorrecrutamento das larvas de badejos que apresentam correlação negativa com a energia cinética total (ECT) ocorrente no ambiente marinho. De forma que, quanto maior a ECT, maior a advecção das larvas para fora da plataforma continental e assim menor o recrutamento das mesmas, e vice-versa. A conectividade entre as UCs analisadas é acentuada e direcional, ocorrendo de norte para sul. Além disso, existem áreas que atuam predominantemente como sumidouro como é o caso da UC dos Abrolhos e da Ponta da Baleia, e outras áreas como fonte de indivíduos tal como a UC de Corumbau.

MODELING CONNECTIVITY BETWEEN REEF AREAS

ABSTRACT

Connectivity is defined as exchanges of individuals between populations, being an important process in population dynamics. Especially in habitats vulnerable to human activities as coral reef areas. The connectivity between reef areas in East Continental Platform (ECS) of Brazil was analyzed with a hydrodynamic model (ROMS) and an Individual Based Model (IBM - Ichthyop), using the groupers (*Mycteroperca* genus) as functional group. First, hydrodynamic model evaluation was performed by comparison with satellite data. ROMS solutions demonstrated good agreement and consistency to be used as physical forcing on Ichthyop. IBM experiment was realized with one egg release by month from April to September in six years period (2002 - 2007) considering five areas in Marine Protected Areas (MPAs) in ECS. The results suggest a directional connectivity between MPAs, from north MPAs to south MPAs. Furthermore, an intra-annual variability of recruitment and self-recruitment of grouper larvae was observed, as well as a negative correlation between these population parameters and the total kinetic energy (TKE) present on the region. In other words higher the TKE, higher the larvae advection to offshore regions, and lower the total recruitment from coastal MPAs. MPAs connectivity in EBB is high and directional, occurring from north to south. Furthermore, exist predominant areas acting as "sink", such like Abrolhos MPA and Ponta da Baleia MPA, and "source" areas, as Corumbau MPA.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Água Costeira
ACS	Água Circumpolar Superior
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
APA	Área de Proteção Ambiental
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
AT	Água Tropical
ASM	Altura de Superfície do Mar
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AVISO	Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data
BICSE	Bifurcação da Corrente Sul Equatorial
BMI	Modelo Baseado no Indivíduo
CB	Corrente do Brasil
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CSE	Corrente Sul Equatorial
CSM	Correntes de Superfície do Mar
ECT	Energia Cinética Total por unidade de massa
ESR	European Remote Sensing
GHRSSST	Group for High-Resolution Sea Surface Temperature
IUCN	International Union for Conservation of Nature
MARS	Model for Applications at Regional Scale
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
MPT	Matriz de Probabilidade de Transição
NASA	National Aeronautics Space Administration
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NEMO	Nucleus for European Modelling of the Ocean
NLSST	Non Linear Sea Surface Temperature
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OSCAR	Ocean Surface Currents Analyses

PODAAC	Physical Oceanography Distributed Archive Center
PCL	Plataforma Continental Leste
PNM	Parque Nacional Marinho
POM	Princeton Ocean Model
ROMS	Regional Ocean Modeling System
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TIROS	Television Infra-Red Observational Satellites
TMI	Tropical Rainfall Measuring Mission's - TRMM - Microwave Imager
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
UC	Unidade de Conservação
VA	Vórtice de Abrolhos
VI	Vórtice de Ilhéus
VRC	Vórtice Royal-Charlotte
VV	Vórtice de Vitória
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1– Representação em 3-D da complexidade das massas de água provenientes de diferentes fontes que formam as correntes de contorno oeste da costa brasileira.....	7
Figura 2.2– Representação esquemática das principais feições topográficas e oceanográficas da região (VI- Vórtice de Ilhéus, VRC – Vórtice Royal-Charlotte, VA – Vórtice de Abrolhos, VV – Vórtice de Vitória).	8
Figura 2.3– A energia emitida de um corpo negro em diferentes temperaturas em diferentes comprimentos de onda.	12
Figura 2.4–O espectro eletromagnético, detalhando as regiões tipicamente utilizadas por instrumentos de sensoriamento remoto do oceano. Fonte: adaptado de Robinson (2010).	12
Figura 2.5– Relação entre diferentes distâncias utilizadas na altimetria. Fonte: adaptado de Robinson, 2010.	15
Figura 2.6–Badejo-quadrado (<i>Mycteroperca bonaci</i>).	21
Figura 3.1 - Ambientes recifais da costa da Bahia associados às regiões das UCs consideradas nesse estudo (polígonos delineados em vermelho escuro). Fonte: adaptada de Leão et al. (2008).	24
Figura 3.2–Mapa da área de estudo com detalhe no mapa B para as áreas de desova (polígonos delineados em verde claro) e as áreas de recrutamento (polígonos em azul marinho), incluindo as Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas (polígonos delineados em vermelho escuro). O mapa A representa o domínio do modelo hidrodinâmico utilizado.	25
Figura 3.3 - Coordenadas sigma da grade utilizada nos experimentos com corte vertical na latitude 18°S.	32
Figura 3.4– Fluxograma metodológico realizado em três fases: (A) configuração e execução do modelo hidrodinâmico ROMS, (B) configuração e execução do modelo baseado no indivíduo <i>Ichthyop</i> , e (C) análises estatísticas e descritivas dos resultados da modelagem biofísica.	42
Figura 4.1– Médias sazonais da TSM do ROMS e do AVHRR em perfil longitudinal da latitude 13°.	44
Figura 4.2– Médias sazonais da TSM do ROMS e do AVHRR em perfil longitudinal da latitude 18°.	44
Figura 4.3– Média sazonal de TSM no verão, em °C, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).	45
Figura 4.4– Média sazonal de TSM no inverno, em °C, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).	46
Figura 4.5– Média anual de TSM, em °C, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).	47

Figura 4.6– Média sazonal de ASM no verão, em metros, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A) e para o AVISO (B). Notar a diferença na escala de cores.	48
Figura 4.7– Média sazonal de ASM no inverno, em metros, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A) e para o AVISO (B). Notar a diferença na escala de cores.	48
Figura 4.8– Média sazonal das componentes zonal (U) e meridional (V) no verão, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (U_r , V_r) e do OSCAR (U_o , V_o).	50
Figura 4.9– Média sazonal das componentes zonal (U) e meridional (V) no inverno, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (U_r , V_r) e do OSCAR (U_o , V_o).	50
Figura 4.10– Média anual dos campos de corrente, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (A) e do OSCAR(B).	51
Figura 4.11– Perfis verticais de temperatura e salinidade na latitude 20°S de médias anuais (Anual T, Anual S) entre os anos 2000 e 2007, e sazonais no verão (Verão T, Verão S) e no inverno (Inverno T, Inverno S).....	52
Figura 4.12– Mortalidade por temperatura de ovos e larvas de badejo nos 36 experimentos realizados.....	55
Figura 4.13– Recrutamento e Autorrecrutamento de larvas de badejo nos 36 experimentos realizados para as áreas de recrutamento pertencente as UCs: Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (BCA), Recife de Fora (RFO), Corumbau (COR) e Abrolhos (ABR).	56
Figura 4.14– Mediana e quartis de recrutamento intra-anual (esquerda) e interanual (direita) de larvas de badejo.	57
Figura 4.15 – Mediana e quartis de autorrecrutamento intra-anual (esquerda) e interanual (direita) de larvas de badejo.	58
Figura 4.16– Mediana e quartis de recrutamento (esquerda), autorrecrutamento (direita) e a contribuição para o recrutamento proveniente de cada Unidade de Conservação.....	59
Figura 4.17– Dispersão larval (esquerda) e Energia Cinética Total (direita), em $m^2.s^{-2}$, com os vetores de corrente, nos meses de maio (superior) e setembro (inferior) no ano de 2007. As áreas pontilhadas englobam os locais de desova e recrutamento.	61
Figura 4.18– Energia Cinética Total (direita), em $m^2.s^{-2}$, e vetores de corrente de médias anuais de 2002 a 2007. As áreas pontilhadas englobam os locais de desova e recrutamento.	62
Figura 4.19 – Médias anuais da Energia Cinética Total (multiplicada por 5 para melhor visualização - verde), em $m^2.s^{-2}$, Velocidades Zonais (vermelho) e Meridionais (azul), em $m.s^{-1}$, recrutamento total (recrutamento + autorrecrutamento - pontilhado em preto).....	64
Figura 4.20– Recrutamento e Autorrecrutamento em função da Energia Cinética Total, em $m^2.s^{-2}$	64
Figura 4.21 – Médias mensais da Energia Cinética Total, em $m^2.s^{-2}$, pela trajetória total das larvas de badejos, em km.	65

Figura 4.22– Dispersão de ovos e larvas de badejos nos meses de abril a setembro no ano de 2002.	68
Figura 4.23–Dispersão de ovos e larvas de badejos nos meses de abril a setembro no ano de 2007.	68
Figura 4.24 – Porcentagem de conectância entre áreas nos experimentos realizados.	69
Figura 4.25– Medianas e percentis da conectância entre áreas.	70
Figura 4.26 – Matrizes de Probabilidade de Transição (MPTs) entre os locais de desova (fonte) e de recrutamento, anual (esquerda) e mensal (direita).	71

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1– Informações dos dados de sensoriamento remoto.....	27
Tabela 3.2–Informações dos dados de reanálise utilizadas para forçantes atmosféricas e dados de contorno do modelo hidrodinâmico.....	28
Tabela 3.3 – Experimentos realizados no modelo hidrodinâmico ROMS.....	33
Tabela 3.4– Resumo dos experimentos executados no Ichthyop.	38
Tabela 4.1– Resultados do teste estatístico Kruskal-Wallis interanual e intra-anual, e entre Unidades de Conservação para os parâmetros analisados (nível significância 5%, * $p < 0,05$).	60

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	4
1.1.1. Objetivo geral.....	4
1.1.2. Objetivos específicos	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Caracterização oceanográfica da Plataforma Continental Leste.....	5
2.2. Sensoriamento Remoto dos Oceanos	10
2.2.1. Temperatura de Superfície do Mar (TSM)	10
2.2.2. Altura de Superfície do Mar (ASM).....	14
2.3. Conectividade entre populações e a Modelagem Biofísica	16
2.4. Biologia reprodutiva dos Badejos (Família Epinephelidae, Gênero Mycteroperca)	19
3. DADOS E METODOLOGIA	23
3.1. Área de Estudo.....	23
3.2. Dados de Sensores Remotos.....	25
3.3. Dados de Reanálise	27
3.4. Modelo Numérico Oceânico (ROMS)	29
3.4.1. Configuração da grade.....	31
3.4.2. Experimento Hidrodinâmico	32
3.4.3. Análise da representatividade do modelo hidrodinâmico.....	33
3.4. Modelo de transporte de ictioplâncton (Ichthyop)	34
3.5.1. Experimentos com o MBI	36
3.5.2. Técnicas de análise dos experimentos.....	38
3.5. Fluxograma metodológico	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

4.1. Desempenho do Modelo Hidrodinâmico	43
4.1.1. Temperatura de Superfície do Mar (TSM)	43
4.1.2. Altura de Superfície do Mar (ASM)	47
4.1.3. Correntes Superficiais do Mar (CSM)	49
4.1.4. Massas de água	51
4.1.5. Síntese oceanográfica	53
4.2. Análise do modelo biofísico	54
4.2.1. Variabilidade interanual e intra-anual da dispersão de ovos e larvas	54
4.2.2. Relação da energia cinética total e o recrutamento das larvas de badejos	60
4.2.3. Padrões de dispersão espacial de ovos e larvas de badejos	65
4.2.4. Conectividade entre Unidades de Conservação Marinhas	69
4.2.5. Síntese ecológica	72
5. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes recifais são construídos por corais e algas calcárias e apresentam alta diversidade de espécies, implicando em grande importância ecológica. Dos ecossistemas marinhos, os recifes de corais são dos que mais sofre impactos antrópicos no mundo (HALPERN et al., 2008). No Brasil, espécies coralíneas ocorrem do Estado do Maranhão à Santa Catarina, com limitação ao norte no Rio Amazonas devido ao grande aporte fluvial, e ao sul pela temperatura da água. Já as formações de recifes de corais ocorrem em manchas do Maranhão até o sul da Bahia representando as únicas formações recifais do Atlântico Sul (LEÃO et al., 2003). Porém, esses ambientes não estão, necessariamente, isolados, podendo haver intercâmbio de indivíduos entre populações marinhas, especialmente nos estágios iniciais de vida de diversas espécies recifais (JAMES et al., 2002; DIBACCO et al., 2006). Esse processo é denominado conectividade e está relacionado com a dinâmica entre populações (CROOKS; SANJAYAN, 2006). Quando a conectividade entre populações ocorre de maneira contínua (no tempo e no espaço), de modo a contribuir para a manutenção e sobrevivência das mesmas, elas são definidas como uma metapopulação (LEVINS, 1969; HANSKI; SIMBERLOFF, 1997).

O estudo do intercâmbio de indivíduos entre populações marinhas, assim como os fatores determinantes deste processo, contribui para o entendimento da dinâmica populacional, da estrutura genética de populações e da biogeografia das espécies. A conectividade entre as populações de uma espécie marinha pode ser detectada por análises genéticas em indivíduos adultos (e. g. CRAIG et al., 2007), por rastreamento de marcadores naturais ou artificiais em larvas (e. g. THORROLD et al., 2002), ou por simulações em modelos biofísicos que reproduzam as condições de dispersão dos organismos nos primeiros estágios de vida (GRIMM; RAILSBACK, 2004).

A avaliação da conectividade por modelagem biofísica utiliza um modelo hidrodinâmico e um modelo para simulação da dispersão de indivíduos que concilie os parâmetros físicos (soluções do modelo hidrodinâmico) e os

parâmetros biológicos (e. g. biologia reprodutiva) da espécie analisada. Neste tipo de estudo é crucial que o modelo hidrodinâmico represente bem as condições observadas no ambiente (LACROIX et al., 2009). Para avaliar sua representatividade são comumente utilizados dados *in situ* (e. g. boias e cruzeiros), e/ou dados de sensoriamento remoto. Muitos autores utilizam dados de sensores remotos na avaliação de modelos hidrodinâmicos, comparando dados como de temperatura de superfície do mar - TSM (SILVA et al., 2009; DUFOIS et al., 2012) e altura de superfície do mar - ASM (IVANOV et al., 2009, LEMÁRIE et al., 2011; REZENDE et al., 2011). O uso de dados de satélite apresenta vantagens tais como uma visão bidimensional sinótica dos oceanos, a alta resolução espacial e temporal. Além disso, os dados de satélite possibilitam a construção de séries de dados com consistência espacial e em longos períodos de tempos (ROBINSON, 2010), fatores esses que contribuem para uma melhor avaliação dos modelos hidrodinâmicos.

Um tipo de modelo comumente utilizado para simulação de dispersão larval é o Modelo Baseado no Indivíduo (MBI ou *Individual Based Models* – em inglês) (PELIZ et al., 2007; ANDRELLO et al. 2013; CUIF et al., 2014). Este modelo possibilita a simulação da dispersão de ovos e larvas considerando características biológicas da espécie, como temperatura letal, locais de desova e a migração nictemeral (comportamento que ocorre no início do dia, quando as larvas se deslocam a maiores profundidades para evitar os predadores; GALLEGO; NORTH et al., 2009). Os MBIs possibilitam determinar relações entre as características da população em nível de indivíduo com a dinâmica do ambiente em que vivem (GRIMM; RAILSBACK, 2004). Também permitem estudos da dinâmica entre populações, como por exemplo, analisar as proporções de recrutamento entre elas (COWEN et al., 2006). Além disso, através da modelagem biofísica é possível realizar análises da eficiência do design e dos planos de manejo de áreas de proteção marinha (BOTSFORD et al. 2009; ANDRELLO et al., 2013). A utilização de MBIs no estudo dos aspectos populacionais e de manejo aqui apresentados oferece certas vantagens em comparação com coletas destas informações adquiridas *in situ*,

pois as mesmas geralmente ocorrem de forma pontual e levam longos prazos para serem obtidas.

Para análise da conectividade com o uso da modelagem biofísica deve se utilizar uma espécie ou grupo funcional que apresente relevância ecológica no ambiente, e que haja conhecimentos prévios da sua biologia reprodutiva. Os badejos (Família Epinephelidae, Gênero *Mycteroperca*) representam um grupo funcional que satisfaz esses requisitos. Muitas espécies de badejo habitam tipicamente os ambientes recifais, apresentam ampla distribuição geográfica e tem função importante como predadores de topo de cadeia (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980). As populações de badejos sofrem grande pressão da pesca mundial, e, além disso, apresentam aspectos biológicos que as tornam naturalmente vulneráveis à pesca (tamanhos grandes, alta longevidade, baixa taxa de crescimento, etc) (BENDER et al. 2013b). Segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (*International Union for Conservation of Nature* - IUCN), diversas espécies de badejos e garoupas se encontram em decréscimo populacional (e.g. Badejo – *Mycteroperca bonaci*) ou ameaçadas de extinção (e.g. Mero, *Epinephelus itajara*). Um estudo realizado com diversas gerações de pescadores na região de Abrolhos constatou que há quatro décadas os peixes recifais da região como *M. bonaci* e *Epinephelus morio*, apresentavam maior abundância e tamanho de pesca (BENDER et al., 2013a). Portanto, os badejos representam um grupo ecologicamente relevante nos ambientes recifais. Estudos para análise da conectividade entre Unidades de Conservação (UCs) que abrigam populações de badejos são necessários para a conservação destes peixes e do seu habitat.

O presente trabalho avalia a conectividade entre ambientes recifais de Unidades de Conservação marinhas e costeiras ao longo do litoral da Bahia, localizada na Plataforma Continental Leste (PCL) brasileira. Para tanto foi utilizado um modelo que considera as características biológicas dos badejos e as condições hidrodinâmicas do ambiente. A avaliação da conectividade entre esses ambientes contribui para melhor entendimento ecológico das populações

de badejos e de outras espécies com desova pelágica, dos aspectos que regem possíveis padrões de conectividade e da dinâmica entre Unidades de Conservação, promovendo informações para o manejo ambiental e a gestão pesqueira.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral determinar os padrões de conectividade entre ambientes recifais, e analisar os aspectos da circulação hidrodinâmica que os regem ao longo da Plataforma Continental Leste Brasileira.

1.1.2. Objetivos específicos

- Avaliar a representatividade das soluções do modelo hidrodinâmico na área de estudo com dados de sensores remotos;
- Testar se há variabilidade significativa inter e intra-anualmente quanto aos aspectos de mortalidade por temperatura, autorrecrutamento e recrutamento, assim como entre diferentes áreas de desova;
- Analisar padrões espaciais de dispersão dos ovos e larvas de badejos e sua relação com a circulação oceânica regional;
- Determinar se existem Unidades de Conservação que atuam como áreas fonte e/ou sumidouro de indivíduos;
- Avaliar a conectividade entre as Unidades de Conservação e discutir seus impactos sobre a conservação da biodiversidade na região.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica foi estruturada em quatro tópicos nos quais se baseiam este trabalho. Primeiramente é realizada uma caracterização oceanográfica da região de estudo, a Plataforma Continental Leste (Seção 2.1). Em seguida é feita uma descrição dos dados de sensoriamento remoto dos oceanos comumente utilizados para análise do desempenho de modelos hidrodinâmicos (Seção 2.2), são eles: a temperatura de superfície do mar (Seção 4.2.1), e a altura de superfície do mar (Seção 4.2.2). Na Seção 2.3 é discutido o conceito de conectividade e seu estudo através da modelagem biofísica. E por fim, é realizada uma caracterização do grupo-alvo, os badejos, para o experimento com modelagem biofísica realizado neste estudo (Seção 2.4).

2.1. Caracterização oceanográfica da Plataforma Continental Leste

A Plataforma Continental Leste (PCL) Brasileira se estende da Baía de todos os Santos - BA até Cabo Frio - RJ. Esta classificação baseia-se principalmente na sua largura, morfologia costeira e cobertura sedimentar, e foi inicialmente proposta pelo geógrafo Silveira em 1964, e posteriormente modificada por Martins e Coutinho (1981) e Villwock (1994). A PCL apresenta uma complexa estrutura da plataforma continental, que é possível de ser observada na Figura 2.2. A costa norte do Estado da Bahia tem uma das plataformas continentais mais estreitas (média de 17 km) com somente 10 km de extensão em algumas regiões. Em compensação ao sul de 15°S, a plataforma continental se expande em dois grandes bancos. O Banco Royal Charlotte apresenta um alargamento da plataforma de até 110 km, e o Banco dos Abrolhos com um alargamento de plataforma que excede 200 km na altura da cidade de Caravelas em aproximadamente 18°S de latitude (KNOPPERS, et al., 1999; NONAKA et al., 2000; PEREIRA et al. 2005). Além disso, há uma sequência de montes submarinos de grande extensão (950km) na latitude 20,5°S denominada de Cadeia Vulcânica de Vitória-Trindade (MOTOKI et al. 2012).

A massa de água presente na região mais rasa de plataforma é a Água Costeira caracterizada por altas temperaturas e menores salinidades devido ao aporte fluvial. Já na porção superficial adjacente a plataforma predomina a Água Tropical (AT). Esta massa de água é formada pela intensa radiação solar e pelo excesso de evaporação relativamente à precipitação, apresentando assim temperaturas e salinidades mais altas ($T > 20^{\circ}\text{C}$ e $S > 36$) (STRAMMA et al., 1990; CASTRO; MIRANDA, 1998). Abaixo desta encontra-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), formada pelo afundamento das águas na região da convergência Subtropical (STRAMMA; ENGLAND, 1999). Esta água é rica em nutrientes e tem limite nos mínimos de oxigênio próximo a 500 m de profundidade (STRAMMA et al., 1990) com menor temperatura ($6^{\circ}\text{C} < T < 20^{\circ}\text{C}$) e salinidade ($34,6 < S < 36$) que a AT (MIRANDA, 1985; CASTRO; MIRANDA, 1998). Nas regiões mais profundas adjacentes a PCL em aproximadamente 700 a 800 m de profundidade, encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA) caracterizada por concentração de oxigênio máxima e salinidade mínima. A Água Circumpolar Superior (ACS) ocorre em profundidades de 1000 a 1200 m apresentando valores mínimos de temperatura e oxigênio. E por fim a ocorrência da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) com valores máximos de oxigênio e salinidade (STRAMMA et al., 1990). Na Figura 2.1 há uma representação esquemática da presença destas massas de água na PCL e regiões adjacentes.

A corrente atuante na PCL é a Corrente do Brasil (CB), a qual segue a plataforma continental, se afastando da costa nos alargamentos da mesma, podendo haver meandramentos em direção à costa (Figura 2.2). A Corrente do Brasil (CB) tem origem da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE) que ocorre entre 7°S e 20°S , se dividindo em duas correntes de contorno oeste: a CB e a Corrente Norte do Brasil (CNB) (STRAMMA et al., 1990). O trabalho de Rodrigues et al. (2007) realizado com modelagem numérica sugere que a BiCSE nos primeiros 200 m, apresenta variabilidade sazonal associada as mudanças da tensão de cisalhamento do vento local, por sua vez ocasionadas pelo deslocamento anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Outro trabalho utilizando modelagem numérica com grades aninhadas também

constatou o deslocamento latitudinal da BICSE, associado aos regimes de vento (REZENDE et al., 2011). A BICSE ainda apresenta uma estratificação vertical, sendo originada a aproximadamente 15°S na superfície (até 150 m de profundidade), em 20°S a profundidades entre 150 e 500 m, e em 25°S a profundidades entre 500 e 1000 m (Figura 2.1) (STRAMMA; ENGLAND, 1999).

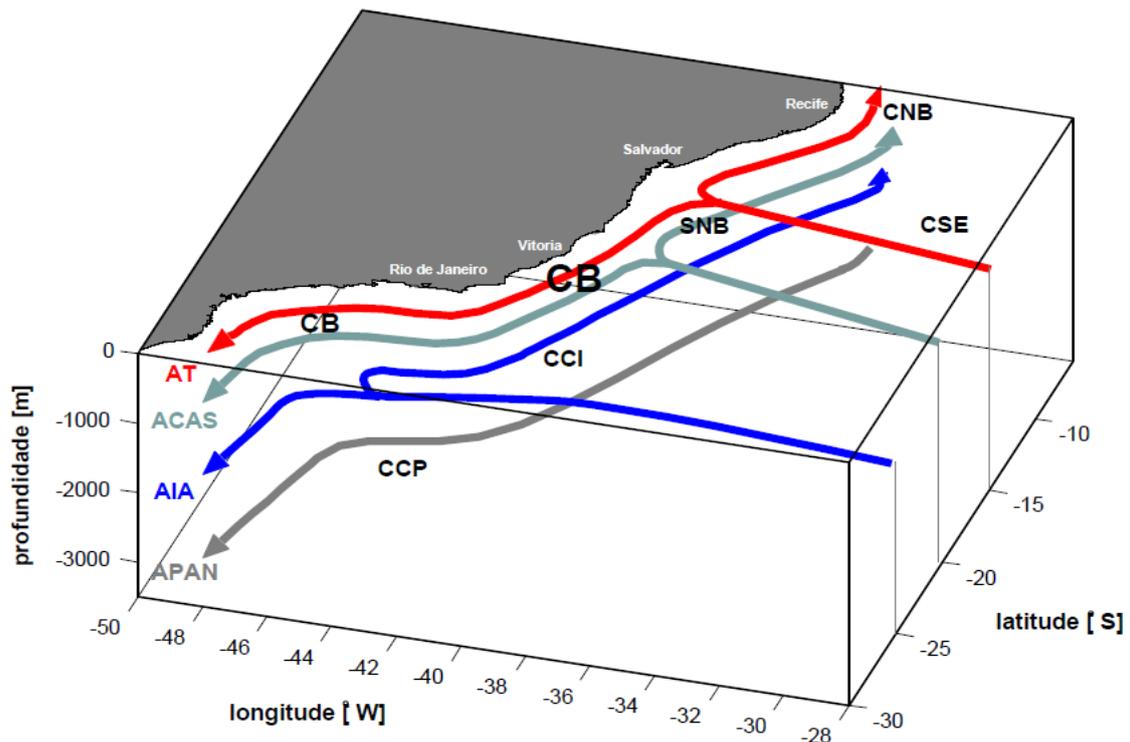


Figura 2.1– Representação em 3-D da complexidade das massas de água provenientes de diferentes fontes que formam as correntes de contorno oeste da costa brasileira.
Fonte: Soutelino (2012).

Ao longo da borda da PCL a CB flui no sentido sul promovendo a ocorrência de vórtices entre as latitudes 15°S e 21°S. Estas feições são o Vórtice ciclônico de Vitória (VV) localizado por volta de 21°S (SCHMID et al. 1995), e os vórtices anticiclônicos recentemente denominados por Soutelino et al. (2013) de Vórtice de Abrolhos (VA) ocorrente em 19°S, Vórtice Royal-Charlotte (VRC) em 17°S e o Vórtice de Ilhéus (VI) em 15,5°S (Figura 2.2). Soutelino et al. (2013) utilizando modelagem numérica verificaram que há uma influência conjuntado cisalhamento da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) e da complexa topografia da região (Bancos dos Abrolhos e Royal Charlotte) na formação dos vórtices

VI, VRC e VA. Com metodologia similar o trabalho de Rezende et al. (2011) também verificou a presença de vórtices ciclônicos e anticiclônicos na região. Essas feições de mesoescala apresentam características e comportamentos diferenciados, como é o caso do VV, que uma vez formado ao sul da cadeia Vitória-Trindade, pode ser reabsorvido pela CB, ou migrar para o norte e interagindo com o Vórtice de Abrolhos (ARRUDA et al, 2013).

A complexidade topográfica da região atua como uma barreira geográfica que contribui para a formação de vórtices e meandramentos, e também gera eventos de ressurgência ao longo da quebra da plataforma continental (CASTRO; MIRANDA, 1998; KNOPPERS et al., 1999). Além disso, a cadeia Vitória-Trindade em aproximadamente 20,5°S força o escoamento da CB por uma passagem mais estreita próximo à costa (EVANS; SIGNORINI, 1983, SILVEIRA, 2000).

