



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15299-TDI/1351

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA
CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A E
TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR
ESTIMADAS POR SATÉLITE NA MARGEM
CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA**

Caroline Leão

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Antônio Lorenzetti e Milton Kampel, aprovada em 16
de maio de 2008

Registro do documento original:

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.12.17.39>

INPE
São José dos Campos
2008

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) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

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

Membros:

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

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

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

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15299-TDI/1351

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA
CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-A E
TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR
ESTIMADAS POR SATÉLITE NA MARGEM
CONTINENTAL SUDESTE BRASILEIRA**

Caroline Leão

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. João Antônio Lorenzetti e Milton Kampel, aprovada em 16
de maio de 2008

Registro do documento original:

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.12.17.39>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L476v Leão, Caroline.

Variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-a e temperatura da superfície do mar estimadas por satélite na Margem Continental Sudeste Brasileira/ Caroline Leão. – São José dos Campos: INPE, 2008.

133p. ; (INPE-15299-TDI/1351)

1. Concentração de clorofila-a. 2. Temperatura da superfície do mar. 3. Sensores remotos. 4. Margem Continental Sudeste Brasileira. 5. Variabilidade espaço-temporal.
I. Título.

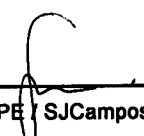
CDU (528.711.7)

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dra. Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. João Antonio Lorenzetti



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Milton Kempel



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. José Luiz Stech



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Salvador Airtton Gaeta



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Caroline Leão

São José dos Campos, 16 DE MAIO DE 2008

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos Drs. João Antônio Lorenzetti e Milton Kampel pela ajuda, orientação e confiança para realização deste trabalho.

Ao Dr. Nelson Jesus Ferreira, por ceder a rotina da transformada de ondeleta.

À turma de 2006, principalmente aos colegas do Sigma, pelos momentos de descontração, em especial, ao Gustavo pela paciência de me ensinar a criar as rotinas do Seadas, e a Tati pela amizade.

Às minhas amigas de república, Lica e Vã, pelo carinho, companheirismo e todos os momentos especiais que passamos juntas.

A meus pais, José Luís e Maria de Lourdes, e irmãos, Ricardo e Raphael, pelo incentivo e apoio.

Ao meu namorado João pela compreensão e grande ajuda, especialmente por me ensinar a criar as rotinas no Matlab usadas neste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela oportunidade de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido durante o curso.

À Pós-graduação pela utilização das instalações oferecidas e pela ajuda financeira na participação de eventos.

Ao corpo docente pelo conhecimento transmitido e a Etel por estar sempre disposta a ajudar.

E a todos que não foram citados aqui, mas, de alguma forma, me ajudaram a alcançar esse objetivo.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila-*a* (Chl) e temperatura da superfície do mar (TSM) na Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE) entre janeiro de 1998 e dezembro de 2006. Foram utilizadas imagens dos sensores SeaWiFS e AVHRR para a extração dos dados de Chl e TSM, respectivamente, além de dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) para o mesmo período. Séries temporais semanais (média de 8 dias) da Chl e TSM foram geradas em quinze pontos localizados sobre as isóbatas de 100, 500 e 1000 m, perpendicularmente às localidades de Cabo de São Tomé, Cabo Frio, Ubatuba, Cananéia e Cabo de Santa Marta. A metodologia aplicada se baseou nas análises das séries temporais através da transformada em ondeletas (TO) e análise de correlação cruzada. Além disso, foram gerados diagramas Hovmoller (espaço-tempo) e mapas de médias e anomalias da Chl e TSM para os períodos de verão e inverno. De uma forma geral, observou-se o ciclo anual bem definido para ambos os parâmetros nos pontos de estudo. A partir da análise da TO sobre as anomalias normalizadas da Chl e TSM, obteve-se os principais períodos de variabilidade, sendo o período em torno de 110 semanas (2,4 anos) dominante para a grande maioria dos pontos. Esse período também foi encontrado nos dados do IOS, sugerindo uma possível correlação dos parâmetros com o evento *El Niño*–Oscilação Sul (ENOS). As variações da TSM no verão foram dominadas pelo balanço do fluxo de calor na superfície e, no inverno, para a região sul da MCSE, juntou-se a esse efeito o processo de adivção horizontal das águas frias vindas do sul, fazendo com que a diferença de TSM entre as regiões sul e norte fosse de $\sim 5^{\circ}\text{C}$ nos períodos de inverno. Como consequência dos máximos de Chl ocorrerem no inverno, a correlação entre as séries temporais de TSM e Chl nos pontos estudados foi negativa. Enquanto para a região sul da MCSE as variações de Chl e TSM se deram em anti-fase, com *lag*=zero, para a região norte as variações entre esses parâmetros ocorreram com um *lag* de até 3, ou seja, 24 dias. Isto indicou que os processos que relacionam a Chl com a TSM são diferentes em ambas as regiões da área de estudo. No sul, o aumento da Chl parece ser dominado pela intrusão lateral de águas subantárticas frias e ricas em nutrientes durante o inverno. No norte, além da superposição de picos de Chl nos períodos de primavera e verão relacionados à ressurgência costeira induzida pelos ventos, é possível que ressurgências de borda de plataforma induzida por vórtices da Corrente do Brasil (CB) contribuam para o crescimento fitoplancônico nos períodos de inverno no meio da plataforma externa.

**SPACE-TEMPORAL VARIABILITY OF CHLOROPHYLL-*a*
CONCENTRATION AND SEA SURFACE TEMPERATURE ESTIMATED
FROM SATELLITE IN THE BRAZILIAN SOUTHEAST CONTINENTAL
MARGIN**

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the space-temporal variability of the chlorophyll-*a* concentration (Chl) and the sea surface temperature (SST) in the Brazilian Southeast Continental Margin (BSCM), between jan/1998 and dec/2006. Images from SeaWiFS e AVHRR were used for the extraction of the Chl and SST data respectively. Besides, Southeast Oscillation Index (SOI) time series for the same period were used. Weekly temporal series (average of 8 days) of Chl and SST were generated at fifth points located on the 100, 500 and 1000 m isobaths, in front of Cabo de São Tomé, Cabo Frio, Ubatuba, Cananéia and Cabo de Santa Marta. The methodology applied was based on temporal series analysis through wavelet transform (WT) and cross correlation. Furthermore, Hovmoller diagrams (space-time) and maps of averages and anomalies of Chl and SST for summer and winter seasons were generated. Summarizing, the annual cycle was the strongest signal observed in the parameters series on the study points. WT analysis of Chl and SST normalized anomalies showed that the main period of interannual variability were 2,4 years in accordance with previous studies of SOI time series, suggesting a possible correlation with the *El Niño*-Southern Oscillation (ENSO) event. Results indicate that in northern part of the study area the annual SST cycle is dominated by the seasonal progression of the surface heat flux balance. In the southern part and during the winter time, the SST seems to change as a joint effect of surface vertical heat flux balance and horizontal advection of cold waters, implicating that the SST difference between the south and north parts during the winter reached $\sim 5^{\circ}\text{C}$. As a consequence of the occurrence of the Chl maximum values on the wintertime, the correlation between the temporal series of SST and Chl were negative. While in the southern part of the domain variations of Chl and SST are in anti-phase at lag zero, in the northern part the variations of these two parameters occur at lags as large as 24 days. This indicates that the processes linking SST to Chl in the south are different from the north. In the south, Chl increasing seems to be dominated by lateral wintertime intrusion of cold and rich subantarctic waters with a nutrient load. In the north, on top of the wintertime seasonal maximum of Chl there is a superposition of spring and summertime Chl peaks clearly associated with wind forced coastal upwelling, besides it is possible that shelf break upwelling induced by Brazil Current (BC) eddies contribute to the phytoplankton growth mainly in the mid to outer shelf.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Objetivo geral	29
1.1.1	Objetivos específicos	29
2	ÁREA DE ESTUDO	31
2.1	Caracterização geográfica.....	31
2.2	Caracterização oceanográfica	32
2.2.1	A Corrente do Brasil (CB).....	32
2.2.2	Massas de água	34
2.2.3	Ventos e sistemas frontais	35
2.2.4	Processos físicos que fertilizam a zona eufótica	35
2.2.4.1	Intrusões laterais de inverno	35
2.2.4.2	Intrusões da ACAS sobre a plataforma continental.....	36
2.2.4.3	Ressurgências de borda de plataforma associadas a vórtices ciclônicos.....	36
2.2.4.4	Ressurgências costeiras	36
2.2.5	Condições climatológicas	37
2.2.5.1	<i>El Niño</i> -Oscilação Sul (ENOS)	38
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	41
3.1	O fitoplâncton e o ambiente físico.....	41
3.2	Técnicas de análise de séries temporais	43
3.2.1	Transformada em ondeletas (TO).....	44
3.2.2	Análise de correlação cruzada	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1	Dados e fluxograma da metodologia	49
4.1.1	Dados de sensores remotos.....	52
4.1.1.1	Concentração de clorofila- <i>a</i> (Chl)	52
4.1.1.2	Temperatura da superfície do mar (TSM)	54
4.2	Métodos	55

4.2.1	Composição das séries temporais de Chl e TSM	55
4.2.2	Análise das séries temporais.....	57
4.2.3	Diagramas Hovmoller.....	58
4.2.4	Confecção dos mapas das estações do ano.....	59
4.2.5	Dados do Índice de Oscilação Sul (IOS).....	61
5	RESULTADOS.....	63
5.1	Médias climatológicas nos 15 pontos.....	63
5.1.1	Concentração de clorofila- <i>a</i> (Chl).....	63
5.1.2	Temperatura da superfície do mar (TSM).....	64
5.2	Séries temporais nos 15 pontos	65
5.2.1	Concentração de clorofila- <i>a</i> (Chl).....	65
5.2.2	Temperatura da superfície do mar (TSM).....	67
5.3	Transformada em ondeletas (TO).....	68
5.3.1	Concentração de clorofila- <i>a</i> (Chl).....	69
5.3.2	Temperatura da superfície do mar (TSM).....	75
5.4	Transformada rápida de Fourier (FFT) para a série de IOS	81
5.5	Análise de correlação cruzada	81
5.6	Diagramas Hovmoller gerados a partir dos 38 pontos	88
5.6.1	Concentração de clorofila- <i>a</i> (Chl).....	88
5.6.2	Temperatura da superfície do mar (TSM).....	89
5.7	Mapas de verão e inverno para Chl e TSM	91
5.7.1	Médias das estações do ano.....	91
5.7.1.1	Verão	91
5.7.1.2	Inverno.....	95
5.7.2	Anomalias das estações do ano	98
5.7.2.1	Verão	98
5.7.2.2	Inverno.....	102
6	DISCUSSÃO	107
7	CONCLUSÕES.....	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	APÊNDICE A – COORDENADAS DOS PONTOS DE ESTUDO	127
	APÊNDICE B – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS SÉRIES TEMPORAIS E MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NOS 15 PONTOS	129
	APÊNDICE C – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS IMAGENS DE MÉDIA DO VERÃO E INVERNO	129
	ANEXO A – DADOS E GRÁFICO DO ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL (IOS). 133	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2. 1 - Mapa da região correspondente à Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), com as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros.	31
2. 2 - Representação esquemática da circulação oceânica superficial no Atlântico Sul. 33	
3. 1 - Processo de remineralização.	42
4.1 - Localização dos 15 pontos de estudo (em azul escuro) ao longo da MCSE, sobre as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros, perpendiculares às respectivas linhas de costa: Cabo de São Tomé, Cabo Frio, Ubatuba, Cananéia e Cabo de Santa Marta.....	50
4.2 - Localização dos 38 pontos (em azul) sobre a isóbata de 100 metros ao longo da MCSE.	51
4.3 - Fluxograma da metodologia.	52
5.1 - Médias climatológicas das séries de Chl nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).....	63
5.2 - Médias climatológicas das séries de TSM nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).....	65
5.3 - Séries temporais da Chl nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).	66
5.4 - Séries temporais da TSM nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).	67
5.5 - Séries temporais normalizadas e espectros de ondeleta das variáveis Chl (esquerda) e TSM (direita) no ponto CF0100. Notar o sinal anual (em torno de 46 semanas) dominante em ambos os espectros.....	69
5.6 - Séries temporais das AChls e os respectivos espectros da TO nos pontos ST0100, ST0500 e ST1000.	70
5.7 - Séries temporais das AChls e os respectivos espectros da TO nos pontos CF0100, CF0500 e CF1000.....	71
5.8 - Séries temporais das AChls e os respectivos espectros da TO nos pontos UB0100, UB0500 e UB1000.	72
5.9 - Séries temporais das AChls e os respectivos espectros da TO nos pontos CA0100, CA0500 e CA1000.	73
5. 10 - Séries temporais das AChls e os respectivos espectros da TO nos pontos SM0100, SM0500 e SM1000.	74
5.11 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos ST0100, ST0500 e ST1000.	76
5.12 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos CF0100, CF0500 e CF1000.....	77
5.13 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos UB0100, UB0500 e UB1000.....	78
5.14 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos CA0100, CA0500 e CA1000.....	79

5.15 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos SM0100, SM0500 e SM1000.	80
5.16 - Gráfico de FFT dos dados do IOS.....	81
5.17 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóbata de 100 metros.	82
5.18 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóbata de 500 metros.	83
5.19 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóbata de 1000 metros.	84
5.20 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de TSM na isóbata de 500 metros.	85
5.21 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóbata de 100 metros.	86
5.22 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóbata de 500 metros.	87
5.23 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóbata de 1000 metros.	87
5.24 - Diagrama Hovmoller da Chl. Valores em mg.m^{-3}	88
5.25 - Diagrama Hovmoller da AChl filtrada temporal e espacialmente. Adimensional.	89
5.26 - Diagramas Hovmoller da TSM. Valores em $^{\circ}\text{C}$	90
5.27 - Diagrama Hovmoller da ATSM. Adimensional.	90
5.28 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 1998 a 2000. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	92
5.29 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2001 a 2003. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	93
5.30 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2004 a 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	94
5.31 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) do inverno de 1998. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	95
5.32 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 1999 a 2001. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	96
5.33 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2002 a 2004. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	97
5.34 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2005 e 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	98
5.35 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 1998 e 1999. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	99
5.36 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2000 a 2002. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	100
5.37 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2003 a 2005. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	101
5.38 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) do verão de 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	102
5.39 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 1998 a 2000. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	103

5.40 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2001 a 2003. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	104
5.41 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2004 a 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$	105
A.1 - Índice de Oscilação Sul (IOS) durante o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006. Os eventos ENOS são ilustrados na forma de faixas em azul (<i>La Niña</i>) e vermelho (<i>El Niño</i>).	133

LISTA DE TABELAS

3. 1 - Porcentagem de dados do ponto central, da mediana em torno do ponto central e interpolados, das séries de Chl.	56
A. 1 - Tabela com as coordenadas dos 15 pontos de estudo.	127
A.2 - Tabela com as coordenadas dos 38 pontos utilizados na construção do Diagrama Hovmoller sobre a isóbata de 100 metros.	128
A.3 - Índices de Oscilação Sul (IOS) do período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006.	133
B. 1 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries de médias climatológicas da Chl. Valores em mg.m^{-3}	129
B. 2 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries de médias climatológicas da TSM. Valores em $^{\circ}\text{C}$	129
B. 3 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries temporais da Chl. Valores em mg.m^{-3}	130
B. 4 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries temporais da TSM. Valores em $^{\circ}\text{C}$	130
C. 1 - Tabela com os parâmetros estatísticos das imagens de média do verão e inverno para a Chl (mg.m^{-3}) e TSM ($^{\circ}\text{C}$).	131

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAF	Água Antártica de Fundo
AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AChl	Anomalia normalizada da concentração de clorofila- <i>a</i>
AIA	Água Intermediária Antártica
AP	Água de Plataforma
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
ASCA	Água Superior Circumpolar Antártica
AT	Água Tropical
ATSM	Anomalia normalizada da temperatura superficial do mar
AVHRR	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
BSST	<i>Best Sea Surface Temperature</i>
CA	Cananéia
CA0100	Ponto em Cananéia sobre a isobata de 100 metros
CA0500	Ponto em Cananéia sobre a isóbata de 500 metros
CA1000	Ponto em Cananéia sobre a isóbata de 1000 metros
CB	Corrente do Brasil
CBM	Confluência Brasil-Malvinas
CF	Cabo Frio
CF0100	Ponto em Cabo Frio sobre a isóbata de 100 metros
CF0500	Ponto em Cabo Frio sobre a isóbata de 500 metros
CF1000	Ponto em Cabo Frio sobre a isóbata de 1000 metros
Chl	Concentração de Clorofila- <i>a</i>
CNB	Corrente Norte do Brasil
ENOS	<i>El Niño-Oscilação Sul</i>
ENSO	<i>El Niño-Southern Oscillation</i>
IOS	Índice de Oscilação Sul
IV	Infravermelho
L_{λ}	Radiância aparente no sensor
MCSE	Margem Continental Sudeste Brasileira
NASA	<i>National Aeronautical and Space Administration</i>
NE	Nordeste
NLSST	<i>Non Linear Sea Surface Temperature</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OC4v4	<i>Ocean chlorophyll 4-band</i>
PCSE	Plataforma Continental Sudeste
R443	Reflectância da superfície do oceano relativa à banda 2 do SeaWiFS
R490	Reflectância da superfície do oceano relativa à banda 3 do SeaWiFS
R510	Reflectância da superfície do oceano relativa à banda 4 do SeaWiFS
R555	Reflectância da superfície do oceano relativa à banda 5 do SeaWiFS
REM	Radiação Eletromagnética
RJ	Rio de Janeiro
SC	Santa Catarina
SeaDAS	<i>SeaWiFS Data Analysis System</i>

SeaWiFS	<i>Sea Viewing Wide Field of View Sensor</i>
SM	Santa Marta
SM0100	Ponto em Santa Marta sobre a isóbata de 100 metros
SM0500	Ponto em Santa Marta sobre a isóbata de 500 metros
SM1000	Ponto em Santa Marta sobre a isóbata de 1000 metros
SO	Sudoeste
SOI	<i>Southern Oscillation Index</i>
SP	São Paulo
ST	São Tomé
ST0100	Ponto em São Tomé sobre a isóbata de 100 metros
ST0500	Ponto em São Tomé sobre a isóbata de 500 metros
ST1000	Ponto em São Tomé sobre a isóbata de 1000 metros
T_b	Temperatura de brilho da superfície do mar
TF	Transformada de Fourier
TO	Transformada em Ondeletas
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UB	Ubatuba
UB0100	Ponto em Ubatuba sobre a isóbata de 100 metros
UB0500	Ponto em Ubatuba sobre a isóbata de 500 metros
UB1000	Ponto em Ubatuba sobre a isóbata de 1000 metros
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$W_{l,t}$	Ondeleta contínua
ψ	Ondeleta-mãe
\bar{y}	Valor médio da série de tempo y
σ	Desvio padrão
$\Psi_{l,t}^*$	Complexo conjugado das ondeletas $\Psi_{l,t}$
a	Constante
$A_{i,j}$	Anomalias das variáveis
$A_{i,jn}$	Anomalias normalizadas das variáveis
b	Constante
$bsst$	Valores originais das imagens de TSM
c	Constante
C_a	Concentração de clorofila
$chla$	Valores originais das imagens de Chl
c_{xy}	Coefficiente de covariância cruzada das séries de tempo x e y
i	Semanas no ano
j	Anos
K	Constante inteira
k	Defasagem de tempo
l	Parâmetro de escala da ondeleta
n	Número de pontos amostrais
p	Nível de significância
P	Número total de observações da série
R_{RS}	Reflectância de sensoriamento remoto
r_{xy}	Coefficiente de correlação cruzada
S	Valor da semana
T	Temperatura absoluta
t	Tempo
t'	Parâmetro de translação da ondeleta
T_{est}	Estimativa da temperatura da superfície do mar
\bar{x}	Valor médio da série de tempo x
x	Série de tempo
X_n	Elementos da série temporal
x_t	Valor da observação da série x no tempo t
y	Série de tempo
y_t	Valor da observação da série y no tempo t
μ_i	Médias climatológicas

1 INTRODUÇÃO

Os processos físicos nos oceanos ocorrem numa ampla gama de escalas espaciais e temporais para as quais os mecanismos operantes se encontram continuamente interagindo (STOMMEL, 1957). Eles afetam substancialmente a dinâmica dos ecossistemas marinhos, os quais exibem padrões de variabilidade similares. A oceanografia convencional, embora muito utilizada, apresenta limitações para o acompanhamento de longa duração desta variabilidade em função da pequena mobilidade, disponibilidade e altos custos de meios flutuantes como navios, bóias fundeadas ou derivantes (SOUZA, 2005).

Como complemento ao uso de meios convencionais de coleta de dados oceânicos, os dados coletados por satélites se apresentam como excelente alternativa. As principais vantagens em se utilizar sensores orbitais nas faixas do visível e infravermelho termal do espectro eletromagnético para a coleta de dados são (i) seu caráter sinótico, pois cada imagem pode cobrir instantaneamente uma área geográfica de até centenas de quilômetros, (ii) sua repetitividade, que permite a formação de séries temporais e, (iii) a boa relação custo-benefício.

Embora existam vantagens, os dados de satélite também apresentam limitações, tais como a observação restrita a camada superficial, a cobertura de nuvens e os efeitos da absorção dos gases atmosféricos. Entretanto, o desenvolvimento de novos algoritmos e novos sensores, principalmente na faixa de microondas para o processamento de dados orbitais, tem permitido a minimização desses e de outros problemas. Além disso, a formação de longas séries de dados de satélite contribui para o estudo da variabilidade espacial e temporal dos oceanos, e têm se tornado cada vez mais importantes para a caracterização dos ambientes marinhos (MUMBY *et al.*, 2004).

Desde o final da década de setenta, com o sensor *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS, 1978-1986), imagens de satélites da cor do oceano têm sido convertidas em mapas de concentração de clorofila-*a* (Chl) na camada superior do oceano, possibilitando a quantificação da biomassa fitoplanctônica (MOREL; PRIEUR, 1977; GORDON;

MOREL, 1983). Entre os anos de 1986 e 1997 houve uma lacuna na aquisição desses dados. Entretanto, com o lançamento do *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) em agosto de 1997, as imagens da cor do oceano voltaram a ser rotineiramente adquiridas. Atualmente, existem outros sensores com características similares operando, como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e o *Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS).

As aplicações científicas e práticas dos estudos da variabilidade da Chl incluem as interações entre os processos físicos e biológicos nos oceanos, detecção de florações algais (*blooms*), interação oceano-atmosfera, detecção de zonas potenciais de pesca, entre outros (KAMPEL; NOVO, 2005).

Do mesmo modo, na década de 70, radiômetros operando no infravermelho termal a bordo de satélites, passaram a ser usados para estimar a temperatura da superfície dos oceanos de forma sinótica. Os primeiros sensores utilizados para aplicações oceanográficas voaram a bordo dos satélites meteorológicos geoestacionários (Meteosat, GOES, GMS, INSAT) e também dos satélites de órbita polar da série da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA 2, 3, 4 e 5). Em 1978, iniciou-se uma nova geração de satélites meteorológicos de órbita polar, com o lançamento do satélite TIROS-N, que carregava o radiômetro avançado de resolução muito alta - AVHRR. A partir da década de 80, utilizando-se os dados infravermelhos do sensor AVHRR-II, obteve-se estimativas da temperatura da superfície do mar (TSM) de forma repetida e consistente para os oceanos (ARAUJO; LORENZZETTI, 1998), que têm sido mantidas até os dias de hoje. O conhecimento da TSM é um fator importante no entendimento da interação oceano-atmosfera, além de ser um dos principais controladores e indicadores da variabilidade climática (BARTON, 1995).

Esse trabalho parte do pressuposto de que a aquisição de forma sinótica de um conjunto de dados contínuo e de longa duração da concentração de clorofila-*a* (Chl) e temperatura da superfície do mar (TSM) possibilita uma melhor compreensão da

relação entre esses parâmetros, bem como os principais processos que governam suas variabilidades espaciais e temporais.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espaço-temporal dos parâmetros concentração de clorofila-*a* (Chl) e temperatura da superfície do mar (TSM) obtidos por satélites ao longo da Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), entre os anos de 1998 e 2006.

1.1.1 Objetivos específicos

- Analisar a variabilidade temporal da concentração de clorofila-*a* (Chl), como indexador da biomassa fitoplanctônica, em pontos específicos da área de estudo;
- Analisar a variabilidade temporal da temperatura da superfície do mar (TSM) em pontos específicos da área de estudo;
- Verificar a relação entre as séries temporais de Chl e TSM nos pontos de estudo;
- Caracterizar os principais períodos de variabilidade desses parâmetros nos pontos de estudo entre os anos de 1998 e 2006 e,
- Identificar e analisar processos oceanográficos que afetam as variabilidades da Chl e TSM na área de estudo.

Este trabalho está organizado em oito seções: 1- Introdução, 2- Área de Estudo, 3- Fundamentação Teórica, 4- Materiais e Métodos, 5- Resultados, 6- Discussão, 7- Conclusões e, 8- Referências. No primeiro Capítulo foi introduzida a idéia central do trabalho e foram apresentados os objetivos. No segundo Capítulo há uma descrição da área de estudo. O terceiro Capítulo apresenta tópicos sobre o fitoplâncton e sua relação com o ambiente físico além de técnicas de análise de séries temporais, com ênfase na transformada em ondas (TO) e na correlação cruzada. O quarto Capítulo descreve os dados utilizados e a metodologia aplicada. No quinto e sexto Capítulos são apresentados, respectivamente, os resultados obtidos e a discussão sobre os mesmos. No

sétimo Capítulo são apresentadas as conclusões sobre o estudo e sugestões para trabalhos futuros. Por último, são apresentadas as referências bibliográficas.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Caracterização geográfica

A área de estudo compreende a Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), no oceano Atlântico Sudoeste. A MCSE é definida como a região da plataforma e talude continental que se estende, ao longo da costa brasileira, desde o Cabo de São Tomé (22°S), no Rio de Janeiro, até o Cabo de Santa Marta (28°30'S), em Santa Catarina (FIGURA 2.1). A orientação geral da linha da costa é NE-SO, com exceção da região situada entre o Cabo Frio, RJ (23°S) e o extremo oeste da baía da Ilha Grande, RJ, onde a orientação é E-W (CASTRO *et al.*, 2006).

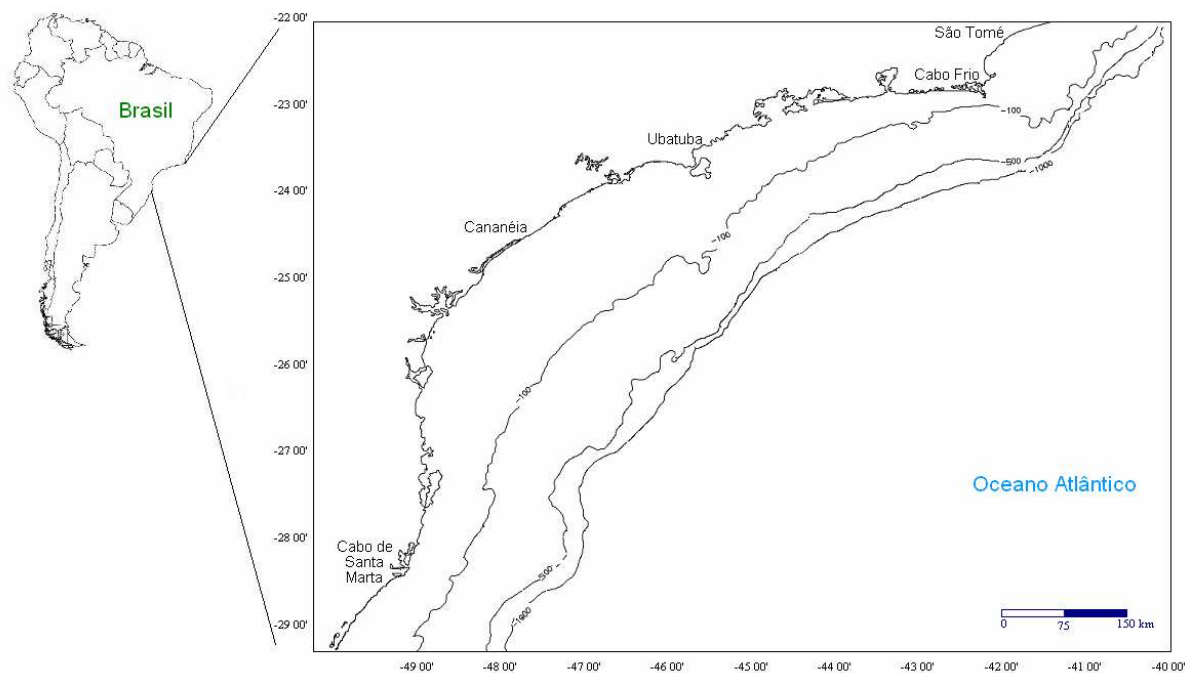


Figura 2.1 - Mapa da região correspondente à Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), com as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros.

A MCSE inclui a Plataforma Continental Sudeste (PCSE), que possui características dinâmicas típicas de plataformas continentais de latitudes médias. A parte mais larga da PCSE, com 230 km, está localizada em frente a Santos, e as partes mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50 km, e cabo de Santa Marta, com 70 km, sendo que

a profundidade da quebra da plataforma continental varia entre 120 m e 180 m (CASTRO *et al.*, 2006).

O comprimento total da PCSE é de aproximadamente 1000 km, apresentando topografia suave, com as isóbatas dispendo-se paralelamente à linha da costa. Exceção ocorre para algumas poucas ilhas grandes, geralmente situadas nas proximidades da costa, como Ilha Grande, Ilha de São Sebastião, Ilha de São Francisco e Ilha de Santa Catarina, além de muitas ilhas pequenas, situadas geralmente no interior de baías (CASTRO; MIRANDA, 1998).

2.2 Caracterização oceanográfica

2.2.1 A Corrente do Brasil (CB)

A principal corrente que banha a costa sudeste brasileira é a Corrente do Brasil (CB) (FIGURA 2.2). A CB é definida como uma corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul. Esta corrente origina-se ao sul de 10°S, na região onde o ramo meridional da Corrente Sul Equatorial se bifurca formando também a Corrente do Norte do Brasil (CNB), que flui para norte-noroeste (SILVEIRA *et al.*, 1994). A CB flui para sul, bordejando o continente sul-americano até a região de Convergência Subtropical (33°-38°S), onde conflui com a Corrente das Malvinas e separa-se da costa (SILVEIRA *et al.*, 2000).

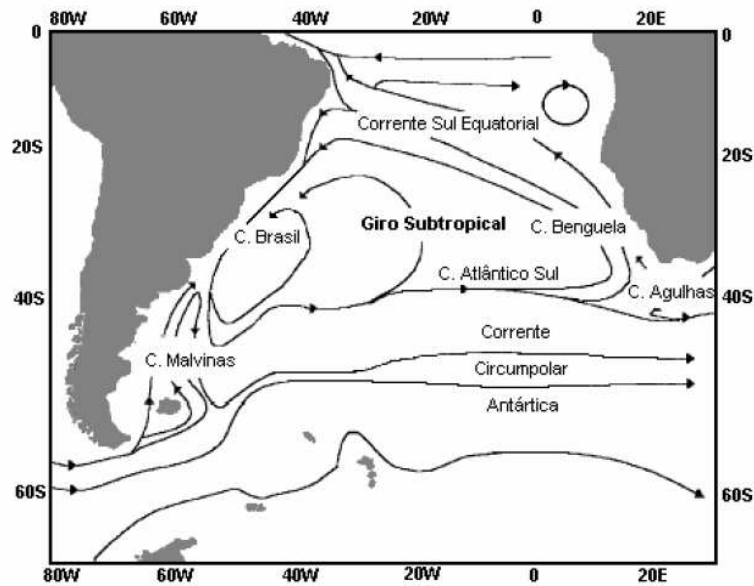


Figura 2.2 - Representação esquemática da circulação oceânica superficial no Atlântico Sul.

Fonte: Adaptado de Peterson e Stramma (1991, p. 3).

Com a mudança abrupta da orientação da linha de costa de NE-SO para E-O, imediatamente ao sul de Cabo Frio, a CB passa a girar ciclonicamente para oeste, aproximando-se da quebra da plataforma nas proximidades do paralelo de 24°S, em decorrência da conservação da vorticidade potencial. Ao penetrar na plataforma continental, cruzando as isóbatas quase perpendicularmente, a CB gira anticlonicamente para sudoeste, meandrando ao longo da margem interna do talude continental (CASTRO, 1996).

A primeira descrição do meandramento da CB e da ocorrência de vórtices na mesma foi feita para a região sudeste por Mascarenhas *et al.* (1971). Estes autores descreveram a presença de estruturas vorticiais, tanto ciclônicas (núcleo frio) quanto anticiclônicas (núcleo quente), na região ao largo de Cabo Frio e sugeriram que as feições topográficas da região favoreciam o meandramento e a formação de vórtices nesta corrente. Campos *et al.* (1995) concluíram que as estruturas vorticiais ciclônicas na CB conduzem as águas quentes costeiras para regiões mais profundas e trazem águas mais frias e ricas em nutrientes para as regiões costeiras.

