

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-104.

VINICIUS BANDA SPERLING

**MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NO LITORAL  
DE ALAGOAS UTILIZANDO IMAGENS MODIS**

MACEIÓ-AL  
2012

VINICIUS BANDA SPERLING

**MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR NO LITORAL  
DE ALAGOAS UTILIZANDO IMAGENS MODIS**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace

MACEIÓ-AL  
2012

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Maria Helena Mendes Lessa**

S749m Sperling, Vinicius Banda.  
Mapeamento da temperatura da superfície do mar no litoral de Alagoas  
utilizando imagens MODIS / Vinicius Banda Sperling. - 2012.  
109 f. : il., tabs.

Orientador: Frederico Tejo Di Pace.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 104-109.

1. Temperatura da superfície do mar. 2. MODIS. 3. AQUA.  
4. Nonlinear Sea Surface Temperature . I. Título.

CDU: 551.526 (813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

## CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-104.

*“MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR PARA O LITORAL  
DE ALAGOAS UTILIZANDO IMAGENS MODIS/AQUA”*

*Vinicius Banda Sperling*

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace  
(Orientador)

Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes  
(Membro Interno)

Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva  
(Membro Externo – UFPE)

**Dezembro/2012**

Dedico esta dissertação, em especial, ao meu pai “Jorge Luiz Sperling” e a minha mãe “Maria Cristina Banda Sperling”, que mesmo distantes, apoiaram-me em todos os momentos, sempre com muito amor, carinho e compreensão. Dedico, também, ao meu irmão “Wagner Banda Sperling” e a minha namorada, colega e amiga “Valesca Rodriguez Fernandes”.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em especial, a toda minha família.

A minha namorada, Valesca Rodriguez Fernandes, pela compreensão, paciência e dedicação, em todos os momentos, no decorrer deste trabalho.

Ao professor Dr. Frederico Tejo Di Pace, pela orientação, paciência e pelos conhecimentos transmitidos no desenvolvimento desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora, professor Dr. Bernardo Barbosa da Silva e ao professor Dr. Heliofábio Barros Gomes.

Aos professores do ICAT/UFAL pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos e colegas do curso de Mestrado em Meteorologia ICAT/UFAL.

Ao Instituto de Ciências Atmosféricas juntamente à Universidade Federal de Alagoas pela infraestrutura cedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela bolsa de estudo, sem a qual não teria sido possível realizar o Mestrado.

## RESUMO

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é extremamente importante para os processos de interação entre o oceano e a atmosfera, pois a dinâmica atmosférica é influenciada por variações na TSM. Este trabalho tem por finalidade estimar e mapear a TSM, mediante imagens MODIS/Aqua e algoritmo operacional de correção atmosférica Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST), para o litoral do estado de Alagoas. A área de estudo pertence à região oeste do oceano Atlântico Sul, abrangendo a costa litorânea de Alagoas e tem uma área de aproximadamente 122.430 km<sup>2</sup>. São utilizados dados do sensor MODIS, adquiridos no Level I and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS) e dados da TSM (observações *in situ*) obtidos por boias da rede PIRATA. As imagens MODIS/Aqua correspondem à passagem do satélite, sobre a área de estudo, nos dias 2 de novembro de 2007, 6 de janeiro de 2008, 30 de janeiro de 2009, 2 de novembro de 2010 e 16 de novembro de 2011, referentes ao tile h14v09. Após o processamento das imagens foi determinada a temperatura de brilho das bandas 31 e 32 do MODIS e, posteriormente, estimou-se a TSM através do método split-window NLSST. Foi testado, através da análise de parâmetros estatísticos, a relação entre a temperatura de brilho na banda 31 e a TSM, estimada pelo MODIS/Aqua juntamente ao algoritmo NLSST. Os resultados mostraram, em algumas cenas MODIS/Aqua, coeficientes de correlação ( $r$ ) positivos perfeitos, entre a temperatura de brilho e a TSM, e, também, que o MODIS/Aqua é adequado na estimativa e mapeamento da TSM no litoral de Alagoas. A estimativa da TSM, através do algoritmo NLSST, procedeu-se de duas maneiras. Primeiramente, a TSM foi estimada utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens e, posteriormente, a TSM foi estimada utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo. Para a validação dos dados da TSM obtida por satélite, utilizou-se dados da TSM (*in situ*) obtidos pelas boias da rede PIRATA. A validação dos dados de satélite consiste em uma janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia, onde a validação procedeu-se entre a comparação do dado *in situ* com o pixel mais quente, com o pixel mais frio, com o pixel central e com a média dos pixels na janela 3x3 pixels. A TSM estimada com os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, quando comparado o dado *in situ*, com o pixel mais quente e com o pixel central na janela 3x3 pixels, apresentou melhores resultados na validação dos dados. O coeficiente de correlação ( $r$ ), encontrado entre a TSM observada e a TSM estimada, com ambos os coeficientes de calibração do algoritmo, foram de 0,60 a 0,83 para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels enquanto que para o pixel central na janela 3x3 pixels, foi 0,62 a 0,85. Os valores da TSM obtidos por satélite são ligeiramente inferiores aos valores da TSM obtidos pelas boias da rede PIRATA. Provavelmente, isto se deve ao fato dos dados utilizados da TSM estarem localizados em uma região com grande presença de meandros e vórtices e, também, ao fato da correção atmosférica utilizada ser mais adequada ao Hemisfério Norte, pois este detém maior concentração de boias para aferição dos dados.

**Palavras Chave:** Temperatura da Superfície do Mar. MODIS. AQUA. Nonlinear Sea Surface Temperature.

## ABSTRACT

The Sea Surface Temperature (SST) is extremely important for the interaction processes between the ocean and atmosphere because atmospheric dynamics is influenced by variations in SST. This study aims to estimate and map the SST using MODIS/Aqua images and operational atmospheric correction algorithm Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST), to the coast of the state of Alagoas. The study area belongs to the western region of the South Atlantic Ocean, covering the coastline of Alagoas and has an area of approximately 122.430 km<sup>2</sup>. MODIS were use, acquired in Level I and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS) and SST data (*in situ* observations) obtained by buoys PIRATA network. The MODIS/Aqua images correspond to the satellite pass over the study area, on November 2, 2007, January 6, 2008, January 30, 2009, November 2, 2010 and November 16, 2011, regarding the h14v09 tile. After processing, the MODIS/Aqua images, was determined brightness temperature of 31 to 32 band of MODIS and subsequently was estimated the TSM through the split-window method NLSST. Was tested by analysis of statistical parameters the relationship between the brightness temperature of the band 31 and TSM estimated by the algorithm NLSST MODIS/Aqua together. The results showed, in some scenes MODIS/Aqua, correlation coefficients (r) between the brightness temperature and SST, positive and perfect and that in the MODIS/Aqua is suitable for mapping and estimating the SST off the coast of Alagoas. The estimate of the SST, through the algorithm NLSST, was done in two ways. First, the TSM was estimated using the calibration coefficients the algorithm derived from radiosonde and, subsequently, the TSM was estimated using the calibration coefficients the algorithm derived from the model. For the validation of SST data obtained by satellite we used data from TSM (*in situ*) obtained by buoys network PIRATA. The validation of satellite data consist of a 3x3 pixel window centered on the position of the buoy, where the validation proceeded comparison between to the data *in situ* with the pixel hotter, with the pixel cooler, with the central pixel and the average of the pixels in the window 3x3 pixels. The SST estimated with calibration coefficients algorithm derived from the model, when compared to the data *in situ*, with the hottest pixel and the central pixel in the window 3x3 pixels produces better results in the validation data. The correlation coefficient (r) found between the SST observed and SST estimated with both calibration coefficients of the algorithm, were 0,60 to 0,83 for the pixel in the hottest in the window 3x3 pixel, in the (r) found, for the central pixel in the window 3x3 pixels, was 0,62 to 0,85. The values of SST obtained by satellite are slightly lower than the values obtained by the SST buoys network PIRATA. Probably this is due to the fact that the data used in the SST are located in a region with great presence of meanders and eddies, and also the fact that the atmospheric correction used to be best suited to the Northern Hemisphere, because it has a higher concentration of buoys to measure data.

**Keywords:** Sea Surface Temperature. MODIS. AQUA. Nonlinear Sea Surface Temperature.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Instrumentos do satélite AQUA.....	19
Figura 2 - Exemplo do sistema de varredura do MODIS.....	21
Figura 3 - Principais correntes oceânicas.....	32
Figura 4 - Localização da área de estudo destacada pelo retângulo preto.....	34
Figura 5 - Recorte retangular da região de estudo.....	35
Figura 6 - Localização do <i>tile h14v09</i> (destacado pelo retângulo amarelo).....	38
Figura 7 - Imagem MODIS/Aqua referente ao <i>tile h14v09</i> .....	38
Figura 8 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Granule Browser</i> .....	39
Figura 9 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Granule Browser Parameter Comparison</i> .....	40
Figura 10 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Data</i> .....	41
Figura 11 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Search for Data Products</i> .....	42
Figura 12 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Temporal Selection e Collection Selection</i> .....	42
Figura 13 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Spatial Selection</i> .....	43
Figura 14 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Seleção dos produtos MYD021KM e MYD03</i> .....	44
Figura 15 - Interface gráfica do LAADS Web: <i>Select Delivery Method (FTP Pull)</i> .....	45
Figura 16 - Boia PIRATA 31003.....	51
Figura 17 - Localização das boias PIRATA 31003 e 31004.....	51
Figura 18 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos. Os números indicam os locais dos pluviômetros no setor leste de Alagoas.....	55
Figura 19 - Composições médias mensais obtidas através de dados de reanálise NCEP.....	56
Figura 20 - Mapas temáticos da $(T_b)_{b31}$ (°C).....	63
a) $(T_b)_{b31}$ (°C) para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.....	63
b) $(T_b)_{b31}$ (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.....	64
c) $(T_b)_{b31}$ (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.....	64
d) $(T_b)_{b31}$ (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.....	65
e) $(T_b)_{b31}$ (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.....	65

Figura 21 - Mapas temáticos da TSM (°C), utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.....	71
a) TSM (°C) para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.....	71
b) TSM (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.....	72
c) TSM (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.....	72
d) TSM (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.....	73
e) TSM (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.....	73
Figura 22 - Mapas temáticos da TSM (°C) utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados do modelo ECMWF.....	79
a) TSM (°C) para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.....	79
b) TSM (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.....	80
c) TSM (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.....	80
d) TSM (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.....	81
e) TSM (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.....	81
Figura 23 - Área de Proteção Ambiental (APA) – Costa dos Corais.....	83
Figura 24 - APA Costa dos Corais - Barra de Santo Antônio/AL (a); São Miguel dos Milagres/AL (b); Porto de Pedras/AL (c).....	84
Figura 25 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.....	87
Figura 26 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.....	87
Figura 27 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.....	88
Figura 28 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.....	88
Figura 29 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.....	89
Figura 30 - Vento zonal em 925 hPa (m/s) (a); Advecção de umidade específica 925 hPa (g/Kg.mês) (b); Pressão na superfície (hPa) (c); Umidade específica em 925 hPa (g/Kg) (d); TSM (°C) (e); Precipitação média dos 13 postos pluviométricos (mm) (f).....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Especificações das 36 bandas espectrais do sensor MODIS.....	24
Tabela 2 -	Imagens MODIS/Aqua (produtos MYD021KM e MYD03) referentes ao <i>tile h14v09</i> .....	37
Tabela 3 -	Coefficientes derivados de radiossondagens, para definir propriedades atmosféricas e variabilidade.....	48
Tabela 4 -	Coefficientes derivados do modelo ECMWF, para definir propriedades atmosféricas e variabilidade.....	49
Tabela 5 -	Interpretação do Índice de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).....	53
Tabela 6 -	Nome, município a que pertence e coordenadas geográficas dos postos pluviométricos.....	55
Tabela 7 -	Valores estatísticos da radiância espectral ( $W/m^2\mu msr$ ) da banda 31 do MODIS/Aqua.....	58
Tabela 8 -	Valores estatísticos da radiância espectral ( $W/m^2\mu msr$ ) da banda 32 do MODIS/Aqua.....	59
Tabela 9 -	Valores estatísticos da $(T_b)_{b31}$ em ( $^{\circ}C$ ).....	60
Tabela 10 -	Valores estatísticos da $(T_b)_{b32}$ em ( $^{\circ}C$ ).....	66
Tabela 11 -	Valores estatísticos da TSM ( $^{\circ}C$ ), com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radio sondagens.....	68
Tabela 12 -	Valores estatísticos da TSM ( $^{\circ}C$ ), com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	75
Tabela 13 -	Análise dos parâmetros Estatísticos: Coeficiente de Correlação (r); Índice de Concordância (d); Índice de Confiança (c).....	85
Tabela 14 -	Valores da TSM ( $^{\circ}C$ ) medida pela boia PIRATA 31003 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	89
Tabela 15 -	Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.....	90

Tabela 16 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	91
Tabela 17 - Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	91
Tabela 18 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31004 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	92
Tabela 19 - Erro percentual (E) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.....	92
Tabela 20 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	93
Tabela 21 - Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.....	93
Tabela 22 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31003 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.....	94
Tabela 23 - Erro percentual (E) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.....	95
Tabela 24 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.....	95
Tabela 25 - Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.....	96

Tabela 26 -	Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31004 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.....	96
Tabela 27 -	Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.....	97
Tabela 28 -	Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.....	97
Tabela 29 -	Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.....	98
Tabela 30 -	Coeficiente de correlação (r) entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP.....	100

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>NLSST</b>	Nonlinear Sea Surface Temperature
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>EOS</b>	Earth Observing System
<b>MODIS</b>	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
<b>AIRS</b>	Atmospheric Infrared Sounder
<b>AMSR-E</b>	Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
<b>AMSU-A</b>	Advanced Microwave Sounding Unit-A
<b>CERES</b>	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
<b>HSB</b>	Humidity Sounder for Brazil
<b>GES</b>	Goddard Earth Sciences
<b>HDF</b>	Hierarchical Data Format
<b>ATBD</b>	Algorithm Theoretical Basis Documents
<b>SD</b>	Solar Diffuser
<b>SDSM</b>	Solar Diffuser Stability Monitor
<b>BB</b>	Black Body
<b>SRCA</b>	Spectroradiometric Calibration Assembly
<b>EDOS</b>	Eos Data and Operations System
<b>DAAC</b>	Distributed Active Archive Center
<b>MODAPS</b>	MODIS Adaptive Processing System
<b>VIS</b>	Visvel
<b>IVP</b>	Infravermelho Próximo
<b>IVM</b>	Infravermelho Médio
<b>IVT</b>	Infravermelho Termal
<b>BRDF</b>	Bidirectional Reflectance Distribution Function
<b>IFOV</b>	Instantaneous Field Of View
<b>SR</b>	Scanning Radiometer
<b>VHRR</b>	Very High Resolution Radiometer
<b>AVHRR</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer
<b>MCSST</b>	Multi-Channel Sea Surface Temperature
<b>CCPSST</b>	Cross Product Sea Surface Temperature
<b>SSM/I</b>	Special Sensor Microwave Imager

<b>NAVO</b>	Naval Oceanographic Office
<b>CB</b>	Corrente do Brasil
<b>CSE</b>	Corrente Sul Equatorial
<b>AT</b>	Água Tropical
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>AL</b>	Alagoas
<b>SE</b>	Sergipe
<b>PE</b>	Pernambuco
<b>MYD021KM</b>	MODIS/Aqua Calibrated Radiances 5-Min L1B Swath 1km
<b>MYD03</b>	MODIS/Aqua Geolocation Fields 5-Min L1A Swath 1km
<b>LAADS</b>	Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System
<b>MRT Swath</b>	MODIS Reprojection Tool Swath
<b>ISIN</b>	Integerized Sinusoidal
<b>UTM</b>	Universal Transversa de Mercator
<b>WGS84</b>	World Geodetic System de 1984
<b>SI</b>	Scaled Integers
<b>ECMWF</b>	European Center for Medium range Weather Forecasting
<b>PIRATA</b>	Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic
<b>ATLAS</b>	Autonomous Temperature Line Acquisition System
<b>SEMARH/AL</b>	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas
<b>DHM</b>	Diretoria de Hidrometeorologia
<b>BDHM</b>	Banco de Dados Hidrometeorológicos
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OAR</b>	Oceanic and Atmospheric Research
<b>ESRL</b>	Earth System Research Laboratory
<b>PSD</b>	Physical Sciences Division
<b>GrADS</b>	Grid Analysis and Display System
<b>(T<sub>b</sub>)</b>	Temperatura de brilho
<b>(T<sub>b</sub>)<sub>b31</sub></b>	Temperatura de brilho na banda 31
<b>(T<sub>b</sub>)<sub>b32</sub></b>	Temperatura de brilho na banda 32
<b>APA</b>	Área de Proteção Ambiental

