

INPE-16603-TDI/1589

# IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL EM UM MODELO DE PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO

Paulo Pereira Oliveira Matos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. João Antonio Lorenzzetti, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 31 de agosto de 2009

Registro do documento original: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/10.30.18.18>

> INPE São José dos Campos 2009

# **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<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE) Dr<sup>a</sup> 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 Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID) EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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



INPE-16603-TDI/1589

# IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL EM UM MODELO DE PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO

Paulo Pereira Oliveira Matos

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. João Antonio Lorenzzetti, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 31 de agosto de 2009

Registro do documento original: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/10.30.18.18>

> INPE São José dos Campos 2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Matos, Paulo Pereira Oliveira.

Impacto da utilização de dados de temperatura da superfície do mar de alta resolução espacial em um modelo de previsão numérica do tempo / Paulo Pereira Oliveira Matos. – São José dos Campos : INPE, 2009.

141 p.; (INPE-16603-TDI/1589)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Orientadores : Drs. João Antonio Lorenzzetti, e Luciano Ponzi Pezzi.

1. Sensoriamento remoto. 2. Temperatura da superfície do mar. 3. OSTIA. 4. RTG\_SST\_HR. I.Título.

CDU 528.811

Copyright © 2009 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2009 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Sensoriamento Remoto

Dr. Ronald Buss de Souza

João Antonio Lorenzzetti

Presidente / INPE / SJCampos - SP

1

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Luciano Ponzi Pezzi

Dr.

Dr. Ricardo de Camargo

Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

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

Aluno (a): Paulo Pereira Oliveira Matos

São José dos Campos, 31 de agosto de 2009

"Viver é a coisa mais rara do mundo. Muitas pessoas existem, só isto".

Oscar Wilde

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio e por acreditarem em mim. Mãe, pai, irmãos e avós, obrigado pela confiança irrestrita e pelo orgulho dos meus feitos, ontem, hoje e sempre.

Agradeço ao meu orientador, doutor João Antonio Lorenzzetti, pelos conhecimentos compartilhados, pela paciência, apoio e incentivo.

Agradeço ao meu co-orientador, doutor Luciano Ponzi Pezzi, pelos conhecimentos compartilhados na área de Meteorologia e por ajudar-me a manter o foco no que era realmente importante na dissertação.

Agradeço ao doutor Pablo Reyes, pela disponibilidade em ensinar-me as particularidades de um modelo numérico de previsão do tempo.

Aos amigos mestrandos em Sensoriamento Remoto, agradeço pela amizade, companheirismo e incentivo diário.

Ao amigo Gabriel, doutorando em Sensoriamento Remoto, meu muito obrigado pela disponibilidade e pelas explicações nos momentos mais delicados desta jornada. Tenha certeza de que meu sucesso se deve, em grande parte, a sua boa vontade.

#### RESUMO

A temperatura da superfície do mar (TSM) é um importante indicador do estado do sistema climático terrestre. Uma representação precisa deste parâmetro, em escala global, é de fundamental importância para aplicações em ciências ambientais marinhas. Atenção especial deve ser dada às previsões meteorológicas, onde a TSM exerce fundamental importância como condição de contorno para modelos de previsão numérica do tempo (PNT). Atualmente o modelo de PNT regional utilizado operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), o modelo ETA, utiliza um campo de TSM com resolução espacial de 0,5º (base de dados de TSM Real-Time, Global Sea Surface Temperature - RTG SST). Questiona-se se esta resolução espacial é suficiente para representar a TSM em áreas dinâmicas, sob o ponto de vista da variabilidade da TSM, como a região de ressurgência em Cabo Frio ou a frente interna da Corrente do Brasil, fluindo acima da quebra da Plataforma Continental. Estudos nestas regiões mostram gradientes horizontais de até 1ºC/km. A distorção da representação da TSM pode introduzir erros e bias às condições de contorno, levando ao decréscimo da habilidade de um modelo de PNT. Este estudo comparou bases de TSM de alta resolução espacial (Real-Time. Global Sea Surface Temperature. High Resolution - RTG SST HR e Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis - OSTIA) e analisou a sensibilidade de um modelo de PNT à inserção destes dados. Este objetivo foi alcancado em dois passos: primeiramente, duas bases de dados de TSM de alta resolução espacial (<0,1º) foram comparadas e uma foi indicada como a mais apropriada para inserção em um modelo de PNT. O segundo passo consistiu na comparação dos valores de fluxos de calor latente e sensível e de total de água precipitável, resultantes da previsão com utilização da base de dados de TSM original (RTG SST) e da previsão com a utilização da base de dados indicada como mais propícia na primeira parte do estudo (OSTIA). Um estudo de caso foi realizado com um episódio do fenômeno Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ocorrido em janeiro de 2008. Os resultados indicaram que a base de dados de TSM OSTIA representou mais fielmente os principais fenômenos oceanográficos presentes na costa sudestesul Brasileira. A insercão deste campo de TSM, como condição de contorno, afetou a sensibilidade do modelo, resultando em previsões mais acuradas para determinadas regiões da área de estudo.

# THE IMPACT OF THE USE OF HIGH SPATIAL RESOLUTION SEA SURFACE TEMPERATURE DATA IN A NUMERICAL WEATHER PREDICTION MODEL

#### ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) is an important indicator of Earth's climate. An accurate and global measurement of this parameter is of fundamental importance in applications related to climate studies, ocean-atmosphere interactions, marine ecosystem, etc. Special attention may be given to meteorological forecasts, where SST stands as an important boundary condition for numerical weather prediction (NWP) models. Presently, the regional NWP model operationally running at the Center for Weather Forecast and Climate Studies of the National Institute for Space Research (CPTEC/INPE) uses a SST field with a spatial resolution of 0,5° (SST database Real-Time, Global Sea Surface Temperature - RTG SST). A question that arises is if this spatial resolution is enough to represent the SST variations in dynamic oceanic areas, such as the upwelling region in Cabo Frio or at the inshore thermal front of the Brazil Current, flowing at the shelf break. Studies in those places show average horizontal SST gradients of 1ºC/km. The misrepresentation of SST variation may introduce errors and viéses to the boundary conditions, leading to the decrease of the skill of a model. This study intends to compare high-spatial resolution SST databases (Real-Time, Global Sea Surface Temperature, High Resolution - RTG SST HR e Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis - OSTIA) and to analyze the sensitivity of a NWP model to the insertion of the new high-resolution database. This goal was reached in two steps: first, two high spatial resolution SST databases  $(<0,1^{\circ})$  were compared and one was indicated as the most suitable to be inserted in a NWP model. The second step was the comparison between the values of the latent and sensible heat flows and the total precipitable water forecasted with the use of the original SST database (RTG SST) and the values forecasted with the use of the SST database indicated as the most suitable in the first part of the study (OSTIA). A study is conducted for a specific case of a South Atlantic Convergence Zone (SACZ) case that occurred in January, 2008. Results indicate that OSTIA database represented better the mains oceanographic features in the southeast-south Brazilian coast. The insertion of the OSTIA SST field, as a boundary condition, affected the skillness of ETA model, resulting in better predictions for regions of the study area.

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS 1	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS2	1
LISTA DE SÍMBOLOS 2	5
1 INTRODUÇÃO2	7
1.1 Objetivo geral 3	0
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 3	3
2.1 A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) 3	3
2.1.2 Medição in situ da temperatura 3	5
2.1.3 Medição da TSM através de satélites 3	8
2.1.3.1 Medição da TSM através de satélites: IR termal 3	9
2.1.3.2 Sensores em uso 4	2
2.1.4 Medição da TSM através de satélites: microondas 5	;3
2.1.4.1 Sensores de microondas em uso 5	6
2.2 Bases de dados de TSM 5	;9
2.3 Modelo de previsão numérica do tempo 6	0
2.3.1 O funcionamento do modelo de previsão numérica do tempo 6	62
2.3.2 A TSM em um modelo de previsão numérica 6	63
2.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) 6	63
2.5 O Balanço Global de Calor 6	5
2.6 Fluxo de Calor no Oceano 6	<b>;7</b>
2.6.1 Radiação Solar de Ondas Curtas (Q <sub>i</sub> ) 6	8
2.6.2 Radiação emitida em ondas longas (Q <sub>b</sub> ) 6	8
2.6.3 Fluxo de calor latente (Q <sub>I</sub> )6	8
2.6.4 Fluxo de calor sensível ( $Q_s$ )	;9
2.6.5 Balanço de calor na superfície 6	;9
2.7 Estimativas do Fluxo de Calor7	'0
2.7.1 Parametrização Bulk	'0

2.8 O Cálculo do Total de Água Precipitável	71
3 MATERIAIS E MÉTODOS	73
3.1 Área de estudo	73
3.2 Base de dados utilizados	74
3.2.1 Base de dados de TSM RTG_SST	75
3.2.2 Base de dados de TSM RTG_SST_HR	79
3.2.3 Base de dados de TSM OSTIA 8	81
3.2.4 O modelo regional ETA 8	86
3.3 Metodologia 8	87
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	<b>3</b> 3
4.1 Comparação das bases de dados OSTIA e RTG_SST_HR	93
4.2 Comparação entre as séries temporais de TSM em regiões	
selecionadas, no oceano Atlântico	98
4.3 Análise Estatística 10	02
4.3 Discussão 10	05
5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TESTES DE SENSIBILIDADE COM O	
MODELO ETA: RESULTADOS E DISCUSSÃO10	07
5.1 Condições Sinóticas no Período 10	07
5.2 Comparação dos Cálculos de Fluxo de Calor Utilizando o Modelo	
ETA11	11
5.2 Comparação da Previsão do Total de Água Precipitável 11	19
6 CONCLUSÃO12	25
	20

# LISTA DE FIGURAS

1.1 – Comparação entre dados de TSM de resoluções espaciais diferentes: à esquerda dados com resolução espacial de 0.05° provenientes da base
do TSM Operational Sea Surface Temperature and Sea les Analysis
(OCTIA) e è direite dedes ser recelusão serecial de 0.5% prevenientes
(OSTIA) e a direita dados com resolução espacial de 0,5 <sup>2</sup> , provenientes
da base de TSM RTG_SST (em graus Celsius)
2. 1 – Definições de TSM
2. 2 - Janelas atmosféricas na faixa do IR termal
2. 3 – Geometria de visada dos sensores ATSR-1/2
2. 4 – Janela atmosférica na faixa de microondas
2. 5 – Distribuição percentual da radiação solar incidente
3. 1 – Área de Estudo73
3. 2 – Fluxo de dados na Análise RTG_SST77
3. 3 – TSM média de 02 de fevereiro de 2008 – base de dados de TSM
RTG_SST (em graus Celsius)
3. 4 – TSM média de 02 de fevereiro de 2008 – base de dados de TSM
RTG_SST_HR (em graus Celsius)81
3. 5 – Fluxo de dados na Análise OSTIA
3. 6 – TSM de 02 de fevereiro de 2008 (média diária) – base de dados de TSM
OSTIA (em graus Celsius)
3. 7 – Domínio do modelo ETA – retângulo com limites latitude $03^{\circ}$ S a $37^{\circ}$ S e
longitude $23^{\circ}$ W a $77^{\circ}$ W87
3. 8 – Fluxograma da primeira parte do estudo
<ol> <li>9 – Comparação entre a TSM OSTIA original com resolução espacial de</li> </ol>
0,05º (esquerda) e a TSM OSTIA interpolada para a resolução espacial de
0,083º (direita). Os resultados encontrados após a interpolação da TSM
foram satisfatórios, uma vez que os gradientes de TSM foram mantidos,
mesmo em áreas com maior variabilidade de TSM

3. 10 - Fluxograma da segunda parte do estudo91
4. 1 - Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG_SST_HR para o mês de setembro de 2007. Acima, à esquerda, média mensal de TSM OSTIA. Acima, à direita, média mensal de TSM RTG_SST_HR. Abaixo: diferença de TSM OSTIA - TSM RTG_SST_HR (em graus Celsius)
4. 2 – Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG_SST_HR para o mês de janeiro de 2008. Acima, à esquerda, média mensal de TSM OSTIA. Acima, à direita, média mensal de TSM RTG_SST_HR. Abaixo: diferença de TSM OSTIA - TSM RTG_SST_HR (em graus Celsius) 96
<ul> <li>4. 3 – Regiões selecionadas para comparação das bases de TSM</li></ul>
Celsius
<ul> <li>4. 6 – Valores observados de TSM (base OSTIA) x valores previstos pelo modelo de regressão. Região 6 – Cabo de Santa Marta Grande, mês de setembro de 2007 (TSM em graus Celsius)</li></ul>
<ul> <li>4. 7 – Valores observados de TSM (base OSTIA) x valores previstos pelo modelo de regressão. Região 10 – Offshore, mês de setembro de 2007 (TSM em graus Celsius)</li></ul>
<ul> <li>4. 8 – Valores observados de TSM (base OSTIA) x valores previstos pelo modelo de regressão. Região 1 – Ressurgência, mês de janeiro de 2008 (TSM em graus Celsius)</li></ul>

4. 9 – Valores observados de TSM (base OSTIA) x valores previstos pelo	
modelo de regressão. Região 6 – Cabo de Santa Marta Grande, mês de	
janeiro de 2008 (TSM em graus Celsius)104	
4. 10 – Valores observados de TSM (base OSTIA) x valores previstos pelo	
modelo de regressão. Região 10 – Offshore, mês de janeiro de 2008.	
(TSM em graus Celsius)105	
5. 1 – Caracterização de episódio de ZCAS entre os dias 20 e 22 de janeiro de	
2008: carta de pressão ao nível do mar, fornecida pelo Centro de	
Hidrografia da Marinha e imagem do satélite GOES 10 (visível) 107	
5. 2 – Caracterização de episódio de ZCAS entre os dias 04 e 06 de fevereiro	
de 2008: carta de pressão ao nível do mar, fornecida pelo Centro de	
Hidrografia da Marinha e imagem do satélite GOES 10 (visível) 109	
5. 3 – Acompanhamento de sistemas frontais em janeiro e fevereiro de	
2008	
5. 4 – Caracterização de episódio de ZCAS nos períodos supracitados:	
previsão de precipitação convectiva acumulada do modelo ETA 111	
5. 5 – Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG_SST para	
o período da rodada do modelo. Acima, à esquerda, média de TSM	
OSTIA. Acima, à direita, média de TSM RTG_SST. Abaixo: diferença de	
TSM OSTIA - TSM RTG_SST (em graus Celsius)	
5. 6 – Série temporal de médias diárias de fluxos de calor latente (painel	
superior), sensível (painel central) e fluxo de calor total (painel inferior)	
para a Região 1 – Ressurgência em W.m <sup>-2</sup> para rodadas do modelo ETA	
com condição de contorno de TSM usando as bases de dados RTG_SST,	
OSTIA e de reanálise114	
5. 7 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 2 – Baía da Guanabara 114	
5. 8 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 4 – Paranaguá 115	
5. 9 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 6 – Cabo de Santa Marta	
Grande 115	
5. 10 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 10 – Offshore 115	

5.	5. 11 – Série temporal de médias diárias de total de água precipitável, para a		
	Região 1 – Ressurgência, em kg.m <sup>-2</sup>	120	
5.	12 - Equivalente à Figura 5.11 para a Região 2 - Baía da Guanabara	120	
5.	13 - Equivalente à Figura 5.11 para a Região 4 - Paranaguá	121	
5.	14 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 6 – Cabo de Santa Marta		
	Grande	121	
5.	15 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 10 – Offshore	.121	

# LISTA DE TABELAS

2. 1 – Comparação entre a oceanografia convencional e a oceanografia por
satélites
2. 2 – Características do sensor AVHRR 43
2. 3 – Características dos sensores ATSR-1 e 2 e AATSR 46
2. 4 - Bandas do IR utilizadas pelo MODIS para a medição da TSM 48
2. 5 - Características do subsistema TIR do sensor ASTER 49
2. 6 - Características do radiômetro imageador dos satélites GOES 51
2. 7 – Canais espectrais do SEVIRI 52
2. 8 – Características do sensor AMSR-E 57
3. 1 - Sensores utilizados para a composição da base de dados de TSM
OSTIA
4. 1 – Coordenadas das regiões selecionadas para a comparação das bases 99
4. 2 – Resultados da Análise Estatística (em °C)104
4. 3 - Resultados da Regressão Múltipla Linear
5. 1 – Fluxos de Calor Médios Calculados pelo Modelo e de reanálise (colunas
2, 3 e 4), diferenças médias (coluna 5) e RMSE entre modelo e reanálise
(colunas 6 e 7) (valores médios, diferenças e RMSE em W.m <sup>-2</sup> ) 118
5. 2 – Total de Água Precipitável Calculados pelo Modelo e de reanálise, em
kg/m² (médias e RMS)122

# LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AATSR	- Advanced Along Track Scanning Radiometer
AMS	- American Meteorological Society
AIRS	- Atmospheric Infrared Sounder
AMSR-E	- Advanced Microwave Scanning Radiometer - EOS
ASTER	- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
	Radiometer
ATSR	- Along Track Scanning Radiometer
AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer
AVHRR-GAC	- Advanced Very High Resolution Radar Global Area Coverage
AVHRR-LAC	- Advanced Very High Resolution Radar Local Area Coverage
CB	- Corrente do Brasil
CBM	- Confluência Brasil-Malvinas
COROAS	<ul> <li>Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul</li> </ul>
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTD	- Condutivity Temperature and Depth
DCS	- Data Collection System
DMSP	- Defense Meteorological Space Program
ENVISAT	- Environmental Satellite
EOS	- Earth Observing System
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERS	- European Remote-Sensing Satellites
EUMESAT	- European Organisation for the Exploitation of Meteorological
	Satellites
FOAM	- Met Office Forecasting Ocean Assimilation Model
GDAS	- Global Data Assimilation System
GHRSST-PP	- Global High Resolution Sea Surface Temperature – Pilot
	Project
GMS	- Geostationary Meteorological Satellite
GODAE	- Global Ocean Data Assimilation Experiment

GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellites
GPCP	- Global Precipitation Climatology Project
GTS	- Global Telecommunications System
IFOV	- Instantaneous Field of View
IGFOV	- Instantaneous Geometric Field of View
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSAT	- Indian National Satellite
IR	- Infravermelho
JAXA	- Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
JCSDA	- Joint Center for Satellite Data Assimilation
JPL PO-DAAC	- Jet Propulsion Laboratory - Physical Oceanography
	Distributed Active Archive Center
MCSST	- Multi-Channel Sea-Surface Temperature
METEOSAT	- Meteorological Satellite
METOP-A	- Polar-orbiting Meteorological Satellite
MMAB	- Marine Modeling and Analysis Branch
MODIS	- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	- Meteosat of Second Generation
MVIRI	- Meteosat Visible and InfraRed Imager
NAVOCEANO	- Naval Oceanographic Office Major Shared Resource Center
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NESDIS	- National Environmental Satellite, Data and Information
	Service
NetCDF	- Network Common Data Form
NLSST	- Non-Linear Sea-Surface Temperature
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
NOAASIS	- NOAA Satellite Information System
PNT	- Numerical Weather Prediction
OSTIA	- Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis

PIRATA	- Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic
REVIZEE	- Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na
	Zona Econômica Exclusiva
ROL	- Radiação de Onda Longa Emergente
RTG_SST	- Real-Time, Global, Sea Surface Temperature Analysis
RTG_SST_HR	- Real-Time, Global, Sea Surface Temperature, High-
	Resolution
SAR	- Synthetic-Aperture Radar
SEVIRI	- Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SR	- Scanner Radiometer
SSM/I	- Special Sensor Microwave/Imager
SWIR	- Short-Wave Infrared
TIR	- Thermal Infrared
TIROS	- Television Infrared Observation Satellite
ТМІ	- Tropical Rainfall Measuring Mission Microwave Imager)
TOGA-TAO	- Tropical Ocean-Global Atmosphere - Tropical Atmosphere Ocean
TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
UCAR	- University Corporation for Atmospheric Research
UKMO	- United Kingdom Meteorological Office
VHRR	- Very High Resolution Radiometer
VNIR	- Visible and Near-Infrared
WCRP	- World Climate Research Program
XBT	- Expendable Bathythermograph
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	- Zona de Convergência do Pacífico Sul

# LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c <sub>1</sub> , c <sub>2</sub> , c <sub>3</sub>	<ul> <li>Coeficientes de regressão (cálculo da TSM pelo sensor</li> </ul>
e c4	MODIS)
$B_f(\theta,\phi)$	<ul> <li>Radiância Espectral ou Brilho</li> </ul>
С	- Velocidade da luz
$C_1  e  C_2$	<ul> <li>Constantes de proporcionalidade</li> </ul>
C <sub>3</sub>	<ul> <li>Constante de Dispersão de Wien</li> </ul>
E	<ul> <li>Emissividade da superfície do oceano</li> </ul>
F(W,V,L)	<ul> <li>Modelo isotrópico da temperatura de brilho em um canal do</li> </ul>
	sensor SSM/I
h	- Constante de Planck
k	– Constante de Boltzmann
L	– Água líquida colunar nas nuvens
L <sub>λ</sub>	– Radiância espectral no comprimento de onda $\lambda$
modis_sst	– TSM calculada pelo MODIS
$M_{\lambda}$	– Exitância espectral no comprimento de onda $\lambda$
Т	– Temperatura absoluta
T <sub>11</sub>	<ul> <li>Temperatura equivalente ao corpo negro, em Kelvin, para o</li> </ul>
	canal do AVHRR no comprimento de onda de 11 $\mu$ m
T <sub>12</sub>	<ul> <li>Temperatura equivalente ao corpo negro, em Kelvin, para o</li> </ul>
	canal do AVHRR no comprimento de onda de 12 $\mu$ m
T <sub>3.7</sub>	<ul> <li>Temperatura equivalente ao corpo negro, em Kelvin, para o</li> </ul>
	canal do AVHRR no comprimento de onda de 3,7 $\mu$ m
T <sub>31</sub>	– Temperatura de brilho do canal 31 do MODIS
T <sub>3132</sub>	<ul> <li>Diferença entre as temperaturas de brilho das bandas 32 e</li> </ul>
	31 do MODIS
T <sub>BC</sub>	<ul> <li>– Temperatura da radiação cósmica de fundo – sensor SSM/I</li> </ul>
Т <sub>ві</sub>	– Temperatura de brilho para o canal i do sensor AMSR-E

$T_{BU} e T_{BD}$	<ul> <li>Temperaturas de brilho atmosféricas (BU – radiação</li> </ul>
	atmosférica ascendente; BD – radiação atmosférica
	descendente refletida na direção contrária, pelo oceano) –
	sensor SSM/I
Ts	– Temperatura do mar <i>in situ</i> (" <i>first guess</i> ")
T <sub>sfc</sub>	<ul> <li>– Estimativa de TSM na superfície (cálculo da TSM pelo</li> </ul>
	sensor MODIS)
V	– Vapor d'água colunar
W	<ul> <li>Vento próximo da superfície</li> </ul>
ε (λ)	<ul> <li>Emissividade Espectral</li> </ul>
ε(θ,Φ)	– Emissividade na superfície na direção ( $\theta$ , $\Phi$ )
θ	<ul> <li>Ângulo zenital do satélite</li> </ul>
λ	<ul> <li>Comprimento de onda</li> </ul>
σ	<ul> <li>Constante de Stefan-Boltzmann</li> </ul>
т	<ul> <li>Transmitância atmosférica</li> </ul>
Ω	– Termo direcional – sensor SSM/I

### 1 INTRODUÇÃO

A temperatura da superfície do mar (TSM) é um importante indicador do estado do sistema climático terrestre. Uma representação precisa da TSM global é de fundamental importância para diversas aplicações na área marítima, uma vez que a TSM influencia diretamente a atmosfera por meio dos seus efeitos sobre os fluxos de calor sensível e latente na interface oceano-atmosfera (Chelton e Wentz, 2005).