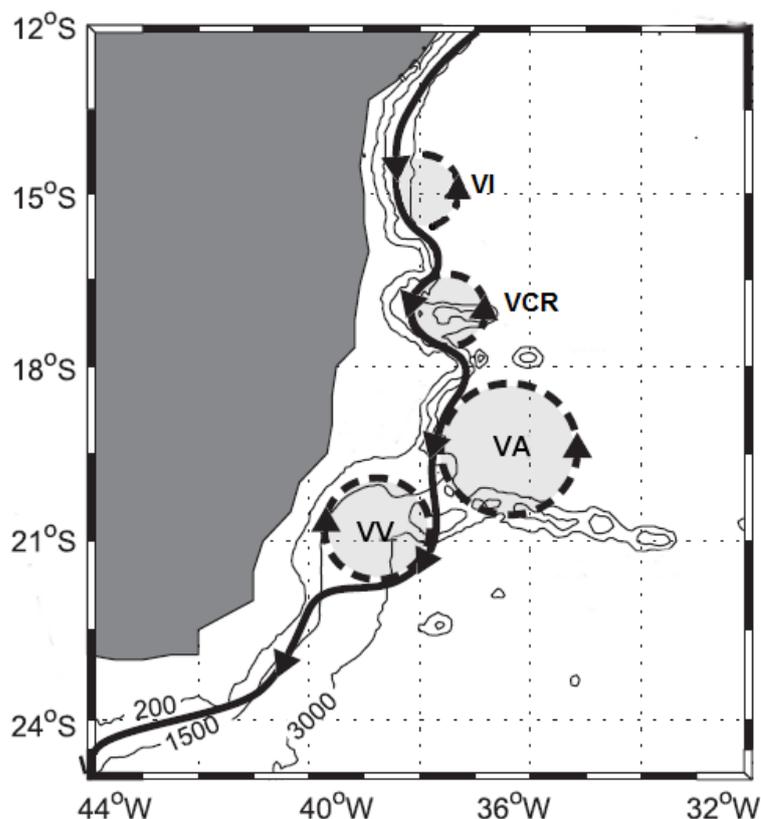


Figura 2.2– Representação esquemática das principais feições topográficas e oceanográficas da região (VI- Vórtice de Ilhéus, VRC – Vórtice Royal-Charlotte, VA – Vórtice de Abrolhos, VV – Vórtice de Vitória).
Fonte: modificada de Arruda et al. 2013.

Na porção interna dos Bancos dos Abrolhos e Royal Charlotte os padrões dos regimes de corrente estão estreitamente relacionados com a topografia do local, e pela intensa influência dos padrões de vento (KNOPPERS et al., 1999, CASTRO et al., 2013). Resultados de um modelo hidrodinâmico aplicado na área costeira dos bancos indicaram que a interação da maré com a complexa topografia de fundo ocasiona ressurgências da ACAS aumentando a produtividade primária local (PEREIRA et al., 2005). Já na porção da quebra da plataforma na latitude de aproximadamente 18°S os padrões de corrente apresentam uma correlação menor com o regime de ventos, sendo regidas por outros mecanismos, provavelmente pela CB (CASTRO et al., 2013). Da mesma forma, o estudo de Amorim et al. (2012) na região entre 8°S e 18°S (centrado em 13°S), verificou que a porção mais externa da PCL é governada pela dinâmica de meso e larga escala, e a porção mais costeira da plataforma continental é predominantemente influenciada pelo regime de ventos.

A temperatura da superfície do mar na região de Abrolhos varia entre 25 – 27°C no verão e 22 – 24°C no inverno. Na região mais ao norte da Bahia a TSM tem menor variância sazonal com médias no verão de 27 – 28°C no verão e 25 – 26°C no inverno. O gradiente vertical de temperatura nessas regiões é bem fraco, normalmente 1°C de variação em 50 m (CASTRO; MIRANDA, 1998). Na PCL a predominância da direção dos ventos é de leste e nordeste durante a primavera e o verão (outubro a março), e de sudeste durante o outono e inverno (abril a setembro) (TEIXEIRA et al., 2013). Na região pode ocorrer a influência de eventos de El Niño e La Niña (El Niño Oscilação Sul - ENOS) ocorrentes no Pacífico e do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que afetam o clima do Atlântico Sul, causando períodos de seca especialmente na costa do nordeste brasileiro (ENFIELD; MAYER, 1997; SARAVANAN; CHANG, 2000). Pezzi e Cavalcanti (2001) através de um experimento numérico no Atlântico Sul testaram a influência dos eventos de La Niña e El Niño, e do dipolo do Atlântico (anomalias de TSM positivas (negativas) no Atlântico Tropical Norte e negativas (positivas) no Atlântico Tropical Sul) na estiagem da América do Sul. De acordo com estes autores o período de seca no nordeste brasileiro é predominantemente influenciado pelo

ENOS em eventos de El Niño, e pelo efeito do dipolo do Atlântico em eventos de La Niña.

2.2. Sensoriamento Remoto dos Oceanos

Dados de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados na avaliação do desempenho de modelos hidrodinâmicos. Dentre os produtos utilizados estão dados de TSM como AVHRR (DUFOIS et al., 2012, DIAS et al., 2014), MODIS (DUFOIS et al., 2012), GODAE *High Resolution SST Pilot Project* (GHRSSST-PP) (SILVA et al., 2009), e dados altimétricos como o do AVISO (IVANOV et al., 2009, LEMÁRIE et al., 2011, REZENDE et al., 2011, DIAS et al., 2014). Nesta seção são descritos os dados de sensores remotos utilizados neste trabalho, para a análise do modelo hidrodinâmico, que são: temperatura de superfície do mar (Seção 2.2.1) e altura de superfície do mar (Seção 2.2.2).

2.2.1. Temperatura de Superfície do Mar (TSM)

Uma variedade de processos oceânicos pode ser estudada através das informações da temperatura de superfície do mar (TSM), tal como detecção de frentes termais e vórtices. A TSM tem grande importância na oceanografia e no estudo do clima global, pois é na porção superior dos oceanos que ocorre as trocas de calor e momentum com a atmosfera (GILL, 1982). O sensoriamento remoto possibilitou que a TSM fosse coletada globalmente e com grande resolução temporal possibilitando assim uma visão sinótica dos oceanos. O termo TSM no sensoriamento remoto pode estar associado a diferentes produtos que estimam a temperatura em diferentes profundidades, onde há distintos processos atuando. A temperatura “superfície de pele” do mar (*skin temperature*) é a camada milimétrica superior (~500µm) na qual dominam os processos de transferência de calor por condutividade e difusão entre o oceano e a atmosfera. Logo abaixo dessa camada há a TSM de “subpele” (*subskin temperature*), que é dominada pelos processos moleculares e viscosos de transferência de calor. A TSM de subpele pode ser estimada por radiômetros de micro-ondas que operam na faixa entre 6-10 GHz e que estimam a TSM da profundidade em torno de 1mm. A TSM de subsuperfície é equivalente à

chamada temperatura de balde (*bulk temperature*) estimada para profundidades maiores (geralmente entre 5 a 10 m) onde os processos turbulentos de transferência de calor são predominantes (DONLON et al., 2002). Exemplos desses produtos de TSM seriam o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) calibrado para a TSM de pele, e o produto Pathfinder do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR/Pathfinder) que estimam a TSM de subsuperfície.

A temperatura de superfície do mar pode ser estimada através de radiômetros que captam informações da região do infravermelho termal ($\sim 0,7\mu\text{m} - 1\text{mm}$) ou de micro-ondas ($\sim 1\text{mm} - 30\text{cm}$) do espectro eletromagnético. Os sensores de micro-ondas captam radiância de comprimentos de ondas da ordem de centímetros, tal como as bandas de frequência 10,65 GHz e 19,35 GHz do TMI (*Tropical Rainfall Measuring Mission's - TRMM - Microwave Imager*) correspondentes a 2,7 cm e 1,7 cm, respectivamente. A estimativa de TSM por microondas apresenta a vantagem de estar em uma janela de maior transmissão atmosférica da radiação e assim uma menor interferência da atmosfera na informação coletada (Figura 2.4). Porém, a resolução espacial da TSM estimada por radiômetros de microondas é mais grosseira ($\sim 25\text{km}$), uma vez que os mesmos coletam radiância em comprimentos de onda onde a emitância da Terra é menor (Figura 2.3).

A TSM proveniente do infravermelho geralmente utiliza a faixa espectral entre 10 e 12 μm para estimar a TSM. Nestes comprimentos de onda existem janelas atmosféricas do infravermelho termal, e é a região do espectro eletromagnético correspondente a maior radiância da Terra (centrado em de 10 μm), devido a sua temperatura média de 300K (26,8 °C) (Figura 2.3). O AVHRR também utiliza a faixa de comprimento de onda de 3,7 μm que representa uma janela atmosférica (Figura 2.3), sendo utilizado para estimativas de TSM à noite, pois esse canal sofre grande interferência da reflexão da radiância solar durante o dia (WALTON et al., 1998).

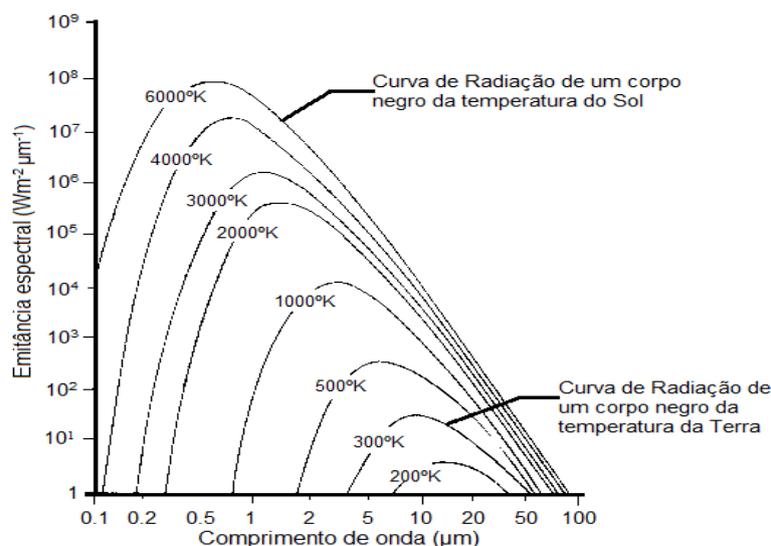


Figura 2.3– A energia emitida de um corpo negro em diferentes temperaturas em diferentes comprimentos de onda.
 Fonte: adaptado de Lillesand et al., 2008.

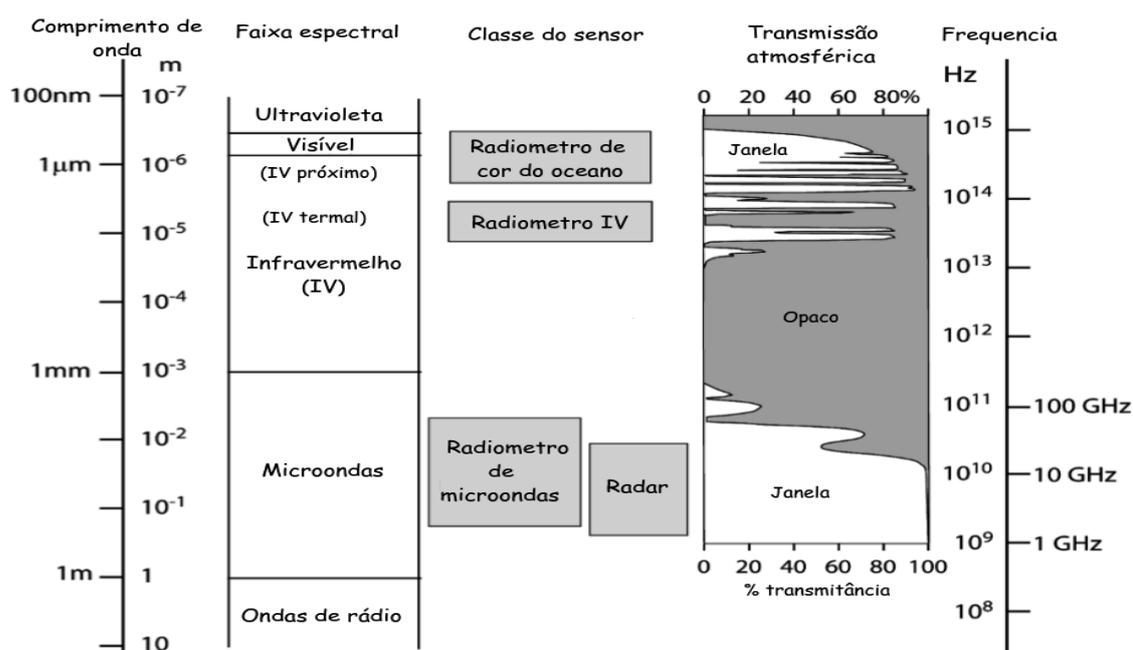


Figura 2.4–O espectro eletromagnético, detalhando as regiões tipicamente utilizadas por instrumentos de sensoriamento remoto do oceano. Fonte: adaptado de Robinson (2010).

A forma pela qual a TSM é estimada por radiômetros do infravermelho termal, se baseia na Lei de Planck, que relaciona a radiância espectral (L_λ) de um corpo com a temperatura de um corpo negro (emissor perfeito) (Equação 2.1). A água tem comportamento muito similar a de um emissor perfeito (corpo negro, emissividade igual a 1), com emissividade de 0,98 e variando pouco em

função de fatores como rugosidade do mar, temperatura e comprimento de onda (ROBINSON, 2010). Dessa forma, considera-se a superfície do mar como um corpo negro, e inverte-se a equação 2.1 com a temperatura do corpo (T) em função de L_λ e do comprimento de onda (λ) (Equação 2.2). A radiância espectral medida pelo radiômetro é inserida no cálculo da equação 2.2, e a temperatura obtida é chamada de temperatura de brilho ou temperatura aparente, correspondente ao valor da temperatura de cada pixel. Essa temperatura de brilho é a base para os algoritmos de determinação de TSM via satélite (SOUZA et al., 2005).

$$L_\lambda(T) = \frac{C_1}{\pi \lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad (2.1)$$

$$T = \frac{C_2}{\lambda \ln\left(\frac{C_1}{\pi \lambda^5 L_\lambda} + 1\right)} \quad (2.2)$$

Sendo:

L_λ : radiância espectral radiante ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$);

T: temperatura do corpo (°K);

λ : comprimento de onda (m);

C1: $3,74151 \times 10^8$ ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^4$);

C2: $1,43879 \times 10^4$ (μmK).

O algoritmo da TSM do AVHRR/Pathfinder5 é calculado com base no *Non Linear Sea Surface Temperature* (NLSST) publicado por Walton et al. (1998) (Equação 2.3). Este algoritmo adota uma estimativa inicial da TSM (TSM_{sup}), em que os coeficientes de absorção atmosférica são calculados para diferentes concentrações de vapor de água, definidos pelas diferenças entre T4 e T5 (canais 4 e 5 do AVHRR) obtidos através da equação 2.2 (KILPATRICK et al, 2001).

$$TSM_{sat} = a + bT_4 + c(T_4 - T_5)TSM_{sup} + d(T_4 - T_5)[\sec(\theta) - 1] \quad (2.3)$$

Onde:

a,b,c,d: são constantes determinadas por um ajuste de mínimos quadrados dos dados de satélite em relação a dados *in situ* (bóias, cruzeiros);

T_4 e T_5 : são temperaturas de brilho dos canais 4 e 5 do AVHRR ($^{\circ}\text{K}$);

θ : ângulo zenital do satélite;

T_{sup} : temperatura suposta para o campo real de TSM, obtida por um algoritmo linear ou combinação de dados interpolados de bases climatológicas.

A coleta de dados de TSM teve início na década de 1970, especialmente com o lançamento de satélites meteorológicos das séries Nimbus e *Television Infra Red Observational Satellites* (TIROS). Desde então, diversos sensores orbitais foram lançados, assim como inúmeros produtos de TSM têm sido gerados e disponibilizados gratuitamente para comunidade científica e civil. Como por exemplo, o *Group for High-Resolution Sea Surface Temperature* (GHRSSST) vêm desenvolvendo uma nova geração de produtos de TSM de alta resolução (menor que 10km) visando fornecer dados de TSM de qualidade para aplicações em diferentes escalas de tempo da oceanografia e meteorologia (<http://www.ghrsst.org/>).

2.2.2. Altura de Superfície do Mar (ASM)

Os dados de Altura de Superfície do Mar (ASM) permitem a extração de informações importantes no estudo dos oceanos, tais como: correntes geostróficas, ondas de gravidade, marés e geodésia marinha. Além disso, a ASM está relacionada às condições de expansão e contração térmica da coluna de água por perdas e ganhos de calor entre oceano e atmosfera.

A ASM é coletada por sensores ativos denominados radares altímetros que basicamente, emitem pulsos de radiação eletromagnética em direção à Terra e recebem o sinal de retorno. Uma vez que se conhece a velocidade da luz ($\sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$), pode-se calcular a distância ao se registrar o tempo percorrido pelo pulso emitido e recebido pelo altímetro. Assim, é possível determinar a altura (H), subtraindo-se a distância medida pelo altímetro (R_{alt}), obtida através de um nível de referência na Terra, da altura do satélite (H_{sat}) (Equação 2.4, Figura 2.5). O nível de referência da Terra é um geóide de superfície

equipotencial, ao nível do mar, do campo gravitacional efetivo da Terra, o qual incorpora as forças de gravidade e de rotação da mesma (ROBINSON, 2010).

$$h = H_{sat} - R_{alt} \quad (2.4)$$

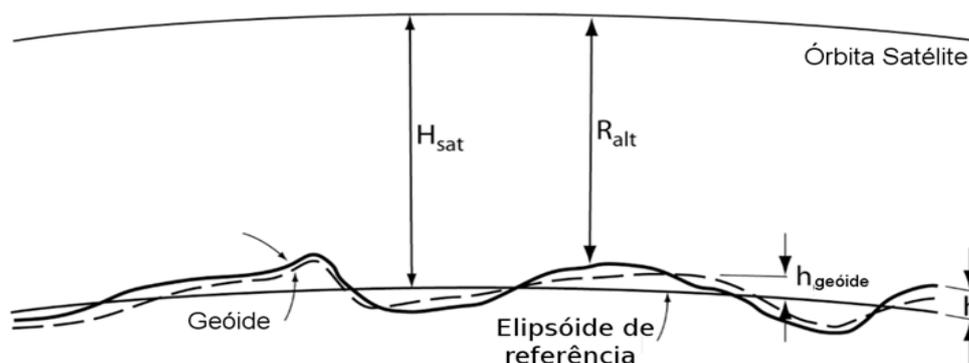


Figura 2.5– Relação entre diferentes distâncias utilizadas na altimetria.
Fonte: adaptado de Robinson, 2010.

Há uma série de fatores que devem ser considerados para se obter uma medida de ASM precisa: localização exata do satélite e da superfície de interesse (geóide de referência), forma da superfície (e.g. presença de ondas, efeito da maré) e a interferência da atmosfera na velocidade do pulso (e.g. umidade relativa do ar em cada camada) (POLITO, 2005). Assim é necessária a aplicação de correções atmosféricas, ambientais e geodésicas para se obter uma precisão da ordem de centímetros da ASM. As correções dos produtos altimétricos utilizados pela comunidade científica são disponibilizados em documentos oficiais, como exemplo o guia de usuário dos produtos do *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data* (AVISO, 1996).

Essas correções passam a ser mais complexas ainda quando os altímetros coletam dados em águas costeiras, que apresentam comportamentos diferenciados das águas oceânicas. Ao se aproximar da costa a extensão do pulso de radar começa a sofrer interferência do próprio continente, das maiores amplitudes de maré e efeito de ondas, e outras dinâmicas não lineares como as correntes geradas por ventos (ROBINSON, 2010). Atualmente existem maiores esforços para se tentar corrigir esses tipos de ruídos, e conseguir

trabalhar com altimetria costeira, muitos trabalhos neste contexto estão presentes no livro Coastal Altimetry de Vignudelli et al. (2011).

O primeiro altímetro lançado para uso na oceanografia foi o GEOS-3 em 1975, o qual operou até 1979. Ao longo das últimas duas décadas, uma série de sensores altimétricos foi lançada, dentre eles o ERS-1 (1991-1999), o ERS-2(1995-2011), o TOPEX/Poseidon (1992-2006), o Jason-1(2001-presente) e o Envisat (2002-presente).

2.3. Conectividade entre populações e a Modelagem Biofísica

O conceito de conectividade entre populações diz respeito a interações dinâmicas entre populações geograficamente separadas através do intercâmbio de indivíduos de uma população para outra, no qual quanto maior esta troca de indivíduos entre populações, maior o nível de conectividade entre elas (CROOKS e SANJAYAN, 2006). Essa terminologia surgiu de outro conceito ecológico denominado de metapopulação. A metapopulação, por sua vez, foi descrita primeiramente por Levins (1969) em ecossistemas terrestres, o qual definiu como “uma população de populações as quais localmente se extinguem e recolonizam-se”. Posteriormente esse conceito foi aprimorado por outros autores para “subpopulações de uma mesma espécie discretizadas geograficamente, que se reproduzem localmente, e entre as quais ocorrem migrações de indivíduos, sendo essas migrações em proporção inferior do que a própria subpopulação” (HANSKI; SIMBERLOFF, 1997; AKCAKAYA et al., 2007). Porém, para se atestar que a conectividade entre populações reflete em uma metapopulação Hanski (1997) sugere quatro condições a serem atendidas: (1) o habitat adequado ocorre em manchas nas quais podem conter populações que se reproduzam localmente; (2) todas as populações locais apresentam risco de extinção, mesmo a maior delas, de outro modo a metapopulação persistiria simplesmente em função das populações maiores; (3) as subpopulações não podem ocorrer muito isoladas a ponto de impedir a recolonização, caso contrário haveria um desequilíbrio na metapopulação; (4) as populações locais não devem ter dinâmicas completamente sincronizadas,

caso contrário, a metapopulação não persistiria por muito mais tempo do que a subpopulação com o menor risco de extinção. Existem algumas discussões conceituais a respeito da definição dessas proporções de migração dos indivíduos, relativo ao tamanho das populações. A definição destas proporções, apesar de arbitrárias, evitaria subjetividades e ambiguidades do conceito de metapopulação (KRITZER e SALE, 2004). Estudos de conectividade entre populações agregam informações valiosas para se inferir a existência de uma metapopulação, porém ainda seriam necessários conhecimentos mais profundos da dinâmica de cada subpopulação para cumprir os pressupostos do conceito.

A conectividade entre as populações pode ser detectada por análises genéticas, rastreamento por marcadores naturais ou artificiais, ou simulações/modelagem com dispersão de ovos e larvas. O estudo genético permite inferir o quanto houve de fluxo gênico entre populações de diferentes localidades, e assim o grau de conectividade entre elas. Craig et al. (2007) analisaram o DNA mitocondrial do peixe recifal *Myripristis berndti* e constataram alto índice de correlação genética atestando assim grande conectividade entre as populações do Oceano Índico até o Oceano Pacífico. Porém, o método de análise genético da conectividade geralmente constitui a biogeografia histórica, a qual estuda processos na escala de tempo evolutiva, e assim não detectaria oscilações de conectividade em escala de tempo menores, não representando o cenário atual da dinâmica populacional da espécie (escala de tempo da biogeografia ecológica) (MORRONE; CRISCI, 1995). Thorrold et al. (2002) discutem as dificuldades da aplicação de técnicas de rastreamento de marcadores naturais e artificiais em ovos e larvas de organismos recifais para atestar a conectividade. O estágio planctônico dos organismos marinhos geralmente tem duração de semanas tornando difícil de rastreá-los *in situ* (THORROLD et al., 2002). Essas técnicas evidenciam diretamente a conectividade entre ambientes, entretanto as mesmas apresentam diversas limitações logísticas como a coleta de indivíduos no ambiente e técnicas laboratoriais, além de levarem muito tempo para serem

realizadas. Deste modo, a avaliação da conectividade através da modelagem biofísica apresenta certas vantagens perante as estas técnicas.

A modelagem biofísica mais simples trata os ovos e larvas como partículas passivas (e. g. JAMES et al. 2002; BODE et al., 2006). Pode-se citar como exemplo o trabalho de Rudorff et al. (2009) que analisaram a dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Sul utilizando um modelo advectivo-difusivo. Outros trabalhos utilizam modelos baseados no indivíduo (MBI) para simulação da dispersão de ovos e larvas que integram os parâmetros físicos (soluções de um modelo hidrodinâmico) e os parâmetros biológicos (e.g. tempo de duração do estágio larval, migração nictemeral, temperatura letal) (PELIZ et al., 2007; ANDRELLO et al. 2013; CUIF et al., 2014). Cowen et al. (2006) utilizou modelagem biofísica para testar a conectividade entre populações marinhas na região do Caribe, onde averiguou alto intercâmbio de indivíduos entre algumas populações, assim como populações que se mantinham isoladas. No Mediterrâneo um estudo atestou baixa conectividade entre Áreas de Proteção Marinhas utilizando a garoupa verdadeira (*Epinephelus marginatus*) como indivíduo-chave na análise (ANDRELLO et al., 2013).

Os modelos biofísicos possibilitam análises exploratórias, inferenciais, e na geração de hipóteses quanto ao estudo de recrutamento de populações de peixes marinhos (MILLER, 2007). Sob aspecto ecológico os MBIs devem ser utilizados por duas razões: a) no estudo de problemas que não podem ser resolvidos por modelos estáticos no tempo; b) quando o estudo é estimulado pelo interesse em explorar e comparar paradigmas da ecologia populacional (GRIMM, 1999). Esse último pode fazer uso da simulação da dispersão larval por modelagem biofísica para o entendimento da dinâmica populacional de uma espécie de interesse.

A influência de cada um dos parâmetros físicos e biológicos é relevante, como observado por Paris et al. (2007), em que a capacidade de migração diurna das larvas para profundidades maiores durante o dia (para evitar predação e a alta radiação) (HANEY, 1988) teve papel determinante na sua dispersão, além da hidrodinâmica local. Resultados similares foram encontrados por Robins et al.

(2013) que verificaram que a inclusão da migração nictemeral modificava expressivamente os padrões de dispersão e conectividade de larvas. Além disso, de acordo com estes autores a influência da maré em conjunto com a migração nictemeral foi determinante na maior retenção larval.

A conectividade entre populações marinhas pode existir de forma que uma população sirva como fonte e a outra como sumidouro de indivíduos. A dependência e dinâmica entre as populações de uma espécie podem ser vitais para a existência da mesma, de modo que se uma população é extinta de um local haja recolonização dessa espécie (CROOKS e SANJAYAN, 2006). Além disso, outro aspecto ecológico diretamente influenciado pela conectividade entre populações é a resiliência delas, ou seja, a capacidade da população em restabelecer seu equilíbrio, se adaptando a mudanças no ambiente. Padrões de conectividade maiores aumentam a diversidade genética e a manutenção populacional propiciando uma maior resiliência da população (LUNDBERG; MOBERG, 2003). A variação espacial e temporal do recrutamento das populações e entre populações tem grandes efeitos sobre a distribuição dinâmica e espacial, tamanho, e estrutura genética nas populações de peixes recifais (CARR; SYMS, 2006). O conhecimento do intercâmbio larval entre populações marinhas é necessário para o entendimento da dinâmica populacional, que serve como base para planos de gestão de estoques pesqueiros e planos de manejo de Unidades de Conservação (UCs) marinhas. Além disso, o delineamento e a gestão de UCs marinhas requerem análises pretéritas para examinar a efetividade da UC na proteção dos organismos ali presentes (BOTSFORD et al., 2009).

2.4. Biologia reprodutiva dos Badejos (Família Epinephelidae, Gênero Mycteroperca)

Para o estudo da conectividade entre ambientes recifais optou-se pela seleção de espécies de peixes que apresentem relevância ecológica, seguindo alguns critérios como: (1) ampla distribuição geográfica; (2) espécies com populações dentro de categorias como vulneráveis ou ameaçadas de extinção; (3) informações disponíveis sobre biologia reprodutiva; (4) relevância

socioeconômica. Dessa forma, neste trabalho optou-se por utilizar os badejos como grupo representativo dos ambientes recifais, pertencentes à Família Epinephelidae, focando no gênero *Mycteroperca*.

Os peixes da Família Epinephelidae são comumente chamados de badejos, garoupas, chernes, ou meros, habitam costões rochosos ou ambientes recifais (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980). Existem diversas espécies da Família Epinephelidae que ocorrem nos recifes de corais no Brasil, em especial os gêneros *Mycteroperca* (badejo) e *Epinephelus* (garoupa ou mero), tais como as espécies *M. bonaci*, *M. venenosa*, *E. itajara* e *E. morio* (FLOETER et al, 2003, FRANCINI-FILHO; MOURA, 2008, FREITAS et al. 2011). No banco dos Abrolhos o período de desova de três espécies pertencentes à Família Epinephelidae: *M. bonaci* (Figura 2.6), *Cephalopholis fulva* e *E. morio* ocorre entre o inverno e a primavera (FREITAS et al., 2011). O trabalho de Teixeira et al. (2004) através de estudos da frequência dos estágios gonodais e do índice gonadossomático (relação entre a maturação das células reprodutivas ocorrer concomitantemente com o aumento do peso das gônadas) também indicou que a desova da espécie *M. bonaci* ocorre entre os meses de abril a setembro, e que sua desova é múltipla (diversos eventos de desova no mesmo período reprodutivo).