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Satélite AQUA</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Sensor MODIS</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Temperatura da Superfície do Mar (TSM)</b> .....	25
2.3.1	Histórico de medições da TSM.....	27
2.3.2	Histórico de medições da TSM por satélites.....	28
2.3.3	Métodos de estimativa da TSM.....	29
<b>2.4</b>	<b>Correntes Oceânicas</b> .....	31
2.4.1	Corrente do Brasil.....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	34
3.1.1	Definição dos setores litorâneos de Alagoas.....	34
3.1.2	Caracterização da área de estudo quanto ao clima.....	36
<b>3.2</b>	<b>Imagens MODIS/Aqua</b> .....	36
3.2.1	Produtos MYD021KM e MYD03.....	36
3.2.2	Aquisição das imagens MODIS/Aqua.....	39
3.2.3	Conversões do formato HDF para Geotiff.....	45
3.2.4	Importação das bandas MODIS/Aqua.....	45
3.2.5	Georreferenciamento.....	46
<b>3.3</b>	<b>Algoritmo de Correção Atmosférica: Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST)</b> .....	46
<b>3.4</b>	<b>Metodologia de Validação</b> .....	49
3.4.1	Dados da TSM <i>in situ</i> obtidos pelas boias ATLAS da rede PIRATA.....	50
3.4.2	Análise Estatística.....	52
<b>3.5</b>	<b>Relação entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP (dados utilizados)</b> .....	54
3.5.1	Dados Pluviométricos.....	54
3.5.2	Dados de Reanálise NCEP.....	55
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>4.1</b>	<b>Radiância espectral</b> .....	58



4.1.1	Radiância espectral detectada da banda 31 do MODIS/Aqua.....	58
4.1.2	Radiância espectral detectada da banda 32 do MODIS/Aqua.....	59
<b>4.2</b>	<b>Mapas Temáticos da Temperatura de brilho (<math>T_b</math>).....</b>	<b>59</b>
4.2.1	Temperatura de brilho da banda 31 do MODIS/Aqua ( $T_b$ ) <sub>b31</sub> .....	59
4.2.2	Temperatura de brilho da banda 32 do MODIS/Aqua ( $T_b$ ) <sub>b32</sub> .....	66
<b>4.3</b>	<b>Mapas Temáticos da Temperatura da Superfície do Mar (TSM).....</b>	<b>67</b>
4.3.1	TSM utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.....	67
4.3.2	TSM utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados do modelo ECMWF.....	74
<b>4.4</b>	<b>Relação entre a (<math>T_b</math>)<sub>b31</sub> e a TSM.....</b>	<b>84</b>
<b>4.5</b>	<b>Validação dos dados.....</b>	<b>86</b>
4.5.1	Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo x TSM <i>in situ</i> observada na boia PIRATA 31003.....	89
4.5.2	Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo x TSM <i>in situ</i> observada na boia PIRATA 31004.....	91
4.5.3	Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens x TSM <i>in situ</i> observada na boia PIRATA 31003.....	94
4.5.4	Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens x TSM <i>in situ</i> observada na boia PIRATA 31004.....	96
<b>4.6</b>	<b>Relação entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP.....</b>	<b>99</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>103</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Dados da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) são extremamente necessários para fins de pesquisa, incluindo o monitoramento dos oceanos e, em especial, para determinar as condições iniciais e de contorno para a previsão do tempo, clima e numérica do oceano, como a previsão sazonal de sistemas oceânico-atmosféricos. Desvios significativos da TSM, em relação às médias de longo período, conhecidos como anomalias, são empregados em estudos da dinâmica do clima, como por exemplo, o fenômeno do “El Nino”.

Os padrões da TSM, variando em escalas espaciais de local até global, e em escalas temporais de horas até meses ou anos, são de interesse para pesquisadores de diferentes áreas, principalmente para meteorologia e oceanografia (ARAÚJO, 2002). O estudo dos campos da TSM, em mesoescala, é de grande interesse, principalmente 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 águas. É fundamental o conhecimento global e regional das características de interação superfície - atmosfera, pois a dinâmica atmosférica é influenciada por variações da TSM. A medida da TSM tem importância extrema nos processos de interação ar - mar que controlam o balanço climático do planeta (SOUZA, 2003).

Diversas boias marítimas (à deriva + ancorada), consideradas convencionais, são capazes de medir, com boa precisão, a TSM, mas proporcionam medidas pontuais que são representativas apenas para áreas de pequenas dimensões, deixando assim, uma pendência de informações sobre a superfície oceânica. Para realizar a estimativa da TSM em grandes áreas são utilizadas técnicas baseadas em sensores orbitais, que são mais apropriados porque reúnem grande cobertura espacial e têm baixo custo operacional. Dessa forma, o sensoriamento remoto por meio de satélites, constitui uma ferramenta poderosa para monitoramento do sistema superfície – atmosfera, como meio economicamente mais viável comparado aos custos e manutenções das boias convencionais, e mais objetivo nas escalas de espaço e tempo, devido à rapidez, precisão, periodicidade e visão sinótica que as caracterizam (DI PACE, 2004).

Entretanto, para obter-se um melhor resultado na estimativa da temperatura, através do canal termal, foram desenvolvidos, no decorrer dos anos, algoritmos que convertem dados de radiação espectral em temperatura de brilho, através da inversão da equação de Planck e,

posteriormente, em TSM. O algoritmo Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST) está entre os mais utilizados atualmente, por proporcionar resultados importantes (LI et al., 2000; HOSODA et al., 2007; LI et al., 2001).

Diante das considerações, o presente trabalho tem por objetivo geral, estimar, analisar e mapear a TSM, por meio de imagens obtidas pelo sensor MODIS a bordo do satélite AQUA e aplicação do algoritmo NLSST, para o litoral do estado de Alagoas. Os objetivos específicos foram: (i) elaborar mapas da TSM para todo o litoral de Alagoas, (ii) validar os dados da TSM, estimados via satélite, com os dados da TSM (*in situ*), (iii) criar um banco de dados da TSM para o litoral do estado de Alagoas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Satélite AQUA

A Agência Espacial Norte Americana (National Aeronautics and Space Administration - NASA) junto ao Sistema de Observação da Terra (Earth Observing System - EOS) lançou o satélite AQUA. Nascido da colaboração científica entre os EUA, Japão e Brasil, foi lançado em 4 de maio de 2002, com o objetivo de continuar e ampliar os estudos que iniciaram-se com o satélite TERRA em dezembro de 1999, em relação ao ciclo de água e monitoramento das alterações do clima em nosso planeta. A missão AQUA está a recolher grandes quantidades de informações sobre, o ciclo da água na Terra, incluindo a evaporação dos oceanos, vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade da superfície da terra, gelo no mar, gelo na terra e a cobertura de neve. Variáveis adicionais, também, estão sendo medidas pelo AQUA e incluem os fluxos de energia radiativa, aerossóis, cobertura vegetal sobre a Terra e material orgânico dissolvido nos oceanos, no ar e na Terra. A principal variável medida pelo AQUA, em relação aos fluxos de energia radiativa, é a Temperatura da Superfície do Mar.

O satélite AQUA, juntamente com outros satélites (AURA, PARASOL, CLOUDSAT) foram chamados de Afternoon Constellation, ou A-Train. O nome Afternoon Constellation foi atribuído para este grupo de satélites, pois realizam cruzamento equatorial no período vespertino, às 01:30 PM a cada dia (sentido Sul - Norte). Isto, também, é conhecido como EOS PM, distinguindo-se de seu gêmeo, o satélite TERRA, ou o EOS AM, porque ele cruza o plano do Equador às 10:30 AM a cada dia (sentido Norte - Sul). O resultado desta sincronização traduz-se na capacidade do sensor MODIS recolher dados da superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias. Em outras palavras, a sua resolução temporal é bastante elevada (CAPÃO et al., 2007).

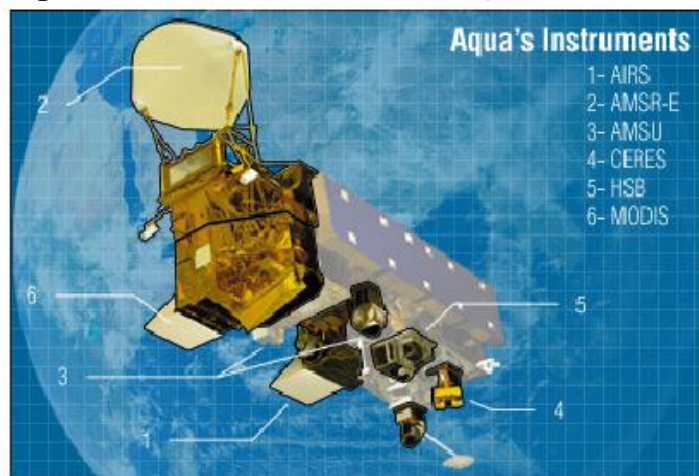
O satélite AQUA tem massa de 2.934 kg (no lançamento) distribuídos em 2,7 m de largura, 2,5 m de comprimento e 6,5 m de altura (NASA, 2012a). A vida média do satélite está estimada em 6 anos, durante o qual ele deve dissipar 4860 Watts (extremidade de alimentação da vida) produzido pelo gerador de energia solar. O satélite supracitado está estacionado a uma altitude de 705 Km acima da superfície da Terra, possui características de órbita polar, elíptica e heliossíncrona, descrevendo um período de revolução de 99 minutos e com uma inclinação, em relação ao plano equatorial da Terra, com cerca de 98°. A órbita

heliossíncrona é uma caso particular de uma órbita quase polar, onde o seu plano de órbita é sempre fixo para um observador que esteja postado no Sol. Assim o satélite passa numa dada posição geográfica sempre na mesma hora solar local, ou seja, as observações são sempre feitas nas mesmas condições de iluminação (no caso do AQUA às 01:30 PM). Geralmente os satélites heliossíncronos são satélites de média e baixa órbita, com altitudes variando de 550 até 850 km e uma inclinação em relação ao Equador de 97 a 98°.

O satélite AQUA é equipado com seis diferentes instrumentos, como pode ser observado na Figura 1. Cada um tem características e capacidades únicas e todos os seis instrumentos juntos servem para formar um pacote poderoso para observações da Terra. Os sensores operam para detectar a radiação em diferentes bandas do espectro eletromagnético, a fim de obter-se mais informações. A representação gráfica do satélite AQUA é mostrada na Figura 1, onde também está indicado a posição dos instrumentos a bordo do satélite AQUA (NASA, 2012a). Os instrumentos do AQUA são:

- AIRS (Atmospheric Infrared Sounder);
- AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS);
- AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit-A);
- CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System);
- HSB (Humidity Sounder for Brazil);
- MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer);

**Figura 1 - Instrumentos do satélite AQUA**



Fonte: NASA, 2012a.

## 2.2 Sensor MODIS

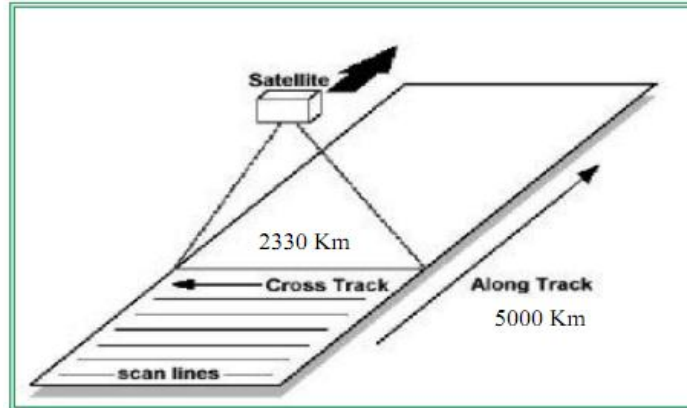
O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), foi desenvolvido pela Goddard Earth Sciences (GES) ou Goddard Space Flight Center Earth Sciences e está a bordo dos satélites TERRA e AQUA do programa EOS da NASA. Esse sensor adquire dados de toda a superfície terrestre a cada 1 ou 2 dias em 36 bandas espectrais, que situam-se em comprimentos de onda que variam de 0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$  (MOREIRA, 2003), distribuídos em diferentes grupos de resolução espacial, capaz de produzir mapas bidimensionais com resolução espacial de 250 m, 500 m, e 1000 m (NASA, 2012b). As imagens do MODIS oferecem uma base sistemática de dados na elaboração de produtos sobre as interações entre atmosfera, superfície terrestre e oceano. Sua utilização encontra-se associada na medição de propriedades das nuvens, fluxo de energia radiante (TSM), propriedades dos aerossóis, mudanças no uso e cobertura das terras, queimadas e atividades vulcânicas, entre outras.

O radiômetro MODIS encontra-se a 705 km de altitude. Observa-se, na Figura 2, o sistema de varrimento do MODIS, que é composto por um scanner óptico de varredura transversal, sendo a largura da área observada (*cross-track ou swath*) de 2330 km e o comprimento (*along track*) dependente dos instantes de início e fim da recolha da imagem, podendo ultrapassar os 5000 km. Este tipo de varredura é designada de *cross-track scanning* ou *whiskbroom scanner* (CAPÃO et al., 2007). Este tipo de funcionamento compreende a varredura da terra numa série de linhas orientadas perpendicularmente em relação à direção de deslocamento da plataforma onde o sensor se encontra (neste caso o MODIS/AQUA), sendo cada linha digitalizada de um lado ao outro através de um espelho rotativo. Na medida em que a plataforma avança, varrimentos sucessivos dão origem a uma imagem bidimensional. Este tipo de sistema pode ser comparado aos movimentos de uma vassoura de mão para limpar uma mesa de um lado para o outro, daí a designação em cima enunciada de whiskbroom scanner (JENSEN, 2000).

O MODIS possui órbita polar e desloca-se sobre um plano perpendicular ao Equador, podendo obter imagens de praticamente toda a superfície terrestre num determinado intervalo de tempo, devido à rotação da Terra (de oeste para leste) (CAETANO, 2004). A órbita heliosíncrona atribuída ao AQUA fica caracterizada pelo fato de o seu plano formar um ângulo constante com a linha Sol – Terra, sendo possível obter sempre condições semelhantes para imagens da mesma região. Desta forma as imagens ao longo dos anos são mais fáceis de comparar uma vez que têm as mesmas condições de iluminação. O sensor MODIS evidenciou

bons resultados na solução do problema entre as limitações que as escalas temporais e espaciais promovem nas análises multitemporais à escala local (MESQUITA JR. et al., 2003).

**Figura 2 - Exemplo do sistema de varredura do MODIS**



Fonte: NASA, 2003.

O sensor MODIS, através da utilização de diversos algoritmos processados por computadores de alta velocidade, produz 44 produtos diferentes que descrevem muitos sinais vitais da superfície terrestre, dos oceanos, atmosfera, incêndios, TSM, passando pelas propriedades das nuvens, medição da atividade fotossintética através do dióxido de carbono da atmosfera e monitorização de produtividade primária biológica no oceano, entre outros. O MODIS fornece produtos para pesquisadores de várias disciplinas, incluindo Oceanografia, Biologia, Meteorologia e um conjunto de dados extremamente importantes para o estudo e investigação das mudanças do clima no planeta Terra.

O formato de distribuição dos produtos MODIS, aos seus usuários, é o Hierarchical Data Format (HDF), o qual permite uma implementação transparente de acesso aos dados, que podem ser adquiridos gratuitamente, já georreferenciados e corrigidos para efeitos atmosféricos. Estes arquivos são autodescritivos, tornando mais fácil o entendimento de sua estrutura e conteúdo (JUSTICE et al., 2002). Os produtos MODIS, possuem manuais que fornecem todas as informações sobre os algoritmos utilizados para a geração destes produtos, chamados de Algorithm Theoretical Basis Documents (ATBD). Neste estudo, utilizou-se o ATBD MODIS Infrared Sea Surface Temperature Algorithm, como descrito por Brown e Minnett, (1999).

Outra característica que distingue os produtos MODIS de outros sensores é o fato dos custos de instalação e funcionamento serem reduzidos, permitindo assim a países, em vias de

desenvolvimento, melhorar as suas capacidades tecnológicas de detecção remota com orçamentos próprios (DUONG, 2004).

O sistema do MODIS possui quatro módulos de calibração interna: um Difusor Solar (Solar Diffuser – SD) juntamente com um Monitor de Estabilidade do Difusor Solar (Solar Diffuser Stability Monitor – SDSM), um Corpo Negro (Black Body – BB) e um Sistema de Calibração Espectro Radiométrica (Spectoradiometric Calibration Assembly – SRCA) (RUDORFF et al., 2007).

Os dados adquiridos pelo MODIS são enviados para o sistema de operações Eos Data and Operations System (EDOS) e são processados e divididos em cinco níveis (0 a 4), que irão variar em função do grau de processamento realizado. Após o processamento do nível zero pelo sistema operacional, o centro de arquivos denominado GES do Distributed Active Archive Center (DAAC) irá produzir os níveis 1A e 1B e os produtos de geolocalização. Os produtos de níveis mais elevados são produzidos pelo MODIS Adaptive Processing System (MODAPS) e então distribuídos entre três outros centros do DAAC. Os produtos MODIS, de acordo com Justice et al. (2002), são gerados e distribuídos de acordo com os seguintes níveis:

**Nível 0:** são os dados brutos sem qualquer tratamento e não estão disponíveis ao usuário.

**Nível 1 (1A):** produtos que contém as 36 bandas utilizadas como dado de entrada para geolocalização, calibração e processamento. Indicadores de qualidade são adicionados aos dados para indicar alguma perda ou dados de baixa qualidade. Medidas nos canais, visível (VIS), infravermelho próximo (IVP) e infravermelho médio (IVM) são feitas apenas durante o dia, enquanto medidas na faixa do infravermelho termal (IVT) são feitas, também, durante a noite.

**Nível 1 (1B):** produtos que contém os dados de calibração e geolocalização para as 36 bandas geradas pelo nível 1A. As radiâncias são em  $W.m^{-2}.\mu m^{-1}.sr^{-1}$ . Em adição, o Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) pode ser determinada para as bandas refletivas solares (1-19, 26), através do conhecimento da irradiação solar e a geometria de iluminação do alvo. Dados adicionais são fornecidos, incluindo as estimativas de qualidade, de erro e dados de calibração.