Um dos focos de estudo da comunidade científica relaciona-se aos campos de TSM em meso-escala, devido ao interesse nos processos de instabilidade dinâmica das correntes oceânicas, responsáveis pela geração de meandros e vórtices e nos processos de ressurgência. Estes processos propiciam a troca de energia, massa e nutrientes entre diferentes tipos de água de diferentes regiões (Araújo e Lorenzzetti, 1998).

Outro foco de estudo é a previsão do tempo, já que a TSM é uma importante condição de contorno para modelos de previsão numérica do tempo (PNT). A maior acurácia na representação da TSM corresponde a uma condição de contorno mais próxima da realidade, proporcionando maior confiabilidade nas previsões geradas pelo modelo (maior habilidade do modelo).

O modelo de PNT regional utilizado operacionalmente pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) para previsão do tempo e que será utilizado no presente estudo é o modelo regional ETA. O ETA é um modelo de mesoescala e sua versão operacional tem resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 camadas (Chou, 1996). A TSM utilizada como condição de contorno possui resolução espacial de 0,5º de latitude e longitude. Esta base é proveniente da análise *Real-Time, Global, Sea Surface Temperature* (RTG\_SST) do NCEP e é mantida constante durante a integração.

Uma questão se apresenta: a utilização de um campo de TSM com resolução espacial de 0,5<sup>º</sup> (grade com uma informação de TSM a cada 55 km aproximadamente) é suficiente para representar feições de menor escala em áreas de grande variabilidade de TSM? A região da ressurgência nas proximidades de Cabo Frio e a frente da Corrente do Brasil (CB) são áreas de elevado gradiente horizontal de TSM nas proximidades da quebra da Plataforma Continental.

Um exemplo da magnitude do gradiente destas áreas pode ser encontrado no estudo de Lorenzzetti et al. (2009), que mostra gradientes horizontais de TSM de 1°C/km, na região frontal da CB, nas proximidades do Cabo Frio. Assim, percebe-se que a resolução espacial da base de dados ora utilizada no CPTEC/INPE como condição de contorno para o modelo de PNT pode deixar de representar com acurácia todas as feições presentes no oceano, podendo acarretar uma fonte adicional de erro e incerteza à previsão do tempo.

Comparando o campo de TSM utilizado no modelo (0,5<sup>o</sup>) com um campo de TSM de alta resolução espacial (0,05<sup>o</sup>) (Figura 1.1), percebe-se a existência de diferenças significativas nos valores de TSM apresentados, principalmente sobre a Plataforma Continental. A possibilidade de representar de maneira mais precisa a magnitude do gradiente horizontal presente em áreas com grande variabilidade de TSM torna interessante estudar o impacto da utilização de bases de dados de TSM de alta resolução espacial em um modelo de PNT.

28



Figura 1. 1 - Comparação entre dados de TSM de resoluções espaciais diferentes: à esquerda, dados com resolução espacial de 0,05º, provenientes da base de TSM Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) e à direita, dados com resolução espacial de 0,5º, provenientes da base de TSM RTG\_SST (em graus Celsius).

Rogers et al. (2001), utilizando a base de dados de TSM desenvolvida por Reynolds e Smith (1994), estudaram a hipótese de que imperfeições no campo de TSM possam ter causado uma discrepância na previsão da área onde ocorrera uma nevasca em Baltimore, Estados Unidos. No estudo, a alteração das condições iniciais e das condições de contorno proporcionou uma previsão com maior acurácia em relação à intensidade e localização da precipitação de neve.

Thiébaux et al. (2003), em experimento utilizando o modelo ETA, onde foi substituído um campo de TSM com resolução de 1º x 1º por outro de melhor resolução espacial (0,5º x 0,5º), encontrou melhores resultados para a previsão de precipitação de neve acumulada causada por uma tempestade, nos Estados Unidos. O sucesso deste experimento precipitou o desenvolvimento da base de dados de TSM RTG\_SST, visando a melhoria das previsões geradas através do modelo ETA na *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

### 1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo comparar bases de TSM de alta resolução espacial (< 0,1º) e analisar a sensibilidade de um modelo de PNT à inserção destes dados como condição de contorno.

Para atingir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma comparação da TSM média mensal de ambas as bases;
- Comparar séries temporais de TSM de ambas as bases de dados em regiões selecionadas, no oceano Atlântico. Estas regiões foram selecionadas por apresentarem maiores diferenças de TSM entre as bases de dados para o período pesquisado;
- Realizar experimentos de sensibilidade com o modelo ETA, utilizando diferentes bases de TSM de alta resolução como condição de contorno, através da comparação entre os prognósticos dos fluxos de calor e do total de água precipitável para regiões específicas de interesse.

As comparações entre as bases de dados de TSM foram realizadas utilizandose dados de médias mensais de TSM, no período entre julho de 2007 e julho de 2008. Os experimentos de sensibilidade foram conduzidos durante um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), situação escolhida por se considerar que ela representa uma significante alteração das condições de tempo na região.

Este estudo está organizado em sete capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Materiais e Métodos, Comparação entre as Bases de Dados de TSM de Alta Resolução: Resultados e Discussão, Comparação entre os Testes de

Sensibilidade com o Modelo ETA: Resultados e Discussão, Conclusões e Referências Bibliográficas.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

A TSM é um parâmetro de difícil definição, uma vez que a camada superior do oceano (até aproximadamente 10 m) possui estrutura vertical complexa e variável, o que está relacionado com a turbulência no oceano e os fluxos de calor atmosfera-oceano, umidade e momento (GHRSST-PP, 2008).

Neste estudo, serão adotadas as definições de TSM sugeridas em 2005 pelo programa *Global Ocean Data Assimilation Experiment* (GODAE), através do projeto *Global High Resolution Sea-Surface Temperature – Pilot Project* (GHRSST-PP) (Figura 2.1). São definidas as seguintes TSM:

- TSM na interface (na literatura em inglês, SST int) Temperatura teórica da interface atmosfera-oceano, a camada mais superficial do oceano. Não tem uso prático, pois não pode ser medida utilizando-se a tecnologia atual.
- TSM de pele (na literatura em inglês, SST skin) Definida como a temperatura da água na profundidade de aproximadamente 20µm. Assim, representa a temperatura radiométrica medida por equipamentos que operam na faixa do infravermelho (IR), mais especificamente na banda do espectro eletromagnético situada entre 10 e 12µm. Está sujeita a fortes variações devido à termoclina diurna, incluindo os efeitos de esfriamento e de aquecimento.
- TSM de subpele (na literatura em inglês, SST subskin) Definida como a temperatura a aproximadamente 1 mm de profundidade. Representa a medida da TSM feita por radiômetros na faixa de microondas, operando na faixa de frequências entre 6 e 11 GHz.

- TSM de balde (na literatura em inglês, SST depth) Representa a TSM medida *in situ* (oceanografia convencional). Deve ser qualificada por uma medida de profundidade em metros (onde a temperatura da água foi medida).
- TSM Fundamental (na literatura em inglês, SST fnd) Temperatura numa camada com boa mistura e livre do efeito da variação causada pelo aquecimento diurno e pelo resfriamento noturno (camada de mistura), sendo equivalente a TSM de subpele na ausência de qualquer sinal diurno. A TSM fundamental possui conexão com o conceito histórico de TSM *bulk*, representativa da temperatura da camada de mistura oceânica e representada por medições oceânicas de TSM em profundidades de 1 a 20 m. Com definição mais completa, a TSM fundamental possibilita uma quantificação mais precisa do que a TSM *bulk*, proporcionando uma melhor representação da temperatura da camada de mistura.



Figura 2. 1 – Definições de TSM. Fonte: GHRSST-PP (2008)
# 2.1.2 Medição in situ da temperatura

A TSM foi uma das primeiras variáveis oceanográficas a serem medidas e continua, atualmente, como uma das mais importantes e rotineiras medidas efetuadas a bordo de navios. Benjamim Franklin mapeou a posição da corrente do Golfo utilizando um termômetro simples de mercúrio durante a travessia Estados Unidos – Europa em 1769 (Emery e Thomson, 1998).

A obtenção da TSM in situ por métodos tradicionais inclui a medição direta com termômetros de mercúrio, termômetros de resistência elétrica e de pressão de vapor, entre outros (Kampel et al., 2004).

Outros instrumentos típicos utilizados para a medição da TSM são:

- XBT (*Expendable Bathytermograph*) Batitermógrafo descartável utilizado a partir de navios; é uma sonda que detecta a temperatura do mar, à medida que submerge, por meio de termômetros que transmitem os dados ao navio através de cabos finos. A temperatura é gravada, a bordo, para possibilitar posterior análise. Possui limitações, como apresentar apenas dados de temperatura e estar restrito à rota do navio que o carrega; porém, tem se mostrado útil por fornecer dados em profundidades de até 1.500 m.
- CTD (*Condutivity Temperature and Depth*) Siatema constituído por uma sonda CTD, uma unidade de comando, um cabo eletromecânico, um guincho, um computador e pelo software de aquisição de dados. A sonda CTD possui sensores que permitem obter perfis de temperatura, condutividade e pressão em função da profundidade, com precisão e rapidez. Versões mais recentes possuem sensores para concentração de oxigênio e fluorescência, entre outros.

Equipamentos modernos, como derivadores rastreados por satélites, têm sido utilizados em trabalhos de caracterização de feições oceanográficas e avaliação da acurácia da TSM obtida por sensores orbitais, principalmente por permitirem um monitoramento remoto do oceano a baixo custo (Assireu, 1998).

Outros equipamentos importantes na medição *in situ* da TSM são as bóias fixas e os flutuadores. Os dados de TSM medidos por estes equipamentos servem para a validação dos dados de satélite, para compor produtos de TSM *blended* (combinados com dados orbitais) e para fornecer indicações de comportamento de massas de água e correntes oceânicas.

Dentre os programas de monitoramento nacionais e internacionais que utilizam bóias para a medição da TSM, pode-se citar o projeto COROAS (Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul), o programa REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva), o programa TOGA-TAO (*Tropical Ocean-Global Atmosphere - Tropical Atmosphere Ocean*) de bóias fixas, no Oceano Pacífico e o projeto PIRATA (*Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic*), sendo este um programa de oceanografia operacional realizado no âmbito da cooperação entre o Brasil (com a participação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e da Marinha do Brasil), França e Estados Unidos, com objetivo de estudar as interações atmosfera-oceano no Atlântico Tropical e os seus impactos na variabilidade climática regional em escalas sazonais, interanuais ou de período mais longo. Os objetivos científicos do projeto PIRATA são (DHN, 2009):

- Fornecer uma melhor descrição das variabilidades sazonal a interanuais no oceano superior e na interface oceano-atmosfera no Atlântico Tropical;
- Melhorar o entendimento das contribuições relativas dos diferentes componentes dos fluxos de calor na superfície e da dinâmica

oceânica para as variabilidades sazonal e inter-anual da TSM na bacia do Atlântico Tropical; e

 Gerar uma base de dados que possa ser utilizada para o desenvolvimento e melhoria de modelos de previsão do sistema climático acoplado do Atlântico.

Ao comparar a oceanografia convencional e a oceanografia por satélites, devese levar em conta o fato que a TSM medida *in situ* é pontual e instantânea, ao contrário da TSM medida por satélites, que é uma integração de dados em uma área de dezenas de quilômetros quadrados (área do pixel), não representando especificamente um ponto, mas sim a TSM média da área do pixel. A comparação entre os dois métodos é mostrada na Tabela 2.1:

	VANTAGENS	DESVANTAGENS
OCEANOGRAFIA CONVENCIONAL ( <i>in situ</i> )	<ul> <li>Verdade de mar</li> <li>Possibilidade de multi-coleta</li> <li>Amostragem tridimensional</li> <li>Capacidade de repetir ou alterar a amostragem</li> </ul>	<ul> <li>Baixa mobilidade dos navios</li> <li>Custo das campanhas</li> <li>Necessidade de calibração de diversos instrumentos</li> <li>Manutenção de estações</li> </ul>
OCEANOGRAFIA POR SATÉLITES	<ul> <li>Visão sinótica bidimensional</li> <li>Alta resolução espacial e</li> <li>temporal</li> <li>Baixo custo final</li> <li>Possibilidade de geração de</li> <li>séries temporais</li> </ul>	<ul> <li>Falta de amostragem em</li> <li>profundidade</li> <li>Validação dos dados</li> <li>Interação REM x atmosfera</li> </ul>

Tabela 2. 1 - Comparação entre a oceanografia convencional e a oceanografia por
satélites.

Fonte: Adaptado de Robinson (1985)

Segundo Kampel et al. (2004), embora a TSM estimada por satélite possua diferenças básicas com a TSM *in situ*, existe uma alta correlação entre os dois métodos de medidas, que possuem caráter complementar.

## 2.1.3 Medição da TSM através de satélites

A distribuição irregular das observações convencionais dos navios de oportunidade e dos navios de pesquisa constitui um problema no monitoramento da TSM dos oceanos. Isto resulta em grandes regiões, principalmente nos trópicos e no hemisfério sul, desprovidas de observações *in situ*. O uso de bóias ancoradas e de bóias de deriva ainda representa uma tímida contribuição para a melhoria desta situação (Araújo e Lorenzzetti, 1998).

Dentro desta perspectiva, a estimativa da TSM através do Sensoriamento Remoto torna-se cada vez mais importante. O Sensoriamento Remoto por satélite possibilita a aquisição de dados multiespectrais com alta resolução espacial e temporal, obtidos com grande regularidade e alcance de centenas de quilômetros (Hochleitner et al., 2005).

Na década de 1970, os primeiros radiômetros utilizados para aplicações oceanográficas foram o *Scanner Radiometer* (SR) e o *Very High Resolution Radiometer* (VHRR), desenvolvidos pela NOAA. Estes sensores apresentavam apenas dois canais: um na faixa do visível e outro no IR termal, centrado em 11 mm (Araújo e Lorenzzetti, 1998).

No final da década de 1970, com o lançamento dos satélites da série TIROS-N, carregando o sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), novo impulso foi dado a obtenção da TSM, devido a possibilidade de utilização de um canal termal adicional para a correção atmosférica. E a partir da década de 1980, com o desenvolvimento do sensor AVHRR-2, pela NOAA, iniciou-se efetivamente a obtenção de estimativas de TSM, de forma sinótica, sobre os oceanos.

Durante a década de 1990 e o início desta década, diversos sensores foram desenvolvidos e postos em operação visando à medição da TSM, no IR termal e na faixa de microondas. Isto proporcionou o acesso a uma grande quantidade de novos dados.

Os algoritmos multicanal *Multi-Channel Sea Surface Temperature* (MCSST) foram desenvolvidos visando minimizar o efeito da atenuação atmosférica sobre a temperatura de brilho, utilizando as diferenças de temperatura de dois ou três canais termais (Kampel et al., 2004). Conforme descrito por McClain et al. (1985), os primeiros algoritmos desenvolvidos assumiam que existe uma relação linear entre a diferença da TSM verdadeira e a medida da temperatura de brilho em um canal do sensor IR e a diferença entre as medidas de temperatura de brilho em canais conjugados (*split windows*); atualmente os canais utilizados neste cálculo são os canais 4 e 5 (para o sensor AVHRR).

As medidas de TSM dos satélites NOAA atualmente em operação são obtidas pelo sensor AVHRR/3, por meio de algoritmos específicos que calculam a TSM através de dados radiométricos obtidos na faixa do IR termal. Baseados no algoritmo MCSST original, foram desenvolvidos outros algoritmos, sendo atualmente operacional na NOAA o *Nonlinear Sea Surface Temperature* (NLSST). Uma discussão detalhada sobre a teoria e o desenvolvimento do algoritmo NLSST pode ser encontrada em Walton (1988) e Walton et al. (1998).

# 2.1.3.1 Medição da TSM através de satélites: IR termal

Toda matéria (que não esteja na temperatura de 0 K) emite radiação. Quanto mais quente a matéria, maior a sua emissão de energia, mais alta a freqüência e menor o comprimento de onda onde se concentra a emissão desta energia.

A energia total (em todo o espectro) emitida por um corpo negro (emissor perfeito) é dada pela lei de Stefan-Boltzmann:

39

$$M = \sigma T^4 \tag{2.1}$$

Onde  $\sigma = 5.699 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}.$ 

Pela lei do deslocamento de Wien, temos:

$$\lambda_{MAX} T = C_3 \tag{2.2}$$

Onde  $C_3 = 2897 \ \mu m.K^{-1}$ .

A Terra, devido a sua temperatura média da ordem de 300 K, emite radiação concentrada em comprimentos de onda próximos a 10  $\mu$ m, no IR termal. A quantidade de energia infravermelha emitida pela superfície do mar na direção de um radiômetro a bordo de um satélite ou aerotransportado é a base para que se estime a TSM (Pezzi e Souza, 2005).

A relação entre a exitância ou emitância espectral ( $M_{\lambda}$ ) e a temperatura (T) de um emissor perfeito (corpo negro) é dada pela Lei de Planck:

$$M_{\lambda} = L_{\lambda}\pi = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}$$
(2.3)

Onde:

- $M_{\lambda}$  Exitância espectral (W.m<sup>-2</sup>. $\mu$ m<sup>-1</sup>);
- $L_{\lambda}$  Radiância espectral (W.m<sup>-2</sup>. $\mu$ m<sup>-1</sup>);
- $\lambda$  Comprimento de onda ( $\mu$ m);
- T Temperatura absoluta (K);
- $C_1 3,74151 \times 10^8 \text{ W.m}^{-2} \mu \text{m}^{-4}$ ; e
- $C_2 1,43879 \times 10^4 \mu m.K$

A equação (2.3) é baseada nos princípios termodinâmicos ideais, que somente se aplicam se a superfície for um emissor ideal (corpo negro). As propriedades emissivas de uma superfície real são descritas pela emissividade espectral,  $\varepsilon_{(\lambda)}$  (Robinson, 1985):

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{M_{\lambda}(corpo \ real \ na \ temperatura \ T)}{M_{\lambda}(corpo \ negro \ na \ temperatura \ T)}$$
(2.4)

Uma vez que a radiância espectral ( $L_{\lambda}$ ) tenha sido medida pelos diferentes canais de um radiômetro IR, o inverso da equação da Lei de Planck, com T em função de M e  $\lambda$ , permite que se calcule a temperatura de um pixel como se o emissor fosse um corpo negro. Esta temperatura de brilho é a base dos algoritmos empíricos ou experimentais para a determinação da TSM via satélite (Souza et al., 2005).

Na prática, a temperatura de brilho medida pelo sensor difere um pouco da temperatura observada na superfície do mar, uma vez que a emissividade do oceano (superfície do mar) no infravermelho termal se aproxima de 1 e, também, por causa da atenuação atmosférica. Na banda do IR, a emissividade do oceano é de cerca de 0.98, variando pouco com o comprimento de onda entre 3 e 14  $\mu$ m (faixa de operação dos sensores IR) (Souza, 2005). Portanto, o oceano se comporta quase como um corpo negro ideal para esta faixa de comprimento de ondas.

Os radiômetros que operam na faixa do IR termal são desenvolvidos para operar em certas bandas do espectro eletromagnético, nas quais a atenuação da atmosfera é menor (janelas atmosféricas). Nas janelas atmosféricas, a transmitância atmosférica é alta, o que faz com que a energia eletromagnética emitida pela superfície dos oceanos seja pouco atenuada pelos constituintes atmosféricos e seja captada, em sua grande maioria, pelos sensores orbitais. A Figura 2.2 mostra a localização das referidas janelas atmosféricas:



Figura 2. 2 - Janelas atmosféricas na faixa do IR termal. Fonte: Adaptado de Sabins (1996)

Embora as janelas atmosféricas representem faixas espectrais onde a transmitância atmosférica é alta, os constituintes atmosféricos ainda assim absorvem e espalham parte da radiação que chegaria ao sensor, reemitindo-a em comprimentos de onda mais longos. Dos constituintes atmosféricos, os principais absorvedores de radiação são o dióxido de carbono, o vapor d´água e o ozônio (Souza et al., 2005).

# 2.1.3.2 Sensores em uso

<u>AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)</u> – O AVHRR é o sensor mais amplamente utilizado para as estimativas de TSM (Lucca, 2006). O sensor é um radiômetro imageador detector de radiação que pode ser utilizado para a determinação remota de cobertura de nuvens e determinação da TSM, entre outras possibilidades, operando desde a década de 1970 na série de satélites TIROS-N e NOAA Utiliza detectores sensíveis a diferentes comprimentos de onda, conforme mostrado pela Tabela 2.2:

SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL (µm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL	RESOLUÇÃO TEMPORAL	
	1 (Vermelho)	0,58 – 0,68			
	2 (IR próximo)	0,72 – 1,10 <i>μ</i> m	Máxima de	Diária	
AVHRR	3 (IR médio)	3,55 – 3,93 <i>μ</i> m	1,09 km		
	4 (IR termal) 10,30 – 11,30 μm no nadir		(no maximo)		
	5 (IR termal) 11,30 – 12,50 μm				
	1 (Vermelho)	0,58 – 0,68 <i>μ</i> m		Diária	
	2 (IR próximo)	0,72 – 1,10 <i>μ</i> m			
AVHRR/3	3ª (IR próximo)	1,58 – 1,64 <i>µ</i> m	Máxima de		
	3B (IR médio)	3,55 – 3,93 <i>µ</i> m	no nadir	(no máximo)	
	4 (IR termal)	10,30 – 11,30 <i>μ</i> m			
	5 (IR termal)	11,30 – 12,50 <i>μ</i> m			

Tabela 2. 2 – Características do sensor AVHRR.

Fonte : NOAASIS (2008)

Ao observar a mesma visada, o conjunto de detectores de diferentes comprimentos de onda permite análises multiespectrais para a maior precisão na definição de parâmetros hidrológicos, oceanográficos e meteorológicos. A comparação de dados de dois ou três canais é frequentemente utilizada para observar feições ou medir parâmetros ambientais. A última versão deste instrumento é o AVHRR/3, que possui seis canais e foi instalado, pela primeira vez, a bordo do satélite NOAA-15, lançado em maio de 1998. Sua acurácia média é estimada em 0.5 K (Barton, 1995) e a largura da faixa imageada é de aproximadamente 2.400 km.