2.2.2 Massas de água

As massas de água presentes sobre a PCSE foram descritas inicialmente por Emílsson (1961), seguidos por outros autores que incluíram informações adicionais sobre os nutrientes (BRAGA; NIENCHESKI, 2006):

- Água Tropical (AT) – Água quente, salina e com reduzido teor de nutrientes. Temperatura superior a 20° C e salinidade maior que 36,4 (MIRANDA, 1982). A AT é transportada na direção sul-sudoeste pela camada superficial (0-200 m) da corrente do Brasil (CB) próxima à quebra da plataforma;
- Água Costeira (AC) – É uma mistura de água doce oriunda da drenagem continental com as águas da plataforma continental. Temperatura superior a 15° C e salinidade inferior a 35 (MIRANDA, 1982). Apresenta salinidade baixa devido à influência de vários estuários de pequeno e médio porte presentes na costa sudeste-sul do Brasil, sendo caracterizada por alto teor de silicato e teores significativos de nitrato e fosfato, segundo a maior ou menor influência continental;
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – Água fria e rica em nutrientes. Temperaturas inferiores a 20° C e salinidade entre 35 e 36,4. Esse índice termohalino é o mais indicado para definir a ACAS entre 22° S e 25° S. A ACAS é formada na zona da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), fluindo ao longo do talude continental pela camada inferior da CB (200 - 500 m), próximo à borda da plataforma. Altos teores de nutrientes caracterizam essa massa de água, não raro evidenciando afloramentos de águas localizadas entre 200 e 400 m de profundidade em regiões sobre a plataforma.

Alguns autores ainda consideram a existência da Água de Plataforma (AP), definida como sendo a mistura entre a AC e a AT, com temperatura superior a 20° C e salinidade entre 35 e 36. A partir da borda de plataforma e sobre o talude, massas de água como a Água Intermediária Antártica (AIA), a Água Antártica de Fundo (AAF), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água Superior Circumpolar Antártica (ASCA) podem ser identificadas na área de estudo (BRAGA; NIENCHESKI, 2006).

2.2.3 Ventos e sistemas frontais

Uma característica marcante da dinâmica das plataformas continentais é a resposta de suas águas a ventos superficiais com escala temporal sazonal e sinótica (CASTRO, 1996). A dinâmica das correntes sobre a plataforma vai depender da combinação da largura e topografia da plataforma e da magnitude, direção e estresse do vento (CASTRO; MIRANDA, 1998).

Durante o verão, os ventos predominantes sobre a região costeira situada entre 15° e 35°S sopram de leste-nordeste. Durante o inverno, estes ventos ficam confinados entre as latitudes de 20° e 25°S (CAMPOS, 1995).

Castro (1985) mostrou que toda a região compreendida entre o cabo de Santa Marta e o Cabo Frio está sujeita às mesmas condições meteorológicas, em escala sinótica, sendo que os sistemas frontais (frentes frias) caracterizam-se como sendo a perturbação meteorológica em escala sinótica mais importante sobre a região. A ocorrência dessas frentes frias, com ventos de direção sul, varia ao longo do ano entre 3 e 6 por mês, resultando em escalas de tempo entre 5 e 10 dias (STECH; LORENZZETTI, 1992).

2.2.4 Processos físicos que fertilizam a zona eufótica

Os principais processos que disponibilizam nutrientes na zona eufótica por tempo suficiente para que a biomassa fitoplanctônica se acumule na área de estudo são (GAETA; BRANDINI, 2006): (i) Intrusões laterais de inverno; (ii) Intrusões da ACAS sobre a plataforma continental; (iii) Ressurgências de borda de plataforma associadas aos vórtices ciclônicos e, (iv) Ressurgências costeiras.

2.2.4.1 Intrusões laterais de inverno

No inverno, águas de origem subantártica são impulsionadas pelos ventos do quadrante sul/sudoeste, transportando águas frias e uma alta carga de nutrientes da plataforma argentina e uruguaia na direção norte, invadindo grande parte de plataforma interna do

sul do Brasil (BRANDINI, 1990). Este é provavelmente o principal mecanismo de enriquecimento em larga escala da zona eufótica da AP com nutrientes novos, e recentemente, foi denominado frente subtropical de plataforma do rio da Prata (PIOLA *et al.*, 2000). A biomassa em termos de clorofila-*a* e as taxas de produção são comparativamente mais elevadas nesses períodos em relação ao verão (BRANDINI, 1990, AIDAR *et al.*, 1993).

2.2.4.2 Intrusões da ACAS sobre a plataforma continental

Esse processo tem sido apontado como o mais significativo na fertilização da zona eufótica nas águas de plataforma da região sul durante o verão (BRANDINI, 1990b, AIDAR *et al.*, 1993), causando máximos subsuperficiais de clorofila-*a* na base da zona eufótica.

2.2.4.3 Ressurgências de borda de plataforma associadas a vórtices ciclônicos

Ressurgências da ACAS na borda da plataforma continental também podem ocorrer, possivelmente associadas a vórtices frontais resultante do deslocamento de meandros da CB (CASTRO *et al.*, 1987). Esses autores estudaram a origem e frequência de vórtices, constatando que o cisalhamento entre a CB e a AP é o mecanismo responsável pela sua ocorrência na borda do talude continental. Kampel *et al.* (2000) detectaram a ocorrência e frequência dos vórtices e constataram que eles são mais frequentes no inverno. Provavelmente, o enfraquecimento dos ventos de nordeste e da velocidade do fluxo da CB intensificam o meandramento da mesma, de onde se desprendem os vórtices. Os efeitos desses vórtices sobre o aumento da produção primária fitoplanctônica em regiões afastadas da costa foram sugeridos por Brandini (1990b) e constatados por Gaeta *et al.*, (1999).

2.2.4.4 Ressurgências costeiras

Um dos principais efeitos do vento em escala sinótica sobre a MCSE, particularmente sobre a plataforma continental é a ressurgência costeira, especialmente na região de

Cabo Frio. Durante a primavera e o verão, a ACAS, que ocupa a camada abaixo da CB ao longo do talude continental, aproxima-se da costa, atingindo muitas vezes a parte mais interna da plataforma continental, podendo ressurgir devido à divergência do transporte de Ekman na costa. Durante o inverno, por outro lado, essa massa de água afasta-se em direção à quebra de plataforma continental. A água ressurgida em Cabo Frio desloca-se na direção sudoeste, podendo, em casos mais intensos, atingir as proximidades da Ilha de São Sebastião (LORENZZETTI; GAETA, 1996). Silva Jr. *et al.* (1997), mostraram através de uma série consecutiva de 5 dias de imagens AVHRR/NOAA, que a extensão da língua de águas frias ressurgidas em Cabo Frio pode alcançar 300 a 400 km sobre a plataforma continental.

Três fases hidrográficas podem ser distinguidas no sistema de ressurgência de Cabo Frio (GONZÁLEZ-RODRIGUES *et al.*, 1992): (1) a ressurgência propriamente dita, em consequência dos ventos do quadrante E-NE; (2) a interrupção da ressurgência, seguida do aumento da temperatura e crescimento fitoplanctônico e (3) a inversão do regime de ventos com retenção de água tropical oligotrófica causando a dispersão da biomassa acumulada na fase 2.

Embora o fenômeno da ressurgência costeira seja mais intenso nas imediações de Cabo Frio, ele é também observado em vários outros locais. Kampel *et al.* (1997), analisaram 167 imagens de TSM derivadas a partir do sensor NOAA/AVHRR, para o período de fevereiro de 1996 a janeiro de 1997, observando ressurgências em 7 regiões da costa sul-sudeste (Vitória, São Tomé, Cabo Frio, Ilha de São Sebastião, Ilha de Santa Catarina, Cabo de Santa Marta e litoral do Rio Grande do Sul). No período considerado, o número maior de ressurgências ocorreu entre outubro e janeiro, sendo que nos meses de março e abril também foram verificados eventos menos intensos.

2.2.5 Condições climatológicas

No verão, a maior parte das temperaturas médias superficiais na PCSE está entre 25 e 27°C. Na parte norte da PCSE o gradiente horizontal de temperatura é maior do que em

outras regiões, tendo ainda orientação aproximadamente normal à costa. Essas últimas características estão associadas aos frequentes eventos de ressurgência costeira de águas relativamente mais frias nas proximidades de Cabo Frio (CASTRO *et al.*,2006).

Durante o inverno, as temperaturas superficiais nas partes central e norte da PCSE apresentam valores entre 20 e 23 °C, sendo mais homogêneas do que durante o verão devido ao desaparecimento do núcleo com baixas temperaturas situados nas proximidades de Cabo Frio. Os maiores gradientes horizontais de temperatura obtidos para o inverno ficam, então, confinados na parte sul da PCSE, onde é aparente a penetração de águas relativamente frias (< 18 °C) oriundas do sul, entre as isóbatas de 50 e 100 m. A assinatura dessa massa de água fria pode ser observada em toda parte sul da PCSE, até as proximidades da ilha de São Sebastião (CASTRO *et al.*,2006).

2.2.5.1 *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS)

Um dos principais fenômenos de escala planetária que afetam a região da MCSE é o *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS). O fenômeno ENOS se refere à ocorrência do *El Niño* (aumento da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical) e *La Niña* (resfriamento da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical) (PHILANDER, 1985), e pode ser caracterizado pelo Índice de Oscilação Sul - IOS (*Southern Oscillation Index - SOI*), que indica sua intensidade e fase (CGD, 2007).

Lentini *et al.* (2001) mostraram para o período de 1982 a 1994 que anomalias negativas de TSM no Oeste do Atlântico Sul estavam correlacionadas com um atraso temporal de 1 ano às variações interanuais associadas com eventos de ENOS no Pacífico de intensidade forte a moderada.

Campos *et al.* (1999) compararam anomalias da TSM durante o período de 1982 a 1994 em um local específico da PCSE (26°15'S - 47°43'O) com médias mensais do IOS para o mesmo período. Os autores encontraram dois picos de alta coerência entre as anomalias de TSM e as séries de IOS nos períodos de 0,7 e 1,5 anos. Ainda segundo

esses autores, a variação interanual da intrusão superficial de águas frias provenientes do sul em escala sazonal ao longo da PCSE parece também estar relacionada com os eventos ENOS.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O fitoplâncton e o ambiente físico

Existem relações muito estreitas entre a biomassa do fitoplâncton e os processos físicos nos oceanos que influenciam a distribuição de luz, temperatura e nutrientes nas camadas superiores, e por conseqüência, as taxas de produtividade primária. A estabilidade da coluna de água é importante na ecologia do fitoplâncton. A presença de uma termocline ou halocline determina uma estabilidade na camada superficial, permitindo que as células do fitoplâncton fiquem expostas à luz e propiciando alta produção primária bruta e líquida. Em condições de mistura vertical na coluna d'água, as células do fitoplâncton são deslocadas, permanecendo parte do tempo na camada disfótica ou mesmo afótica e, assim, diminuindo a produção primária (MANN; LAZIER, 2006).

Os movimentos turbulentos no oceano são gerados pelo cisalhamento do vento na superfície, ondas internas e outros processos dinâmicos. No oceano aberto, a estratificação é quase sempre induzida por diferenças de temperatura entre as camadas. Em águas costeiras, os processos são mais complicados devido a fatores peculiares da zona costeira. O primeiro desses é a pouca profundidade, que leva a uma situação na qual a camada de mistura relativamente rasa pode se estender até o fundo. Com a morte dos organismos, os detritos tendem a se acumular e a se decompor sobre o fundo, e os nutrientes remineralizados podem ser carregados para as águas de superfície e rapidamente usados na fotossíntese (MANN; LAZIER, 2006) (FIGURA 3.1).

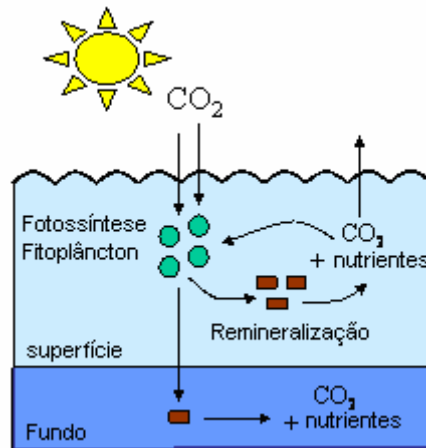


Figura 3.1 - Processo de remineralização.

Fonte: adaptado de Spokes (2003).

O segundo fator importante é a presença de correntes de maré que criam turbulência na água. Se a profundidade não for muito grande, a mistura induzida pela maré pode se estender até a superfície. A terceira característica peculiar é a barreira por advecção imposta pela linha de costa. Se a água de superfície é dirigida pela ação do vento para fora da costa, o único modo de ser reposta é por ressurgência (MANN; LAZIER, 2006).

A ressurgência é o processo de movimentação vertical de massas de água das camadas mais profundas, muitas vezes ricas em nutrientes, para a superfície dos oceanos, condicionado por efeitos físicos e associado a uma divergência na superfície. Ocorre em mesoescala espacial (dezenas a centenas de quilômetros) e na escala temporal subinercial (dias, semanas). Pode ser classificada em três categorias principais: ressurgência costeira, de oceano aberto e equatorial. No caso da ressurgência costeira, quando o transporte de Ekman possui componente predominantemente perpendicular em relação à linha de costa e aponta para o oceano aberto, as camadas de água superficiais são empurradas para fora da costa, provocando divergência costeira e favorecendo a ascensão das águas de subsuperfície na costa (SMITH, 1968).

A presença destas águas ressurgidas na zona eufótica resulta em grande aumento na produtividade primária. Ainda que constituam apenas 0,1% da superfície total dos

oceanos, as áreas de ressurgência são importantes tanto cientificamente quanto economicamente, porque afetam o clima e a ecologia das regiões costeiras, e sua produtividade é responsável por cerca de 50% da captura mundial de peixes (ANCIETA, 1981).

Um fator adicional muito importante a ser considerado para águas costeiras é o aporte de águas continentais. Por ter a salinidade significativamente mais baixa, essas águas são mais leves e, como ficam sobre a água do mar, criam uma estratificação que pode ser independente das diferenças de temperatura entre as camadas.

Para entender as complexas relações existentes entre os processos físicos e biológicos nas águas costeiras deve-se ver esse aporte como um mecanismo que favorece a estratificação enquanto que as correntes dirigidas pelo vento e de maré são mecanismos que tendem a causar turbulência na coluna d'água e quebrar essa estratificação. No oceano aberto, os gradientes horizontais são pequenos e os processos verticais controlam a distribuição de calor, sal, nutrientes e outros fatores. Em estuários e plataformas continentais, entretanto, os processos horizontais tendem a determinar a distribuição das propriedades, sendo a força de Coriolis e o balanço geostrófico importantes características do fluxo horizontal (MANN; LAZIER, 2006).

3.2 Técnicas de análise de séries temporais

Grande parte das medidas científicas provenientes da observação e/ou simulação é registrada através de séries temporais. Usualmente, essas séries são caracterizadas por parâmetros descritivos e analisadas por meio de técnicas convencionais. Dentre as técnicas convencionais mais utilizadas destacam-se a correlação cruzada e análise da Transformada de Fourier (TF). De acordo com Emery e Thomson (1997), estas análises são úteis quando o objetivo é determinar a eficiência dos sensores e caracterizar a variabilidade observada nas séries.

Entretanto, nas últimas três décadas, séries temporais passaram a ser analisadas dentro de um novo paradigma, isto é, com o desenvolvimento de novos materiais, instrumentos de medidas e dispositivos computacionais avançados, tornou-se possível obter estas séries em alta resolução e alta sensibilidade, para auxiliar na identificação de detalhes não considerados em análises anteriores. Devido às altas resoluções (temporal, espectral e espacial) das observações e dos experimentos numéricos, os cientistas passaram a analisar e modelar a variabilidade complexa que constitui toda a amostra ou sub-amostras das amplitudes que compõem a série. Portanto, novas ferramentas, a exemplo da transformada em ondeletas (TO), foram desenvolvidas e introduzidas na literatura com a finalidade de auxiliar a caracterização de padrões não-lineares possivelmente, associados à natureza da fonte responsável pela produção da variabilidade complexa observada (BARBOSA, 2006).

3.2.1 Transformada em ondeletas (TO)

Nas últimas décadas, a transformada em ondeletas (TO) tem sido cada vez mais utilizada como uma ferramenta para entender as variações em uma série temporal. Sua idéia central, no contexto de análises de sinais, consiste em decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência e, então, determinar as componentes de variabilidade dominantes (PERCIVAL; WALDEN, 2002). Na literatura atual pode-se encontrar um extenso conjunto de trabalhos relacionados com as transformadas em ondeletas, a exemplo do trabalho de Torrence e Campo (1998).

A TO assemelha-se à análise de Fourier, pois ambas trabalham no domínio da frequência e permitem analisar o conteúdo do sinal, decompondo-o em diferentes escalas de tempo. A diferença entre as técnicas é basicamente o modo como estas captam o comportamento das séries. Sinais de caráter não-estacionário com picos de energia em muitas frequências diferentes são mais bem estudados com a TO (MORETTIN, 1999). A técnica de TO também tem sido cada vez mais utilizada em pesquisas nas áreas de oceanografia e meteorologia (KAMPEL, *et al.*, 2008; SOPPA, 2007).

O termo ondeleta (do inglês *wavelet*) pode ser entendido como um conjunto de funções com a forma de pequenas ondas geradas por uma função chamada de ondeleta-mãe, adequadas para a decomposição de outras funções, comparáveis às funções seno e cosseno que servem de base para a TF (POLIKAR, 2001).

A TO decompõe o sinal em algumas funções elementares derivadas do processo de dilatação e translação de uma ondeleta-mãe. As ondeletas contínuas ($W_{l,t'}$) são apropriadas para analisar no tempo e no espaço os modos dominantes de variabilidade nas séries temporais. A função da TO contínua é definida como (LAU; WENG, 1995):

$$W_{l,t'}(f) = \langle f, \Psi_{l,t'}^* \rangle = \int f(t) \Psi_{l,t'}^*(t) dt \quad (3.4)$$

onde, l é o parâmetro de escala, t' é o parâmetro de translação e $\Psi_{l,t'}^*$ é o complexo conjugado das ondeletas $\Psi_{l,t}$.

$$\Psi_{l,t'}(t) = \frac{1}{\sqrt{l}} \Psi\left(\frac{t-t'}{l}\right) \quad (3.5)$$

onde, Ψ é a ondeleta-mãe.

O parâmetro l de escala permite dilatar ou comprimir um sinal. Quando o valor de l é maior (menor) que 1, a função é comprimida (dilatada). Variando o parâmetro de escala e transladando ao longo do tempo pode-se construir uma representação gráfica que mostra a amplitude (ou potência) de qualquer sinal dentro da série e onde esta se localiza no tempo. A escolha da ondeleta-mãe é arbitrária, mas de forma geral, deve possuir características semelhantes àsquelas do sinal analisado (TORRENCE; CAMPO, 1998).

Uma ondeleta que é adequada para capturar variações nas periodicidades dos sinais geofísicos é a ondeleta complexa de *Morlet* (WENG; LAU, 1994; SÁ *et al.*, 1998), pois esta possui um grande número de oscilações. A *Morlet* é a mais utilizada em trabalhos com séries temporais de dados oceanográficos e atmosféricos e é bastante eficiente na localização tempo-escala de sinais não-estacionários.

A ondeleta complexa de *Morlet* é definida como uma onda plana modulada por um envelope Gaussiano de largura unitária (FARGE, 1992):

$$\Psi_{i,j}(t) = e^{iKt} e^{-t^2/2} \quad (3.6)$$

onde, K é uma constante inteira.

Para localizar os fenômenos nos domínios de tempo e frequência pode-se representar graficamente a parte real, o módulo ou ainda a energia dos coeficientes de ondeleta. Estes gráficos são denominados de escalogramas. A parte real dos coeficientes de ondeleta informa a intensidade e a fase da variação do sinal, o módulo dos coeficientes mostra a amplitude do sinal, já a energia fornece a densidade da energia (WENG; LAU, 1994).

3.2.2 Análise de correlação cruzada

A análise de correlação cruzada é um método convencional de se estimar a interdependência entre duas séries, ou seja, o quanto elas são correlacionadas (BOURKE, 1996).

O coeficiente de correlação cruzada (r_{xy}) é obtido a partir da equação descrita abaixo:

$$r_{xy}(k) = \frac{c_{xy}(k)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (3.7)$$

onde k é a defasagem de tempo (*lag*), x e y são as duas séries de tempo, c_{xy} é o coeficiente de covariância cruzada, σ é o desvio padrão das séries temporais. O coeficiente de covariância cruzada (c_{xy}) é estimado por:

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(x_t - \bar{x}) \cdot (y_{t+m} - \bar{y})] \quad (3.8)$$

para, $t=1$ a $P-1$, $m=0$ para valores de k positivos e,

$$c_{xy}(k) = \frac{1}{P} \cdot \sum [(y_t - \bar{y}) \cdot (x_{t+m} - \bar{x})] \quad (3.9)$$

para, $t=1$ a $P+1$; $m=-1$ para valores de k negativos, onde k é a defasagem de tempo (*lag*), P é o número total de observações da série, x e y representam as séries de tempo, x_t o valor da variável x no tempo t , y_t o valor da variável y no tempo t , \bar{x} a média da série de tempo x , \bar{y} a média da série de tempo y .

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados e fluxograma da metodologia

Para o estudo foram utilizadas:

- A carta náutica ‘Carta da Série Internacional Brasil-Costa Sul – Do Cabo Frio ao Cabo de Santa Marta Grande’ (Escala 1:1000000, projeção Mercator, Datum horizontal WGS-84), de onde foram extraídas as coordenadas dos pontos de estudo.
- Imagens nível 3 da cor do oceano do sensor SeaWiFS para a extração das séries da concentração de clorofila-*a* (Chl), com resolução espacial de 9 km e resolução temporal de 8 dias;
- Imagens do infravermelho termal (BSST) do sensor AVHRR, a bordo dos satélites NOAA-15, NOAA-16 e NOAA-17, para a extração das séries da temperatura da superfície do mar (TSM) com resolução espacial de 4 km e resolução temporal de 8 dias e,
- Dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006 (ANEXO A).

Quinze (15) pontos foram escolhidos para a análise das séries temporais de Chl e TSM e posicionados em locais considerados estratégicos para o estudo da MCSE (FIGURA 4.1) da seguinte forma: sobre as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros, perpendicularmente em frente às costas do Cabo de São Tomé (RJ), Cabo Frio (RJ), Ubatuba (SP), Cananéia (SP) e Cabo de Santa Marta (SC) (Tabela A.1 - APÊNDICE A).

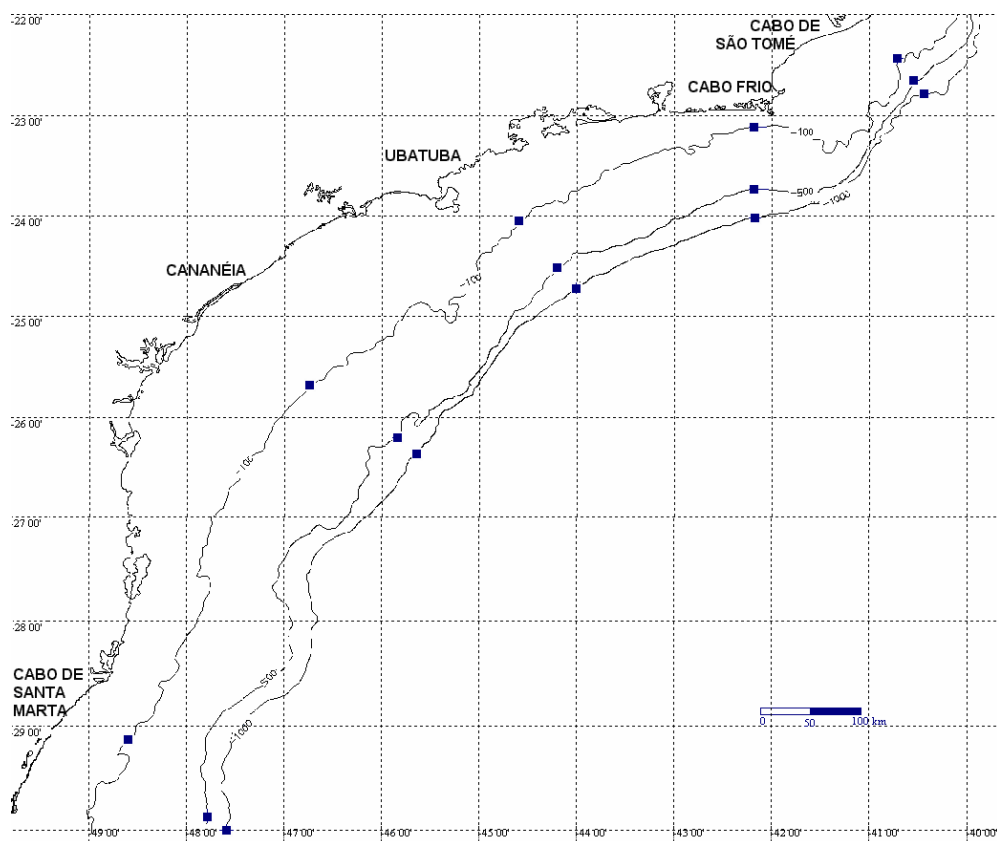


Figura 4.1 - Localização dos 15 pontos de estudo (em azul escuro) ao longo da MCSE, sobre as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros, perpendiculares às respectivas linhas de costa: Cabo de São Tomé, Cabo Frio, Ubatuba, Cananéia e Cabo de Santa Marta.

Cada um dos pontos recebeu um nome para facilitar a identificação (Quadro 4.1).

Isóbatas/Locais	Cabo de São Tomé	Cabo Frio	Ubatuba	Cananéia	Cabo de Santa Marta
100 metros	ST0100	CF0100	UB0100	CA0100	SM0100
500 metros	ST0500	CF0500	UB0500	CA0500	SM0500
1000 metros	ST1000	CF1000	UB1000	CA1000	SM1000

Quadro 4.1 - Nomes dados aos pontos de estudo.

Além desses, mais trinta e oito (38) pontos equidistantes entre si seguindo a isóbata de 100 metros foram utilizados (FIGURA 4.2) (Tabela A.2 - APÊNDICE A) para a confecção dos diagramas Hovmoller dos parâmetros Chl, TSM e suas anomalias, conforme será explicado adiante no item 4.2.1.1.

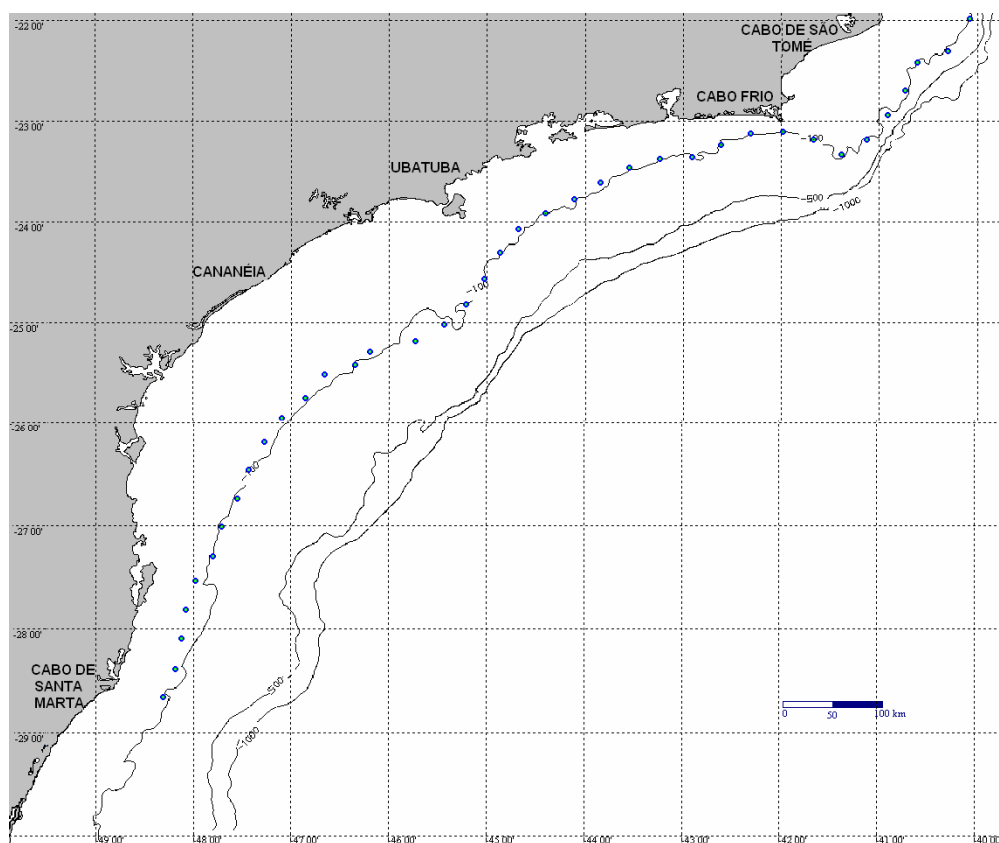


Figura 4.2 - Localização dos 38 pontos (em azul) sobre a isóbata de 100 metros ao longo da MCSE.

A metodologia aplicada neste trabalho se encontra resumida no fluxograma a seguir (FIGURA 4.3).

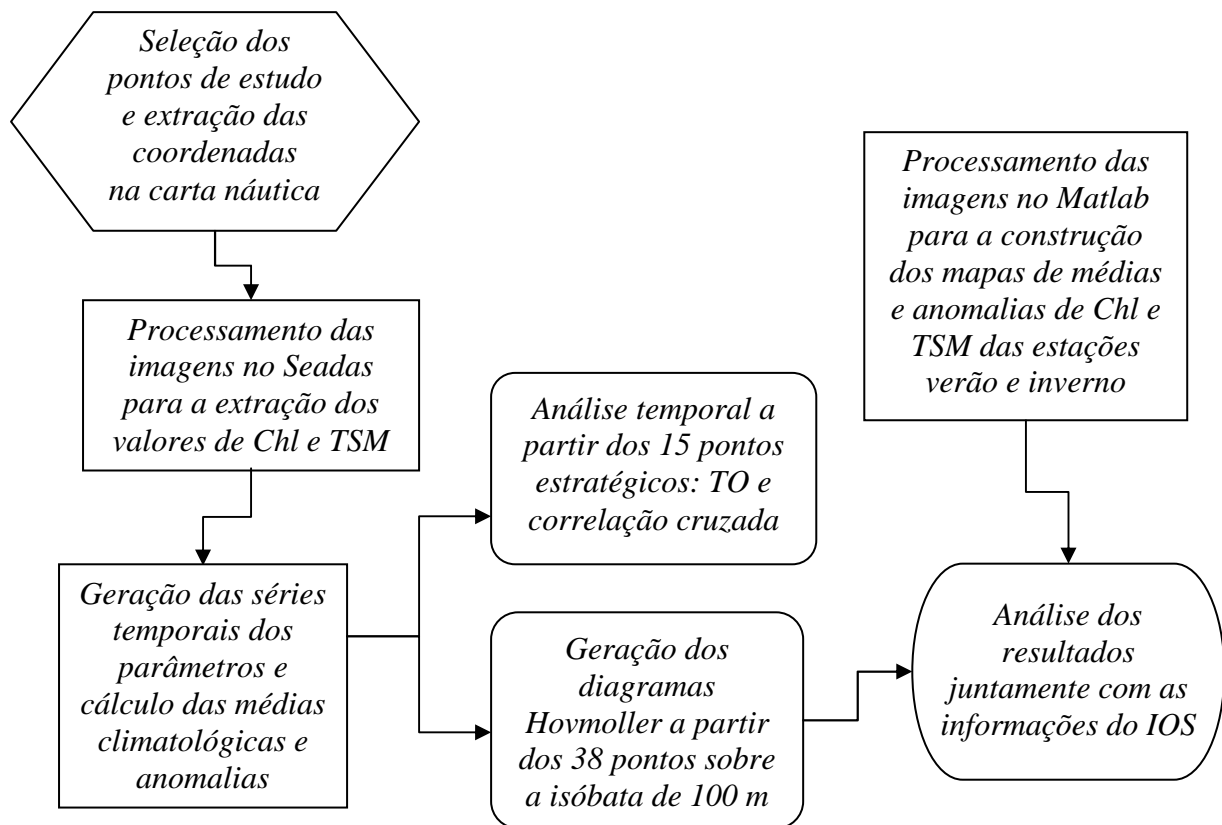


Figura 4.3 - Fluxograma da metodologia.

4.1.1 Dados de sensores remotos

4.1.1.1 Concentração de clorofila-*a* (Chl)

Foram utilizadas imagens de Chl nível 3 semanais (média de 8 dias) no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006, totalizando uma série de 414 imagens (9 anos, sendo 46 imagens por ano).