**Nível 2:** os produtos deste nível são derivados de radiâncias calibradas de produtos prévios do MODIS e são armazenados em um espaço original do sensor. Os produtos



conhecidos como nível 2G (L2G) são gerados a partir de um conjunto de dados de um simples dia do nível 2, reorganizados e armazenados em uma grade de referência (*earth-based grid*), preservando todas as amostras dos dados originais do nível 2. Cumpre salientar que a menor quantidade de dados processados em um determinado período é definida nos níveis 1 e 2 como *granule* e correspondem a aproximadamente 5 minutos de imageamento. O MODIS imagea 288 *granules* a cada 24 hs, sendo sua cobertura equivalente a uma área aproximada de 2330 Km (*across-track*, ortogonal à trajetória) por 2030 Km (*along-track*, na projeção da trajetória).

**Nível 3:** os produtos são espacialmente reamostrados e compostos para um determinado tempo para produzir uma simples estimativa das variáveis geofísicas para cada grade de localização. As escalas de tempo dos produtos deste nível variam de um dia até um ano.

**Nível 4:** os produtos deste nível são gerados pela incorporação dos dados MODIS em modelos para se estimar as variáveis geofísicas.

Na Tabela 1, observa - se as especificações das 36 bandas espectrais do sensor MODIS e, simultaneamente, a largura de cada banda, os valores da radiância espectral para cada canal e a resolução espacial expressa em termos do tamanho do Instantaneous Field Of View (IFOV) projetado sobre o solo ou pixels. A Tabela 1, também, indica alguns dos principais usos dos dados coletados de todos os 36 canais do sensor MODIS. De acordo com Barnes et al. (1998), a incerteza nas suas medições radiométricas é de  $\pm 5\%$  para as bandas do espectro solar e  $\pm 1\%$  para as bandas do espectro terrestre.

Com apenas um instrumento, o MODIS, a comunidade científica poderá estudar as características físicas e biológicas da superfície da Terra, dos oceanos e da atmosfera. Assim, torna-se possível o acesso à informação de como a atmosfera, os oceanos e a superfície terrestre interagem nos ciclos naturais de mudança do clima, sendo importantíssimo na tomada de decisões sustentadas sobre políticas de proteção dos recursos naturais.

**Tabela 1 – Especificações das 36 bandas espectrais do sensor MODIS.**

Principais usos	Nº da Banda	Largura da banda <sup>1</sup>	Radiância espectral <sup>2</sup>	Resolução Espacial <sup>3</sup>
Superfície/Nuvens/Aerossóis	1	620 – 670	21,8	250
	2	841 – 876	24,7	250
Propriedades Superfície/Nuvens/Aerossóis	3	459 – 479	35,3	500
	4	545 – 565	29,0	500
	5	1230 – 1250	5,4	500
	6	1628 – 1652	7,3	500
	7	2105 – 2155	1,0	500
Biogeoquímica Cor do Oceano/ Fitoplâncton	8	405 – 420	44,9	1000
	9	438 – 448	41,9	1000
	10	483 – 493	32,1	1000
	11	526 – 536	27,9	1000
	12	546 – 556	21,0	1000
	13	662 – 672	9,5	1000
	14	673 – 683	8,7	1000
	15	743 – 753	10,2	1000
Vapor d' água da atmosfera	16	862 – 877	6,2	1000
	17	890 – 920	10,0	1000
	18	931 – 941	3,6	1000
Temperatura Superfície/Nuvens	19	915 – 965	15,0	1000
	20	3,660 - 3,840	0,45 (300K)	1000
	21	3,929 - 3,989	2,38 (335K)	1000
	22	3,929 - 3,989	0,67 (300K)	1000
Temperatura atmosférica	23	4,020 - 4,080	0,79 (300K)	1000
	24	4,433 - 4,498	0,17 (250K)	1000
Vapor d' água Nuvens Cirrus	25	4,482 - 4,549	0,59 (275K)	1000
	26	1,360 - 1,390	6,00	1000
	27	6,535 - 6,895	1,16 (240K)	1000
Propriedades das nuvens	28	7,175 - 7,475	2,18 (250K)	1000
	29	8,400 - 8,700	9,58 (300K)	1000
Ozônio	30	9,580 - 9,880	3,69 (250K)	1000
Temperatura Superfície/Nuvens	31	10,780 - 11,280	9,55 (300K)	1000
	32	11,770 - 12,270	8,94 (300K)	1000
Altitude do topo da nuvem	33	13,185 - 13,485	4,52 (260K)	1000
	34	13,485 - 13,785	3,76 (250K)	1000
	35	13,785 - 14,085	3,11 (240K)	1000
	36	14,085 - 14,385	2,08 (220K)	1000

<sup>1</sup>Bandas 1 - 19 estão em nanômetros (nm); Bandas 20 - 36 estão em micrometros (µm)

<sup>2</sup>Valores da radiância espectral para condições atmosféricas típicas (W/m<sup>2</sup>.µm.sr)

<sup>3</sup>Tamanho do pixel em terra em metros (m)

Fonte: NASA, 2012b.

### 2.3 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

A radiação emitida pela superfície dos oceanos, ocorre em comprimentos de onda longos, centrados na faixa do infravermelho termal ( $\sim 3 - 15\mu\text{m}$ ). Esta radiação se dissipa na forma de calor, e a medida da TSM tem importância extrema nos processos de interação ar-mar que controlam o balanço climático do planeta (SOUZA, 2003). A TSM desempenha um papel importante como dado de entrada no processo de inicialização de modelos numéricos de previsão do tempo, clima e circulação oceânica, propiciando um melhor refinamento nos resultados de previsão e, conseqüentemente, contribuição para um melhor entendimento na dinâmica oceânica e atmosférica (CARVALHEIRO et al., 2008). A dinâmica atmosférica é influenciada por variações da TSM, que se ajusta localmente à perda devido ao calor sensível e calor latente, e ao balanço entre radiação de onda longa e a radiação de onda curta. A água possui uma grande capacidade calorífica. Isto significa que ela pode armazenar uma grande quantidade de calor (proveniente do Sol ou de outra fonte) mas registrando poucas mudanças em sua temperatura. O conhecimento da estrutura termal da superfície dos oceanos é um fator importante no estudo das trocas que ocorrem entre os oceanos e a atmosfera (calor sensível e calor latente) (HOCHLEITNER et al., 2005).

A TSM é de fundamental importância na modelagem do fluxo de energia à superfície. Os presentes modelos numéricos de previsão de tempo e clima requerem dados de entrada da TSM, com alta precisão, para atingir um melhor desempenho nas previsões. São conhecidos os problemas na estimativa da TSM, via dados de sensoriamento remoto, principalmente devido à cobertura de nuvens e aos efeitos dos gases atmosféricos e, mais especificamente, pela absorção da radiação infravermelho pelo vapor d'água e sua concentração variável no tempo e no espaço na atmosfera. Este problema vem sendo investigado desde a década de 70 por vários diferentes trabalhos, (PRABHAKARA et al., 1974; SOBRINO et al., 1991; FRANÇA e CRACKNELL, 1994; FRANÇA et al., 2000).

As imagens infravermelhas dos oceanos têm sido utilizadas no estudo de diversos fenômenos e processos oceanográficos, como as correntes marinhas, as frentes oceânicas, eventos de ressurgência, processos de mistura nas águas costeiras, a partir de observações nas variações da TSM. Inicialmente, só se obtinha dados de satélites no infravermelho na forma fotográfica, como subproduto de imagens meteorológicas. Na medida em que dados digitais em maior quantidade e melhor qualidade foram sendo disponibilizados, foi sendo possível efetuar estimativas quantitativas da TSM. Estas estimativas tornaram-se possíveis tanto com a

utilização de medições realizadas em apenas uma banda espectral, como se combinando medições de diferentes canais espectrais, obtendo-se desta forma, dados mais precisos (cerca de 0,5°C). Os dados digitais podem ainda ser realçados radiometricamente para a geração de imagens, capazes de mostrar pequenas variações da temperatura. Da mesma forma, uma precisa correção geométrica destas imagens permite a realização de análises multitemporais.

A TSM tem sido empregada em diversas aplicações na meteorologia e oceanografia, tais como, no estudo de mudanças climáticas globais, identificação de ressurgências, vórtices, meandramentos e frentes, fornecimento de suporte à pesca de peixes pelágicos, monitoramento dos campos de TSM e/ou correntes oceânicas superficiais, entre outros. Na literatura nacional e internacional, podem ser encontrados diversos trabalhos que demonstram a utilidade das imagens termais em estudos oceanográficos (KAMPEL, 2002). A TSM é modulada por uma inter-relação de vários fatores. Entre os mais importantes estão a radiação de ondas curtas e longas, os fluxos de calor sensível e latente, a entrada de água doce, a convecção e a mistura através do vento e das ondas. Sendo as variações da TSM determinadas, tanto por processos atmosféricos, quanto oceânicos (KATSAROS e SOLOVIEV, 2004). Segundo Souza (2003) a maior vantagem de se utilizar dados da TSM, para a meteorologia e para a oceanografia, é a produção de cartas sinóticas sobre a estrutura termal da camada superficial dos oceanos. Nestas cartas, muitas feições de mesoescala podem ser discernidas, e uma análise temporal destas feições pode ser realizada nas imagens que podem ser obtidas sobre a mesma região em intervalos regulares de tempo. Com um conhecimento prévio da área de estudo, as cartas de TSM podem fornecer informações referentes à presença de águas oriundas de diferentes correntes oceânicas, feições do tipo vórtices, anéis ou meandros, gradientes horizontais de temperatura (frentes oceanográficas), meandros com águas mais aquecidas, importantíssimos para a precipitação na costa leste da região Nordeste do Brasil, entre outras. Estudos de climatologia dos oceanos também podem ser feitos com base nas imagens de TSM. Séries de tempo dessas imagens podem ser utilizadas para calcular a climatologia (valores médios) da TSM em regiões específicas do oceano ou no oceano global (visto que os satélites têm cobertura global). A partir de dados climatológicos pode-se estudar as anomalias da TSM.

A TSM pode ser considerada como uma fonte de controle (junto com a convecção adiabática associada à precipitação) para convecção tropical e a liberação de calor latente, associada com a convecção, pode gerar células de circulação na atmosfera (SILVA, 2010).

Robinson (1985) cita que a maioria dos parâmetros estimados através de dados de satélite diz respeito somente à camada superficial do mar, sendo esta camada exatamente a mais importante. Ainda, segundo Robinson (1985), numa escala logarítmica, a primeira camada milimétrica da superfície do mar representa a metade superior do oceano. Segundo Dolon et al. (1999) é justamente através desta camada superficial milimétrica do oceano que ocorrem os processos de interação oceano-atmosfera.

Vários algoritmos foram desenvolvidos [revisados em KIDWELL (1995)] para converter dados de radiância espectral, coletados por sensores infravermelhos, em temperaturas de brilho da superfície do mar (considerando que esse se comporte como um corpo negro) e, posteriormente, em TSM. Todos os algoritmos de conversão da radiância espectral, em temperaturas de brilho, são baseados na inversão da equação de Planck (Lei de Planck), descrita em CURRAN (1985), ROBINSON (1985) e muitos outros livros de sensoriamento remoto (SOUZA, 2003).

### 2.3.1 Histórico de medições da TSM

As primeiras medidas da TSM foram de embarcações à vela, onde a prática comum era recolher um balde de água enquanto o navio estava em andamento e, em seguida, medir a temperatura desse balde de água com um termômetro de mercúrio. Esta amostra refere-se a poucas dezenas de centímetros superiores da água do mar. Modernos navios tornaram uma prática comum medir a TSM, com o objetivo de arrefecer os motores dos navios, com a entrada da água do mar (por um tubo). A profundidade do tubo de entrada varia conforme o navio, cerca de um a cinco metros. Chamado de "temperatura de injeção" (um termistor é "injetado" no tubo de transporte da água de arrefecimento), esta medição é uma leitura de um medidor analógico redondo, gravada à mão e pelo rádio, como parte das observações meteorológicas regulares de navios mercantes. Uma alternativa moderna para medir a "temperatura de injeção" no navio é montar termistores no casco de metal do navio (EMERY et al., 1997). Estes cascos são excelentes condutores de calor e, portanto, devem representar a temperatura apenas para o exterior. Comparações com outras medidas da TSM demonstraram a alta confiabilidade e consistência alcançada com estes sensores acoplados no casco do navio, em aço inoxidável. Com o advento da comunicação via satélite, em meados da década de 1970, foi desenvolvida uma nova fonte de medidas da TSM, as boias fixas e as boias à deriva, rastreadas por satélite. As boias de deriva possuem grandes cascos metálicos, utilizando um termistor em contato com o casco logo abaixo da boia. Posteriormente, boias

esféricas e menores apresentaram termistores salientes do lado de baixo do casco da boia. Boias fixas são instrumentadas com termistores para medir não apenas a TSM próximo à superfície, mas também para resolver o perfil da camada superior do oceano usando termistores conectados a boia (amarração de noiva). A TSM medida na boia é muito menos “barulhenta” do que qualquer uma das medições da TSM obtidas por navio. Os dados obtidos pelas boias estão sendo utilizados para calcular os coeficientes dos algoritmos que estimam a TSM a partir de medições de sensores infravermelhos (EMERY et al., 2001).

### 2.3.2 Histórico de medições da TSM por satélites

Na década de 70, radiômetros operando no infravermelho termal a bordo de satélites, passaram a ser usados para estimar a TSM de forma sinótica. A maioria destes sensores infravermelhos foi concebida, primeiramente, para atender objetivos meteorológicos, como imageamento de nuvens, sondagens atmosféricas e a estrutura termal superficial do mar, suficientes para definir algumas feições oceânicas superficiais. Muitos destes radiômetros eram dispositivos de imageamento multiespectral, que forneciam informação simultânea das radiancias em duas ou mais bandas espectrais, como as bandas referentes aos canais do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal. Os primeiros sensores utilizados para aplicações oceanográficas voaram a bordo dos satélites meteorológicos geoestacionários (METEOSAT, GOES, GMS, INSAT) e apresentavam apenas dois canais: um no visível e outro no infravermelho termal, centrado em 11  $\mu\text{m}$ . Este último canal ocupava uma “janela atmosférica”, região do espectro onde a atmosfera é relativamente transparente para a radiação infravermelha termal. A resolução espacial máxima destes sensores não ultrapassava 5 km x 5 km. Os satélites de órbita polar, da série NOAA, que voaram no período de 1972 a 1978 (NOAA 2, 3, 4 e 5), carregaram dois radiômetros distintos de dois canais: o radiômetro de varredura, no inglês, Scanning Radiometer (SR) e o radiômetro de resolução muito alta, no inglês, Very High Resolution Radiometer (VHRR). Estes sensores também foram utilizados nas primeiras medidas de TSM. No final dos anos 70, o sensor VHRR passou a ser amplamente utilizado para o estudo dos oceanos. Entretanto, segundo Barbieri et al. (1983), os algoritmos usados para extrair a TSM dos dados obtidos por este sensor sofriam de algumas deficiências tais como: nuvens no campo de visada, correção inadequada para os constituintes atmosféricos e a incapacidade de perceber variações na umidade em baixas latitudes. No entanto, o VHRR, teve uma resolução espacial de 1 km, que era muito melhor do que a resolução espacial de 8 km do SR. Os esforços para automatizar totalmente a

computação da TSM, a partir das medições de radiâncias por satélite, produziram alguns campos da TSM. Durante este período, os únicos dados da TSM *in situ* foram de navios mercantes e estes dados foram inicialmente utilizados para comparação com os dados da TSM estimada por satélites.

Em 1978, iniciou-se uma nova geração de satélites meteorológicos de órbita polar, com o lançamento do satélite TIROS-N, que carregava o radiômetro avançado de resolução muito alta, no inglês, Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Este sensor possuía um canal termal adicional, centrado em 3,7  $\mu\text{m}$ , o que possibilitou o uso de uma técnica de absorção diferenciada da radiação (devida à atenuação pelo vapor d'água) para os efeitos de correção atmosférica. Esta técnica, porém, estava restrita apenas para uso noturno, uma vez que este novo canal, devido ao seu curto comprimento de onda, incluía uma porcentagem significativa de radiação solar refletida durante o dia.

A partir da década de 80, através da utilização dos dados infravermelhos obtidos pelo sensor AVHRR, a bordo dos satélites NOAA, obteve-se estimativas da TSM de forma repetida e consistente para os oceanos no âmbito global. Em 1981, tornou-se disponível um novo radiômetro infravermelho de cinco bandas (AVHRR – II), através da incorporação de mais um canal no infravermelho termal (12  $\mu\text{m}$ ). A diferença entre os canais infravermelhos térmicos (11 e 12  $\mu\text{m}$ ), fornece uma estimativa do conteúdo variável de vapor d'água na atmosfera e que pode ser corrigido para os algoritmos de estimativa da TSM. A formulação desta abordagem, chamada de "split-window", tem sido utilizada na maioria dos algoritmos de estimativa da TSM, desenvolvida desde essa época (MCMILLIN e CROSSBY, 1984).

Com o uso da técnica de absorção diferenciada, o sensor AVHRR - II, que operou nos satélites NOAA 7, 9 e 11 e atualmente opera nos satélites NOAA 12 e NOAA 14, possibilitou uma correção mais acurada para a presença de vapor d'água na atmosfera, inclusive nas imagens diurnas.