Atualmente, o sensor AVHRR está instalado a bordo dos satélites de órbita polar METOP-A (cuja operação é de responsabilidade da *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT)), NOAA 15, 16, 17 e 18, sendo o satélite METOP-A o satélite principal para passagens diurnas (AM) e o NOAA-18 o satélite principal para as passagens noturnas (PM) (NOAASIS, 2008).

O algoritmo global implementado pelo National Environmental Satellite, Data and Information Service (NOAA/NESDIS) para utilização operacional nos sensores AVHRR é o NLSST, implementado em abril de 2001. Detalhes sobre o desenvolvimento do algoritmo são encontrados em Li et al. (2001). Para o horário diurno, o algoritmo utiliza a temperatura de brilho de dois canais (*split window*) para estimar a TSM, enquanto no período noturno utiliza a temperatura de brilho de três canais (*triple window*). O algoritmo, para utilização diurna, é o seguinte:

NLSST(day) = 
$$A_1 \times T_{11} + A_2 \times T_{sfc} \times (T_{11} - T_{12})$$
  
+  $A_3 \times (T_{11} - T_{12}) \times (\sec \theta - 1) + A_4$  (2.5)

Para a utilização noturna, o algoritmo é o seguinte:

NLSST(night) = 
$$B_1 \times T_{11} + B_2 \times T_{sfc} \times (T_{3.7} - T_{12}) + B_3 \times (\sec\theta - 1) + B_4$$
  
(2.6)

Onde T<sub>3.7</sub>, T<sub>11</sub> e T<sub>12</sub> são as temperaturas equivalentes ao corpo negro, em Kelvin, para os canais do AVHRR nos comprimentos de onda de 3,7  $\mu$ m, 11  $\mu$ m e 12  $\mu$ m; T<sub>sfc</sub> é uma estimativa *first guess* da TSM, derivada da análise global realizada pela NOAA/NESDIS, em um campo de TSM de grade de 1º x 1º, em graus Celsius e variando entre -2º e 28°C;  $\theta$  é o ângulo zenital do satélite e NLSST é a TSM calculada em graus Celsius (Li et al., 2001). Os valores dos coeficientes (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> e B<sub>4</sub>) são obtidos através da regressão entre medições realizadas por satélite e *in situ*, em posições coincidentes (*matchups*). Usualmente a NOAA produz e divulga um conjunto de coeficientes para cada satélite em operação, por certo período. Estes coeficientes não são modificados até que haja necessidade de alteração como, por exemplo, após a erupção do vulção Pinatubo em 1991 (Evans e Podestá, 1998).

Dois produtos de TSM são produzidos com os dados do sensor AVHRR, com resoluções espaciais diferentes: o *Local Area Coverage* (LAC), com resolução espacial de 1,1 km e o *Global Area Coverage*, com resolução espacial de 4 km. Li (2000) comparou a TSM derivada de ambas as resoluções e encontrou resultados mais próximos do observado na TSM derivada do produto GAC (acurácia uma ordem maior do que a TSM derivada do produto LAC). Este estudo afirma, ainda, que o dado LAC é mais ruidoso do que o dado global GAC, possivelmente devido à existência de fortes gradientes termais horizontais, cobertura de nuvens quentes e baixas e nevoeiro, fenômenos que não podem ser detectados pelos algoritmos de testes de nuvens existentes, e pelo efeito do aquecimento diurno.

May et al. (1998) apresentaram o processo operacional da obtenção da TSM através do sensor AVHRR, detalhando os algoritmos e mostrando como a TSM é referenciada ao conceito TSM *bulk* através da regressão com dados obtidos *in situ*.

# <u>ATSR e AATSR (Along/Advanced Along Track Scanning Radiometer)</u> – Lançado em 1991, a bordo do satélite europeu ERS-1, o sensor ATSR-1 foi um radiômetro imageador que proporcionou imagens da superfície terrestre enquanto o satélite esteve operacional, até 1996. O sucesso em sua utilização motivou o desenvolvimento dos sensores ATSR-2 atualmente em órbita no satélite ERS-2 e do AATSR (*Advanced Along Track Scanning Radiometer*), em órbita no satélite ENVISAT. Suas principais características são mostradas na Tabela 2.3:

FEIÇÃO	COMPRIMENTO	LARGURA DE	ATSR-1	ATSR-2
	DE ONDA (µm)	BANDA ( <i>n</i> m)		AATSR
Clorofila	0.55	20	Ν	S
Índice de Vegetação	0.67	20	N	S
Índice de Vegetação	0.87	20	N	S
Cobertura de Nuvens	1.6	0.3	S	S
TSM	3.7	0.3	S	S
TSM	10.8	1.0	S	S
TSM	12.0	1.0	S	S

Tabela 2. 3 – Características dos sensores ATSR-1 e 2 e AATSR.



Este sensor é composto por diversos conjuntos de detectores que realizam medidas sob diferentes ângulos de visada sobre uma mesma cena, combinado-as através de uma técnica chamada multivisada, permitindo, assim, a correção dos efeitos atmosféricos, estimando a atenuação atmosférica.

Uma diferença entre o ATSR/AATSR e o AVHRR é a maneira como a imagem é gerada. No AVHRR, a imagem é construída linha a linha no campo de visada do satélite para baixo, desde o nadir até um ângulo de  $\pm$  54° (varredura lateral). No caso do ATSR/AATSR, a visada é cônica e pode ser realizada no nadir ou visada para frente, chamada visada *forward* (Souza et al., 2005).



Figura 2. 3 – Geometria de visada dos sensores ATSR-1/2. Fonte: The ATSR Project (1999)

A resolução espacial das imagens do sensor ATSR é de 1 km x 1 km no terreno. Devido às características das órbitas e imageamento dos satélites ERS/ENVISAT, a resolução temporal é de, no mínimo, três dias e a faixa imageada, 500 km (EMBRAPA, 2004). A baixa resolução temporal é compensada pela excelente resolução radiométrica do sensor, que chega a 0,1K, cinco vezes melhor do que a do sensor AVHRR (Souza et al., 2005).

**MODIS** (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) - Inserido no programa *Earth Observing System* (EOS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e instalado a bordo dos satélites TERRA e AQUA, este sensor possibilita a aquisição de informações através de 36 bandas espectrais, posicionadas entre a faixa do visível e o IR termal (0,405 $\mu$ m a 14,385 $\mu$ m), com revisita entre um e dois dias. As bandas espectrais utilizadas para obtenção da TSM são listadas na Tabela 2.4.

NÚMERO DA	CENTRO DA	LARGURA DA	ΝΕΔΤ (Κ)
BANDA	BANDA (μm)	BANDA (μm)	
20	3,750	0,1800	0,05
22	3,959	0,0594	0,07
23	4,050	0,0608	0,07
31	11,030	0,5000	0,05
32	12,020	0,5000	0,05

Tabela 2. 4 - Bandas do IR utilizadas pelo MODIS para a medição da TSM.

Fonte: Adaptado de Brown e Minnet (1999)

A resolução espacial, para o cálculo da TSM, é da ordem de 1 km (Uiboupin e Sipelgas, 2007). Operando com 12 bits de quantização, possui acurácia radiométrica entre 0,45 K (médias semanais em latitudes médias) e 0,5 K (médias nos trópicos) (Brown e Minnet, 1999).

Dois algoritmos foram desenvolvidos pela Universidade de Miami para a obtenção da TSM a partir dos dados observados pelo sensor MODIS:

Algoritmo para o IR Termal (10 -12 μm):

modis\_sst = 
$$c_1 + c_2 * T_{31} + c_3 * T_{3132} + c_4 * (\sec(\theta) - 1) * T_{3132}$$
  
(2.7)

Onde  $T_{31}$  é a temperatura de brilho do canal 31,  $T_{3132}$  é a diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 32 e 31 e  $\theta$  é o ângulo zenital do satélite; c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub> e c<sub>4</sub> são coeficientes derivados de regressão e variam conforme o conjunto de dados utilizados para validação da TSM.

Algoritmo para o IR médio (3.7 – 4.2 mm):

$$SST_{i,k} = a + b * T_i + c * T_k + f(d)$$
(2.8)

Esta formulação é uma combinação de três canais, dois a dois, e i e k tomam os valores de 20, 22 e 23 (canais do MODIS); a e b são coeficientes derivados de regressão e f(d) é um termo funcional que reduz a propagação de erros.

<u>ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection</u> <u>Radiometer</u>) – Sensor instalado a bordo do satélite TERRA, é um radiômetro imageador dotado de 14 bandas, divididas em três subsistemas separados e independentes (Visível e Infravermelho próximo – VNIR, Infravermelho de Ondas Curtas – SWIR e Infravermelho Termal – TIR).

Para a obtenção de dados de TSM, é utilizado o subsistema TIR, que possui resolução espacial de 90 metros e uma faixa de imageamento de 60 km. Esta é a grande vantagem do sensor: sua altíssima resolução espacial, que o indica para a utilização em estudos em áreas costeiras. Possui, como desvantagem, a baixa resolução temporal (16 dias), o que limita sua utilização para trabalhos que demandem cobertura temporal contínua (Matsunaga, 1996). As características do subsistema TIR são mostradas na Tabela 2.5:

SUBSISTEMA	BANDA	FAIXA	RESOLUÇÃO	NÍVEL DE
		ESPECTRAL (µm)	ESPACIAL (m)	QUANTIZAÇÃO
	10	8,125 – 8,475		
	11	8,475 - 8,825		
TIR	12	8,925 – 9,275	90	12 bits
	13	10,25 – 10,95		
	14	10,95 – 11,65		

Tabela 2. 5 – Características do subsistema TIR do sensor ASTER.

Fonte: Adaptado de JPL/NASA, 2002

O algoritmo desenvolvido pelo *ASTER Science Team* e implementado para o cálculo da TSM é o seguinte:

$$T_{water \ surface} = a + \sum_{i=10}^{14} b_i T_i \tag{2.9}$$

Onde a e b<sub>i</sub> são coeficientes empíricos, determinados, por simulação, através da utilização de modelos atmosféricos e modelos de transferência radiativa e *Ti* é a temperatura de brilho na banda i – bandas 10 a 14. A acurácia do algoritmo é de aproximadamente 0,5K (Gillespie et al., 1998).

<u>GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)</u> – Série de satélites geoestacionários operada pela NOAA, posicionados em órbita equatorial geossíncrona, a cerca de 36.000 km da Terra. Atualmente estão operacionais os satélites GOES-10 (América do Sul), GOES-11 (Continente Americano - Oeste), GOES-12 (Continente Americano - Leste) e GOES-13 (reserva). A sua órbita geoestacionária proporciona uma grande vantagem em relação aos sensores de órbita polar: a altíssima frequência de recepção.

Os satélites GOES carregam, em sua carga útil, cinco sensores: um radiômetro imageador de cinco canais, que coleta dados de energia emitida e energia solar refletida pela superfície da terra e atmosfera; uma sonda, que proporciona dados para determinar a temperatura vertical e o perfil de mistura da atmosfera, além da temperatura da superfície e do topo das nuvens e distribuição de ozônio; um transponder SAR (*Search and Rescue*); um sistema de coleta de dados (*Data Collection System* – DCS) e o *Space Environment Monitor* (NOAASIS, 2008).

Utilizando imagens GOES, França e Carvalho (2000) estimaram a TSM com acurácia melhor que 1ºC, além de ter conseguido eliminar nuvens com grande

eficiência, devido às características inerentes aos satélites GOES: grande cobertura de imageamento e altíssima resolução temporal.

O radiômetro imageador do GOES possui cinco canais, sendo um na faixa do visível e quatro na faixa do IR (NOAASIS, 2008). As características de cada canal estão listadas na Tabela 2.6:

	1	2	3	4	5
CANAL	(VISÍVEL)	(O. CURTAS)	(MISTURA)	(IR1)	(IR2)
Comprimento de	0.55 – 0.75	3.80 - 4.00	6.5 - 7.00	10.20 –	11.50 –
Onda ( <i>µ</i> m)				11.20	12.50
IGFOV (nadir)	1 km	4 km	8 km	4 km	4 km
Acurácia do	Canais IR: M	enor que 1K.			
Sistema	Canal visível: 5% da irradiância máxima da cena				

Tabela 2.	6 –	Caracter	ísticas c	lo radio	ômetro	imagea	dor d	os s	satélites	GOES
	•	• • • • • • • • •								0.0 - 0

# Fonte: EMBRAPA (2004)

Os algoritmos de correção atmosférica utilizados para os dados GOES são semelhantes aos algoritmos NOAA para o sensor AVHRR (Souza et al., 2005).

Desde março de 2008 o CPTEC/INPE, através do acesso integral ao satélite GOES-10, gera imagens da América do Sul a cada 15 minutos, além de fornecer a cada duas horas perfis de temperatura e umidade da atmosfera, informações fundamentais à previsão de tempo.

Junto aos satélites da série METEOSAT, os satélites GOES completam a rede internacional de observação meteorológica da Terra.

**METEOSAT** (*Meteorological Satellite*) – Série de satélites meteorológicos geoestacionários mantidos desde 1995 pela EUMETSAT, organização que agrega 25 países europeus. A altitude dos satélites é mantida em 35.800 km.

A história desta série de satélites remonta a novembro de 1977, com o lançamento do METEOSAT-1. A primeira geração dos satélites METEOSAT (METEOSAT-1 a 7), proporcionaram observações meteorológicas contínuas, obtidas de 30 em 30 minutos, através do radiômetro imageador *Meteosat Visible and Infrared Imager* (MVIRI), que operava em 3 canais espectrais.

A segunda geração dos satélites METEOSAT (8 e 9, também denominados MSG -1 e 2, respectivamente) foi desenvolvida visando suprir as necessidades das previsões numéricas de tempo. Na carga útil do satélite, o antigo radiômetro foi substituído por um radiômetro imageador com maior quantidade de bandas (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* - SEVIRI):

CANAL	COMPRIMENTO DE	RESOLUÇÃO
	ONDA (µm)	
VIS 0.6	0.56 - 0.71	3 km
VIS 0.8	0.74 - 0.88	3 km
NIR 1.6	1.50 - 1.78	3 km
IR 3.9	3.48 - 4.36	3 km
WV 6.2	5.35 - 7.15	3 km
WV 7.3	6.85 - 7.85	3 km
IR 8.7	8.30 - 9.1	3 km
IR 9.7	9.38 - 9.94	3 km
IR 10.8	9.80 - 11.80	3 km
IR 12.0	11.00 - 13.00	3 km
IR 13.4	12.40 - 14.40	3 km
HRV	0.4 - 1.1	1 km

Tabela 2. 7 – Canais espectrais do SEVIRI.

Fonte: Adaptado de EUMETSAT (2008)

Atualmente, estão operacionais os satélites METEOSAT-7 (posicionado sobre o Oceano Índico), 8 (MSG-1 – sobre a Europa e a África) e 9 (MSG-2 – sobre a Europa e a África), enquanto o satélite METEOSAT-6 é mantido em reserva. A resolução temporal dos satélites é alta: enquanto o METEOSAT-7 fornece imagens da Europa a cada 30 minutos, o MSG-2 fornece imagens a cada 15 minutos e o MSG-1 fornece as imagens a cada 5 minutos (EUMETSAT, 2008).

A metodologia para obtenção da TSM através do sensor SEVIRI é similar à técnica utilizada no sensor ABI do satélite GOES.

# 2.1.4 Medição da TSM através de satélites: microondas

Os radiômetros passivos de microondas orbitais funcionam de modo análogo aos radiômetros que operam no IR. Operando normalmente na faixa de comprimentos de onda entre 1,5 mm e 300 mm (frequência de 1 a 200 GHz), os radiômetros medem a radiação termal emitida pela superfície do mar na faixa de microondas do espectro eletromagnético. Porém, nestes comprimentos de onda mais longos, a atenuação e o retroespalhamento atmosférico causado por partículas em suspensão (como partículas de água nas nuvens) são praticamente inexistentes, de forma que estes sensores são vantajosos para a medição da TSM em dias nublados. Entretanto, chuvas mais fortes podem tornar a atmosfera opaca nesta faixa de comprimento de ondas (Robinson, 1985). A Figura 2.4 mostra a janela atmosférica na faixa das microondas:



Figura 2. 4 – Janela atmosférica na faixa de microondas. Fonte: Adaptado de Sabins (2007)

A grande desvantagem deste tipo de sensor reside na pior resolução espacial em relação aos sensores IR. A emissão termal (emitância) da superfície do oceano, nestes comprimentos de onda, é mais fraca, tornando o sinal recebido pelos detectores mais fracos. Para conseguir com que o sinal recebido seja mais forte do que o ruído (*Noise Equivalent*  $\Delta T$ ), um largo campo de visada deve ser observado, o que acarreta a redução da resolução espacial do dado de TSM.

Além disto, a emissividade da água na faixa das microondas é baixa, da ordem de 0,3 e varia com as propriedades dielétricas da água e a rugosidade da superfície. Deste modo, as observações destes sensores devem ser corrigidos com dados de absorção e emissão atmosférica, salinidade do oceano e estado do mar (Robinson, 1985).

A emissão termal na faixa de microondas é controlada pela lei de Planck e pode ser escrita, para um emissor real, como:

$$M_{\lambda}(\theta,\phi) = \frac{2h.c^{2}.\varepsilon(\theta,\phi)}{\lambda^{5}.[\exp(h.c/\lambda k.T) - 1]}$$
(2.10)

Onde:

- $M_{\lambda}$  Exitância espectral no comprimento de onda  $\lambda$  (W.m<sup>-2</sup>. $\mu$ m<sup>-1</sup>.  $\Omega$ <sup>-1</sup>);
- h Constante de Planck =  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s};$
- $c Velocidade da luz = 3 \times 10^8 m.s^{-1};$
- T Temperatura do corpo real (K);
- k Constante de Boltzmannn =  $1.38 \times 10^{-23}$  J.K<sup>-1</sup>;e
- $\epsilon(\theta, \Phi)$  Emissividade na superfície na direção  $(\theta, \Phi)$  zênite/azimute.

Para a radiometria na faixa de microondas, a radiância espectral ou brilho é normalmente expressa por B (por unidade de freqüência), ao invés de M (por unidade de comprimento de onda). Como f = c/ $\lambda$ , então:

$$B_{f}(\theta,\phi) = \frac{2h.c}{\lambda^{3}} \cdot \frac{\mathcal{E}(\theta,\phi)}{[\exp(h.c/\lambda.k.T) - 1]}$$
(2.11)

De onde se desenvolve:

$$B_f(\theta,\phi) = \frac{2h \cdot f^3}{c^2} \cdot \frac{\mathcal{E}(\theta,\phi)}{[\exp(h \cdot f / k \cdot T) - 1]}$$
(2.12)

Como na faixa de frequências de microondas, hf/kT <<< 1 e exp hf/kT  $\geq$  1 + hf/kT, então:

$$B_{f}(\theta,\phi) = \frac{2kf^{2}.T.\varepsilon(\theta,\phi)}{c^{2}} = \frac{2k.T.\varepsilon(\theta,\phi)}{\lambda^{2}}$$
(2.13)

Ou seja, em microondas, a radiância, ou brilho, é linearmente proporcional à temperatura do emissor, o que fornece um resultado mais simples do que o resultado da radiometria no IR, embora possa haver uma grande variação em relação à direção, dependendo da emissividade  $\varepsilon$  ( $\theta$ , $\Phi$ ) (Robinson, 1985).

## 2.1.4.1 Sensores de microondas em uso

<u>SSM/I (Special Sensor Microwave Imager)</u> – Radiômetro imageador a bordo dos satélites de órbita polar do *Defense Meteorological Space Program* (DMSP) da NASA. Em órbita desde 1987, o SSM/I possui sete canais, operando em quatro frequências: 19,35 GHz, 22,235 GHz, 37 GHz e 85,5 GHz, três dos quais duplamente polarizados (o canal de 22,235 GHz contém apenas polarização vertical).

Os dados provenientes do sensor SSM/I são utilizados para a obtenção de parâmetros geofísicos, entre eles a TSM. Os algoritmos estatísticos utilizados para o cálculo da TSM trabalham com a média ou a diferença entre a temperatura de brilho de diferentes canais. Sua desvantagem consiste em não possuir canais com frequências menores, o que faz com que a correção atmosférica seja menos eficaz (RSS, 2008).

De acordo com Wentz (1997), a análise detalhada dos erros indica uma acurácia entre 0.5 e 1 K na obtenção da TSM, com uma resolução espacial de 50 km. Segundo o mesmo autor, na ausência de chuvas, existe uma relação simples e única entre a temperatura de brilho do oceano, medida pelo SSM/I, e o vento próximo à superfície (W), o vapor d'água colunar (V) e a água líquida colunar nas nuvens (L). Esta relação é dada pela equação da transferência radiativa. Para cada pixel, o algoritmo do SSM/I calcula os valores de W, V e L, além da direção do vento, de forma a substituir no modelo da temperatura de brilho e, assim, determinar a TSM.

O algoritmo operacional para este sensor é descrito abaixo (modelo isotrópico):

$$F(W,V,L) = T_{BU} + \tau [ET_S + (1-E).(\Omega T_{BD} + \tau T_{BC})]$$
(2.14)

Onde F(W,V,L) é o modelo isotrópico da temperatura de brilho em um canal,  $T_{BU}$  e  $T_{BD}$  são as temperaturas de brilho atmosféricas (BU – radiação atmosférica ascendente; BD – radiação atmosférica descendente e que foi refletida na direção contrária pela superfície do oceano), E é a emissividade da superfície do oceano,  $T_{BC}$  é a temperatura da radiação cósmica de fundo, de valor igual a 2.7 K.O termo  $\Omega$  é um termo direcional, incluído devido ao fato de uma superfície rugosa refletir a radiação em diferentes direções, e não especularmente;  $T_S$  é a temperatura da superfície do mar, em K, obtida através de observação *in situ (first guess)*;  $\tau$  é a transmitância atmosférica.

<u>AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer)</u> – O AMSR-E é um radiômetro de varredura cônica que possui 12 canais, em seis frequências distintas, variando entre 6.9 GHz e 89 GHz. As radiações polarizadas verticalmente e horizontalmente são medidas separadamente em cada frequência (MSFC, 2008). As características do sensor estão listadas na Tabela 2.8.

FREQUÊNCIA	6.925	10.65	18.7	23.8	36.5	89.0
CENTRAL (GHZ)						
LARGURA DE BANDA	350	100	200	400	1000	3000
(MHz)						
SENSIBILIDADE (K)	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	1.1
RESOLUÇÃO	56	38	21	24	12	5.4
ESPACIAL MÉDIA (km)						
IFOV (km X km)	10 x 10	5 x 5				
LARGURA DO FEIXE	2.2	1.4	0.8	0.9	0.4	0.18
(º)						

Tabela 2. 8 – Características do sensor AMSR-E.

Fonte: Marshall Space Flight Center (MSFC), 2008

Em órbita desde 2002 no satélite AQUA, o AMSR-E possui resolução espacial que pode variar entre 5,4, 12, 21, 38 e 56 km, de acordo com a frequência utilizada. Seus dados são obtidos em médias diárias, de cinco dias, semanais e mensais. A acurácia do sensor é de 0.5 K (Wentz e Meissner, 2000).