O processo de obtenção dos valores de concentração de clorofila-*a* (Chl), a partir dos dados gerados pelo SeaWiFS engloba quatro etapas (OCEAN COLOR, 2007):

- 1) Transformação da imagem bruta (nível 0), representada por números digitais (10 bits) em níveis de radiância aparente no sensor (L_{λ});
- 2) Transformação da radiância aparente em reflectância;
- 3) Correção atmosférica, pois cerca de 90% do sinal registrado por sensores que operam no espectro visível da radiação eletromagnética provém da atmosfera;

4) Obtenção dos valores de Chl.

O algoritmo empírico padrão atual utilizado pelo SeaWiFS é o *Ocean chlorophyll 4-band* (OC4v4) (O'REILLY *et al.*, 2000), cujo desempenho foi testado na região costeira da área de estudo, gerando resultados consistentes, apesar da superestimação da Chl (KAMPEL, 2003; KAMPEL *et al.*, 2005; GARCIA *et al.*, 2006; KAMPEL *et al.*, 2007).

O algoritmo OC4v4 é representado por um polinômio de quarta ordem e considera a razão máxima entre os valores de $R_{RS}(443)/R_{RS}(555)$, $R_{RS}(490)/R_{RS}(555)$ e $R_{RS}(510)/R_{RS}(555)$, referentes às bandas de reflexão e absorção da clorofila-*a*:

$$C_a = 10^{(0,366-3,067R_{4s}+1,930R_{4s}^2-0,649R_{4s}^3-1,532R_{4s}^4)} \quad (4.1)$$

onde $R_{4s} = \log_{10}(R_{\max})$.

R_{443} , R_{490} , R_{510} e R_{555} são as reflectâncias da superfície do oceano relativas às bandas espectrais 2, 3, 4 e 5 do SeaWiFS, respectivamente. O argumento da função \log_{10} é a razão máxima entre as referidas reflectâncias.

Segundo O'Reilly *et al.* (2000), a precisão do algoritmo bio-óptico OC4v4 foi determinada por meio de regressões entre os valores de concentração de clorofila-*a* medidos *in situ* e aqueles estimados pelo algoritmo, baseados nas informações coletadas pelo SeaWiFS, concomitantemente àquelas medições.

Para o processamento das imagens de Chl o programa SeaDAS versão 5.0.5 foi utilizado. O SeaDAS (*SeaWiFS Data Analysis System*) é um amplo pacote de análise de imagens para o processamento, exibição, análise e controle de qualidade dos dados da cor do oceano (OCEAN COLOR, 2007).

As imagens de Chl foram adquiridas através do endereço eletrônico da NASA: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>.

4.1.1.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

Foram utilizadas imagens de BSST (*Best Sea Surface Temperature*) semanais (média de 8 dias) no mesmo período da Chl, totalizando também uma série de 414 imagens, que foram processadas no SeaDAS versão 5.0.5, para a extração dos dados de TSM.

O processo de obtenção dos valores de TSM, a partir dos dados gerados pelo sensor AVHRR apresenta três etapas (NOAA, 2007):

- 1) Transformação dos números digitais (10 bits) em níveis de radiância aparente no sensor (L_λ).
- 2) Cálculo da temperatura de brilho da superfície do mar (T_b), definida como a temperatura obtida por meio de medidas radiométricas, assumindo-se que o alvo se comporta como um corpo negro.
- 3) Determinação da temperatura de superfície do mar.

O algoritmo utilizado no processamento é o *Non Linear Sea Surface Temperature* (NLSST). O NLSST utiliza as temperaturas de brilho dos canais 4 (10,3-11,3 μm) e 5 (11,5-12,5 μm) do AVHRR, em três diferentes regimes de vapor da água (VAZQUEZ *et al.*, 1998), gerando estimativas coerentes e comparáveis com os dados de TSM coletados *in situ* (SOUZA *et al.*, 2005). Os valores gerados podem variar entre -3 e 35 $^\circ\text{C}$, com acurácia de 0,3-0,5 $^\circ\text{C}$:

$$T_s = aT_i + b(T_{est})(T_i - T_j) + c \quad (4.2)$$

onde T_{est} é uma estimativa da temperatura da superfície do mar em $^\circ\text{C}$, a , b e c são constantes obtidas através de regressões com dados de campo e, i e j são os comprimentos de onda.

Os dados de BSST contêm os melhores valores de TSM referentes somente ao pixel de mais alta qualidade selecionado, baseado em uma série de testes estatísticos. Para este

dado, o algoritmo do *Pathfinder* utiliza o conjunto de dados de TSM interpolados de Reynolds (*Reynolds Optimally Interpolated SST*). A vantagem é que desta forma estas imagens não apresentam pixels espúrios, na maioria das vezes resultante da contaminação por nuvens, entre outras fontes de erro.

As imagens de BSST foram adquiridas no endereço eletrônico do projeto *Pathfinder* NOAA: <ftp://data.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder>.

4.2 Métodos

4.2.1 Composição das séries temporais de Chl e TSM

A partir das imagens foram extraídos os valores semanais (média de 8 dias) dos parâmetros Chl e TSM de uma janela de 3x3 pixels, com centro nos 15 pontos de estudo escolhidos. A princípio, somente o valor do ponto central foi utilizado, constituindo, dessa forma, as respectivas séries temporais.

Após a extração dos dados, observou-se que alguns valores de Chl eram *flags* (64.574), ou seja, não continham informação. A primeira solução no caso de não existir a informação do ponto central foi utilizar os valores de mediana que estivessem na janela de 3x3 pixels. Porém, em alguns casos, toda a janela era composta de *flags*. Então, a outra solução adotada foi a interpolação linear. Abaixo se encontra a tabela com a porcentagem de dados do ponto central, da mediana e interpolados (TABELA 4.1). Observa-se que a maioria dos dados é oriunda do ponto central e a minoria dos dados interpolados.

Tabela 4.1 - Porcentagem de dados do ponto central, da mediana em torno do ponto central e interpolados das séries de Chl referentes aos 15 pontos.

Pontos	Porcentagem de dados do ponto central (%)	Porcentagem de dados da mediana (%)	Porcentagem de dados interpolados (%)
ST0100	84,79	8,45	6,76
ST0500	83,09	9,18	7,73
ST1000	81,40	11,35	7,25
CF0100	89,61	6,04	4,35
CF0500	88,65	7,00	4,35
CF1000	87,20	7,97	4,83
UB0100	83,58	9,90	6,52
UB0500	81,64	11,11	7,25
UB1000	78,99	12,80	8,21
CA0100	77,29	9,42	13,29
CA0500	82,37	10,39	7,24
CA1000	79,71	11,59	8,70
SM0100	90,58	5,07	4,35
SM0500	78,27	14,73	7,00
SM1000	77,78	16,18	6,04

Após a composição das séries, foram calculadas as médias históricas semanais de cada parâmetro, denominadas como médias climatológicas:

$$\mu_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n S_{i,j} \quad (4.3)$$

Onde μ_i é a média climatológica; S corresponde ao valor da semana; i corresponde às semanas no ano, com valores entre 1 e 46; j corresponde aos anos, com valores entre 1 e 9 e; n é o número de anos, nesse caso, $n=9$.

Em seguida, foram calculadas as anomalias dos parâmetros ($A_{i,j}$) a partir da diferença entre o valor semanal e a média climatológica da semana correspondente:

$$A_{i,j} = S_{i,j} - \mu_i \quad (4.4)$$

Essas anomalias foram normalizadas dividindo-se a anomalia anteriormente calculada pelo desvio-padrão semanal (σ_i) (WILKS, 1995). Como resultado, as unidades destes dados finais foram adimensionais.

$$An_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{\sigma_i} \quad (4.5)$$

onde σ_i é calculado a partir da expressão:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n (S_{i,j} - \mu_i)^2} \quad (4.6)$$

Para as séries das médias climatológicas e as séries originais de Chl e TSM dos 15 pontos foram calculados os parâmetros estatísticos média, mediana e desvio padrão, além dos valores máximos e mínimos (TABELAS B.1 a B.4 – APÊNDICE B).

As séries de anomalias normalizadas de Chl e TSM (denominadas AChl e ATSM, respectivamente) foram suavizadas com filtro de média móvel de janela 7, para eliminar as variações de alta frequência.

4.2.2 Análise das séries temporais

As séries temporais de Chl, AChl, TSM e ATSM dos 15 pontos escolhidos foram analisadas pela transformada de ondeletas (TO), cujo método já foi apresentado no capítulo anterior. Nesse caso, a análise das anomalias foi realizada com o objetivo de verificar a influência de outras componentes do sinal, que podem ser mascaradas quando o ciclo anual é muito intenso na série original.

Antes da aplicação da TO, as séries temporais de Chl e TSM foram padronizadas, pois este procedimento permite a comparação de dados que possuem unidades de medidas diferentes. A padronização consistiu em:

$$Z = \frac{X_n - \bar{X}}{\sigma} \quad (4.7)$$

Onde X_n representa cada um dos elementos da série temporal e \bar{X} e σ representam a média e o desvio-padrão da série temporal, respectivamente. As variáveis padronizadas apresentam duas propriedades: média nula e desvio-padrão unitário.

A execução computacional da TO foi realizada no programa IDL 6.2, através de uma rotina específica cedida pelo Dr. Nelson Jesus Ferreira e adaptada para os dados deste trabalho.

Em seguida, foi realizado o teste estatístico de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl e TSM dos 15 pontos, com a finalidade de analisar o grau de correlação entre esses parâmetros. Também foram realizados testes de correlação cruzada sobre as séries de Chl nos diferentes pontos, com base nas séries de Santa Marta, para analisar sua distribuição de sul para norte ao longo da MCSE. O mesmo ocorreu para as séries de TSM. Todas essas análises foram realizadas no programa Matlab 6.5, com defasagem (*lags*) de até ± 46 semanas, isto é, ± 1 ano, considerando que as semanas são de 8 dias. Os diagramas de correlação cruzada foram gerados com intervalo de confiança de 95%.

4.2.3 Diagramas Hovmoller

Em geral, um diagrama Hovmoller descreve a relação tempo-longitude ou tempo-latitude de um parâmetro e é usado para avaliar ou diagnosticar o comportamento do mesmo sobre medidas em latitudes ou longitudes através do tempo (HOVMOLLER,

1949). Neste trabalho, os diagramas foram gerados em função do tempo-latidade dos parâmetros e de suas anomalias normalizadas.

Para a geração dos diagramas Hovmoller, valores de Chl e TSM foram extraídas nos 38 pontos localizados sobre a isóbata de 100 metros ao longo da MCSE, conforme mostrado na Figura 4.2. As séries temporais nos 38 pontos foram construídas da mesma forma que as séries nos 15 pontos conforme explicado no item 4.2.1 e, a partir delas, foram calculadas as anomalias normalizadas dos parâmetros.

Com base nas séries temporais obtidas para os 38 pontos, foram geradas matrizes tempo-latidade para a Chl, AChl, TSM e ATSM. No programa Matlab 6.5, aplicou-se a função *contourf* sobre as matrizes, gerando, dessa forma, os respectivos diagramas Hovmoller, com um total de 15.732 valores (38 pontos x 414 valores semanais). Na maioria dos casos, as matrizes foram filtradas espacial e/ou temporalmente, usando a função *filter* para suavizar os diagramas.

4.2.4 Confeção dos mapas das estações do ano

A partir das 414 imagens semanais de Chl e TSM, foram construídos mapas das médias das estações verão e inverno para cada ano (18 para cada parâmetro, sendo 9 para cada estação, correspondente aos 9 anos de estudo) e mapas das anomalias das referidas estações do ano (18 para cada anomalia).

Para a confecção desses mapas, o programa Matlab 6.5 foi utilizado. Antes da construção dos mapas, foi necessária a transformação dos valores das imagens, utilizando-se das seguintes equações:

$$TSM = (bsst \cdot 0,075) - 3 \quad (4.8)$$

onde *bsst* corresponde ao valor de cada pixel na imagem original e 0,075 e -3 são constantes correspondentes à declividade e ao intercepto da reta, respectivamente.

$$Chl = 10^{(chla - 5,8138 \times 10^{-5}) - 2} \quad (4.9)$$

onde *chla* corresponde ao valor de cada pixel na imagem original e $5,8138 \times 10^{-5}$ e -2 são constantes correspondentes à declividade e ao intercepto da reta, respectivamente.

Após a transformação, as imagens foram recortadas para compreender somente a área de estudo. Como as imagens de TSM não continham *flags* por serem extraídas de dados de BSST, as médias foram calculadas baseadas em todos os pixels das imagens das semanas referentes às estações ao longo dos 9 anos. Para a Chl, isso não foi possível devido à existência de *flags* causadas pela presença de nuvens. Então, os cálculos foram feitos baseados em pelo menos um pixel válido existente nas imagens das semanas utilizadas para o cálculo da média de cada estação.

Os mapas de TSM das médias para cada estação do ano foram construídos somando-se as matrizes que formavam as imagens das semanas correspondentes à estação do ano e dividindo-se pela quantidade de semanas de cada estação, sendo 12 semanas para o verão (correspondentes às semanas 45 a 10) e 11 semanas para o inverno, (correspondentes às semanas 23 a 33). Para a construção dos mapas de Chl, cada valor foi somado e dividido pelo número de pixels válidos na mesma posição nas matrizes que formavam as imagens das referidas estações.

Os mapas das anomalias das estações do ano foram construídos com base no cálculo da anomalia apresentado na equação 4.4, ou seja, a diferença entre as matrizes que formavam os mapas das médias (calculados anteriormente) e as matrizes das médias climatológicas da estação correspondente, que foram geradas para este cálculo.

Pelos mapas das médias da Chl e TSM foram calculados os parâmetros estatísticos média, mediana e desvio padrão para as estações verão e inverno (TABELA C.1 – APÊNDICE C).

Uma ressalva a ser feita é que os mapas das médias das estações do ano gerados para a Chl se encontram em escala logarítmica. Isto foi feito para se observar com mais clareza as variações da Chl, visto que suas concentrações tem amplitude de variação de até 4 ordens de grandeza (0,01 a 10 mg.m⁻³) na área de estudo.

4.2.5 Dados do Índice de Oscilação Sul (IOS)

A partir dos resultados obtidos, foi realizada uma análise conjunta com os dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) (FIGURA A.1 – ANEXO A), para o mesmo período de estudo. Infelizmente, devido ao fato dos dados de Chl e TSM serem de semanas de 8 dias, não foi possível compor dados mensais para fazer análises estatísticas com o IOS, cujos dados são mensais.

Entretanto, a partir da série mensal de dados do IOS (TABELA A.3 – ANEXO A) foi possível realizar uma análise espectral pela transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation* - FFT), para encontrar os principais períodos de variabilidade do IOS durante o período estudado e compará-los com os resultados encontrados pela análise espectral da TO dos parâmetros Chl e TSM.

5 RESULTADOS

5.1 Médias climatológicas nos 15 pontos

5.1.1 Concentração de clorofila-*a* (Chl)

Pelas médias climatológicas da Chl (FIGURA 5.1) pôde-se observar que os valores ao longo do ano em todos os 15 pontos de estudo foram maiores na isóбата de 100 metros.

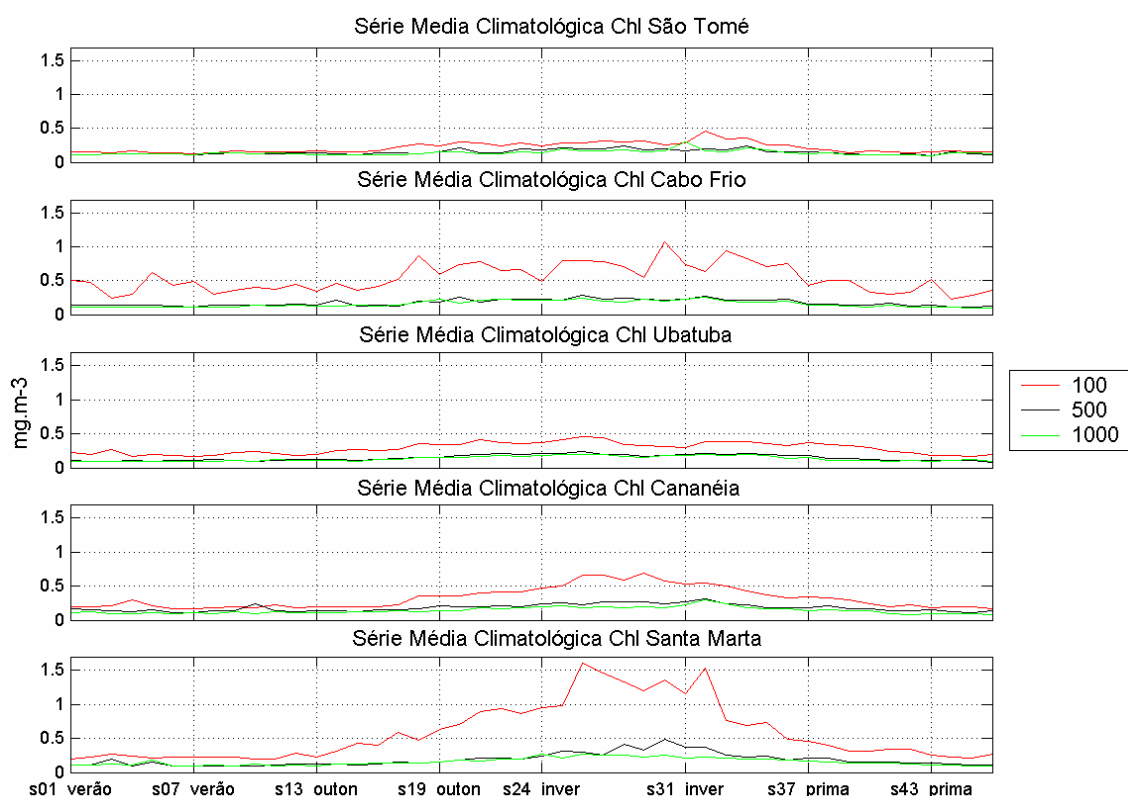


Figura 5.1 - Médias climatológicas das séries de Chl nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).

Os valores nas isóbatas de 500 e 1000 metros se mostraram muito semelhantes. Os máximos de Chl ocorreram nos meses de inverno e os mínimos nos meses de verão, o que evidenciou a existência de um ciclo anual.

Os maiores valores de Chl foram observados no período de inverno nos pontos CF0100 e SM0100, com máximos de até $1,07 \text{ mg.m}^{-3}$ e $1,61 \text{ mg.m}^{-3}$, respectivamente (TABELA 5.1 – APÊNDICE B). Entretanto, a primavera e o verão de Cabo Frio apresentaram alguns picos.

5.1.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

As médias climatológicas da TSM (FIGURA 5.2), como esperado, mostraram a existência de um ciclo anual bem definido, com os maiores valores no verão e os menores no inverno para todos os 15 pontos de estudo. De uma maneira geral, os valores nas isóbatas de cada local foram parecidos, com a sobreposição das séries de médias climatológicas. Entretanto, em Cananéia e Santa Marta observou-se que os valores da isóbata de 100 metros foram ligeiramente menores no inverno em relação aos valores das isóbatas de 500 e 1000 metros.

As maiores amplitudes de variação foram observadas nos pontos mais ao sul da MCSE, principalmente em Santa Marta, com valores entre $18,72^\circ \text{C}$ e $26,17^\circ \text{C}$ (TABELA 5.2). Já nos pontos mais ao norte da MCSE, as amplitudes foram menores, entre $22,95^\circ \text{C}$ e $27,22^\circ \text{C}$ em São Tomé e $22,36^\circ \text{C}$ e $26,92^\circ \text{C}$ em Cabo Frio (TABELA B.2 – APÊNDICE B).

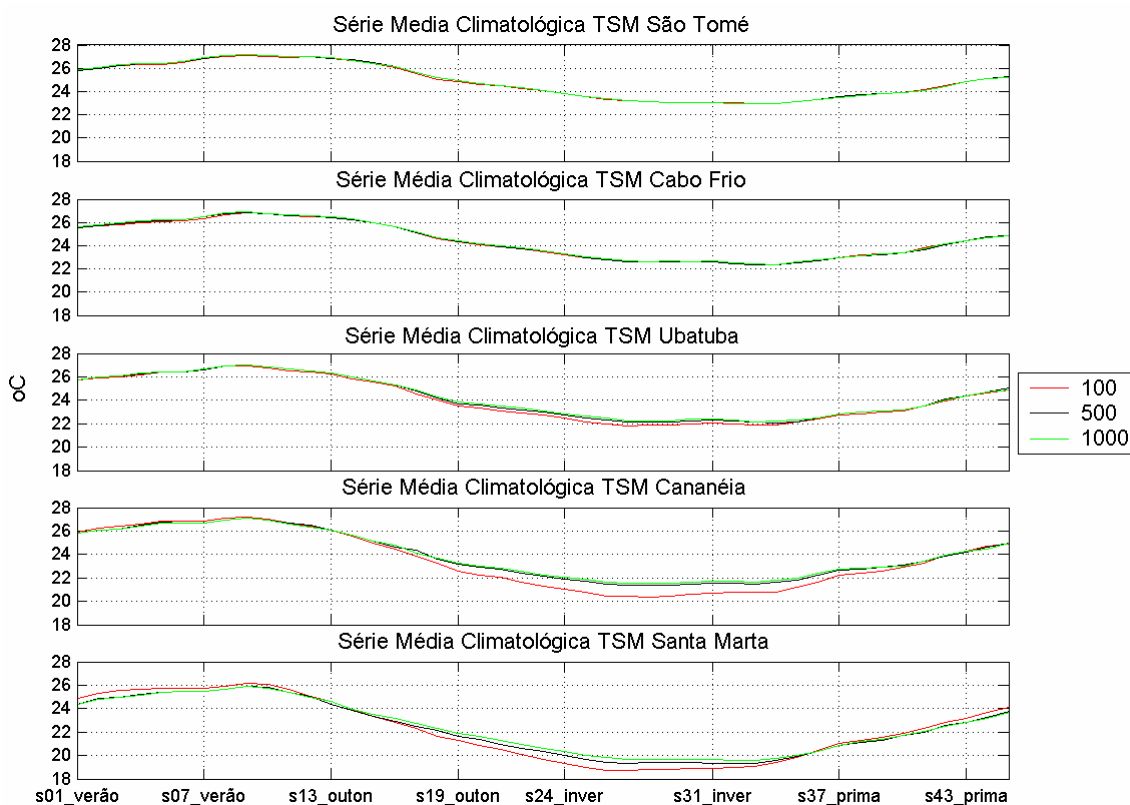


Figura 5.2 - Médias climatológicas das séries de TSM nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).

5.2 Séries temporais nos 15 pontos

5.2.1 Concentração de clorofila-*a* (Chl)

A partir das séries temporais da Chl (FIGURA 5.3), foi possível se ver com maiores detalhes do que nas médias climatológicas (FIGURA 5.1) que, principalmente em Cananéia e Santa Marta, os valores máximos se concentraram no inverno e os mínimos no verão na forma de pulsos, embora também houvesse picos de Chl na primavera e verão, especialmente em Cabo Frio. Os valores mais altos em todos os locais foram observados nas isóbatas de 100 metros, sendo os maiores picos de Chl observados em Santa Marta e Cabo Frio ($3,19$ e $2,59$ mg.m^{-3} , respectivamente), seguidos por Cananéia ($1,39$ mg.m^{-3}), Ubatuba ($1,10$ mg.m^{-3}) e São Tomé ($1,09$ mg.m^{-3}) (TABELA B.3 – APÊNDICE B).

As séries temporais semanais também evidenciaram um significativo sinal interanual de variabilidade da Chl. Por exemplo, em Cananéia e Santa Marta, e particularmente para a isóbata de 100 metros, os anos de 2004 e 2005 apresentaram valores de Chl bem menores no inverno em relação aos invernos dos outros anos. O inverso pode ser observado para os anos de 2000, 2002 e 2003 nesses dois lugares.

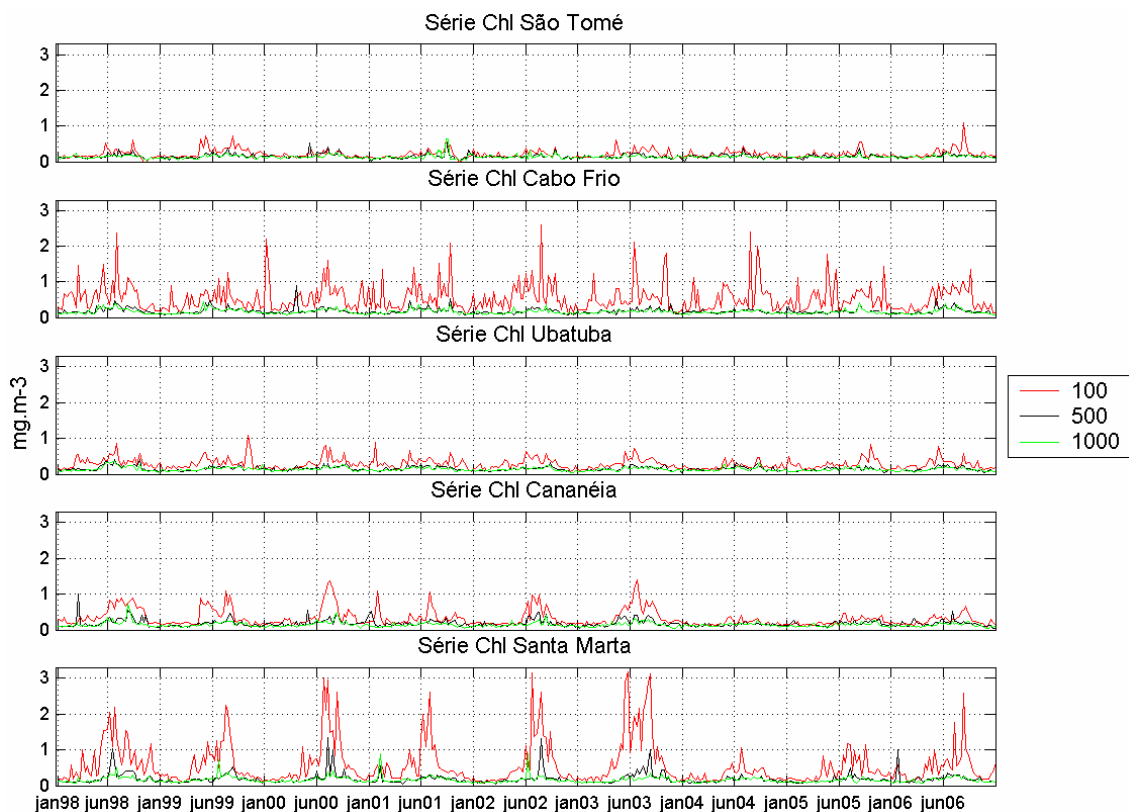


Figura 5.3 - Séries temporais da Chl nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).

Foi observado também que as variações temporais de Chl apresentam diferenças significantes entre as regiões analisadas. Por exemplo, para as séries na isóbata de 100 metros, o conteúdo de alta frequência foi bem maior em Cabo Frio em relação às outras regiões.

5.2.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

Em contraste às séries de Chl, as séries de TSM apresentaram pouca diferença nas três isóbatas de cada região analisada (FIGURA 5.4). Somente em Cananéia e Santa Marta observou-se valores de TSM da isóbata de 100 metros significativamente menores no inverno em relação aos valores das isóbatas de 500 e 1000 metros (TABELA B.4 – APÊNDICE B). Como esperado, os valores máximos ocorrem no verão e os menores no inverno, destacando o ciclo anual. Variações interanuais foram também presentes nas séries de TSM.

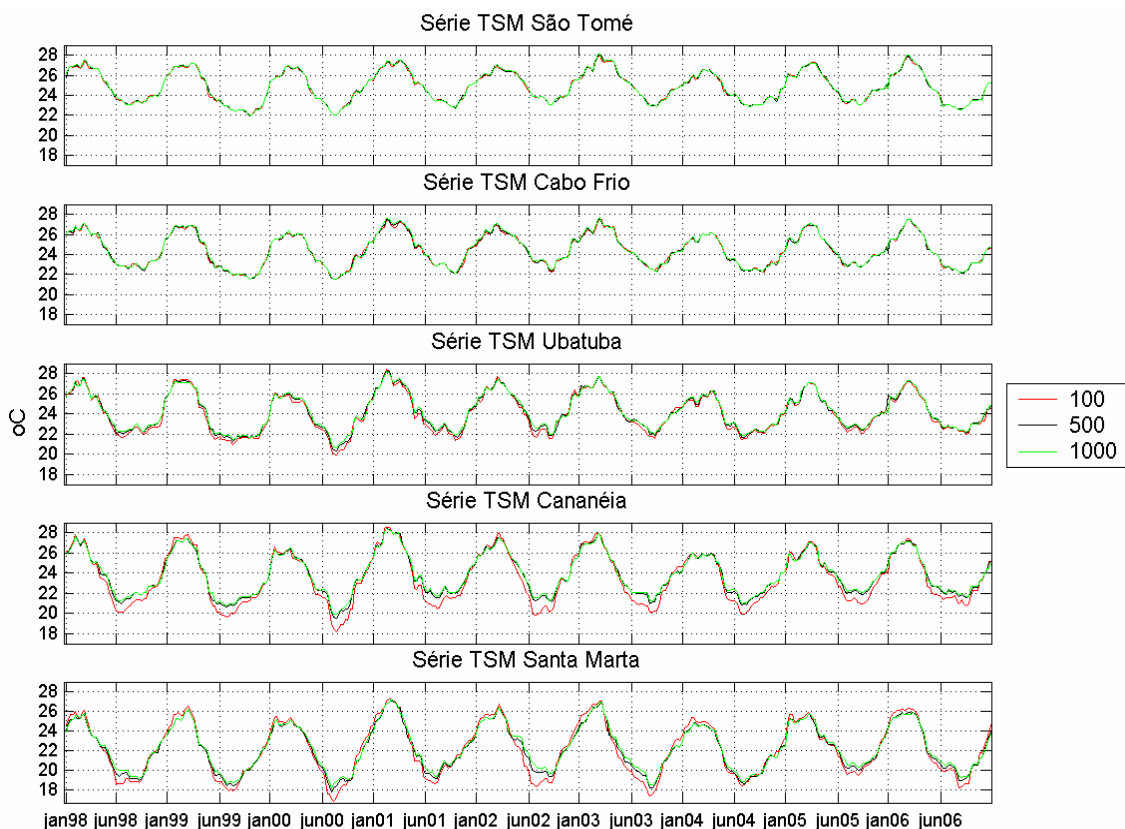


Figura 5.4 - Séries temporais da TSM nos 15 pontos de estudo. As cores representam as séries sobre as isóbatas de 100 m (vermelho), 500 m (preto) e 1000 m (verde).

Conforme foi observado na Figura 5.2 das médias climatológicas, as maiores amplitudes de variação da TSM foram observadas na região sul da MCSE, em Cananéia e Santa Marta. Pôde-se observar pelas séries em todos os pontos que o ano de 2004 foi o

que apresentou as menores amplitudes e que os anos de 1999, 2001, 2002, 2003 e 2006 foram os que obtiveram os maiores valores de amplitude. Os invernos de 1999 e 2000 obtiveram os menores valores de TSM, alcançando os valores mínimos de 17,96°C e 16,88°C, respectivamente, no ponto SM0100 em Santa Marta.

Assim como observado na Figura 5.2, em Cananéia e Santa Marta os valores na isóbata de 100 metros foram levemente maiores no verão e menores no inverno, em relação aos valores nas isóbatas de 500 e 1000 metros. Isto também pode ser observado pela Tabela B.4, onde os valores máximos de TSM em CA0100 e SM0100 foram maiores em relação aos valores em nas isóbatas de 500 e 1000 metros, e os valores mínimos foram menores.

5.3 Transformada em ondeletas (TO)

Conforme explicado no capítulo anterior, a análise da TO foi aplicada nas séries de Chl, AChl, TSM e ATSM dos 15 pontos estudados. Entretanto, na medida em que foram sendo gerados, os espectros de ondeleta das séries originais padronizadas foram dominados pelo ciclo anual (FIGURA 5.5). Assim sendo, os espectros que serão mostrados a seguir referem-se somente à AChl e ATSM, para que sejam observados outros sinais.

Nos espectros de ondeletas o período é dado em semanas e está representado em escala logarítmica. A barra de cores representa a potência e é adimensional. A linha amarela mais fina representa o escalograma da frequência, que é a ondeleta global. A linha amarela mais grossa representa o cone de influência e os valores acima desta não são considerados porque são suscetíveis a erros causados pelo fato das séries serem truncadas nas extremidades, ou seja, são séries finitas. Os valores são significativos ao nível de significância de 5%.