Durante a reprodução os badejos formam grandes agregações de indivíduos, nas quais fêmeas e machos lançam seus gametas na água para fecundação externa (DOMIER; COLIN, 1997). Essas agregações ocorrem em locais com profundidades que variam de 25 a 100 metros, normalmente próximos a quebra de plataforma (DOMIER; COLIN, 1997, BRULÉ et al. 2003). Além das agregações reprodutivas, no nordeste brasileiro existem relatos de um comportamento dos badejos e garoupas comumente chamado de “correção”, em que as mesmas formam agregações alimentares na quebra de plataforma. Esse fenômeno é realizado por diversas espécies de badejos e garoupas entre outubro e março, com periodicidades diferenciadas em cada localidade da costa (TEIXEIRA et al., 2004).

Os estágios de vida iniciais dos peixes consistem na fase de ovo, e após a eclosão em diversos estágios larvais até se tornarem juvenis. Os estágios larvais estão divididos basicamente pela presença de saco vitelínico e composição da notocorda (pré-flexão, flexão e pós-flexão da notocorda) (KENDALL, 1984). A família Epinephelidae é composta por hermafroditas protogínicos, ou seja, inicialmente atingem a maturidade dos órgãos sexuais femininos e posteriormente as gônadas convertem-se em masculinas. Esse processo pode ocorrer em função da estrutura populacional local. Ou seja, para que haja a inversão de sexo é necessária uma pressão populacional relacionada ao número de indivíduos que induzem as fêmeas de maior porte a se transformarem em machos (ROSS, 1990). Outro fator relevante da biologia de espécies da família Epinephelidae é que podem chegar a tamanhos grandes (~1m de comprimento, ~90 kg de peso), apresentam alta longevidade e taxas de crescimento baixas (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980; ANDRADE et al., 2003). Os aspectos biológicos citados tornam os badejos naturalmente vulneráveis à pesca, devido à reposição lenta de indivíduos na população. Além disso, a época em que esses peixes são mais pescados é coincidente com a época das agregações reprodutivas, nas quais sua captura é facilitada.



Figura 2.6–Badejo-quadrado (*Mycteroperca bonaci*).

Fonte: Fishbase (2013).

Os peixes da Família Epinephelidae apresentam grande interesse pesqueiro e econômico pelo seu alto valor comercial. Segundo o Boletim Estatístico Pesqueiro (MPA, 2012) de 2008 a 2010 foram pescados 11.446 toneladas de badejos e garoupas na costa brasileira considerando as espécies *Mycteroperca spp*, *E. itajara*, *Epinephelus sp.* e *Hyporthodus flavolimbatus*. A pesca tem sido uma pressão antrópica preocupante, pois, como já apresentado nesta seção, os badejos possuem características que as tornam suscetíveis a sobreexploração. Em diversos locais do mundo os estoques pesqueiros de badejos e garoupas estão em declínio (SADOVY et al., 2012). Segundo a IUCN (2013) das espécies encontradas no Brasil que estão em decréscimo populacional pode-se citar *Mycteroperca bonaci* e *Epinephelus marginatus*, já na categoria “quase ameaçada” se encontra a espécie *Mycteroperca venenosa*, e na categoria “ameaçada de extinção” a *Epinephelus itajara*. Um estudo realizado com pesquisas de diversas gerações de pescadores da região de Abrolhos constatou que as espécies mais citadas no quesito sobreexploração foram *M. bonaci*, *E. morio* e *Ocyurus chrysurus*, as quais décadas atrás apresentavam maiores tamanhos de pesca e abundância (BENDER et al., 2013).

3. DADOS E METODOLOGIA

Esta seção descreve os dados e as metodologias adotadas no presente trabalho. Os dados de sensoriamento remoto para análise da representatividade do modelo e como a mesma foi realizada estão apresentados na Seção 3.2. Os dados de reanálise utilizados com forçantes e contornos do modelo hidrodinâmico estão descritos na Seção 3.3. Além disso, a área de estudo é apresentada na Seção 3.1., e as etapas realizadas do modelo hidrodinâmico ROMS e do modelo de transporte de ictioplâncton Ichthyop são apresentadas nas seções 3.4 e 3.5, respectivamente.

3.1. Área de Estudo

Na costa da PCL há uma série de formações recifais, e muitas delas são conservadas e protegidas por UCs integrantes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) de 18 de julho de 2000. Na figura 3.1 é possível observar os ambientes recifais distribuídos na costa do Estado da Bahia, e as regiões que abrangem as UCs costeiras e marinhas consideradas neste estudo (polígonos em vermelho escuro).

Na PCL podem-se distinguir 5 grupos de UCs, de acordo com a sua localização, ao longo da região costeira da Bahia. Ao sul da costa da BA (~18°S) há o Parque Nacional Marinho (PNM) dos Abrolhos e próximo a ele está a Área de Proteção Ambiental (APA) da Ponta da Baleia (Figura 3.2 e Figura 3.2 – ABR). Um pouco mais ao norte (~17°S) encontra-se a Reserva Extrativista Marinha (RESEX) do Corumbau (Figura 3.2e Figura 3.2 – COR). Próximo a 16°S há o Parque Municipal (PM) do Recife de Fora (Figura 3.2 e Figura 3.2 – RFO). Na porção norte da costa baiana (~14°S) existe um conjunto de APAs denominadas APA do Pratigi, APA das Ilhas Tinharé e Boipeba e a APA Baía de Camamu (Figura 3.2 e Figura 3.2 – BCA). E por fim em aproximadamente 13°S há a APA Baía de Todos os Santos (Figura 3.2 e Figura 3.2 – BTS). É importante ressaltar que neste trabalho não são consideradas as áreas das UCs localizadas no interior de baías e estuários.

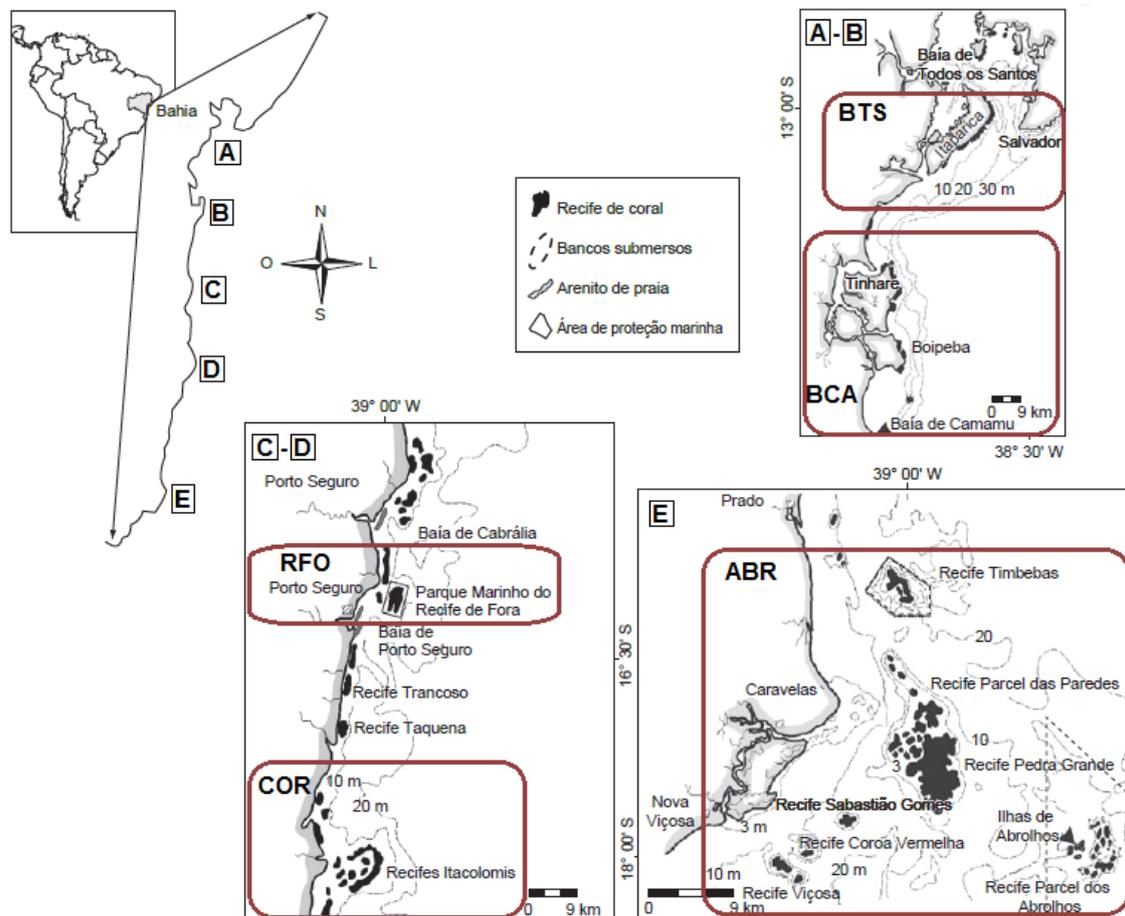


Figura 3.1 - Ambientes recifais da costa da Bahia associados às regiões das UCs consideradas nesse estudo (polígonos delineados em vermelho escuro). Fonte: adaptada de Leão et al. (2008).

A figura 3.2 exibe dois mapas, o mapa à direita (Figura 3.2, A) exibe o domínio onde foi gerada a grade utilizada para o modelo hidrodinâmico, a qual abrange a PCL e parte da plataforma continental sudeste. O mapa a esquerda da figura 3.2 exibe com detalhe as áreas de desova e recrutamento dos experimentos do MBI Ichthyop realizado em torno de Unidades de Conservação costeiras e marinhas (Figura 3.2, B). Nos experimentos do MBI as áreas de desova são limitadas latitudinalmente pelas áreas das UCs e longitudinalmente pelas isóbatas entre 25 a 100 metros, e as áreas de recrutamento são extensões da área de desova até a costa (detalhes na Seção 3.5.1). Dessa forma, pela característica da plataforma continental ser mais estreita no norte da Bahia e mais larga ao sul, as áreas de desova e recrutamento no norte (BTS, BCA) são bem mais similares, do que as áreas ao sul (RFO, COR, ABR) (Figura 3.2).

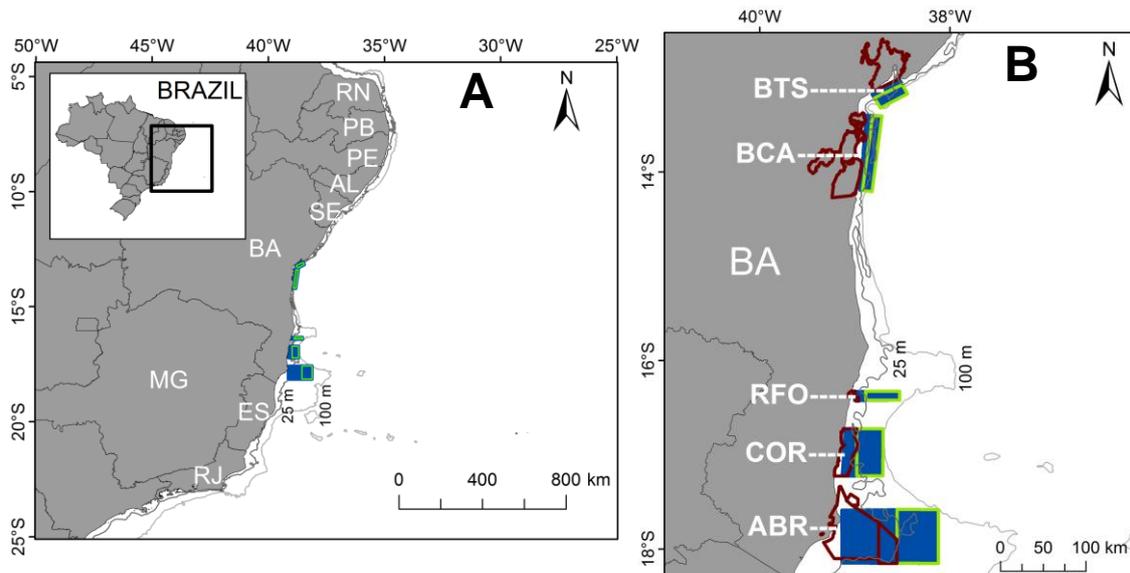


Figura 3.2–Mapa da área de estudo com detalhe no mapa B para as áreas de desova (polígonos delineados em verde claro) e as áreas de recrutamento (polígonos em azul marinho), incluindo as Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas (polígonos delineados em vermelho escuro). O mapa A representa o domínio do modelo hidrodinâmico utilizado.

3.2. Dados de Sensores Remotos

Dados provenientes de sensoriamento remoto foram utilizados para a comparação com os campos superficiais gerados pelo modelo hidrodinâmico. Para tanto, foram utilizados a TSM, ASM e produtos de Correntes Superficiais do Mar (CSM), estimadas por dados de satélites.

Os dados de TSM utilizados são do AVHRR/Pathfinder versão 5, obtidas do *Physical Oceanography Distributed Archive Center (PODAAC)*, da Jet Propulsion Laboratory (JPL), pertencente à *National Aeronautics Space Administration (NASA)*, disponíveis na página eletrônica <<http://podaac.jpl.nasa.gov/>>. Foram obtidos dados mensais de TSM do período de janeiro de 1982 a dezembro de 2007 do produto AVHRR/Pathfinder5. A TSM obtida é disponível em nível “3” (*Level3*) de processamento, ou seja, o produto já é mapeado para uma grade regular de 4 km de resolução com projeção cilíndrica equidistante.

Os sensores AVHRR são radiômetros imageadores a bordo dos satélites da série NOAA atuante desde 1981. Estes satélites possuem órbita heliossíncrona

e quase-polar, operando com cobertura global de cinco dias. O AVHRR opera em seis bandas centradas nos seguintes comprimentos de onda: visível (C1 - 0,63 μm), infravermelho próximo (C2 - 0,91 μm ; C3A - 1,61 μm), e mais três canais no infravermelho termal (C3B - 3,7 μm , C4 - 10,8 μm e C5 - 12 μm). Os dois primeiros canais (C1 e C2) são utilizados para detecção de nuvens e distinção de terra e água. O canal C3A foi inserido a partir do satélite NOAA-15 para melhorar a detecção de neve e gelo. Os outros canais (C3B, C4 e C5) fornecem informações para a estimativa de TSM.

As informações de ASM foram obtidas da base de dados do AVISO que distribui dados altimétricos dos sensores TOPEX/*Poseidon* e do *European Remote Sensing* (ERS) desde 1992. E com o lançamento do Jason-1 (2001) e do Envisat (2002), uma nova série de produtos tem sido ofertada em sua base de dados, disponíveis na página eletrônica (<http://www.aviso.oceanobs.com>). Os dados são distribuídos desde o ano de 1992 até o presente, sendo os altímetros utilizados: TOPEX/*Poseidon* entre 1992 e 2006; o ERS-2 entre 1995 e 2011; e os altímetros ainda operantes são o Jason-1 (2001 - presente) e o Envisat (2002 - presente). Os dados mensais de ASM obtidos do AVISO para o presente trabalho correspondem ao período de janeiro de 1993 a dezembro de 2007 e espacial de 1/3 de grau.

As correntes superficiais utilizadas para comparação são provenientes do projeto *Ocean Surface Currents Analyses* (OSCAR) (<http://www.oscar.noaa.gov/>) gerido pelo *Earth Space Research* (ESR) pertencente à NOAA. Esse dado é estimado utilizando dados de sensores altimétricos da altura de superfície do mar (e.g. TOPEX/*Poseidon*), ventos de escaterômetros (e.g. QuickScat, Seawinds), e dados de TSM por sensores radiométricos (e.g. AVHRR) e coletados *in situ* (BOJEAN e LAGERLOEF, 2002). O produto OSCAR expressa as correntes superficiais considerando a componente geostrófica e a ageostrófica. Foram obtidos os dados de CSM do OSCAR de janeiro de 1993 a dezembro de 2007 com resolução espacial de 0,33° e temporal de cinco dias. As informações dos dados derivados de Sensoriamento Remoto estão sintetizadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1– Informações dos dados de sensoriamento remoto.

	TSM AVHRR	ASM AVISO	CSM OSCAR
Resolução espacial	4km x 4km (0,04° x 0,04°)	0,33° x 0,33°	0,33° x 0,33°
Intervalo de anos disponíveis	1981 – presente	1992 –2012	1992 – presente
Intervalo de anos utilizados	1982-2007	1993 - 2007	1993 - 2007

3.3. Dados de Reanálise

Os dados de reanálise foram utilizados no ROMS como contornos oceânicos e forçantes atmosféricas. Esses dados são provenientes de assimilação de diversos dados, tais como de sensores remotos, medidas *in situ* de cruzeiros e/ou boias e estações oceanográficas e meteorológicas, e de resultados de modelos. Para os contornos oceânicos foram utilizados os dados do *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) e para as forçantes atmosféricas do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFRS).

A reanálise do SODA foi desenvolvida por Carton e Geise (2008), e visa reconstruir a variabilidade oceânica, sendo continuamente corrigida por dados recentes a cada 10 dias. Existem diversas versões do SODA, das quais cada uma engloba períodos de análise diferenciados. Nesse trabalho a versão utilizada é 2.0.2-4 com resolução espacial de 0.4° e em 40 níveis de profundidade. As variáveis disponibilizadas e utilizadas da reanálise do SODA, assim como informações sobre a assimilação dos dados são descritas por Carton e Geise (2008).

O NCEP em cooperação com o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) produz análises globais da atmosfera desde 1957, através de dados coletados por diversos instrumentos (radiossonda, navio, satélites, etc) (KALNAY et al., 1996). Dessa cooperação existem duas versões de reanálises

R-1 e R-2, e uma terceira versão foi lançada pelo NCEP que se chama *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR). O NCEP/CFSR é uma reanálise global mais robusta que as prévias versões R-1 e R-2, pois contém alta resolução espacial e temporal com um sistema de modelos acoplados considerando atmosfera, oceano, superfície terrestre e gelo para prover melhores estimativas desses domínios. Esta nova reanálise acopla o modelo atmosférico e oceânico, assim como um modelo acoplado de oceano e gelo, e ainda a assimilação de radiâncias derivadas de sensores remotos através de interpolação estatística ao longo de todo período (SAHA et al., 2010).

As informações dos dados das forçantes atmosféricas do CFSR/NCEP e de contornos oceânicos do SODA consideradas para esse trabalho estão descritas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2–Informações dos dados de reanálise utilizadas para forçantes atmosféricas e dados de contorno do modelo hidrodinâmico.

	Forçantes Atmosféricas CFSR/NCEP	Dados de Contorno Oceânicos SODA
Resolução espacial	0,25° x 0,25°	0,25° x 0,4° 40 níveis de profundidade
Resolução temporal	6 horas	Mensal
Intervalo de anos disponíveis	1979 – 2009	1980 – 2007
Dados de Saída	- Pressão a Superfície	- Temperatura em 40 níveis de profundidade
	- Taxa de Precipitação	- Salinidade em 40 níveis de profundidade
	- Vento meridional e zonal (á 10m de altura)	- Velocidade das correntes zonal e meridional em 40 níveis de profundidade
	- Fluxo incidente e emitido a superfície de radiação de onda curta e longa	- Velocidade das correntes zonal e meridional integrada na vertical
	- Temperatura do ar (á 2m de altura)	- Altura de Nível do Mar
	- Umidade do ar (á 2m de altura)	

3.4. Modelo Numérico Oceânico (ROMS)

O modelo hidrodinâmico adotado nesse trabalho é o *Regional Oceanic Modelling System* (ROMS) descrito por Shchepetkin e McWilliams (2003, 2005). Trata-se de um modelo numérico tridimensional, de superfície livre que resolve as equações de movimento de fluídos de Navier-Stokes (Equações 3.1, 3.2 e 3.3) utilizando a média de Reynolds. Além disso, o ROMS assume a aproximação de Boussinesq, que considera variações de densidade negligenciáveis (conservando o volume), exceto na contribuição para a força de empuxo na equação de movimento, e a aproximação da hidrostática, a qual assume que o gradiente de pressão vertical equilibra a força de empuxo (HAIVOGEL et al., 2008). As equações dinâmicas que governam o ROMS são descritas por Shchepetkin e McWilliams (2005) e Haidvoget al. (2008), sendo expressas em coordenadas horizontais cartesianas e coordenadas verticais sigma, dadas pelas equações 3.1 (componente zonal), 3.2 (componente meridional) e 3.3 (componente vertical) expressas a seguir:

$$\frac{\partial(H_z u)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z u)}{\partial y} + \frac{\partial(\Omega H_z u)}{\partial s} - f H_z v = \frac{H_z}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + H_z g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial s} (\overline{u' w'}) - \frac{v}{H_z} \frac{\partial u}{\partial s} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial(H_z v)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z v)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(\Omega H_z v)}{\partial s} + f H_z u = \frac{H_z}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + H_z g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial s} (\overline{v' w'}) - \frac{v}{H_z} \frac{\partial v}{\partial s} \quad (3.2)$$

$$0 = \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{g}{\rho_0} H_z \rho \quad (3.3)$$

A equação da continuidade é expressa pela equação 3.4:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(H_z \Omega)}{\partial s} = 0 \quad (3.4)$$

O transporte escalar expresso pela equação 3.5:

$$\frac{\partial(H_z C)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z C)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z C)}{\partial y} + \frac{\partial(\Omega H_z C)}{\partial s} = - \frac{\partial}{\partial s} \left(\overline{c' w'} - \frac{v}{H_z} \frac{\partial C}{\partial s} \right) + C_{fs} \quad (3.5)$$

Onde:

u, v : componentes de velocidade zonal e meridional;

f : parâmetro de Coriolis;

Ω : componente de velocidade vertical;

ζ : elevação de superfície do mar;

H_z : fator de refinamento da resolução vertical;

p : pressão;

ρ : densidade total;

ρ_0 : densidade referencial;

g : aceleração da gravidade;

C : traçadores (e.g. temperatura, salinidade);

C_{fs} : fontes e sumidouros dos traçadores.

As variáveis com o símbolo ($'$) representam as flutuações turbulentas, e com a barra horizontal superior representam uma média.

O ROMS foi desenvolvido de forma a resolver as equações de momentum utilizando um modo de divisão explícita do tempo, que propicia grande economia computacional. Nessa divisão o modelo acopla o momentum barotrópico em intervalo de tempo menor; e o momentum baroclínico em intervalo de tempo maior. Ou seja, um determinado número finito de condições barotrópicas é resolvido dentro de um tempo baroclínico, de modo a resolver as equações de momentum de forma integrada verticalmente (HAIVOGEL et al., 2000).

O ROMS apresenta algumas vantagens na configuração dos experimentos em comparação com outros modelos como o *Princeton Ocean Model* (POM), tal como a maior flexibilidade na escolha de diferentes componentes de resolução de esquemas advectivos de turbulência e de condições de borda (EZER et al., 2002). Além disso, as condições de contornos oceânicos do ROMS são adequadas para topografia e linha de costa irregular (HAIVOGEL et al., 2000).

Para configuração e execução do modelo hidrodinâmico foram realizadas as seguintes etapas: configuração das grades, um experimento hidrodinâmico para equilíbrio dos resultados das equações primitivas (usualmente

denominado na literatura como *spin-up*), um experimento longo para análise da representatividade do modelo e um experimento horário para inserção das forçantes físicas no MBI.

3.4.1. Configuração da grade

A grade criada para esse estudo tem limites latitudinais em 5°S e 25°S, e longitudinais entre 25°W e 50°W, o domínio da grade pode ser observado na Figura 3.2 (Seção 3.2. Área de Estudo). A grade apresenta resolução horizontal de 1/24 de grau (~4,5 km) e 30 níveis verticais, com maior resolução a superfície (Figura 3.3). O sistema de coordenadas vertical empregado pelo ROMS é do tipo sigma (σ), ou seja, seguem a topografia de fundo, porém com a diferença de que os níveis verticais não apresentarem amplitudes iguais em toda coluna de água, podendo apresentar maior resolução nos níveis superficiais e/ou de fundo conforme a profundidade do local (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005) (Figura 3.3).

Na grade a linha de costa utilizada foi a *World Coast Line* da NOAA, cuja resolução espacial é de 1:5.000.000 (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast/>). A linha de costa é usada como guia para definição das máscaras terra/água no modelo hidrodinâmico. A batimetria foi obtida do banco de dados do SRTM30_PLUS (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast/>), desenvolvido a partir de diversas fontes de dados, com resolução de aproximadamente 1km (BECKER et al., 2009).

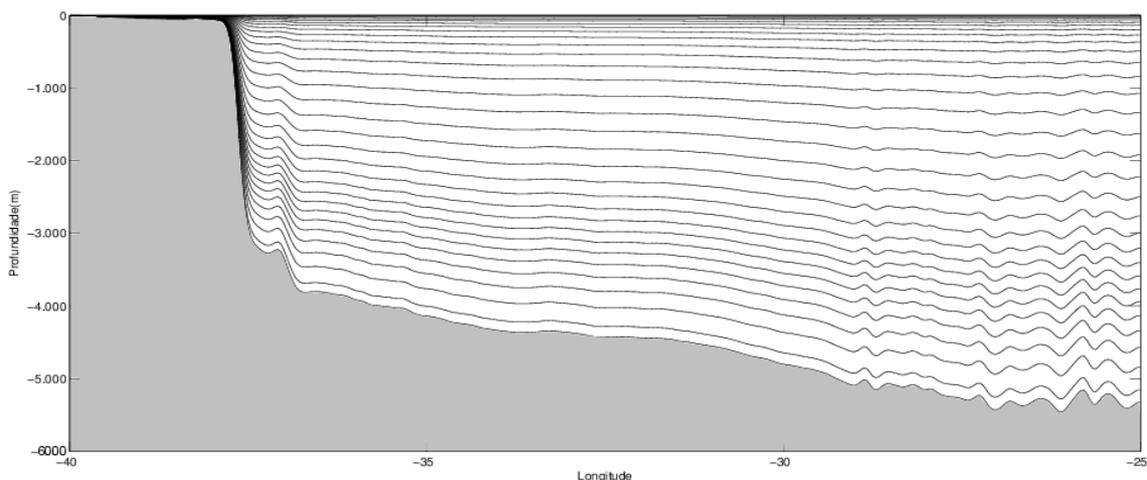


Figura 3.3 - Coordenadas sigma da grade utilizada nos experimentos com corte vertical na latitude 18°S.

3.4.2. Experimento Hidrodinâmico

A etapa denominada de '*spin-up*' constitui o período inicial para que as soluções numérica, dinâmica e termodinâmica, das equações se aproximam do equilíbrio com as forçantes do modelo. À partir do '*spin-up*' se obtém a condição inicial para o experimento hidrodinâmico que se deseja realizar. O *spin-up* foi rodado por dois anos, de janeiro de 1980 a dezembro de 1981, após este período as soluções apresentavam-se em equilíbrio, sem nenhuma tendência de aumento ou redução ao longo do tempo, e onde já se observou os padrões sazonais de circulação da PCL. Esses dois anos não foram utilizados nas análises.

Após o *spin-up*, um experimento hidrodinâmico longo foi rodado por mais 26 anos, de janeiro de 1982 a dezembro de 2007, com saídas mensais para análise da representatividade do modelo. Para o emprego das soluções do ROMS como forçantes físicas (correntes zonais e meridionais, temperatura e salinidade) no BMI (Ichthyop), foi realizado outro experimento por um período de 6 anos, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2007, com saídas horárias nos meses de abril a setembro em cada ano (totalizando 36 experimentos). Em todos os experimentos o passo de tempo barotópico utilizado foi de 30 segundos e o baroclínico de 600 segundos. Na Tabela 3.1

estão sintetizados os experimentos realizados no modelo hidrodinâmico ROMS e suas respectivas funções.

Tabela 3.3 – Experimentos realizados no modelo hidrodinâmico ROMS.