O algoritmo para o oceano é baseado no modelo de transferência radiativa, que consiste em um modelo de absorção para o vapor d'água, oxigênio e água líquida nas nuvens, além de um modelo de emissividade da superfície do oceano, que parametriza a emissividade em função da temperatura da superfície, salinidade, velocidade e direção do vento (Wentz e Meissner, 2000).

O algoritmo opera em dois estágios: no estágio inicial, há uma estimação inicial da TSM e da intensidade do vento, através das seguintes expressões:

$$p_{1j} = a_{0j} + \sum_{i=1}^{10} a_{ij}t_i + b_{ij}t_i^2$$
(2.15)

Para todos os canais, exceto os canais de 24 GHz:

$$t_i = T_{Bi} - 150 \tag{2.16}$$

Para os dois canais de 24 GHz:

$$t_i = -\ln(290 - T_{Bi}) \tag{2.17}$$

Onde j = 1 significa TSM e j = 2 intensidade do vento. O número 1 antes do j significa que este é o primeiro estágio da medida. Os termos a e b são coeficientes de regressão determinados através do modelo de transferência radiativa; TBi significa a temperatura de brilho para o canal i. Embora esta primeira estimativa seja boa, ela não é capaz de representar a relação nãolinear existente entre a temperatura de brilho, a TSM e a intensidade do vento. No segundo estágio, são utilizados algoritmos localizados, derivados de valores de TSM e de intensidade do vento de referência. Estes valores variam entre –3 e 34º C para TSM e 0 e 37 m/s para a intensidade do vento. Esta é uma forma de refinar o algoritmo e aumentar sua precisão. A forma final dos algoritmos localizados é a seguinte:

$$p_{jkl} = c_{0jkl} + \sum_{i=1}^{10} c_{ijkl} t_i$$
(2.18)

Onde k varia de -3 a 34 e i varia de 0 a 37, estabelecendo referenciais para a variação da TSM e da intensidade do vento. O algoritmo do segundo estágio é encontrado através da interpolação linear dos resultados dos algoritmos localizados que estão na vizinhança das medições realizadas no primeiro estágio:

$$p_{2j} = \sum_{k=k_0}^{k_0+1} \sum_{l=l_0}^{l_0+1} w_{k-k_0, l-l_0} p_{jkl}$$
(2.19)

<u>TMI (*Tropical Rainfall Measuring Mission Microwave Imager*)</u> – Sensor a bordo do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), da NASA, fazendo parte de um programa conjunto com a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*). É um radiômetro passivo, similar ao SSM/I, porém possui canais com menor frequência (10.7 GHz), ideais para a obtenção da TSM, uma vantagem em relação ao sensor SSM/I. O algoritmo operacional desenvolvido para este radiômetro é semelhante ao desenvolvido para o sensor AMSR-E.

# 2.2 Bases de dados de TSM

Atualmente, existem diversos conjuntos de dados globais de TSM disponíveis para consulta e utilização pela comunidade científica. Estas bases diferenciamse pelo tipo de dados que as compõem (dados *in situ*, dados obtidos por sensores orbitais ou dados combinados), pela resolução espacial (entre 0,03º e 5º em latitude e longitude) e, entre as bases que utilizam sensores orbitais, pelas faixas espectrais utilizadas (IR, microondas ou IR e microondas combinados) na determinação da TSM.

Um desafio que se impõe a estas bases de dados é a acurácia na representação de regiões oceânicas com acentuado gradiente horizontal de temperatura, tais como os encontrados em regiões de frentes termais. A região da ressurgência nas proximidades de Cabo Frio e a frente interna (*inshore front*) da Corrente do Brasil (CB), nas proximidades da quebra da Plataforma Continental, são exemplos de áreas com estas características na costa sudeste-sul brasileira. A representação espacial imprecisa da TSM pode contribuir para o mascaramento das feições oceanográficas presentes na região.

Neste estudo, são apresentadas (no capítulo 3) três bases de dados de TSM. Duas bases são de alta resolução espacial e temporal, disponíveis para acesso por meio digital: RTG\_SST\_HR e OSTIA, e uma terceira base de resolução espacial mais baixa, RTG\_SST, utilizada atualmente como condição de contorno do modelo ETA operado pelo CPTEC/INPE.

#### 2.3 Modelo de previsão numérica do tempo

A base da previsão numérica do tempo (PNT) foi formalizada por Vilhelm Bjerkness, em 1919, ao sugerir que a previsão do tempo fosse vista como um problema de condições iniciais: se fosse possível descrever o estado presente da atmosfera e se soubéssemos as equações matemáticas que governam o movimento, então a previsão correta seria realizada daquele ponto em diante (Reed, 1977).

Porém, somente com o advento dos computadores, na década de 1950, foi possível tornar a previsão numérica uma realidade. Em estudos conjuntos,

equipes de meteorologistas e matemáticos na *Joint Operational Numerical Weather Prediction Unit*, nos Estados Unidos, começaram a produzir rotineiramente mapas de previsão computadorizados, utilizando computadores IBM 701 (Moura, 1996).

Segundo Tomé (2004), um modelo de PNT é um conjunto de equações físicomatemáticas, numericamente integradas em um computador, que são aplicadas para simular ou prever o comportamento da atmosfera. Este tipo de modelo resolve um complexo sistema de equações matemáticas baseadas em leis físicas (da termodinâmica e dinâmica dos fluidos), de modo a prever o estado futuro da atmosfera partindo de condições iniciais específicas. Em adição, outros processos, como a física da radiação, a física das nuvens, a precipitação e trocas turbulentas à superfície são representados no modelo, usando esquemas de parametrizações, uma vez que alguns destes processos não resolvidos explicitamente.

Os modelos de PNT podem ser classificados de acordo com sua escala espacial. Souza (2005) define os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) como ferramentas numéricas que tentam reproduzir detalhadamente os fenômenos físicos da atmosfera no domínio global, que constituem uma parte do sistema climático.

Os MCGA têm resolução espacial mais baixa, normalmente da ordem de centenas de quilômetros e visam simular o comportamento geral da atmosfera sobre uma área extensa, sendo capazes de resolver apenas fenômenos meteorológicos de grande escala. Por outro lado, os modelos regionais possuem resolução espacial mais alta, de poucos quilômetros, identificando com maior detalhamento o comportamento da atmosfera sobre uma região específica, sendo capazes de identificar fenômenos meteorológicos de pequena escala (Tomé, 2004). O domínio destes modelos, como o próprio nome diz, são pequenas regiões do globo. Em alguns casos eles podem cobrir domínio de uma grande metrópole ou até a extensão de um continente, como é

61

o caso da configuração usada neste estudo, que cobre toda a América do Sul, como será visto em mais detalhes no item 3.2.3.

#### 2.3.1 O funcionamento do modelo de previsão numérica do tempo

Basicamente, os modelos de PNT funcionam em três fases: préprocessamento, processamento e pós-processamento.

No pré-processamento, são geradas as condições iniciais e condições de contorno que serão utilizadas no processamento. Estas informações descrevem o estado inicial da atmosfera e os parâmetros associados no início da rodada do modelo. Descrevem, também, o contorno físico que será passado às equações do modelo, como, por exemplo, a TSM e a umidade do solo, que são condições inferiores de contorno. É importante que estas condições representem de forma fiel as condições reais no horário considerado para o início da previsão, pois permitirão a geração de melhores resultados pelo modelo.

No processamento, o modelo gera as previsões, de acordo com as configurações de parametrizações físicas e região de interesse escolhidas previamente pelo usuário. Dentre as opções possíveis de configuração estão a seleção do domínio e resoluções horizontal (espaçamento entre os pontos de grade) e vertical (número de camadas atmosféricas do modelo). Nesta etapa são geradas as previsões do modelo.

No pós-processamento o modelo pode gerar variáveis físicas (por exemplo os fluxos de calor, temperatura do ar em diversos níveis e outras) que são derivadas das variáveis prognósticas do modelo (que são, por exemplo, temperatura, componentes zonal e meridional do vento e altura geopotencial em todos os níveis do modelo). Nesta fase também são gerados arquivos de saída do modelo em formatos legíveis para outros softwares. No modelo ETA, nesta fase também pode ser selecionada a opção de processar os dados para

utilização em uma simulação aninhada (do inglês *nesting*). Este tipo de simulação utiliza as condições geradas pelo modelo no domínio maior e refaz a previsão para uma área menor usando uma melhor resolução espacial.

## 2.3.2 A TSM em um modelo de previsão numérica

Para a rodada do modelo regional de PNT, devem ser inseridos dados iniciais, de contorno inferior e de fronteira lateral e vertical que cobrem todos os pontos do domínio do modelo regional. Estas condições são obtidas através da rodada de modelos de previsão do tempo globais. A previsão realizada por estes modelos serve de informação inicial e de fronteira para modelos regionais. A representação errônea destas condições é o maior fator de erro nas previsões dos modelos numéricos (UCAR, 2008).

Neste contexto, como condição de contorno inferior, insere-se a TSM. A representação errônea do campo de TSM usado para inicializar e forçar o modelo ao longo do período de processamento poderá acarretar o mascaramento de feições oceanográficas importantes para o modelo, como vórtices e outras feições de mesoescala, propagando erros por todo o processamento, ou mesmo inserir perturbações errôneas da rodada do modelo, contribuindo para a diminuição de sua habilidade.

# 2.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A Zona de Convergência do Atlântico Sul é uma banda de nebulosidade convectiva que se estende de NW a SW sobre a América do Sul. Associada primariamente com o verão, esta banda pode aparecer na primavera e, em algumas vezes, no outono, tendo como principal característica uma forte convecção sobre a América do Sul tropical e o deslocamento de sistemas frontais de latitudes médias em direção ao NE, ao longo da costa do Brasil (Quadro, 1994).

Estudos de Nobre (1988), Quadro (1994) e Rocha e Gandu (1996) descrevem as características principais da ZCAS, relacionando-a a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a variabilidade da precipitação no Brasil durante os meses de verão no hemisfério sul. Estas características são:

- Estender-se para leste, nos subtrópicos, a partir de regiões tropicais específicas de intensa atividade convectiva;
- Formar-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semi-estacionários;
- Ser zonas de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica; e
- Estarem localizadas na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial.

O monitoramento da ZCAS foi iniciado por este ser um dos mais importantes fenômenos de escala intra-sazonal que ocorre durante o verão na América do Sul, com episódios que podem causar enchentes principalmente nas regiões sudeste, centro-oeste e parte do nordeste do país (Rocha e Gandu, 1996).

Segundo Kousky (1988), a ZCAS pode ser identificada climatologicamente, na composição de imagens de satélite IR diárias, como uma banda de nebulosidade de orientação NW/SE, estendendo-se desde o sul da Amazônia até a região central do Atlântico Sul. Outra forma de identificar a ZCAS é através dos padrões de distribuição da radiação de onda longa emergente (ROL). (Macedo Jr. et al., 2008).

Segundo Rocha e Gandu (1996), os mecanismos que originam e mantém a ZCAS ainda não estão totalmente definidos. Estudos observacionais e

numéricos indicam que esse sistema sofre influências de fatores remotos e locais. Aparentemente as influências remotas, tal como a convecção na Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), modulam o início, duração e localização da ZCAS, enquanto fatores locais determinam a ocorrência deste fenômeno, ou seja, sem eles o sistema provavelmente não existiria.

Ainda segundo Rocha e Gandu (1996), diversos podem ser os fatores locais, porém, o único consenso é quanto ao papel da convecção na região Amazônica. Em estudo observacional das Zonas de Convergência Subtropicais, Kodama (1993) mostrou que estas zonas aparecem somente quando duas condições de grande escala são satisfeitas: o escoamento de ar quente e úmido, em baixos níveis, em direção às altas latitudes e um jato subtropical em altos níveis fluindo em latitudes subtropicais. O escoamento em baixos níveis intensifica a convergência de umidade enquanto, combinado com o jato subtropical, intensifica a frontogênese no campo da temperatura potencial equivalente, influindo na geração da instabilidade convectiva. O estabelecimento desse padrão de circulação está claramente associado à atividade convectiva na Amazônia e Brasil Central, que intensifica o jato subtropical em altos níveis.

## 2.5 O Balanço Global de Calor

A principal fonte de energia do sistema climático global, composto pela circulação atmosférica e oceânica, é a radiação solar introduzida na forma de radiação de ondas curtas (Sato, 2005). A radiação gera variações de densidade na atmosfera e no oceano, colocando-os em constante movimento e forçando-os a interagir.

Existe um balanço praticamente exato entre a quantidade de radiação solar incidente no topo da atmosfera e a quantidade de radiação terrestre retornada na direção do espaço (concentrada na faixa do IR). Isto é comprovado pela inexistência de indícios de que a temperatura estaria aumentando no Equador

e diminuindo nos pólos, através dos séculos. Caso o sistema apresentasse déficits ou excedentes de energia, o sistema Terra-atmosfera estaria progressivamente se aquecendo ou se resfriando (Grimm, 1999). Em outras palavras, significa que o saldo radiativo planetário, em médio prazo, deve ser nulo, embora uma pequena parte da radiação proveniente do Sol seja consumida na manutenção da atmosfera e oceano (Varejão-Silva, 2005).

A irradiância média da radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre, num plano perpendicular aos raios solares, no topo da atmosfera, é de 1,36 x  $10^3$  W m<sup>-2</sup>, valor denominado Constante Solar – S. (Grimm, 1999).

A radiação solar é dominada pelos comprimentos de onda do ultravioleta, visível e IR próximo. Conforme mostrado na Figura 2.5, somente em torno de 25% da energia incidente no topo da atmosfera penetra diretamente na superfície sem nenhuma interferência da atmosfera.



Figura 2.5 – Distribuição percentual da radiação solar incidente.

Fonte: Adaptado de Grimm (1999)

A radiação solar não é distribuída igualmente sobre a Terra, devido à esfericidade do planeta. Ela é máxima no Equador e diminui na direção dos polos (Sato, 2005). Esta distribuição desigual é responsável pelas correntes oceânicas e pelo vento que, transportando o excesso de calor depositado em baixas latitudes para as altas latitudes, procuram atingir deste modo um balanço de energia (Grimm, 1999).

# 2.6 Fluxo de Calor no Oceano

A TSM é um importante parâmetro para estimar os fluxos de calor no oceano. O cálculo dos fluxos é realizado através de parametrizações *bulk*, explicadas adiante neste capítulo, e requer a TSM e outros parâmetros como dados de entrada (Robinson, 1985).

As frentes termais oceânicas podem induzir variações significativas de temperatura na estrutura vertical de camada na interface atmosfera-oceano, assim como no momentum e nos fluxos de calor (Lorenzzetti et al., 2008, Pezzi et al., 2009). Na região de estudo, isto é observado na região da Corrente do Brasil, nas proximidades da quebra da Plataforma Continental.

O balanço de calor pela superfície do oceano pode ser expresso pela fórmula (Sato, 2005):

$$Q_T = Q_i + Q_b + Q_l + Q_s$$
 (2.20)

Onde:

Q<sub>T</sub> – Fluxo de calor total na interface;

- Q<sub>i</sub> Radiação solar de ondas curtas;
- Q<sub>b</sub> Radiação emitida em ondas longas;
- Q<sub>I</sub> Fluxo de calor latente; e
- Q<sub>s</sub> Fluxo de calor sensível.

O fluxo de calor total é maior sobre os oceanos do que sobre os continentes, devido ao albedo oceânico ser menor do que o albedo da superfície terrestre, além do fato de a temperatura do oceano tropical ser menor do que a temperatura do continente, perdendo menos radiação longa. Sobre os oceanos, a perda de calor latente é maior do que a perda de calor sensível, enquanto nos continentes, as duas se equivalem (Weykamp, 2008).

# 2.6.1 Radiação Solar de Ondas Curtas (Q<sub>i</sub>)

É a radiação solar incidente, de vital importância para a biosfera e o clima (Sato, 2005). O Sol, com temperatura característica de 6.000K, emite energia concentrada na faixa visível do espectro eletromagnético, no comprimento de onda de 0,48 µm. Da radiação de ondas curtas incidente na superfície do oceano, uma parte é refletida, quantificada pelo albedo, e o restante penetra através da superfície (Castelão, 2002).

## 2.6.2 Radiação emitida em ondas longas (Q<sub>b</sub>)

O planeta Terra, dada sua temperatura média, irradia energia termal numa faixa do espectro distinta da energia recebida do Sol. Esta energia concentrase na faixa do IR termal (aproximadamente 10 µm) e implica em uma perda de energia de aproximadamente 66 W.m<sup>-2</sup> sobre os oceanos, valor que pouco varia latitudinalmente (Sato, 2005). Parte desta energia emitida é refletida novamente pela atmosfera de volta ao oceano, reaquecendo-o, o que faz com que a atmosfera exerça um papel preponderante no estabelecimento da TSM de interface.

# 2.6.3 Fluxo de calor latente (Q<sub>I</sub>)

O calor latente é a energia necessária para que aconteça uma mudança de fase de uma substância (Pidwirny, 2006). Neste caso, sobre os oceanos, a evaporação e a precipitação de água.

A água, para evaporar, necessita de uma quantidade de energia chamada calor latente de vaporização. Quando o vapor se condensa na atmosfera, esta libera a energia anteriormente absorvida. Esse fluxo é chamado de fluxo de calor latente e deve ser unidirecional e negativo, do oceano para atmosfera, de acordo com sua definição (Castelão, 2002).

Os fatores que influenciam a variabilidade do fluxo de calor latente são, primariamente, a intensidade do vento e a umidade relativa. Ventos fortes e ar seco favorecem a evaporação da água, muito mais do que ventos fracos combinados com umidade relativa alta (Sato, 2005). Sobre os continentes, o calor latente apresenta valores tipicamente baixos, devido à limitação no suprimento de água disponível para mudança de estado físico (Pidwirny, 2006).

### 2.6.4 Fluxo de calor sensível (Q<sub>s</sub>)

O processo físico de transferência de calor sensível no oceano é complexo e dependente de parâmetros influenciados pela diferença entre a temperatura da superfície do mar e a temperatura do ar e pela velocidade do vento (Sato, 2005). O fluxo de calor sensível, nos oceanos, deve-se à diferença de temperatura entre a superfície dos oceanos e a parcela da atmosfera imediatamente adjacente. Normalmente o aquecimento da atmosfera ocorre de baixo para cima, ou seja, o oceano aquece a atmosfera. Deste modo, esperase encontrar em média um fluxo negativo, no sentido do oceano para a atmosfera, até que se atinja um equilíbrio térmico (Castelão, 2002).

## 2.6.5 Balanço de calor na superfície

É o resultado da soma dos termos do lado direito da equação 2.20, representando o balanço de calor através da interface atmosfera-oceano. Há um ganho líquido de calor na região equatorial, na costa oeste da África, costa oeste do continente americano e, por todos os oceanos, nas proximidades da

latitude 60°S, enquanto há uma perda líquida de calor ao sul da Ásia, na Oceania, a leste América do Norte e ao norte da Europa (Pidwirny, 2006).

### 2.7 Estimativas do Fluxo de Calor

Através do oceano global, uma quantidade significativa de transferência de calor e vapor d'água ocorre na interface atmosfera-oceano. Estas trocas de calor e vapor são responsáveis, posteriormente, por diversos processos oceânicos, entre eles a redistribuição de energia (Jo et al., 2004). Estimar os fluxos de calor latente e sensível torna-se essencial para a compreensão dos mecanismos físicos que regem a interação atmosfera-oceano, bem como tem aplicações na previsão do tempo e previsão climática (Jo et al., 2004).

# 2.7.1 Parametrização Bulk

Pela parametrização *bulk*, os fluxos de calor podem ser determinados através de coeficientes de transferência que relacionam os fluxos às variáveis mensuradas anteriormente. Desta forma, os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (L) são parametrizados por (Liu et al., 1979):

$$H = c\rho C_{H} (U - U_{S})(T_{S} - T)$$
(2.21)

$$E = \rho C_{E} (U - U_{S}) (Q_{S} - Q)$$
(2.22)

Onde:

 $\rho$  – Densidade do ar;

C<sub>H</sub> – Coeficiente de Troca de Calor Sensível;

C<sub>E</sub> – Coeficiente de Troca de Calor Latente;

- c Calor específico isobárico do ar;
- U Velocidade do vento em uma altura de referência;
- T Temperatura do Ar em uma altura de referência; e
Q – Umidade específica em uma altura de referência.

Os parâmetros com índice "s" referem-se à interface atmosfera-oceano.

Liu et al. (1979) propuseram o desenvolvimento de um modelo para a camada de interação atmosfera-oceano, que incluía subcamadas interfaciais dos dois lados da interface de interação, onde as forçantes moleculares do transporte de calor seriam importantes. O cálculo dos fluxos é baseado na renovação intermitente dos fluidos na superfície e no perfil logarítmico das variáveis Q, U e T. Os coeficientes de transferência *bulk* podem ser determinados pela integração dos perfis da velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa.

O método numérico para determinação dos coeficientes de transferência *bulk* proposto por Liu et al. (1979) foi corroborado por resultados provenientes de experimentos de laboratório e por trabalhos de campo no oceano Atlântico Tropical (Castelão, 2002). Entre os trabalhos dedicados à evolução do método numérico anteriormente citado, destacam-se os conduzidos por Fairall et al. (1996) e Fairall et al. (2003).

Esta parametrização é utilizada pelo modelo ETA para o cálculo dos fluxos de calor na interface atmosfera-oceano (Black, 1994).

## 2.8 O Cálculo do Total de Água Precipitável

O total de água precipitável é um parâmetro hidrometeorológico definido como a quantidade total de vapor d'água contido em uma coluna vertical de uma seção reta de área A e altura h (estendendo-se entre dois níveis especificados – a superfície da Terra e o topo da atmosfera) (AMS, 2000).

O perfil de conteúdo de vapor d'água é uma variável fundamental para a descrição da atmosfera em modelos de PNT. O conhecimento deste parâmetro

é importante para várias aplicações, como a assimilação de dados e métodos de correção atmosférica (Miranda et al., 2006).

Diversos métodos desenvolvidos para calcular este parâmetro são encontrados na literatura, entre eles o método de Harrison (Harrison, 1970), Leckner (Leckner, 1978), Iqbal (Iqbal, 1983) e Won (Won, 1997). Em comum, estes métodos têm a dependência da pressão atmosférica ao nível do mar, temperatura do ar e umidade relativa.

O modelo ETA utiliza o seguinte cálculo para integrar o total de água precipitável:

$$\mathsf{TAP} = \int_{0}^{topo} (Q + CLDW) . dP \times \frac{HTM}{G}$$
(2.23)

Onde:

TAP – Total de Água Precipitável, em kg.m<sup>-2</sup>;

0 - camada mais baixa do modelo ETA (interface oceano-atmosfera);

topo - camada mais alta do modelo ETA;

Q – Umidade específica da camada (kg/kg);

CLDW – Água líquida em nuvens na camada (kg/kg);

dP – espessura da camada em unidade de pressão (infinitesimal na integração);

HTM - Altura da máscara de nuvens na camada (m); e

 $G = 6,67428(67) \times 10^{-11}$   $m^3 kg^{-1}s^{-2}$  (Constante Gravitacional).