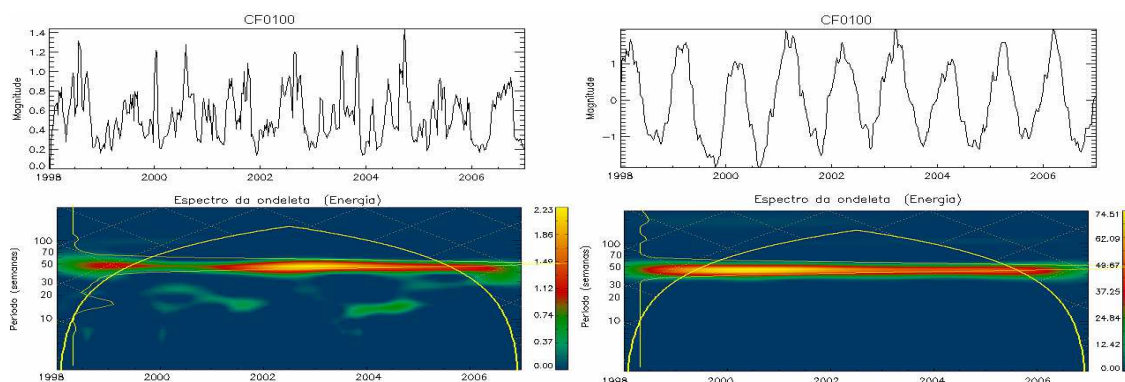


Figura 5.5 - Séries temporais padronizadas e espectros de ondeleta dos parâmetros Chl (esquerda) e TSM (direita) no ponto CF0100. Notar o sinal anual (em torno de 50 semanas) dominante em ambos os espectros.

5.3.1 Concentração de clorofila-*a* (Chl)

Os espectros de potência das séries de AChl se encontram nas Figuras 5.6 a 5.10, e evidenciaram uma banda de frequência com período em torno de 110 semanas (2,4 anos) que ocorre em praticamente todos os espectros, com exceção dos pontos UB1000, CF0500 e CF1000. Um outro sinal, em torno de 60 semanas (1,3 anos) apareceu fraco em Santa Marta (SM0100, SM0500 e SM1000), CA0500 e CF0100, e mais forte em CA1000, nos pontos em Ubatuba (UB0100, UB0500 e UB1000) e em CF0500 e CF1000.

Nos pontos em Cabo Frio (CF0100, CF0500 e CF100), em São Tomé (ST0100, ST0500 e ST1000), CA0500 e CA1000, UB0100 e UB1000, além das bandas de frequência já comentadas, existe outra, em torno de 40 semanas (0,9 anos) mais localizada entre os anos de 2004 e 2006. Por fim, existe um sinal em torno de 20 semanas (0,4 anos) ocorrendo em praticamente todos os pontos, porém bem localizado e com fraca energia, além de outros de menor intensidade.

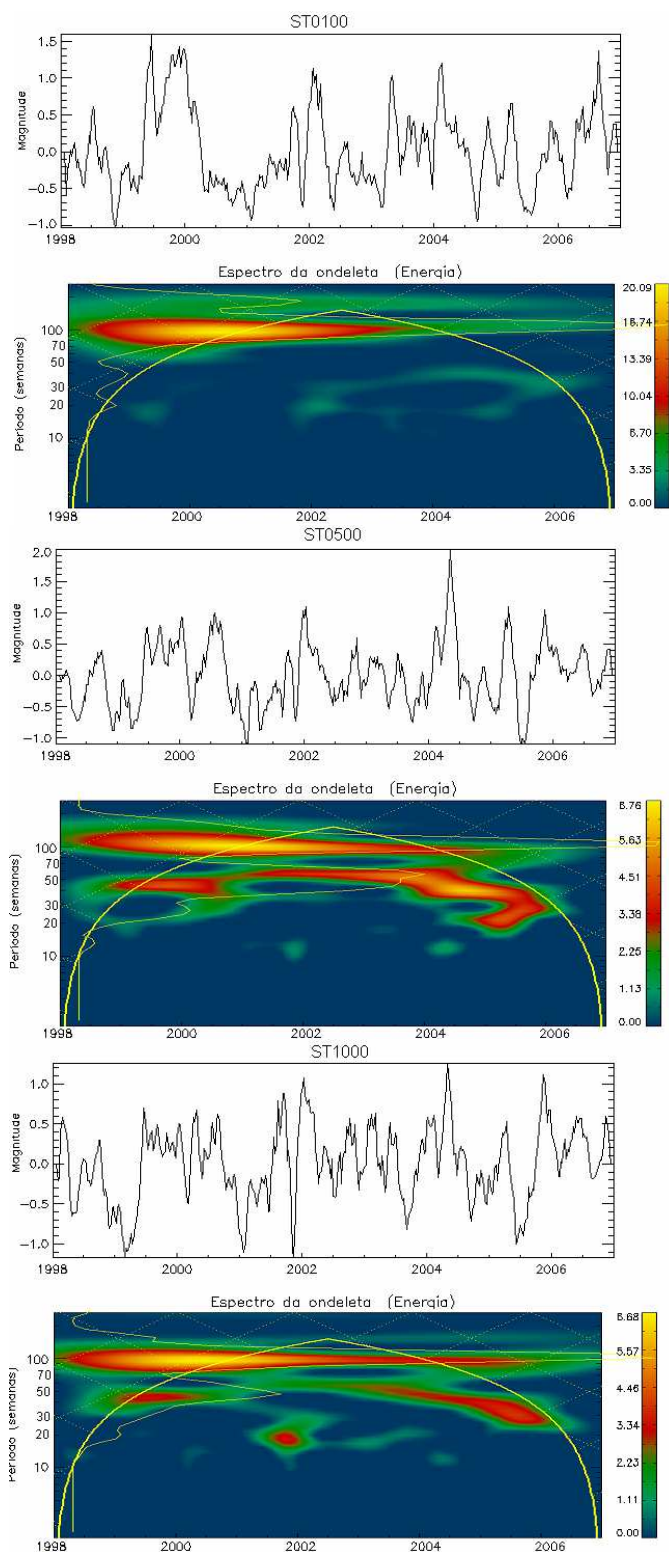


Figura 5.6 - Séries temporais das AChIs e os respectivos espectros da TO nos pontos ST0100, ST0500 e ST1000.

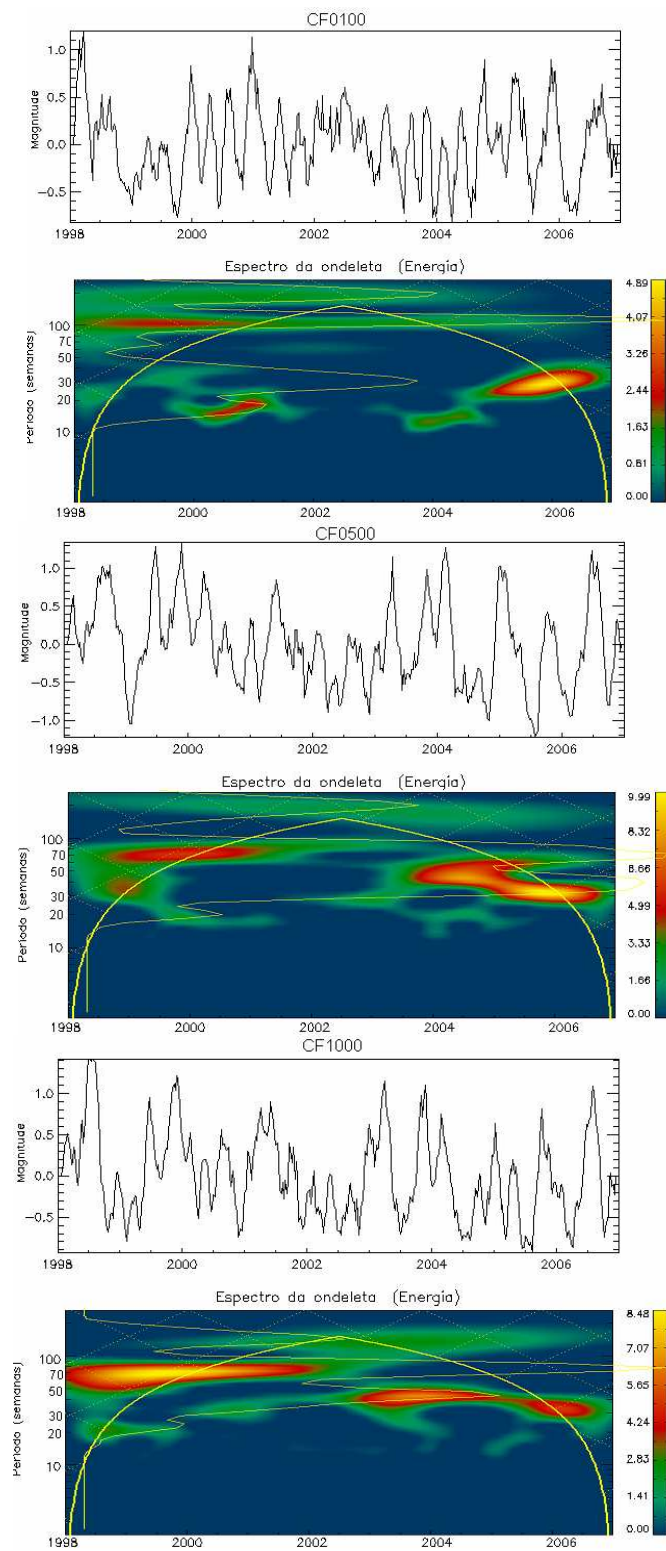


Figura 5.7 - Séries temporais das ACHs e os respectivos espectros da TO nos pontos CF0100, CF0500 e CF1000.

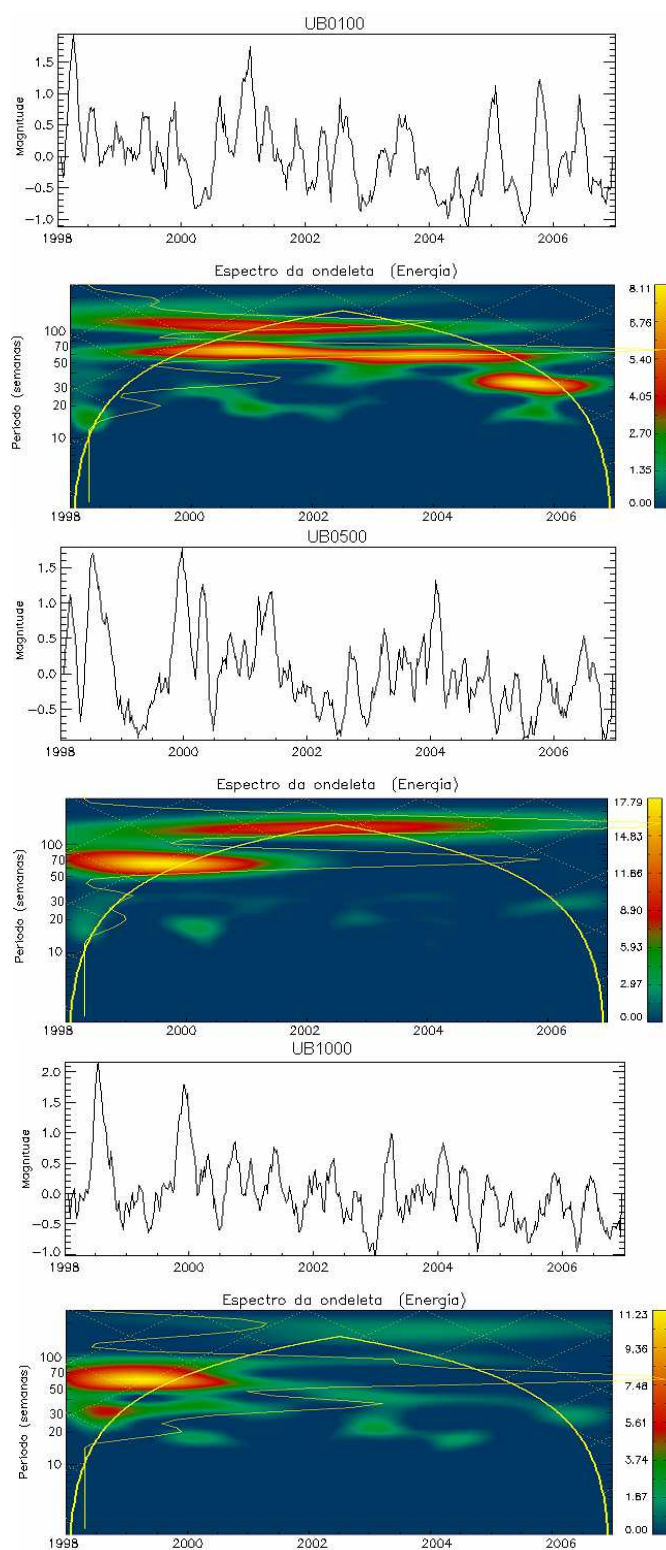


Figura 5.8 - Séries temporais das AChIs e os respectivos espectros da TO nos pontos UB0100, UB0500 e UB1000.

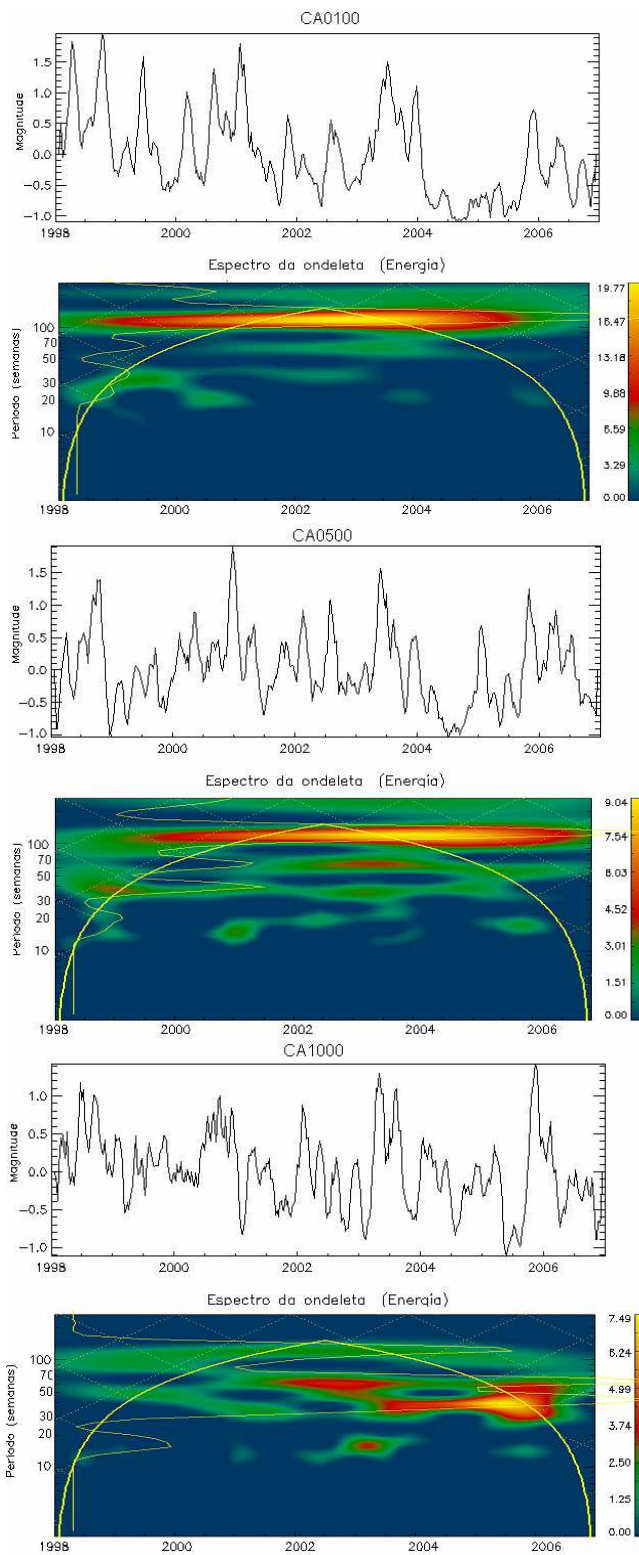


Figura 5.9 - Séries temporais das ACHIs e os respectivos espectros da TO nos pontos CA0100, CA0500 e CA1000.

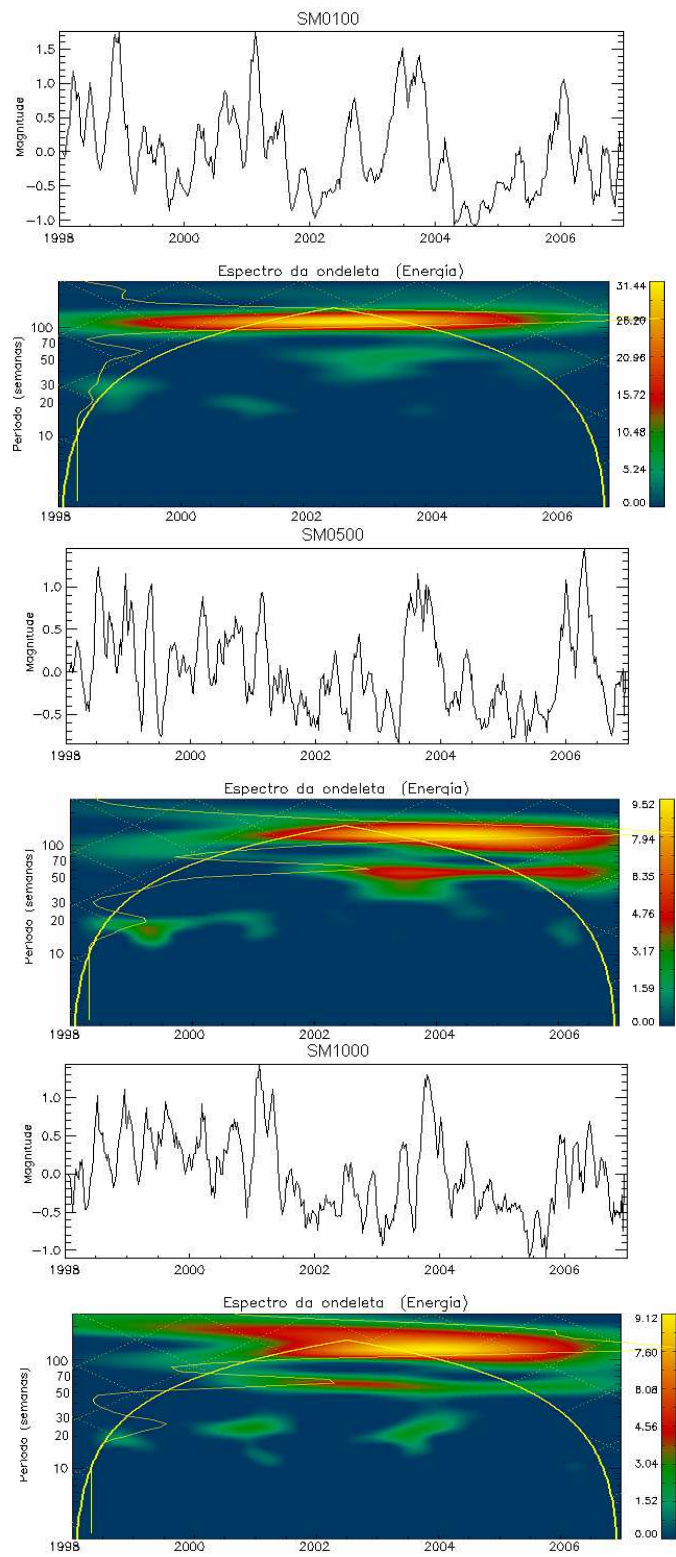


Figura 5. 10 - Séries temporais das AChIs e os respectivos espectros da TO nos pontos SM0100, SM0500 e SM1000.

5.3.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

Conforme visto nas médias climatológicas (FIGURA 5.2) e nas séries temporais (FIGURA 5.4), as séries da TSM nas isóbatas de 500 e 1000 metros foram muito parecidas entre si e, conseqüentemente, as ATSMs se comportaram da mesma forma. Dessa forma, os espectros de potência da ATSM nos pontos sobre essas duas isóbatas ficaram semelhantes.

A partir dos espectros de potência das séries de ATSM (FIGURAS 5.11 a 5.15) notou-se que as maiores amplitudes ocorreram dentro de uma banda de frequência com período em torno de 110 semanas (2,4 anos), com exceção para os pontos em Santa Marta (SM0100, SM0500 e SM1000). Nestes, ocorreu somente um sinal dentro do cone de influência, em torno de 35 semanas (0,8 anos), e também em CA0100, com maior energia nos anos de 2001 e 2005.

Como o cálculo da anomalia não retira totalmente o sinal anual quando este é muito intenso, como foi o caso da TSM nos pontos de estudo, o mesmo pôde ser observado nos pontos em São Tomé (ST0100, ST0500 e ST1000), Cabo Frio (CF0100, CF0500 e CF1000), Ubatuba (UB0100, UB0500 e UB1000) e em Cananéia (CA0100, CA0500 e CA1000), com um sinal em torno de 50 semanas.

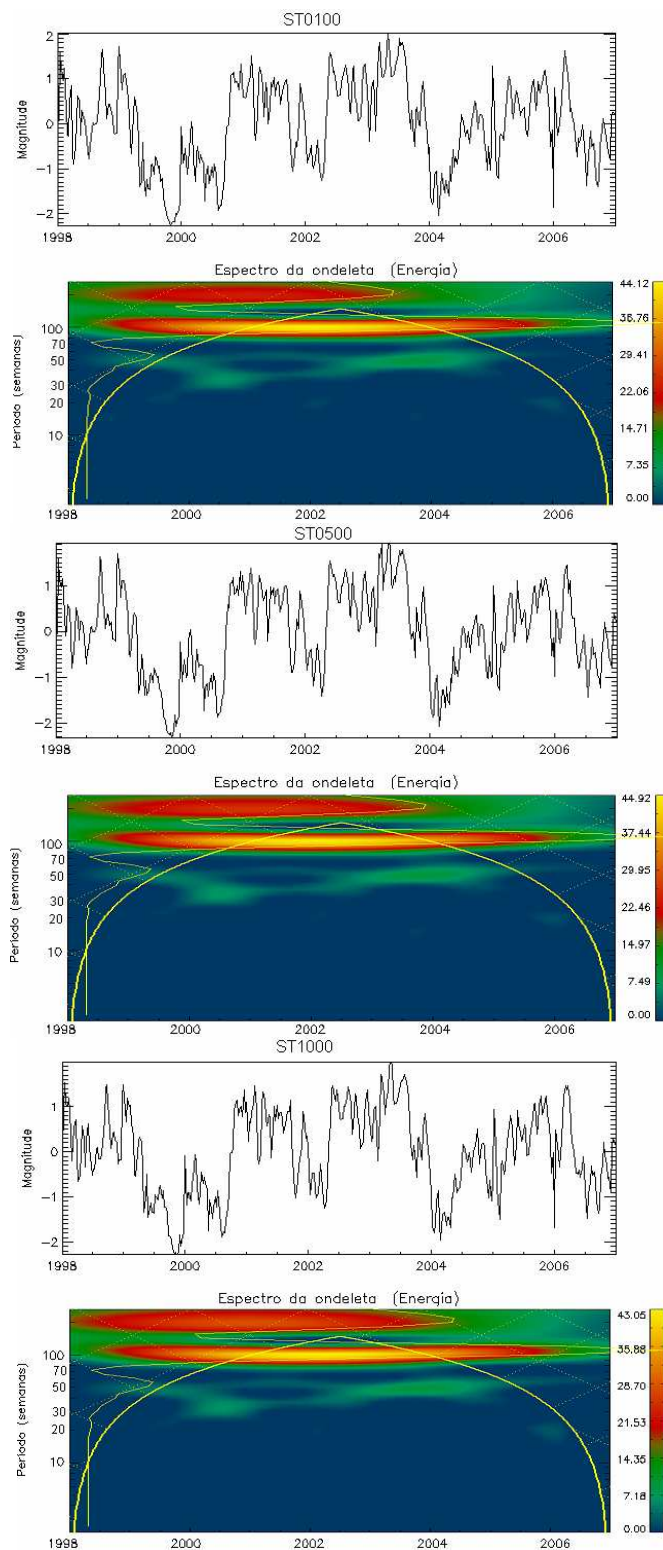


Figura 5.11 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos ST0100, ST0500 e ST1000.

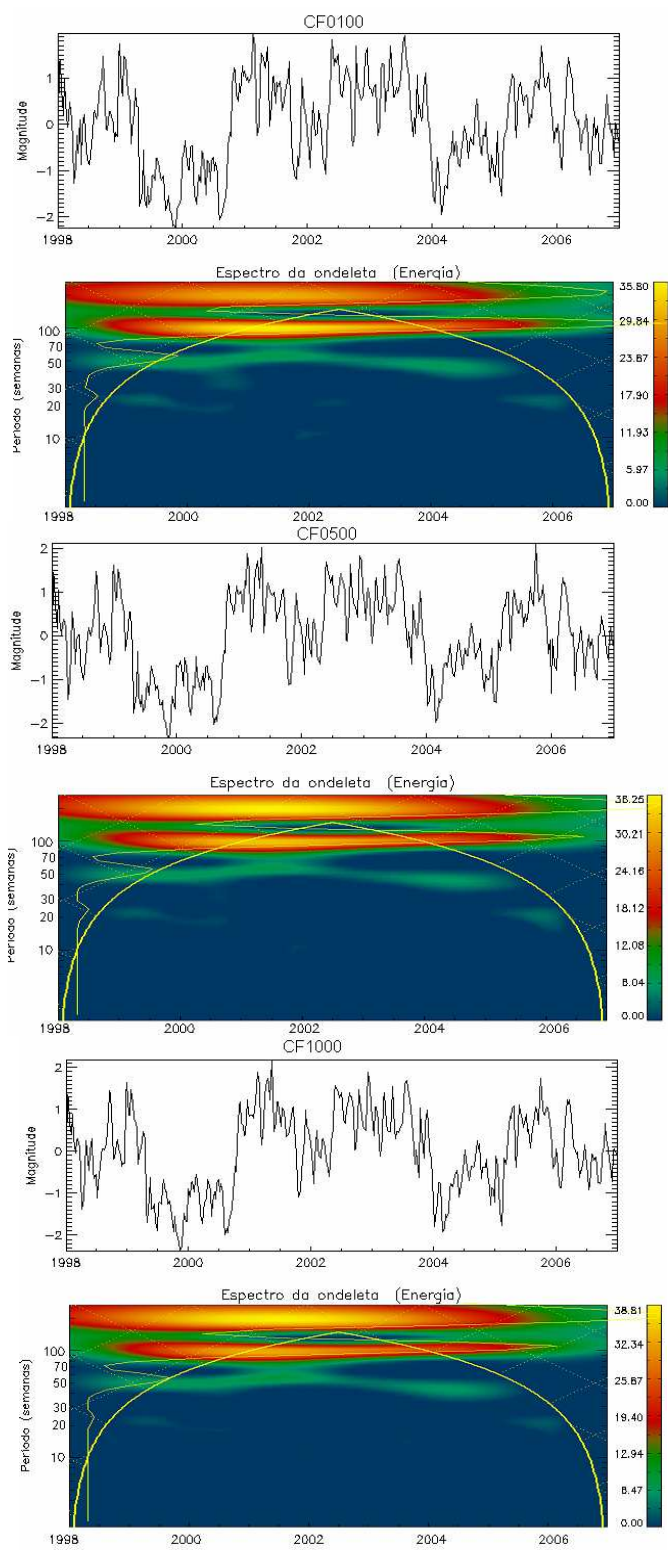


Figura 5.12 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos CF0100, CF0500 e CF1000.

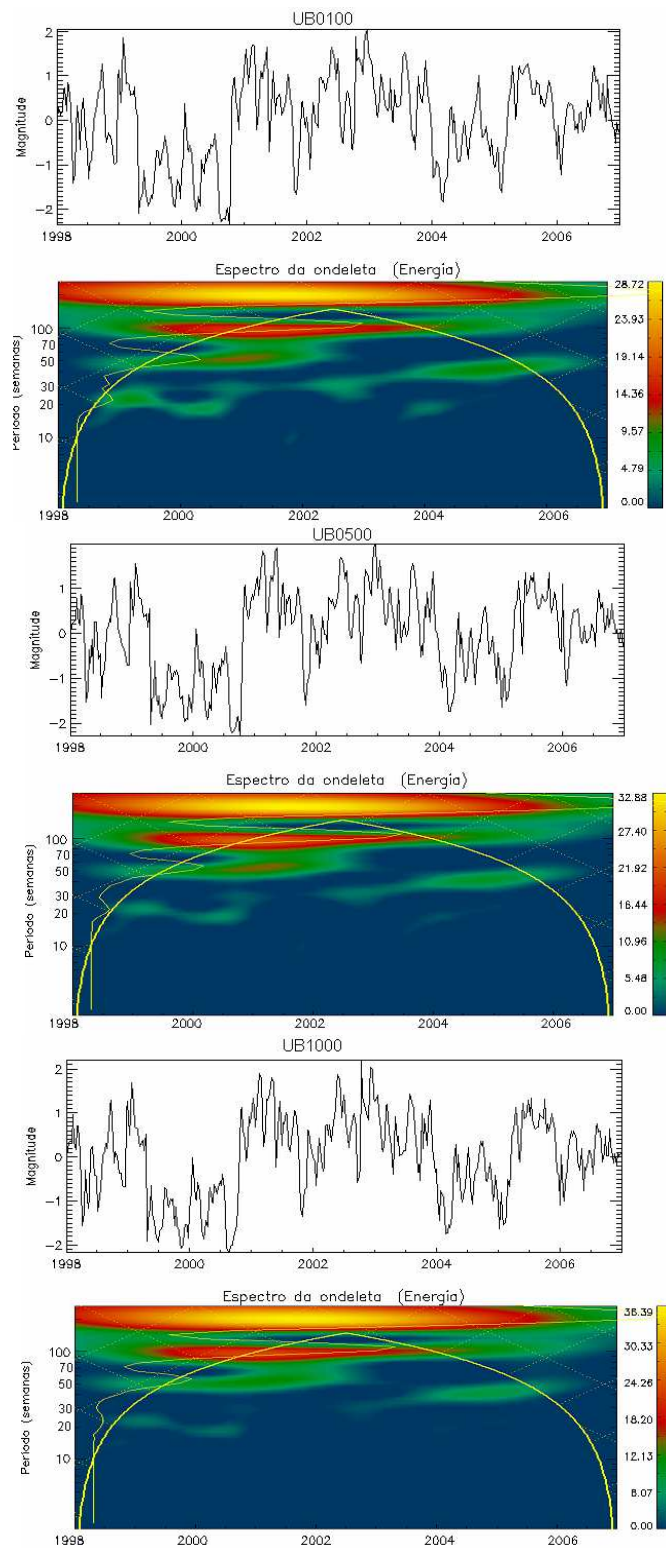


Figura 5.13 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos UB0100, UB0500 e UB1000.

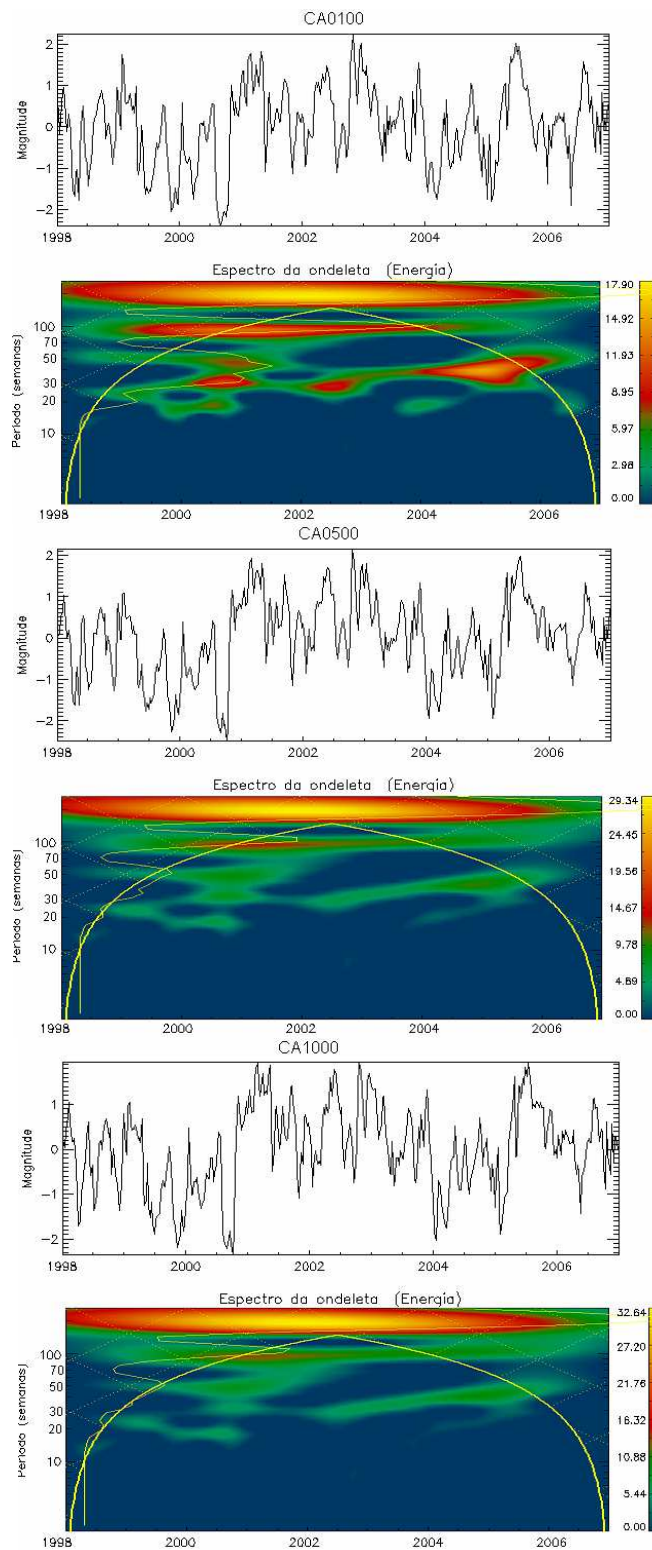


Figura 5.14 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos CA0100, CA0500 e CA1000.