Experimento	Período	Saída	Função
Spin-up	1980 – 1981	Mensal	Equilíbrio das funções numéricas do ROMS
Experimento Longo	1982 – 2007	Mensal	Análise da representatividade das soluções do ROMS
Experimento Horário	2002 – 2007	Horária	Forçantes físicas para entrada do MBI Ichthyop

3.4.3. Análise da representatividade do modelo hidrodinâmico

Para atestara capacidade das soluções do modelo hidrodinâmico na representação das características oceanográficas reais na área de estudo o mesmo foi comparado com observações adquiridas por sensores orbitais. A simulação do modelo de 25 anos (jan -1982 a dez-2007) foi comparada com dados de TSM (1982-2007), CSM (1993-2007) e ASM (1993-2007).

Para comparação espacial dos campos superficiais entre as soluções do modelo e os dados de sensoriamento remoto foram utilizados mapas sazonais de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (junho, julho e agosto), e uma média anual das variáveis TSM, CSM e ASM. Estes mapas foram utilizados para analisar quais áreas apresentaram maiores concordâncias e diferenças entre as variáveis consideradas. Na criação desses mapas, as variáveis analisadas das soluções do ROMS de resolução $1/24^\circ$, foram reamostradas espacialmente para as resoluções compatíveis de comparação dos dados de sensores orbitais. Para CSM e ASM os dados foram reamostrados para resolução de $1/3^\circ$, e para TSM a reamostragem foi da resolução de $0,041^\circ$ ($1/24^\circ$) para a resolução $0,044^\circ$. Além disso, foram calculadas médias mensais para os dados de CSM do OSCAR que apresentavam resolução temporal de cinco dias.

Além dessa comparação com sensores remotos, as soluções do ROMS foram analisadas em perfis verticais de temperatura e salinidade, a fim de verificar se o modelo está representando as massas de água presentes na região descritas na literatura.

3.5. Modelo de transporte de ictioplâncton (Ichthyop)

O Ichthyop é um modelo baseado no indivíduo de uso livre desenvolvido na linguagem Java, empregado para estudar os efeitos de fatores físicos e biológicos na dinâmica do ictioplâncton (LETT et al., 2008). Esta ferramenta simula o transporte lagrangeano de partículas, usando campos oceanográficos produzidos por modelos hidrodinâmicos. Assim, o aspecto físico é incorporado através de soluções de modelos oceânicos como o ROMS, o *Model for Applications at Regional Scale* (MARS) e o *Nucleus for European Modelling of the Ocean* (NEMO). Os aspectos biológicos do ictioplâncton são provenientes de dados coletados *in situ* de experimentos em laboratório, reunidos da literatura.

Na configuração dos experimentos da dispersão de ovos e larvas de badejos foram considerados os seguintes aspectos: (1) mortalidade por temperatura; (2) movimento horizontal por advecção e difusão e (3) movimento vertical das larvas. A mortalidade por temperatura é considerada quando a partícula é advectada para águas com temperaturas inferiores ou superiores à faixa de temperatura estipulada no experimento. Para o movimento horizontal de advecção da partícula, o Ichthyop fornece duas opções: Euler Avançado (*Forward Euler*) e Runge Kutta de 4º ordem. O método Euler Avançado combina as posições latitudinais e longitudinais no tempo inicial com as velocidades zonais e meridionais, respectivamente (Equação 3.6 e Equação 3.7). Já o esquema numérico Runge Kutta de 4º ordem propaga a solução em certo intervalo de tempo através de uma série de Taylor de 4º ordem e, assim, calcula a nova posição (Equação 3.8). Nesse trabalho foi utilizado o método Runge Kutta 4º que possui maior precisão e estabilidade do que o método Forward Euler (PRESS et al., 1992).

$$x_{t+1} = x_t + udt \quad (3.6)$$

$$y_{t+1} = y_t + vdt \quad (3.7)$$

$$k_1 = (x_t, y_t) + (udt, vdt); \quad k_2 = (x_t, y_t) + \frac{k_1}{2};$$

$$k_3 = (x_t, y_t) + \frac{k_2}{2}; \quad k_4 = (x_t, y_t) + k_3$$

$$(x_{t+1}, y_{t+1}) = (x_t, y_t) + \frac{k_1}{6} + \frac{k_2}{3} + \frac{k_3}{3} + \frac{k_4}{6} + O^5 \quad (3.8)$$

Onde:

x_t, y_t : posição no enésimo time-step (m);

u, v : componentes zonais e meridionais de velocidade de corrente (ms^{-1});

O^{k+1} : erro local de truncamento.

O movimento horizontal difusivo turbulento é implementado com base em um componente de caráter aleatório (δ , Equação 3.9 e Equação 3.10) e um coeficiente lagrangeano, K_h , no cálculo dos vetores de velocidade horizontal das partículas. O coeficiente lagrangeano é calculado através do tamanho de célula da grade e de uma taxa de dissipação turbulenta, a qual foi de $10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-3}$, valor sugerido no trabalho de Pelizet al. (2007) (Equação 3.11).

$$\Delta u_x = \delta_x \sqrt{2K_h/\Delta t} \quad (3.9)$$

$$\Delta u_y = \delta_y \sqrt{2K_h/\Delta t} \quad (3.10)$$

$$K_h = \varepsilon^{1/3} l^{4/3} \quad (3.11)$$

Onde:

$\Delta u_x, \Delta u_y$: componente zonal e meridional do movimento da partícula (m);

δ : número real aleatório ($\delta \in [-1 \ 1]$);

K_h : coeficiente lagrangeano de difusão horizontal ($m^3 \cdot s^{-3}$);

l : tamanho de célula da grade (m);

ε : taxa de dissipação turbulenta ($m^2 \cdot s^{-3}$).

O movimento vertical foi realizado com base na migração nictemeral, em que as larvas ficam mais próximas a superfície à noite, onde há maior oferta de alimento, e em maiores profundidades durante o dia, evitando assim predação e radiação solar intensa (HANEY, 1988). No Ichthyop esse comportamento é configurado de forma que a partícula tenha uma profundidade no início da manhã (maior profundidade) e outra profundidade no início da noite (menor profundidade).

Os arquivos resultantes dos experimentos com o Ichthyop guardam as informações sobre o posicionamento geográfico de cada indivíduo em cada hora de experimento, como também as áreas em que foram desovados, recrutados, mortos por temperatura ou advectados para fora do domínio de análise.

3.5.1. Experimentos com o MBI

No Ichthyop foram realizados experimentos considerando características biológicas dos ovos e larvas disponíveis na literatura para o gênero *Mycteroperca*, Família Epinephelidae. Uma vez que as pesquisas dos aspectos ecológicos e reprodutivos dos badejos ainda são relativamente precárias aqui no Brasil, alguns dados utilizados nesse trabalho são provenientes da literatura de estudos do mesmo gênero no Hemisfério Norte (HN). Apesar disso, trabalhos como o de Teixeira et al. (2004) e Freitas et al. (2011) encontraram aspectos reprodutivos bem similares entre os badejos estudados aqui no Brasil, e os descritos pela literatura no HN, oferecendo maior confiabilidade ao uso dessas informações para um estudo simulado no Brasil.

As áreas de desova consideradas nos experimentos estão dentro dos limites latitudinais das Unidades de Conservação (UCs) na costa da Bahia (Figura 3.2)

e entre as profundidades de 25 e 100 m, similares aos locais de desova descritos para o gênero na literatura (DOMIER; COLIN, 1997, BRULÉ et al. 2003). As áreas de recrutamento consideradas são extensões das áreas de desova até a área mais costeira das UCs consideradas (Figura 3.2, Área de Estudo).

Teixeira et al. (2004) descrevem a reprodução da espécie *Mycteroperca bonaci* como múltipla e ocorrendo entre os meses de abril a setembro no nordeste brasileiro. Assim foi considerada uma desova para cada mês da estação reprodutiva (abril-setembro), e ao longo de um período de seis anos (2002 – 2007). As desovas foram consideradas no primeiro dia de lua cheia de cada mês do período reprodutivo do gênero *Mycteroperca* como descrito em outros estudos (DOMIER; COLIN, et al., 1997, BRULÉ et al., 2004). As desovas foram realizadas com 30.000 indivíduos liberados em cada experimento, distribuídos de forma ponderada pelo tamanho das áreas. Esse número de indivíduos foi considerado com base em um teste de sensibilidade, no qual esse número foi variado de 10000 a 80000 (a cada 10000) em experimentos de mesma configuração. Não foram observadas diferenças significativas conforme os parâmetros estudados (mortalidade por temperatura, recrutamento e autorrecrutamento, descritos abaixo). Dessa forma, optou-se por utilizar 30.000 indivíduos, para melhor visualização dos resultados de dispersão larval e custo computacional reduzido.

Os ovos foram rastreados por um período de 2 dias até o período de eclosão descrito na literatura, e as larvas foram rastreadas por até 43 dias, quando as mesmas se tornam juvenis (KEENER, et al., 1998, BRULÉ et al., 2004) totalizando 45 dias em cada experimento. Para as larvas foi considerado o deslocamento vertical diário dos indivíduos na coluna da água (migração nictemeral). Essa migração vertical das larvas foi considerada de forma que durante o dia elas se encontram a 30 m de profundidade e à noite a 10 m de profundidade. Na tabela 3.4 encontra-se um sumário dos experimentos realizados no MBI Ichthyop.

Tabela 3.4– Resumo dos experimentos executados no Ichthyop.

Experimento Ichthyop	
Número de ovos/larvas em cada experimento	30000
Batimetria dos locais de agregações de desova	25 – 100 m
Faixa de temperatura tolerável	20°C < Temperatura < 30°C
Migração vertical	Nictemeral (10 – 30 m)
	2002 → 27/abr; 26/mai; 24/jun; 24/jul; 22/ago; 21/set
	2003 → 16/abr; 16/mai; 14/jun; 13/jul; 12/ago; 10/set
Datas das desovas	2004 → 05/abr; 04/mai; 03/jun; 02/jul; 31/jul; 30/ago
(36 experimentos)	2005 → 24/abr; 23/mai; 22/jun; 21/jul; 19/ago; 18/set
	2006 → 13/abr; 13/mai; 11/jun; 11/jul; 09/ago; 07/set
	2007 → 02/abr; 02/mai; 01/jun; 30/jun; 30/jul; 28/ago

3.5.2. Técnicas de análise dos experimentos

Foram analisados os parâmetros de mortalidade, quantidade de indivíduos que migraram de outra UC (recrutamento), e quantidade de indivíduos que permanecem na mesma UC em que foram lançados (autorrecrutamento), considerando a variabilidade interanual, intra-anual e entre áreas. Para as análises estatísticas foram calculadas as probabilidades desses parâmetros (mortalidade por temperatura, recrutamento e autorrecrutamento), desconsiderando nas análises as larvas advectadas para fora do domínio. A probabilidade de mortalidade por temperatura é a soma das larvas que advectaram para águas com temperatura fora do intervalo considerado (20°C – 30°C) dividido pelo número total de partículas consideradas na análise (Equação 3.12). A probabilidade do autorrecrutamento, aqui denominada, considera o total de larvas que ficaram na mesma área de onde foram desovadas, dividido pelo somatório de larvas sobreviventes lançadas da mesma área (Equação 3.13). O termo recrutamento nesse trabalho considera

as larvas que se encontravam nas regiões delimitadas (áreas de recrutamento, referentes às UCs) advindas de outras áreas de desova ao final do experimento (45 dias), pelo somatório de larvas sobreviventes (Equação 3.14). Para melhor análise dos resultados, as probabilidades dos parâmetros calculados de mortalidade por temperatura, recrutamento e autorrecrutamento serão expressas em porcentagens. Além disso, foi avaliada a contribuição da desova de cada área no recrutamento para verificar em conjunto com os outros parâmetros, quais áreas atuam como fonte e quais atuam como sumidouro de indivíduos.

$$Mor_temp_t = \frac{\sum d}{(\sum_t c - \sum_t adv)} \quad (3.12)$$

$$AutoRec_{t,i} = \frac{\sum_t c_{ii}}{(\sum_t c_i - \sum_t adv_i - \sum_t d_i)} \quad (3.13)$$

$$Rec_{t,i} = \frac{\sum_t c_{ij}}{(\sum_t c_j - \sum_t adv_j - \sum_t d_j)} \quad (3.14)$$

Onde:

Mor_temp: mortalidade por temperatura;

d: partícula advectada para águas com temperatura < 20°C ou > 30°C;

c: partículas desovadas no domínio do modelo;

adv: partícula advectada para fora do domínio;

Rec_t: recrutamento de todas as áreas no tempo t.

AutoRec_t: autorrecrutamento de todas as áreas no tempo t;

c_{ii}: partícula que saiu da área “i”, e permaneceu sendo recrutada na área “i”;

c_{ij}: partícula que saiu da área “i”, e recrutou na área “j”;

Após constatar a não-normalidade dos dados com o teste Mann-Whitney (com nível de significância de 5%), foi realizada uma análise de variância não-paramétrica (Kruskal-Wallis ANOVA) com nível de significância de 5%. A ANOVA foi empregada para avaliar similaridades e distinções significativas

entre os fatores analisados (mortalidade, recrutamento, autor recrutamento, contribuição de recrutamento) no tempo e/ou entre áreas. Estes resultados foram representados em “notched boxplots”, os quais permitem uma análise da distribuição das variáveis evidenciando possíveis diferenças significativas entre elas, em um intervalo de 5% de confiança (McGILL, et al., 1978).

$$n_1 = \frac{med + 1,57*(q_{3/4} - q_{1/4})}{\sqrt{n}} \quad (3.15)$$

$$n_2 = \frac{med - 1,57*(q_{3/4} - q_{1/4})}{\sqrt{n}} \quad (3.16)$$

Onde:

n_1 : “notch” superior;

n_2 : “notch” inferior;

med: mediana;

$q_{3/4}$: terceiro quartil;

$q_{1/4}$: primeiro quartil;

n: número de amostras.

Foram confeccionadas Matrizes de Probabilidade de Transição (MPTs - ou *TransitionProbability Matrix - TPMs*) que descrevem a probabilidade de um indivíduo no estágio larval realizar a transição de uma população fonte para uma população destino ao fim do estágio larval. Nas MPTs um dos eixos representa os locais “fonte” (locais de desova de ovos e larvas da simulação) e o outro eixo representa os locais de “destino” dos indivíduos que sobreviveram ao transporte (PARIS et al., 2009). Nessas matrizes quanto maior a concentração de probabilidades na diagonal maior a quantidade de indivíduos retidos nos locais onde foram desovados, e quanto maior dispersão dos valores fora da diagonal, maior o intercâmbio de indivíduos entre diferentes locais. Neste trabalho as MPTs são apresentadas de forma um pouco diferente da forma convencional utilizada por outros trabalhos (COWEN et al., 2006; PARIS

et al., 2009; ANDRELLO et al., 2013) que trabalharam com mais de 100 áreas. Como no presente trabalho são apenas cinco áreas na análise da conectividade, optou-se por incluir a variável do tempo no eixo das áreas fonte da MPT e representá-la por barras tridimensionais. Além disso, para análise da conectividade foi calculado o fator “conectância” definido como a fração de conexões com probabilidades diferentes de zero em relação ao total de conexões. Ou seja, o número de conexões entre áreas diferentes de zero da MPT dividido pelo quadrado do tamanho da MPT (ANDRELLO et al., 2013).

Campos de energia cinética total por unidade de massa (ECT) foram calculados através das soluções do modelo hidrodinâmico para análise da dispersão final das larvas, visto que essa grandeza física expressa o estado de movimento do oceano (Equação 3.17). A ECT associada a correntes marinhas é constituída pela soma de duas componentes, a energia cinética média e a turbulenta (energia cinética de vórtices) (ASSIREU et al, 2005). As soluções de corrente do modelo ROMS das velocidades zonais (U) e meridionais (V) já contêm as componentes média e turbulenta da energia cinética, as quais foram utilizadas para calcular a ECT de acordo com a equação 3.17.

$$ECT/m = \frac{u^2+v^2}{2} \quad (3.17)$$

Onde:

ECT: energia cinética total por unidade de massa ($m^2.s^{-2}$);

u: componente zonal de velocidade de corrente ($m.s^{-2}$);

v: componente meridional de velocidade de corrente ($m.s^{-2}$).

Como as larvas estão à deriva das correntes, sua energia contribui para os padrões de dispersão de ovos e larvas na costa da Bahia. Dessa forma, a trajetória total percorrida pelas larvas e os parâmetros de recrutamento e autorrecrutamento foram correlacionados com a ECT por meio da Correlação de Pearson (nível de significância de 5%). Assim, esta análise comparativa com a ECT foi utilizada para compreender melhor as oscilações inter e intra- anuais, assim como os padrões espaciais de dispersão larval dos badejos.

3.6. Fluxograma metodológico

O fluxograma apresentado na Figura 3.4 sintetiza a sequência de atividades desenvolvidas neste trabalho, sendo dividido em três fases principais. A primeira etapa diz respeito à configuração e execução do modelo hidrodinâmico ROMS, e a comparação com dados de sensores remotos para avaliação da sua representatividade (Figura 3.4, A). A segunda etapa constitui a inserção dos dados físicos do ROMS (temperatura, salinidade e correntes) e a configuração do experimento com as características reprodutivas do gênero *Mycteroperca* no MBI Ichthyop, assim como a execução do experimento (Figura 3.4, B). E por fim as análises estatísticas das soluções do IBM (parâmetros de mortalidade, recrutamento, e autorrecrutamento das larvas de badejos), e as análises dos padrões de dispersão e conectividade das larvas de badejo entre UCs (Figura 3.4, C).

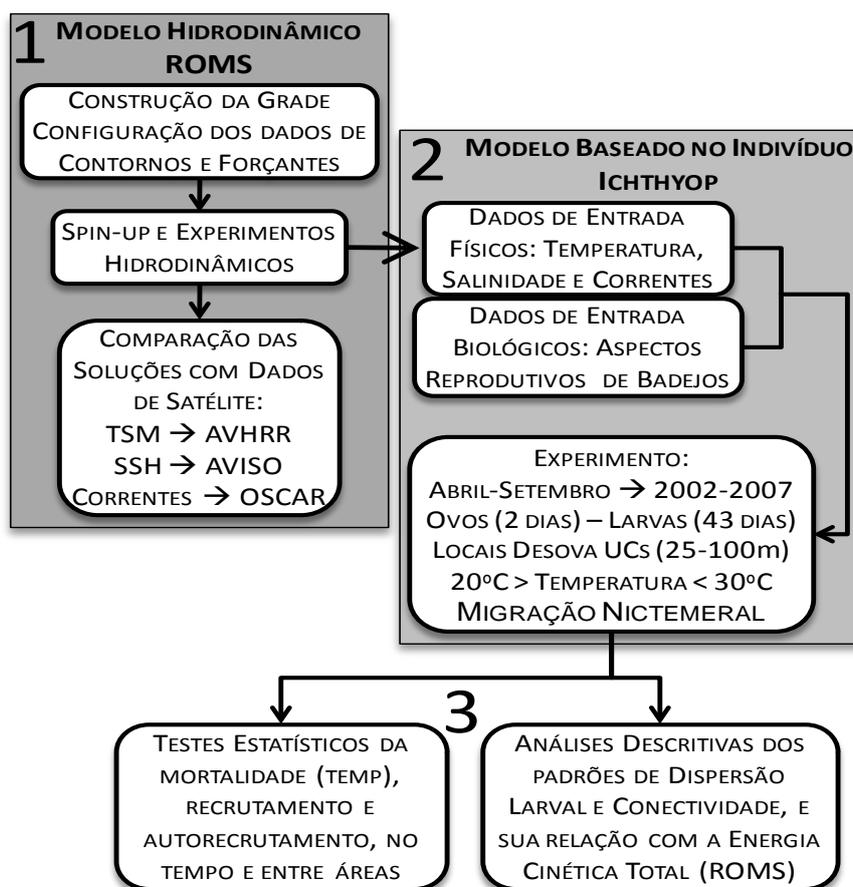


Figura 3.1– Fluxograma metodológico realizado em três fases: (A) configuração e execução do modelo hidrodinâmico ROMS, (B) configuração e execução do modelo baseado no indivíduo Ichthyop, e (C) análises estatísticas e descritivas dos resultados da modelagem biofísica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão desse trabalho estão divididos em duas seções: Desempenho do modelo Hidrodinâmico ROMS (Seção 4.1), e Análise do modelo biofísico (Seção 4.2). A primeira seção analisa a representatividade do modelo ROMS na área de estudo, e a segunda seção descreve os resultados obtidos pelo MBI Ichthyop na simulação da dispersão de ovos e larvas de badejos.

4.1. Desempenho do Modelo Hidrodinâmico

A análise do desempenho do modelo hidrodinâmico ROMS é realizada em quatro seções: análise da TSM comparando as soluções do modelo ROMS com dados do AVHRR/Pathfinder5 (Seção 4.1.1); a comparação da ASM do modelo com dados do AVISO (Seção 4.1.2); a comparação da CSM do modelo com o produto OSCAR (Seção 4.1.3), e uma análise do perfil vertical do ROMS comparando com informações da literatura (Seção 4.1.4).

4.1.1. Temperatura de Superfície do Mar (TSM)

A comparação entre a TSM do ROMS com os dados do AVHRR foi realizada sazonalmente (médias sazonais de verão e inverno 1982-2007) e anualmente (média anual 1982-2007). As médias sazonais em um transecto longitudinal na latitude 13°S demonstraram boa concordância entre a TSM do ROMS e do AVHRR (Figura 4.1), com diferenças maiores apenas nas áreas mais costeiras. O viés negativo (em até 4°C, Figura 4.1) da TSM do AVHRR/Pathfinder5 nos pixels mais costeiros ocorre devido ao algoritmo deste produto subestimar a TSM nos píxeis muito costeiros. Segundo consta no site da NOAA este erro será corrigido apenas na versão AVHRR/Pathfinder 6 (<http://www.nodc.noaa.gov/sog/pathfinder4km/status.html>).

Próximo à plataforma de Abrolhos, em 18°S e por volta de 34°W (Figura 4.2), a TSM é um pouco menor tanto no AVHRR quanto no ROMS em até 1,5°C. O modelo consegue reproduzir a água mais fria que ocorre sobre o Banco dos

Abrolhos devido à complexa batimetria local (Souza et al., 2007), subestimando a TSM em apenas 1°C a do estimado pelo sensor AVHRR (Figura 4.2).

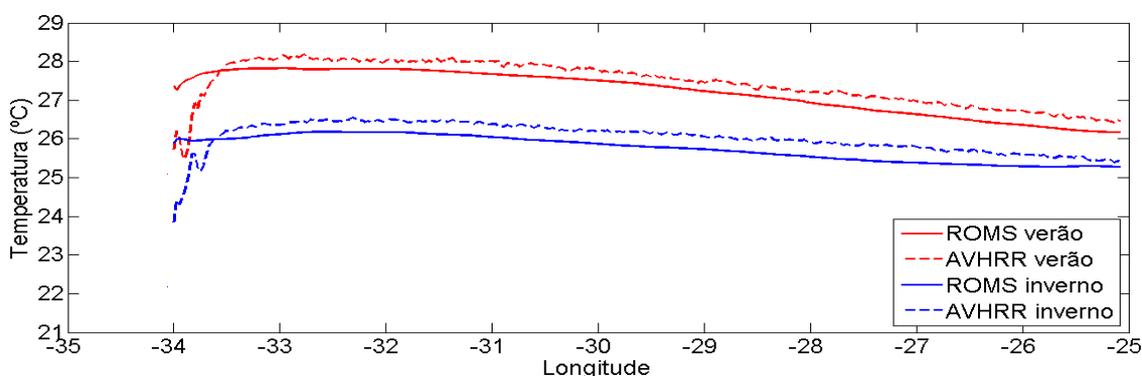


Figura 4.1– Médias sazonais da TSM do ROMS e do AVHRR em perfil longitudinal da latitude 13°.

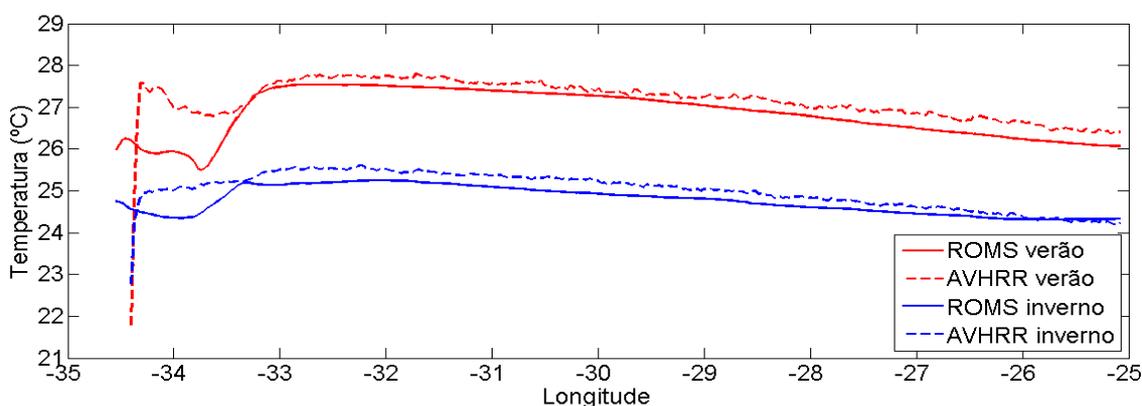


Figura 4.2– Médias sazonais da TSM do ROMS e do AVHRR em perfil longitudinal da latitude 18°.

A diferença entre a TSM do ROMS e AVHRR em áreas costeiras também é observada nos mapas de médias sazonais de verão e inverno, em especial em áreas de ressurgência (Figura 4.3 e Figura 4.4). No verão a diferença da TSM (ROMS - AVHRR) nas regiões costeiras é mais acentuada chegando à ordem de -2°C, enquanto que no inverno a diferença cai para -1°C, em especial na área da ressurgência em Cabo Frio – RJ (Figura 4.3 e Figura 4.4). Silva et al. (2009) em um estudo numérico na mesma área encontrou resultados similares, no qual modelo ROMS subestimava a temperatura principalmente nas regiões da ressurgência de Cabo Frio-RJ e dos Bancos dos Abrolhos e Royal Charlotte. O trabalho de Dias et al. (2014) utilizando metodologia similar, também encontraram maiores diferenças entre as soluções do ROMS e dados

do AVHRR na ressurgência de Cabo Frio - RJ. Dufois et al. (2012) ao compararem produtos do AVHRR/Pathfinder v.5 e do MODIS com resultados do modelo hidrodinâmico ROMS em zonas de ressurgência, também observaram uma subestimação do modelo da ordem de $-1,5^{\circ}\text{C}$ na ressurgência das Canárias, e de $-2,5^{\circ}\text{C}$ na ressurgência de Benguela.

Apesar dessas diferenças, o modelo consegue representar a variabilidade sazonal da ressurgência de Cabo Frio com maior ocorrência no verão. A intensificação da ressurgência de Cabo Frio no verão é devido à maior intensidade dos ventos e ocorrência de outros fenômenos oceanográficos como meandramentos da CB (CASTRO; MIRANDA, 1998; CAMPOS et al, 2000).

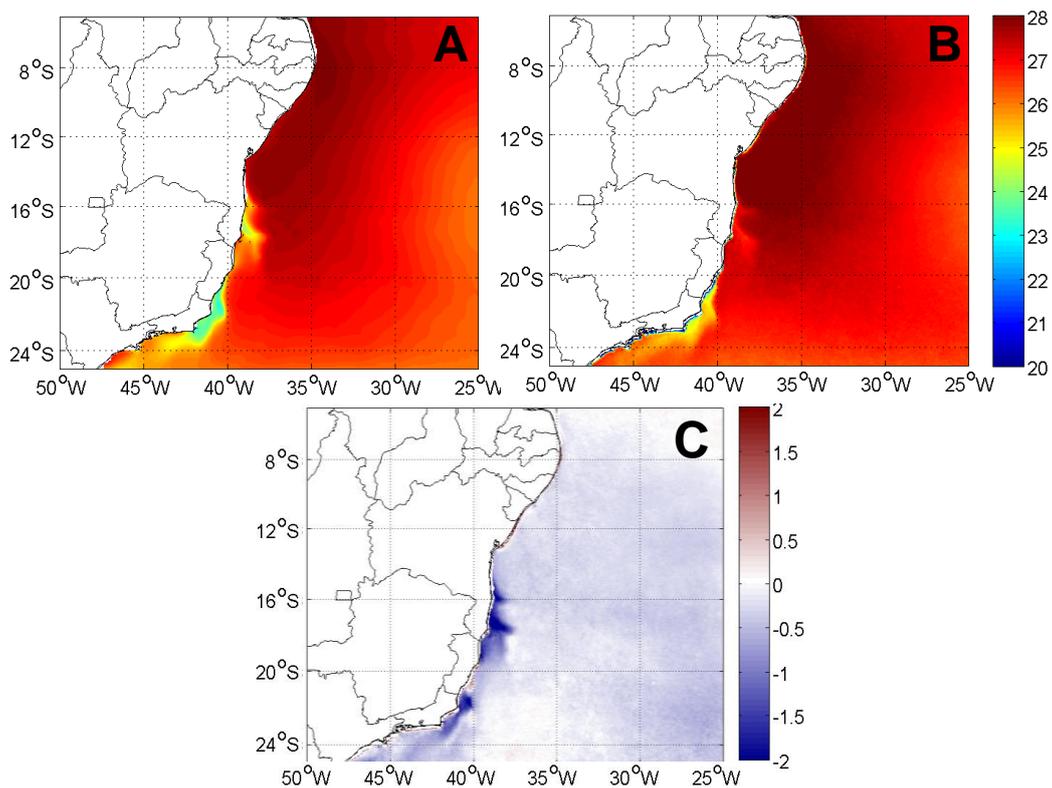


Figura 4.3– Média sazonal de TSM no verão, em $^{\circ}\text{C}$, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).