Este método foi desenvolvido primeiramente por Russ Treadon, em 1992, no NCEP, sendo inserido no modelo através de uma subrotina, no pósprocessador do modelo ETA.

# **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

## 3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a costa sudeste-sul brasileira, entre as latitudes de 18ºS e 29ºS e longitudes de 32ºW a 50ºW, correspondendo ao trecho do litoral situado entre as proximidades da cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, e as proximidades da cidade de Laguna, no estado de Santa Catarina (Figura 3.1). Esta região foi escolhida por reunir feições dinâmicas como a ressurgência de Cabo Frio e a frente da Corrente do Brasil, nas proximidades da quebra da Plataforma Continental, também próximo a Cabo Frio.



Figura 3. 1 – Área de Estudo.

Neste trecho do litoral brasileiro, a orientação da costa segue o padrão NE-SW, com duas exceções: a região situada entre o cabo Frio e o oeste da baía da Ilha Grande, no estado do Rio de Janeiro, com orientação E-W e a região situada entre a cidade de São Francisco do Sul e o cabo de Santa Marta Grande, no estado de Santa Catarina, de orientação geral N-S.

As isóbatas dispõem-se paralelamente à linha de costa e a Plataforma apresenta topografia suave. Existem poucas ilhas, a maioria situando-se nas proximidades da costa, como a ilha Grande, ilha de São Sebastião, ilha de Cabo Frio e ilha de Santa Catarina. No interior das baías apresentam-se diversas pequenas ilhas. A profundidade de quebra da Plataforma Continental varia entre 120 m e 180 m (Assireu, 1998).

## 3.2 Base de dados utilizados

Foram utilizados dados diários de TSM das seguintes bases:

- Real-Time, Global Sea Surface Temperature (RTG\_SST) Dados produzidos pelo NCEP, com resolução espacial de 0,5° (aproximadamente 55 km), no período de 15 de junho de 2007 a 30 de junho de 2008;
- Real-Time, Global Sea Surface Temperature, High-Resolution (RTG\_SST\_HR) – Dados produzidos pelo NCEP, com resolução espacial de 0,083º (aproximadamente 10 km), no período de 15 de junho de 2007 a 30 de junho de 2008; e
- Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) Base de dados disponibilizada pelo United Kingdom Meteorological Office (UKMO) e distribuídos à comunidade científica através do projeto GHRSST-PP, com resolução espacial de 0,05º (aprox. 6 km), para o período de 15 de junho de 2007 a 30 de junho de 2008.

Para a geração das médias mensais de TSM a partir dos dados diários de cada uma das bases foi utilizado o programa *GrADS*, versão 1.8s11, instalado em um computador portátil com o sistema operacional *Linux Ubuntu* versão 8.04.1. O programa *GrADS* também foi utilizado na operação e comparação entre os dados de TSM das três bases em estudo.

O modelo de PNT utilizado no estudo foi o modelo regional ETA, rodado no CPTEC/INPE.

Para a comparação dos resultados das rodadas do modelo realizadas no estudo, foram utilizados dados do NCEP/NCAR REANALYSIS (Kalnay et al., 1996). Este conjunto de dados consiste em uma análise global que começa em 1948, utilizando um único sistema de análise para dados fixos. Os dados do NCEP/NCAR REANALYSIS apresentam uma resolução horizontal de 2,5º de latitude e 2,5º de longitude. As análises estão disponíveis a cada 6 horas, com livre acesso, no endereço <u>http://www.cdc.noaa.gov</u>.

## 3.2.1 Base de dados de TSM RTG\_SST

Em 30 de janeiro de 2001 foi implementada, pela NOAA, uma análise de TSM com resolução espacial de 0,5°, visando atender às necessidades do modelo de previsão ETA utilizado operacionalmente para previsão do tempo nos Estados Unidos. Em experimento descrito por Thiébaux et al. (2003), a inclusão desta base de dados de TSM nas condições iniciais do modelo ETA, em substituição de uma TSM de resolução espacial 1° x 1°, para um dado período de previsão, aumentou significativamente a habilidade preditiva do modelo ETA.

São características desta base de dados (Thiébaux et al., 2003):

- Resolução espacial de 0,5° x 0,5°;
- Os valores de TSM de *first guess*, utilizados durante o processamento, são interpolados bilinearmente da análise anterior, sem suavização, mas com um pequeno ajuste na direção do ciclo climatológico anual, da ordem de 0,03°C;

- A análise de TSM é feita uma vez por dia, com dados *in situ* e de satélite recebidos nas 24 horas anteriores;
- É realizada uma média com a TSM recebida de cada bóia ancorada, em intervalos de 24 horas. Para cada bóia de deriva e informação de navio, médias de TSM de 0,5° x 0,5° são realizadas e computadas como a TSM do ponto central da área de 0,5° x 0,5°;
- As temperaturas da superfície para áreas com cobertura de gelo são calculadas utilizando a climatologia de salinidade de acordo com a fórmula de Millero (Millero, 1978);
- O algoritmo utilizado para a obtenção da TSM é baseado em técnicas de regressão entre a temperatura de brilho dos canais do AVHRR e as temperaturas *in situ* de pontos correlatos;
- O parâmetro de correlação de comprimento de escala γ, para a função de correlação:

$$R(d) = \exp(-d^{2} / \gamma^{2})$$
 (3.1)

Com d denotando distância, pode variar entre os valores de 100 km (em regiões com gradiente de TSM maior, como na região da corrente do Golfo e de Kuroshio) e de 450 km (regiões de menor gradiente de TSM, como o mar de Sargasso); e

 O algoritmo de análise é uma minimização iterativa de uma função objetiva, aplicada a toda área onde os dados foram inseridos. Detalhes deste algoritmo são descritos em Thiébaux et al. (2003), Purser et al. (2003) e Kumar et al. (2007). Desenvolvido pelo *Naval Oceanographic Office Major Shared Resource Center* (NAVOCEANO), o algoritmo utiliza primariamente dados provenientes do satélite NOAA-16, para quais os coeficientes do algoritmo eram desenvolvidos. Com o lançamento do satélite NOAA-17, novos coeficientes de regressão foram calculados para o algoritmo. A Figura 3.2 mostra o fluxo dos dados na análise RTG\_SST:



Fluxo de Dados na Análise RTG\_SST

Figura 3. 2 – Fluxo de dados na Análise RTG\_SST.

Fonte: Adaptado de Thiébaux et al. (2003)

Uma limitação que esta base de dados encontra é a cobertura de nuvens. O fato de utilizar apenas a faixa do IR do espectro eletromagnético faz com que a obtenção do dado seja seriamente afetada pela cobertura de nuvens.

Ao receber os dados do sensor AVHRR (GAC), são realizados testes para verificar a sua qualidade (quanto à presença de nuvens). Estes testes utilizam

a diferença entre a reflectância dos *pixels*, em uma grade de 11 por 11 *pixels* processados, medida pelo canal 2 do AVHRR. Detalhes de como são efetuados os testes podem ser encontrados em May et al. (1998). São realizados testes diferenciados para dados diurnos e noturnos. Caso não passem nos testes de cobertura de nuvens, os dados recebidos não são sequer processados.

Para preencher os espaços vazios causados pela cobertura de nuvens, cria-se uma imagem composta por médias de 3 semanas. O ponto de grade exato sem informação de TSM é preenchido, então, com o valor daquela média. Caso não seja possível preencher a posição de grade com valor (caso de períodos de cobertura intensa de nuvens), é feita uma interpolação espacial levando em conta os *pixel*s de maior qualidade (*flag* 4 de qualidade ou superior) e valores de TSM da análise anterior como "*first guess*" (Vazquez et al., 1998). Esta é uma desvantagem da base RTG\_SST, pois esse processo de interpolação pode levar a não detecção de feições oceanográficas breves, como vórtices de curto tempo de vida ou subestimar a variabilidade espaço-temporal de campos de TSM (Gigliotti et al., 2009).

São outras limitações desta base de dados (Gemmil et al., 2007):

- Não apresentar dados confiáveis sobre lagos interiores; e
- Possuir diferenças de médias diárias de TSM altas, podendo chegar a 1°C, fato este associado primariamente a problemas na obtenção e processamento de dados.

Os dados diários de TSM desta base estão disponíveis no sítio do NCEP (<u>http://polar.ncep.noaa.gov/sst/</u>), onde existem *links* para os locais onde são arquivados os dados globais de TSM desde 30 de janeiro de 2001.



Um exemplo do campo de TSM desta base encontra-se na Figura 3.3:

Figura 3. 3 – TSM média de 02 de fevereiro de 2008 – base de dados de TSM RTG\_SST (em graus Celsius).

#### 3.2.2 Base de dados de TSM RTG\_SST\_HR

Desenvolvida pelo NCEP, através da *Marine Modeling and Analysis Branch* (MMAB), a base RTG\_SST\_HR foi implementada operacionalmente em 27 de setembro de 2005 e é resultado da demanda da comunidade científica por dados de resolução espacial mais alta. Os dados de TSM são obtidos a partir dos dados *in situ* e dos radiômetros AVHRR instalados a bordo dos satélites NOAA-17 e NOAA-18 e processados utilizando um algoritmo desenvolvido em conjunto com o *Joint Center for Satellite Data Assimilation* (JCSDA). Este algoritmo, descrito por Gemmill et al. (2007), tem como base o Modelo de Transferência Radiativa Comunitário da JCSDA, substituindo o método anterior baseado em técnicas de regressão (Gemmill, 2005).

Além dos dados de satélite, o processamento ainda inclui dados *in situ* provenientes de navios de oportunidade, bóias fixas e bóias de deriva. O erro médio quadrático de TSM máximo para esta base de dados é 0,46K (Gemmill

et al., 2007). Os dados estão disponíveis em tempo próximo do real, com cobertura global e sem espaços vazios de informação.

O método supracitado utiliza o modelo da JCSDA para simular uma temperatura de brilho para cada canal, utilizando uma análise prévia da TSM (*first guess*), temperatura do ar e quantidade de vapor d'água em suspensão, provenientes do *Global Data Assimilation System* (GDAS), gerando dados de TSM menos ruidosos e mais precisos (Gemmill, 2005).

Persistem os problemas verificados em relação à cobertura de nuvens, conforme verificado por Gemmill et al. (2007), em estudos na região da corrente do Golfo.

Outras diferenças entre as bases de dados RTG\_SST e RTG\_SST\_HR são:

- Resolução espacial horizontal melhorada para 0,083°;
- Redução da escala de correlação mínima para 50 km em áreas onde o gradiente de TSM é mais alto;
- São utilizados dados dos satélites NOAA 17 e NOAA 18 (na base RTG\_SST, somente utiliza-se dados do satélite NOAA 17); e
- Possibilidade de executar a análise utilizando-se multiprocessamento (ao invés da necessidade de realizar a análise em apenas um único processador).

Os dados diários de TSM desta base estão disponíveis no sítio do NCEP (<u>http://polar.ncep.noaa.gov/sst/</u>), onde existem *links* para os locais onde são arquivados os dados globais de TSM dos últimos 365 dias. Também são disponibilizados arquivos com estatísticas (*viés* médio, desvio padrão médio e erro médio quadrático) para diversas regiões do globo (região extra-tropical do

hemisfério norte, trópicos, região extra-tropical do hemisfério sul, Atlântico Norte e Atlântico Noroeste), com a finalidade de possibilitar a validação dos dados desta base.

Um exemplo do campo de TSM desta base encontra-se na Figura 3.4:



Figura 3. 4 – TSM média de 02 de fevereiro de 2008 – base de dados de TSM RTG\_SST\_HR (em graus Celsius).

## 3.2.3 Base de dados de TSM OSTIA

Base de dados de TSM desenvolvida pelo UKMO, faz parte de um projeto de cooperação internacional que agrega instituições de 13 países, o GHRSST-PP, com a finalidade de prover dados de TSM de alta resolução espacial para a previsão numérica do tempo a nível global (Stark et al.,2007).

Com dados disponíveis a partir de 01 de abril de 2006, esta base apresenta um erro médio quadrático máximo de 0,6K. Os dados possuem cobertura global e estão disponíveis em tempo próximo do real sem espaços vazios de informação (produto L4). A maior vantagem desta base reside na combinação

de dados *in situ*, dados orbitais na faixa do IR termal e dados orbitais na faixa de microondas. Desta forma, o efeito da cobertura de nuvens ou presença de aerossóis na atmosfera é minimizado quando da obtenção da informação de TSM (Stark et al., 2007), o que torna a base OSTIA uma fonte confiável de informações para áreas de cobertura persistente de nuvens.

A fusão entre dados de sensores orbitais na faixa do IR e microondas pode levar ao incremento da habilidade de modelos de PNT, como verificado por Chelton e Wentz (2005). Convém salientar, entretanto, que os dados de microondas possuem uma resolução espacial inferior (25-50 km) aos dados no IR termal, o que constitui um fator que degrada a resolução espacial desta base. Os dados de TSM são referenciados a uma profundidade padrão (10 metros - TSM fundamental). A base de dados OSTIA utiliza dados dos seguintes sensores (Tabela 3.1):

	TIDO			000507004
SENSOR	ΠΡΟ	RESOLUÇAO	FONTE DOS DADOS	COBERTURA
AATSR (EnviSat)	IR	~0,0089º	ESA-Medspiration	Global
AMSR-E (Aqua)	Microondas	~0,22º	Remote Sensing Systems	Global
AVHRR –LAC (NOAA 17 e 18)	IR	~0,1º	ESA-Medspiration	Atlântico NE e Mediterrâneo
AVHRR-GAC (NOAA 18)	IR	~0,08º	JPL PO-DAAC	Global
SST in situ (navios, bóias fixas e deriva)	In situ	ХХХ	Global Telecomm. System (GTS)	Global
SSM/I (cobertura de gelo)	Microondas	0,089º	EUMESAT OSI- SAF	Global
SEVIRI (MSG1)	IR	0,1º	ESA-Medspiration	Oceano Atlântico
TMI (TRMM)	Microondas	~0,22º	Remote Sensing Systems	Trópicos

Tabela 3.1 -	Sensores utilizados para a composição da base de dados de T	SM
	OSTIA.	

Fonte: Stark et al., 2007

Os dados de melhor resolução espacial são subamostrados, visando reduzir o volume de dados a serem processados e diminuir a correlação entre eles (a

análise assume que os dados de entrada do algoritmo são independentes – ou seja, não-correlacionados). Os dados de sensores na faixa de microondas são reamostrados (0,5° para 0,22°), fazendo com que a informação de TSM seja adensada em regiões sem dados de IR (Stark et al.; 2007).

Após isto, os dados são filtrados, de forma a remover aqueles que representam a TSM de pele ao invés da TSM fundamental. Isto é feito através da remoção dos dados diurnos obtidos com condição de vento fraco (abaixo de 6 m/s). Acima desta intensidade, o efeito do aquecimento diurno na camada de pele é considerado muito pequeno (Kettle e Merchant, 2006). Além desta filtragem, é feita uma comparação com a TSM dos dias anteriores, verificando possíveis erros na obtenção dos dados (Stark et al., 2007). O fluxo de dados da base OSTIA é mostrada na Figura 3.5:





Fonte: Adaptado de Stark e Donlon (2007)

Figura 3. 5 – Fluxo de dados na Análise OSTIA.

O sistema de análise OSTIA assume que os erros de observação não possuem viés. Porém, os dados provenientes dos sensores são propensos a erros sistemáticos devido a condições como anomalias atmosféricas, contaminação por aerossóis em suspensão na atmosfera ou condições oceânicas superficiais anômalas, por exemplo. Os erros sistemáticos são corrigidos através das seguintes medidas:

- Aplica-se uma correção aos dados dos sensores que fornecem a TSM de pele (atualmente, somente o AATSR), de forma que o dado de TSM seja referido a TSM *bulk*. Isto é feito adicionando o valor de 0,17K à medida realizada pelo sensor. Este valor foi obtido através de estudos prévios realizados por Donlon et al. (2002) e é uma aproximação da média da diferença entre a TSM de pele e a TSM *bulk* em escala global;
- As estatísticas de cada sensor são disponibilizadas separadamente, o que permite que sejam conhecidos possíveis erros sistemáticos de cada sensor. Além disto, os erros são automaticamente removidos dos valores de TSM divulgados;
- É realizada uma análise dos erros diários apresentados por cada sensor. São realizadas comparações entre a TSM dos sensores e uma TSM de referência, que pode ser a TSM *in situ* ou a TSM obtida através do sensor AATSR (o sensor de melhor resolução espacial), depois de filtrada e corrigida para a TSM fundamental em pontos de grade coincidentes. Estas comparações produzem arquivos chamados *matchups*, que possuem dados do erro de cada sensor. De posse dos erros de todos os sensores, é realizada uma interpolação ótima entre dados de erros, utilizando também um campo de viés prévio, como *first-guess*. A análise é então interpolada para regiões de novas observações e o erro é removido delas.

A análise utiliza um esquema fundamentado no método de interpolação ótima descrito em Bell et al. (2000) para combinar os dados *in situ* e de satélites e é baseado em um modelo de assimilação de dados desenvolvido para o *Met Office Forecasting Ocean Assimilation Model* (FOAM) que utiliza um método de correção da análise que propõe a solução da interpolação ótima através de um procedimento iterativo (Lorenc et al., 1991 e Martin et al., 2007). Este esquema é particularmente indicado para análises com grande volume de dados. São necessários ainda, para executar a análise, uma estimativa *first guess* da covariância dos erros (estimada pelos dados do FOAM para vários anos) e um campo de TSM inicial (Stark et al., 2007).



Figura 3. 6 – TSM de 02 de fevereiro de 2008 (média diária) – base de dados de TSM OSTIA (em graus Celsius).

O sistema executa análises diariamente às 0600 UTC, utilizando uma janela de observação de 36 horas, centrada no horário de 1200 UTC do dia anterior. Como há a possibilidade de superposição de dados e aumento do tempo computacional, a assimilação destes dados não é feita diretamente, sendo os dados sobrepostos utilizados somente para o cálculo do *bias* das localizações (Stark e Donlon, 2007).

Os dados diários de TSM desta base estão disponíveis no sítio do projeto GHRSST-PP (<u>http://ghrsst-pp.metoffice.com/pages</u> /latest\_analysis/ostia.html), onde existem *links* para os repositórios de dados onde são arquivados os dados globais de TSM desde 01 de abril de 2006. Também são disponibilizados arquivos com o RMS e a diferença de TSM em relação a uma pequena climatologia (criada utilizando dados prévios da base OSTIA), para cada sensor para o oceano global.

## 3.2.4 O modelo regional ETA

Desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia (Mesinger et al., 1988), o ETA é um modelo regional que se tornou operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Foi instalado no CPTEC/INPE em 1996 com a finalidade de complementar a previsão numérica de tempo realizada desde o início de 1995 com o modelo de circulação geral atmosférica (Chou, 1996).

O ETA é um modelo de mesoescala e sua versão operacional tem resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 camadas. Neste estudo, utilizou-se a versão hidrostática do modelo, com resolução horizontal de 40 km, domínio com 95 x 121 pontos, centrado na latitude 20ºS e longitude 50ºW. O experimento realizado neste estudo utilizou as reanálises provenientes do NCEP, com resolução espacial de 2,5º, como condições iniciais.

86



Figura 3. 7 – Domínio do modelo ETA – retângulo com limites latitude 03ºS a 37ºS e longitude 23ºW a 77ºW.

Como condições de contorno lateral e vertical, foram utilizadas previsões do modelo global do CPTEC/INPE atualizadas a cada 6 horas. O modelo foi adaptado de forma a permitir que a TSM fosse alterada automaticamente a cada 24 horas de integração.

#### 3.3 Metodologia

O estudo foi dividido em duas partes. A primeira parte (Figura 3.8) consistiu na comparação das características de duas bases de dados de TSM de alta resolução espacial (RTG\_SST\_HR e OSTIA) que estão disponíveis com livre acesso, de forma a escolher a mais apropriada para inserção no modelo de previsão numérica ETA (Figura 3.8). Para efetuar esta comparação, além das características das bases de dados, foram geradas e comparadas médias

mensais de TSM de ambas as bases, de forma a verificar qual base representa melhor as feições oceanográficas na área de estudo.



Figura 3. 8 – Fluxograma da primeira parte do estudo.

Para efetuar a comparação das bases de TSM, calculou-se médias mensais. Desta forma, foi possível analisar tendências mensais e sazonais, minimizando a presença de possíveis ruídos nos dados. Além disso, a execução de médias mensais reduziu o esforço computacional neste estudo, dada a grande quantidade de dados disponíveis para processamento. Ao reduzir a gama de arquivos a serem comparados (de 365 arquivos diários a 12 arquivos mensais), diminuiu-se o tempo despendido na execução do estudo. Após o cálculo das médias mensais de dados da base OSTIA, foi feita uma formatação dos dados. Esta formatação teve por objetivo permitir a comparação entre as bases. Foi realizada a conversão dos dados da base OSTIA, originalmente no formato NetCDF (*Network Common Data File*) padrão COARDS (*Comprehensive Ocean/Atmosphere Research Data Service*) para o formato grib (*Gridded Binary Data*), um formato matemático conciso que pode ser lido em diversos softwares. Outra adequação feita aos dados da base OSTIA foi a degradação de sua resolução espacial para 0,083<sup>e</sup>.

Em relação aos dados de TSM da base RTG\_SST\_HR, não foram feitas adaptações ou formatações. Foram realizadas médias mensais e após isto os dados estavam prontos para manipulação.



Figura 3. 9 – Comparação entre a TSM OSTIA original com resolução espacial de 0,05º (esquerda) e a TSM OSTIA interpolada para a resolução espacial de 0,083º (direita). Os resultados encontrados após a interpolação da TSM foram satisfatórios, uma vez que os gradientes de TSM foram mantidos, mesmo em áreas com maior variabilidade de TSM.

O próximo passo foi a comparação das bases de TSM. Foram realizadas duas comparações e uma análise estatística, apresentadas no Capítulo 4:

Comparação qualitativa da TSM média mensal de ambas as bases;

- Comparação das séries temporais de TSM para regiões selecionadas no oceano Atlântico; e
- Análise estatística das bases de dados de TSM.

A segunda parte do estudo consistiu nos experimentos de sensibilidade do modelo ETA, através do cálculo dos fluxos de calor e da precipitação total acumulada, diariamente, no período entre 20 de janeiro e 06 de fevereiro (período de ocorrência de um episódio do fenômeno ZCAS), tendo como condições de contorno a TSM da base RTG\_SST, originalmente usada como TSM inicial, e, posteriormente, a TSM da base de dados indicada como mais propícia a melhorar a habilidade do modelo, de acordo com a comparação realizada na primeira parte do estudo (Figura 3.10).

Foram utilizados dados diários de TSM da base OSTIA, com resolução espacial de 0,05º, e dados diários da base de dados RTG\_SST, com resolução espacial de 0,5º. Foi, ainda, realizada uma degradação dos dados OSTIA de 0,05° para 0,25°. Esta degradação da resolução espacial decorreu de uma necessidade computacional, em virtude do experimento estar sendo conduzido em um computador portátil, de memória reduzida.