### 2.3.3 Métodos de estimativa da TSM

A estimativa da TSM a partir de dados obtidos por sensores orbitais, no canal infravermelho termal (IVT), progrediu relativamente pouco na década passada. Nota-se que o algoritmo específico para estimativa da TSM, foi mudado frequentemente, numa tentativa de melhorar as correções atmosféricas dos dados do IVT. A abordagem fundamental para o

cálculo da TSM foi o algoritmo Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST), desenvolvido por McClain et al. (1985), que foi o primeiro procedimento associado com a técnica de divisão da janela (split – window). Muitas mudanças nos coeficientes dos algoritmos de estimativa da TSM têm ocorrido ao longo do tempo e muitas vezes as correções envolvem comparações sistemáticas do MCSST com correções atmosféricas, devido à alta carga de aerossóis devido a erupções de vulcões. Para melhorar o MCSST, cientistas da NOAA/NESDIS decidiram alterar a regressão e a formulação, de modo a incluir os efeitos não lineares. Walton et al. (1988) consideraram um termo não linear no desenvolvimento do algoritmo MCSST e desenvolveram o primeiro algoritmo alternativo oficial, chamado de Cross Product Sea Surface Temperature (CPSST), para enfatizar a parte não linear da computação. A suposição era de que o CPSST faria um melhor trabalho de compensar a umidade atmosférica (vapor d' água), especialmente em regiões tropicais, com alto conteúdo de umidade. O algoritmo CPSST passou a ser utilizado operacionalmente pela NOAA em março de 1990, no satélite NOAA-11. Em abril de 1991, após uma série de regressões com dados de boias, o algoritmo CPSST sofreu algumas alterações muito modestas e o algoritmo ficou conhecido como Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST), implementado pela NOAA/NESDIS para uso operacional, e que constitui a base atual das recuperações da TSM para dados AVHRR. Segundo Walton et al. (1990), esta alteração propiciou uma melhor acurácia da TSM calculada para condições atmosféricas extremas, como regiões polares frias e secas ou regiões tropicais quentes e úmidas. Todos os algoritmos, citados anteriormente, dependem da divisão da janela, no canal espectral IVT, para corrigir o efeito atenuador do vapor d' água na atmosfera. Um estudo realizado por Emery et al. (1994) indicou que a diferença da temperatura de brilho, entre os canais 4 e 5, no AVHRR, é um bom indicador de umidade atmosférica na atmosfera tropical. Em latitudes médias e altas, esta diferença de temperatura de brilho não é uma função da umidade atmosférica, como indicado por uma falta de correlação entre a diferença da temperatura de brilho e a coluna integrada de vapor d' água, calculado a partir do sensor de microondas Special Sensor Microwave Imager (SSM/I). Hoje, o NLSST é o algoritmo operacional utilizado pelo Naval Oceanographic Office (NAVO) e os coeficientes utilizados no algoritmo supracitado foram encontrados por regressão entre os dados de radiância espectral do satélite, contra uma seleção de dados da TSM obtidas por navios. Com o número de boias marítimas (deriva + ancorada) aumentando nos oceanos do mundo, tornou-se evidente que a TSM coletada por essas boias pode constituir um conjunto mais preciso para a calibração dos coeficientes dos algoritmos que estimam a TSM, a partir de medições de satélite (MAY et al., 1998). Assim, a TSM obtida pelas boias, tornou-se os dados



de referência exclusivos para o cálculo dos coeficientes dos algoritmos da TSM. Há uma série de problemas e limitações com este procedimento de estimativa dos coeficientes dos algoritmos. Este cálculo de regressão, inerentemente, assume que os dados das boias são "perfeitos" e sem erros. Em sua análise de alguns anos de dados da TSM obtidos por boias, Emery et al. (2000) constataram que a TSM das boias tem desvios padrão típicos, cerca de 0,3 a 0,5 °C. Adicionado a este erro, tem-se o fato de que a cobertura de amostragem fornecida pelas boias de deriva é ditada pela necessidade de se observar uma característica especial de circulação (isto é, as boias não são implantadas com a finalidade de calibração/validação dos dados de satélite). Como consequência, a cobertura geográfica destas boias, é bem menor do que o ideal para a validação da TSM obtida por satélites e, também, compromete o resultante cálculo da TSM por satélite.

Para cada satélite, existe uma série de equações diurnas e noturnas, que variam de acordo com a metodologia (MCSST, CPSST ou NLSST), o número e o comprimento de onda dos canais utilizados. Os algoritmos que empregam 3 canais (3,7 $\mu$ m, 11 $\mu$ m e 12 $\mu$ m) são chamados "triple window" e são utilizados para estimativas da TSM somente no período noturno. Entre os algoritmos que empregam dois canais temos o "dual window" que utiliza canais com frequências em janelas atmosféricas distintas (3,7  $\mu$ m e 11  $\mu$ m) e o "split window" que utiliza canais com frequências dentro da mesma janela atmosférica (11,5  $\mu$ m e 12,5  $\mu$ m) para estimativas da TSM durante o período diurno. Uma descrição mais detalhada do histórico e evolução dos principais algoritmos que estimam a TSM, a partir de medições de radiância espectral obtidas por satélite, pode ser encontrada em Kidwell (1995).

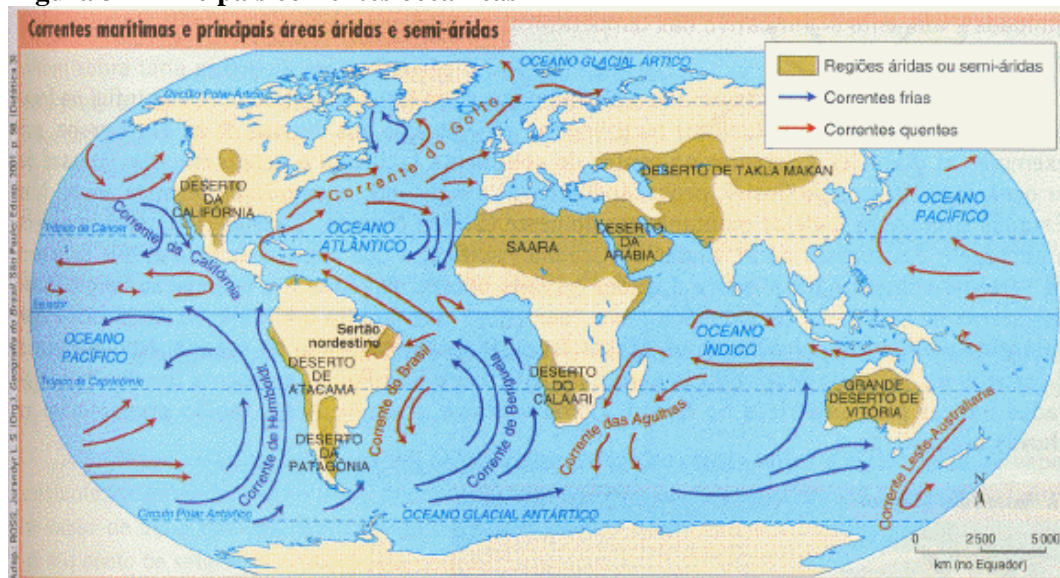
## **2.4 Correntes Oceânicas**

As correntes oceânicas ou correntes marítimas são movimentos de grandes massas de água dentro de um oceano ou mar. Tal qual a circulação dos ventos, as correntes marítimas têm a característica de influenciar o clima das regiões em que atuam, possuem direções e constâncias bem definidas. As correntes oceânicas têm sua origem na circulação dos ventos na superfície e pelo movimento de rotação da Terra. Estas correntes transportam consigo umidade e calor, interferindo, também, na vida marinha e, conseqüentemente, tendo influência direta no equilíbrio dos oceanos e mares. As correntes oceânicas conectam regiões de ganho de calor para regiões de perda de calor. O calor ganho da atmosfera pode ser armazenado por muitos anos e transportado por milhares de quilômetros antes de retornar a atmosfera. Estas correntes são influenciadas pela atmosfera, através dos ventos à superfície ou

pelo efeito de fluatibilidade (SILVA, 2010). A atmosfera e o oceano interagem diretamente um sobre o outro, e “o sistema acoplado” não pode ser entendido considerando os sistemas de maneira isolada (STUART e RINTOUL, 1998).

Em oceanografia, chamam-se correntes oceânicas ao fluxo das águas dos oceanos, ordenadas ou não, decorrentes da inércia da rotação do planeta Terra, dos ventos e da diferença de densidade. Suas movimentações não são bem definidas por haver continentes e ilhas ao longo da sua movimentação, portanto, correm com grande variabilidade. Influenciam na pesca, na vida marinha e principalmente na determinação do clima. As correntes oceânicas se dividem em: correntes quentes que formam-se na zona intertropical, próxima à Linha do Equador, e movimentam-se em direção às zonas polares e correntes frias que formam-se nas zonas polares e movimentam-se em direção à região equatorial.

**Figura 3 - Principais correntes oceânicas**



Fonte: Faria, 2008.

#### 2.4.1 Corrente do Brasil

A Corrente do Brasil (CB) é a Corrente de Contorno Oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul. Na porção oeste do Oceano Atlântico Sul, na costa Nordeste do Brasil, a Corrente Sul Equatorial (CSE) é interceptada pelo continente sul-americano, sendo desviada para sul e para norte. O ramo que flui para o sul origina a CB e o ramo que flui para norte origina a Subcorrente Norte do Brasil (STRAMMA et al., 1990; PETERSON e STRAMMA, 1991; WIENDERS et al., 2000).

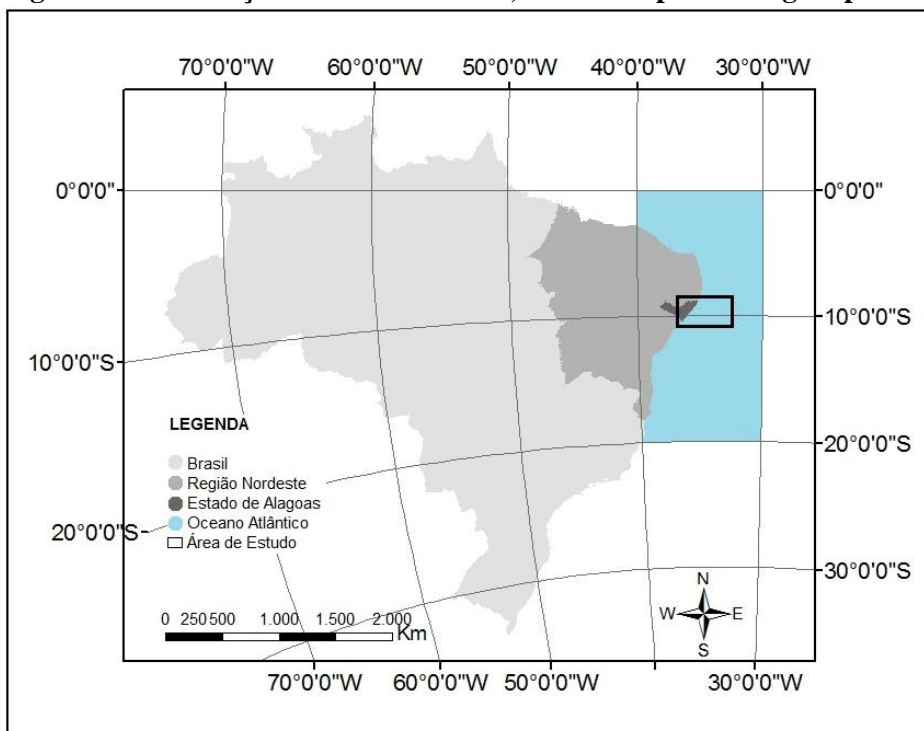
A corrente oceânica que domina toda a região próxima à borda da plataforma continental na costa do Brasil é a CB, que toma a direção sul, começando em aproximadamente 9 - 10°S, na proximidade do litoral de Pernambuco, e estendendo-se até aproximadamente 35 - 40°S, no norte da Argentina. Essa corrente carrega águas aquecidas, denominadas de Água Tropical (AT), entre 18 e 28°C, e tem valores médios de salinidade entre 35,1 a 36,2 ppm. A CB não ultrapassa a velocidade de 0,6 m/s. A Água Tropical ocupa os primeiros 200 metros de coluna de água na região da quebra da plataforma continental, o que identifica a CB. Na borda da plataforma continental, e em toda a extensão do litoral, ocorre a Corrente do Brasil com a Água Tropical.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área deste estudo (retângulo preto na Figura 4) compreende a zona costeira do litoral do estado de Alagoas, que possui 225 Km de extensão, incluindo três setores litorâneos, e compreende ao todo 25 municípios, os quais estão localizados na região Nordeste do Brasil. Após a escolha da área de estudo (Figura 4) foi realizado um recorte retangular na cena MODIS/Aqua de órbita 14 e ponto 09, obtendo-se uma matriz de 462 x 265 pixels, ou seja, 462 x 265 Km. A área em estudo tem 122.430 km<sup>2</sup> e o recorte retangular possui as seguintes coordenadas geográficas: canto superior esquerdo (8,47°S e 36,69°W), canto superior direito (8,47°S e 32,36°W), canto inferior esquerdo (10,95°S e 36,69°W) e canto inferior direito (10,95°S e 32,36°W), conforme observado na Figura 5.

**Figura 4 - Localização da área de estudo, destacada pelo retângulo preto.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

##### 3.1.1 Definição dos setores litorâneos de Alagoas

Posteriormente, os resultados do estudo serão analisados e discutidos para três setores individualizados na costa litorânea do estado de Alagoas e foram definidos conforme o

Ministério do Meio Ambiente (MMA) (MUEHE et al., 2006), encontrado em [http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/al\\_erosao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/al_erosao.pdf), da seguinte forma:

- **Setor Sul do litoral de Alagoas**

Limitado ao sul pela desembocadura do Rio São Francisco (divisa AL/SE), estendendo-se até a desembocadura do rio Barra de São Miguel, perfazendo ao todo 90 km de extensão, sendo o trecho menos urbanizado do litoral alagoano.

- **Setor Central do litoral de Alagoas**

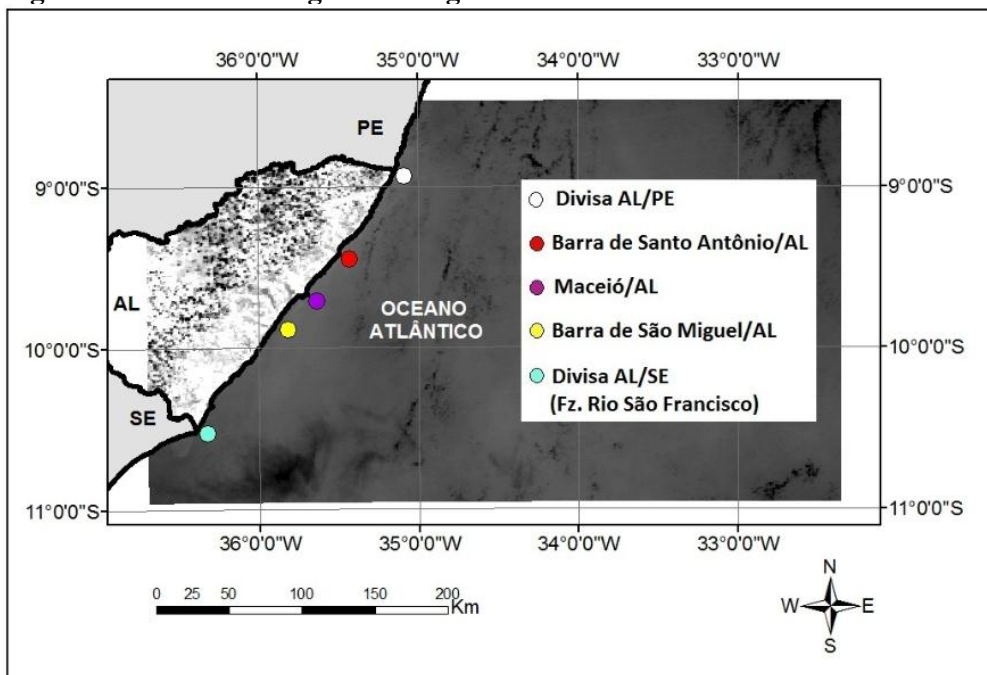
É o trecho mais urbanizado do litoral do Estado, perfazendo ao todo 64 km, limitado pelos rios Barra de São Miguel e Barra de Santo Antônio, englobando a capital Maceió.

- **Setor Norte do litoral de Alagoas**

Compreende 70 km de extensão, englobando a divisa do Estado de Alagoas com o Estado de Pernambuco e o rio Barra de Santo Antônio.

Na Figura 5 é observada a localização dos municípios que definem os três setores litorâneos do estado de Alagoas, incluindo a capital Maceió, sob o recorte MODIS/Aqua utilizado no estudo para mapear a TSM no litoral do mesmo Estado.