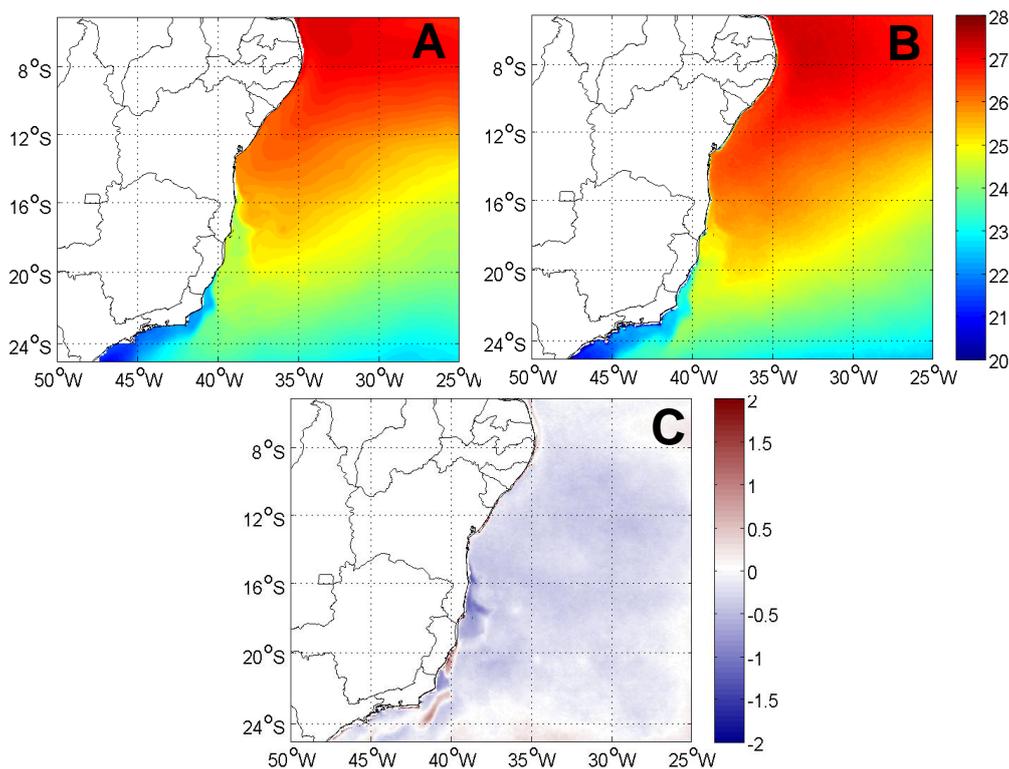


Figura 4.4– Média sazonal de TSM no inverno, em °C, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).

Os valores médios de TSM encontrados na região de Abrolhos estão de acordo com as médias descritas na literatura variando entre 25 – 27°C no verão e 22 – 24°C no inverno (Figura 4.5) (CASTRO; MIRANDA, 1998). Assim como para a região mais ao norte da Bahia, a TSM apresentou valores de TSM com valores dentro das médias esperadas de verão (27 – 28°C) e no inverno (25 – 26°C) (Figura 4.5) (CASTRO; MIRANDA, 1998).

De maneira geral as soluções do modelo ROMS são ligeiramente mais frias que a TSM estimada pelo AVHRR, mas apresentam boa concordância espacial, representando as feições oceanográficas mais resilientes da região como a ressurgência costeira de Cabo Frio/RJ, e a água mais fria na região dos Bancos dos Abrolhos e Royal Charlotte (Figura 4.5). Dufois et al. (2012) averiguaram que os produtos de TSM do AVHRR/Pathfinder apresentam um viés mais quente do que simulados por modelos hidrodinâmicos. Segundo esses autores isso ocorre devido ao algoritmo do AVHRR/Pathfinder ser muito rigoroso na correção de dados espúrios, como nuvens que apresentam alto

gradiente de TSM (e. g. nuvens), ocasionando uma má representação de locais de ressurgência que também apresentam gradientes relativamente altos de TSM, ou com alta incidência de nuvens.

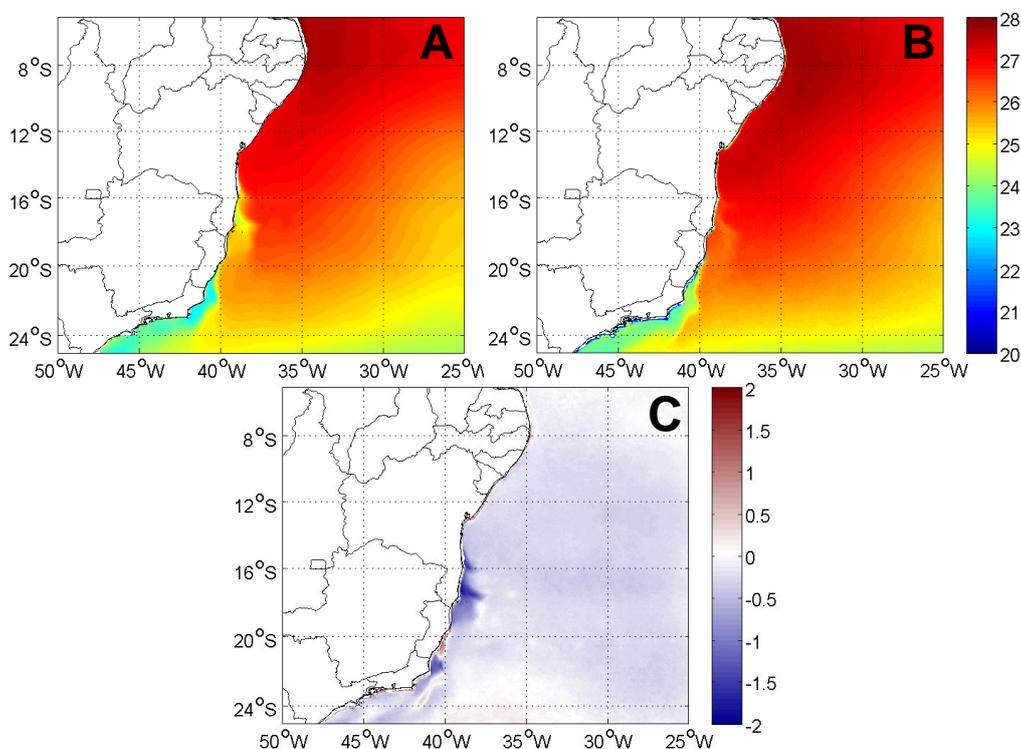


Figura 4.5– Média anual de TSM, em °C, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A), para o sensor orbital AVHRR (B), e a diferença entre essas médias (ROMS-AVHRR) (C).

4.1.2. Altura de Superfície do Mar (ASM)

As médias sazonais de verão e inverno da altura da superfície do mar das simulações do ROMS apresentaram boa concordância espacial com as estimativas do AVISO. A ASM apresenta diversos meandramentos e presença de vórtices entre as latitudes 14°S e 25°S com maior intensidade no verão do que no inverno (Figura 4.6 e Figura 4.7). Nessa região Soutelino et al. (2013) descreveram a ocorrência de feições anticiclônicas (núcleos quentes) denominadas Vórtice de Ilhéus (VI, 15,5°S), Vórtice de Royal-Charlotte (VRC, 17°S) e Vórtice de Abrolhos (VA, 19°S) que seguem a complexa batimetria. Outro vórtice ciclônico (núcleo frio) ocorrente na região é o Vórtice de Vitória (VV) localizado em torno de 20,5°S (SCHMID et al. 1995). Essas feições são

possíveis de serem observadas na Figura 4.6, localizadas próximos a região costeira com formas arredondadas. Com núcleos mais altos no caso dos vórtices anticiclônicos (VI, VRC e VA) e o núcleo mais baixo do vórtice ciclônico de Vitória.

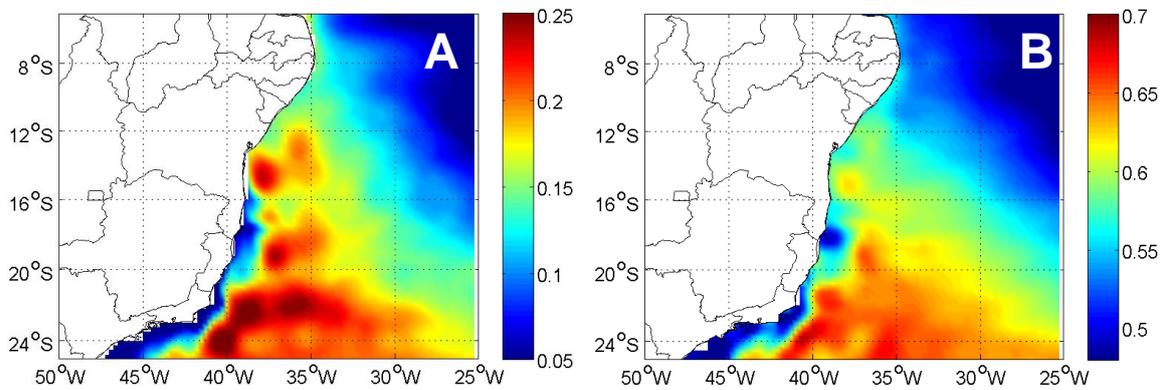


Figura 4.6– Média sazonal de ASM no verão, em metros, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A) e para o AVISO (B). Notar a diferença na escala de cores.

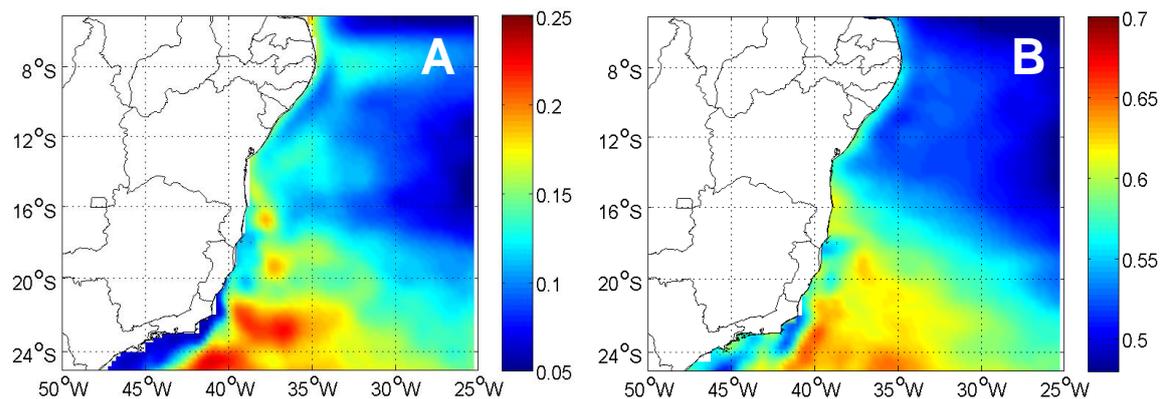


Figura 4.7– Média sazonal de ASM no inverno, em metros, para o modelo hidrodinâmico ROMS (A) e para o AVISO (B). Notar a diferença na escala de cores.

Apesar de a ASM apresentar boa coerência espacial entre o ROMS e o AVISO, as magnitudes diferem em até 0,4m. De forma similar o trabalho de Lemarié et al. (2011) observou que o ROMS subestimou a ASM do AVISO em até 0,4m na região da corrente de contorno oeste Kuroshio. O estudo de Dias et al. (2014) na plataforma sudoeste do Brasil constatou a mesma diferença de magnitude entre ROMS e AVISO. Essa diferença ocorre pelo fato de que o ROMS não considera os efeitos estéricos da coluna da água (expansão/contração do volume de água do oceano devido a mudanças de densidade em toda coluna de água). Isto é devido à aproximação de Boussinesq, a qual considera

variações de densidade negligenciáveis (exceto na contribuição para a força de empuxo), tais como as ocasionadas pelo maior aquecimento das camadas superficiais da coluna de água (efeito estérico termal) (BOUFFARD et al., 2008). Em função disso as figuras de ASM foram apresentadas em diferentes escalas para visualização das feições oceanográficas.

4.1.3. Correntes Superficiais do Mar (CSM)

Para análise das correntes superficiais foram utilizadas médias sazonais das componentes zonais e meridionais separadas para melhor avaliação das diferenças entre as simulações do ROMS e estimativas do OSCAR. As componentes zonais (U) e as meridionais (V) do ROMS apresentaram maiores intensidades do que a do OSCAR, principalmente em áreas próximas à costa (Figura 4.6 e Figura 4.7). Apesar disso, o ROMS apresenta boa coerência com o OSCAR na direção das componentes de corrente, assim como representa bem a variabilidade entre verão e inverno (Figura 4.6 e Figura 4.7). No verão há uma intensificação da velocidade das componentes zonais e meridionais que podem ser causadas pelos ventos de maior intensidade no verão do que no inverno (TEIXEIRA et al, 2013) gerando assim correntes superficiais mais intensas.

Na região entre 15 e 21°S (Figura 4.6 e Figura 4.7) é possível notar que a componente U da corrente superficial apresenta feições com maiores velocidades para leste (positivas) que combinadas à componente V fluindo para sul (negativas) podem estar associadas à formação dos vórtices VI (15,5°S), VRC (17°S) e VA (19°S), descritos por Soutelino et al. (2013). Da mesma forma, próximo a 21°S e 39°W é possível notar um pequeno núcleo com velocidades para oeste (negativas) da componente U que combinado à componente V pra sul (negativa) podem estar associados à formação do Vórtice ciclônico de Vitória, ao sul da cadeia Vitória-Trindade (SCHMID et al. 1995). Nesta área, Rezende et al. (2011) utilizando o mesmo modelo hidrodinâmico com grades aninhadas também detectou intensa atividade de mesoescala com a presença de vórtices anticiclônicos e o ciclônico VV ao longo de todo ano nessa região.

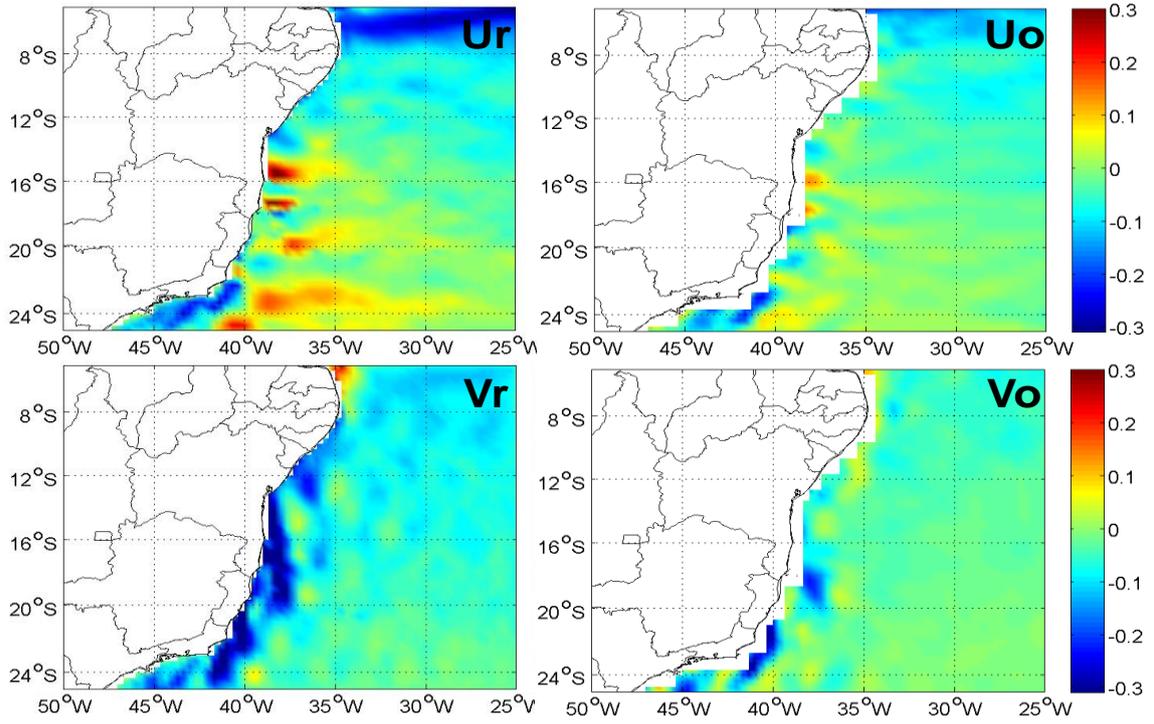


Figura 4.8—Média sazonal das componentes zonal (U) e meridional (V) no verão, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (U_r , V_r) e do OSCAR (U_o , V_o).

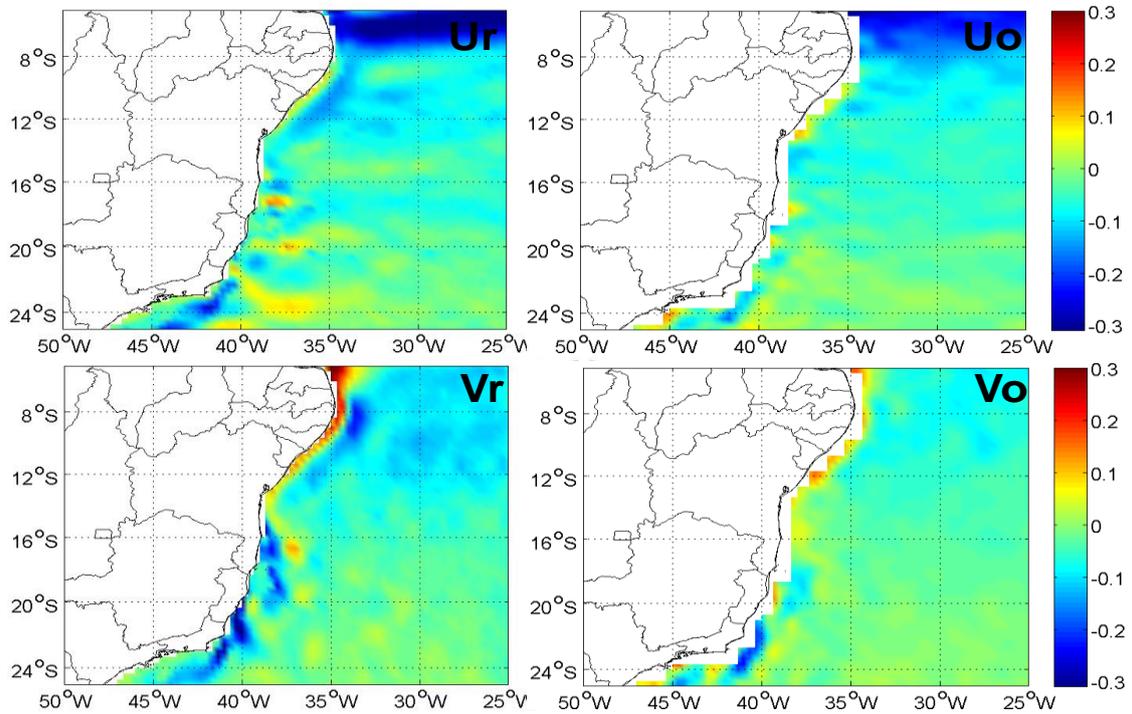


Figura 4.9— Média sazonal das componentes zonal (U) e meridional (V) no inverno, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (U_r , V_r) e do OSCAR (U_o , V_o).

Comparando-se as médias anuais das velocidades de corrente entre o ROMS e o OSCAR na forma de vetores de corrente é possível observar meandramentos próximos à quebra de plataforma (Figura 4.10). Nessa região, Castro et al. (2013) encontraram baixa correlação com o regime de ventos, sendo a circulação local regida provavelmente pela CB (CASTRO et al., 2013). O ROMS apresentou correntes um pouco mais intensas do que o OSCAR nas áreas dos bancos dos Abrolhos e Royal Charlotte, apesar disso as direções estão em boa concordância entre modelo e OSCAR (Figura 4.10).

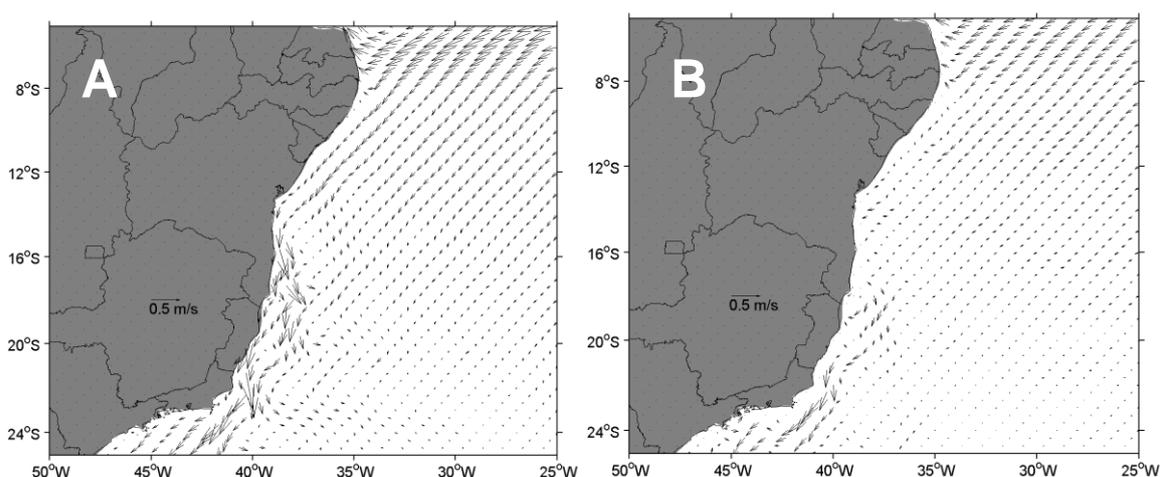


Figura 4.10—Média anual dos campos de corrente, em $m.s^{-1}$, do modelo hidrodinâmico ROMS (A) e do OSCAR(B).

4.1.4. Massas de água

As médias de temperatura e salinidade, anuais e sazonais, dos anos de 2000 a 2007 estão representadas em perfis verticais na latitude 20°S do modelo hidrodinâmico ROMS na Figura 4.11. Através de uma análise conjunta da temperatura e salinidade é possível observar as massas de água presentes na região. Na área da plataforma continental em profundidades inferiores a 100 m há a presença da AC com temperaturas entre 26°C e 28°C e salinidade de por volta de 36.4 (Figura 4.11, Anual T e S). Nas regiões adjacentes à plataforma continental, em profundidades até 200 m, encontra-se a AT com temperaturas entre 20°C e 28°C, e salinidades maiores que 36. Nas profundidades entre 300 e 500 m encontram-se águas com temperaturas mais frias (<20°C), assim como salinidades menores (<36) indicando a predominância da ACAS nessa

região. Em profundidades entre 600 e 800 m encontram-se os mínimos de salinidade (~34.8) caracterizando a AIA e abaixo dela a água com os mínimos de temperatura (~4°C) que caracteriza a ACS em aproximadamente 1000 – 1200 m de profundidade.

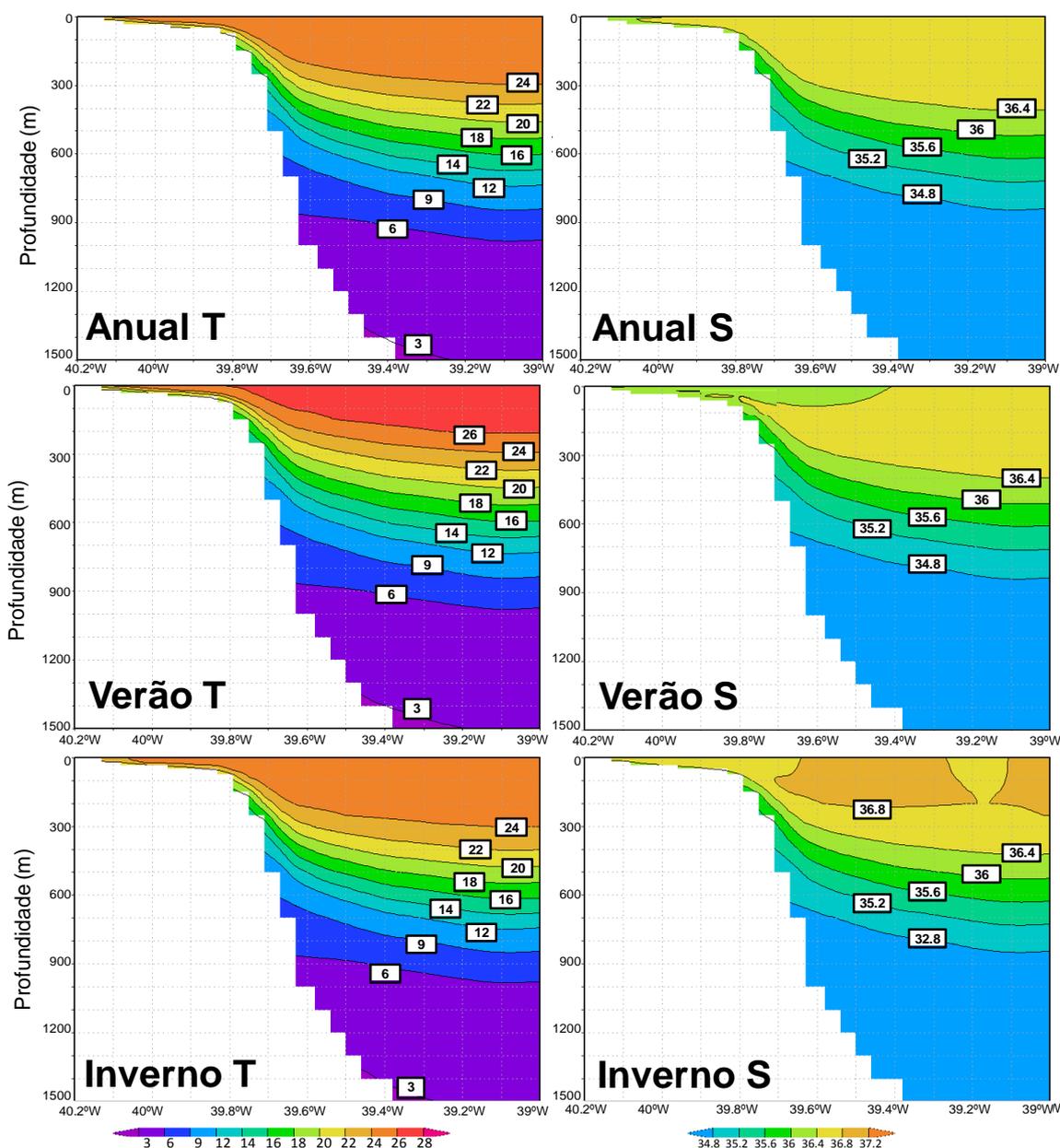


Figura 4.11– Perfis verticais de temperatura e salinidade na latitude 20°S de médias anuais (Anual T, Anual S) entre os anos 2000 e 2007, e sazonais no verão (Verão T, Verão S) e no inverno (Inverno T, Inverno S).

As massas de água encontradas na região estão de acordo com as descritas na literatura por Stramma et al. (1990) para a mesma latitude (20°S) com a

predominância da AT em superfície, seguida pela ACAS após 200 m de profundidade, a IAI a partir dos 700 m de profundidade, e após os 1000 m de profundidade a ACS.