Embora esta não seja a solução mais indicada, ela ainda confere validade ao presente estudo, uma vez que a resolução de saída do modelo, para o domínio inteiro, é de 0,33°. Além disto, a resolução de 0,25° continua sendo melhor do que a resolução de 0,5° oferecida pela base de dados RTG\_SST, o que permite investigar as conseqüências da alteração das condições de contorno iniciais por condições de contorno com melhor resolução espacial.



Figura 3. 10 – Fluxograma da segunda parte do estudo.

Foi realizada também uma interpolação de dados sobre os continentes devido ao fato de da base de dados OSTIA ser fornecida, pelo UKMO, com uma máscara sobre os continentes. Porém, para ser inserido no modelo como condição de contorno, o arquivo necessita ter informações de TSM em todos os pontos de grade. O modelo, por sua vez, aplica uma máscara própria a estes dados ao receber o arquivo, aproveitando somente as informações de TSM que restam e que coincidam com a grade do modelo após o mascaramento dos continentes. Caso o arquivo de TSM já possua máscara sobre os continentes, o modelo não reconhece o arquivo e não permite o início da rodada.

Em relação aos dados de TSM da base RTG\_SST, não foram feitas adaptações ou formatações, pois é esta base de dados, na presente resolução espacial (0,5º) a atualmente utilizada como condição inicial do modelo.

Após isto, o modelo ETA foi configurado para efetuar rodadas utilizando como condição de contorno primeiramente a base de dados RTG\_SST e posteriormente a base de dados OSTIA. O período de integração do modelo foi de 20 de janeiro a 06 de fevereiro de 2008. Neste período, ocorreram dois fenômenos de ZCAS, estabelecidos entre os dias 20 e 24 de janeiro e os dias 30 de janeiro e 06 de fevereiro, respectivamente (CPTEC/INPE, 2008).

A escolha desta situação meteorológica particular (ZCAS) foi motivada por se considerar que ela representa uma significante alteração das condições de tempo na região.

Para compensar a ausência de dados *in situ* na região de estudo, escolheu-se confrontar os resultados da rodada do modelo com dados de reanálise NCEP, considerados não como "verdade de campo", mas como dados de boa confiabilidade.

Os resultados e sua discussão encontram-se nos capítulos 4 e 5 deste estudo.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### 4.1 Comparação das bases de dados OSTIA e RTG\_SST\_HR

Dadas as características de cálculo dos dados de TSM em cada uma das duas bases, os dois campos de TSM, mesmo em termos de média mensal, apresentam diferenças não desprezíveis. De forma geral, pode-se afirmar que a base de dados OSTIA representou mais fielmente os principais fenômenos oceanográficos presentes no Atlântico Sudoeste, próximo à costa SE Brasileira. Por exemplo, esta base de dados representou a ressurgência costeira e a posição da CB nas proximidades da quebra da Plataforma Continental, além de ter detectado mais acuradamente a intrusão de águas mais frias de outono e inverno ao norte do cabo de Santa Marta Grande. A Figura 4.1, TSM média do mês de setembro de 2007 (final de inverno e começo de primavera no hemisfério sul), mostra claramente a extensão e a intensidade da intrusão de águas frias de sul na TSM OSTIA, a pluma fria de ressurgência a SW de Cabo Frio e os campos de temperatura associados à CB. Esta forte intrusão de águas mais frias vindas de sul, discutidas em Campos et al. (1996) e Stevenson et al (1998), observadas somente na base OSTIA, é também mencionada nos boletins do INMET e Climanálise do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2007), onde são mostradas TSM médias mais frias para a região. É interessante notar que a análise da base RTG SST HR não sugere nenhuma intrusão de águas frias na região.

Como indicado pelo painel inferior da Figura 4.1, que apresenta a diferença de TSM entre a base OSTIA e RTG\_SST\_HR, para as áreas de reduzido gradiente horizontal, como as áreas oceânicas, a diferença entre a TSM das duas bases é geralmente menor que 0,5°C (áreas brancas), podendo para algumas regiões menores variar entre -1°C e 1°C.

93



COMPARAÇÃO: MÉDIA OSTIA - MÉDIA RTG\_SST\_HR (SETEMBRO 2007)



Figura 4. 1 - Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG\_SST\_HR para o mês de setembro de 2007. Acima, à esquerda, média mensal de TSM OSTIA. Acima, à direita, média mensal de TSM RTG\_SST\_HR. Abaixo: diferença de TSM OSTIA - TSM RTG\_SST\_HR (em graus Celsius).

Sobre a Plataforma Continental, uma área mais dinâmica sob o ponto de vista da variabilidade da TSM, a diferença de TSM entre as duas bases é mais marcante, variando entre -2,5°C e 0°C. Os valores negativos vistos sobre a Plataforma Continental parecem ser causados pela capacidade da base de dados OSTIA mostrar mais fielmente a presença das águas frias nesta região, tanto na área da ressurgência costeira, quanto na região sob efeito da intrusão fria nas proximidades e ao norte do cabo de Santa Marta Grande.

Para o mês de agosto de 2007, encontrou-se uma média da diferença entre as bases de TSM de -0,5°C e variância 0,3°C, confirmando o resultado da comparação anterior. As maiores diferenças encontram-se, como visto anteriormente, sobre a Plataforma Continental, uma área de maior variabilidade de TSM, porém de área menor.

Cabe ressaltar que, no mês de agosto de 2007, as chuvas ocorreram acima da média histórica em áreas isoladas ao sul do Brasil. Os campos oceânicos e atmosféricos de escala global evidenciaram uma maior intensidade do evento La Niña sobre o Pacífico Equatorial (CPTEC/INPE, 2007).

A Figura 4.2 mostra a comparação entre as bases de dados para o mês de janeiro de 2008 (verão no hemisfério sul).







Figura 4. 2 – Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG\_SST\_HR para o mês de janeiro de 2008. Acima, à esquerda, média mensal de TSM OSTIA. Acima, à direita, média mensal de TSM RTG\_SST\_HR. Abaixo: diferença de TSM OSTIA - TSM RTG\_SST\_HR (em graus Celsius).

Ao contrário do caso anterior, há regiões com diferenças de TSM positivas e negativas. As duas regiões com diferenças positivas, isto é, onde a base OSTIA apresenta valores de TSM mais elevados, localizam-se da Baía da Guanabara até o oeste da Ilha de São Sebastião e em frente ao litoral do estado do Paraná. A leste e a nordeste de Cabo Frio, a base OSTIA mostra valores de TSM mais baixos, provavelmente causados por uma melhor representação das águas mais frias de ressurgência, presentes nesta região como indicado no painel superior esquerdo. A base OSTIA mostra a ressurgência concentrada a norte de Cabo Frio, enquanto a base RTG mostra

a ressurgência a leste de Cabo Frio se estendendo até o litoral norte de São Paulo. É novamente sobre a Plataforma Continental onde são encontradas as maiores diferenças de TSM, neste caso entre -2ºC e 2ºC.

No mês de janeiro de 2008, a diferença de temperatura entre as duas bases tem média de 0,3°C e a variância de 0,1°C. Nos meses de verão, as bases de dados de TSM parecem ser mais similares, mostrando uma larga região com valores semelhantes de TSM. Mais uma vez, as diferenças aparecem em áreas de elevada variabilidade de TSM, sobre a Plataforma Continental, notadamente na região da ressurgência de Cabo Frio.

Este mês apresentou chuvas acima da média mensal na região sul e sudeste, tendo estas chuvas causado transtornos e prejuízos. Os campos oceânicos e atmosféricos de escala global destacaram a atuação mais intensa do fenômeno La Niña no setor oeste do Pacífico Equatorial, onde as anomalias negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) atingiram -3ºC (CPTEC/INPE, 2009).

Embora os valores médios de diferença encontrados possam ser considerados baixos, deve-se atentar para o fato da área de estudo não ser homogênea, tornando-se importante examinar a área de estudo por setores.

A análise dos campos de TSM médias mensais das duas bases para esses dois meses contrastantes (inverno e verão) mostra que bases de TSM distintas podem apresentar não somente diferentes valores de TSM para os mesmos locais, mantendo as feições oceanográficas nas mesmas posições e configurações, mas mesmo mostrando estas feições em regiões distintas, ou não capturando algumas feições.

97

# 4.2 Comparação entre as séries temporais de TSM em regiões selecionadas, no oceano Atlântico

Foram selecionadas dez regiões distintas, distribuídas pela área de estudo, com domínio de 0,25° x 0,25° (equivalente aproximadamente à área de uma matriz de 3 x 3 pixels da imagem TSM da base RTG\_SST\_HR) cada uma delas. Seis destas regiões foram selecionadas sobre a Plataforma Continental, em áreas distribuídas entre o Cabo Frio e o Cabo de Santa Marta Grande, aleatoriamente. Foram selecionadas ainda três áreas na quebra da Plataforma Continental e uma área em uma região mais afastada da costa.

Obteve-se, então, uma série temporal de 12 meses de TSM média de cada uma das regiões (utilizando-se as bases de dados OSTIA e RTG\_SST\_HR). Os resultados reforçaram a tese de que as bases divergem principalmente em áreas de maior dinâmica sob o ponto de vista da variabilidade da TSM, uma vez que as maiores diferenças foram encontradas na área da ressurgência de Cabo Frio, nas proximidades de Paranaguá e nas proximidades do Cabo de Santa Marta Grande, reforçando os resultados encontrados na comparação anterior. A Figura 4.3 e a Tabela 4.1 mostram a localização das regiões selecionadas para a comparação dos dados.



Figura 4. 3 – Regiões selecionadas para comparação das bases de TSM.

NÚMERO	NOME	LONG	LONG	LAT	LAT FINAL
		INICIAL (°W)	FINAL (°W)	INICIAL (°S)	(°S)
1	Ressurgência de Cabo Frio	41.5	41.8	22.7	23.0
2	Baía da Guanabara	42.5	42.8	23.1	23.4
3	Ilhabela	45.1	45.4	24.4	24.7
4	Paranaguá	47.9	48.2	25.4	25.7
5	Itajaí	47.9	48.2	26.6	26.9
6	Cabo de Santa Marta	48.6	48.9	28.7	29.0
7	Corrente do Brasil - S	44.9	45.2	26.6	26.9
8	Corrente do Brasil – C.F.	40.7	41.0	23.4	23.7
9	Trindade	38.3	38.6	20.8	21.1
10	Offshore	38.9	39.2	24.4	24.7

Tabela 4. 1 – Coordenadas das regiões selecionadas para a comp	aração das bases	s.
--	------------------	----





Figura 4. 4 – Comparação entre as bases de dados de TSM para as regiões selecionadas. Em azul, dados provenientes da base RTG\_SST\_HR. Em vermelho, dados provenientes da base OSTIA e em verde, a diferença entre os dados das duas bases utilizadas no estudo. Dados em graus Celsius.

Examinando os gráficos das diferenças de TSM média mensal (Figura 4.4) pode-se notar que as diferenças nas regiões com maior variabilidade de TSM são predominantemente negativas, isto é, os valores da base OSTIA, na média mensal, são mais baixos que os da base RTG\_SST\_HR. As maiores diferenças entre as duas bases são observadas no período outono-inverno (abril a agosto) e são maiores na região sul, podendo aí chegar a mais de 4°C, enquanto que na região à norte, esta diferença é no máximo próximo à 2°C.

Ambas as bases de dados mostram um sinal sazonal de TSM bastante claro, com as máximas temperaturas entre fevereiro e abril, isto é, final de verão e começo de outono e mínimas entre junho e agosto, no inverno. As temperaturas médias máximas apresentam pequenas diferenças entre as duas sub-áreas (entre 25 e 27°C). As TSM médias mínimas não chegam a 21°C na sub-área norte e podem chegar a 15,5°C na sub-área sul, de acordo com a base OSTIA. Vê-se, portanto, que a amplitude do sinal de TSM é significativamente maior na região sul.

Esta segunda comparação confirma os resultados da primeira, onde foi verificado que a base de dados OSTIA representou de forma mais fiel os principais fenômenos oceanográficos presentes na costa SE Brasileira, tendo representado efetivamente a ressurgência costeira, a posição da CB nas proximidades da quebra da Plataforma Continental, além de ter detectado a intrusão de águas mais frias ao norte do cabo de Santa Marta Grande. Mais uma vez nota-se que a base de dados RTG\_SST\_HR não detectou esta intrusão (Figura 4.4 – Cabo de Santa Marta Grande). Nota-se, também, a pequena diferença observada na região com menor variabilidade de TSM, além da quebra da Plataforma Continental.

## 4.3 Análise Estatística

Foram realizadas regressões múltiplas lineares entre as médias mensais das duas bases de dados para as regiões onde foram encontradas as maiores diferenças de TSM, regiões 1 (Ressurgência) e 6 (Cabo de Santa Marta Grande). Também foi realizada regressão múltipla linear para a região 10 (*Offshore*) (Figura 4.3), região onde as bases de dados de TSM apresentaram resultados mais parecidos. Foram selecionados 150 pontos em cada uma das regiões citadas.

A análise estatística teve como variável dependente a TSM da base OSTIA e como variáveis explicativas o valor de TSM da base RTG\_SST\_HR, a latitude,

a longitude e as interações entre as variáveis explicativas (possíveis efeitos da combinação entre as variáveis explicativas, expressos como o produto da multiplicação entre os valores destas variáveis). A utilização destas variáveis explicativas visou minimizar a correlação espacial apresentada pelos pontos de grade de TSM, assim como quantificar e verificar quão importantes são a latitude, a longitude e suas interações na relação entre a TSM de ambas as bases.

O coeficiente de correlação de *Pearson* (r) é uma medida do grau de correlação entre duas variáveis, quando calculado em uma regressão linear simples. O seu sinal indica se a correlação é positiva ou negativa. A medida  $r^2$ , chamada de coeficiente de determinação múltipla, utilizado em um modelo de regressão múltipla, mede a redução proporcional da variação da variável dependente (Y) com a utilização de um conjunto de variáveis explicativas (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>,...) (Neter et al.,1996). Quanto maior o valor da medida  $r^2$ , melhor o ajuste do modelo à variável independente. Ou seja, quanto maior o valor do coeficiente de determinação múltipla, a variável dependente (regressão múltipla, melhor o modelo explica a variável dependente (nesta análise, a variável dependente será a TSM da base OSTIA).

Serão mostrados apenas os resultados referentes aos meses de setembro de 2007 (final de inverno no hemisfério sul) e janeiro de 2008 (verão no hemisfério sul), pelo fato destes meses serem emblemáticos da diferença entre as duas bases de TSM: o mês de setembro apresentou a maior diferença entre as bases (Figura 4.1) e o mês de janeiro apresentou diferenças menores em módulo, porém bastante significativas na região da Ressurgência (Figura 4.2).

A Tabela 4.2 mostra os principais resultados encontrados durante a análise estatística:

ÁREA	MÉDIA TSM OSTIA (°C)	DESVIO PADRÃO	MEDIA TSM RTG_SST_HR	DESVIO PADRÃO RTG_SST_HR
		OSTIA (C)	(C)	(0)
RESSURGÊNCIA	21,79	0,14	22,80	0,35
DE CABO FRIO				
SETEMBRO/2007				
CABO DE SANTA	18,98	0,40	20.98	0,55
MARTA				
SETEMBRO/2007				
OFFSHORE	22,30	0,39	22,20	0,39
SETEMBRO/2007				
RESSURGENCIA	24,36	0,18	25,50	0,29
DE CABO FRIO				
JANEIRO/2008				
CABO DE SANTA	25,15	0,37	25,50	0,28
MARTA				
JANEIRO/2008				
OFFSHORE	26,25	0,37	26,30	0,48
JANEIRO/2008				

Tabela 4.2 – Resultados da Análise Estatística (em °C)

Tabela 4.3 – Resultados da Regressão Múltipla Linear

ÁREA	<b>COEFICIENTE</b> <b>R<sup>2</sup> – INVERNO</b>	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE	COEFICIENTE R <sup>2</sup> – VERÃO	VARIÁVEL MAIS IMPORTANTE
RESSURGÊNCIA	0,90	Latitude	0,91	Latitude
DE CABO FRIO				
CABO DE	0,98	Latitude	0,95	TSM
SANTA MARTA				RTG_SST_HR
OFFSHORE	0,95	TSM RTG_SST_HR e Longitude	0,97	Latitude

A Tabela 4.3 mostra que os modelos de regressão ajustaram-se bem em todas as regiões pesquisadas. Os altos valores dos coeficientes de determinação múltipla mostram isto. Além disto, verifica-se que a variável responsável pela maior redução da variação da base OSTIA, em quatro das seis situações pesquisadas, é a latitude, o que mostra a importância desta variável explicativa na relação entre as bases de TSM pesquisadas. Sugerem-se trabalhos futuros aprofundando o assunto da influência da latitude na relação entre as bases de dados de TSM.

É interessante notar que os resultados apresentados nas três regiões, tanto no inverno quanto no verão, mostram que a latitude e a longitude influenciam na relação entre os valores de TSM das bases de dados OSTIA e RTG\_SST\_HR. Mesmo na região fora da Plataforma Continental, onde as bases possuem diferenças menores, elas não podem ser consideradas iguais estatisticamente. Na análise dos resíduos de todas as regressões, verifica-se a normalidade dos mesmos, assim como nos diagramas de dispersão dos valores previstos com os resíduos, verifica-se a aleatoriedade dos mesmos. Estas análises mostram que os resíduos das regressões podem ser considerados independentes, possuem variância constante e distribuição normal; e que os modelos de regressão foram apropriados para a variável dependente, em todas as regressões.

#### 4.4 Discussão

É provável que as diferenças de TSM observadas entre as duas bases de dados sejam conseqüência da maneira como são construídos os campos por composição dos dados de entrada. A base de TSM OSTIA é resultado de uma combinação de dados in situ e de sensores atuando tanto na faixa de microondas quanto no IR (Tabela 3.1), o que possibilita a representação mais precisa da TSM (ainda que com resolução mais baixa) fornecida pelos radiômetros de microondas nas regiões com forte cobertura de nuvens. Embora as duas bases de dados incorporem dados *in* situ, coletados por bóias ancoradas e de deriva ou por navios, sabe-se que esses dados, ou são inexistentes na maioria dos casos sobre a Plataforma Continental da região, ou são poucos para representar uma melhora nas estimativas das regiões com cobertura de nuvens. Nestas condições, a base de dados RTG\_SST\_HR, que utiliza apenas dados na faixa do IR, tem o cálculo da TSM, em áreas contaminadas por nuvens, realizado apenas por interpolação, o que para regiões dinâmicas e com gradientes mais fortes de TSM pode não se mostrar adequado. Relembra-se o exposto no capítulo 2, sobre a diferença entre os sensores que utilizam o IR e, por isso, têm limitações em regiões com cobertura permanente de nuvens e os sensores que utilizam a faixa das microondas, que não possuem esta limitação.

Semelhantes limitações da TSM da base de dados RTG\_SST\_HR são reportadas por Gemmil et al. (2007) na área da Corrente do Golfo. Naquele trabalho, ao comparar o impacto da utilização da base de dados RTG\_SST\_HR com outra de pior resolução espacial, é indicado que o uso dos dados RTG\_SST\_HR não apresentou melhoria na representação da TSM para regiões com cobertura persistente de nuvens.

No mês de setembro de 2007, a Síntese Sinótica Mensal disponibilizada pelo CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2007) e o Boletim Climático Trimestral disponibilizado pelo INMET, no litoral sul, as precipitações ficaram acima do padrão climatológico. Esta pode ser a razão da grande disparidade nos dados de ambas as bases para a região do Cabo de Santa Marta Grande. A presença constante de nebulosidade e precipitação afeta a presença das duas base de dados; porém a base de TSM RTG\_SST\_HR é mais prejudicada, por ser formada por dados de apenas um sensor IR. Foi constatada, também neste mês, uma intrusão de águas mais frias sobre a Plataforma Continental brasileira, corroborando com as TSM mais frias encontradas na região pela base de dados de TSM OSTIA.

No mês de janeiro de 2008, houve presença de anomalias positivas de precipitação por toda a costa sul-sudeste brasileira, fato ressaltado pela síntese sinótica do mês de janeiro de 2008, do CPTEC/INPE (CPTEC/INPE, 2008). As áreas de instabilidade associaram-se, principalmente, à configuração de três episódios de ZCAS no período. Novamente a presença constante de nebulosidade pode ter contribuído para a diferença de TSM encontrada entre as duas bases, sobre a Plataforma Continental, no mês de janeiro de 2008.
# 5 COMPARAÇÃO ENTRE OS TESTES DE SENSIBILIDADE COM O MODELO ETA: RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 Condições Sinóticas no Período

No período do estudo (entre 20 de janeiro de 2008 e 06 de fevereiro de 2008), ocorreram dois fenômenos de ZCAS, estabelecidos entre os dias 20 e 24 de janeiro e os dias 30 de janeiro e 06 de fevereiro, respectivamente (CPTEC/INPE, 2008).



Figura 5. 1 – Caracterização de episódio de ZCAS entre os dias 20 e 22 de janeiro de 2008: carta de pressão ao nível do mar, fornecida pelo Centro de Hidrografia da Marinha e imagem do satélite GOES 10 (visível). Fonte: CHM (2008) e CPTEC/INPE (2008).

No primeiro episódio, a banda de nebulosidade concentrou-se entre o norte do estado de São Paulo e o oceano, com totais de chuva acumulados excedendo

os 100 mm. O segundo episódio foi reforçado pela incursão de um sistema frontal que atuou no litoral brasileiro, causando o aumento da banda convectiva nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (CPTEC/INPE, 2008).

Como pode ser visto no painel superior esquerdo da Figura 5.1, a carta sinótica gerada pelo Centro de Hidrografia da Marinha mostra uma frente fria atuando na região sudeste no dia 20 de janeiro de 2008. Esta frente fria, que ingressou no litoral da região sudeste após passar pelo litoral da região sul, já é considerada estacionária no dia seguinte e continua nesta condição no dia 22 de janeiro (painel superior central e à direita). Nota-se a existência de duas grandes áreas ciclônicas, uma a sudoeste e outra a nordeste deste frente estacionária.

Nas cartas sinóticas, a caracterização da ZCAS se dá após o terceiro dia consecutivo de chuvas. Por este motivo, ela ainda não se encontra plotada graficamente como ZCAS no dia 22 de janeiro, embora sua configuração básica esteja definida.

As imagens do satélite GOES 10 (painel inferior da Figura 5.1) confirmam a presença de uma banda de nebulosidade formada sobre a área de estudo, no sentido NW-SE, causando chuvas na área sob sua atuação durante todos os dias e caracterizando a ZCAS como descrita por Quadro (1994).

A Figura 5.2 mostra, no dia 04 de fevereiro (painel superior esquerdo), a presença de uma frente fria no litoral da região sudeste, afetando as proximidades do Cabo Frio. Há, novamente, a configuração de dois centros de alta pressão, um mais ao sul da área de estudo e um a leste. Uma nova frente fria se forma no litoral do Uruguai.