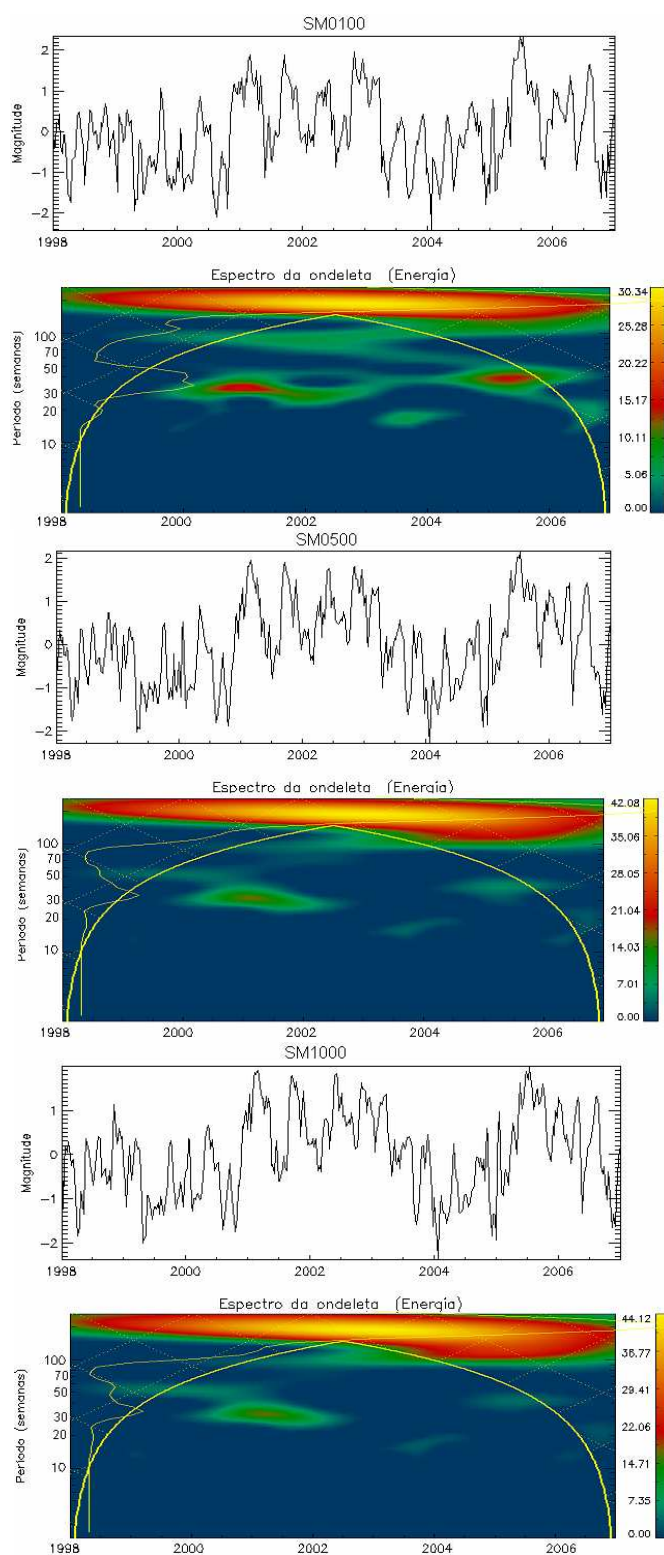


Figura 5.15 - Séries temporais das ATSMs e os respectivos espectros da TO nos pontos SM0100, SM0500 e SM1000.

5.4 Transformada rápida de Fourier (FFT) para a série de IOS

Pela análise espectral da FFT para a série de IOS durante o período estudado (TABELA A.3 – ANEXO A), foram observados três períodos de maior energia: em torno de 27 meses (2,3 anos), 14 meses (1,2 anos) e 8 meses (0,7 anos) (FIGURA 5.16).

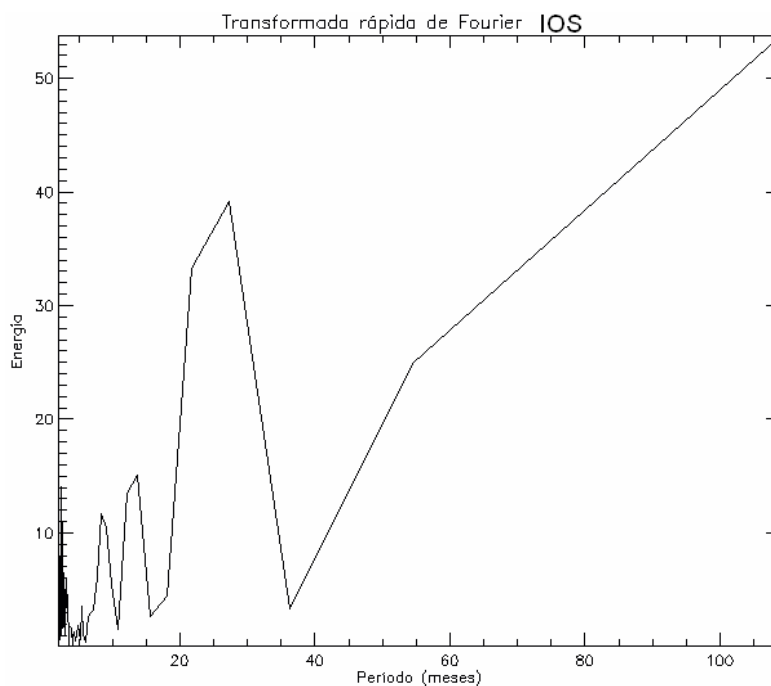


Figura 5.16 - Gráfico de FFT dos dados do IOS.

5.5 Análise de correlação cruzada entre as séries temporais nos 15 pontos

Os diagramas das correlações cruzadas foram gerados com intervalo de confiança de 95%, sendo que as linhas azuis representam o intervalo de valores não significantes. Os resultados das correlações entre as séries temporais de Chl são mostrados nas Figuras 5.17 a 5.19. Considerando que a transformada de Fourier da função de correlação é proporcional ao espectro de energia, viu-se claramente pela função de correlação a dominância do período anual.

Observou-se que para a isóbata de 100 metros (FIGURA 5.17), todas as correlações máximas entre as séries ocorreram no $lag=0$, sendo que o maior valor de correlação

(0,72) ocorreu entre Santa Marta x Cananéia. O valor mais baixo de correlação foi encontrado entre Santa Marta x Cabo Frio (0,31).

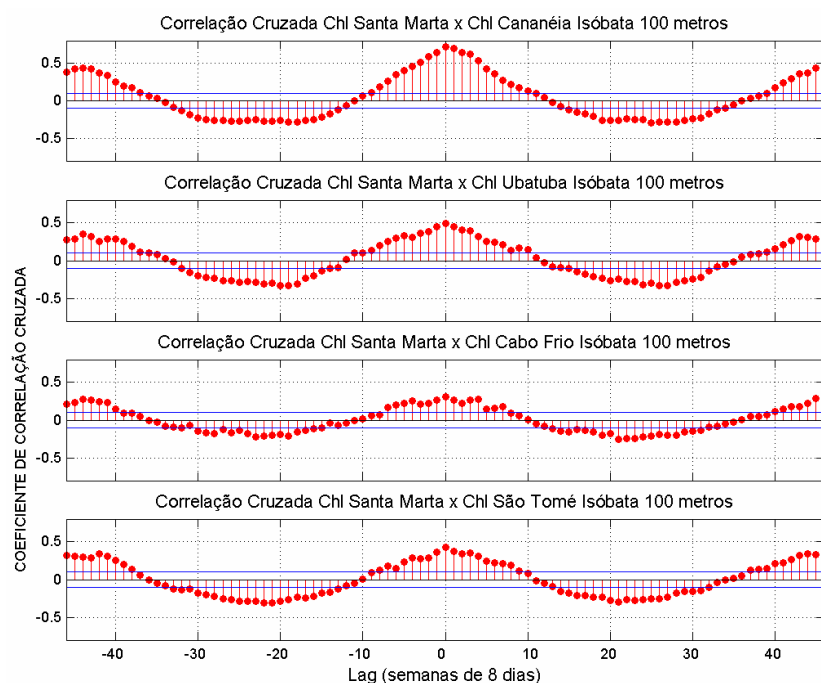


Figura 5.17 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóbata de 100 metros.

No caso da isóbata de 500 metros (FIGURA 5.18), observou-se que o maior valor de correlação ocorreu no $lag=-1$ entre Santa Marta x Cananéia (0,42). Para Santa Marta x Ubatuba, a maior correlação ocorreu no $lag=-2$ (0,41). Entre Santa Marta x Cabo Frio e Santa Marta x São Tomé os maiores valores de coeficiente ocorreram no $lag=-3$ (0,32 e 0,35 respectivamente).

Deve ser observado que o $lag=\pm 1$ pode não ser significativamente diferente de zero, uma vez que com a amostragem de 8 dias do sinal (a série é proveniente de médias temporais de 8 dias), pelo teorema de Nyquist (MILMAN, 1999) o sinal de maior frequência possível de ser resolvido seria igual a $1/2\Delta t$, ou seja, aquele com período de 16 dias.

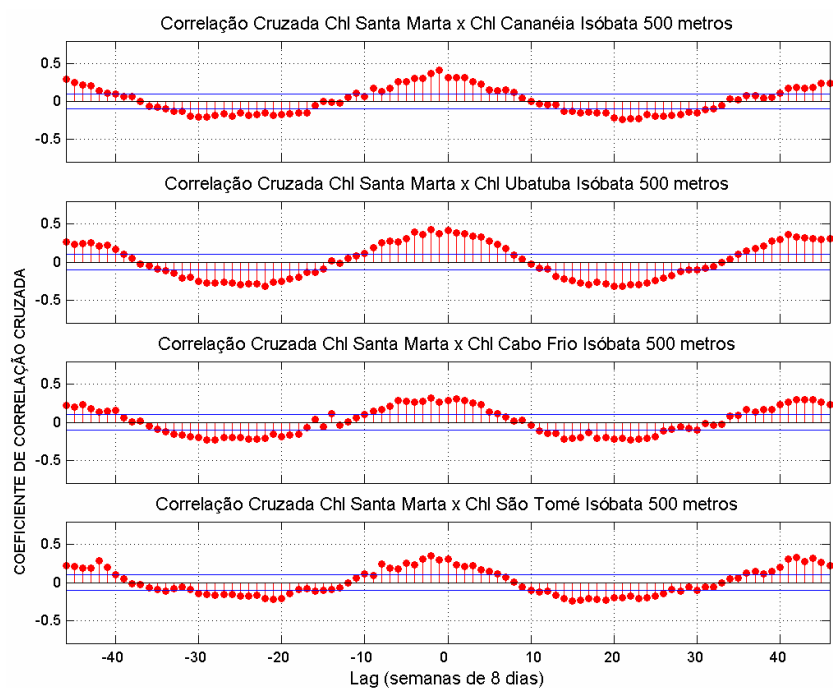


Figura 5.18 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóbata de 500 metros.

Para a isóbata de 1000 metros (FIGURA 5.19), o maior valor de correlação ocorreu entre Santa Marta x Ubatuba no $lag=-2$ (0,49). Entre Santa Marta x Cananéia e Santa Marta x Cabo Frio os maiores coeficientes de correlação ocorreram no $lag=-1$ (0,41 e 0,46, respectivamente). O diagrama de correlação entre Santa Marta x São Tomé demonstrou que não há correlação de Chl entre esses dois pontos, com a grande parte dos valores não sendo significativos e a mais alta correlação no $lag=-39$.

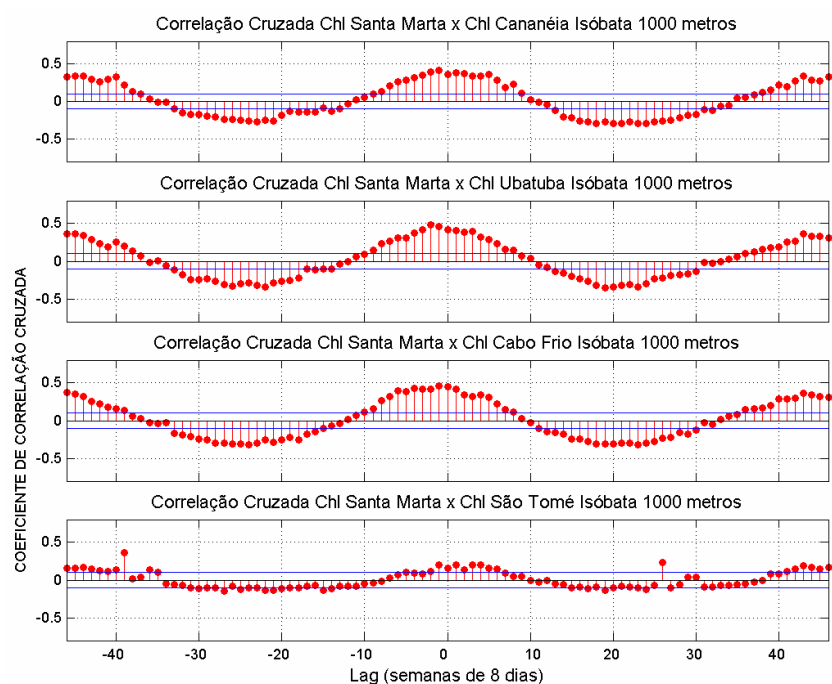


Figura 5.19 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de Chl na isóбата de 1000 metros.

De uma forma geral, as correlações das séries temporais de TSM se comportaram de maneira parecida para as três isóbatas, sendo, portanto, somente mostrada neste trabalho as correlações referentes à isóбата de 500 metros, representando as outras duas (FIGURA 5.20).

Notou-se uma correlação muito alta entre os valores de TSM, sendo que as maiores correlações ocorreram no $lag=0$ entre Santa Marta x Cananéia (0,98), no $lag=1$ entre Santa Marta x Ubatuba (0,94), no $lag=2$ entre Santa Marta x Cabo Frio (0,93) e no $lag=3$ entre Santa Marta x São Tomé (0,93).

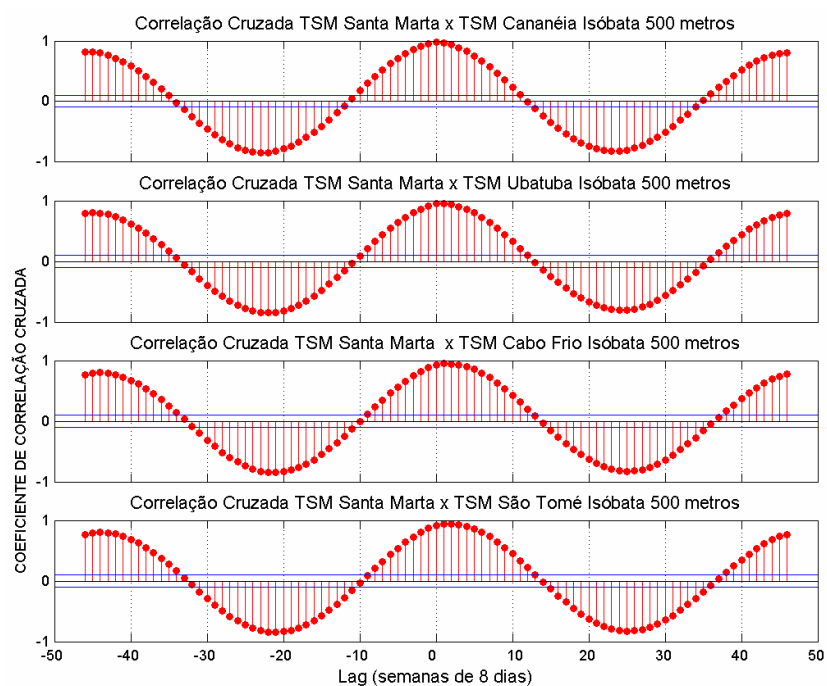


Figura 5.20 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries temporais de TSM na isóbata de 500 metros.

Para a avaliação das correlações entre as séries temporais de Chl x TSM observadas nos mesmos pontos, os resultados são mostrados nas Figuras 5.21 a 5.23. Conforme esperado, as correlações indicaram uma relação inversa entre os parâmetros Chl e TSM, com os coeficientes de correlação máximos negativos.

Para a isóbata de 100 metros, isso ocorreu com um $lag=3$, ou seja, 24 dias, entre Chl x TSM em São Tomé (-0,55) e Cabo Frio (-0,35), $lag=1$ entre Chl x TSM em Ubatuba (-0,50) e $lag=0$ em Cananéia (-0,61) e Santa Marta (-0,65). Um pequeno aumento nos valores de correlação máxima é observado para as regiões mais ao sul, isto é, em Cananéia e Santa Marta.

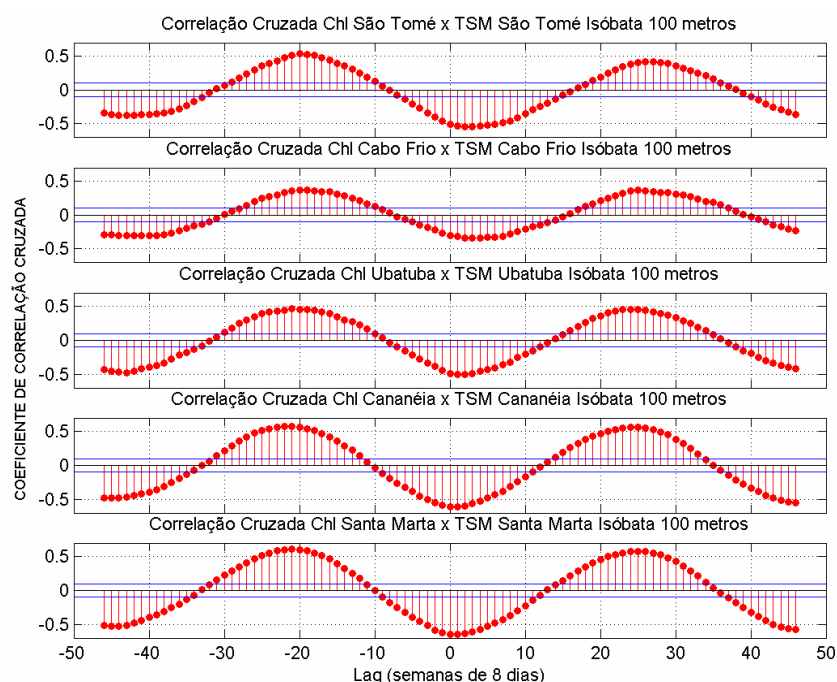


Figura 5.21 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóбата de 100 metros.

No caso da isóбата de 500 metros (FIGURA 5.22), as máximas correlações ocorreram com um $lag=3$ entre Chl x TSM em São Tomé (-0,46) e Cabo Frio (-0,50), $lag=2$ entre Chl x TSM em Ubatuba (-0,62), $lag=1$ entre Chl x TSM em Cananéia (-0,42) e $lag=0$ entre Chl x TSM em Santa Marta (-0,50).

Para a isóбата de 1000 metros (FIGURA 5.23), as máximas correlações ocorreram com um $lag=3$ entre Chl x TSM em São Tomé (-0,26) e Cabo Frio (-0,62), $lag=2$ entre Chl x TSM em Ubatuba (-0,61), $lag=1$ entre Chl x TSM em Cananéia (-0,57) e $lag=0$ entre Chl x TSM em Santa Marta (-0,53).

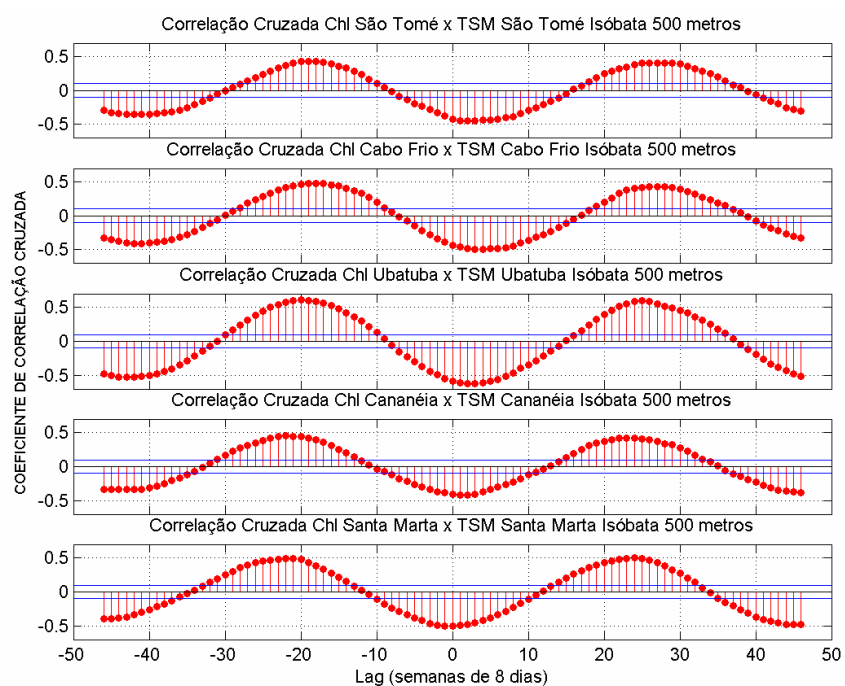


Figura 5.22 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóбата de 500 metros.

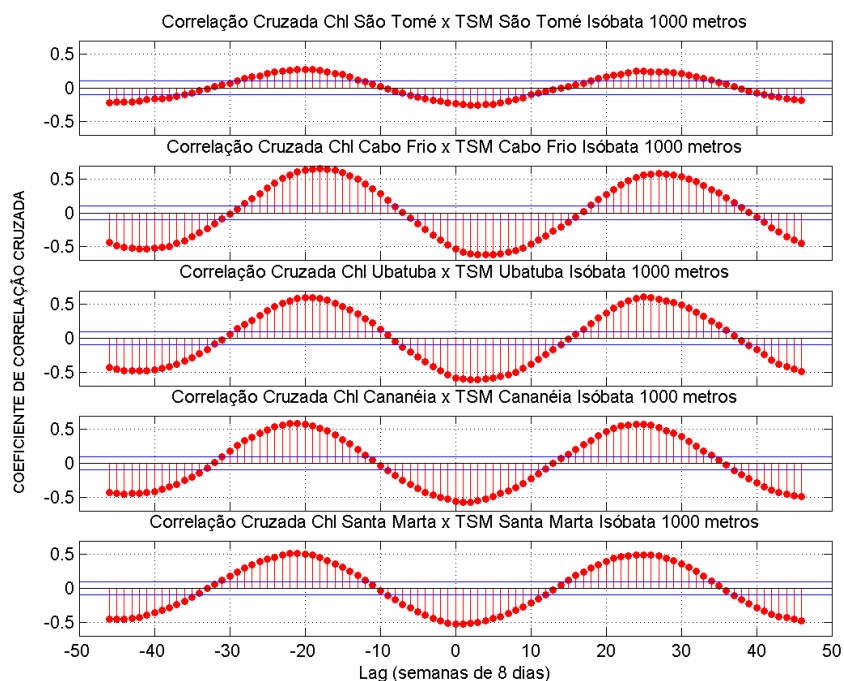


Figura 5.23 - Diagrama de correlação cruzada entre as séries de Chl x TSM na isóбата de 1000 metros.

5.6 Diagramas Hovmoller gerados a partir dos 38 pontos sobre a isóbata de 100 metros

5.6.1 Concentração de clorofila-*a* (Chl)

Conforme já observado pelas análises anteriores, é possível se ver claramente por meio do diagrama Hovmoller (FIGURA 5.24) o ciclo anual da Chl, com as maiores concentrações ocorrendo no inverno.

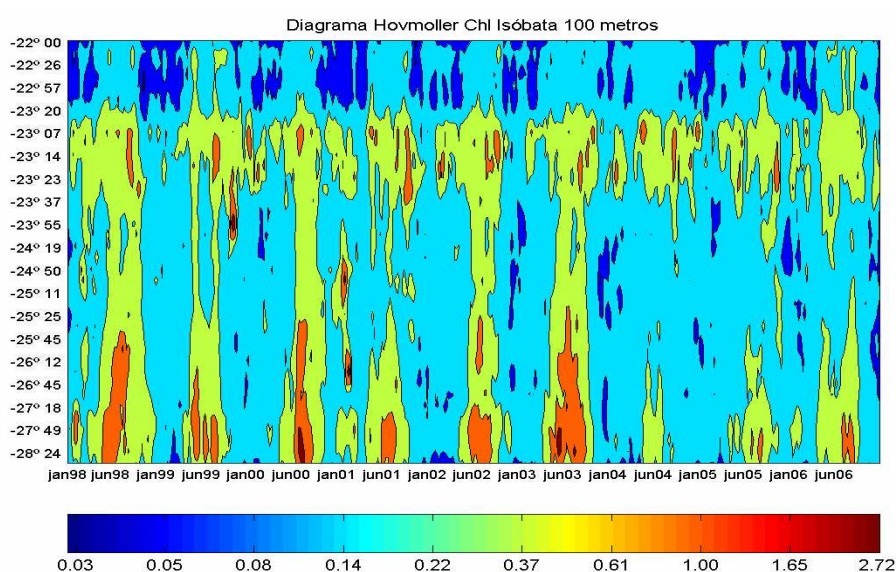


Figura 5.24 - Diagrama Hovmoller da Chl, em escala logarítmica. Valores em mg.m⁻³.

Os invernos dos anos de 2004 e 2005 foram os que apresentaram os menores valores de Chl, enquanto que os invernos de 1998, 2000 e 2003 foram os que apresentaram os maiores valores ao longo da MCSE, com valores de até 2,72 mg.m⁻³.

O diagrama da AChl (FIGURA 5.25) indicou que os invernos de 1998, 1999, 2000 e 2003 obtiveram valores positivos de anomalias em relação aos outros invernos, enquanto que para a área central e sul da área de estudo e para todo o período que vai do inverno de 2004 ao de 2005, foram visíveis anomalias negativas. Os verões de 1998, 1999, 2001 e 2006 obtiveram anomalias positivas e os verões que apresentaram anomalias negativas foram os de 2000, 2002 e 2005.

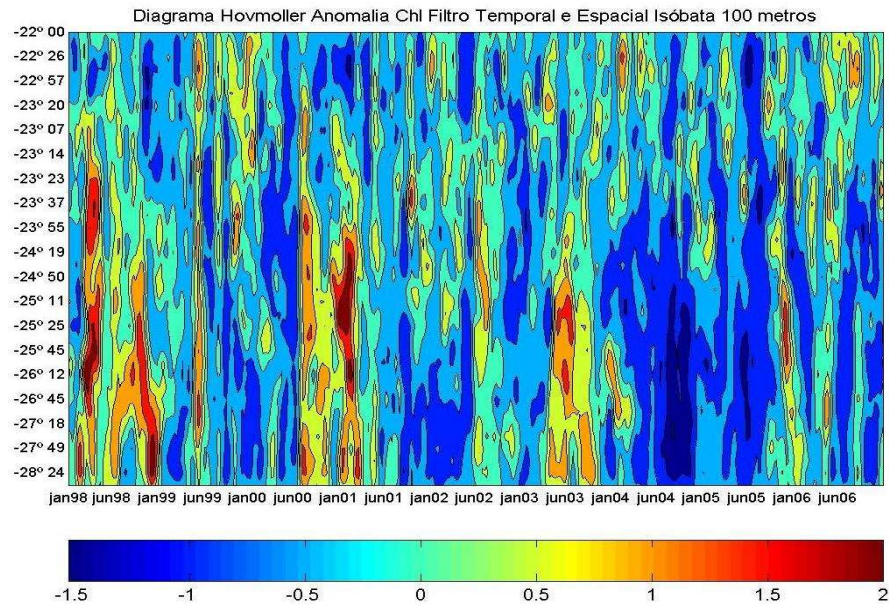


Figura 5.25 - Diagrama Hovmoller da AChl filtrada temporal e espacialmente. Adimensional.

5.6.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

O diagrama Hovmoller da TSM evidencia para toda a área de estudo o ciclo anual (FIGURA 5.26). Como indicado anteriormente, viu-se uma maior variação dos valores de TSM entre verão e inverno presentes na região mais ao sul, entre aproximadamente 26 e 28,5°S (do litoral sul do Paraná ao Cabo de Santa Marta). Em relação às estações verão e inverno, observa-se que as variações entre norte e sul da MCSE são maiores no inverno (~4-5°C) em relação ao verão (entre ~1-2°C).

Em conformidade com as análises anteriores, os invernos de 1999 e 2000 foram mais frios em relação aos outros anos, com temperaturas entre 18 e 19°C atingindo as proximidades de 23°S. O inverno de 2005 foi menos frio em relação aos outros anos. Os verões de 2001 e 2003 foram mais quentes e os de 2000, 2004 e 2005 foram menos quentes. Isto pôde ser confirmado pelo diagrama da ATSM (FIGURA 5.27), onde os invernos de 1999 e 2000 e os verões de 2000, 2004 e 2005 apresentaram anomalias muito negativas, bem como os verões de 2001 e 2003 e o inverno de 2005 apresentaram anomalias muito positivas.

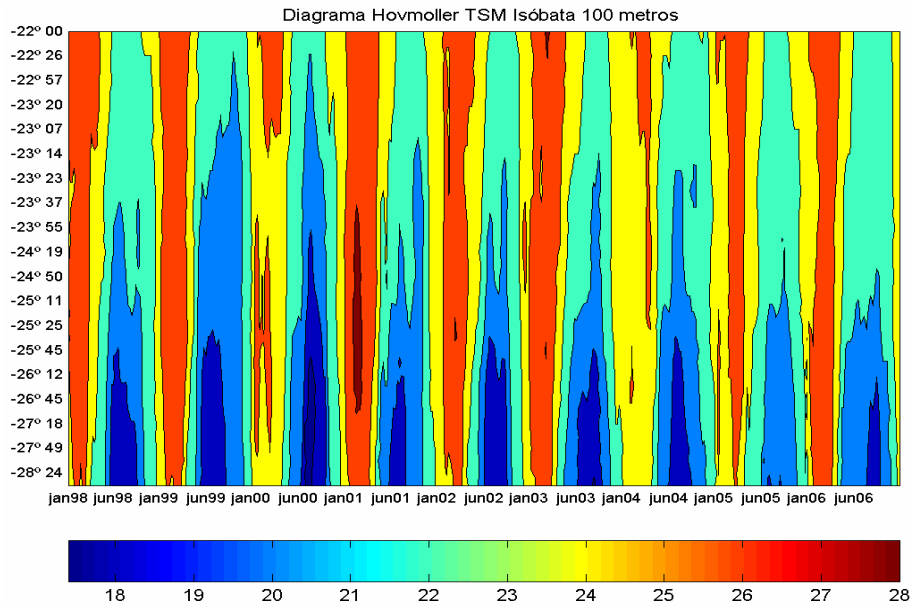


Figura 5.26 - Diagramas Hovmoller da TSM. Valores em °C.

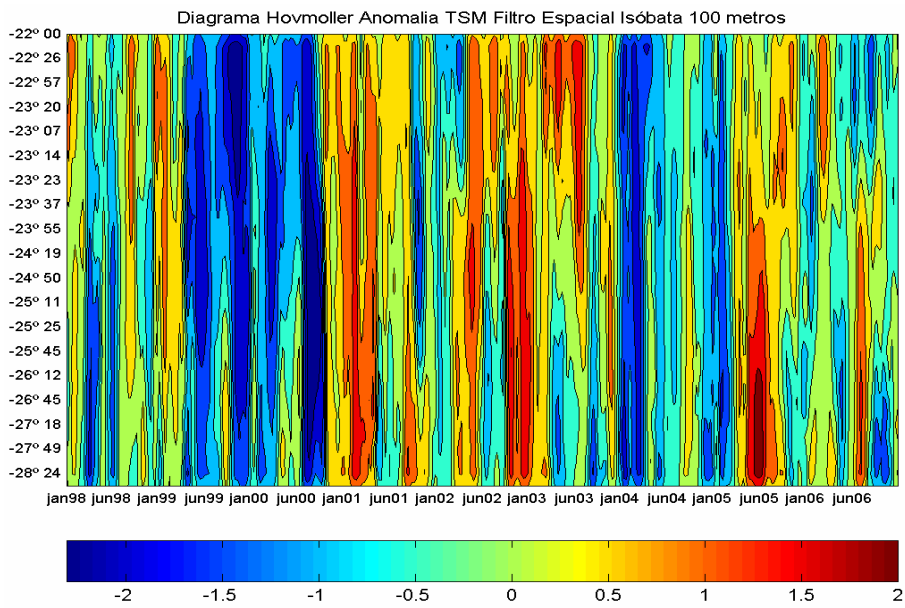


Figura 5.27 - Diagrama Hovmoller da ATSM. Adimensional.