A variabilidade sazonal da temperatura do mar é representada pelo modelo e pode ser observada mais a superfície com maiores temperaturas ocorrentes no verão, ocasionando maior estratificação na coluna da água em comparação com o inverno (Figura 4.11, Verão T e S, Inverno T e S). Além disso, é possível notar o comportamento diferenciado entre águas da plataforma continental e águas oceânicas, essa última apresenta uma estratificação da coluna de água mais homogênea até a profundidade em torno de 200m (CASTRO; MIRANDA, 1998).

No verão é possível notar uma massa de água com menor salinidade ($36 < S < 36.4$), e de camadas de temperaturas mais frias ($18 < T < 22$) na região da plataforma continental (Figura 4.11, Verão T e S). Essas características podem estar associadas à intrusão da ACAS. Este fenômeno pode ser ocasionado pela ocorrência de meandramentos e vórtices ciclônicos associados à CB, os quais apresentam caráter divergente nas camadas superficiais acarretando o bombeamento dessa massa de água em direção à plataforma (CAMPOS et al., 2000). Nessa região há a ocorrência do vórtice ciclônico de Vitória ($\sim 20,5^{\circ}\text{S}$) (SCHMID et al. 1995) que pode estar atuando nessa região de forma a causar o bombeamento da ACAS para camadas superficiais.

4.1.5. Síntese oceanográfica

A TSM entre ROMS e o AVHRR/Pathfinder5 apresentou certa diferença nas zonas mais costeiras da ordem de $1,5^{\circ}\text{C}$. Apesar disso, houve boa concordância entre modelo e sensor remoto na representação das feições oceanográficas mais resilientes da área de estudo como a ressurgência de Cabo Frio – RJ e a água mais fria presente associada ao Banco dos Abrolhos e Royal Charlotte.

A ASM do ROMS reproduziu com boa concordância espacial as principais feições oceanográficas observadas pelos produtos altimétricos do AVISO, como os vórtices de Vitória, Abrolhos, Royal Charlotte e de Ilhéus presentes na região. Da mesma forma, a comparação entre a CSM do ROMS e do OSCAR apresentou boa concordância na representação destes vórtices. A CSM do modelo apresentou velocidades de corrente um pouco maiores nas regiões mais costeiras do que o OSCAR, apesar disso a direção de corrente entre eles está adequado, representando bem os meandramentos da CB.

A estrutura vertical próxima a plataforma representou a variabilidade sazonal de forma coerente. Além disso, as massas de água presentes nos perfis verticais de temperatura e salinidades estão de acordo com as descritas na literatura para a mesma região.

4.2. Análise do modelo biofísico

Esta seção é dividida em quatro subitens: primeiro é realizada uma análise descritiva da variabilidade entre anos (2002-2007) e entre meses (abril – setembro) da dispersão dos ovos e larvas de badejos (Seção 4.2.1); no segundo subitem relaciona-se a energia cinética total do ambiente com os parâmetros de autorrecrutamento e recrutamento das larvas (Seção 4.2.2); no terceiro subitem é realizada uma análise dos padrões de dispersão de ovos e larvas de badejos com a circulação da região (Seção 4.2.3), e por fim é realizada uma análise da conectividade entre UCs marinhas (Seção 4.2.4).

4.2.1. Variabilidade interanual e intra-anual da dispersão de ovos e larvas

Os experimentos foram conduzidos de abril á setembro dos anos de 2002 a 2007 iniciando nas luas cheias de cada mês, totalizando 36 experimentos cada um com duração de 45 dias.

A mortalidade por temperatura apresentou oscilação com maiores valores nos meses de agosto e setembro (Figura 4.12), pela ocorrência de águas com temperatura inferior a 20°C no inverno, principalmente ao sul do Banco dos Abrolhos. A análise de variância entre os meses demonstrou diferenças

significativas ($p = 0,0014$) devido a esta variação sazonal da temperatura. Entretanto, a mortalidade por temperatura não apresentou diferenças significativas quando analisada entre os anos de 2002 a 2007 ($p = 0,9066$). Além da mortalidade por temperatura, a sobrevivência das larvas depende de fatores biológicos, até o momento, inviáveis de serem incluídos nos MBIs, tais como disponibilidade de presas no ambiente. Este fator pode afetar o tamanho e a condição fisiológica das larvas no recrutamento larval, influenciando sua vulnerabilidade à predação (SEARCY; SPONAUGLE, 2001).

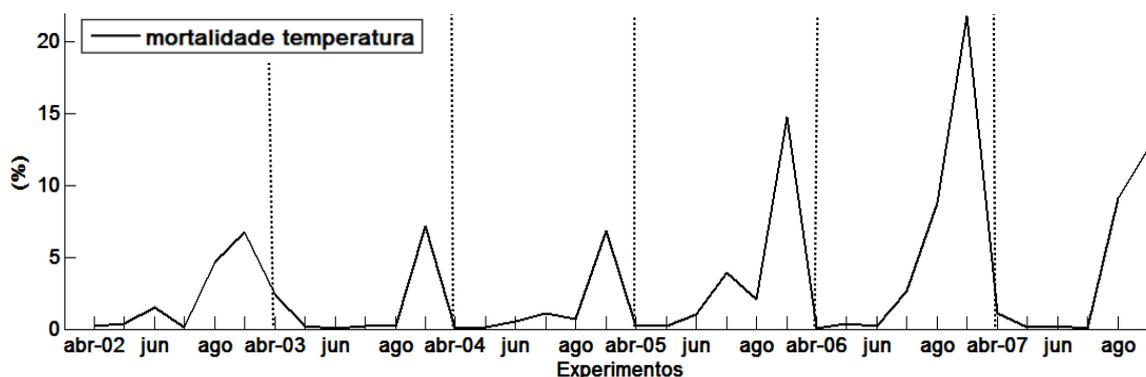


Figura 4.12– Mortalidade por temperatura de ovos e larvas de badejo nos 36 experimentos realizados.

Na Figura 4.13 é possível notar uma variação das porcentagens de autorrecrutamento e recrutamento em cada área. Em uma análise geral estas porcentagens são menores na APA da Baía de Todos os Santos (BTS) e aumentam, até chegarem às maiores porcentagens no conjunto de UCS do PNM dos Abrolhos e a APA da Ponta da Baleia. Na maioria das áreas as taxas de recrutamento e autorrecrutamento foram menores em 2002 e maiores em 2007, e o restante dos anos (2003, 2004, 2005, 2006) sofreram variações diferenciadas destes parâmetros entre as áreas (Figura 4.13). Também é possível observar que no geral as porcentagens de autorrecrutamento e recrutamento são mais similares e com o autorrecrutamento predominante em BTS, no conjunto de APAs do Pratigi, das Ilhas Tinharé e Boipeba e Baía de Camamu (BCA), no PM do Recife de Fora (RFO) e na RESEX de Corumbau (COR). Já ABR apresenta um comportamento diferente com o recrutamento proveniente de outras áreas predominante sobre o autorrecrutamento em grande parte dos experimentos (Figura 4.13).

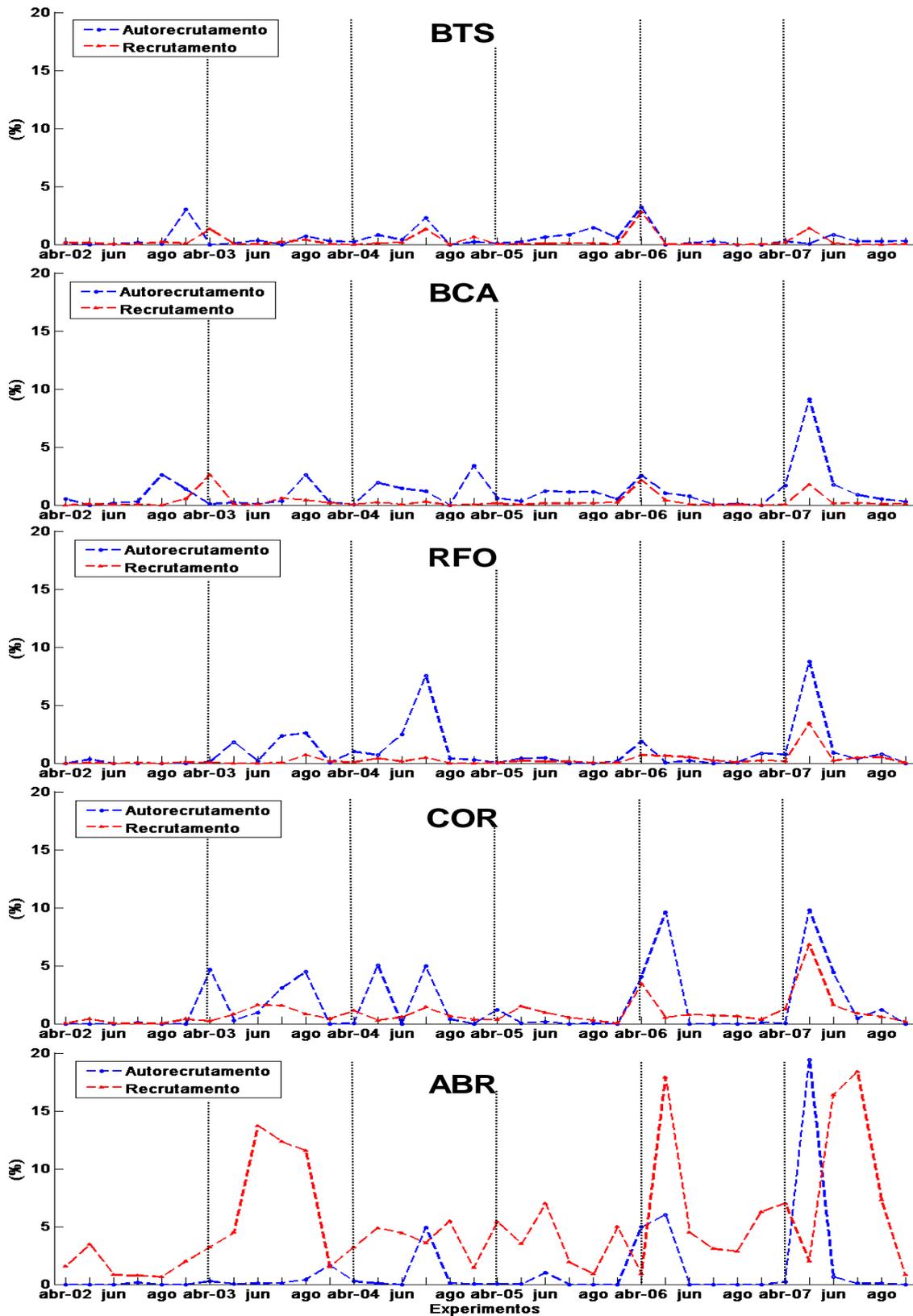


Figura 4.13– Recrutamento e Autorrecrutamento de larvas de badejo nos 36 experimentos realizados para as áreas de recrutamento pertencente as UCs: Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (BCA), Recife de Fora (RFO), Corumbau (COR) e Abrolhos (ABR).

O autorrecrutamento e o recrutamento não apresentaram diferenças estatisticamente relevantes na análise entre meses ($p = 0,4489$ e $p = 0,4606$, respectivamente). Embora sejam observadas oscilações intra-anuais com maiores valores entre os meses de abril a julho para o recrutamento, e abril a junho para o autorrecrutamento (Figura 4.14 e Figura 4.15).

Entre os anos houve variação sem diferenças significativas no autorrecrutamento ($p = 0,546$), mas com diferenças significativas no recrutamento ($p = 0,0072$), com maiores valores de ambos os parâmetros nos anos 2003, 2006 e 2007, e menores valores em 2002, 2004 e 2005 (Figura 4.14 e Figura 4.15). Quando analisadas as médias, o ano de 2002 apresentou porcentagens de apenas 1,9% de recrutamento e 1,48% de autorecrutamento. Em contrapartida em 2007 a mediana de recrutamento foi de 12% e de autorecrutamento de 10,69% (na figura 4.15 como o limite do eixo do autorrecrutamento é até 20% para melhor análise dos resultados, não está representado um “outlier” do ano de 2007 que resultou na média alta de 10,69%).

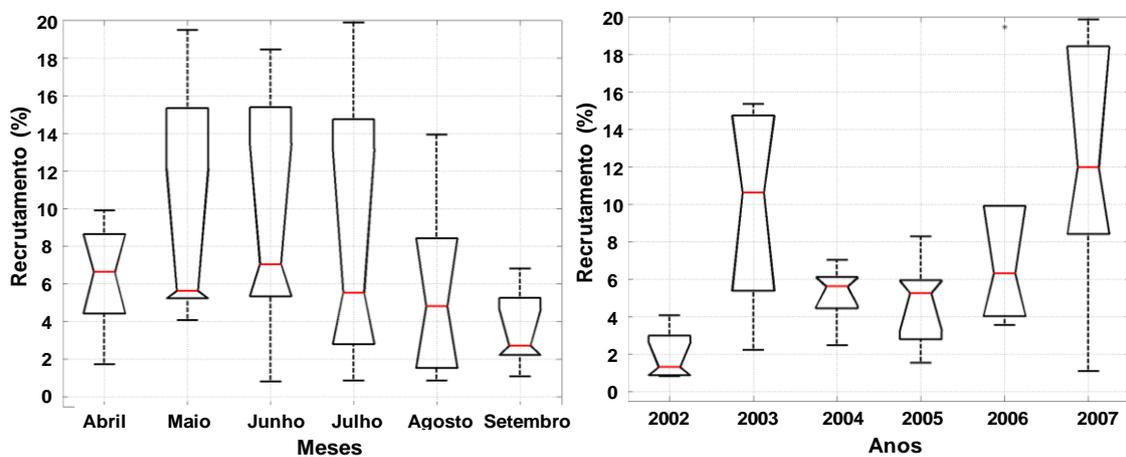


Figura 4.14– Mediana e quartis de recrutamento intra-anual (esquerda) e interanual (direita) de larvas de badejo.

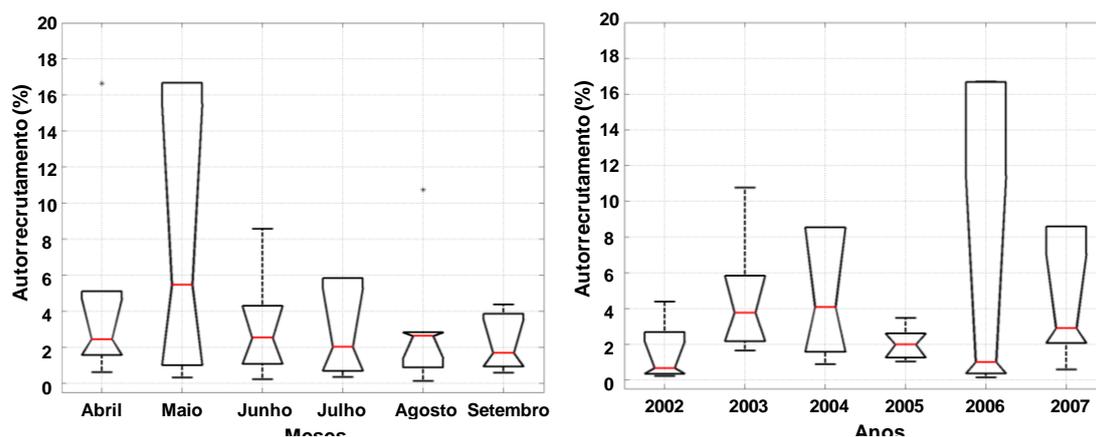


Figura 4.15 – Mediana e quartis de autorrecrutamento intra-anual (esquerda) e interanual (direita) de larvas de badejo.

Entre as UCs o recrutamento, o autorrecrutamento e a contribuição de desova de cada UC no recrutamento, apresentaram diferenças significativas ($p = 1.88e^{-19}$, $p = 0,0124$, $p = 1.79e^{-13}$, respectivamente) (Figura 4.16). Estes resultados sugerem que ao menos uma UC apresenta uma dinâmica populacional diferenciada. Os fatores atuantes na variabilidade do recrutamento de peixes marinhos são de aspecto físico, conforme regimes de maré, ventos, correntes e feições de meso-escala (e.g. vórtices) (LEE; WILLIAMS, 2009), e/ou aspectos biológicos, como a migração nictemeral (PARIS, et al., 2007, ROBINS et al., 2013). Na Seção 4.2.2 estes aspectos são discutidos com base na comparação da dispersão larval com os campos de energia cinética total.

Na Figura 4.16 é possível comparar as porcentagens de recrutamento, de autorrecrutamento entre UCs, assim como a contribuição de cada UC no recrutamento. Assim é possível realizar uma análise de quais UCs dependem mais do aporte de indivíduos de outras UCs. As UCs com valores de autorrecrutamento e recrutamento, mais similares são BTS, BCA e RFO, indicando que essas UCs têm menor dependência do recrutamento proveniente de outras UCs, ou seja, a manutenção populacional entre indivíduos da própria área e provindos de outras áreas é balanceada. A UC da BCA e principalmente de RFO apresentam uma contribuição para o recrutamento em outras UCs maior que o seu autorrecrutamento, atuando

predominantemente como áreas fontes. A UC de COR tem um recrutamento um pouco mais acentuado que o autorrecrutamento, indicando certa dependência de indivíduos de outras áreas. Além disso, COR é a UC que mais fornece indivíduos para outras UCs. Dessa forma, COR representa simultaneamente uma área de sumidouro e fonte de indivíduos. Já ABR descreve a maior discrepância entre recrutamento (alto), autorrecrutamento (baixo) e contribuição no recrutamento em outras UCs (muito baixo). Pelo seu alto recrutamento proveniente de outras UCs, relativamente aos outros parâmetros, ABR se comporta como uma área de “sumidouro” de indivíduos. Ou seja, seu recrutamento total (recrutamento + autorrecrutamento) tem forte dependência do aporte de indivíduos provenientes de outras UCs. Esse resultado sugere que em ABR a manutenção populacional requer recrutamento de larvas de outras áreas, pois apresenta baixa retenção local de indivíduos.

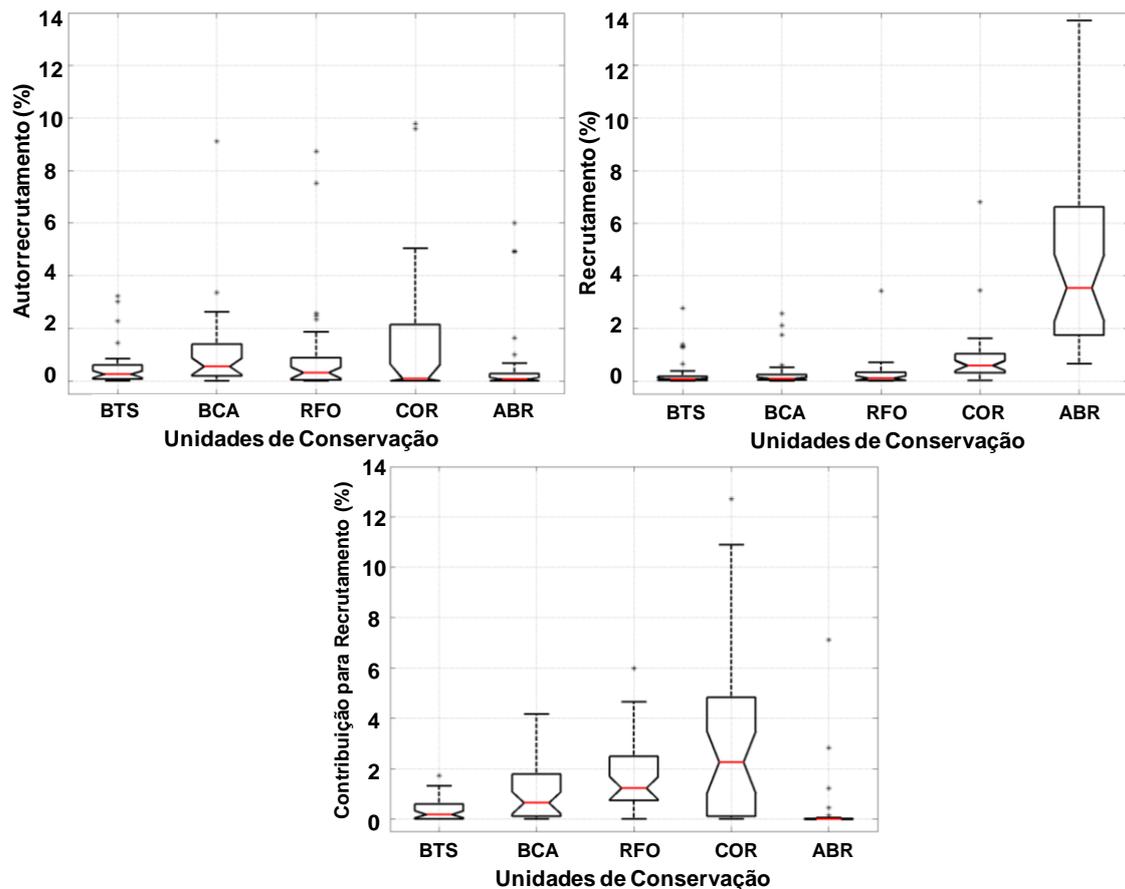


Figura 4.16– Mediana e quartis de recrutamento (esquerda), autorrecrutamento (direita) e a contribuição para o recrutamento proveniente de cada Unidade de Conservação.

Tabela 4.1– Resultados do teste estatístico Kruskal-Wallis interanual e intra-anual, e entre Unidades de Conservação para os parâmetros analisados (nível significância 5%, * $p < 0,05$).

	p-value ANUAL	p-value MENSAL	GL
Mortalidade por temperatura	0,9337	0,0015 *	5
Autorrecrutamento	0,2245	0,9473	5
Recrutamento	0,0098*	0,4761	5
Autorrecrutamento por UCs	0,0124 *		4
Recrutamento por UCs	1,88e ⁻¹⁹ *		4
Contribuição para o recrutamento de cada UC	1,79e ⁻¹³ *		4

Existem populações que podem ser amplamente dependentes da produção e dispersão larval de outras populações. Assim eventos que regem a produção e dispersão de larvas de uma população, podem ter fortes influências sobre a dinâmica e estrutura de populações de outros lugares. Esta conectividade entre as populações através da dispersão de larvas pelágicas define a escala espacial das interações ecológicas entre as populações de peixes (CARR: SYMS, 2006). Assim, a estrutura espacial heterogênea das populações e a conectividade entre elas, têm implicações importantes em como a dinâmica de recrutamento e das populações locais regem a dinâmica e persistência das populações regionais (ARMSWORTH, 2002).

4.2.2. Relação da energia cinética total e o recrutamento das larvas de badejos

Os padrões de recrutamento e autorrecrutamento apresentaram variações inter e intra-anuais que podem estar associadas aos padrões de circulação do oceano e assim com a energia cinética total, que expressa a quantidade de transporte do ambiente marinho. As variações mensais seguiram certo padrão, obtendo-se maiores porcentagens de recrutamento nos meses de abril a julho em comparação com agosto e setembro. Para ilustrar esse padrão foi utilizado o ano de 2007, que apresentou maior recrutamento e autorrecrutamento em relação aos outros anos. Na Figura 4.17 é possível notar nas áreas

pontilhadas, que engloba as áreas de desova e recrutamento, uma intensificação da ECT no mês de setembro de 2007, coincidente com o mês em que houve a menor porcentagem de recrutamento (1,1%) e de autorrecrutamento (0,6%). Em compensação no mês de maio do mesmo ano há pouca ECT no ambiente e houve maior porcentagem de recrutamento (15,3%) e autorrecrutamento (47,15%) considerando todas as áreas (Figura 4.17).

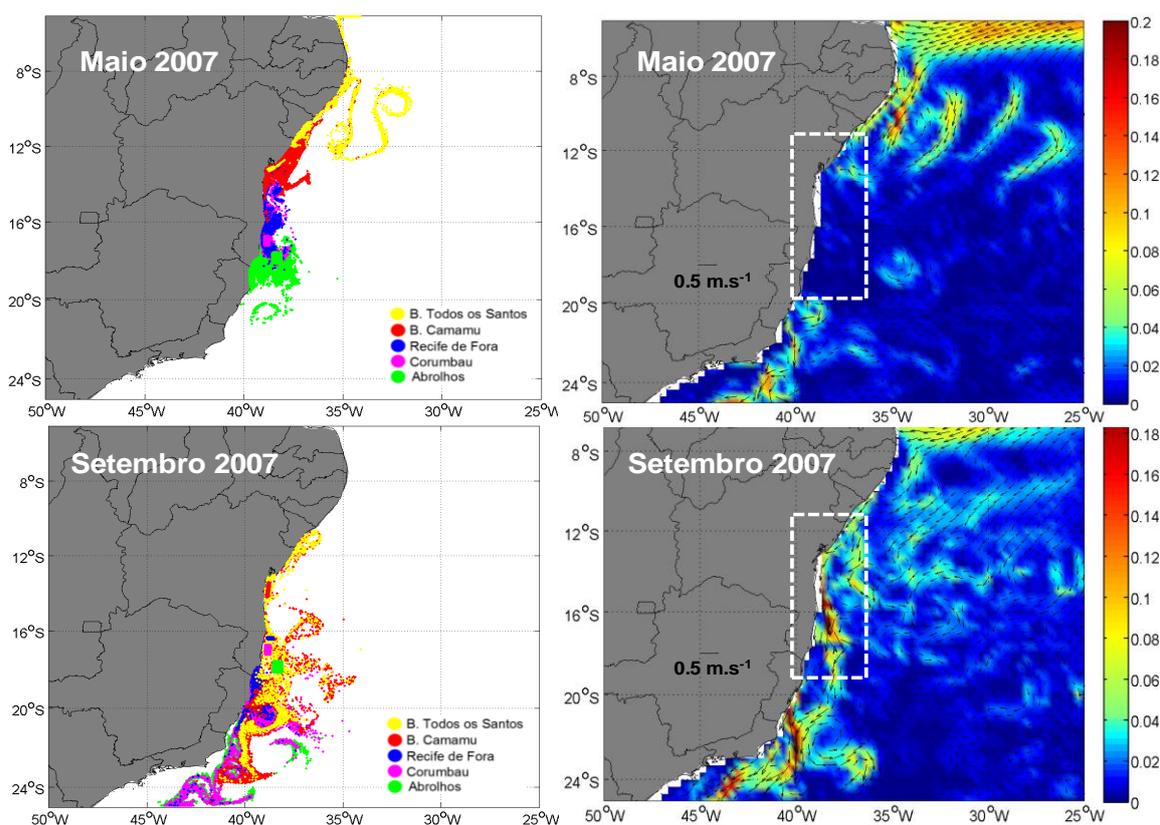


Figura 4.17– Dispersão larval (esquerda) e Energia Cinética Total (direita), em $m^2.s^{-2}$, com os vetores de corrente, nos meses de maio (superior) e setembro (inferior) no ano de 2007. As áreas pontilhadas englobam os locais de desova e recrutamento.

Da mesma forma, quando analisamos a variabilidade interanual do recrutamento e autorrecrutamento, os anos com menores porcentagens destes parâmetros ocorrem exatamente nos anos de maiores intensidades de ECT (Figura 4.18). Nos anos de 2002, 2004 e 2005 que apresentaram altos valores de ECT ocorreram menores porcentagens de recrutamento (1,89% em 2002, 5,21% em 2004 e 4,84% em 2005), e de autorrecrutamento (1,48% em 2002,

6,65% em 2004 e 2,03% em 2005). Em contrapartida, quando os valores de ECT estão menores nos anos de 2003, 2006 e 2007, ocorrem maiores porcentagens de recrutamento (9,82% em 2003, 8,26% em 2006, 11,96% em 2007) e autorrecrutamento (4,64% em 2003, 5,97% em 2006, 10,69% em 2007) (Figura 4.18). Estes resultados indicam que uma menor intensidade de ECT propicia uma maior retenção das larvas na plataforma continental, aonde as mesmas são recrutadas.