No dia 05 de fevereiro (painel superior central), percebe-se o afastamento, para o mar, desta frente fria, e a chegada da frente fria mais ao sul. Nota-se,

também, o estabelecimento da ZCAS no sudeste, afetando o sul do estado de Minas Gerais e o estado do Rio de Janeiro. A ZCAS continua atuando no dia seguinte (painel superior direito).

A análise das imagens do satélite GOES 10 (painel inferior da Figura 5.2) confirmam a presença desta banda de nebulosidade na área de estudo, durante os três dias analisados.



Figura 5. 2 – Caracterização de episódio de ZCAS entre os dias 04 e 06 de fevereiro de 2008: carta de pressão ao nível do mar, fornecida pelo Centro de Hidrografia da Marinha e imagem do satélite GOES 10 (visível).



Figura 5. 3 – Acompanhamento de sistemas frontais em janeiro e fevereiro de 2008. Fonte: CPTEC/INPE (2008).

No mês de janeiro, cinco sistemas frontais atuaram no país (Figura 5.3). No dia 20 de janeiro, o quarto destes sistemas frontais atingiu o sul da área de estudo, causando temporais na região (CPTEC/INPE, 2008). No dia 19, configurou-se uma baixa pressão adjacente ao litoral da região sul, dando origem ao quinto sistema frontal do mês. Ingressando pelo litoral da região sudeste, atuou até as proximidades de Vitória/ES e lá se manteve estacionário no dia 22 de janeiro, contribuindo para a caracterização do episódio de ZCAS (CPTEC/INPE, 2008).

No mês de fevereiro, quatro sistemas frontais atuaram no país. No período dos experimentos realizados com o modelo ETA, apenas um atingiu a área de estudo. Este sistema frontal ingressou pelo litoral, em Santa Vitória do Palmar/RS, no dia 03 de fevereiro e atingiu, no dia 05, as proximidades de Vitória/ES, onde, favorecido pelo jato subtropical, contribuiu para a formação do primeiro episódio de ZCAS do mês. Foram observadas chuvas intensas neste período (CPTEC/INPE, 2008). Nestas áreas de chuvas mais intensas, observase a região de maior convergência de umidade em 850 hPa.



Figura 5. 4 – Caracterização de episódio de ZCAS nos períodos supracitados: previsão de precipitação convectiva acumulada do modelo ETA utilizando como condição de contorno a base RTG\_SST.

A Figura 5.4 mostra que a saída de precipitação total do modelo ETA reproduz razoavelmente os sistemas de escala sinótica verificados nas observações, mostrando um alto valor de precipitação acumulada em uma região dentro da área de estudo, no sentido NW-SE, nos períodos de ZCAS. Esta previsão está em acordo com o verificado através das cartas sinóticas e imagens analisadas anteriormente (Figuras 5.1 e 5.2)

#### 5.2 Comparação dos Cálculos de Fluxo de Calor Utilizando o Modelo ETA

O primeiro experimento de sensibilidade foi conduzido utilizando-se como variáveis diagnósticas os fluxos de calor na superfície do oceano para o período de 20 de janeiro a 06 de fevereiro de 2008. Para esta comparação, foram analisadas as previsões diárias do modelo, tendo como condição de contorno duas bases de dados de TSM distintas (RTG\_SST, como padrão, e OSTIA, indicada como a mais propícia na primeira fase do estudo). Para

análise, foram selecionados os dados das regiões 1 (Ressurgência), 2 (Baía da Guanabara), 4 (Paranaguá), 6 (Cabo de Santa Marta Grande) e 10 (Offshore). Tais regiões foram escolhidas em razão das quatro primeiras apresentarem as maiores diferenças entre a TSM das duas bases, enquanto a região oceânica foi a que apresentou a menor diferença entre as bases de TSM (Figura 5.5). Como não havia dados *in situ* disponíveis para o cálculo dos fluxos de calor, optou-se em comparar os resultados das duas rodadas do modelo com os fluxos de calor fornecidos pela base de dados reanálise NCEP.





Figura 5. 5 – Comparação entre as bases de dados de TSM OSTIA e RTG\_SST para o período da rodada do modelo. Acima, à esquerda, média de TSM OSTIA. Acima, à direita, média de TSM RTG\_SST. Abaixo: diferença de TSM OSTIA - TSM RTG\_SST (em graus Celsius).

A Figura 5.5 mostra os campos de TSM médios das duas bases para o período de 20 de janeiro a 06 de fevereiro e a diferença entre eles. Vê-se, p.ex., que o fenômeno da ressurgência é representado diferentemente pelas duas bases de dados: do litoral norte de São Paulo até o Cabo de São Tomé, as TSM OSTIA são mais altas sobre a plataforma continental. Uma área de diferenças positivas de TSM associadas à Baía de Paranaguá apresenta-se. Uma ampla área da plataforma continental a SW/S da Ilha de São Sebastião apresenta-se com TSM da ordem de 0,3°C mais frias na base OSTIA. Para as águas mais oceânicas, principalmente associadas com a CB, a base RTG\_SST apresentou valores mais altos, com diferença da TSM OSTIA entre 0 e 0,3°C. Como os valores apresentados na Figura 4 são médias pontuais para o período considerado, valores mais altos de diferenças de TSM entre as duas bases que aqueles apresentados na figura devem ser esperados durante o período.

Para os dias do experimento de sensibilidade, os seguintes valores de fluxos turbulentos totais (calor sensível + calor latente) de fluxos de calor médios diários foram derivados para cada uma das regiões oceânicas pré-definidas (valores negativos de fluxo referem-se à perda de calor do oceano e ganho para a atmosfera):



Figura 5. 6 – Séries temporais de médias diárias de fluxo total de calor (sensível + latente) na superfície do oceano (W.m<sup>-2</sup>) para rodadas do modelo ETA com condição de contorno de TSM usando as bases de dados RTG\_SST, OSTIA e dos fluxos de calor da reanálise NCEP. No eixo secundário, a diferença entre a TSM OSTIA e a TSM RTG\_SST, em graus Celsius.



Figura 5. 7 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 2 – Baía da Guanabara.



Figura 5.8 - Equivalente à Figura 5.6 para a Região 4 - Paranaguá.



Figura 5.9 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 6 – Cabo de Santa Marta Grande.



Figura 5. 10 – Equivalente à Figura 5.6 para a Região 10 – Offshore.

Os seguintes padrões podem ser observados em relação aos fluxos de calor nas regiões selecionadas para o período dos experimentos de sensibilidade:

- Para todas as regiões amostradas as duas simulações e a reanálise apresentam padrões bastante semelhantes em termos de variabilidade temporal dos fluxos. Em geral, os valores absolutos da reanálise foram maiores (mais negativos) que para as duas simulações ETA;
- Todas as regiões apresentaram fluxo líquido de energia negativo; isto é, o balanço de calor em superfície reflete uma perda de calor do oceano para a atmosfera. As regiões que apresentaram perda mais intensa de energia foram o Cabo de Santa Marta Grande e a região Oceânica (Offshore), com valores entre -200 e -250 Wm<sup>-2</sup>;
- Como indicado nas análises anteriores, a pouca variabilidade de TSM em oceano profundo (região Offshore), observada nas duas bases de dados, é provavelmente a causa da pouca diferença nos fluxos de calor entre elas, e em relação à reanálise nesta região;
- O fluxo total de calor é fortemente condicionado pelo fluxo de calor latente (não mostrado), sendo o fluxo de calor sensível (não mostrado) em média uma ordem de magnitude menor que o calor latente;
- O efeito da passagem das frentes frias pode ser observado por um aumento na magnitude do fluxo de calor após a passagem da frente. Como indicado, p.ex. em Stech e Lorenzzetti (1992), após a passagem das frentes frias na PCSE, observa-se na porção fria da frente, um aumento na magnitude do vento sobre o oceano. Como ambos os fluxos de calor, sensível e latente, dependem da magnitude do vento, após a passagem de uma frente, espera-se um

aumento nesses dois fluxos. O início das simulações no dia 20 de janeiro coincide com a entrada de uma frente fria no sul da região. Vê-se que a área de Santa Marta já apresenta valores de fluxos negativos bastante altos no início das simulações. Com o deslocamento para norte da frente, esses máximos negativos são observados sucessivamente nas regiões de Paranaguá, Baía de Guanabara e Ressurgência. Os valores bastante baixos de fluxos, observados por volta dos dias 01 e 02 de fevereiro, correspondem a valores de ventos bastante fracos (<2-3 m.s<sup>-1</sup>) em toda a PCSE, observados nos mapas de vento QuikScat. Após a passagem desse sistema frontal é possível ver, para a PCSE novamente, nos dias 3 e 4 de fevereiro, um aumento no fluxo de calor. O máximo no fluxo de calor para a região *Offshore* observados entre os dias 27 e 28 de março correspondem a um aumento nos valores de vento E e SE, confirmados nos dados QuikScat com valores entre 10 e 12 m.s<sup>-1</sup>.

A Tabela 5.1 apresenta os valores médios dos fluxos de calor para cada região estudada, no período de 20 de janeiro a 06 de fevereiro (em W.m<sup>-2</sup>), bem como o RMSE (Erro médio quadrático) em relação à reanálise NCEP (resolução espacial de 2,5° x 2,5°):

Tabela 5. 1 – Fluxos de Calor Médios Calculados pelo Modelo e de reanálise (colunas 2, 3 e 4), diferenças médias (coluna 5) e RMSE entre modelo e reanálise (colunas 6 e 7) (valores médios, diferenças e RMSE em W.m<sup>-2</sup>).

Região	Fluxo de Calor RTG_SST	Fluxo de Calor OSTIA	Fluxo de Calor Reanálise	OSTIA – RTG_SST	RMSE RTG_SST	RMSE OSTIA
Ressurgência	-34	-32	-60	2	29,8	30,9
Baía da Guanabara	-41	-50	-92	-9	64,8	54,7
Paranaguá	-125	-142	-172	-17	60,3	51
Cabo de Santa Marta Grande	-151	-124	-160	27	28,9	40,9
Offshore	-122	-122	-126	0	31,3	34

Os valores médios apresentados na Tabela 5.1 mostram que:

- No período analisado, os valores de fluxo tendem a aumentar em direção ao sul da região de estudo;
- As regiões Baía de Guanabara e Paranaguá foram aquelas que apresentaram os maiores valores de RMSE em relação à reanálise, para ambas as bases de dados, OSTIA e RTG\_SST, com os maiores desvios observados para a base RTG\_SST. É de se notar que os altos valores de RMSE para a região da Baía de Guanabara se concentram no período de 20 a 28 de janeiro, enquanto que para a região de Paranaguá estes desvios se concentram entre 29 de janeiro e 03 de fevereiro;

- Para as regiões Baía da Guanabara e Paranaguá, a base OSTIA apresentou os menores valores de diferença de fluxos médios de calor em relação à reanálise (colunas 3 e 4). Para as demais regiões de plataforma continental (Santa Marta e Baía de Guanabara) os valores correspondentes à base RTG\_SST melhor aproximaram-se da reanálise;
- As regiões Ressurgência e Oceânica apresentaram as menores diferenças de fluxos de calor entre si, e delas para os valores reanálise;
- As maiores diferenças de fluxos de calor médios entre as bases de dados OSTIA e RTG\_SST (27 W/m<sup>-2</sup>) foram observadas no Cabo de Santa Marta Grande. Esta diferença pode ter sido causada pelo fato de que, para esta região e neste período específico, a base de TSM OSTIA ter tido maior variabilidade diária do que a base de TSM RTG\_SST, com diferenças da ordem de 2°C.

Uma significativa redução do RMSE em relação à reanálise foi observada para a base de dados OSTIA quando comparada à base RTG\_SST e para as regiões Baía de Guanabara e Paranaguá, sendo praticamente o mesmo desempenho para ambas as bases para as regiões Offshore e Ressurgência. Permanece a necessidade de se intensificar estudos sobre a sensibilidade do modelo ETA à substituição da TSM como condição de contorno, na região do Cabo de Santa Marta Grande. Nesta região, para este experimento específico, a base OSTIA mostrou-se com maior variabilidade diária e o RMSE observado foi significantemente mais alto.

## 5.3 Comparação da Previsão do Total de Água Precipitável

Visando obter outras comparações que pudessem indicar a sensibilidade do modelo ETA à TSM como condição de contorno, analisou-se o Total de Água

Precipitável diário calculado pelo modelo, nas mesmas regiões utilizadas na comparação anterior. Para os dias do experimento, foram desenvolvidas, a partir dos resultados do modelo ETA, as séries temporais totais de água precipitável na atmosfera:



Figura 5. 11 – Série temporal de médias diárias de total de água precipitável, para a Região 1 – Ressurgência, em kg.m<sup>-2</sup>.



Figura 5. 12 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 2 – Baía da Guanabara.



Figura 5. 13 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 4 – Paranaguá.



Figura 5. 14 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 6 – Cabo de Santa Marta Grande.



Figura 5. 15 – Equivalente à Figura 5.11 para a Região 10 – Offshore.

A Tabela 5.3 apresenta os valores de total de água precipitável para cada região estudada, no período de 20 de janeiro a 06 de fevereiro (em kg.m<sup>-2</sup>), bem como o RMSE em relação à reanálise provida pelo NCEP (resolução espacial de 2,5° x 2,5°).

Região	Água Precipitável RTG_SST	Água Precipitável OSTIA	Água Precipitável Reanálise	OSTIA – RTG_SST	RMSE RTG_SST	RMSE OSTIA
(1) Ressurgência	49	49	45	0	6,1	5,9
(2) Baía da Guanabara	48	49	45	1	4,9	6,5
(4) Paranaguá	42	44	35	2	7,9	9,6
(6) Cabo de Santa Marta	32	30	27	-2	5,9	4,3
(10) Offshore	43	42	37	-1	6,7	6,5

Tabela 5. 2 – Total de Água Precipitável Calculados pelo Modelo e de reanálise, em kg.m<sup>-2</sup> (médias e RMS)

A análise dos valores médios do total de água precipitável mostra que:

- Usando ambas as bases de TSM como condição de contorno, o modelo ETA consistentemente apresentou valores mais altos do total de água precipitável em relação à reanálise. As maiores diferenças RMSE foram encontradas na região Paranaguá, com valores de 7,9 e 9,6 kg.m<sup>-2</sup> para as bases RTG\_SST e OSTIA, respectivamente;
- O uso da TSM OSTIA como condição de contorno do modelo reduziu mais significativamente o RMSE em relação à reanálise na região do Cabo de Santa Marta Grande; nas regiões Ressurgência, e Oceânica

(*Offshore*) também se observa uma redução do RMSE, porém em valores menos significativos;

- De uma forma geral, os valores médios de total de água precipitável encontrados com a utilização de ambas as bases de TSM, foram relativamente próximos. A maior diferença ocorreu no Cabo de Santa Marta Grande, onde os valores diferiram de 2,40 kg/m<sup>-2</sup>; e
- As regiões Baía de Guanabara e Paranaguá, onde a média de TSM OSTIA foi mais elevada do que a média de TSM RTG\_SST (Figura 4), foram as únicas regiões que apresentaram um aumento do valor do total de água precipitável para a base OSTIA, o que indica um possível efeito regional das TSM sobre os valores de precipitação.

O uso da base de dados OSTIA aproxima os resultados daqueles da reanálise, reduzindo o RMSE em três regiões, porém nas regiões identificadas como mais diferentes entre as duas bases (Baía de Guanabara e Paranaguá), o uso dos dados OSTIA aumenta o RMSE. Os resultados confirmam a sensibilidade do modelo ETA às alterações nas condições de contorno de TSM.

### 6 CONCLUSÃO

Embora seja razoável se tomar os valores de TSM disponíveis como representações fidedignas do campo real da temperatura da superfície do mar, não se deve negligenciar o fato de que muitas regiões oceânicas possuem persistente cobertura de nuvens, o que obriga a se fazer uso de métodos sofisticados para o preenchimento de dados faltantes. Distintas bases de dados de TSM são geradas utilizando diferentes metodologias, que vão desde algoritmos de interpolação de dados até o uso combinado de dados *in situ* e dados de satélites operando no IR termal e em microondas.

A hipótese inicial é que estas diferentes formas de compor os dados de TSM poderiam resultar em diferenças significativas de TSM, com ênfase particular a região do Atlântico Sul sudoeste e plataforma continental sudeste brasileira. A análise das imagens de TSM de alta resolução (OSTIA e RTG\_SST\_HR), para a PCSE, mostrou diferenças significativas entre as bases de dados para os mesmos locais e datas. Além do mais, foram observadas diferenças significativas nos padrões de TSM associados a importantes fenômenos oceanográficos presentes na região, tais como a CB e sua região frontal, plumas frias de ressurgência costeira e de intrusão que ocorre no outono e inverno. A comparação visual entre os padrões de TSM observados nas duas bases com o conhecimento desses fenômenos, sugere que a base OSTIA apresentou melhor caracterização espacial e de valores de TSM destas feições oceanográficas que a bases RTG\_SST\_HR.

Um caso notável refere-se à intrusão de águas frias de maiores latitudes no outono e inverno, muito bem caracterizada na base OSTIA, mas quase não detectada nos dados RTG\_SST\_HR. Considerando a pouca disponibilidade de dados *in situ* na região, é bem provável que os dados de TSM em microondas tenham tido um papel determinante na melhor caracterização deste fenômeno para a PCSE na base OSTIA. O preenchimento dos dados faltantes por interpolação, devido à cobertura de nuvens nesta região durante o período

analisado, para a base RTG\_SST\_HR deve ter sido a causa do pior desempenho nesse aspecto. Observou-se uma melhor representação da posição da Corrente do Brasil e sua região frontal para os dados OSTIA. As duas bases de dados apresentaram discordâncias marcantes em relação aos valores de TSM e locais das plumas de ressurgência, por vezes localizando as plumas em regiões completamente distintas. Assim, podemos concluir que as duas bases de dados podem apresentar diferenças significativas para a área da PCSE. Menores diferenças foram observadas para a região oceânica mais afastada da costa, além do talude continental (região *offshore*), onde os gradientes horizontais e as variabilidades temporais da TSM são menores.

A segunda hipótese de trabalho é a de que a utilização de uma base de TSM com melhor resolução espacial, como condição de contorno de TSM para um modelo atmosférico (que usa bases de TSM de resolução espacial média), pode causar mudanças significativas nos resultados obtidos. A ausência de dados *in situ* nos forçou, entretanto, a confrontar esses resultados com dados de reanálise NCEP, considerados não como "verdade de campo", mas como dados de boa confiabilidade.

Tomando-se os dados da reanálise NCEP como referência, não foi possível confirmar, entretanto, que o uso da base de maior resolução, OSTIA, assumida como melhor representação do campo de TSM para a PCSE, quando usada como condição de contorno de TSM resultou numa melhor aproximação dos parâmetros de fluxos de calor, ou de água precipitável, para todas as regiões da PCSE analisadas. Para as duas regiões, Baía de Guanabara e Paranaguá, onde foram encontradas as maiores diferenças de TSM entre as duas bases de alta resolução, o uso dos dados OSTIA resultou em um menor RMSE no cálculo dos fluxos de calor em relação aos dados de reanálise. Embora as maiores diferenças de TSM entre as duas bases tenha ocorrido nas regiões Baía de Guanabara e Paranaguá, os maiores desvios nos fluxos médios de calor em

relação à reanálise foram observados na região de Cabo de Santa Marta. Isto parece ter sido causado pelo fato da TSM OSTIA ter tido uma maior variabilidade diária nesta região, com diferenças entre valores diários da ordem de 2°C;

Com relação ao impacto do uso das bases TSM de alta resolução nos resultados do total de água precipitável, vimos que o seu uso como condição de contorno no modelo ETA resultou em estimativas consistentemente mais altas em relação à reanálise. As maiores diferenças entre os valores de água precipitável entre as duas bases foram observados também na região de Cabo de Santa Marta. É interessante notar que nesta região o uso da base OSTIA promoveu, em relação à base RTG\_SST, a maior diminuição do RMSE frente à reanálise. Somente nas duas regiões, Baía de Guanabara e Paranaguá, onde as TSM OSTIA foram maiores que àquelas RTG\_SST, os valores de água precipitável OSTIA foram significativamente superiores aos valores associados à base RTG\_SST. Este fato sugere um efeito regional das TSM sobre a água precipitável na região.

Considerando os resultados encontrados no estudo, pode-se concluir que o uso de diferentes bases de dados de TSM como condição de contorno em modelos de previsão numérica do tempo para a região de estudo pode alterar seus resultados. Este fato reforça a necessidade em se dispor de dados de TSM os mais próximos da realidade o possível. Para a elaboração de dados de alta resolução espacial com melhor qualidade é de grande interesse a implementação de instrumentação de coleta de dados oceanográficos *in situ,* tais como aqueles obtidos por bóias fundeadas ou de deriva, assim como o uso de dados de radiômetros de microondas levando-se em conta a grande cobertura de nuvens que ocorre na região. A disponibilidade de dados operacionais de TSM de alta resolução espacial e de boa qualidade poderá proporcionar uma melhoria nas previsões do tempo para a região.

Deve ser notado, entretanto, que as conclusões aqui apresentadas são referentes apenas a uma situação meteorológica (ZCAS). A escolha desta situação meteorológica foi motivada por se considerar que ela representa uma significante alteração das condições de tempo na região. Mesmo sendo referentes a uma situação de tempo específica, os resultados obtidos parecem ser significativos para ressaltar as possíveis diferenças esperadas de serem encontradas entre as diversas bases de dados de TSM disponíveis. Um estudo mais abrangente sobre o efeito do uso de diferentes bases de TSM para várias condições atmosféricas e para diferentes estações do ano é recomendado para toda a região costeira do Brasil. Espera-se que o uso da base de dados de TSM OSTIA possa contribuir para uma melhoria das previsões de tempo em nosso país.

São sugestões para próximos trabalhos:

- Aumentar a resolução espacial de saída do modelo ETA, através da redução do espaçamento entre os pontos de saída ou através da rodada de uma previsão aninhada (*NESTING*), com melhor resolução espacial, a partir da rodada do modelo para o domínio completo;
- Realizar experimentos de sensibilidade com o modelo ETA para o inverno, de forma a analisar as possíveis variações decorrentes das grandes diferenças de TSM encontradas entre as bases analisadas;
- Realizar experimentos de sensibilidade para outros períodos de ocorrência de ZCAS, de forma a confirmar os resultados alcançados neste estudo;
- Realizar experimentos de sensibilidade utilizando outras variáveis, além das utilizadas no presente estudo (fluxo de calor turbulento e total de água precipitável);

- Utilizar dados *in situ* para validar a comparação entre as bases de dados de TSM. Neste estudo, foram utilizados dados provenientes da reanálise NCEP como referência. Estes dados possuem, como fator limitante, sua baixa resolução espacial (2,5°). Espera-se que, com a utilização destes dados, seja possível confirmar a melhora nos prognósticos do modelo ETA a partir da substituição do campo de TSM de contorno por um campo de TSM de melhor resolução;
- Tendo por base os resultados da análise estatística, sugere-se estudar a influência da latitude na relação entre as bases de dados; e
- Utilizar, como condição de contorno, o campo de TSM da base OSTIA com sua resolução espacial plena, isto é, 0,05°. Neste estudo, foi necessário realizar uma degradação da resolução espacial da base de TSM por necessidade computacional.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY - AMS. Glossary of Meteorology – Electronic Version. Desenvolvido por Tim Keefer. Disponível em <u>http://amsglossary.allenpress.com/glossary</u>. Acesso em 28 mai. 2009.