**Figura 5 - Recorte retangular da região de estudo.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 3.1.2 Caracterização da área de estudo quanto ao clima

O clima, segundo a classificação de Köppen, é identificado pelos tipos AMS' e AS', assemelhando-se ao da faixa tropical úmida em todo o mundo. O tipo AMS', caracteriza-se por ser tropical chuvoso, com período seco no verão e com temperaturas variando de 23° a 28°C, encontrado entre a divisa de Alagoas com Pernambuco até as imediações ao sul da cidade de Maceió/AL. O segundo tipo, AS', é caracterizado pelo clima quente e úmido (Tropical e Equatorial), com poucas chuvas, verão seco e com temperaturas de 20°C a 25°C, tendo temperaturas mais frias inferiores a 18°C, e encontrado na área entre o sul da cidade de Maceió/AL e o extremo sul do Estado (Fz. Rio São Francisco). O litoral de Alagoas é banhado pelo Oceano Atlântico, que proporciona um clima quente e úmido, sem grandes diferenciações térmicas ao longo do ano, porém com períodos chuvosos (outono - inverno) e outros secos (primavera - verão). Este clima resulta da influência do sistema de circulação intertropical, o qual se apresenta controlado pelas massas quentes, equatorial e tropical. No geral, as precipitações são elevadas na planície costeira, aproximando-se de 1.800 mm (Projeto RADAMBRASIL, 1983). Na região costeira, as chuvas ocorrem mais frequentemente nos meses de abril a junho, com ventos soprando de sudeste. No restante do ano, os ventos sopram do quadrante leste (leste-nordeste). Os ventos no período chuvoso (junho/julho) são mais frequentes e intensos e sopra do quadrante sudeste, enquanto que o período seco (janeiro/fevereiro), os mais intensos e frequentes são do quadrante NE. O transporte longitudinal residual, segundo Silvester (1968, apud Muehe, 1998) é bastante reduzido. No litoral norte do Estado de Alagoas o transporte seria orientado para norte. O ponto de mudança de direção do transporte litorâneo, segundo França (1979) é Porto de Pedras/AL, o que se confirma pela orientação, para sul, dos pontais nas desembocaduras fluviais.

## 3.2 Imagens MODIS/Aqua

### 3.2.1 Produtos MYD021KM e MYD03

Foram utilizadas imagens do sensor MODIS a bordo do satélite AQUA, produto MYD021KM (MODIS/Aqua Calibrated Radiances 5-Min L1B Swath), com resolução espacial de 1 km. O produto MYD021KM foi importante para a realização deste estudo, pois ele contém os dados de radiância calibrados para as 36 bandas do MODIS. Estes dados são agrupados em várias matrizes presentes no arquivo HDF, e as diferentes bandas são agrupadas

dependendo da resolução destas (250 m, 500 m e 1000 m). Este agrupamento por resolução serve apenas para a organização do arquivo. Na verdade, todas as bandas presentes no arquivo possuem 1 km de resolução. Isto significa que as bandas de 250 m e de 500 m foram degradadas para a resolução de 1 km. Esta é uma característica específica deste produto e é especificada pelo termo 1 KM em seu nome. O termo MYD refere-se aos dados obtidos pelo satélite AQUA, enquanto o desígnio L1 significa que se trata de um produto de nível 1. Os dados dos produtos de nível 1 são utilizados na construção dos produtos de nível 2 e nível 3 do MODIS. Já o produto MYD03 (MODIS/Aqua Geolocation Fields 5-Min L1A Swath 1km), é utilizado no tratamento do produto de nível 1B e é colocado à disposição, proporcionando dados de georreferenciamento para cada amostra de 1 km. Estes descrevem tanto a localização, geometria de iluminação e geometria de observação para cada pixel. São os dados de latitude, longitude e os ângulos zenital e azimutal do Sol e do sensor. Para a realização deste trabalho foram utilizadas cinco imagens MODIS/Aqua referentes ao produto MYD021KM e cinco imagens MODIS/Aqua referentes ao produto MYD03 e correspondem ao mesmo *tile*, dia e instante da passagem do satélite, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 – Imagens MODIS/Aqua (produtos MYD021KM e MYD03) referentes ao *tile h14v09*.**  
**Imagens MODIS/Aqua referente ao *tile h14v09***

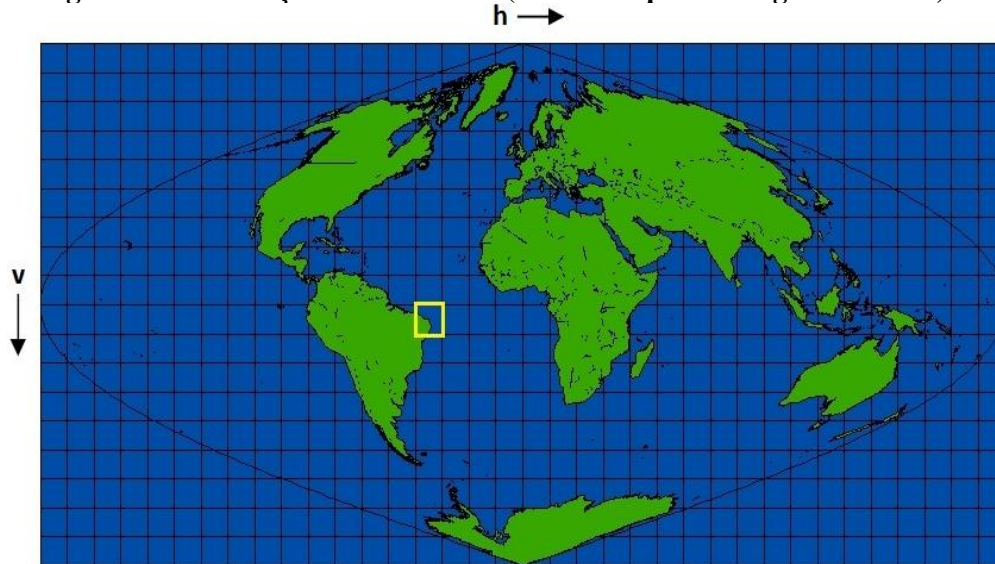
Ano	Mês	Dia	Dia Juliano	Hora (GMT)
2007	11	2	306	15:30
2008	1	6	6	16:10
2009	1	30	30	15:40
2010	11	2	306	16:20
2011	11	16	320	16:00

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Os produtos MODIS do LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System) estão, também, disponíveis na projeção sinusoidal (SIN) e estão divididos em quadrantes (*tiles*) de 10 graus x 10 graus no Equador (1200 x 1200 km). O sistema de coordenadas em *tiles* começa em (0,0) (número *tile* horizontal, número *tile* vertical) no canto superior esquerdo e prossegue para direita (horizontal) e para baixo (vertical). O *tile* no canto inferior direito é (35,17). A Figura 6 mostra o sistema de distribuição dos *tiles*, com destaque para o *tile h14v09* utilizado neste estudo, pois este *tile* abrange o estado de Alagoas. Já a Figura 7, mostra a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010, para o *tile h14v09*. Estas imagens MODIS são obtidas no formato HDF, que é um formato que permite alta compressão de dados, sem perda de informações. Este formato foi escolhido para facilitar a transferência e disponibilidade das imagens MODIS já que se fosse utilizado outro formato, seria necessário

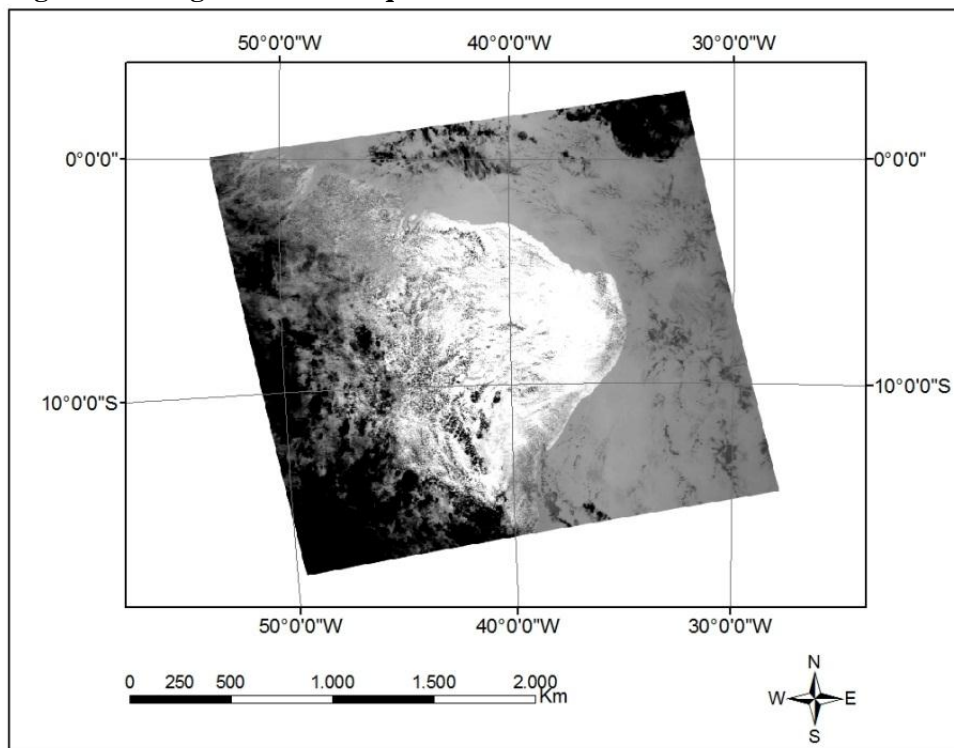
um espaço de armazenamento gigantesco. Apesar de suas qualidades, o HDF é um formato não suportado pela maioria dos softwares de geoprocessamento, o que demanda uma pré conversão.

**Figura 6 - Localização do tile *h14v09* (destacado pelo retângulo amarelo).**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Figura 7 - Imagem MODIS/Aqua referente ao tile *h14v09*.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.



### 3.2.2 Aquisição das imagens MODIS/Aqua

Para a visualização das imagens MODIS no site <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> é necessário à escolha do mês, dia, ano, e o satélite (destacado pelo retângulo em vermelho na Figura 8) e por fim a escolha do *tile* de interesse (destacado pelo retângulo em amarelo na Figura 8), a fim de investigar as cenas com a menor fração de nuvens possível para o litoral do estado de Alagoas. Esta foi uma análise muito minuciosa e, também, a etapa mais delicada do trabalho, em função da persistência de nebulosidade na costa leste do Nordeste brasileiro. Então, as datas das imagens MODIS/Aqua (conforme Tabela 2) foram escolhidas aleatoriamente, mas sempre levando em consideração a menor fração de nuvens possível sob a área de estudo e sob as boias da rede PIRATA. A persistência de nebulosidade no setor litorâneo de Alagoas, devido a grande área de abrangência do estudo, foi a principal dificuldade encontrada para a realização desta pesquisa. A Figura 8 mostra a interface gráfica do LAADS (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System) mostrando como navegar visualmente nos produtos MODIS.

**Figura 8 - Interface gráfica do LAADS Web: *Granule Browser***

The screenshot displays the LAADS Web Granule Browser interface. At the top, it features the NASA logo and the text 'GODDARD SPACE FLIGHT CENTER' and '+ Visit NASA.gov'. Below this is a banner for 'LAADS Web Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System' with three satellite image thumbnails. A navigation bar contains '+ HOME', '+ DATA', '- IMAGES', '+ TOOLS', and '+ HELP'. The main section is titled 'Granule Browser' and includes search filters: Satellite: Aqua, Date: November 2, 2010, Parameter: RGB, and Collection: 51. A date selection box is highlighted in red, showing Month: Nov, Day: 02, Year: 2010. The 'Aqua' satellite option is also highlighted in red. A map of the study area is shown with a yellow bounding box highlighting a specific tile. The bounding box coordinates are North: 0, West: -40, East: -30, South: -10. The interface includes navigation buttons like '+ Previous', '+ Next', and '+ View Help'.

Fonte: LAADS, 2012.

Após o procedimento descrito acima, é possível a visualização da cena MODIS/Aqua. Neste momento, pode ser feita a comparação da imagem MODIS, em composição RGB, com

alguns parâmetros importantes, como: profundidade óptica, reflectância de nuvens cirrus, vapor d' água no infravermelho, vapor d' água no infravermelho próximo, fração de nuvens, espessura óptica das nuvens, pressão e temperatura no topo das nuvens. Na Figura 9 é possível ver a comparação entre a imagem RGB e a fração de nuvens sob a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010. No círculo branco, em destaque na Figura 9, nota-se que sob o litoral de Alagoas a imagem está desprovida de nuvens. A determinação da cobertura de nuvens sob as regiões de interesse foi feita de forma visual, através da comparação entre a imagem MODIS RGB e a imagem MODIS fração de nuvens.

**Figura 9 - Interface gráfica do LAADS Web: *Granule Browser Parameter Comparison***

The screenshot shows the LAADS Web interface for the 'Granule Browser Parameter Comparison' tool. At the top, there is a NASA logo and 'GODDARD SPACE FLIGHT CENTER' on the left, and '+ Visit NASA.gov' on the right. Below this is a banner for 'LAADS Web Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System' with three small image thumbnails. A navigation bar contains '+ HOME', '+ DATA', '- IMAGES' (highlighted), '+ TOOLS', and '+ HELP'. The main title is 'Granule Browser Parameter Comparison'. The interface shows 'Satellite: Aqua', 'Date: November 02, 2010 16:20', and 'Collection: 51'. A 'Parameter:' dropdown menu is set to 'Cloud Fraction' with an 'Update' button. Below the form, a note says 'Click on an image to view a high resolution image. Please note that this will open a new browser window.' Two images are displayed: 'RGB' and 'Cloud Fraction'. Both images show a coastal region with a white circle highlighting a specific area. The RGB image shows a clear sky over the highlighted area, while the Cloud Fraction image shows a dark blue area, indicating low cloud cover. The footer contains '+ Privacy Policy and Important Notices', the NASA logo, and contact information for the webmaster (Karen Horrocks) and official (Ed Masuoka).

Fonte: LAADS, 2012.

Ao terminar o processo de seleção das imagens, retorna-se a página do LAADS para fazer o pedido dos dados MODIS/Aqua. Na página do LAADS Web, selecione a opção “Data” que nos permite chegar a downloads de dados de maneira rápida e fácil, selecionando o link “*Search for MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products*” como indicado pela Figura 10.

**Figura 10 - Interface gráfica do LAADS Web: Data**

**Search**  
Search for MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products by product name, temporal window, collection, and spatial coordinates.

**Shopping Cart**  
View, edit, and order MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products in your shopping cart.

**Data Availability**  
View a summary of the availability of MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products in LAADS.

**FTP Site**  
Access MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products directly through the LAADS FTP site.

**File Specifications**  
View file specifications for MODIS level 1 and atmosphere data products.

**Geographic Metadata**  
Access MODIS geographic metadata directly through the LAADS FTP site.

**MODIS Airborne Simulator (MAS)**  
Access MODIS Airborne Simulator (MAS) data directly through the LAADS FTP site.

**MODIS Level 3 Monthly Data in netCDF Format**  
Access MODIS Level 3 monthly data in netCDF format directly through the LAADS FTP site.

**Track Orders**  
Track previous orders for MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products.

**MODAPS Web Services**  
Search, order, and download MODIS Level 1, Atmosphere and Land data products and VIIRS Level 1 and Land data products through a programmable interface.

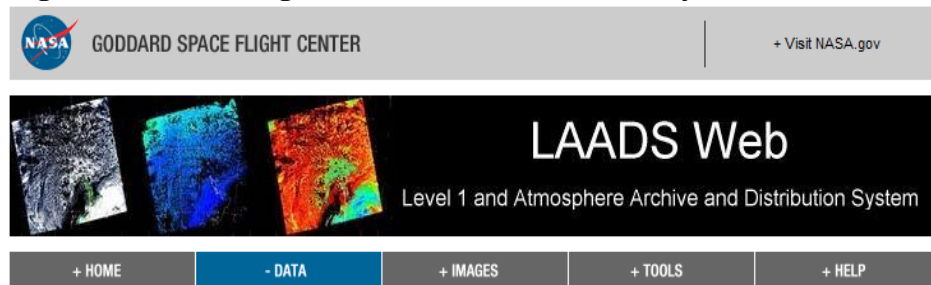
+ Privacy Policy and Important Notices

NASA Webmaster: Karen Horrocks  
NASA Official: Ed Masuoka  
+ Send Us Your Comments

Fonte: LAADS, 2012.

Na próxima etapa, “*Product Selection*”, é feita a verificação dos itens de interesse e a escolha, por exemplo, do sensor “*Aqua MODIS*” e do grupo “*Aqua Level 1 Products*”. A seguir, deve-se selecionar o produto, no caso aqui apresentado, o produto “*MYD021KM – Level 1B Calibrated Radiances – 1km*” e “*MYD03 – Geolocation – 1km*” como mostrado na Figura 11.

**Figura 11 - Interface gráfica do LAADS Web: *Search for Data Products***



### Search for Data Products

If you know the file names of the products for which you are searching, you may also [search for file names](#).

**Product Selection** [+ View Help](#)

Please select one or more products:

Satellite/Instrument:

Group:

Products:

- MYD01 - Level 1A Scans of raw radiances in counts
- MYD021KM - Level 1B Calibrated Radiances - 1km
- MYD02HKM - Level 1B Calibrated Radiances - 500m
- MYD02OBC - Level 1B Onboard Calibrator/Engineering Data
- MYD02QKM - Level 1B Calibrated Radiances - 250m
- MYD02SSH - MODIS/Aqua Level 1B Subsampled Calibrated Radiances 5km
- MYD03 - Geolocation - 1km
- MYDASRVN - AERONET-based Surface Reflectance Validation Network

Fonte: LAADS, 2012.

Outro critério da busca no LAADS Web é o período de interesse, designado por “*Temporal Selection*”. Quanto maior for o “range” da série temporal, mais dados serão encontrados, acelerando a pesquisa. Nesta etapa é possível escolher a coleção das imagens provenientes do sensor MODIS, em “*Collection Selection*”, como demonstrados na Figura 12. Para o produto MYD021KM foi selecionado a versão mais recente do código de nível 1B, conhecido como coleção 5.