5.7 Mapas de verão e inverno para Chl e TSM

Os mapas de médias e anomalias do verão e inverno gerados para os parâmetros Chl e TSM se encontram nas Figuras 5.28 a 5.41. Nos mapas encontram-se as isóbatas de 100, 500 e 1000 metros e os quadrados pretos correspondem aos 15 pontos de estudo.

5.7.1 Médias das estações do ano

5.7.1.1 Verão

Foi possível observar a presença de plumas com valores mais altos de Chl, próximos a região costeira de São Tomé, Baía de Guanabara, Ilha de São Sebastião e Cabo de Santa Marta, especialmente nos anos de 1998 e 2001 (FIGURAS 5.28 e 5.29).

Em relação à TSM, foi possível observar nas imagens a presença de um núcleo de águas mais frias em relação ao seu redor nas proximidades de Cabo Frio e Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, em alguns anos (2000 e 2004) (FIGURAS 5.28 e 5.30) alcançando Ubatuba, no litoral de São Paulo e afetando até a plataforma externa.

É também interessante notar que esse núcleo de águas mais frias, além de apresentar variações interanuais de magnitudes, também apresenta sua principal área de atuação deslocada de ano para ano. Além disso, é possível observar nos anos de 1998, 1999, 2001, 2002, 2003 e 2006 (FIGURAS 5.28 a 5.30) a presença de um núcleo de águas mais quentes em relação ao seu redor entre a Ilha de São Sebastião, em São Paulo, e Paranaguá, litoral do Paraná.

O ano de 2004 foi o que obteve a menor média de TSM (25 °C) e o ano de 2001 foi o de maior média (26,7 °C), ocorrendo o mesmo com os valores de Chl com o ano de menor média sendo 2004 (0,11 mg.m⁻³) e o de maior média 2001 (0,17 mg.m⁻³) para toda a área de estudo (TABELA C.1 – APÊNDICE C).

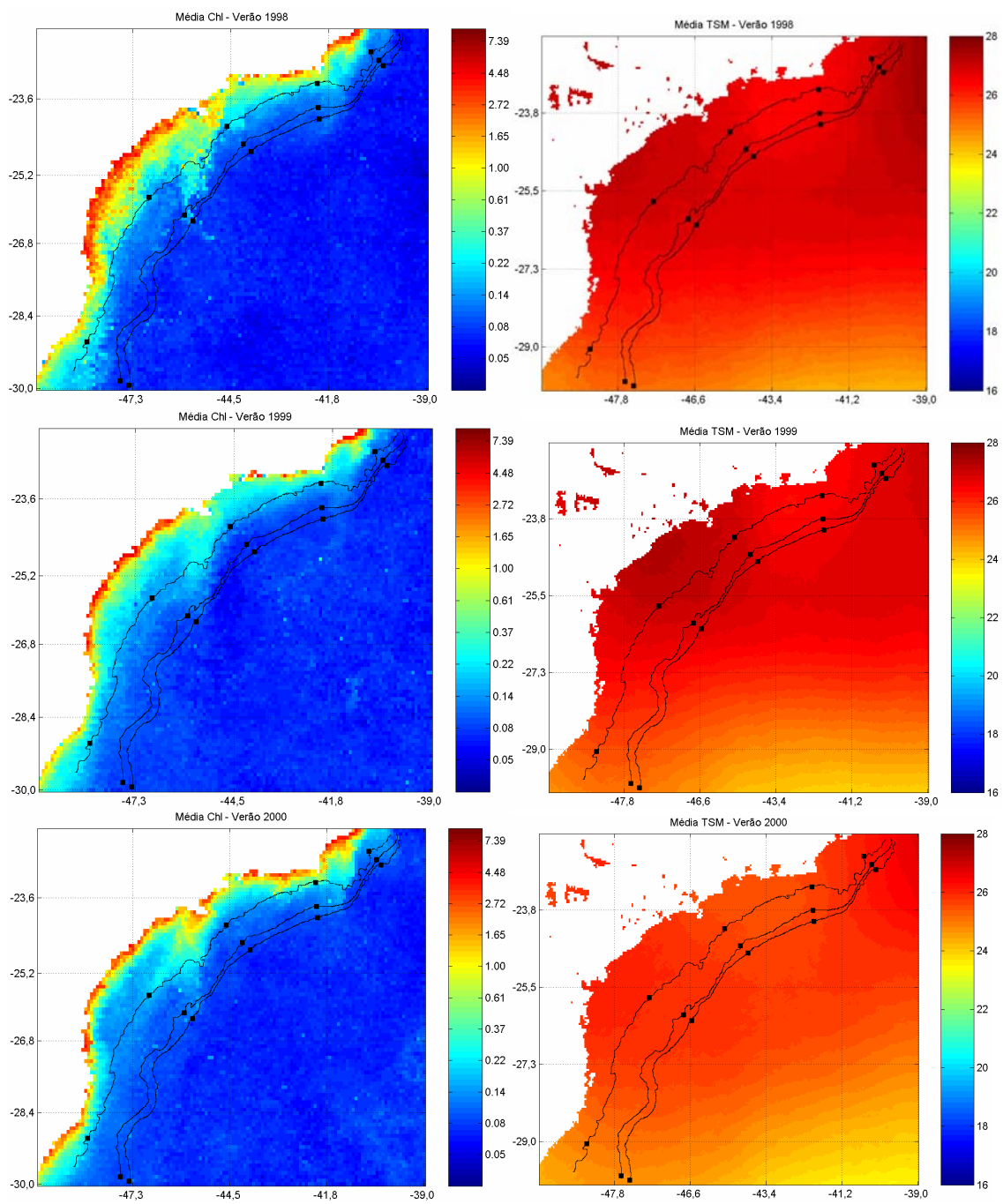


Figura 5.28 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 1998 a 2000. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

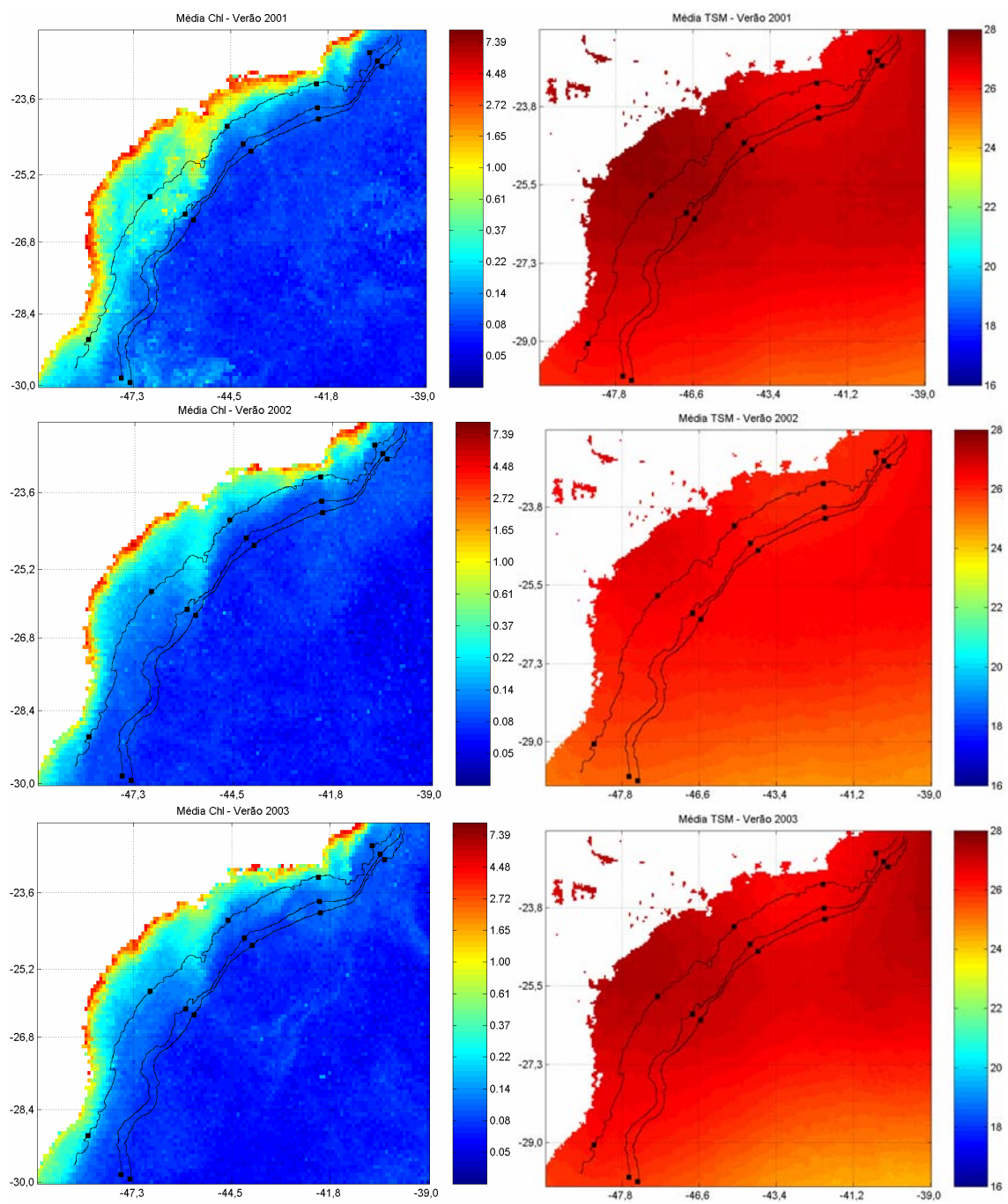


Figura 5.29 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2001 a 2003. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

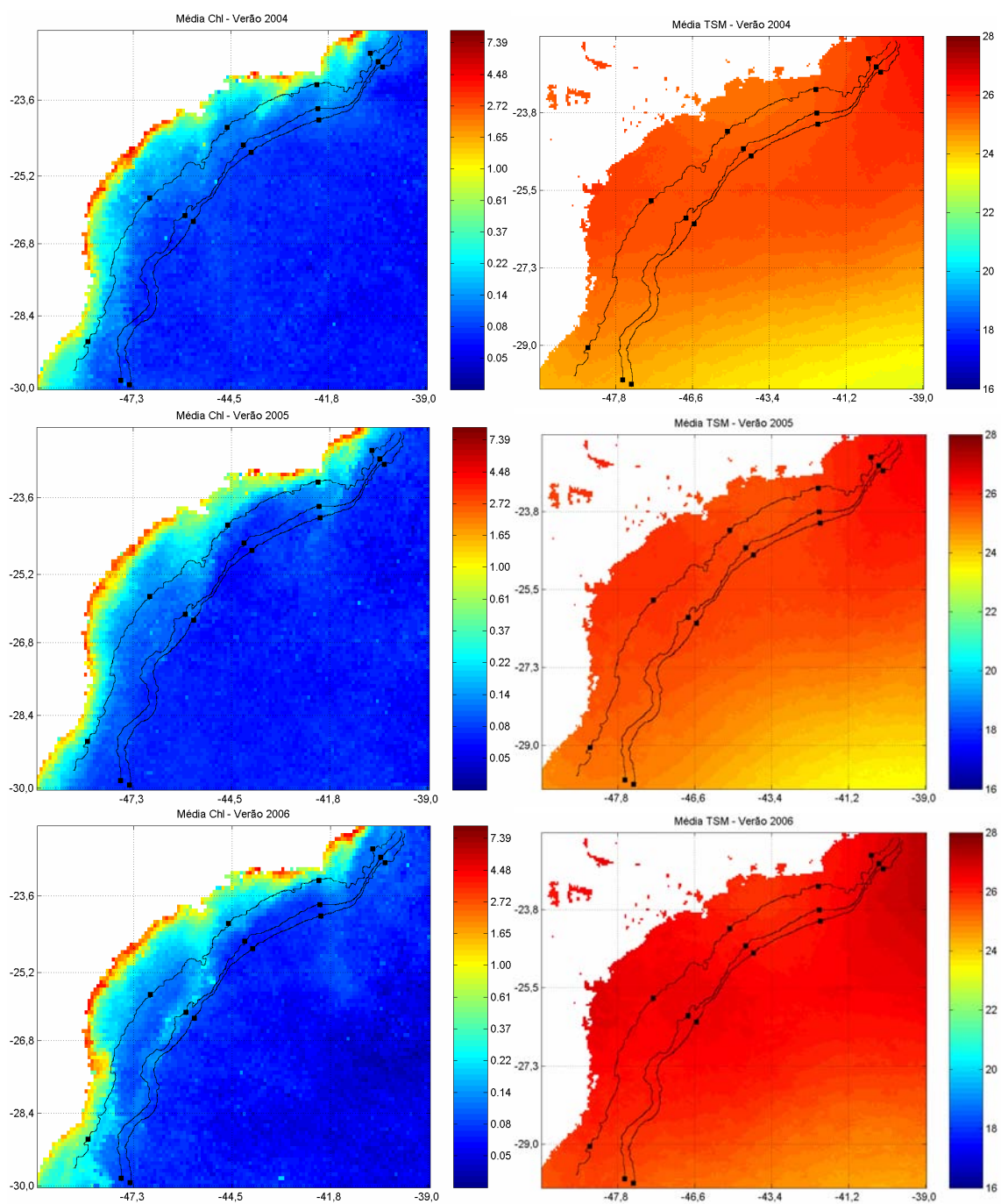


Figura 5.30 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2004 a 2006. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

5.7.1.2 Inverno

Os anos de 1998, 1999, 2000, 2002 e 2003 foram os que sofreram maior influência da intrusão de águas mais frias vindas do sul, em alguns anos (1999 e 2000) chegando a alcançar as proximidades da ilha de São Sebastião, conforme observado nas imagens de TSM (FIGURAS 5.31 a 5.33), sendo que nesses anos, os valores de Chl na região costeira foram maiores em relação aos outros.

Os anos de menor intrusão de águas frias foram 2005 e 2006 (FIGURA 5.34), sendo que 2005 foi o ano de maior média de TSM (21,8 °C) e 2000 foi o de menor (20,1 °C). Para a Chl, o ano de 2004 foi o que obteve a menor média (0,47 mg.m⁻³) e os anos de 2000, 2002 e 2003 foram os de maior média (0,8 mg.m⁻³), para toda a área de estudo (TABELA C.1 – APÊNDICE C).

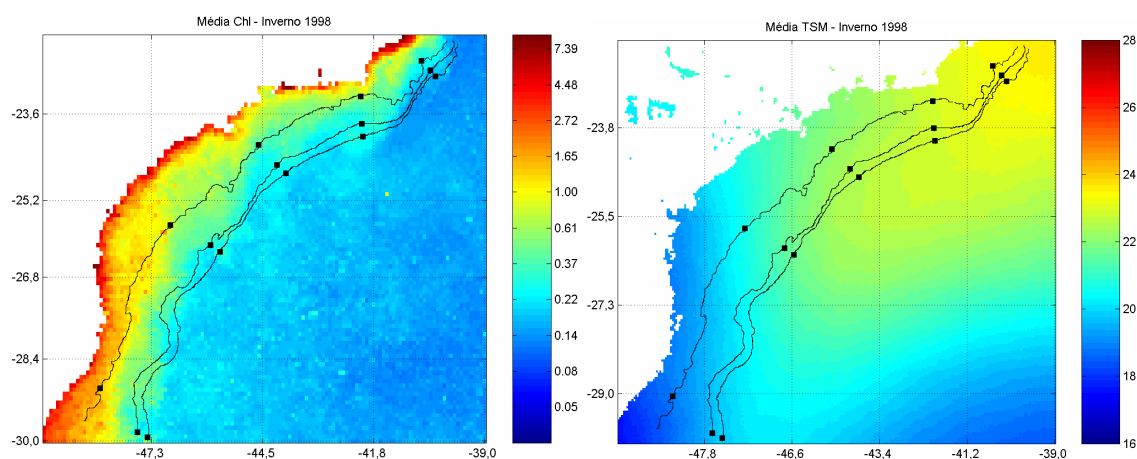


Figura 5.31 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) do inverno de 1998. Valores de Chl em mg.m⁻³ e de TSM em °C.

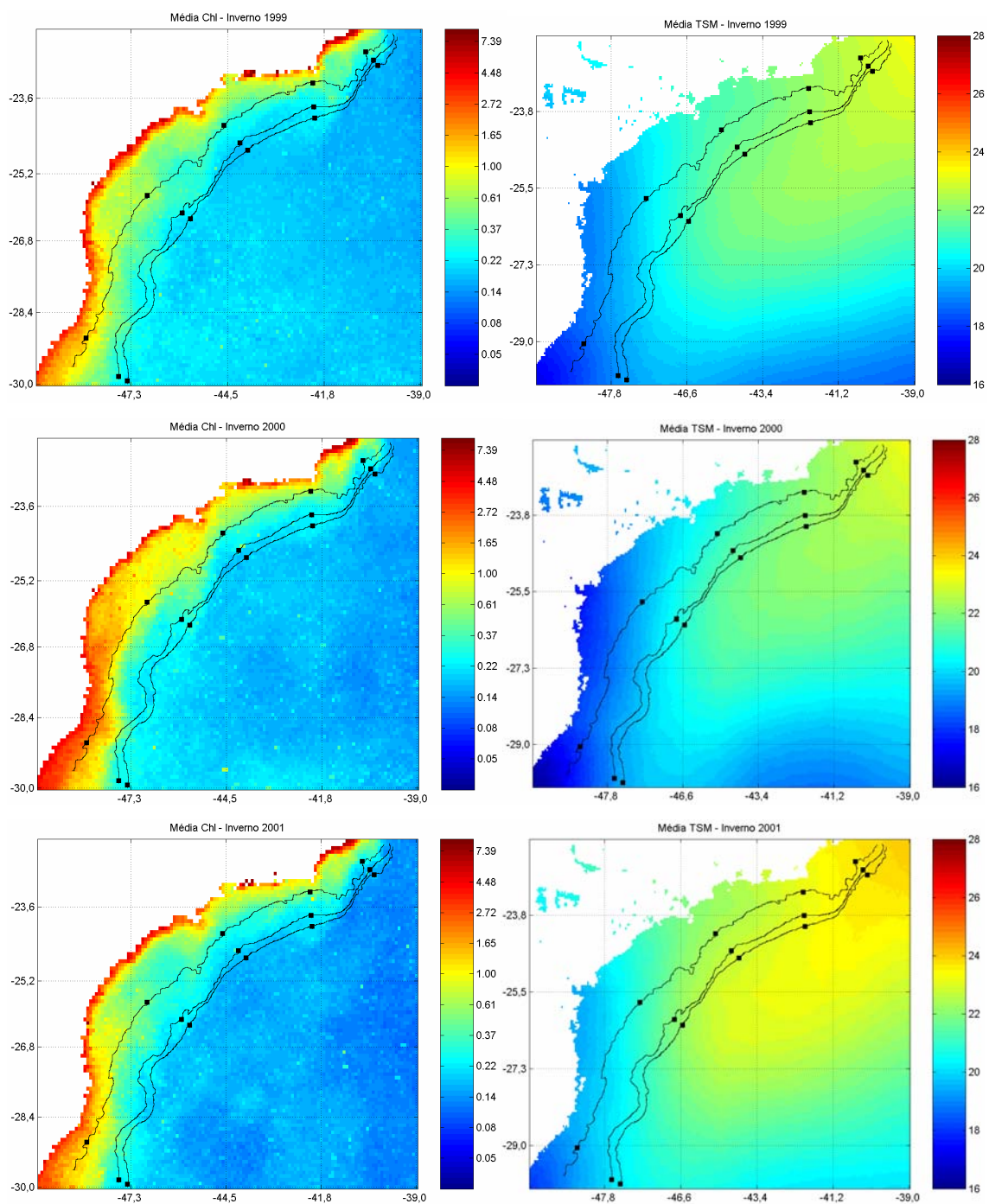


Figura 5.32 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 1999 a 2001. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

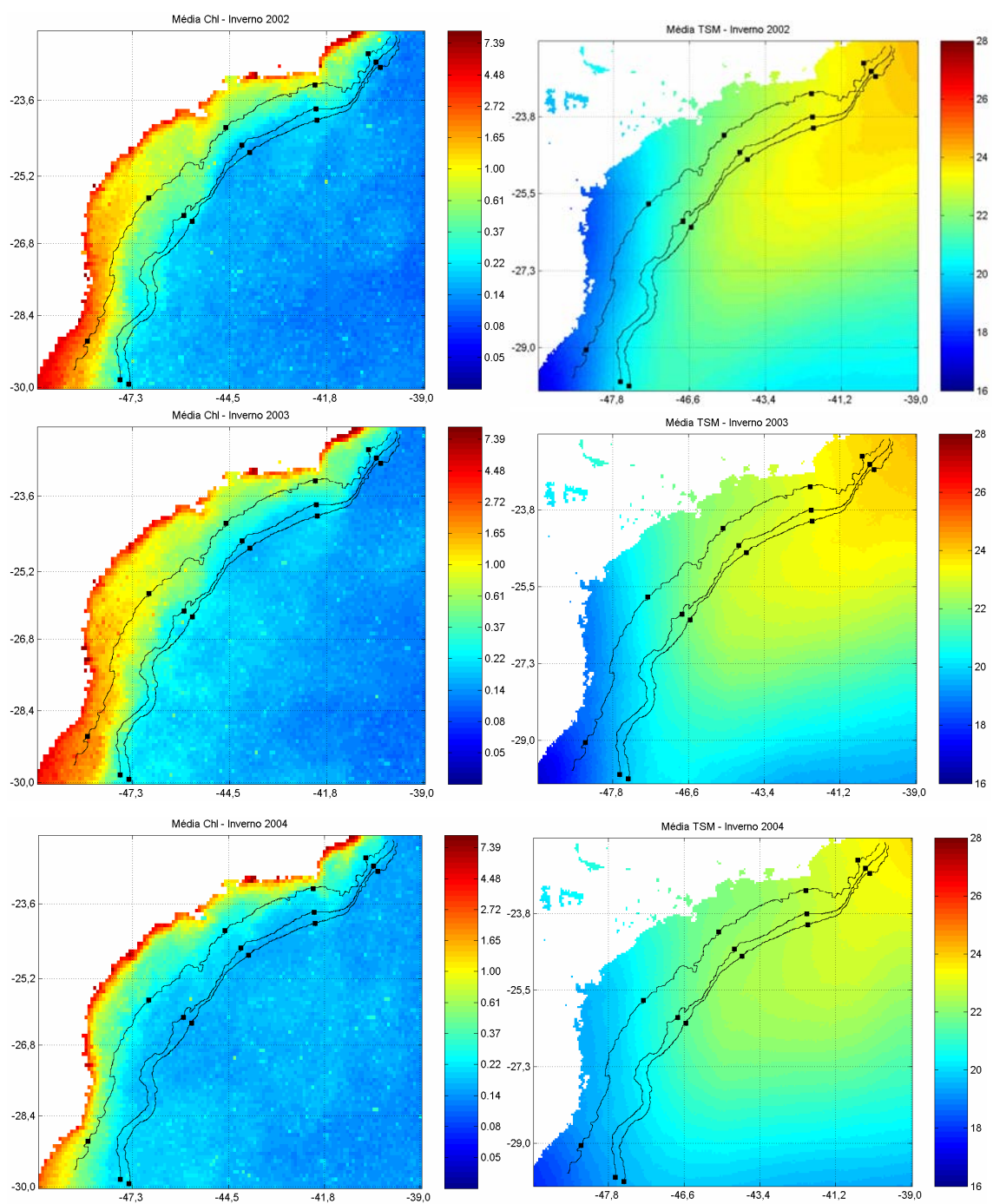


Figura 5.33 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2002 a 2004. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

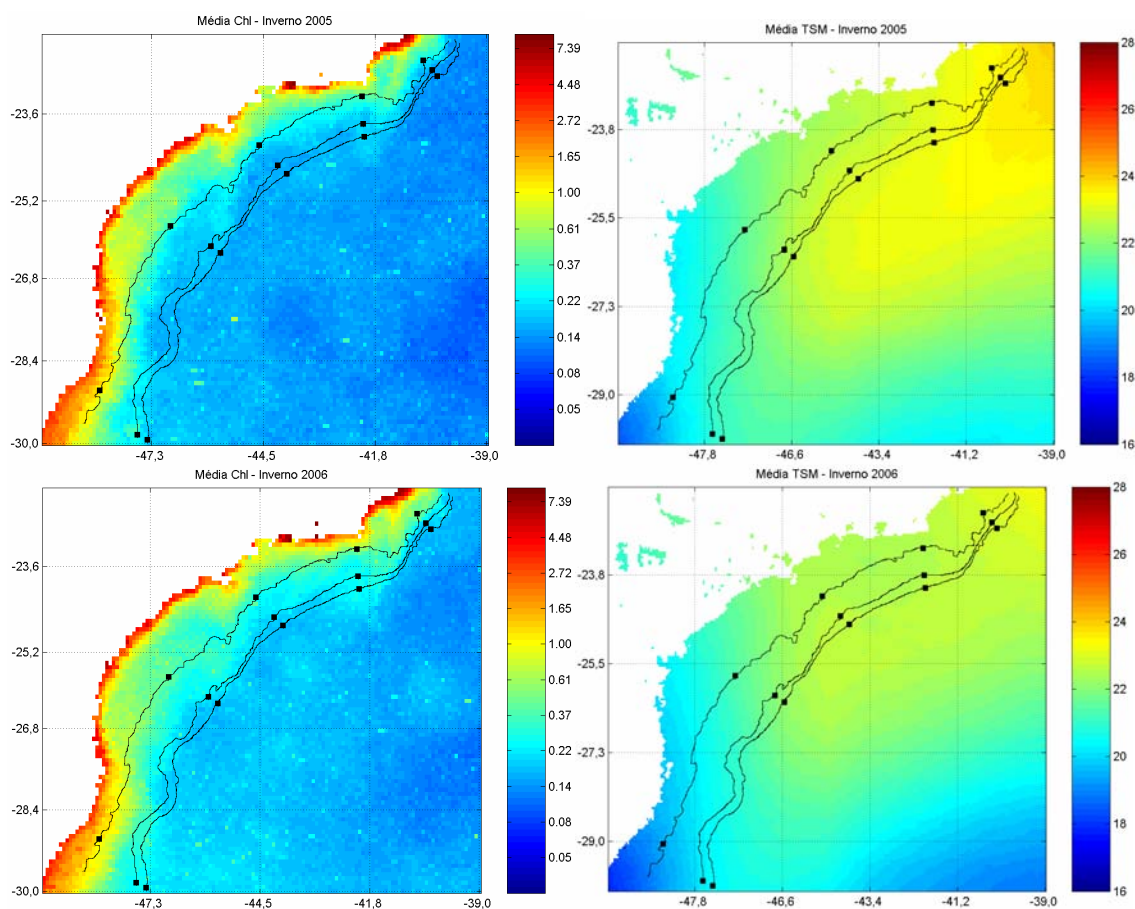


Figura 5.34 - Imagens das médias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2005 e 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

5.7.2 Anomalias das estações do ano

5.7.2.1 Verão

Foi possível observar anomalias positivas de Chl próximas à região costeira de São Tomé, Baía de Guanabara, Ilha de São Sebastião e Cabo de Santa Marta, especialmente nos anos de 2000 e 2001, indicando a presença de plumas com valores mais altos de Chl (anomalias acima de $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$ (FIGURAS 5.35 e 5.36).

Além disso, notou-se, principalmente nos anos de 1999 e 2001, a presença de um núcleo de águas mais quentes (anomalias acima de $0,5^{\circ}\text{C}$) em relação ao seu redor entre a Ilha

Bela, em São Paulo, e Paranaguá, litoral do Paraná, como já observado nas imagens de média do verão.

Pelas imagens das anomalias de TSM, observou-se que o verão do ano de 2001 foi o mais quente (média de anomalias para toda a MCSE acima de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) e o de 2004 foi o mais frio em relação aos verões dos outros anos (média de anomalias para toda a MCSE abaixo de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), considerando toda a região (FIGURAS 5.36 e 5.37), corroborando com os resultados encontrados pelos mapas de média.