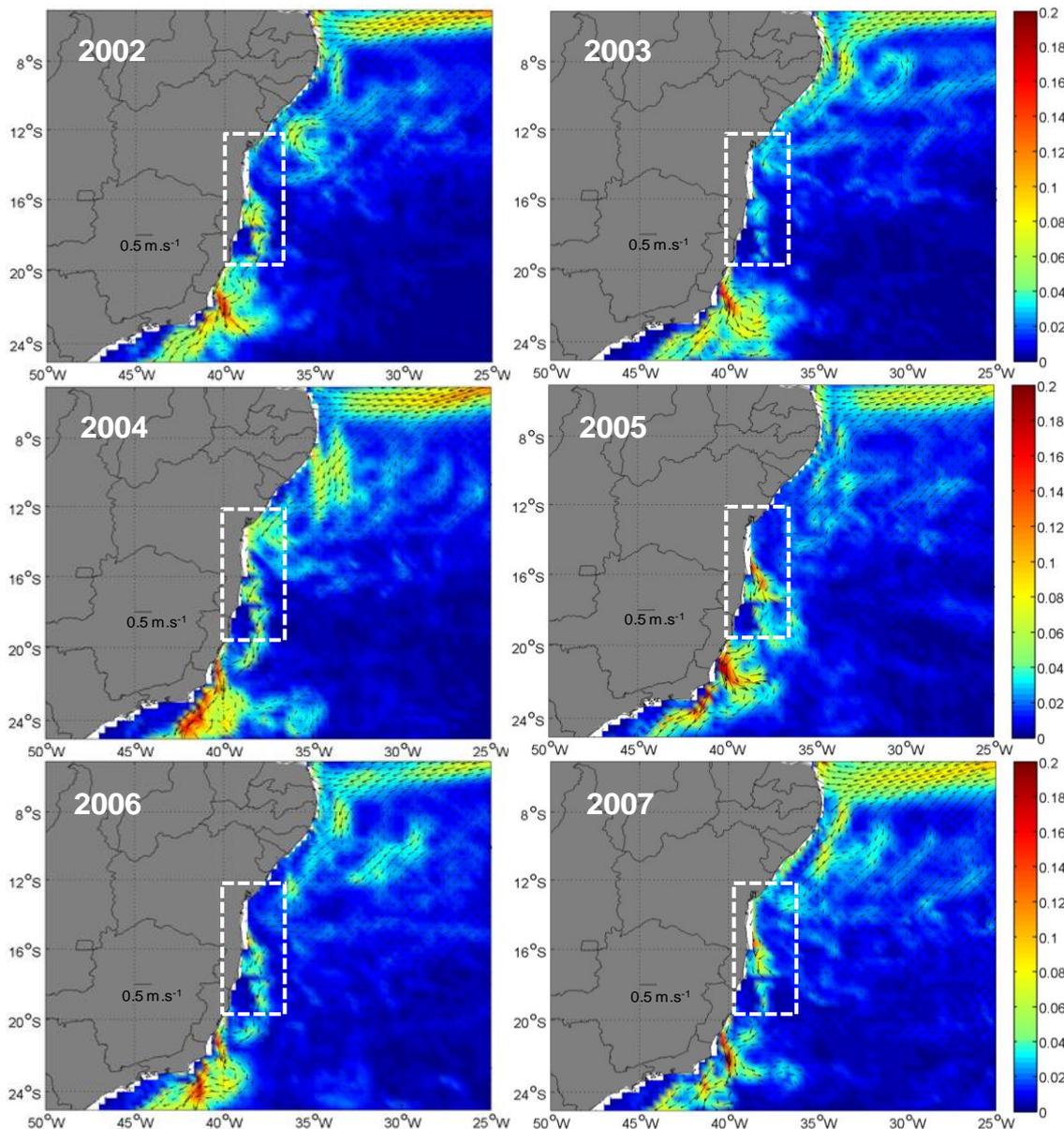


Figura 4.18– Energia Cinética Total (direita), em $m^2.s^{-2}$, e vetores de corrente de médias anuais de 2002 a 2007. As áreas pontilhadas englobam os locais de desova e recrutamento.

Para confirmar essa relação, médias anuais da ECT (respectivas aos meses dos experimentos: abril - setembro) foram calculadas considerando a área pontilhada com limites em -13°S , -19°S , -37°W e -39°W . As componentes de velocidade zonais (U) e meridionais (V), também foram analisadas juntamente com as probabilidades de recrutamento e autorrecrutamento anuais (Figura 4.19). De forma geral nota-se na Figura 4.19 que as oscilações do recrutamento total (recrutamento + autorrecrutamento) apresentam uma relação inversa com a ECT.

A correlação entre a ECT e as probabilidades de recrutamento e autorrecrutamento foi negativa da ordem de $-0,53$ ($P = 0,0008$), e $-0,34$ ($P = 0,0408$), respectivamente (Figura 4.20). As evidências indicam que a ECT atua de forma a aumentar a dispersão dos ovos e larvas de badejos advectando-os para áreas fora da plataforma continental e assim diminuindo a quantidade de larvas disponíveis para o recrutamento em cada área. Ruiz et al. (2013) encontraram resultados similares comparando, nesse caso, a energia cinética turbulenta, em relação ao recrutamento de anchovas (ocorrente sobre a plataforma continental). De acordo com estes autores, quando há uma intensificação da energia cinética turbulenta do Jato do Atlântico no Mediterrâneo o recrutamento de anchovas é consideravelmente menor, pois as mesmas são advectadas para fora da plataforma continental.

A energia cinética total é calculada pela combinação das componentes zonais e meridionais de corrente. O sentido médio da componente zonal atuante sobre as larvas é para leste e o sentido da componente meridional é para sul (Figura 4.19). Assim, a componente zonal mais intensa a leste acaba por afastar as larvas das áreas recifais. Já a componente meridional no sentido sul, favorece o fluxo de larvas de norte para sul, ou seja, de BTS sentido ABR. Fatores esses que esclarecem as maiores taxas de recrutamento das áreas ao sul da costa da Bahia em comparação com as áreas ao norte. A forte componente meridional para sul também implica na dispersão das larvas desovadas em ABR serem advectadas para sul. Dessa forma, há menor retenção local dos

indivíduos em ABR e inviabiliza a chegada das larvas de ABR para outras UCs localizadas mais ao norte.

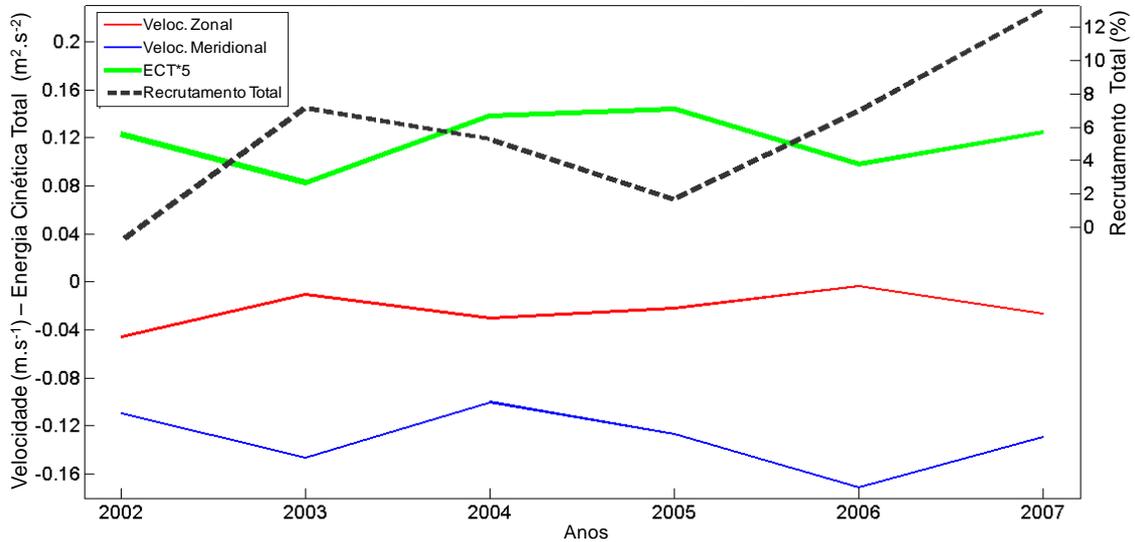


Figura 4.19 – Médias anuais da Energia Cinética Total (multiplicada por 5 para melhor visualização - verde), em $m^2 \cdot s^{-2}$, Velocidades Zonais (vermelho) e Meridionais (azul), em $m \cdot s^{-1}$, recrutamento total (recrutamento + autorrecrutamento - pontilhado em preto).

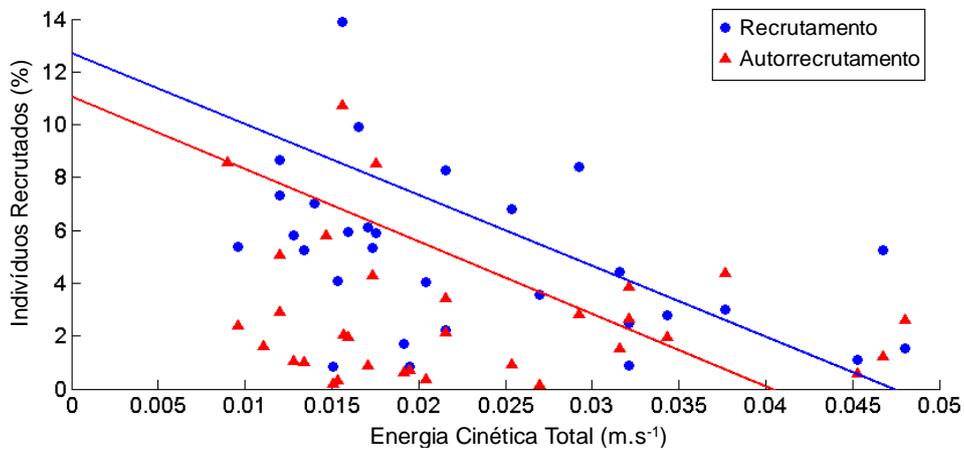


Figura 4.20– Recrutamento e Autorrecrutamento em função da Energia Cinética Total, em $m^2 \cdot s^{-2}$.

Assim espera-se que quanto maior a ECT no ambiente, maior a advecção das larvas. Da mesma forma, quanto maior essa advecção pela ECT, maior a distância percorrida pelas larvas. Deste modo, também foi realizada uma correlação entre as trajetórias totais percorridas pelas larvas em cada experimento (45 dias), e as ECT médias atuantes nesse percurso para atestar o quanto a ECT estaria governando a dispersão larval. A Figura 4.21

demonstra uma correlação positiva de 0,46 ($P = 0,0047$) entre a ECT e a trajetórias das larvas, sugerindo que as trajetórias das larvas na região de estudo são regidas em aproximadamente 50% pela ECT.

Outro fator que pode influenciar essas trajetórias das larvas é o comportamento de migração nictemeral das larvas. Possivelmente quando elas migram verticalmente para maiores profundidades durante o dia as mesmas sofrem a influência de correntes com magnitudes e direções um pouco diferenciadas da superfície. Tal como observado no trabalho de Paris et al. (2007) em que a migração nictemeral teve papel determinante na dispersão das larvas, além da hidrodinâmica local. Robins et al. (2013) no Mar da Irlanda constataram que o potencial de dispersão de larvas por modelagem biofísica dependeu fortemente da estratégia nictemeral das larvas em comparação com larvas passivas simuladas. Estes autores verificaram que as larvas de comportamento passivo apresentaram alta dispersão, sendo advectadas para áreas fora das zonas de recrutamento próximo a plataforma continental, enquanto as larvas com a estratégia de migração vertical apresentaram maior retenção e conectividade.

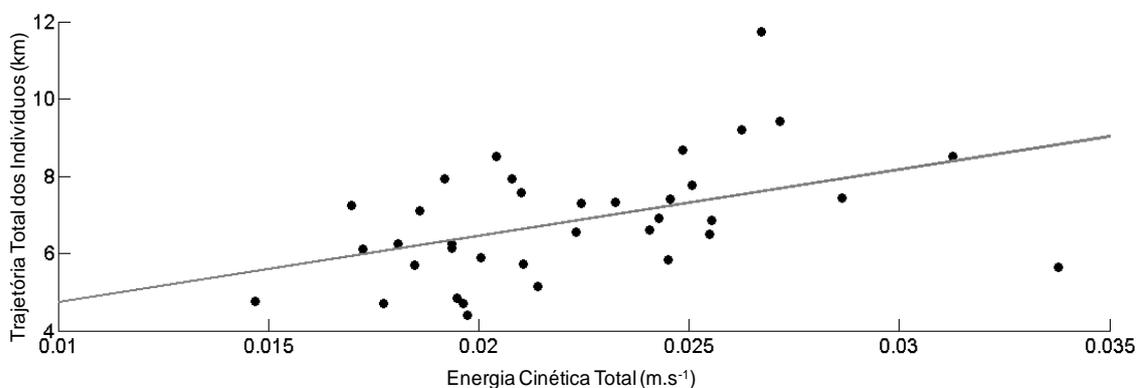


Figura 4.21 – Médias mensais da Energia Cinética Total, em m^2s^{-2} , pela trajetória total das larvas de badejos, em km.

4.2.3. Padrões de dispersão espacial de ovos e larvas de badejos

Quando comparadas as dispersões dos ovos e larvas de badejos para o ano de menor (2002) e maior (2007) porcentagem de recrutamento e autorrecrutamento é possível notar grande diferença na dispersão espacial dos mesmos (Figura 4.21 e Figura 4.22). Entre os meses de abril e junho do ano de

2002 observa-se uma aparente separação das trajetórias de dispersão onde as larvas desovadas nas áreas ao norte da costa da Bahia (BTS e BCA) se dispersaram mais para norte, e as larvas desovadas ao sul (RFO, COR e ABR), migraram preferencialmente para o sul (Figura 4.21). Esta separação ocorre justamente na área de atuação da BICSE, a qual se divide em CB e CNB entre 7° e 17°S (STRAMMA et al., 1990). Assim a BICSE pode estar modulando a dispersão das larvas de forma que o ramo da CNB tem influência sobre as larvas liberadas no norte da costa da Bahia advectando-as para norte, e a CB age sobre as larvas liberadas mais ao sul advectando-as para sul. A partir de julho de 2002 há uma maior mistura das larvas provenientes do norte e do sul, propiciando uma maior migração de indivíduos de uma área para outra. Da forma similar, no ano de 2007 observa-se que os padrões dos meses de abril a junho também apresentam certa separação entre as larvas desovadas do sul e do norte da costa baiana, porém com menor intensidade. E nos outros meses (julho-setembro) as larvas de diferentes locais tendem a ser advectadas de forma mais acentuada (Figura 4.22).

Estes diferentes padrões de dispersão larval observados entre os meses podem estar relacionados com a variabilidade da BICSE na região de estudo. Segundo Rodrigues et al. (2007) a BICSE apresenta um ciclo anual realizando deslocamentos latitudinais em resposta à mudança sazonal da amplitude da tensão cisalhamento do vento, que por sua vez é ocasionada pela migração da ZCIT. Estes autores verificaram que durante os meses de inverno (abril a setembro) a BICSE se desloca, de sua posição média (~15°S), para o sul (~17°S em julho), e em novembro a mesma se desloca mais ao norte (~13°S).

Na seção anterior (Seção 4.2.2) foi observado que a ECT tem correlação negativa com o recrutamento total dos indivíduos. É possível notar entre a dispersão larval dos anos de 2002 (Figura 4.22) e 2007 (Figura 4.23) que a advecção de larvas para áreas mais afastadas da plataforma foi maior em 2002 do que em 2007, indicando que maiores intensidades de ECT advectam as larvas para fora da plataforma continental, diminuindo seu recrutamento.

Em ambos os anos (2002 e 2007) é possível observar larvas capturadas por vórtices e meandramentos que podem agir de forma a recircular as partículas para as zonas de recrutamento próximas à costa ou advectá-las para zonas mais oceânicas. O trabalho de Lee e Willians (2009) no arquipélago da Florida Keys constatou que o Giro ciclônico de Tortuga atua como uma célula de recirculação que propicia a retenção das larvas na região, assim como o recrutamento de larvas provenientes de outros locais.

Existem muitos indivíduos que são advectados para fora do domínio, tanto ao sul quanto ao norte, nos dois anos (2002 e 2007). Estas larvas poderiam chegar a outras Unidades de Conservação Marinhas localizadas ao norte fora do domínio deste trabalho, tal como a APA Estadual dos Recifes de Corais, e o Parque Estadual Marinho de Areia Vermelha. Ao sul do domínio não existem mais UCs contendo ambientes recifais, porém espécies do gênero *Mycteroperca* também são encontradas associadas a substratos rochosos em regiões ao sul, como em Arraial do Cabo – RJ (FERREIRA et al., 2001; FLOETER et al., 2003; FLOETER et al., 2004) e em outros estados como São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Este processo pode ocorrer principalmente com as larvas desovadas em ABR, que sofrem advecção para o sul em grande parte dos experimentos realizados, podendo atuar como fonte para outras regiões ao sul não consideradas nesse trabalho.

Em diversos experimentos houve larvas que se deslocaram até às proximidades das Ilhas de Trindade e Martin Vaz, localizadas no ponto geográfico central de 20,5°S e 29,3°W. Nesse local já foram reportadas ocorrências de diversas espécies do gênero *Mycteroperca* (GASPARINI; FLOETER, 2001; PINHEIRO et al., 2011). Dessa forma, é possível que haja uma migração de indivíduos da costa da Bahia para o Arquipélago Trindade-Martin Vaz, estabelecendo assim uma conectividade entre as populações de ambos.

É importante ressaltar que as desovas dos badejos são realizadas sempre em períodos de lua cheia e a periodicidade reprodutiva lunar pode estar relacionada com a importância do ciclo de amplitude das marés no transporte

das larvas, sendo uma estratégia utilizada para melhorar sua dispersão (JOHANNES, 1978). Infelizmente no presente trabalho não foi possível a inserção da maré no modelo hidrodinâmico, dessa forma recomenda-se para estudos futuros a análise da influência da maré nesse contexto.

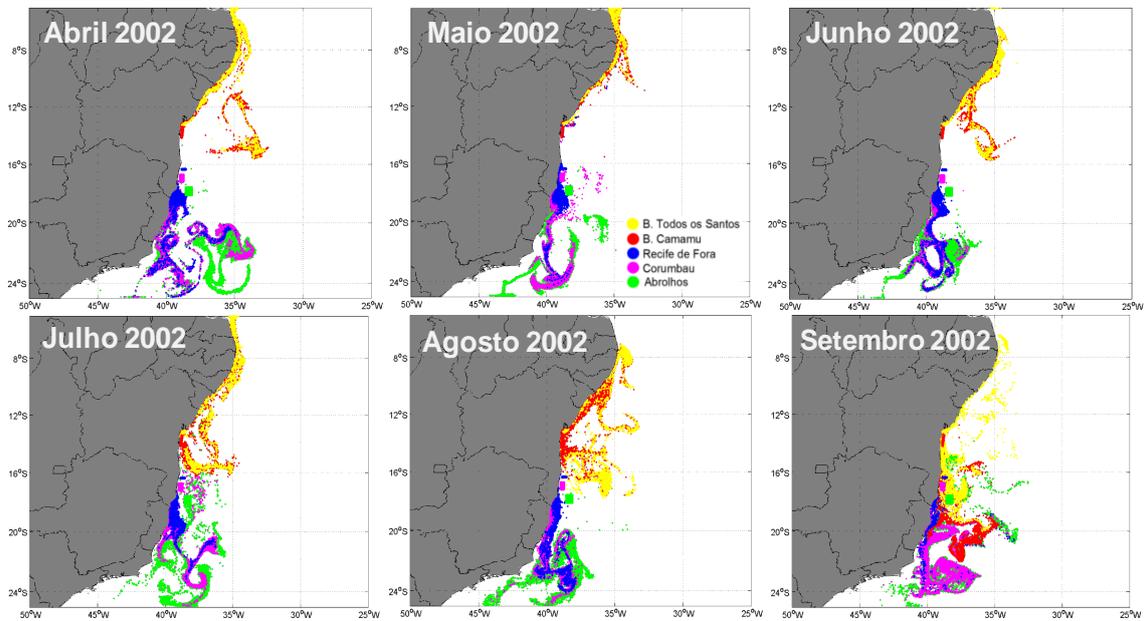


Figura 4.22– Dispersão de ovos e larvas de badejos nos meses de abril a setembro no ano de 2002.

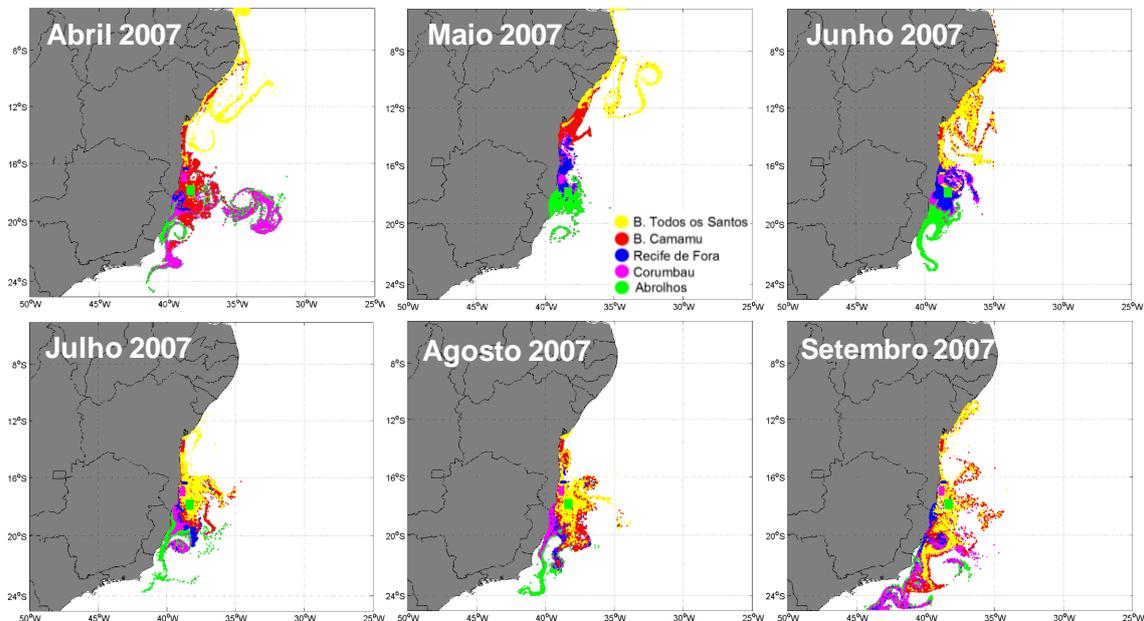


Figura 4.23– Dispersão de ovos e larvas de badejos nos meses de abril a setembro no ano de 2007.

4.2.4. Conectividade entre Unidades de Conservação Marinhas

O parâmetro de conectância é a fração de conexões entre todas as áreas, considerando as probabilidades de conexão diferentes de zero pelo número total de conexões possíveis. Ou seja, nos indica o quanto de conectividade relativa se obteve entre as áreas. A conectância apresenta oscilações entre os experimentos (Figura 4.24), com diferenças significativas entre os anos ($p=0,029$), e maior similaridade entre os meses ($p = 0,604$). A menor porcentagem de conectância foi observada em 2002 (37%) e maior conectância em 2007 (71%), valores consistentes com os observados nos padrões de recrutamento entre áreas.

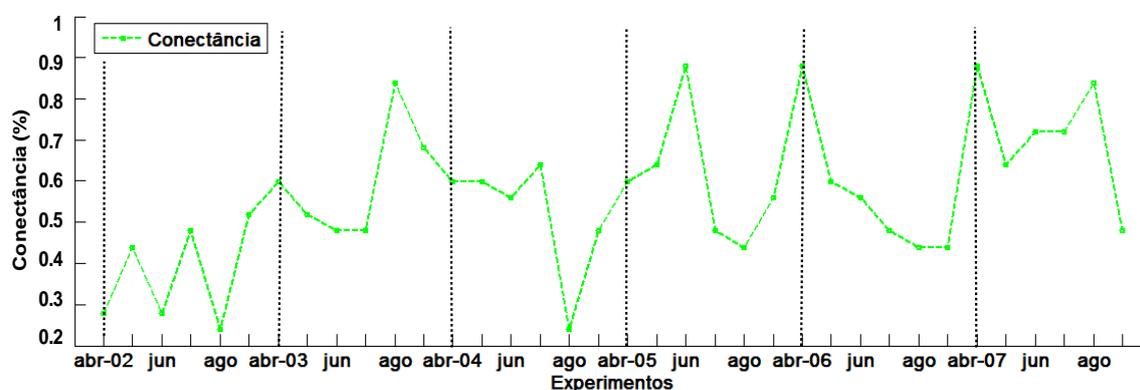


Figura 4.24 – Porcentagem de conectância entre áreas nos experimentos realizados.

A análise de variância da conectância entre UCs se mostrou significativamente diferente ($p = 0,0001$) com conexões aumentando das áreas ao norte para as áreas ao sul da PCL (Figura 4.25). ABR é a área com maior mediana de conectância (16%) indicando que a mesma tem o maior aporte de indivíduos advindos de outras áreas. Em compensação BTS é a área com menor valor de conectância (8%) (Figura 4.25). Dessa forma, pode-se inferir que a conectividade entre áreas ocorre de forma direcional na PCL, com as áreas ao norte (BTS, BCA) recebendo menor aporte de indivíduos de outras áreas, e as áreas mais ao sul (RFO, COR, ABR) apresentam maior conectância com outras áreas. Andrello et al. (2013) utilizando a garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* como espécie chave, analisou a conectividade entre 115 UCs no Mediterrâneo, e encontrou proporções de conectância bem menores (ordem de apenas 3 a 4%) que as encontradas neste trabalho.

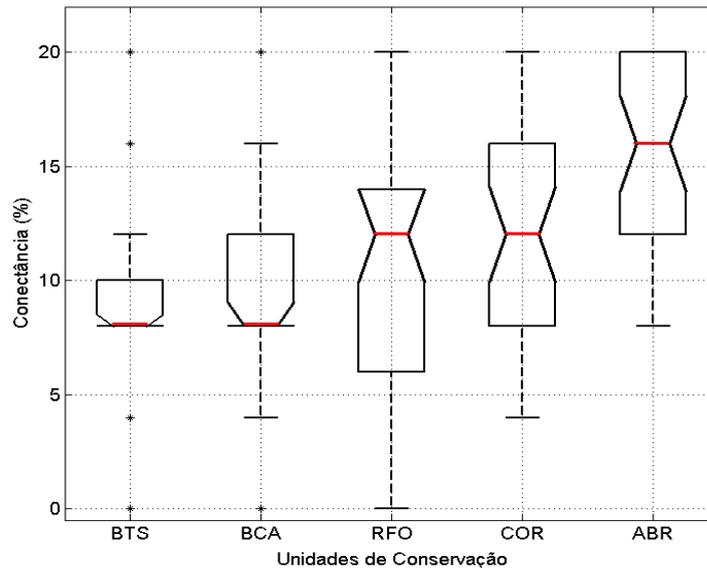


Figura 4.25– Medianas e percentis da conectância entre áreas.

Os resultados apresentados já indicaram que existem UCs que atuam mais como fonte de indivíduos e outras que atuam como sumidouro. As Matrizes de Probabilidade de Transição (MPTs) sintetizam esses resultados com as probabilidades totais das larvas migrarem de uma UC a outra. Na Figura 4.26 as MPTs estão representadas de forma que os tempos (anos ou meses) encontram-se expressos juntamente ao eixo dos “Locais Fonte”. A migração de indivíduos de uma área a outra, ou conectividade, se dá notavelmente de norte para sul (Figura 4.26), sendo ABR área de maior sumidouro de larvas provindas de outras áreas. ABR recebe aporte de indivíduos de praticamente todas as outras áreas, com maior intensidade das áreas do sul da Bahia (RFO e COR, áreas fonte), tanto anualmente como mensalmente. Em alguns casos o aporte de indivíduos em ABR chega a probabilidades entre 0,16 e 0,17. Porém, é evidente, tal como observado por resultados já apresentados, que a contribuição de indivíduos de ABR para outras áreas é baixa. COR é a segunda maior área de sumidouro de larvas, e uma das áreas fonte que mais fornece indivíduos a outras áreas, especialmente para ABR. As outras três áreas (BTS, BCA e RFO) oscilam anualmente e mensalmente em menores probabilidades de conectividade. Praticamente todas as áreas recebem e fornecem indivíduos para outras áreas, em maiores ou menores probabilidades, mais ainda assim refletem uma conectividade acentuada entre as UCs.