ARAÚJO, 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: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 769-781.

ASSIREU, A.T. Análise da circulação superficial oceânica na costa sudeste-sul do Brasil, a partir da utilização dos dados de derivadores rastreados por satélite. 1998. 133p. (INPE-6751-TDI/636). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1998.

BARTON, I. J. Satellite-derived sea surface temperatures: current status. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n. 5, p. 8777-8790, Mai. 1995.

BELL, M.; FORBES, R.M.; HINES, A. Assessment of the FOAM global data assimilation system for real-time operational ocean forecasting. **Journal of Marine Systems**, v. 25, p. 1 – 22. 2000.

BENTAMY, A.; KATSAROS, K.B.; ALBERTO, M.; DRENNAM, W.M.; FORDE, E.B.; ROQUET, H. Satellite estimates of wind speed and latent heat flux over the global oceans. **Journal of Climate**, v. 16, n. 4, p. 637 – 656. 2003.

BLANC, T.V. Variation of bulk-derived surface flux, stability and roughness results due to the use of different transfer coefficient schemes. **Journal of Physical Oceanography**, v. 15, p. 650 – 669. 1985.

BLACK, T.L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, v. 9, n. 2, p. 265 – 278. Jun. 1994.

BROWN, O. B; MINNET, P. J. **MODIS** infrared sea surface temperature algorithm – algorithm theoretical basis document version 2.0. Miami, Estados Unidos: University of Miami. 91 p. 1999.

CAMPOS, E. J. D.; LORENZZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L.; SOUZA, R. B. Penetration of Waters from the Brazil-Malvinas confluence region along the South American continental shelf up to 23°S. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68(Supl. 1), 49-58. 1996. CASTELÃO, G.P. Um estudo sobre os fluxos de calor na superfície do Atlântico Tropical usando os dados do PIRATA. 2002, 120 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Física) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), São Paulo, 2002

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM). **Cartas Sinóticas On Line**. Desenvolvido pela Marinha do Brasil. Disponível em <u>http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm</u>. Acesso em: 01 fev. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). **Boletim Climanálise**, v. 22, n. 09. 2007. Disponível em: <u>http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/index0907.shtml</u>. Acesso em 10 mai. 2008

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). **Boletim Climanálise**, v. 23, n. 01. 2008. Disponível em: <u>http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/index0108.shtml</u>. Acesso em 10 mai. 2008

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/INPE). Imagem colorida do satélite GOES-10 para o dia 30 de janeiro de 2008. 2008. Disponível em:

http://satelite.cptec.inpe.br/setores/america.jsp. Acesso em 10 mai. 2008.

CHELTON, D.B.; WENTZ, F.J. Global microwave satellite observations of sea surface temperature for numerical weather prediction and climate research. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 86, n. 8, p. 1097-1115, Ago. 2005.

CHOU, S.C. Regional ETA model. **Boletim Climanálise – Edição Comemorativa de 10 Anos**, v.1, n. Edição Especial, p. 203 – 207. 1996.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Projeto PIRATA**. Desenvolvido pela Marinha do Brasil. Disponível em <u>http://www.mar.mil.br/dhn/chm/oce\_dados\_coleta.html</u>. Acesso em 01 fev. 2009.

DONLON, C. J.; MINNETT, P.J.; GENTEMANN, C.; NIGHTINGALE, T.J.; BARTON, I.J.; WARD, B.; MURRAY, M.J. Toward an improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research", **Journal of Climate**, v. 15, n. 4, p. 353-369. 2002.

EMERY, W.J.; THOMSON, R.E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. 1<sup>a</sup> edição. Nova lorque, Estados Unidos: Elsevier Science Inc., 1998. 617p. ISBN (0 08 0314341). EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Satélites de Monitoramento.** Desenvolvido por Mateus Batisttela - 2004. Disponível em: <u>http://www.sat.cnpm.embrapa.br</u>. Acesso em: 08 fev. 2008.

European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). **SEVIRI Specifications**. Desenvolvida pela EUMESAT. Darmstadt, Alemanha. 2008. Disponível em <u>http://www.eumetsat.int/Home/Main/</u>. Acesso em 29 dez.2008.

EVANS, R.; PODESTÁ, G. **Pathfinder Sea Surface Temperature Algorithm Version 4.0**. Desenvolvido por Guillermo Podestá. Miami, Estados Unidos: University of Miami – Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, 1998. Disponível em

http://www.rsmas.miami.edu/groups/rrsl/pathfinder/Algorithm/algo\_index.htm. Acesso em 06 jul. 2008.

FAIRALL, C.W.; BRADLEY, E.F.; ROGERS, D,P.; EDSON, J.B.; YOUNG, G.S. Bulk parametrization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere coupled atmosphere response experiment. **Journal of Geophysical Research**, v. 101 (C2), p. 3747 – 3764. 1996.

FAIRALL, C.W.; BRADLEY, E.F.; HARE, J.E.; GRACHEV, A.A.; EDSON, J.B. Bulk parametrization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm. **Journal of Climate,** v. 16, n. 4, p. 571 – 591. 2003.

FRANÇA, G.B.; CARVALHO, W.S. Estimativa da Temperatura da Superfície do Mar Utilizando GOES-8 no CPTEC/INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro. p. 20-36.

FRISINGER, H. H. **The History of Meteorology: to 1800**. 1<sup>a</sup> Edição. Nova York, Estados Unidos: Science History Publications and American Meteorological Society, 1977. 148 p. ISBN (0-88202-036-6).

GEMMILL, W. New JCSDA physical retrieval of sea surface temperature used in upgraded operational SST analysis. **JCSDA Quarterly**, n. 12, Set. 2005.

GEMMILL, W.; KATZ, B.; LI, X. Daily Real-Time, Global Sea Surface Temperature – High-Resolution analysis at NOAA/NCEP. Office Note – Contribution number 260. Marine Modeling and Analysis Branch, Camp Springs, Estados Unidos. 2007.

GIGLIOTTI, E. S.; MORAES, L.E.S.; SOUZA, R.B.; SATO, O.T. Uso de parâmetros "All-pixel SST" na estimativa de campos de TSM com base em dados do sensor AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 6479-6486. Abr. 2009.

GILLESPIE, A.; ROKUGAWA, S.; MATSUNAGA, T.; COTHERN, J.S.; HOOK, S.; KAHLE, A.B. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1113-1126, 1998.

GLOBAL OCEAN HIGH RESOLUTION SEA SURFACE TEMPERATURE – PILOT PROJECT (GHRSST-PP). **Sea Surface Temperature Definitions**. Desenvolvido por Craig Donlon. Disponível em <u>http://www.ghrsst-pp.org/SST-Definitions.html</u>. Acesso em 09 mai. 2008.

GRIMM, A.M. Apostila de Meteorologia Básica (Universidade Federal do Paraná). Notas de Aula – Capítulo 2 – Radiação Solar e Terrestre e Balanço de Calor. Disponível em <u>http://física.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-10.html</u>. Acesso em 05 jan. 2009.

HARRISON, L. P. Seasonal Variation of Precipitable Water Vapour in the Atmosphere over India. **Indian Journal of Meteorology and Geophysics**, v. 16, p. 371-384. 1970.

HOCHLEITNER, F.; PAIVA, C.M.; ROTUNNO FILHO, O.C. Validação da estimativa da temperatura da superfície do mar via dados do satélite GOES-8 utilizando dados "in-situ" do projeto PNBOIA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 3629-3632.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Academic Press. Toronto, Canada. 1983.

JET PROPULSION LABORATORY (JPL) - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **ASTER User Handbook – Version 2.** Pasadena, CA, EUA, 2002, 135 p.

JO, Y.-H.; YAN, X.-H.; PAN, J.; LIU, W.T.; HE, M.-X. sensible and latent heat flux in the tropical Pacific from satellite multi-sensor data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 166 – 177, 2004.

KALNAY, E; KANAMITSU, M; KISTLER, R; COLLINS, W; DEAVEN, D; GANDIN, L; IREDELL,M; SAHA, S; WHITE, G; WOOLEN, J; ZHU, Y; LEETMAA, A; REYNOLDS, R; CHELLIAH, M; EBISUZASKI, W; HIGGINS, W; JANOWIAK, J; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C; WANG, J; JENNE, R; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n. 3, p. 437-471, Mar. 1996.

KAMPEL, M.; LORENZZETTI, J.A.; GAETA, S.A.; NEGRI, E. Comparações entre temperaturas da superfície do mar *in situ* e medidas por satélite na região oeste do Atlântico Sul. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 2, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2004, CD-ROM.

KETTLE, H.; MERCHANT, C.J. The impact and mitigation of diurnal variability within the OSTIA system. Edimburgo: University of Edinburgh. 2006. 37 p. Disponível em <u>www.geos.ed.ac.uk/homes/hkettle/publications.html</u>. Acesso em 2 jan. 2009.

KODAMA, Y.M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ and the SACZ). Part I: characteristics of sub-tropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 813-835.

KOUSKY, V. E., 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

KUMAR, A.; MINNET, P.; PODESTÁ, G.; EVANS, R.; KILPATRICK, K. Analysis of pathfinder SST algorithm for global and regional conditions. **Journal of Earth System Science**. V. 109, n. 4, p. 395-405, dez. 2000.

LECKNER, B. The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface – elements of a model. Solar Energy, n. 20, p. 143-150, 1978.

LI, X. Application of nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with NOAA-14 AVHRR data. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 18, n. 3, p. 199-207, 2000.

LI, X.; PICHEL, W.; MATURI, E.; CLEMENTE-COLÓN, P.; SAPPER, J. Deriving the operational nonlinear multichannel sea surface temperature algorithm coeficients for NOAA-15 AVHRR/3. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 4, p. 699-704, 2001.

LIU, W.T.; KATSAROS, K.B.; BUSINGER, J.A. Bulk parametrization of air-sea exchanges of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 36, p. 1722 – 1735. 1979.

LORENC, A. C.; BELL, R.S.; MACPHERSON, B. The Meteorological Office analysis correction data assimilation scheme. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 117, n. 497, p. 59 – 89, 1991.

LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L.; MELLO FILHO, W.L.; ASSIREU, A.T. Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: space/time variability and sea surface temperatures. Aceito pela revista Continental Shelf Research. Acesso em 28 jan. 2009.

LUCCA, E. V. D. O uso da fusão de imagens multisensores por meio da transformada wavelet na caracterização da pluma termal costeira da usina nuclear de Angra dos Reis. 2006. 150p. (INPE-14638-TDI/1202). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

MACEDO JR, C.; PEREIRA-COLTRI, P.; SOARES, S.C. **Características da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e suas possíveis influências na agricultura**. 2008. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Artigo Técnico. Disponível em: <u>http://www.cptec.inpe.br/cgi-bin/webpub/noticia.cgi?8995</u>. Acesso em 27 nov. 2008.

MARSHALL SPACE FLIGHT CENTER (MSFC). **AMSR-E**. Desenvolvido pela NASA. Disponível em <u>http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/AMSR/data\_products.html</u>. Acesso em: 01 fev. 2008.

MARTIN, M.; HINES, A.; BELL, M. Data assimilation in the FOAM operational short-range ocean forecasting system: a description of the scheme and its impact. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 133, n. 625, p. 981-995. 2007.

MATSUNAGA, T. Water surface temperature estimation using linear equations of brightness temperature observed by advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer/thermal infrared radiometer (ASTER TIR) – preliminary evaluation of estimation error with atmospheric temperature and humidity data around Japan. **Journal of Remote Sensing Society of Japan**, v. 16, n. 5, p. 404-415, 1996.

MAY, D.A.; PARMETER, M.M.; OLSZEWSKY, D.S.; McKENZIE, B.D. Operational processing of satellite sea surface temperature retrievals at the Naval Oceanographic Office. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, n. 3, p. 397 – 407. Mar. 1998.

McCLAIN, E.P.; PICHEL, W.G.; WALTON, C.C. Comparative performance of AVHRR-based multi-channel sea surface temperatures. **Journal of Geophysical Research**, v. 90 (C6), p. 11587 – 11601. Mai. 1985.

MESINGER, F.; JANJIC, Z.I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D.G. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Montlhy Weather Review**. V. 116, p. 1493 – 1518, 1988.

MILLER, D.K.; KATSAROS, K.B. Satellite derived surface latent heat fluxes in a rapidly intensifying marine cyclone. **Monthly Weather Review**, v. 120, p. 1093 – 1107. 1992.

MILLERO, F.J. Freezing point of seawater. **Technological Papers in Marine Science**, v. 6, n. 28. 1978.

MIRANDA, R.M., CEBALLOS, J. C.PERES, L. Estimativa de água precipitável a partir de simulações de sinal para uso de imagens AVHRR NOAA-18. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** 2006.

MOURA, A. D. Von Neumann e a previsão numérica de tempo e clima. **Estudos Avançados**, v. 10, n. 26, p. 227-236. 1996. Disponível em: <u>http://www.scielo.br/pdf/ea/v10n26/v10n26a21.pdf</u>. Acesso em 17 nov. 2008. ISSN (0103-4014).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **The NOAA KLM Use's Guide**. Maryland, Estados Unidos, 2000. Disponível em <u>http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm</u>. Acesso em 01 fev. 2008.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION SATELLITE AND INFORMATION SYSTEM (NOAASIS). **Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR**. Desenvolvido pela NOAA. Disponível em <u>http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html</u>. Acesso em: 01 fev. 2008.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION SATELLITE AND INFORMATION SYSTEM (NOAASIS). **Satellite Status Information**. Desenvolvido pela NOAA. Disponível em <u>http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/status.html</u>. Acesso em: 01 fev. 2008.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION SATELLITE AND INFORMATION SYSTEM (NOAASIS). **GOES Imager Instrument**. Desenvolvido pela NOAA. Disponível em http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/imager.html. Acesso em: 1 fev. 2008.

NETER J., KUTNER, H, NACHTSSHEIM, J, WASSERMAN, W. **Applied Linear Statistical Models**. 4<sup>a</sup> Edição. Boston, Estados Unidos: WB/McGraw-Hill, 1996. 1408 p.

NOBRE, C. A., 1988: Ainda sobre a zona de convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Boletim Climanálise**, v. 3, n. 4, p. 30-33, 1988.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. O uso da temperatura da superfície do mar em estudos climáticos. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap. 8, p. 117-133.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; ACEVEDO, O.; WAINER, I.; MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; CAMARGO, R. Multiyear measurements of the oceanic and atmospheric boundary layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. **Journal of Geophysical Research**, v.114, D19103, 2009..

PIDWIRNY, M. (2006). Global Heat Balance: Introduction to Heat Fluxes. In:\_\_\_\_. **Fundamentals of Physical Geography**. 2<sup>a</sup> Edição. Vancouver, Canadá: University of British Columbia. Disponível em: <u>http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7j.html</u>. Acesso em 3 mar. 2009.

PIDWIRNY, M. (2006). Energy, Temperature and Heat. In:\_\_\_\_\_. **Fundamentals of Physical Geography**. 2ª Edição. Vancouver, Canadá: University of British Columbia. Disponível em: <u>http://www.physicalgeography.net/fundamentals/6c.html</u>. Acesso em 3 mar. 2009.

PURSER, R.J.; WU, W.-S.; PARRISH, D.F.; ROBERTS, N.M. Numerical aspects of the application of recursive filters to variational statistical analysis. Part I: spatially homogeneous and isotropic gaussian covariances. Monthly Weather Review, v. 131, n. 8, p. 1524 – 1535. Ago. 2003.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 123p. (INPE-6341-TDL/593). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1994.

REED, R.J. Bjerkness memorial lecture: the development and status of modern weather prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 58, n. 5, p. 390-399, Mai. 1977

REMOTE SENSING SYSTEMS (RSS). **Description of SSM/I Data Products**. Desenvolvido pela RSS. Disponível em http://www.ssmi.com/ssmi/ssmi description.html. Acesso em: 01 fev. 2008.

REMOTE SENSING SYSTEMS (RSS). **Description of TMI Data Products**. Desenvolvido pela RSS. Disponível em http://www.remss.com/tmi/tmi description.html. Acesso em: 01 fev. 2008.

REYNOLDS, R.W; SMITH, T.M. Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. **Journal of Climate**, v. 7, p. 929-948. 1994.

ROBINSON, I.S. Sea-Surface Temperature from Infrared Scanning Radiometers. In: ROBINSON, I.S. **Satellite Oceanography: an Introduction for Oceanographers and Remote Sensing Scientists**. Chichester, Inglaterra: Ellis Horwood Limited, 1985.

ROCHA, A.G.; GANDU, A.W., South Atlantic Convergence Zone. – Edição Comemorativa de 10 Anos, v.1, n. Edição Especial. p. 140-142, 1996.

ROGERS, E.; MANIKIN, G.S.; BRILL, K. Experiments with the NCEP Eta model for the 30-31 december 2000 east coast snowstorm: sensitivity to initial conditions and sea surface temperature. In: CONFERENCE ON WEATHER ANALYSIS AND FORECASTING, 18 AND CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 14, 2001, Fort Lauderdale, Estados Unidos. **Proceedings...** Fort Lauderdale: American Meteorological Society, 2001, p.59 – 61.

SABINS, F.F. **Remote Sensing – Principles and Interpretation**. 3<sup>a</sup> edição. Nova York: Worth Publishers, Incorporated, 1996. 432 p. ISBN (0716724421).

SATO, O.T. Fluxo de Calor Oceânico Medido por Satélites. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. cap. 10, p. 148-165.

SCIENCE AND TECHNOLOGY FACILITIES COUNCIL OF THE RUTHERFORD APPLETON LABORATORY (THE ATSR PROJECT). **ATSR-1/2 User Guide**. Editado por Chris Mutlow. Swindow, Reino Unido, 1999. 29 p.

SIQUEIRA, L.S.P. Validação dos fluxos de calor sobre o Atlântico tropical: modelo acoplado oceano-atmosfera do CPTEC e observações. 2005. 183 p. (INPE-13832-TDI/1055). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 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, 2005. cap. 7, p. 102-116.

STARK, J.D.; DONLON, C.J. Use of ENVISAT within a high resolution near real time global sea surface temperature analysis system. In: ENVISAT SYMPOSIUM, 2007, Montreux, Suíça. **Proceedings...** Montreux, 2007. 4p.

STARK, J.D.; DONLON, C.J; MARTIN, M.J.; MCCULLOCH, M.E. OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system. In: OCEANS '07 IEEE ABERDEEN CONFERENCE: MARINE CHALLENGES: COASTLINE TO DEEP SEA, 2007, Aberdeen, Escócia. **Proceedings...** Aberdeen, 2007. 4p.

STEVENSON, J.W.; NIILER, P.P. Upper ocean heat budget during Hawaii-to-Taiti shuttle experiment. Journal of Physical Oceanography, v.13, n.10, p. 1894 – 1907. 1983.

STEVENSON, M. R.; DIAS-BRITO, D.; STECH, J. L.; KAMPEL, M. How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Continental Shelf Research**, 18, 1595-1612. 1998

SUN, B.; YU, L.; WELLER, R.A. Comparisons of surface meteorology and turbulent heat fluxes over the Atlantic: NWP model analyses versus moored buoy observations. Journal of Climate, v. 16, n. 4, p. 679 – 695. 2003.

THIÉBAUX, J.; ROGERS, E.; WANG, W.; KATZ, B. A new high resolution blended real-time global sea surface temperature analysis. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 84, n. 5, p. 645 – 656. Mai. 2003.

TOLSTYCH, M.A. Implementation of a global semi-lagrangian numerical weather prediction model on parallel computers. In: PARALLEL COMPUTIONAL FLUID DYNAMICS MEETING, 2003, Moscou, Rússia. Proceedings... Moscou, 2003, p. 236 – 239.

TOMÉ, R.F.D. **Previsão do tempo com modelos de mesoscala: casos de estudo com o modelo MM5 nos Açores.** 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2004.

UIBOIPIN, R.; SIPELGAS, L. Comparison of satellite sea surface temperature with in situ surface layer temperature. **Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Biology, Ecology.** v. 56, n. 1, p. 47-56, 2007.

UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (UCAR). Cooperative Program for Operational Meteorology, Education and Training (COMET) – Meteorology Education and Training (MetEd). Boulder, Colorado, Estados Unidos, 2008. Aulas sobre modelagem e previsão numérica do tempo. Disponível em <u>http://www.meted.ucar.edu/topics\_NWP.php</u>. Acesso em 27 nov. 2008.

VAGHETTI, N.N.; DOURADO, M.S. Resposta do oceano superficial à passagem de um sistema frontal na região da Confluência Brasil-Malvinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, III, 2008, Fortaleza. **Anais...** 2008. DVD.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: INMET, 2005. 522 p. Disponível em http: <u>www.agritempo.gov.br/modules.php/link</u>. Acesso em 03 fev. 2009.

VAZQUEZ, J.; PERRY, K.; KILPATRICK, K. NOAA/NASA AVHRR Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature Data Set - User's Reference Manual Version 4.0. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science – University of Miami. Miami, Estados Unidos, 1998. 53 p.

WALTON, C.C. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 27, n. 2, p. 115 – 124. Fev. 1988.

WALTON, C. C.; PICHEL, W.G.; SAPPER, J.F.; MAY,D.A. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperature with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. **Journal of Geophysical Research**, v. 103 (C12), p. 27.999 – 28.012. Jul. 1998.

WENTZ, F.J. A well calibrated ocean algorithm for Special Sensor Microwave/Imager. **Journal of Geophysical Research**, v. 102 (C4), p. 8703-8718. 1997.

WENTZ, F.J.; MEISSNER, T. Algorithm theoretical basis document (ATBD) Version 2 – AMSR-E ocean algorithm. Remote Sensing Systems Technical Proposal 121599A-1. Santa Rosa, CA, Estados Unidos. 2000.

WEYKAMP, F.V. **Transferência de energia no sistema atmosfera-oceano**. Desenvolvida por Demerval S. Moreira, 2000 – 2009. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP).

Disponível em <u>http://www.master.iag.usp.br/ensino/oceano/aula\_4.pdf</u>. Acesso em 04 jan. 2009.

WON, T. The simulation of hourly global radiation from hourly reported meterological parameters – Canadian Praire Area. In: Annual Conference of the Energy Society of Canada, 3. **Proceedings**... Edmonton, Canada, 1977.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **MVIRI Specifications**. Desenvolvida pelo WMO. Genebra, Suíça, 2008. Disponível em: <u>http://www.wmo.ch/pages/prog/sat/CGMS/Directoryofapplications/</u>. Acesso em 29 dez. 2008.