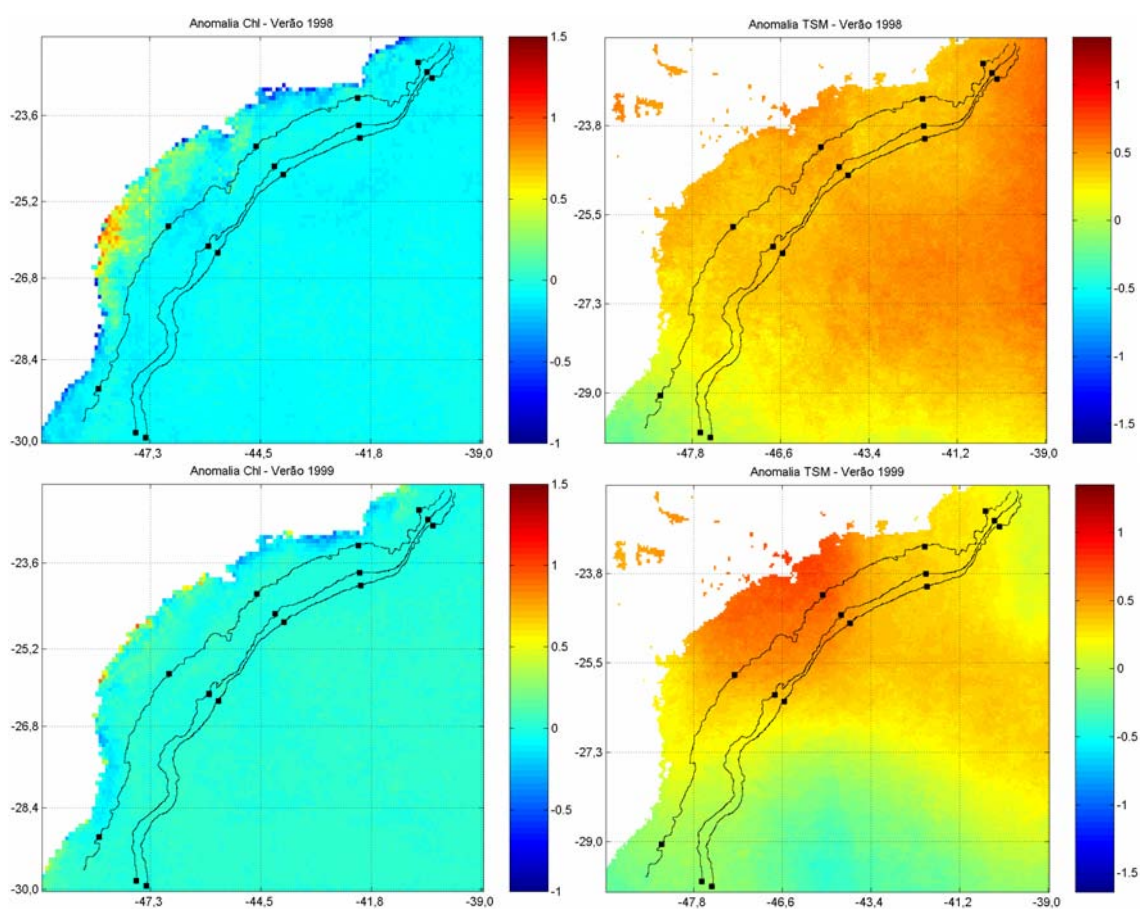


Figura 5.35 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 1998 e 1999. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

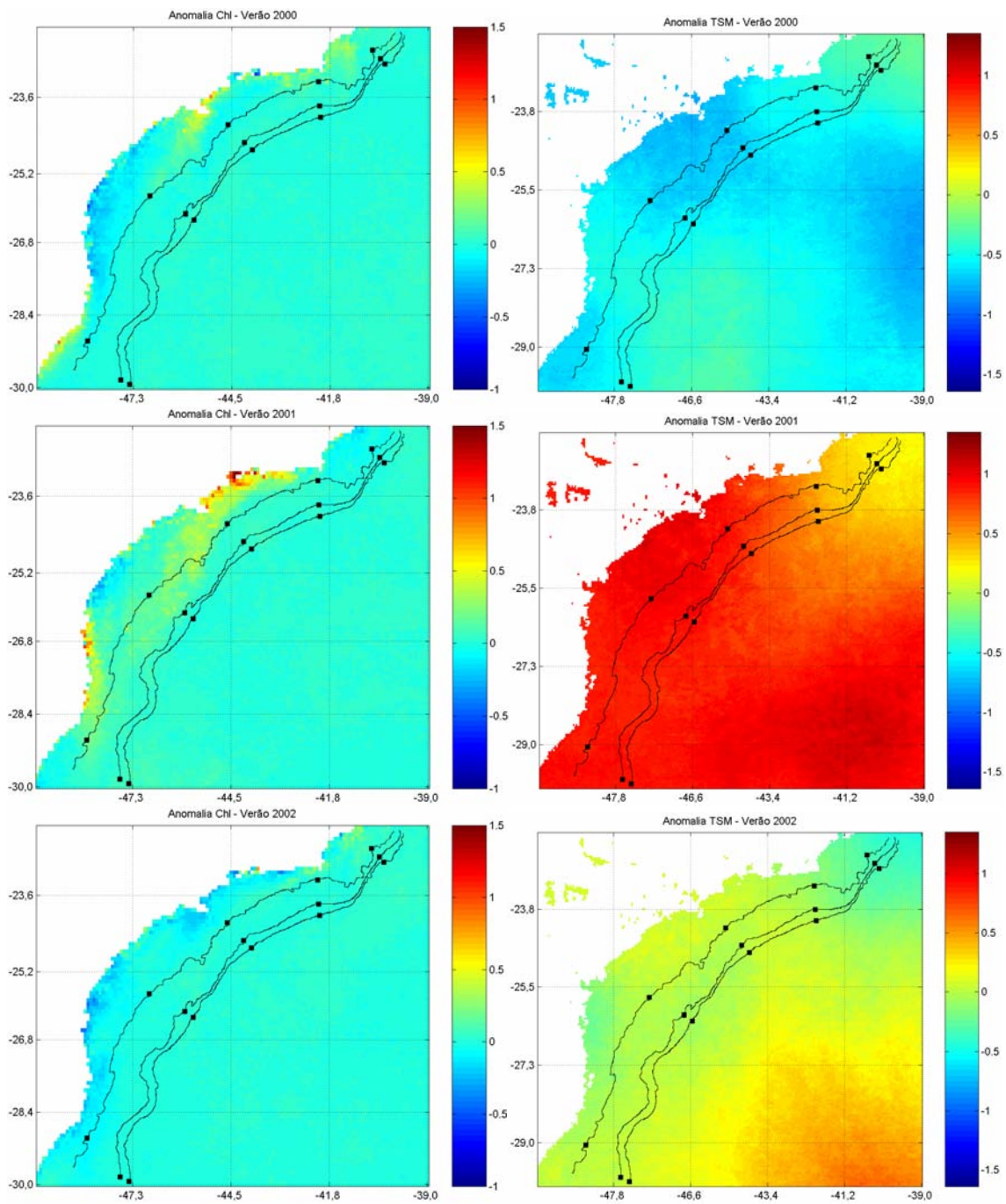


Figura 5.36 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2000 a 2002. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

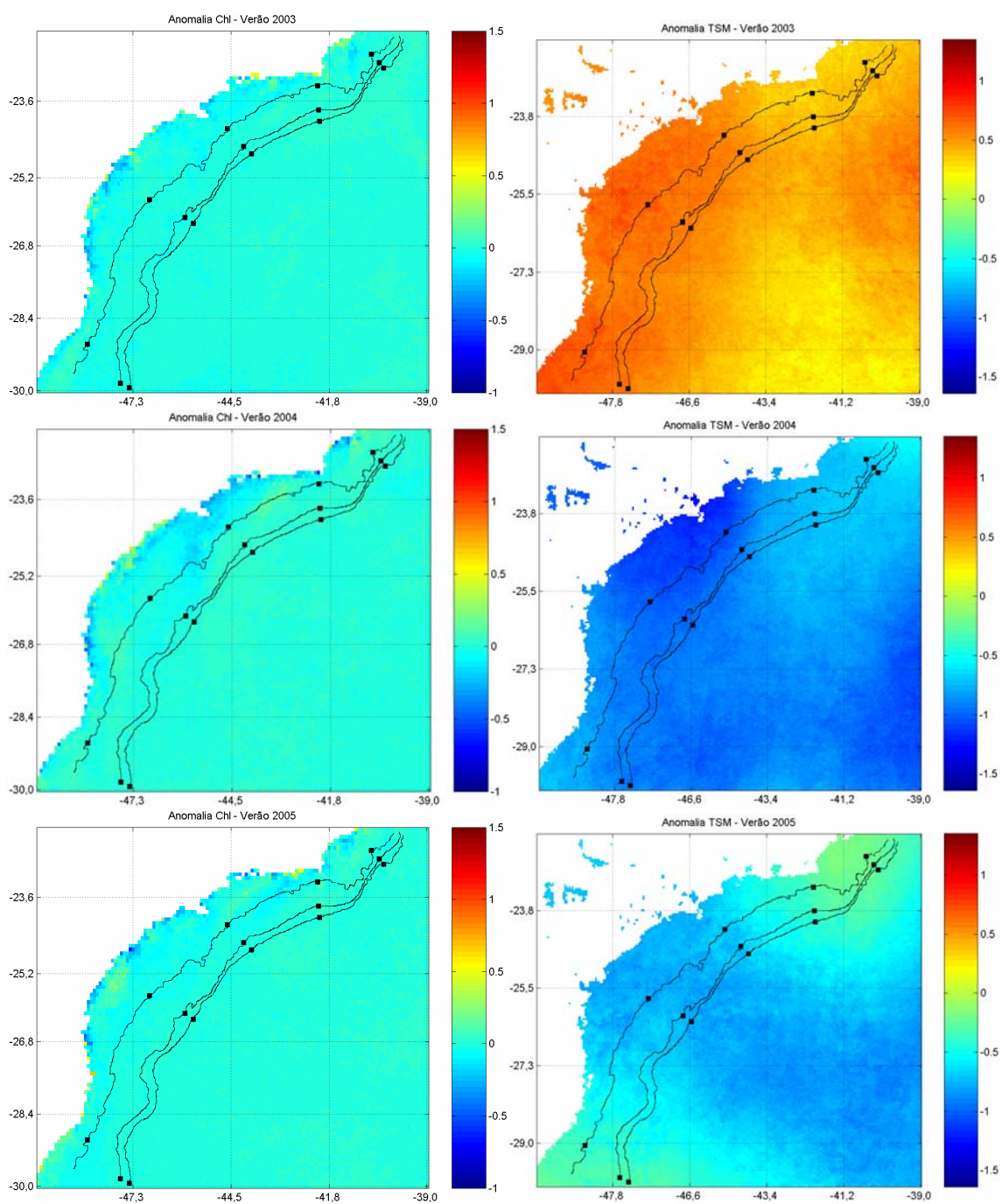


Figura 5.37 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos verões de 2003 a 2005. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

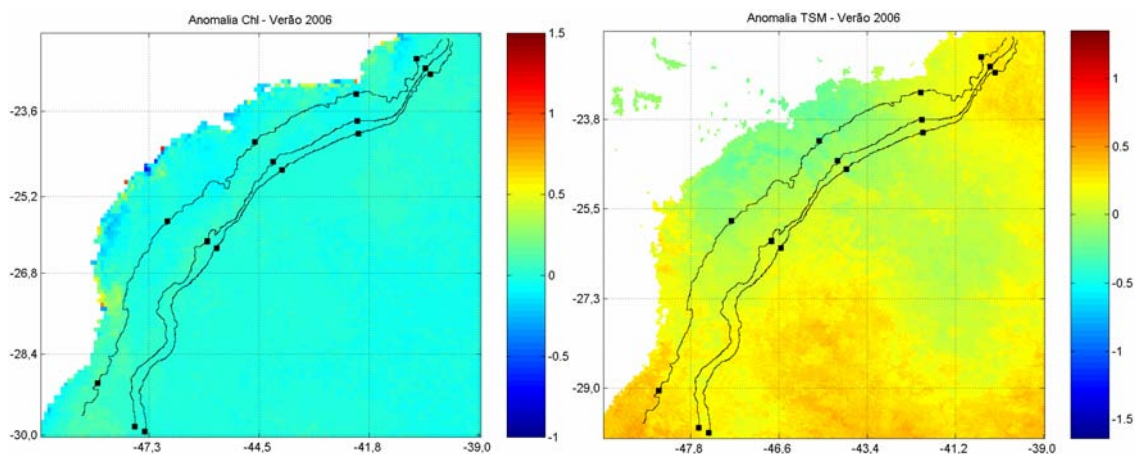


Figura 5.38 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) do verão de 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

5.7.2.2 Inverno

Pelas anomalias de TSM do inverno, observou-se que alguns anos (2000, 2002 e 2003) sofreram maior influência da intrusão de águas mais frias vindas do sul, realçadas pelas anomalias negativas de TSM (FIGURAS 5.39 e 5.40). Por consequência, o aumento das anomalias positivas de Chl na região costeira mais ao sul da MCSE foi muito maior nesses anos em relação aos outros.

Os anos de menor intrusão de águas frias na região costeira mais ao sul da MCSE foram 2005 e 2006, com as anomalias de Chl mais negativas, juntamente com o ano de 2004. Isto também foi observado nas imagens de anomalias da TSM dos invernos de 2005 e 2006 (FIGURA 5.41).

O inverno mais quente considerando toda a área de estudo foi o do ano de 2005, com as maiores anomalias positivas de TSM (com todos os valores acima de 0°C) e o mais frio foi o de 2000 (média de anomalias para toda a MCSE em torno de -1°C) (FIGURAS 5.39 e 5.41).

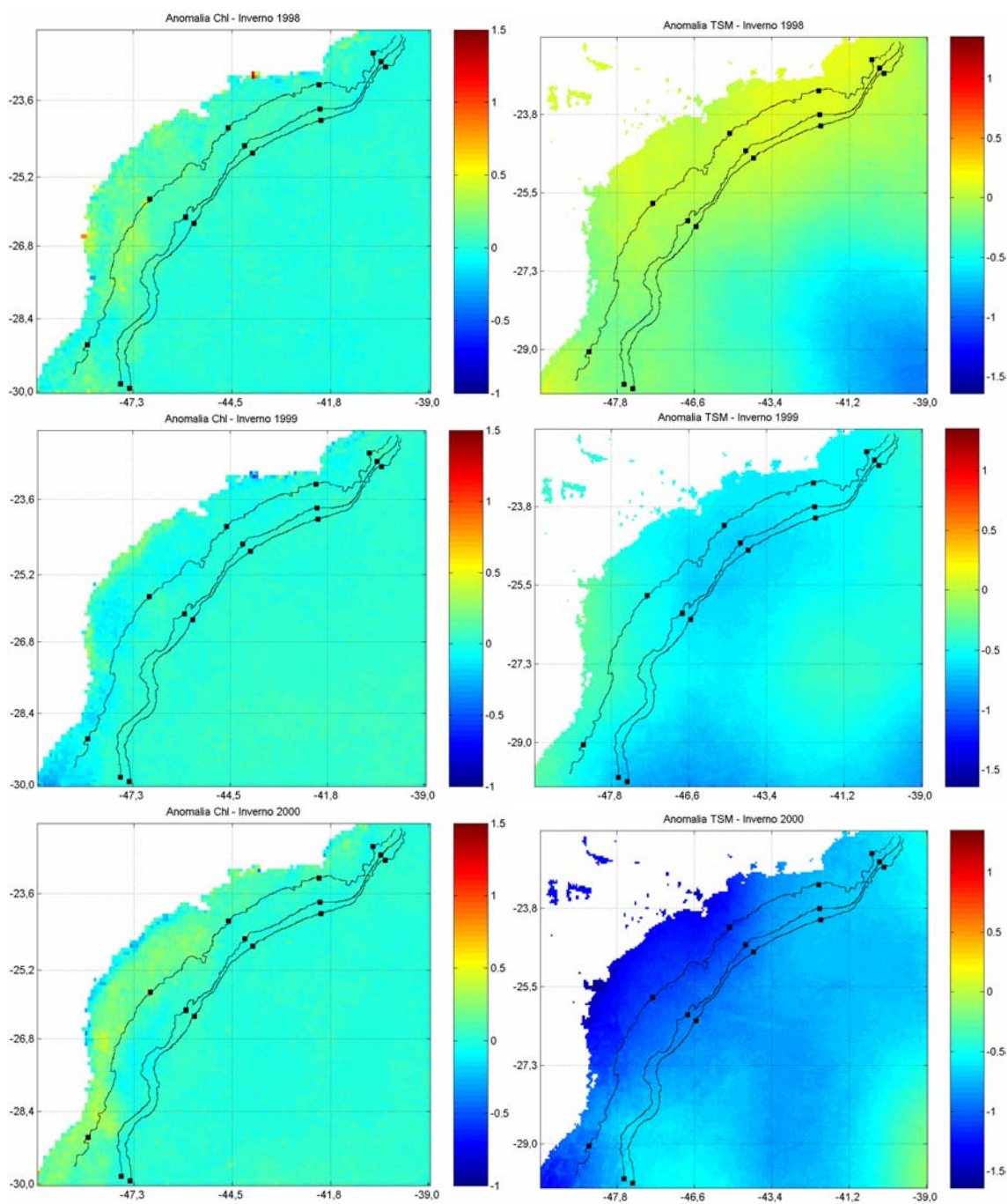


Figura 5.39 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 1998 a 2000. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

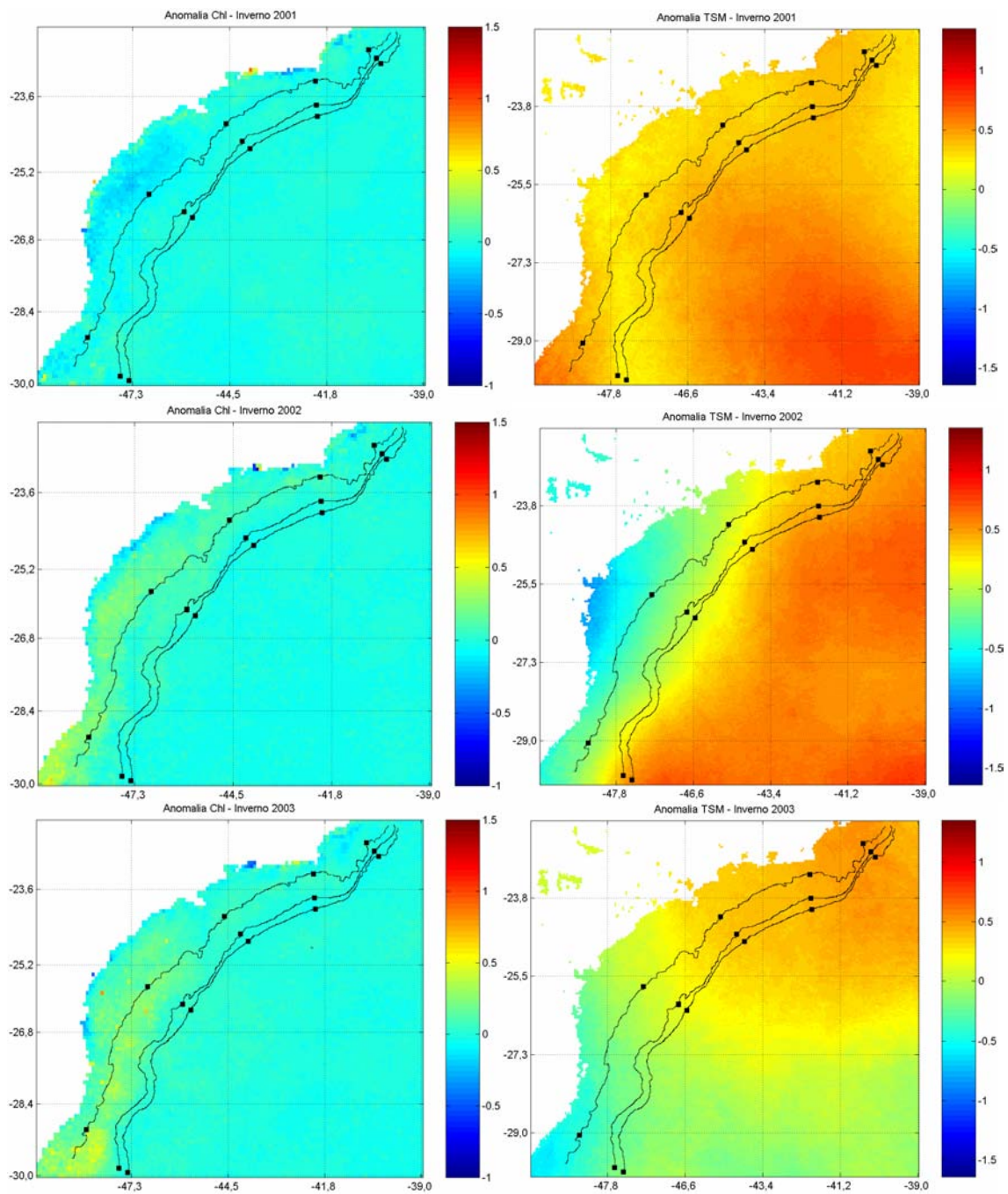


Figura 5.40 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2001 a 2003. Valores de Chl em $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

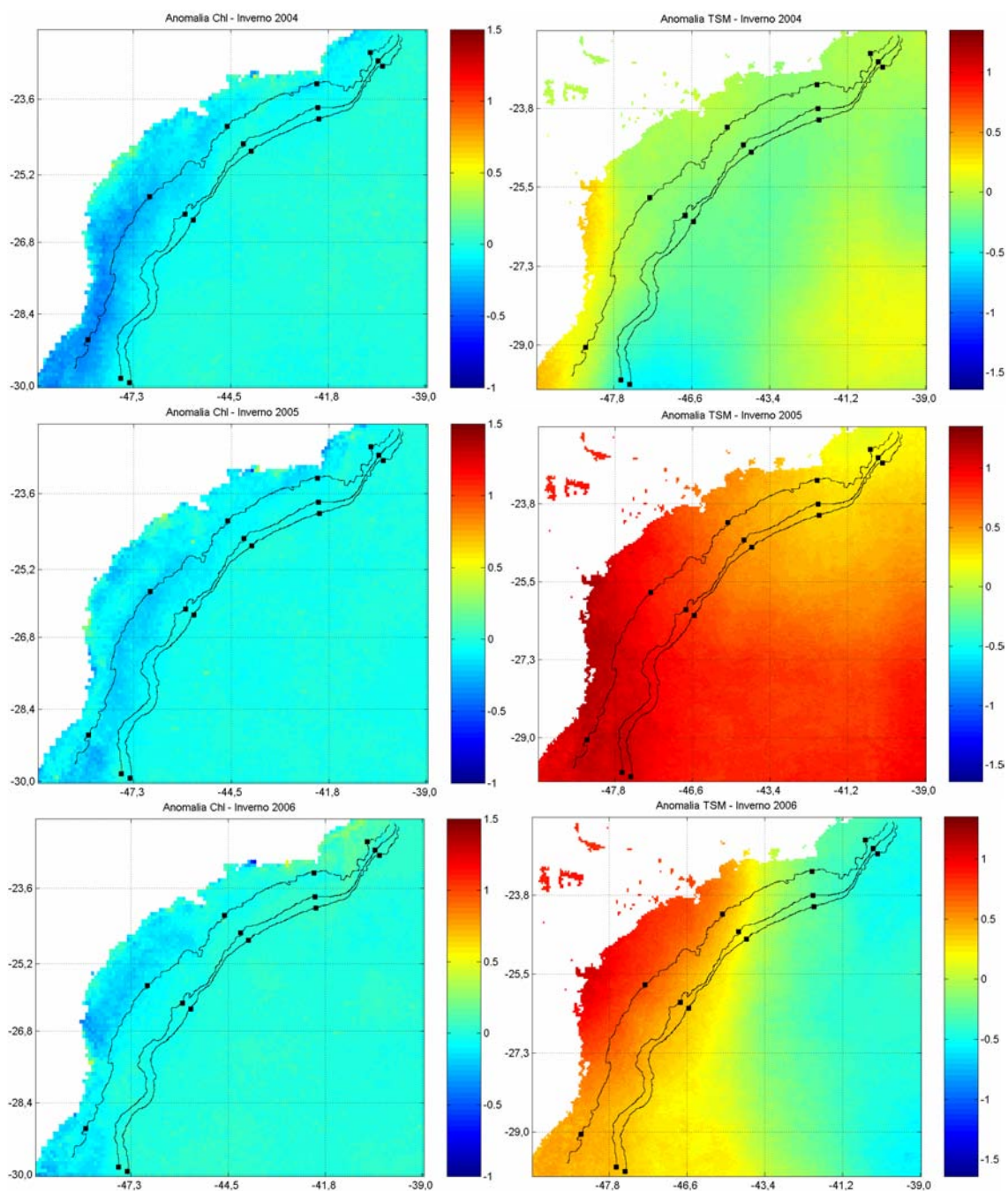


Figura 5.41 - Imagens das anomalias de Chl (esquerda) e TSM (direita) dos invernos de 2004 a 2006. Valores de Chl em mg.m^{-3} e de TSM em $^{\circ}\text{C}$.

6 DISCUSSÃO

De uma maneira geral, o ciclo anual dos parâmetros, especialmente da TSM, foi muito evidente em todas as análises ao longo da série de 9 anos de dados semanais.

Os valores da Chl foram maiores no inverno, em conformidade com estudos realizados por Brandini (1990), Aidar *et al.* (1993), Kampel (2003), entre outros autores. Particularmente, foram maiores na isóbata de 100 metros em todos os pontos de estudo. Isto poderia ser devido a uma maior proximidade com a linha de costa, com a influência do aporte continental, mesmo que a acurácia na determinação da Chl em regiões muito próximas à costa possa ser comprometida pelo efeito da presença de maior concentração de sedimentos e matéria orgânica de origem continental. Entretanto, como ocorre em todos os pontos, mesmo em regiões praticamente com pouca influência da descarga de grandes ou médios rios, podemos assumir que esta causa é improvável. Talvez mais significativo seja o fato de que a região mais rasa esteja mais sujeita aos processos dinâmicos de plataforma continental (MANN; LAZIER, 2006), tais como ressurgência costeira, correntes de maré e a forte resposta a passagens de frentes frias. O aumento dos ventos, particularmente no inverno, tende a produzir maior turbulência nessas áreas mais rasas, trazendo nutrientes de fundo para a zona eufótica.

No verão, os valores de Chl são menores em relação às outras estações, porém, especialmente no ponto CF0100 em Cabo Frio, notou-se a ocorrência de alguns picos, observados nas médias climatológicas (FIGURA 5.1), nas séries temporais (FIGURA 5.3) e no diagrama Hovmoller (FIGURA 5.24). Observou-se também a presença de um núcleo de águas mais frias em relação ao seu redor nas proximidades de Cabo Frio e Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, em alguns anos (2000 e 2004) alcançando Ubatuba, no litoral de São Paulo. Provavelmente isso é um indicativo do fenômeno de ressurgência, apesar das temperaturas não terem sido muito baixas, uma vez que as imagens trabalhadas são de médias semanais e a ressurgência possui escala temporal de dias. Essa é uma região preferencial para a ressurgência costeira, pois ali os ventos, principalmente no verão, são favoráveis à ocorrência desse evento e, além disso, a

plataforma continental é estreita, fazendo com que a CB e a ACAS fiquem próximas à costa, podendo ressurgir, atingindo muitas vezes a parte mais interna da plataforma continental (LORENZZETTI; GAETA, 1996).

Imagens de sensoriamento remoto de alta resolução do sensor AVHRR, durante os meses de verão e de outono de 1992, mostraram a ocorrência de núcleos e extensas plumas de águas frias, com escala temporal mínima de 10 dias. Essas plumas, cuja geração foi atribuída à influência da ressurgência costeira, estavam correlacionadas à ocorrência de concentrações de propriedades biológicas relativamente altas (LORENZZETTI; GAETA, 1996). Tal fato confirma que a ressurgência da ACAS na primavera e verão é um agente importante para condicionar características físico-químicas e biológicas dos ecossistemas costeiros, podendo atingir até cerca de 400 km de distância de sua área principal de ressurgência nas proximidades de Cabo Frio (SILVA Jr. *et al.*, 1997).

Nos mapas de Chl do verão, tanto das médias quanto das anomalias (FIGURAS 5.28 a 5.30 e 5.35 a 5.38), observou-se em alguns anos a existência de plumas de maior valor de Chl, próximas ao Cabo de São Tomé, ao Cabo Frio, à Baía de Guanabara, Ilha de São Sebastião e ao Cabo de Santa Marta, indicando possíveis áreas de ressurgências, já reportadas na literatura (KAMPEL *et al.*, 1997).

Os valores de TSM nas isóbatas de cada local foram muito próximos, entretanto em Cananéia e Santa Marta observou-se que os valores da isóbata de 100 metros foram ligeiramente maiores no verão e menores no inverno em relação aos valores das isóbatas de 500 e 1000 metros. Conforme já observado no digrama Hovmoller (FIGURA 5.26) e nas imagens de inverno (FIGURAS 5.31 a 5.34), o fato desses valores serem menores no inverno se dá devido à entrada de águas mais frias nos períodos de inverno na região mais ao sul da MCSE, afetando principalmente os pontos SM0100 e CA0100, que estão mais próximos da costa.

Em relação às estações verão e inverno, foi observado que as variações de TSM entre norte e sul do domínio foram maiores no inverno ($\sim 4\text{-}5^\circ\text{C}$) em relação ao verão (entre $\sim 1\text{-}2^\circ\text{C}$). Isto muito provavelmente se deve ao fato de que a TSM durante o verão é governada pelo balanço do fluxo de calor na superfície, que é um processo em larga escala. No inverno, a TSM da região sul da MCSE, além de sofrer os efeitos do balanço do fluxo de calor na superfície, é também afetada pela advecção horizontal das águas frias vinda do sul, fazendo com que as diferenças na TSM entre as regiões sul e norte da área de estudo aumentem (FIGURA 5.26).

Pela análise de correlação cruzada os maiores valores do coeficiente entre as séries de Chl nos diferentes pontos de estudo foram relativamente baixos (entre 0,31 e 0,72), porém estatisticamente significativos (FIGURAS 5.17 a 5.19). O valor mais baixo de correlação foi encontrado entre Santa Marta x Cabo Frio, muito provavelmente devido à freqüente ocorrência de picos de Chl que aparecem nos períodos de primavera e verão produzidos pela ressurgência costeira. Não houve defasagem entre as séries sobre a isóbata de 100 metros, sugerindo que as variações na Chl ocorrem simultaneamente em todos os pontos mais próximas à costa.

Para as séries de TSM, na correlação cruzada foi possível observar que o maior coeficiente de correlação foi 0,98 e o menor de 0,93, evidenciando uma alta correlação entre os valores de TSM para todos os pontos de estudo. Não houve defasagem entre as séries de Santa Marta e Cananéia e, a maior defasagem ocorreu no $lag=3$, entre as séries de Santa Marta x São Tomé. Isto indica que variações nas TSMs em São Tomé ocorrem aproximadamente 24 dias depois de Santa Marta e Cananéia.

As correlações entre as séries de Chl e TSM nos diferentes pontos (FIGURAS 5.21 a 5.23) indicaram uma relação inversa entre os parâmetros Chl e TSM, ou seja, quando um atinge os maiores valores, o outro alcança os menores. Este resultado está em conformidade com o que foi observado nas análises realizadas, com os maiores valores de Chl ocorrendo no inverno, quando as TSMs são mais baixas, e os menores valores de Chl ocorrendo no verão, quando a TSM está com valores máximos. O maior coeficiente

de correlação encontrado entre as séries de Chl e TSM ocorreu no ponto em Santa Marta sobre a isóbata de 100 m (-0,65). Enquanto para a porção sul da MCSE as variações de Chl e TSM se deram em anti-fase com *lag*=zero, para a parte norte, as variações entre esses parâmetros ocorreram com um *lag* de até 3, ou seja, 24 dias. Isto indicou que os processos que relacionam a Chl com a TSM são diferentes em ambas as partes da área de estudo. No sul, o aumento da Chl e diminuição da TSM parece ser dominado pela intrusão lateral de águas subantárticas frias e ricas em nutrientes durante o inverno. No norte, há a superposição de picos de Chl nos períodos de primavera e verão relacionados à ressurgência costeira induzida pelos ventos, quando a TSM diminui devido à penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em direção à costa, além de ressurgências de borda de plataforma induzida por vórtices da CB que contribuem para o crescimento fitoplanctônico nos períodos de inverno no meio da plataforma externa.

Pelo diagrama Hovmoller da Chl (FIGURA 5.24), foram observadas duas províncias com valores mais altos de Chl, ao sul (em torno de 28° S) e ao norte (em torno de 23° 30'S). Seria plausível em primeira análise se atribuir esses dois máximos a dois dos principais processos de enriquecimento fitoplanctônico conhecidos na região, isto é, a intrusão de águas frias de sul e processos de ressurgência costeira. Entretanto, os máximos observados por satélite nessas duas regiões ocorrem em sincronia e no período de inverno, quando o processo de ressurgência de Cabo Frio passa por um mínimo. Gaeta e Brandini (2006) numa revisão sobre a produtividade primária fitoplanctônica entre São Tomé e Chuí, indicam alguns processos possíveis de disponibilização de nutrientes na zona eufótica com impacto sobre a biomassa fitoplanctônica, sendo que os processos que ocorrem no inverno e poderiam ocasionar esses maiores valores seriam a intrusão lateral de águas de origem subantártica impulsionadas por ventos do quadrante S/SO e os vórtices ciclônicos indutores de ressurgência de borda da plataforma, com concentração na época de inverno, como indicado por Kampel *et al.* (2000). Outra possibilidade seria de que no inverno a termoclina aumenta de profundidade, fazendo com que os nutrientes do fundo sejam disponibilizados para as camadas superiores,

onde se encontra o fitoplâncton, aumentando a produtividade da região (KAMPEL, 2003).

Na análise da TO dos espectros de Chl foram encontrados alguns sinais com maior energia nos diferentes pontos (2,4 anos, 1,3 anos e 0,9 anos), sendo que o que apareceu com maior frequência (em 12 dos 15 espectros) foi o de 2,4 anos (FIGURAS 5.6 a 5.10). O mesmo ocorreu para a TSM, com as maiores amplitudes ocorrendo no período de 2,4 anos, com exceção somente para os pontos em Santa Marta, onde o sinal de maior energia ocorreu em 0,8 anos (FIGURAS 5.11 a 5.15). Reboita (2004) aplicou a TO em dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) no período de janeiro de 1982 a abril de 2003, e detectou cinco oscilações (2,6 e 8 meses e 2,3, 3,5 e 5,3 anos) sendo que uma delas com período correspondente a 2,3 anos. Além disso, pela FFT dos dados de IOS (FIGURA 5.23), foram encontrados três períodos de maior energia (0,7, 1,2 e 2,3 anos), sendo que o pico de maior energia foi no período de 2,3 anos, muito próximo do principal período encontrado pelos parâmetros, sugerindo uma correlação com o ENOS.

Campos *et al.* (1999) encontraram períodos de 0,7 anos e 1,5 anos nos dados do IOS, sendo esses valores próximos aos outros períodos encontrados na análise de FFT dos dados de IOS para o período estudado (0,7 e 1,2 anos). Comparando-os com os outros períodos encontrados nos espectros de Chl e TSM, é reforçada a possível correlação com o fenômeno *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS).

Pelos resultados da ATSM no diagrama Hovmoller (FIGURA 5.27), notou-se que os invernos de 1999 e 2000 e os verões de 2000, 2004 e 2005 apresentaram anomalias negativas. Por outro lado, os verões de 2001 e 2003 e o inverno de 2005 apresentaram anomalias muito positivas. Algumas dessas anomalias poderiam estar associadas ao ENOS. Pela Figura A.1 (APÊNDICE A) do IOS, notou-se uma relação entre:

- Os invernos de 1999 e 2000 e o verão de 2000, que apresentaram anomalias muito negativas de TSM, com o fenômeno *La Niña*;
- O verão de 2003, que apresentou anomalias muito positivas de TSM, com o *El Niño*.

Pelos resultados da AChl no diagrama Hovmoller (FIGURA 5.25), foi observado que os invernos de 1998, 1999, 2000 e 2003 e os verões de 1998, 1999, 2001 e 2006 obtiveram anomalias positivas. Já os invernos de 2004 e 2005 e os verões de 2000, 2002 e 2005 apresentaram anomalias muito negativas. Eles se relacionaram com o ENOS da seguinte forma:

- Os invernos de 1998 e 1999 e os verões de 1999 e 2001, que apresentaram anomalias positivas de Chl, com o fenômeno *La Niña*;
- O inverno de 2004 e o verão de 2005, que apresentaram anomalias muito negativas de Chl, com a ocorrência de *El Niño*.

Foi possível observar em alguns anos a presença de um núcleo de águas mais quentes em relação ao seu redor entre a Ilha de São Sebastião, em São Paulo, e Paranaguá, litoral do Paraná. Esse núcleo pode estar associado a menor penetração da ACAS em direção à costa, também caracterizada pela menor interação entre essa massa de água e a AC (CASTRO, 1996), tornando as temperaturas nessa região mais quentes em relação às outras. Outra possibilidade para essa anomalia positiva de temperatura poderia ser a ocorrência de ventos muito fracos associados a pouca cobertura de nuvens nesta região durante esses anos, o que resultaria durante o período diurno em forte aquecimento da camada superficial. Infelizmente, não foi possível se obter dados de vento e cobertura de nuvens a tempo para análise nesse documento.