**Figura 12 - Interface gráfica do LAADS Web: *Temporal Selection e Collection Selection***

**Temporal Selection** [+ View Help](#)

Please enter the temporal information in either MM/DD/YYYY or YYYY-DDD format:

Temporal Type:

Start Date and Time:  End Date and Time:

---

**Collection Selection** [+ View Help](#)

Please select a collection:

Collection:

Collection 5.1 contains a full set of the Aqua products MYD04\_L2, MYD05\_L2, MYD06\_L2, MYDATML2, MYD08\_D3, MYD08\_E3, and MYD08\_M3 and the Terra products MOD04\_L2, MOD05\_L2, MOD06\_L2, MODATML2, MOD08\_D3, MOD08\_E3, and MOD08\_M3. These products can still be found in Collection 5 prior to data day January 1, 2009 for Aqua and data day April 15, 2010 for Terra. However, collection 5.1 is the preferred collection for these products.

Fonte: LAADS, 2012.

Para selecionar a área de interesse, de acordo com a cobertura espacial dos dados MODIS/Aqua, é preciso especificar o *tile*, onde, no estudo, foi utilizado o *tile h14v09*, como mostrado na Figura 13.

**Figura 13 - Interface gráfica do LAADS Web: *Spatial Selection***

**Spatial Selection**

Please enter the coordinates for your area of interest. [+ View Help](#)

Coordinate System:  
 Tile

In addition to entering the coordinates, users with Javascript enabled browsers may use their mouse to select a region on the map or select one of the predefined regions.

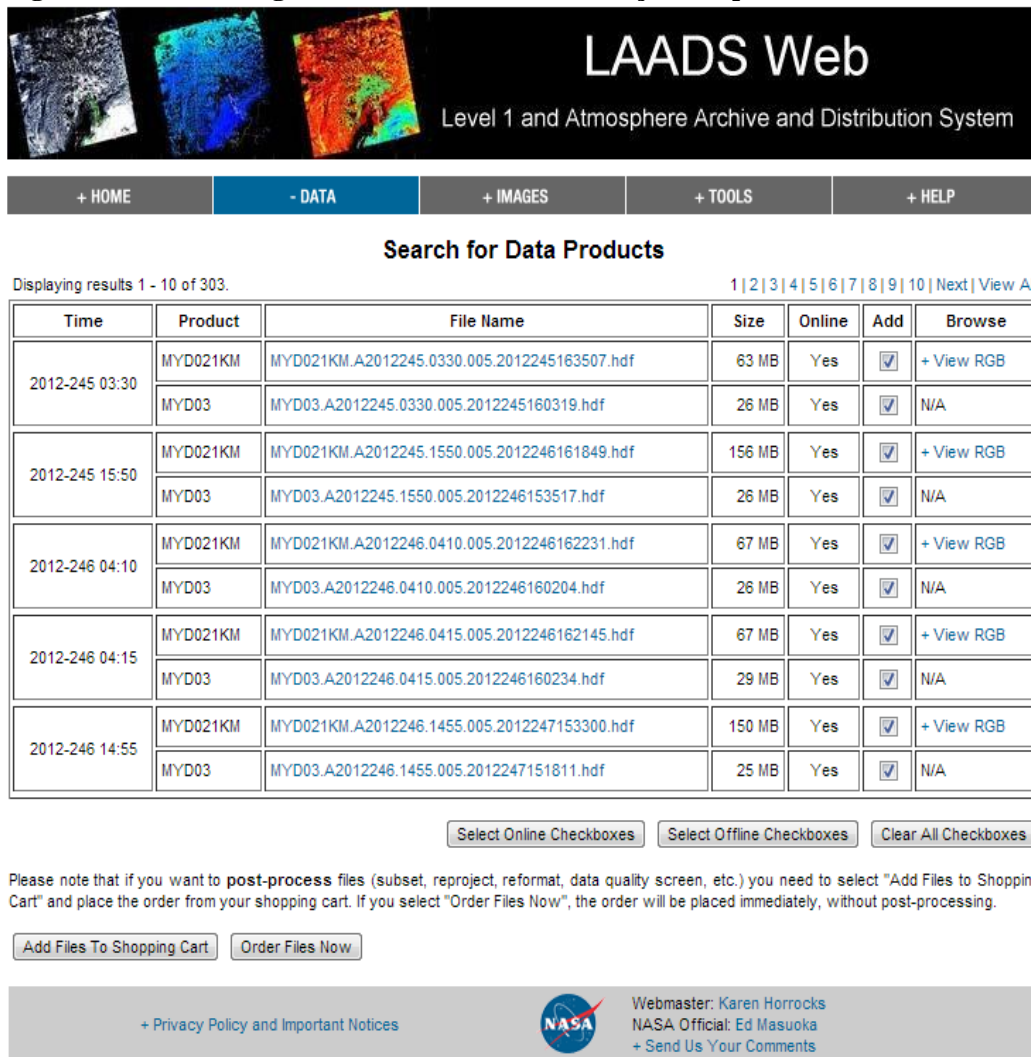
Predefined Regions:  
 Coastal West Africa  
 Continental US  
 Indian Subcontinent  
 Sea of Japan  
 US West Coast  
 Whole Earth

Vertical Start Tile: 09  
 Horizontal Start Tile: 14  
 Horizontal End Tile: 14  
 Vertical End Tile: 09

Fonte: LAADS, 2012.

Após a escolha de todos os critérios mencionados acima, está apto à pesquisa, onde, teve-se o cuidado de escolher para cada produto MYD021KM o produto correspondente de geolocalização (MYD03), como mostrado na Figura 14.

**Figura 14 - Interface gráfica do LAADS Web: Seleção dos produtos MYD021KM e MYD03**



**LAADS Web**  
Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System

+ HOME   - DATA   + IMAGES   + TOOLS   + HELP

**Search for Data Products**


Displaying results 1 - 10 of 303.   1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Next | View All

Time	Product	File Name	Size	Online	Add	Browse
2012-245 03:30	MYD021KM	MYD021KM.A2012245.0330.005.2012245163507.hdf	63 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	+ View RGB
	MYD03	MYD03.A2012245.0330.005.2012245160319.hdf	26 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
2012-245 15:50	MYD021KM	MYD021KM.A2012245.1550.005.2012246161849.hdf	156 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	+ View RGB
	MYD03	MYD03.A2012245.1550.005.2012246153517.hdf	26 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
2012-246 04:10	MYD021KM	MYD021KM.A2012246.0410.005.2012246162231.hdf	67 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	+ View RGB
	MYD03	MYD03.A2012246.0410.005.2012246160204.hdf	26 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
2012-246 04:15	MYD021KM	MYD021KM.A2012246.0415.005.2012246162145.hdf	67 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	+ View RGB
	MYD03	MYD03.A2012246.0415.005.2012246160234.hdf	29 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A
2012-246 14:55	MYD021KM	MYD021KM.A2012246.1455.005.2012247153300.hdf	150 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	+ View RGB
	MYD03	MYD03.A2012246.1455.005.2012247151811.hdf	25 MB	Yes	<input checked="" type="checkbox"/>	N/A

Select Online Checkboxes   Select Offline Checkboxes   Clear All Checkboxes

Please note that if you want to **post-process** files (subset, reproject, reformat, data quality screen, etc.) you need to select "Add Files to Shopping Cart" and place the order from your shopping cart. If you select "Order Files Now", the order will be placed immediately, without post-processing.

Add Files To Shopping Cart   Order Files Now

+ Privacy Policy and Important Notices    Webmaster: Karen Horrocks  
NASA Official: Ed Masuoka  
+ Send Us Your Comments

Fonte: LAADS, 2012.

Para que a aquisição dos dados MODIS seja concluída, é preciso preencher um formulário de registro da ordem, onde você precisará digitar seu endereço de email e decidir como será feita a transferência de dados, escolhendo entre *FTP Pull* e *FTP Push*, conforme mostrado na Figura 15. A opção escolhida foi a transferência de dados via *FTP Pull*, onde o método permite que o usuário copie os arquivos (.HDF) para o disco rígido, acessando diretamente o servidor FTP, usando qualquer navegador concebido para o protocolo de transferência de arquivos. Depois que o pedido do produto é encaminhado para o sistema de distribuição LAADS, é fornecido, via email, uma autorização para a transferência de arquivos (um nome de usuário e uma senha). Isso ocorre em até algumas horas e poderá atrasar o envio se houver condições de congestionamento, causado pelos inúmeros pedidos ou pelas operações de manutenção.

**Figura 15 - Interface gráfica do LAADS Web: *Select Delivery Method (FTP Pull)***

**LAADS Web**  
Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System

+ HOME   - DATA   + IMAGES   + TOOLS   + HELP

**Search for Data Products**

Please choose how you want your products delivered:

**Email Address**

Please enter your email address so we can contact you if we have problems filling your order. You will also be able to [track your order](#) using your email address.

Email:

**Select Delivery Method** [+ View Help](#)

To order your selected products, please specify a delivery method.

FTP Pull (stage products where I can download them using FTP or GNU Wget)

FTP Push (automatically deliver products to my site's FTP server)

Please note the following restrictions when choosing FTP Push as a delivery method:

- Your site must be running its own FTP server that our server can contact.
- You must provide us with all the information required to log into your FTP server and copy files to it.
- If, when your data are ready, we are unable to login to your FTP server, we will continue to retry once a day for up to three days. After that time, we will stop trying, and you will need to retrieve the data on your own.

Fonte: LAADS, 2012.

### 3.2.3 Conversões do formato HDF para Geotiff

As imagens HDF podem ser facilmente convertidas para imagens GeoTIFF, utilizando o software *MODIS Reprojection Tool Swath* (MRT Swath), adquirido gratuitamente no site ([https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis\\_reprojection\\_tool\\_swath](https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool_swath)), que roda em diversos sistemas operacionais (Windows, Linux, Solaris e Mac Os). As imagens MODIS/Aqua foram convertidas da projeção ISIN (*Integerized Sinusoidal*) para o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), sendo o datum do sistema geodésico mundial *World Geodetic System* de 1984 (WGS 84), com fuso 25 Sul (36 - 30°W) e os pixels foram reamostrados utilizando o interpolador vizinho mais próximo, onde, neste caso, o tamanho do pixel de entrada é igual ao tamanho do pixel de saída, com resolução espacial de 1 km.

### 3.2.4 Importação das bandas MODIS/Aqua

Na importação das imagens MODIS/Aqua, utilizando-se do MRT Swath e, também, do software Erdas Imagine 9.1 (versão demonstrativa), foram selecionadas as bandas 31 e 32, centradas no infravermelho termal em 11 e 12  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O algoritmo de

estimativa da TSM (NLSST) utiliza as temperaturas de brilho centradas nas bandas 31 e 32 dos 36 canais espectrais do MODIS/Aqua.

### 3.2.5 Georreferenciamento

O georreferenciamento envolveu o levantamento de pontos distribuídos, sobre o Nordeste brasileiro e sobre o estado de Alagoas, nas imagens MODIS/Aqua utilizadas e pontos correspondentes sobre o *shapefile* do Brasil e o *shapefile* do Estado de Alagoas. Os *shapefiles* são arquivos em formato de vetores geoespaciais para sistemas de informação geográfica e foram adquiridos pelo endereço FTP do IBGE (<ftp://geofp.ibge.gov.br/>). Após a importação das bandas supracitadas e o georreferenciamento adequado foi feito um recorte retangular (Figura 2) na imagem MODIS/Aqua referente ao *tile h14v09* (Figura 4). Para o georreferenciamento, recorte e processamento das imagens MODIS/Aqua foi utilizado à versão demonstrativa do software ERDAS Imagine 9.1.

## 3.3 Algoritmo de Correção Atmosférica: Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST)

O algoritmo de correção atmosférica, método split-window Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST) foi desenvolvido de acordo com Walton et al. (1998). O algoritmo NLSST foi utilizado para a estimativa da TSM, o qual necessita das temperaturas de brilho, centradas em 11 e 12  $\mu\text{m}$ , nas bandas 31 e 32, respectivamente, do MODIS/Aqua.

### a) Computação da radiância espectral nas bandas 31 e 32 do MODIS/Aqua

Radiância espectral ( $L_i$ ) foi calculada com o valor *Scaled Integers* (SI) de cada pixel nas bandas 31 e 32 do MODIS/Aqua. Os valores de *radiance\_scales<sub>i</sub>* e *radiance\_offsets<sub>i</sub>* foram obtidos por meio de consulta aos atributos, dos metadados do arquivo HDF, das bandas 31 e 32 do MODIS. A unidade da radiância espectral é  $\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$  (MCST, 2009):

$$L_i = \text{radiance\_scales}_i (\text{SI} - \text{radiance\_offsets}_i)$$

### b) Computação da Temperatura de Brilho ( $T_b$ ) nas bandas 31 e 32 do MODIS/Aqua

Após calcular-se a radiância espectral das bandas 31 e 32 do MODIS, utilizou-se a inversão da equação de Planck (lei de Planck), para converter os dados de radiância espectral



em temperatura de brilho, nos canais termais 31 e 32 do MODIS, importantes para o processamento do algoritmo NLSST, por meio da equação (Huang et al. 2004):

$$T_b = \frac{\left(\frac{hc}{K}\right)}{\lambda * \ln\left(\frac{2hc^2}{L\lambda^5} + 1\right)}$$

$T_b$  (Temperatura de brilho em K)

$$L \text{ (radiância)} = \frac{W}{m^2 \mu m \text{ sr}}$$

$\lambda_{b31}$  (comprimento de onda da banda 31) = 11,03  $\mu m$

$\lambda_{b32}$  (comprimento de onda da banda 32) = 12,02  $\mu m$

$h$  (constante de Planck) =  $6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

$c$  (velocidade da luz no vácuo) =  $2,998 \times 10^8 \frac{m}{s}$

$K$  (constante de Boltzmann) =  $1,381 \times 10^{-23} \frac{J}{K}$

### c) Correção Atmosférica para estimativa da TSM

Utilizou-se o algoritmo de correção atmosférica Nonlinear Sea Surface Temperature (NLSST) para a estimativa da TSM, descrito em Walton et al., (1998). O algoritmo NLSST utiliza as bandas 31 e 32 do MODIS, combinadas entre si, pois permitem corrigir o efeito atenuador do conteúdo variável de vapor d'água na atmosfera. A TSM primeira suposição (*first-guess*) é uma questão importante no desenvolvimento de modelos NLSST, e no trabalho foi considerado a TSM *first-guess* como a TSM climatológica da área de estudo. A TSM climatológica utilizada foi o produto Optimum Interpolation Sea Surface Temperature de Reynolds (OISST Reynolds), dados mensais e que possuem resolução espacial de  $1^\circ \times 1^\circ$ , conforme Reynold and Smith (1994), adquiridos no endereço eletrônico <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites>, para o mês de janeiro e novembro, conforme as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas.

É necessário a utilização do software MRTswath para extrair os dados do ângulo zenital do sensor ( $\theta$ ), que está disponível no arquivo MYD03, que contém a geodesia da

imagem. A unidade da TSM é em °C. O modelo NLSST, avaliado no estudo, tem a seguinte forma:

$$TSM = C_1 + C_2 * T_{b(b31)} + C_3 * T_{b(b31-b32)} * T_c + C_4 * (\sec(\theta) - 1) * T_{b(b31-b32)}$$

TSM (Temperatura da Superfície do Mar)

$C_n$  (coeficientes)

$T_{b(b31)}$  (Temperatura de brilho da banda 31 do MODIS)

$T_{b(b31-b32)}$  (Diferença da Temperatura de brilho: banda 31-banda 32)

$T_c$  (Temperatura da Superfície do Mar climatológica)

$\theta$  (ângulo zenital do sensor)

### Coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens

O modelo de transferência radiativa (RAL) foi usado, com um conjunto de dados global de 1200 radiossondas (*quality controlled*) em 5 ângulos zenitais e 5 diferenças de temperatura ar-mar, para gerar uma base de 30.000 dados de temperaturas de brilho, em cada uma das bandas 31 e 32 do MODIS (BROWN e MINNETT, 1999).

**Tabela 3 - Coeficientes, derivados de radiossondagens, para definir propriedades atmosféricas e variabilidade.**

Coeficientes (radiossondagens - quality controlled)		
	$T_{b(b31)} - T_{b(b32)} \leq 0,7$	$T_{b(b31)} - T_{b(b32)} > 0,7$
<b>C1</b>	1,228552	1,692521
<b>C2</b>	0,9576555	0,9558419
<b>C3</b>	0,1182196	0,0873754
<b>C4</b>	1,774631	1,199584

Fonte: Adaptado de Brown e Minnett, (1999).

### Coeficientes de calibração do algoritmo derivados do modelo ECMWF

Após a derivação dos coeficientes acima, um novo conjunto de dados de condições atmosféricas se tornaram disponíveis. Baseia-se na saída do modelo de assimilação European Center for Medium range Weather Forecasting (ECMWF). Uniformemente, "pseudo-sondas" estão distribuídas em intervalos de 10° de latitude/longitude. Elas foram extraídas do modelo

de assimilação de dados globais (ECMWF Global Data) às 00 e 12 UTC no dia 1° e 16° de cada mês, a cada segundo (janeiro, março, ...) de 1996. Estes dados têm a vantagem de uniformidade, representando condições atmosféricas e marinhas no alcance global. Desde que fielmente estatisticamente representada à atmosfera real, devem conduzir a um conjunto de coeficientes que apresentam campos da TSM com menores incertezas, do que os derivados acima, de um conjunto de radiossondas. O conjunto de 2790 pseudo-sondas do ECMWF, foram utilizadas com oito ângulos zenitais e cinco diferenças de temperatura ar - mar. Os coeficientes resultantes são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Coeficientes, derivados do modelo ECMWF, para definir propriedades atmosféricas e variabilidade.**

	Coeficientes (modelo)	
	Tb (b31) - Tb(b32) ≤ 0,7	Tb(b31) - Tb(b32) > 0,7
<b>C1</b>	1,11071	1,196099
<b>C2</b>	0,9586865	0,9888366
<b>C3</b>	0,1741229	0,1300626
<b>C4</b>	1,876752	1,627125

Fonte: Adaptado de Brown e Minnett, (1999).