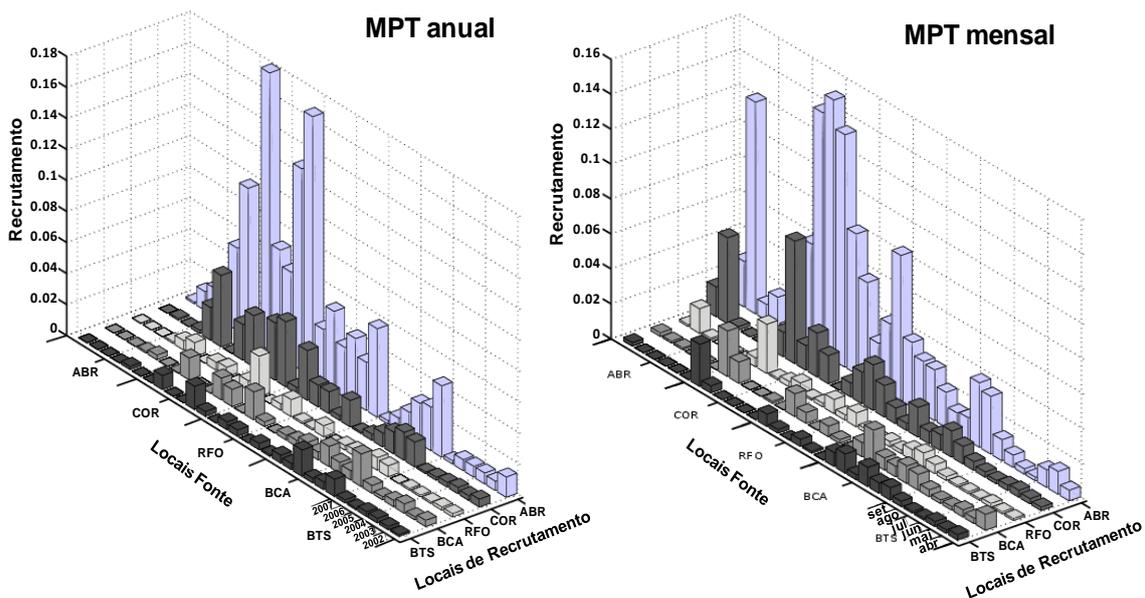


Figura 4.26 – Matrizes de Probabilidade de Transição (MPTs) entre os locais de desova (fonte) e de recrutamento, anual (esquerda) e mensal (direita).

A conectividade preserva a capacidade de manutenção e resiliência das populações por meio do aporte de novos indivíduos provenientes de áreas fonte (recolonização) (CROOKS; SANJAYAN, 2006). Os resultados encontrados aqui sugerem que esse intercâmbio seja direcional, de norte para sul, com as UCs ao sul da Bahia (PNM dos Abrolhos, APA da Ponta da Baleia, RESEX do Corumbau) com alto aporte de indivíduos de outras UCs. Dessa forma, a manutenção populacional das áreas ao sul, principalmente ABR, pode, sob certas condições, apresentar grande dependência populacional de indivíduos provindos de outras áreas ao norte. É importante ressaltar também que a conectividade entre habitats também pode ocorrer por migração de indivíduos adultos de uma população a outra (LUIZ et al., 2012; LUIZ et al., 2013).

Os resultados aqui apresentados demonstraram que as UCs da costa da Bahia têm uma interatividade relevante entre as populações de badejos de diferentes UCs. O entendimento da dispersão e recrutamento dos ambientes recifais é fundamental para avaliação de abordagens de gestão de UCs marinhas, pois as mesmas representam ambientes propícios para desenvolvimento de indivíduos e são fontes de reposição para populações exploradas pela pesca.

Assim estas áreas têm importância sob aspectos populacionais, que promovem o crescimento da densidade, biomassa, tamanho e diversidade dos organismos. Em resultados encontrados por Halpern (2003) a criação de reservas marinhas sugere o incremento de duas vezes mais a densidade, aproximadamente o triplo de biomassa e o aumento do tamanho e diversidade dos organismos entre 20% a 30% em comparação com áreas desprotegidas.

A conectividade entre populações locais serve de base para a criação e melhoramento de redes de UCs que devem considerar a dinâmica populacional de cada UC e entre elas. A sustentabilidade e a reposição de indivíduos em redes de UCs têm de ser independentes de populações fora das reservas, para assim garantir a persistência e resiliência das populações presentes em cada UCs (CARR; SYMS, 2006). Para o funcionamento dessas redes, cada uma delas deve ser autossustentável ou adequadamente conectada com outras UCs por dispersão larval, assegurando dessa forma a conservação efetiva da biodiversidade marinha (PLANES et al., 2009).

4.2.5. Síntese ecológica

O autorrecrutamento e recrutamento apresentaram diferenças significativas entre UCs, assim como na contribuição de cada UC para o recrutamento. Estes resultados sugerem que existem UCs que atuam predominantemente como sumidouro (PNM dos Abrolhos e APA da Ponta da Baleia) ou como fonte (RESEX do Corumbau).

Além disso, o recrutamento apresentou variabilidade intra-anual significativamente diferente. Esta variabilidade está associada à correlação negativa deste parâmetro com a quantidade de energia cinética total por unidade de massa do ambiente. Assim, quanto maior essa energia no local, menor a probabilidade de autorrecrutamento e recrutamento de indivíduo, pois as mesmas são advectadas para fora da plataforma. A advecção das larvas quando a ECT é maior, é verificada com a correlação positiva entre a distância total percorrida pelas larvas (trajetórias) e a ECT.

A dispersão das larvas nessa região é governada pela circulação superficial e feições de mesoescala. A variabilidade da BICSE, dos regimes de vento e da ocorrência vórtices na região podem representar grande influência nos padrões de dispersão das larvas.

Indivíduos foram advectados para fora do domínio do estudo em diversos experimentos, tanto ao norte quanto ao sul. Existe a possibilidade de estas larvas recrutarem em outras UCs da costa do Brasil não consideradas no presente trabalho. Assim como, foram observadas migrações de indivíduos da costa da Bahia para o Arquipélago Trindade-Martin Vaz, estabelecendo assim uma possível conectividade entre as populações de ambos. Dessa forma recomenda-se que um estudo mais aprofundado seja realizado considerando uma área de estudo maior, incluindo outras UCs e o Arquipélago Trindade-Martin Vaz.

Os resultados apresentados indicam que a conectividade entre os ambientes recifais na área de estudo, utilizando o badejo como espécie chave, é direcional, de norte para sul, e apresenta diferenças significativas entre as UCs. Sendo o PNM dos Abrolhos e a APA da Ponta da Baleia, o conjunto de UCs que apresenta maior conectividade com outras áreas, pelo maior aporte de indivíduos provenientes de outras UCs.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a variabilidade e os padrões de conectividade entre ambientes recifais em UCs da PCL através do uso da modelagem biofísica, representando o primeiro estudo nesse âmbito realizado no Brasil. O modelo hidrodinâmico utilizado para a simulação do ambiente físico apresentou boa concordância na comparação com os dados de sensoriamento remoto, representando bem a circulação da região de estudo.

A conectividade encontrada é alta e ocorre preferencialmente de norte para sul conforme os padrões de circulação da região e sua variabilidade. De forma que, quando a ECT é maior, as larvas de badejo são advectadas para fora da PCL, diminuindo a conectividade entre UCs e o recrutamento. Assim sendo, pode-se inferir que os regimes de circulação hidrodinâmica da região influenciam fortemente os padrões de conectividade encontrados entre UCs da PCL. Outros trabalhos também atestam a influência da circulação hidrodinâmica na influência da conectividade, porém poucos utilizaram relações diretas entre parâmetros populacionais e físicos. Foi demonstrado neste trabalho que a ECT representou um parâmetro físico adequado para essa relação e compreensão de padrões de conectividade.

Dentro do domínio estudado a contribuição de cada UC para o recrutamento é significativamente diferente, na qual a RESEX do Corumbau é a principal fonte de indivíduos, e o conjunto de UCs ao sul, o PNM dos Abrolhos e a APA da Ponta da Baleia, representa o principal sumidouro de indivíduos. Relevando que esse grupo ao sul pode estar atuando como fontes de indivíduos para outros locais que não foram considerados no estudo, como o Arquipélago Trindade-Martin Vaz. Em suma, na PCL existem UCs que atuam predominantemente como provedora de indivíduos, contribuindo para resiliência de outras UCs. Em contrapartida, existem UCs que atuam mais como sumidouro de indivíduos, que constituem áreas propícias ao desenvolvimento das larvas. Deste modo, é possível inferir que a eficácia da preservação da biodiversidade nas UCs da PCL vai muito além dos seus

limites geográficos, formando uma rede de UCs com alta conectividade por dispersão larval. Logo, essa pesquisa fornece informações para a confecção e/ou adaptação de planos de manejo das UCs existentes ou a criação de novas UCs na região, considerando a conectividade entre as mesmas. De modo que uma rede de UCs seja funcional e assim assegure a reposição de organismos nos ambientes recifais, especialmente de peixes comercialmente explorados como os badejos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, T.; ALEJNIK, D.; BURROWS, M. T. Larval dispersal of intertidal organisms and the influence of coastline geography. **Ecography**, v. 37, p.1 – 13, 2014.
- AKCAKAYA, H. R.; MILLS, G.; DONCASTER, C. P. The role of metapopulations in conservation. In: MACDONALD, D.W.; SERVICE, K. **KEY Topics in Conservation**. Oxford, UK: Blackwell Publishing, p. 64–84. 2007.
- AMORIM, F. N. et al. The influence of large-scale circulation, transient and local processes on the seasonal circulation of the Eastern Brazilian Shelf, 13°S. **Continental Shelf Research**, v. 32, p.47-61, 2012.
- ANDRADE, Á; MACHADO, L. F.; HOSTIM-SILVA, M.; BARREIROS, J. P. Reproductive biology of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834) (Perciformes: Serranidae, Epinephelinae) in Santa Catarina, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 46, n. 3, p. 373-381, 2003.
- ANDRELLO, M. et al. Low Connectivity between Mediterranean Marine Protected Areas: A Biophysical Modeling Approach for the Dusky Grouper *Epinephelus marginatus*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, p. 1-15, 2013.
- ARMSWORTH, P.R. Recruitment limitation, population regulation, and larval connectivity in reef fish metapopulations. **Ecology**, v. 83, p. 1092–1104, 2002.
- ARRUDA, W. Z. et al. Events of equatorward translation of the Vitoria Eddy, **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 61–73, 2013.
- ASSIREU, A. T.; SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A. Correntes oceânicas de superfície medidas por meio de bóias de deriva rastreadas por satélite. In: SOUZA, R. B. (org.). **Oceanografia por satélites**. São José dos Campos: Oficina de textos, 2005. Cap. 6, p. 90-101. ISBN 85-86238-48-1 (INPE-13104-PRE/8364).
- AVISO. **Aviso user handbook merged TOPEX/POSEIDON products AVI-NT-02-101-CN 3**, 201 p.
- 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.
- BENDER M.G., S. R. FLOETER; HANAZAKI, N. Do traditional fishers recognise reef fish species declines? Shifting environmental baselines in Eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 20, p. 58–67, 2013a.
- BENDER M.G., et al. Biological attributes and major threats as predictors of species' vulnerability: a case study with Brazilian reef fishes. **Fauna & Flora International**, Oryx, V. 47, n. 2, p. 259–265, 2013b.

BODE, M.; BODE, L.; ARMSWORTH, P. R. Larval dispersal reveals regional sources and sinks in the Great Barrier Reef. **Marine Ecology Progress Series**, v. 308, p. 17–25, 2006.

BONJEAN, F.; LAGERLOEF, G. S. E. Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical Pacific ocean. **Journal Physical Oceanography**, v.32, 40p., 2002.

BOTSFORD, L. W. Connectivity and resilience of coral reef metapopulations in marine protected areas: matching empirical efforts to predictive needs. **Coral Reefs**, v.28, p.327–337, 2009.

BOUFFARD J., et al. Comparison of Ocean Dynamics with a Regional Circulation Model and Improved Altimetry in the Northwestern Mediterranean, **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, v.19., p.117-133, 2008.

BRULÉ, T. et al. Reproduction in the protogynous black grouper (*Mycteroperca bonaci*, Poey) from the southern Gulf of Mexico. **Fisheries Bulletin**, v. 101, p. 463–475, 2003.

BRULÉ, T.; COLÁS-MARRUFO, T.; PÉREZ-DÍAZ, E.; DÉNIEL, C. Biología, explotación y gestión de los meros (Serranidae, Epinephelinae, Epinephelini) y pargos (Lutjanidae, Lutjaninae, *Lutjanus*) del Golfo de México. In: Caso et al. (ed.). **Diagnóstico ambiental del Golfo de México**. México DF.: Instituto Nacional de Ecología, 1047 p., 2004.

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.

CARR, M.; SYMS, C. Recruitment. In: ALLEN, L. G.; PONDELLA, D. J.; HORN, M. H., 2006. **The ecology of marine fishes: California and adjacent waters**. University of California Press, Berkeley, p. 411-427, 2006.

CARTON, J. A.; GIESE, B. S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). **Monthly Weather Review**, v. 136, p. 2999–3017, 2008.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4° N and 34° S coastal segment (4°W). **The Sea**, [s. L.], p.209-251, 1998.

CASTRO, B. M. DOTTORI, M.; PEREIRA, A. F. Subinertial and tidal currents on the Abrolhos Bank shelf. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 3-12, 2013.

COWEN, R. K.; PARIS, C. B.; SRINIVASAN, A. Scaling of Connectivity in Marine Populations. **Science**, v. 311, p. 522–527, 2006.

CRAIG, M. T., EBLE, J. A.; BOWEN, B. W.; ROBERTSON, D. R. High genetic connectivity across the Indian and Pacific Oceans in the reef fish *Myripristis*

berndti (Holocentridae). **Marine Ecology Progress Series**. v. 334, p. 245–254, 2007.

CROOKS, K. R.; SANJAYAN, M. Connectivity conservation: maintaining connections for nature. In: CROOKS, K., R.; SANJAYAN, M.(eds.).**Connectivity conservation**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006, p.730.

CUIF, M. et al. Wind-induced variability in larval retention in a coral reef system: A biophysical modelling study in the South-West Lagoon of New Caledonia. **Progress in Oceanography**, v. 122, p.105–115, 2014.

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.

DIBACCO, C.; LEVIN, L. A.; SALA, E. Connectivity in marine ecosystems: the importance of larval and spore dispersal. In: CROOKS K. R.; SANJAYAN M. (eds.).**Connectivity conservation**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.p. 184–212

DOMIER, M. L.; COLIN, P. L. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. **Bulletin of Marine Science**, v. 60, n. 3, p. 698–726, 1997.

DONLON, C. J. et al. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research. **Journal of Climate**, v. 15, Issue 4, p.353-369, 2002.

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.

ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to the El Niño–Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 929–945, 1997.

EVANS, D.; SIGNORINI, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v. 315, p. 48–50,1985.

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

FERREIRA, C. E. L., GONÇALVES, J. E. A.; COUTINHO, R. Community structure of fishes and habitat complexity in a tropical rocky shore. **Environmental Biology of Fishes**, v.61, p. 353–369, 2001.

FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES N. A. **Manual dos peixes marinhos do Sudeste do Brasil**. III. Teleostei (2). São Paulo: Universidade de São Paulo, Museu de Zoologia, 1980, 110 p.

FLOETER, S.R., et al. Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks. Brazilian Reef Fish Project. Disponível em: <www.brazilianreeffish.cjb.net> Acesso em: 15 dez. 2013.

FLOETER, S.R., FERREIRA, C. E. L.; DOMINICI-AROSEMENA, A.; ZALMON, I. R. Latitudinal gradients in Atlantic reef fish communities: trophic structure and spatial use patterns. **Journal of Fish Biology**, v. 64, p. 1680–1699, 2004.

FRANCINI-FILHO, R. B.; MOURA, R. L. Dynamics of fish assemblages on coral reefs subjected to different management regimes in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 18, p. 1166–1179, 2008.

FREITAS, O. M.; MOURA, R. L.; FRANCINI-FILHO, R. B.; MINTE-VERA, C. V. Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. **Scientia Marina**, v. 75, n. 1, 135–146, 2011.

GALLEGO, A.; NORTH, E. W. Biological processes. In: NORTH, E. W.; GALLEGO, A.; PETITGAS., P. **Manual of recommended practices for modelling physical– biological interactions during fish early life**. ICES Cooperative Research Report 295, 2009, 118 p.

GASPARINI, J. R.; FLOETER, S. R. The shore fishes of Trindade Island, western South Atlantic. **Journal of Natural History**, v. 35, p.1639-1656, 2001.

GILL, A. E. **Atmosphere-ocean dynamics**. Academic Press, v. 30, 1982, p. 662. International Geophysics Series.

GRACIA-LÓPEZ, V.; ROMERO, J. R.; RAMÍREZ, J. M. P. Hormone induced spawning (hcg), and embryonic and larval development of the leopard grouper, *Mycteroperca rosacea* (Streets, 1977). **Ciencia Marina**, v. 330, n. 002, p. 279–284, 2004.

GRIMM, V. Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? **Ecological Modelling**, v. 115, p.129-148, 1999.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. **Individual-based modeling and ecology**. Princeton University Press, p.431, 2004.

HAIIDVOGEL, D. B. et al. Model evaluation experiments in the North Atlantic basin: simulations in nonlinear terrain-following coordinates. **Dynamics Atmosphere and Oceans**, v. 32, p. 239–281, 2000.

HAIIDVOGEL, D. B. 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.

HALPERN, B. S. The impact of Marine Reserves: do reserves work and does reserve size matter? **Ecological Applications**, v.13, n. 1, p. S117–S137, 2003.

HALPERN, B. S., et al. A global map of human impact on marine ecosystems. **Science**, v. 319, p. 948–952, 2008.

HANEY, J.F. Diel patterns of zooplankton behavior. **Bulletin of Marine Science**. v. 43, p. 583–603, 1988.

HANSKI, I. Metapopulation dynamics: from concepts and observations to predictive models. In: HANSKI, I; GILPIN, M. (eds.). **Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution**, San Diego, CA: Academic Press, 1997. p. 69–91.

HANSKI, I.; SIMBERLOFF, D. The metapopulation approach. In: HANSKI, I.; GILPIN, M. (ed.). **Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution**, San Diego, CA: Academic Press, 1997. p. 5–26.

IUCN. **IUCN red list of threatened species**. Version 2013.2. IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Acesso em: Janeiro de 2014.

IVANOV, L. M.; COLLINS, C. A.; MARCHESIELLO, P.; MARGOLINA, T. M. On model validation for meso/submeso scale currents: metrics and applications to ROMS off Central California. **Ocean Modelling**, v. 28, p. 209-225, 2009.

JAMES, M. K. et al. The structure of reef fish metapopulations: modelling larval dispersal and retention patterns. **Proceedings of the Royal Society B.**, v. 269, p. 2079–2086, 2002.

JOHANNES, R. E. Reproductive strategies of coastal marine fishes in the tropics. **Environmental Biology of Fishes**, v. 3, p. 65–84, 1978.

KALNAY, E., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437–471, 1996.

KEENER, P. et al. Ingress of post-larval gag *Mycteroperca microlepis* (Pisces: Serranidae), through a South Carolina Barrier island inlet, **Bulletin of Marine Science**, v. 42, n. 3, p. 376-396, 1988.

KENDALL, A. W. JR; AHLSTROM, E. H.; MOSER, H. G. Early life history of fishes and their characters. In: COHEN, D. M.(ed.). **Ontogeny, systematics, and phylogeny**. American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication, n. 1, 1984.

KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**. v. 19, n. 3, p. 171 – 178, 1999.

KRITZER, J. P. e SALE, P. F. Metapopulation ecology in the sea: from Levins' model to marine ecology and fisheries science. **Fish and Fisheries**, v. 5, p. 131–140, 2004.

LACROIX, G.; MCCLOGHRIE, P.; HURET, M.; NORTH, L. W. Hydrodynamic models. In: NORTH, E. W.; GALLEGO, A.; PETITGAS, P. (eds.). **Manual of recommended practices for modelling physical– biological interactions during fish early life**. ICES Cooperative Research Report 295, 2009, 118 p.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHIL, R. K. P.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: CORTÉS, J. **Latin American Coral Reefs**. 1. ed. New York: Elsevier, 2003. p. 9-52.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHIL, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M. Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. **Biota Neotrópica**, v. 8, n. 3, p. 69-82, 2008.

LEE, T. N.; WILLIAMS, E. Mean distribution and seasonal variability of coastal currents and temperature in the Florida Keys with implications for larval recruitment. **Bulletin of Marine Science**, v. 64, n. 1, p. 35–56, 1999.

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.

LETT, C. et al. A Lagrangian tool for modeling ichthyoplankton dynamics. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, p.1210–1214, 2008.

LEVINS, R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. **Bulletin of Entomological Society of America**, v. 15. p. 237–240, 1969.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W.;CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2008, p. 756.

LUIZ, O. J. et al. Ecological traits influencing range expansion across large oceanic dispersal barriers: insights from tropical Atlantic reef fishes. **Proceedings of the Royal Society B.**, v. 279, p. 1033–1040, 2012.

LUIZ, O. J. et al. Adult and larval traits as determinants of geographic range size among tropical reef fishes. **PNAS**, v. 110, n. 41, p. 16498–16502, 2013.

LUNDBERG, J.; MOBERG, F. Mobile Link Organisms and Ecosystem Functioning: Implications for Ecosystem Resilience and Management. **Ecosystems**, v. 6, p. 87–98, 2003.

MARTINS, L. R.; COUTINHO, P. N. The Brazilian continental margin. **Earth Science Reviews**, Amsterdam: Elsevier, v. 17, p.87-107, 1981.

- McGILL, R.; TUKEY, J. W.; LARSEN, W. A. Variations of box plots. **The American Statistician**, v. 32, p. 12-16, 1978.
- MILLER, D. C. Contribution of individual-based coupled physical–biological models to understanding recruitment in marine fish populations. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, p. 127–138, 2007.
- MOTOKI, A.; MOTOKI, K. J.; MELO, D. P. Caracterização da morfologia submarina da Cadeia Vitória-Trindade e áreas adjacentes, com base na batimetria predita do TOPO versão 14.1. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n.2, p. 151-170, 2012.
- MORRONE, J. J.; CRISCI, J. C. Historical Biogeography: Introduction to methods. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 26, p. 373-401, 1995.
- MPA-MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura - Brasil - 2010**. Brasília, 2010.
- NONAKA R. H., MATSUURA, Y.; SUZUKI, K. Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions in the Abrolhos Bank region off eastern Brazil. **Fishery Bulletin**, v. 98, p. 767–784, 2000.
- PARIS, C. B.; CHÉRUBIN, L. N.; COWEN, R. K. Surfing, spinning, or diving from reef to reef: effects on population connectivity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, p. 285–300, 2007.
- PARIS, C. B. et al. Application 2: Connectivity. In: NORTH, E. W.; GALLEGO, A.; PETITGAS., P. **Manual of recommended practices for modeling physical– biological interactions during fish early life**. ICES Cooperative Research Report, v. 295, 118 p., 2009.
- PELIZ, et al. A study of crab larvae dispersal on the Western Iberian Shelf: Physical processes. **Journal of Marine Systems**, v. 68, p. 215–236, 2007.
- PEREIRA, A. F. et al. Tide-topography interaction along the Eastern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 25, n. 12-13, p.1521–1539, 2005.
- PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, C. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 205-212, 2001.
- PINHEIRO, H. T. et al. Reef fish structure and distribution in a south-western Atlantic Ocean tropical island. **Journal of Fish Biology**, v. 79, p. 1984-2006, 2011.
- PLANES, S.; JONES, G. P.; THORROLD, S. R. Larval dispersal connects fish populations in a network of marine protected areas. **Proceedings of the**

National Academy of Sciences of the United States of America, v. 106, n.14, p.5693–5697, 2009.

POLITO, P. S. Utilização de dados de altímetro em Oceanografia. In: SOUZA, R. B. (org.). **Oceanografia por satélites**. São José dos Campos: Oficina de textos, 2005. p. 102-115.

PRESS, W. H.; FLANNERY, B. P.; TEUKOLSKY, S. E.; VETTERLING, W. T. **Numerical recipes in Fortran 77: the art of scientific computing**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.933 p.

REZENDE, L. F.; SILVA, P. A.; CIRANO, M.; PELIZ, A.; DUBERT, J. Mean circulation, seasonal cycle, and eddy interactions in the Eastern Brazilian Margin, a nested ROMS model. **Journal of Coastal Research**, v. 27, n. 2, p. 329-347, 2011.

ROBINS, P. E. et al. Physical and biological controls on larval dispersal and connectivity in a highly energetic shelf sea. **Limnology and Oceanography**, v. 58, n. 2, p. 505-524, 2013.

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

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, M. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, p. 16 – 30, 2007.

ROSS, R.M. The evolution of sex-change mechanisms in fishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 29, p. 81–93, 1990.

RUIZ, J. et al. Recruitment at the Edge: Kinetic Energy Inhibits Anchovy Populations in the Western Mediterranean. **PLoS ONE**, v. 8, n 2, p. 1-9, 2013.

RUDORFF, C. A. G.; LORENZZETTI, J. A.; GHERARDI, D. F. M.; LINS-OLIVEIRA, J. E. Modeling spiny lobster larval dispersion in the Tropical Atlantic. **Fisheries Research**, v. 96, p.206–215, 2009.

SAHA, S. et al. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 91, p. 1015–1057, 2010.

SADOVY, Y., et al. Fishing groupers towards extinction: a global assessment of threats and extinction risks in a billion dollar fishery. **Fish and Fisheries**, v.448, p. 93–104, 2012.

SARAVANAN, R.; CHANG, P. Interaction between Tropical Atlantic Variability and El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, 1º Julho 2000, p. 2177–2194, 2000.

- SCHMID, C et al. The Vitoria Eddy and its relation to the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, n. 11, p. 2532–2546, 1995.
- SEARCY, S.P.; SPONAUGLE, S. Selective mortality during the larval-juvenile transition in two coral reef fishes. **Ecology**, v.82, p. 2452–2470, 2001.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a non-aligned vertical coordinate. **Journal of Geophysics Research**, v. 108, n. C3, p. 1-42, 2003.
- SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. **Ocean Modelling**, v. 9, p. 347–404, 2005.
- 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, J. D. Morfologia do litoral. In: AZEVEDO, A. (ed.). **A Terra e o homem: as bases físicas**. Editora Brasil: Companhia Editora Nacional, 1964, p. 253-305.
- SILVEIRA, I. C. A. et al. A corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.
- SMITH, R.D.; DUKOWICZ, J.K.; MALONE, R.C. Parallelocean general circulation modeling. **Physica D: Nonlinear Phenomena**, v. 60, n. 1 - 4, p. 38 - 61, 1992.
- SOUTELINO, R. G.; SILVEIRA, I. C. A., GANGOPADHYAY, A., MIRANDA, J. A. Is the Brazil Current eddy-dominated to the North of 20S? **Geophysical Research Letters**, v.38, n. 3, p. 1-5, 2011.
- SOUTELINO, R. G. **On the dynamics of the Brazil Current site of origin**. 100 p. Tese de (Doutorado em Oceanografia Física) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- SOUTELINO, R.G.; GANGOPADHYAY, A; SILVEIRA, I.C. A. The roles of vertical shear and topography on the eddy formation near the site of origin of the Brazil Current. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 46-70, 2013.
- SOUZA, R. B.; LORENZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da Temperatura da Superfície do Mar através do Sensoriamento Remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. (org.). **Oceanografia por satélites**. São José dos Campos: Oficina de textos, 2005, p. 102-115.
- SOUZA, R. B. et al. Climatologia e variabilidade ambiental marinha na região do Banco dos Abrolhos determinada por satélites: resultados preliminares do projeto Pro-Abrolhos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos:

INPE, 2007. p. 4735-4742. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7.(INPE-16550-PRE/11124). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.22.12.49>>. Acesso em: 21 janeiro 2014.

STRAMMA, L.; LKEDA, Y.; PETERSON, R. G. Geostrophic transport in the Brazil Current region. **Deep-Sea Research**, v. 37, n.1A, p. 1875–1886, 1990.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation on the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 863-883, 1999.

STEWART, R. H. **Introduction to physical oceanography**. Texas: Texas A & M University, 2005.353p. Disponível em: http://oceanworld.tamu.edu/home/course_book.htm Acesso em: 25 jan.14.

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.

THORROLD, S.R. et al. Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural markers. **Bulletin of Marine Science**, v. 70, n. 1, p. 291–308, 2002.

VIGNUDELLI, S; KOSTIANOY, A. G.; CIPOLLINI, P.; BENVENISTE, J. **Coastal Altimetry**. Springer, 2011, 579 p.

VILLWOCK, J. A. **A costa brasileira: geologia e evolução**. Porto Alegre. v. 7, p. 38-49, 1994. Notas Técnicas.

WALTON, C. C.; PICHEL, W. G.; SAPPER, J. F. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. **Journal of Geophysical Research**, v. 13, n. C12, p. 27,999-28,012, 2012.