Esses núcleos de águas mais quentes também foram observados nos mapas das anomalias de TSM do verão (FIGURAS 5.35 a 5.38). Quando esses mesmos núcleos eram presentes, nos mapas das anomalias de Chl para a mesma região, foram observadas anomalias negativas, sugerindo que as temperaturas mais altas não favoreceram o crescimento do fitoplâncton e/ou com a menor penetração da ACAS a quantidade de nutrientes disponíveis foi reduzida e, por isso a menor Chl em relação aos outros anos.

Na sua grande maioria, anomalias negativas de Chl foram associadas a anomalias positivas de TSM na região costeira da área de estudo e vice-versa. Estes resultados

estão de acordo com aqueles apresentados por Kampel (2003) para a porção norte da PCSE (entre o Cabo de São Tomé - RJ e a Ilha de São Sebastião - SP), isto é, os processos que contribuem para o crescimento fitoplanctônico, nesse caso, indexado pela Chl, também aparecem como anomalias negativas de temperatura.

Especialmente em Cananéia e Santa Marta, os anos de 2004 e 2005 apresentaram valores de Chl bem menores no inverno em relação aos invernos dos outros anos, devido provavelmente a menor intrusão de águas mais frias observadas nas imagens de TSM. O inverso pode ser observado para os anos de 2000 e 2003 nesses dois lugares, também observado nas séries temporais (FIGURAS 5.3), no diagrama Hovmoller (5.23) e nos mapas de inverno da Chl (FIGURAS 5.31 a 5.34 e 5.39 a 5.41).

Pelas imagens de anomalia do inverno, observou-se que os anos de 1999 e 2000 foram os mais frios, especialmente o ano de 2000, em conformidade com as análises das séries temporais da TSM (FIGURA 5.4), do diagrama Hovmoller (FIGURA 5.26) e da média das imagens (TABELA C.1 – APÊNDICE C), com temperaturas entre ~18 e 19°C atingindo latitudes mais baixas da MCSE, próximas a 23°S. Observando-se os dados de IOS (FIGURA A.1 – ANEXO A), vê-se que esses foram anos de *La Niña*.

Observando as imagens das anomalias de TSM de verão e inverno (FIGURAS 5.35 a 5.41), foi possível definir os anos mais quentes e o mais frios, de acordo com as estações:

- o verão do ano de 2001 foi o mais quente (ocorrência de *El Niño*) e o de 2004 foi o mais frio (transição de *La Niña* para *El Niño*) em relação aos verões dos outros anos;
- o inverno mais quente foi o do ano de 2005 (ocorrência de *El Niño*) e o mais frio foi o de 2000 (ocorrência de *La Niña*) em relação aos invernos dos outros anos.

Pelas imagens de média do verão e inverno da Chl (FIGURAS 5.28 a 5.34), notou-se que no verão, os maiores valores ficaram concentrados antes da isóbata de 100 metros e, no inverno, estes valores, além de serem mais altos, alcançaram a isóbata de 1000 metros. Conforme observado nos mapas de inverno, isto se deve provavelmente a

intrusão das águas subantárticas mais frias e ricas em nutrientes durante os períodos de inverno (GAETA; BRANDINI, 2006), aumentando a distribuição da Chl para regiões fora da plataforma, principalmente na região ao sul da MCSE.

7 CONCLUSÕES

Dados da concentração de clorofila-*a* (Chl) e temperatura da superfície do mar (TSM) para a Margem Continental Sudeste Brasileira (MCSE), gerados a partir dos sensores orbitais SeaWiFS e AVHRR, respectivamente, referentes ao período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006, foram analisados para se avaliar as principais variabilidades espaciais e temporais presentes. Com base nos resultados obtidos, algumas conclusões foram destacadas:

- O sinal dominante nas séries de TSM e Chl foi o ciclo anual;
- Removendo-se o sinal anual, as análises mostraram que o principal período de variabilidade interanual detectado para as séries dos parâmetros nos 15 pontos estudados, correspondeu a 110 semanas (2,4 anos). Período muito semelhante também foi encontrado nos dados do IOS (2,3 anos), indicando uma correlação com o fenômeno ENOS. Esta correlação também foi sugerida numa análise visual das séries, pois alguns períodos com anomalias muito negativas ou positivas na TSM, tais como os invernos de 1999 e 2000 e o verão de 2003, foram coincidentes com a ocorrência dos fenômenos *La Niña* e *El Niño*, respectivamente. Da mesma forma, alguns períodos de anomalias positivas ou negativas na Chl, tais como os invernos de 1998 e 1999 e o verão de 2005, estavam relacionados com a ocorrência dos fenômenos *La Niña* e *El Niño*, respectivamente;
- As maiores concentrações de Chl ocorreram no inverno, principalmente na isóbata de 100 metros, e podem estar associadas a processos como a intrusão lateral de águas frias vindas do sul de origem subantártica e vórtices ciclônicos indutores de ressurgência de borda da plataforma, com concentração na época de inverno. Outra possível explicação seria de que no inverno a termoclina aumenta de profundidade, fazendo com que os nutrientes da região mais profunda sejam disponibilizados para as regiões mais superficiais, aumentando a biomassa fitoplanctônica;
- Como consequência dos máximos de Chl ocorrerem no inverno, a correlação entre as séries temporais de Chl e TSM nos pontos estudados foi negativa. Enquanto para a porção sul da MCSE as variações de Chl e TSM se deram em anti-fase, com *lag*=zero, para a parte norte a as variações entre esses parâmetros ocorreram com um *lag* de até 3,

ou seja, 24 dias. Isto indica que os processos que relacionam a Chl com a TSM são diferentes em ambas as partes da área de estudo, sendo Ubatuba a linha divisória entre esses dois domínios. No sul, o aumento da Chl parece ser dominado pela intrusão lateral de águas subantárticas frias e ricas em nutrientes durante o inverno. No norte, há a superposição de picos de Chl nos períodos de primavera e verão relacionados a ressurgência costeira induzida pelos ventos, quando a TSM diminui devido à penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) em direção à costa, além de ressurgências de borda de plataforma induzida por vórtices da CB que contribuem para o crescimento fitoplanctônico nos períodos de inverno no meio da plataforma externa. Deve ser determinado, através de estudos adicionais, se esses processos requerem um tempo para fazerem efeito compatível com o de até 24 dias encontrado pelas análises de correlação cruzada, para a melhor compreensão e caracterização dos mesmos;

- No verão, apesar dos valores de Chl serem menores em relação às outras estações do ano, houve alguns picos principalmente em Cabo Frio, associados a ressurgência costeira, visto que nessa região os ventos no verão, são favoráveis à ocorrência desse evento além da plataforma continental ser mais estreita, fazendo com que a CB e a ACAS fiquem próximas à costa;

- As variações temporais da TSM ocorreram de sul para norte do domínio, primeiramente em Santa Marta e Cananéia e, em até 24 dias depois, em São Tomé;

- As TSMs no verão foram dominadas pelo balanço do fluxo de calor na superfície e, no inverno, para a região sul, juntou-se a esse efeito o processo de advecção horizontal das águas frias vindas do sul, fazendo com que a diferença de TSM entre as regiões sul e norte fosse de $\sim 5^{\circ}\text{C}$;

- Os diagramas Hovmoller se mostraram de grande utilidade na interpretação dos dados, evidenciando o ciclo anual dos parâmetros, a maior ou menor intrusão das águas frias no inverno, a maior Chl no inverno, maiores valores de Chl nas latitudes de Santa Marta e Cabo Frio, picos de Chl no verão em Cabo Frio, anomalias positivas e negativas, diferenças de TSM entre sul e norte, entre outros.

Como um desdobramento do presente trabalho, seria interessante a análise das séries temporais de Chl e TSM em conjunto com as respectivas séries de vento (ou tensão de

cisalhamento do vento, bombeamento de Ekman, etc.), de radiação solar, cobertura de nuvens e precipitação pluviométrica com vistas a um melhor entendimento do papel dessas forçantes sobre as variações de Chl observadas na região de estudo.

É recomendado também o monitoramento contínuo da MCSE por meio de telemetria por satélites, utilizando bóias ancoradas nos pontos estudados. Entre as vantagens dessa tecnologia está o grande número de parâmetros físico-químicos coletados, a alta resolução temporal desses dados e a capacidade de prover informações em diferentes camadas da coluna da água. Esta é uma limitação dos dados de Chl e TSM utilizados neste trabalho, pois os mesmos se referem à camada superficial do oceano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ANCIETA, F. The importance of coastal upwelling research for Peru. In: Richards, F.A.(ed.). **Coastal upwelling**. New York: AGU, p. 4-5, 1981.

ARAUJO, C. E. S.; LORENZZETTI, J. A. Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélite para a região Sul-Sudeste da costa brasileira. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p. 769-782. CD-ROM. ISBN 85-17-00015-3. (INPE-6905-PRE/2928). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.17.02>>. Acesso em: 22 jan. 2008.

BARBOSA, E. B. M. **Estudos da variabilidade de séries temporais ambientais através de espectros de assimetria implementados em software científico livre**. 2006-05-26. 107 p. (INPE-14670-TDI/1223). Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.03.14.12>>. Acesso em: 26 jan. 2008.

BARTON, I.J. Satellite-derived sea surface temperature-current status. **Journal of Geophysical Research**, v.15, p.8777-8790. 1995.

BOURKE, P.1996. **Cross correlation**. Disponível em: <<http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/other/correlate/>>. Acesso em: 12 dez. 2007.

BRAGA, E. S.; NIENCHESKI, L. F. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D B.; Madureira, L. S-P. (Orgs.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e talude da Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, p. 472. 2006.

BRANDINI, F. P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/ March 1984). **Hidrobiologia**, v. 196, p.111-148. 1990.

CAMPOS, E. D. **Estudo da circulação oceânica no Atlântico tropical e na região oeste do Atlântico subtropical sul**. Tese (livre docência) USP, Instituto oceanográfico, São Paulo, pp. 114. 1995.

CAMPOS, E.J.D.; LORENZZETTI, J.A.; STEVENSON, M.R. Anomalous penetration of Brazil-Malvinas waters in the South Brazil Bight. **Regional Conference on Global Change**, São Paulo, Dec. p.4-6, 1995.

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

CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B. ARAUJO, C.E.S.; KAMPEL, M. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. S-P. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, p. 472, 2006.

CASTRO, B. M. **Subtidal response to wind forcing in the South Brazil bight during winter**. Ph.D. dissertation. University of Miami, RSMAS, p. 211. 1985.

CASTRO, B. M. **Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo**. São Paulo, Tese (Livre docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 248, 1996.

CASTRO; B. M; MIRANDA, L. B; MIYAO, S. Condições Hidrográficas na Plataforma Continental ao largo de Ubatuba: Variações Sazonais e em Média Escala. **Boletim Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v.35, n.2, p.135-151. 1987.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical Oceanography Of The Western Atlantic Continental Shelf Located Between 4N and 34 S. In: A. R. Robinson; K. H. Brink. (Orgs.). **The Sea**. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., v. 11, p. 209-251.1998.

CLIMATE AND GLOBAL DYNAMICS (CGD). **Climate indices**: Southern Oscillation Index (SOI). Disponível em: <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/soi.html>>. Acesso em: 12 out. 2007.

EMERY, W. J., and R. E. THOMSON ,1997: **Data analysis methods in physical oceanography**. 1 ed. Oxford: Pergamon Press. Cap. 5, p. 371-564. ISBN 0080314341.

EMÍLSSON, I. The shelf and coastal waters of Southern Brazil. **Bol. Inst. Oceanogr., São Paulo**, v.11, n.2, p. 101-112. 1961.

FARGE, M. Wavelet Transforms and their Applications to Turbulence. **Ann. Rev. Fluid Mech.**, v. 24, p. 395-457, 1992.

GAETA, S. A.; BRANDINI, F. P. Produção Primária do Fitoplâncton na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Carmen Lucia Del Bianco Rossi-Wongtschowski; Lauro Saint-Pastous Madureira. (Orgs.). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. 1a ed. São Paulo: EDUSP, p. 219-264. 2006.

GAETA, S.A.; LORENZETTI, J.A.; MIRANDA, L.B.; SUSINI-RIBEIRO, S.M.M.; POMPEU, M.; DE ARAÚJO, C.E.S. The Victoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. **Arch.Fish.Mar.Res.** v. 47, n. 2/3, p. 253-270. 1999.

GARCIA, V. M. T.; SIGNORINI, S.; GARCIA, C. A. E.; MCCLAIN, C. R. Empirical and semi-analytical chlorophyll algorithms in the southwestern Atlantic coastal region (25-40°S and 60-45°W). **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n.8, p. 1539-1562, 2006.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A.: Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): a comparison of biomass and primary production responses, **J. Plank. Res.**, v. 14, p. 289–306, 1992.

GORDON, H. R.; MOREL, A. Y. **Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery**: a review. Springer-Verlag, New York. 1983.

HOVMOLLER, E. The trough and ridge diagram. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Stockholm, Sweden. **Tellus**, v. 1, p. 62-66. 1949.

KAMPEL, M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVA JUNIOR, C. L. Observação por satélite de ressurgências na costa Sul-Sudeste brasileira. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO SOBRE CIÊNCIAS DO MAR, 7., 1997, Santos. **Anais...** Santos: ALICMAR, 1997. p. 38-40.

KAMPEL, M. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados *in situ* na Costa Sudeste Brasileira**. (TDE-29042004-165724). Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 311, 2003.

KAMPEL, M.; NOVO, E. M. L. M. O sensoriamento remoto da cor da água. In: Souza, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de textos. p. 336, 2005.

KAMPEL, M., GAETA, S. A., POMPEU, M., LORENZZETTI, J. A. Satellite estimates of chlorophyll-a concentration in the Brazilian southeastern continental shelf and slope, Southwestern Atlantic In: **Optical Engineering + Applications**, part of Optics + Photonics, 2007, San Diego. **Proceedings of SPIE**. San Diego: SPIE, v. 6680. p.1 – 8. 2007.

KAMPEL, M.; GAETA, S. A.; LORENZZETTI, J. A.; POMPEU, M. Estimativa por satélite da concentração de clorofila a superficial na costa sudeste brasileira, região oeste do Atlântico Sul: Comparação dos algoritmos SeaWiFS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3633-3642. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12740-PRE/8030). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.17.30>>. Acesso em: 06 dez. 2007.

KAMPEL, M.; LORENZZETTI, J.A.; BENTZ, C.M.; RUDORFF, F.M. Análise por wavelets de séries temporais de clorofila estimada por satélite na região da Baía de Campos, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3., 2008, Fortaleza. **Anais...** Rio Grande –RS: Aoceano, 2008. 1 CD-ROM.

KAMPEL, M.; LORENZZETTI, J. A.; GAETA, S.A.; ARAUJO, C.E.; ASSIREU, A.T. Use of satellite data for studying and monitoring the Southeast coast of Brazil. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO EM PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL, 9., Puerto Iguazu, Argentina. **Proceedings...** Puerto Iguazu: SELPER, 2000, P. 1033-1044.

LAU, K. M.; WENG, H. Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, n. 12, p. 2391–2402, 1995.

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

LORENZZETTI, J. A.; GAETA, S. A. The Cape Frio upwelling effect over the South Brazil bight Northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. **Archives of fotogrammetry and Remote sensing**, Vienna, v. XXXI, part. B7, p. 448-453. 1996.

MANN, K. H.; LAZIER, J. R. N. **Dynamics of marine ecosystems: biological - physical interactions in the oceans**. 3 ed. Boston. Blackwell Science. 2006.

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

MILMAN, A.S. **Mathematical principles of remote sensing**. Ann Arbor, Sleeping Bear Press, MI, p. 406, 1999.

MIRANDA, L. B. **Análise de massa de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) a Ilha de São Sebastião (SP)**, Brasil. 125p. Tese (Livre docência em...) Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 1982.

- MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and Oceanography**, v. 22, p. 709-722, 1977.
- MORETTIN, P. A. **Ondas e ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas**. 1 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 276. ISBN 8531405092. 1999.
- MUMBY, P. J.; SKIRVING, W.; STRONG, A. E.; HARDY, J. T.; LEDREW, E. F.; HOCHBERG, E. J.; STUMPF, R. P.; DAVID, L. T. Remote sensing of coral reefs and their physical environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, p. 219-228. 2004.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Goddard Earth sciences data and information services center**. Disponível em: <<http://daac.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em 20 Jan. 2007.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Advanced Very High Resolution Radiometer – AVHRR**. Disponível em: <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>>. Acesso em: 11 Jun 2007.
- OCEAN COLOR. **SeaDAS: SeaWiFS Data Analysis System**. Disponível em <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas/>>. Acesso em Jan. 2007.
- O'REILLY, J. E.; et al. (eds). **SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses**, Part 3, v. 11: Greenbelt, NASA Goddard Space Center, p. 9 - 27. 2000. NASA Technical Memorandum.
- PERCIVAL, D.B., WALDEN, A.T. **Wavelets methods for time series analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, p. 1-73, 1991.
- PHILANDER, S. G. H. El Niño and La Niña. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 42(23), p. 2652-2662.1985.
- PIOLA, A.R.; E.J.D. CAMPOS; O.O. MOLLER, M.CHARO; C. MARTINEZ. Subtropical shelf front off eastern South America, **Journal of Geophysical Research**, v. 105, C3, p. 6566-6578. 2000.
- POLIKAR, R. **The story of wavelets**. 2001. Disponível em: <http://www.bo.infn.it/~masotti/Papers/wavelets_story.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2007.
- REBOITA, M. S. **Elementos da variabilidade climática no extremo Sul do Brasil no período de 1990 a 2001**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, p. 211, 2004.

SÁ, L. D. A., SAMBATTI, S. B. M. e GALVÃO, G. P. Ondeleta de Morlet Aplicada ao Estudo da Variabilidade do Nível do Rio Paraguai em Ladário, MS. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 33, p. 1775-1785, 1998.

SILVA Jr, C. L.; KAMPEL, M.; ARAUJO, C.E.S. Utilização de imagens AVHRR/NOAA na avaliação da extensão da ressurgência costeira de Cabo Frio: estudo de caso. In: Congresso Latino Americano sobre Ciências do Mar – COLACMAR, 7. 1997, Santos. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 1997.

SILVEIRA, I. C. A. DA; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On the origins of the North Brazil Current. **J. Geophys. Res.**, v99, n.11, p.22501-22512, 1994.

SILVEIRA, I. C. A., et al. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2, p. 171-183, 2000.

SMITH, R. L. Upwelling. **Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.** 6, 11-46. H. Barnes, Ed. George, Allen and Unwin, London, p. 563, 1968.

SOPPA, M. A. **Caracterização da variabilidade climática nos ecossistemas recifais brasileiros e sua relação com a biodiversidade de corais**. 2007-02-04. 209 p. (INPE-15147-TDI/1279). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.11.55>>. Acesso em: 08 fev. 2008.

SOUZA, R. B. Introdução à oceanografia por satélites. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 15-17. 2005.

SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: Souza, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de textos, p. 336. 2005.

SPOKES, L. 2003. **Oceanos**. Fitoplâncton e nutrientes nos oceano. Disponível em: <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/811fbca56236e543e8a83005f724989f,0/2_Nutrientes_oceanicos/-_Fitopl_ncton_e_nutrientes_2oe.html>. Acesso em: 12 dez. 2007.

STECH, J. L.; LORENZZETTI, J.A. "Response of the South Brazil Bight to the Passage of Wintertime Cold Fronts". **Journal Geophysics Research**, v. 97, n. C6, p. 9507-9520.1992.

STOMMEL, H. A survey of ocean current theory. **Deep-Sea Res.** v. 4, p. 149–184. 1957.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelets analysis. **Bulletin of the American meteorological society**. v. 79, n. 1. Jan. 1998.

VAZQUEZ, J.; PERRY, K.; KILPATRICK, K. **NOAA/NASA AVHRR oceans pathfinder sea surface temperature data set user's reference manual version 4.0**. Armstrong, 1998. Elementos complementares. Página. Disponível em: <http://podaac-www.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/doc/usr_gde4_0_toc.html>. Acesso em: 11 jun 2007.

WENG, H., e LAU, K. –M. Wavelets, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific. **J. Atmos. Sci.**, v. 51, n. 17, p. 2523-2541, 1994.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 1 ed. London: Academic Press. Cap. 3, p. 21-62, 1995.

APÊNDICE A – COORDENADAS DOS PONTOS DE ESTUDO

Tabela A. 1 - Tabela com as coordenadas dos 15 pontos de estudo.

Pontos	Latitude	Longitude
ST0100	-22°25'58"	-40°36'00"
ST0500	-22°40'12"	-40°31'20"
ST1000	-22°46'05"	-40°26'35"
CF0100	-23°06'48"	-42°10'00"
CF0500	-23°43'55"	-42°10'00"
CF1000	-24°01'41"	-42°10'00"
UB0100	-24°02'49"	-44°36'00"
UB0500	-24°30'00"	-44°12'40"
UB1000	-24°44'53"	-44°01'37"
CA0100	-25°40'12"	-46°45'20"
CA0500	-26°09'17"	-45°45'40"
CA1000	-26°19'23"	-45°35'02"
SM0100	-29°07'32"	-48°35'00"
SM0500	-30°01'39"	-47°53'00"
SM1000	-30°01'40"	-47°35'35"

Tabela A.2 - Tabela com as coordenadas dos 38 pontos sobre a isóbata de 100 metros utilizados na construção do Diagrama Hovmoller.

Pontos	Latitude	Longitude
1	-28°40'00''	-48°18'00''
2	-28°23'46''	-48°10'01''
3	-28°06'32''	-48°06'40''
4	-27°49'19''	-48°03'58''
5	-27°32'42''	-47°58'00''
6	-27°18'25''	-47°47'20''
7	-27°01'12''	-46°42'00''
8	-26°45'07''	-47°31'59''
9	-26°28'30''	-47°25'23''
10	-26°12'29''	-47°15'22''
11	-25°57'36''	-47°04'40''
12	-25°45'07''	-46°50'38''
13	-25°31'29''	-46°38'38''
14	-25°25'33''	-46°19'59''
15	-25°17'13''	-46°01'59''
16	-25°11'17''	-45°43'23''
17	-25°01'48''	-45°25'20''
18	-24°49'54''	-45°12'00''
19	-24°34'26''	-45°00'40''
20	-24°19'01''	-44°51'20''
21	-24°04'44''	-44°40'01''
22	-23°55'16''	-44°23'20''
23	-23°46'56''	-44°06'00''
24	-23°37'26''	-43°50'00''
25	-23°28'31''	-43°32'00''
26	-23°23'10''	-43°13'20''
27	-23°21'59''	-42°54'00''
28	-23°14'51''	-42°36'00''
29	-23°08'19''	-42°18'00''
30	-23°07'08''	-41°58'00''
31	-23°11'53''	-41°39'20''
32	-23°20'48''	-41°22'40''
33	-23°11'53''	-41°06'40''
34	-22°57'02''	-40°54'00''
35	-22°42'46''	-40°43'20''
36	-22°26'08''	-40°36'00''
37	-22°19'01''	-40°17'20''
38	-22°00'00''	-40°04'00''

APÊNDICE B – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS SÉRIES TEMPORAIS E MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NOS 15 PONTOS

Tabela B. 1 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries de médias climatológicas da Chl.
Valores em mg.m⁻³.

Pontos	Máximos	Mínimos	Média	Mediana	Desvio padrão
ST0100	0,454	0,119	0,214	0,171	0,077
ST0500	0,238	0,102	0,150	0,134	0,037
ST1000	0,305	0,098	0,138	0,131	0,037
CF0100	1,071	0,232	0,543	0,508	0,205
CF0500	0,281	0,111	0,175	0,149	0,049
CF1000	0,255	0,098	0,156	0,134	0,048
UB0100	0,451	0,163	0,287	0,285	0,085
UB0500	0,235	0,086	0,147	0,132	0,044
UB1000	0,200	0,088	0,134	0,118	0,037
CA0100	0,692	0,168	0,324	0,269	0,156
CA0500	0,318	0,115	0,181	0,164	0,052
CA1000	0,294	0,073	0,143	0,129	0,048
SM0100	1,610	0,191	0,577	0,402	0,419
SM0500	0,484	0,094	0,185	0,150	0,093
SM1000	0,271	0,093	0,158	0,140	0,054

Tabela B. 2 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries de médias climatológicas da TSM. Valores em °C.

Pontos	Máximos	Mínimos	Média	Mediana	Desvio padrão
ST0100	27,12	22,96	24,85	24,63	1,46
ST0500	27,14	22,95	24,87	24,68	1,48
ST1000	27,22	22,96	24,88	24,68	1,50
CF0100	26,83	22,39	24,40	24,13	1,53
CF0500	26,88	22,36	24,41	24,14	1,55
CF1000	26,92	22,38	24,45	24,18	1,56
UB0100	26,95	21,82	24,07	23,53	1,81
UB0500	26,98	22,08	24,22	23,73	1,74
UB1000	27,00	22,18	24,27	23,88	1,70
CA0100	27,21	20,38	23,54	23,23	2,41
CA0500	27,09	21,35	23,90	23,44	2,02
CA1000	27,07	21,53	23,94	23,46	1,95
SM0100	26,17	18,72	22,21	21,93	2,63
SM0500	25,88	19,33	22,25	22,00	2,29
SM1000	25,89	19,55	22,39	22,08	2,20

Tabela B. 3 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries temporais da Chl. Valores em mg.m^{-3} .

Pontos	Máximos	Mínimos	Média	Mediana	Desvio padrão
ST0100	1,097	0,000	0,214	0,176	0,119
ST0500	0,631	0,023	0,150	0,135	0,064
ST1000	0,622	0,039	0,138	0,127	0,086
CF0100	2,591	0,085	0,543	0,434	0,392
CF0500	0,909	0,068	0,175	0,155	0,081
CF1000	0,430	0,057	0,156	0,141	0,064
UB0100	1,100	0,081	0,287	0,250	0,147
UB0500	0,412	0,044	0,147	0,134	0,060
UB1000	0,365	0,038	0,134	0,123	0,051
CA0100	1,387	0,073	0,324	0,237	0,233
CA0500	0,991	0,034	0,181	0,161	0,096
CA1000	0,715	0,035	0,143	0,128	0,067
SM0100	3,187	0,077	0,577	0,363	0,587
SM0500	1,334	0,050	0,185	0,143	0,149
SM1000	0,898	0,060	0,158	0,135	0,086

Tabela B. 4 - Tabela com os parâmetros estatísticos das séries temporais da TSM. Valores em $^{\circ}\text{C}$.

Pontos	Máximos	Mínimos	Média	Mediana	Desvio padrão
ST0100	28,05	21,98	24,85	24,68	1,53
ST0500	28,05	21,90	24,87	24,75	1,55
ST1000	28,13	21,98	24,88	24,75	1,56
CF0100	27,53	21,45	24,40	24,23	1,60
CF0500	27,60	21,45	24,41	24,23	1,62
CF1000	27,68	21,45	24,45	24,23	1,63
UB0100	28,43	19,88	24,07	23,93	1,93
UB0500	28,28	20,33	24,22	24,00	1,84
UB1000	28,28	20,63	24,27	24,08	1,79
CA0100	28,58	18,15	23,54	23,33	2,49
CA0500	28,43	19,50	23,90	23,63	2,10
CA1000	28,43	19,88	23,94	23,55	2,03
SM0100	27,23	16,88	22,21	22,05	2,69
SM0500	27,08	17,78	22,25	22,13	2,35
SM1000	27,23	18,15	22,39	22,20	2,26

APÊNDICE C – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS IMAGENS DE MÉDIA DO VERÃO E INVERNO

Tabela C. 1 - Tabela com os parâmetros estatísticos das imagens de média do verão e inverno para a Chl (mg.m^{-3}) e TSM ($^{\circ}\text{C}$).

Estação_ano	Chl			TSM		
	Média	Mediana	Desvio padrão	Média	Mediana	Desvio padrão
Verão_1998	0,159	0,067	0,248	26,210	26,550	0,161
Verão_1999	0,122	0,075	0,203	26,027	26,438	0,172
Verão_2000	0,135	0,074	0,168	25,324	25,602	0,199
Verão_2001	0,166	0,077	0,212	26,714	26,891	0,103
Verão_2002	0,116	0,070	0,179	25,954	26,121	0,096
Verão_2003	0,119	0,068	0,187	26,379	26,678	0,194
Verão_2004	0,114	0,072	0,167	24,992	25,256	0,218
Verão_2005	0,116	0,068	0,157	25,263	25,510	0,267
Verão_2006	0,124	0,062	0,184	26,031	26,265	0,183
Inverno_1998	0,724	0,200	0,349	20,805	21,934	0,542
Inverno_1999	0,613	0,204	0,329	20,469	21,433	0,436
Inverno_2000	0,804	0,186	0,275	20,147	21,065	0,424
Inverno_2001	0,603	0,164	0,277	21,434	22,457	0,384
Inverno_2002	0,803	0,159	0,307	21,216	22,258	0,430
Inverno_2003	0,798	0,191	0,287	21,029	22,336	0,499
Inverno_2004	0,470	0,171	0,312	20,925	21,961	0,371
Inverno_2005	0,538	0,155	0,308	21,770	22,664	0,370
Inverno_2006	0,581	0,187	0,300	21,117	21,944	0,389

ANEXO A – DADOS E GRÁFICO DO ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL (IOS)

Tabela A.3 - Índices de Oscilação Sul (IOS) do período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1998	-5	-4	-6	-3	0.1	1.2	2	1.6	2	1.6	1.7	2.3
1999	3.2	1.2	1.4	2.2	0.1	-0	0.8	0.1	-0	1.5	1.8	2.5
2000	1.1	2.6	1.6	1.9	0.3	-1	-1	0.6	1.7	1.6	3.3	1.1
2001	1.8	2.4	0.8	-0	-1.4	-0	-1	-2	0.3	-1	1.2	-2
2002	0.7	1.5	-1	-1	-2	-1	-1	-3	-1	-1	-1	-2
2003	-1	-2	-2	-1	-1	-2	0.4	-1	-0	-1	-1	1.8
2004	-3	1.8	-0	-2	1.5	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2
2005	0.4	-7	-0	-2	-1.9	0.1	0.1	-1	0.7	1.9	-1	-0
2006	2.9	-0	2.3	1.5	-1.4	-1	-1	-3	-1	-3	0.1	-1

Fonte: CGD (2007).

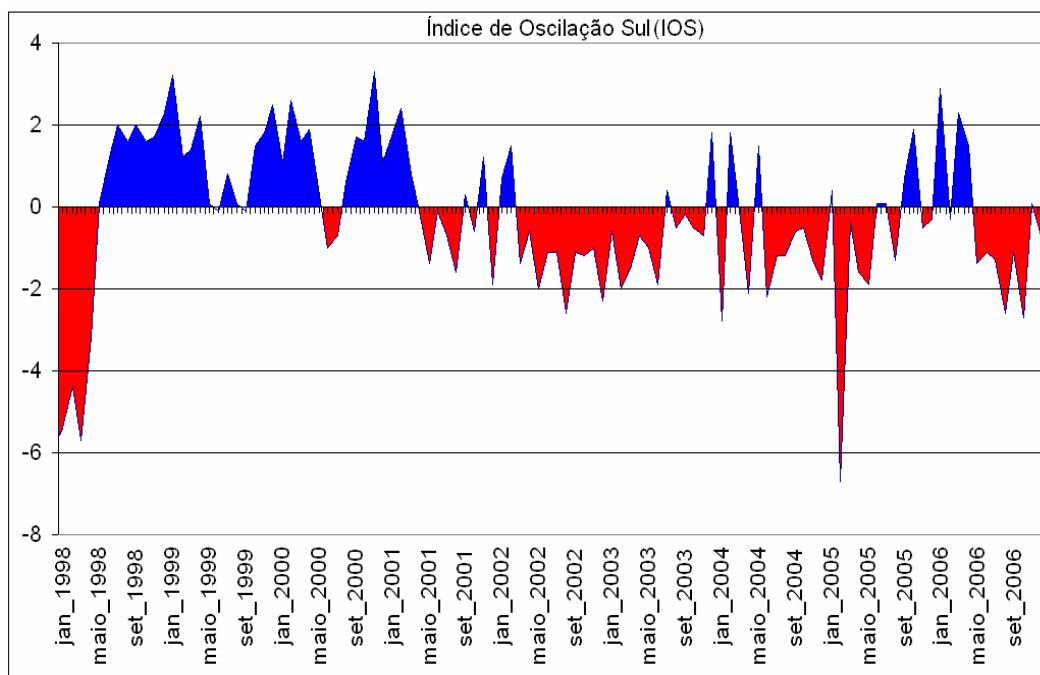


Figura A.1 - Índice de Oscilação Sul (IOS) durante o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2006. Os eventos ENOS são ilustrados na forma de faixas em azul (*La Niña*) e vermelho (*El Niño*).

Fonte: Adaptado de CGD (2007).