### 3.4 Metodologia de Validação

Para a validação dos dados da TSM estimados pelo algoritmo NLSST, através de imagens MODIS/Aqua, utilizou-se dados da TSM *in situ* obtidas pelas boias da rede PIRATA. Com o intuito de garantir a coerência entre os dados observados pela boia e os dados obtidos por satélite, foi feito um recorte de 3x3 pixels (janela 3x3), centrado em torno do pixel que possivelmente corresponde à posição da boia, pois sempre haverá um pequeno erro de georreferenciamento das imagens. Então, para contornar esse pequeno erro de georreferenciamento foi utilizada a janela 3x3 pixels, baseando-se no pressuposto de que a TSM é relativamente uniforme em escalas pequenas, por exemplo, 3x3 pixels (3x3 Km). Os valores da TSM *in situ*, correspondentes aos mesmos dias das imagens MODIS/Aqua utilizadas no estudo, foram comparados com os dados estimados para um janelamento de 3x3 pixels, centradas na posição da boia, onde a comparação procedeu-se de quatro maneiras diferentes: primeiramente comparou-se a TSM *in situ* com o pixel central da janela 3x3 pixels (valor da TSM para o pixel central numa matriz de 9 elementos); em segundo, comparou-se a TSM *in situ* com o pixel mais quente da janela 3x3 pixels (valor máximo da TSM numa matriz de 9 elementos); em terceiro, comparou-se a TSM *in situ* com o pixel mais frio da janela 3x3 pixels (valor mínimo da TSM numa matriz de 9 elementos); e, finalmente, a quarta

maneira, onde comparou-se a TSM *in situ* com a média da janela 3x3 pixels (valor médio da TSM numa matriz de 9 elementos). Esta comparação descrita anteriormente, entre os dados observados e os dados estimados, foi calculada separadamente para cada TSM estimada, tanto utilizando coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, quanto utilizando coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.

#### 3.4.1 Dados da TSM *in situ* obtidos pelas boias ATLAS da rede PIRATA

O projeto Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA) é um programa de oceanografia operacional realizado no âmbito de uma cooperação entre o Brasil, a França e os Estados Unidos. As boias utilizadas na rede PIRATA são do tipo Autonomous Temperature Line Acquisition System (ATLAS). As boias PIRATA realizam medições em intervalos de 10 minutos, transmitindo as médias diárias via satélite para estações em Terra, sendo que os dados na resolução de 10 minutos são recuperados apenas à cada operação de manutenção. As variáveis medidas são: vento de superfície, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação de onda curta, precipitação, temperatura de subsuperfície a 1, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 300 e 500 metros de profundidade, salinidade a 1, 20, 40, 80 e 120 metros, e pressão a 300 e 500 metros. Os dados coletados pelo projeto PIRATA são necessários para melhorar as previsões de tempo e de clima sobre o Brasil em geral e sobre a Região Nordeste em particular, cuja variabilidade climática interanual é modulada pelos campos de TSM sobre o Atlântico Tropical.

Os objetivos científicos do projeto PIRATA são:

- Fornecer uma descrição melhorada 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 interanual da TSM na bacia do Atlântico Tropical;
- Gerar uma base de dados que possa ser utilizada para o desenvolvimento e melhoria de modelos de previsão do sistema climático acoplado do Atlântico.

Para validação dos dados MODIS/Aqua foram utilizados dados diários de temperatura de subsuperfície do oceano Atlântico, a um metro de profundidade, das estações PIRATA 31003 (localizada em 8°S/30°W) e 31004 (localizada em 14°S/32°W), obtidos junto ao

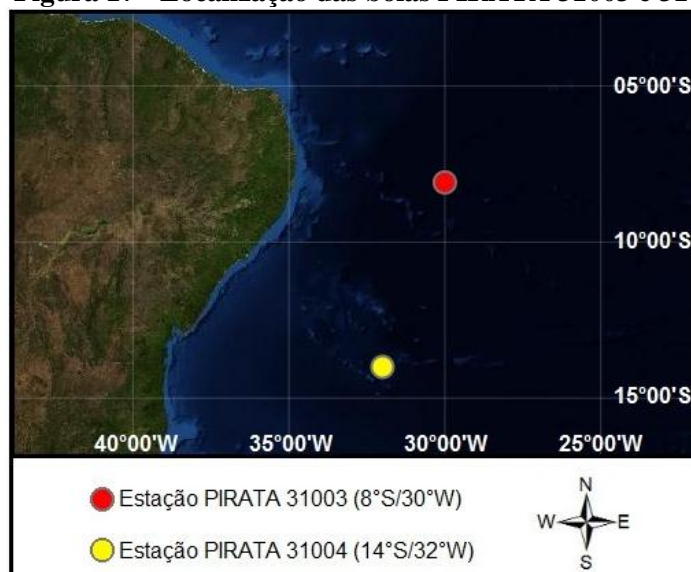
programa GOOS-Brasil, através do endereço eletrônico <http://goosbrasil.org/produtos/pirata> e, também, através do site <http://www.ndbc.noaa.gov/>. A localização geográfica das boias PIRATA utilizadas pode ser observada na Figura 17. Os dados da TSM (média diária) obtidos para ambas as estações PIRATA estão disponíveis para o período de 2005 a 2012, incluindo os dias referentes às imagens MODIS/Aqua analisadas. Os dados da TSM (*in situ*) foram utilizados a fim de validar os dados da TSM estimados pelo algoritmo NLSST através de imagens MODIS/Aqua. As estações PIRATA 31003 e 31004 foram escolhidas porque estão inseridas na cena MODIS/Aqua referente ao *tile h14v09*. As boias PIRATA representam uma forma de medida *in situ* da TSM para a área do estudo.

**Figura 16 - Boia PIRATA 31003.**



Fonte: NOAA - NDBC, 2012.

**Figura 17 - Localização das boias PIRATA 31003 e 31004.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 3.4.2 Análise Estatística

#### **Coefficiente de correlação de Pearson (r)**

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de valor único para explicar a relação linear entre duas variáveis, no caso, x e y. Os valores variam de -1 a 1, onde r = -1 indica uma relação linear negativa perfeita entre x e y, ou seja, a dispersão entre x e y consiste em todos os pontos ao longo de uma reta e que esta linha reta possui inclinação negativa. Da mesma forma, se r = 1, pode-se dizer que existe uma relação linear perfeita positiva. Porém, quando r = 1 não há nada que diga sobre a inclinação da relação linear perfeita entre x e y, exceto que não é igual a zero. O quadrado da correlação de Pearson (r<sup>2</sup>), definido como coeficiente de determinação, especifica a proporção da variabilidade de uma das variáveis, explicada pela outra variável (WILKS, 2005):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p}_i)(o_i - \bar{o}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p}_i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o}_i)^2}}$$

em que, p<sub>i</sub> são os valores simulados; o<sub>i</sub> representa os valores observados;  $\bar{o}_i$  e  $\bar{p}_i$  são os valores médios observados e simulados, respectivamente; N é o número de dados da amostra.

#### **Índice de concordância de Willmott (d)**

O índice de concordância (d) de Willmott (1981), utilizado no trabalho de Souza e Escobedo (1995), expressa a exatidão entre os valores observados e os estimados. O índice (d) varia de 0,0 a 1,0, onde um valor calculado de 1 indica concordância perfeita entre os dados observados e estimados, e 0,0 representa nenhuma concordância.

$$d = 1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

### Índice de confiança (c)

O índice de confiança (c) foi proposto por Camargo e Sentelhas (1997) para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices “r” e “d”. O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice “c” está especificado na Tabela 5.  $c = r \times d$

**Tabela 5 – Interpretação do Índice de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).**

Índice de Confiança (c)	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Autor desta dissertação, 2012. Adaptado de Camargo e Sentelhas, 1997.

### Erro Absoluto Médio

O Erro Absoluto Médio (Mean Absolute Error - MAE) indica o afastamento (desvio) médio absoluto dos valores estimados em relação aos valores observados. O ideal seria que os valores de MAE fossem o mais próximo de zero (CARVALHEIRO et al., 2008).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - o_i|}{n}$$

Onde,  $p_i$  representa os valores estimados;  $o_i$  representa os valores observados

### Erro percentual

Outra forma adicional de quantificar o erro é o erro percentual, onde o  $\varepsilon$  representa o erro (afastamento) percentual entre os dados estimados e os dados observados (CARVALHEIRO et al., 2008).

$$\varepsilon = 100\% \cdot \frac{(p_i - o_i)}{o_i}$$

Onde,  $p_i$  representa os valores estimados;  $o_i$  representa os valores observados;

### **3.5 Relação entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP (dados utilizados)**

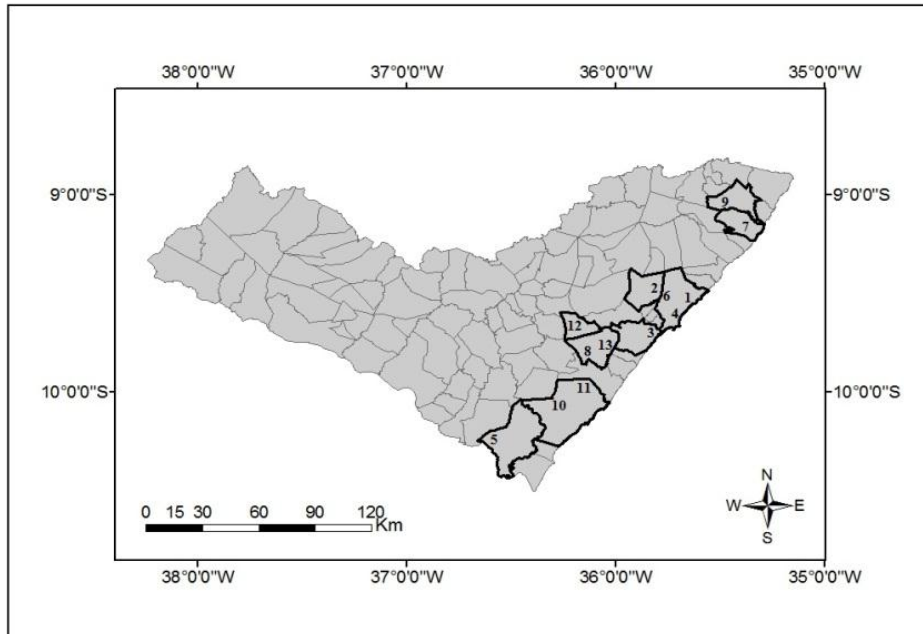
No presente trabalho foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre as observações de precipitação no setor leste do Estado de Alagoas e dados de reanálise do NCEP, para uma climatologia do período de cinco meses (ABR, MAI, JUN, JUL, AGO) durante cinco anos (2006, 2007, 2008, 2009, 2010). Os coeficientes de correlação ( $r$ ) foram calculados, separadamente, entre cada variável meteorológica (Reanálise NCEP) e cada posto pluviométrico situado no litoral do Estado. Nesta análise, procurou-se mostrar a possível influência das variáveis meteorológicas estudadas na distribuição da precipitação no setor litorâneo de Alagoas, e destacando, também, a possível influência da TSM na variabilidade interanual da precipitação.

#### **3.5.1 Dados Pluviométricos**

Foram utilizados dados de precipitação de 13 postos pluviométricos localizados no setor leste (zona da mata e litoral) do estado de Alagoas (Figura 18), gentilmente cedidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL) e pela Diretoria de Hidrometeorologia (DHM) através do Banco de Dados Hidrometeorológicos (BDHM). Neste trabalho utilizaram-se totais mensais de precipitação (mm) dos 13 postos pluviométricos, para o período de abril a agosto, definido como período chuvoso no setor leste de Alagoas para este estudo, e para os anos de 2006 a 2010, inclusive. A pesquisa ficou limitada em cinco anos, pela disponibilidade dos dados de precipitação, levando em conta todos os postos pluviométricos analisados. Para cada um dos 13 pontos pluviométricos, construiu-se uma matriz de 25 dados, ou seja, uma matriz de 5 meses x 5 anos de dados de precipitação.



**Figura 18 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos. Os números indicam os locais dos pluviômetros no setor leste de Alagoas.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Tabela 6. Nome, município a que pertence e coordenadas geográficas dos postos pluviométricos.**

Estação	Nome	Município	Latitude (S)	Longitude (O)
1	Base Experimental Peixe Boi - Riacho Doce	Maceió	9.55°	35.63°
2	Centro de Ciências Agrárias (CECA - UFAL)	Rio Largo	9.47°	35.83°
3	Companhia Alagoas Industrial (CINAL)	Marechal Deodoro	9.68°	35.82°
4	Companhia de Beneficiamento de Lixo (COBEL)	Maceió	9.62°	35.7°
5	Destilaria Paísa	Penedo	10.28°	36.58°
6	INMET	Maceió	9.55°	35.77°
7	INMET	Porto de Pedras	9.18°	35.43°
8	Usina Caeté	São Miguel dos Campos	9.8°	36.08°
9	Usina Camaragibe - Junco	Porto Calvo	9.06°	35.47°
10	Usina Coruripe	Coruripe	10.08°	36.28°
11	Usina Guaxuma	Coruripe	9.95°	36.15°
12	Usina Triunfo	Boca da Mata	9.65°	36.2°
13	Usina Roçadinho	São Miguel dos Campos	9.77°	36.03°

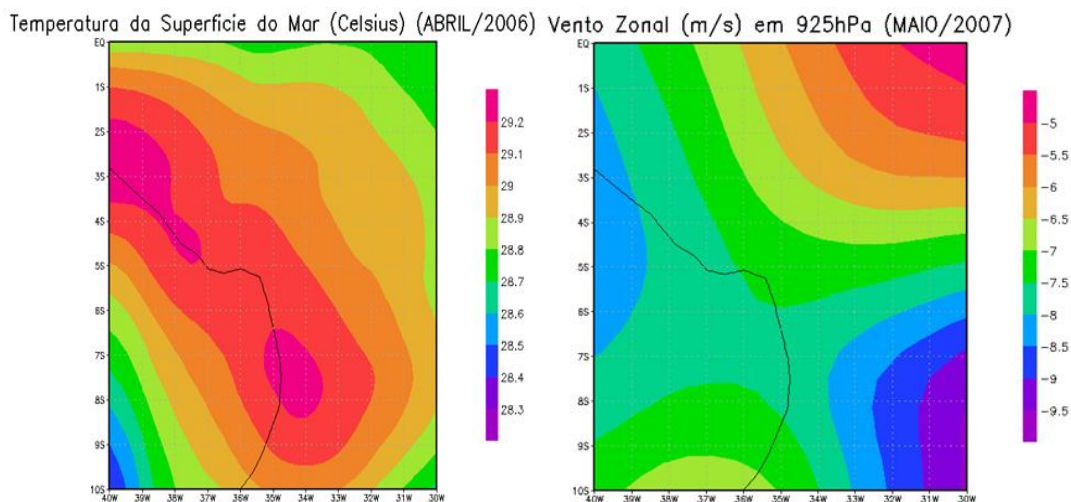
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 3.5.2 Dados de Reanálise NCEP

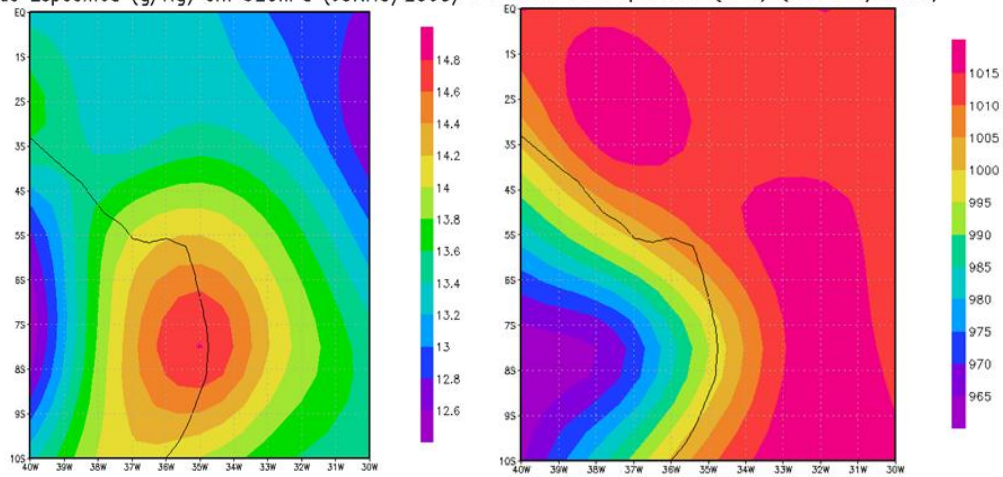
Para os dados de reanálise do NCEP, foram utilizadas composições médias mensais da área correspondente às mesmas coordenadas do *tile h14v09* (0° - 10°S/30° - 40°W) para as

seguintes variáveis meteorológicas: Temperatura da Superfície do Mar ( $^{\circ}\text{C}$ ), Vento Zonal em 925hPa (m/s), Umidade Específica em 925hPa (g/Kg) e Pressão Atmosférica na Superfície (hPa), como mostrado em alguns exemplos na Figura 19 e, também, foram utilizados campos médios mensais de Advecção de Umidade, onde multiplicou-se o campo de Vento Zonal em 925hPa pelo campo de Umidade Específica em 925hPa, a fim de se obter o campo médio mensal de transporte de umidade do oceano para o continente. Os dados referentes aos campos médios mensais foram extraídos, para todas as variáveis meteorológicas citadas anteriormente, para uma climatologia do período de abril a agosto de 2006 a 2010, inclusive. O período escolhido foi pela disponibilidade dos dados de precipitação dos 13 postos pluviométricos. Desta forma gerou-se uma matriz de 25 elementos (5 meses x 5 anos) para cada variável meteorológica estudada. Posteriormente, foram calculados os coeficientes de correlação entre a matriz de 25 dados de precipitação, para cada posto pluviométrico, e a matriz de 25 elementos para cada uma das cinco variáveis meteorológicas analisadas. Os dados de reanálise NCEP foram fornecidos pelo National Oceanic and Atmospheric Administration - Oceanic and Atmospheric Research - Earth System Research Laboratory - Physical Sciences Division (NOAA-OAR-ESRL-PSD) Boulder, Colorado, EUA, a partir do site <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> na resolução de  $2.5^{\circ}$  em latitude e longitude e os dados possuem formato NetCDF (Network Common Data Form). Para a devida visualização dos dados médios mensais de cada variável meteorológica estudada foi utilizado o software OpenGrADS (Grid Analysis and Display System) adquiridos no site <http://opengrads.org/>.

**Figura 19 - Composições médias mensais obtidas através de dados de reanálise NCEP.**



Umidade Específica (g/Kg) em 925hPa (JUNHO/2008) Pressao na Superficie (hPa) (AGOSTO/2010)



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Radiância espectral

#### 4.1.1 Radiância espectral detectada da banda 31 do MODIS/Aqua

Na Tabela 7 são mostrados os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão da radiância espectral ( $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ ), para a banda 31 (comprimento de onda centrado em  $11 \mu m$ ) do recorte retangular (englobando o litoral de Alagoas) das imagens MODIS/Aqua. O valor típico da radiância espectral, para a banda 31, das imagens MODIS/Aqua é  $9,55 W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$  para uma temperatura de corpo negro equivalente da superfície igual a 300K. Nota-se que os valores médios da radiância espectral, para a banda 31, encontradas neste estudo, são próximos aos valores encontrados nas imagens MODIS/Aqua para condições atmosféricas típicas. Constata-se que os valores da radiância espectral mostrados na Tabela 7 são ligeiramente subestimados, possivelmente pela persistência de nebulosidade encontrada em regiões tropicais, neste caso, a faixa litorânea de Alagoas. Observa-se que a radiância espectral estimada, para os dias analisados, teve seu menor valor médio quanto máximo, 8,89 e 10,81  $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ , respectivamente, para a imagem MODIS/Aqua obtida no dia 30/01/2009, possivelmente pela maior cobertura de nuvens sob esta imagem em relação às demais imagens MODIS/Aqua analisadas. Já para a imagem MODIS/Aqua com menor cobertura de nuvens, obtida em 2/11/2011, o maior valor médio de radiância espectral foi de 9,26  $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ . O valor médio da radiância espectral da imagem MODIS/Aqua de 2011 aumentou 4,2 % em relação a 2009, levando em consideração que na cena de 2011 possui uma menor cobertura de nuvens e que na cena de 2009 possui a maior cobertura de nuvens. Nota-se nas Tabelas 7 e 8 que os valores mínimos de radiância espectral, tanto para banda 31 como para a banda 32, são menores para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, possivelmente, por estas cenas apresentarem maior cobertura de nuvens em relação às outras cenas MODIS/Aqua analisadas.

**Tabela 7 - Valores estatísticos da radiância espectral ( $W/m^2 \mu m sr$ ) da banda 31 do MODIS/Aqua.**

Radiância <sub>(b31)</sub> ( $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ )	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	7,92	11,29	9,17	$\pm 0,45$
6/01/2008	3,82	12,24	9,07	$\pm 0,90$
30/01/2009	2,27	10,81	8,89	$\pm 0,60$
2/11/2010	7,47	11,48	9,10	$\pm 0,53$
16/11/2011	7,61	11,78	9,26	$\pm 0,38$

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 4.1.2 Radiância espectral detectada da banda 32 do MODIS/Aqua

Na Tabela 8 são mostrados os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão de radiância espectral ( $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ ), para a banda 32, (comprimento de onda centrado em 12  $\mu m$ ) do recorte das cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas neste estudo. O valor típico de radiância espectral, para a banda 32, das imagens MODIS/Aqua é 8,94  $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$  para uma temperatura de corpo negro equivalente da superfície igual a 300K. Nota-se que os valores médios de radiância espectral, para a banda 32, encontradas neste estudo são próximos aos valores típicos encontradas para as imagens MODIS/Aqua. Os valores de radiância espectral têm tendência a diminuir com o aumento do comprimento de onda e isto é constatado na Tabela 8. Novamente os menores valores de radiância espectral são observados para a imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009, conforme a Tabela 8 e os maiores valores de radiância espectral são vistos para a imagem MODIS/Aqua do dia 16/11/2011, onde ocorreu um aumento de 4,5 % em relação a 2009. Conforme visto anteriormente, os menores valores de radiância espectral estão associados à imagem MODIS/Aqua do dia 30/01/2009 que apresenta maior cobertura de nuvens em relação às outras imagens MODIS/Aqua utilizadas, enquanto os maiores valores de radiância espectral são encontrados na imagem MODIS/Aqua do dia 16/11/2011 que apresenta menor cobertura de nuvens em relação às outras imagens MODIS/Aqua estudadas.

**Tabela 8 - Valores estatísticos da radiância espectral ( $W/m^2 \mu m sr$ ) da banda 32 do MODIS/Aqua.**

Radiância <sub>(b32)</sub> ( $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ )	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	7,49	10,05	8,48	$\pm 0,33$
6/01/2008	3,61	10,89	8,33	$\pm 0,71$
30/01/2009	2,29	9,65	8,18	$\pm 0,52$
2/11/2010	7,12	10,33	8,41	$\pm 0,42$
16/11/2011	7,11	10,51	8,55	$\pm 0,29$

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

## 4.2 Mapas Temáticos da Temperatura de brilho ( $T_b$ )

### 4.2.1 Temperatura de brilho da banda 31 do MODIS/Aqua ( $T_b$ )<sub>b31</sub>

A Tabela 9 apresenta os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão da ( $T_b$ )<sub>b31</sub>, centrada em 11  $\mu m$ , das cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. Nota-se que os maiores valores médios da ( $T_b$ )<sub>b31</sub> são observados nas imagens MODIS/Aqua obtidas no mês de novembro, para os anos de 2007, 2010 e 2011, período que corresponde à primavera no Hemisfério Sul. Provavelmente, estes maiores valores médios de ( $T_b$ )<sub>b31</sub> estão associados às

imagens MODIS/Aqua com a menor cobertura de nuvens. Climatologicamente falando, os maiores valores da  $(T_b)_{b31}$  eram esperados para o mês de janeiro (imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009), mês que corresponde ao período de verão no Hemisfério Sul. Isto não acontece porque nas imagens MODIS/Aqua, obtidas no mês de janeiro, encontra-se a maior presença de nebulosidade em relação às imagens MODIS/Aqua obtidas em novembro. Observa-se que os menores valores da  $(T_b)_{b31}$  (-2,75 e -3,92°C) são encontrados nas imagens MODIS/Aqua obtidas em janeiro de 2008 e 2009, respectivamente, como mostrado na Tabela 9. Novamente, os menores valores de  $(T_b)_{b31}$  explicam-se pela grande cobertura de nuvens presente nestas cenas MODIS/Aqua estudadas. Nota-se na Tabela 9 que os valores médios e máximos de  $(T_b)_{b31}$  para as cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas são próximos entre si, mostrando a consistência dos dados utilizados. Constata-se que para a imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009, no qual apresenta a maior cobertura de nuvens, a  $(T_b)_{b31}$  tem um decréscimo de 10,73% em relação à imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011, no qual apresenta a menor cobertura de nuvens sob a cena MODIS/Aqua. Fica muito clara, na estimativa da  $(T_b)_{b31}$  para as imagens MODIS/Aqua, a interferência das nuvens.

**Tabela 9 - Valores estatísticos da  $(T_b)_{b31}$  em (°C).**

$(T_b)_{b31}$ (°C)	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	14,45	32,63	23,91	± 3,02
6/01/2008	-2,75	32,31	22,60	± 5,51
30/01/2009	-3,92	32,97	21,89	± 4,15
2/11/2010	11,06	32,87	23,62	± 3,71
16/11/2011	12,04	32,74	24,52	± 2,42

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

As imagens foram classificadas para a  $(T_b)_{b31}$ , pois esta é uma importante variável de entrada no algoritmo NLSST para a estimativa da TSM e são apresentadas, para as cinco imagens MODIS/Aqua, na Figura 20. Também, vale salientar a importância da comparação entre a  $T_b$  (conceito físico) e a TSM estimada pelo algoritmo NLSST, que será discutido posteriormente. O range para a  $(T_b)_{b31}$  apresentado neste estudo é de 20,5 a 25,5 °C. Este intervalo de  $(T_b)_{b31}$  foi definido em função dos valores dos pixels encontrados na superfície oceânica para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. Valores de  $(T_b)_{b31}$  menores do que 20,5°C são considerados para pixels possivelmente contaminados pela presença de nuvens. Os valores de  $(T_b)_{b31}$  foram divididos em dez intervalos de 0,5°C entre 20,5 e 25,5 °C. A classificação das imagens MODIS/Aqua para os valores de  $(T_b)_{b31}$  são representados por:

áreas com tonalidade roxa representam valores entre 20,5 a 21°C, azul marinho representa valores entre 21 a 21,5°, azul claro representa valores entre 21,5 a 22°C, cor verde entre 22 a 22,5°C, a cor amarela entre 22,5 a 23°C, cor ouro entre 23 a 23,5°C, cor laranja entre 23,5 a 24°C, cor vermelha entre 24 a 24,5°C, cor marrom entre 24,5 a 25°C e cor preta entre 25 a 25,5°C.

A Figura 20a mostra a  $(T_b)_{b31}$  em °C para o dia 2/11/2007 para o recorte analisado. Nota-se que, em geral, os valores de  $(T_b)_{b31}$  para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens variam entre 22,5 a 24,5°C. Observa-se que os maiores valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 23 a 24,5°C são encontrados próximo a costa da cidade da Barra de Santo Antônio/AL e estende-se pelo setor norte do litoral de Alagoas, enquanto para o setor sul do litoral do Estado os valores de  $(T_b)_{b31}$  são mais uniforme e variam entre 22,5 a 23°C. O setor central do litoral alagoano, englobando a capital Maceió, apresentou valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 22,5 a 23,5°C.

A Figura 20b mostra a  $(T_b)_{b31}$  em °C para o dia 6/01/2008, imagem MODIS/Aqua adquirida praticamente dois meses depois da Figura 20a. Percebe-se claramente a grande influência de nuvens na Figura 20b. Nota-se um gradiente de  $(T_b)_{b31}$  de aproximadamente 2,5°C entre a área encoberta pelas nuvens e a área onde encontra-se a mínima cobertura de nuvens. Ressaltando que os dados de  $(T_b)_{b31}$  detectados pelo MODIS/Aqua em 6/01/2008 estão comprometidos sob a área com a presença de nuvens e na transição da área com mais nebulosidade para a área com menos nebulosidade. Os maiores valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 23,5 a 24,5°C são encontrados próximo a costa do município da Barra de Santo Antônio/AL, já para o setor norte do litoral de Alagoas, os valores de  $(T_b)_{b31}$ , estão comprometidos pela cobertura das nuvens nesta imagem MODIS/Aqua. Para o setor sul do litoral do Estado, os valores de  $(T_b)_{b31}$  são uniformes e variam entre 23 a 23,5°C. O setor central do litoral alagoano apresentou valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 22,5 a 24°C. Nota-se que, para a Figura 20b (imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008) os valores de  $(T_b)_{b31}$  para o setor sul do litoral de Alagoas (onde encontra-se a menor presença de nuvens) aumentaram 0,5°C em relação a Figura 20a (imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007). Este aumento dos valores de  $(T_b)_{b31}$  eram esperados, principalmente pela transição do período de primavera (imagem MODIS do dia 2/11/2007) para o período de verão (imagem MODIS do dia 6/01/2008), definidos assim para o Hemisfério Sul. Observa-se na Figura 20b um vórtice quente, com valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 23 e 23,5°C, na desembocadura do rio São Francisco com orientação para o sul/sudoeste.

A Figura 20c mostra a  $(T_b)_{b31}$ , em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009. Observa-se na cena que, de forma geral, os valores de  $(T_b)_{b31}$  para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens variam entre 22 a 25°C. Observa-se que os maiores valores de  $(T_b)_{b31}$ , entre 24 e 25°C, são encontrados próximo a costa da cidade da Barra de Santo Antônio/AL. Percebe-se claramente na Figura 20c que os valores de  $(T_b)_{b31}$  são superiores para o setor norte do litoral de Alagoas, enquanto para o setor sul do litoral do Estado os valores de  $(T_b)_{b31}$  são mais uniforme. O setor central do litoral alagoano apresentou valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 22,5 a 23,5°C. Nota-se, também, na Figura 20c um vórtice de águas mais aquecidas, com valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 24 a 24,5°C, centrado em 9,5°S/34°W. Observa-se na Figura 20c maiores valores de  $(T_b)_{b31}$  na desembocadura do rio São Francisco, aproximadamente 0,5°C a mais em relação ao seu entorno. Novamente a desembocadura do rio São Francisco apresenta orientação para o sul/sudoeste.

A Figura 20d mostra a  $(T_b)_{b31}$ , em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida no dia 2/11/2010 para a área de estudo, novamente destacando a persistência de nuvens na costa leste do Nordeste brasileiro e também devido a grande área de abrangência da área de estudo. Constata-se, de forma geral, que os valores de  $(T_b)_{b31}$ , para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens, variam entre 22,5 a 25°C. Os maiores valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 23,5 e 24,5°C podem ser vistos ao longo de praticamente toda a costa do litoral de Alagoas, mais especificamente ao norte de Maceió/AL até a Barra de Santo Antônio/AL, região pertencente ao setor central do litoral alagoano. No setor sul do litoral do Estado é observado valores de  $(T_b)_{b31}$  entre 24 a 24,5°C, no litoral dos municípios de Feliz Deserto/AL e Piaçabuçu/AL próximos a foz do rio São Francisco. Como visto nas Figuras 20b e 20c, também, é possível notar na Figura 20d que os valores de  $(T_b)_{b31}$  são maiores na desembocadura do Rio São Francisco, já no litoral do Estado de Sergipe, e a desembocadura fluvial possui orientação para sul/sudoeste. No geral, os valores de  $(T_b)_{b31}$  para a Figura 20d estão distribuídos mais uniformemente no litoral de Alagoas, diversificando-se somente muito próximo da costa do Estado. Possivelmente os valores de  $(T_b)_{b31}$  para o setor norte do litoral de Alagoas estão sendo influenciados pela presença de nebulosidade.

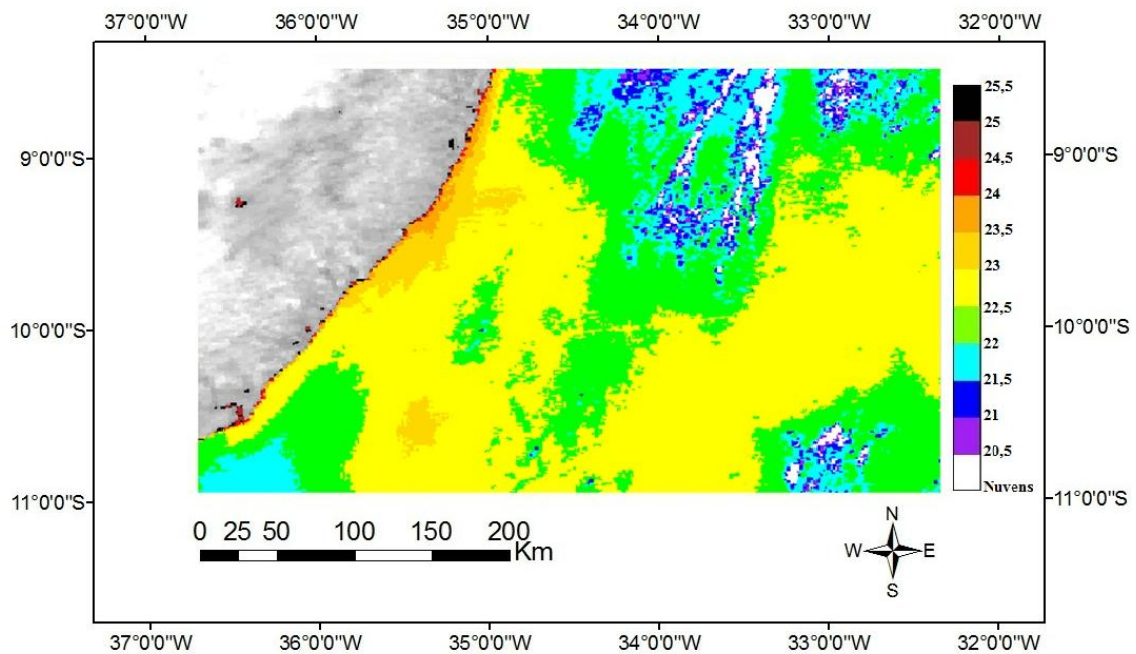
A Figura 20e mostra a  $(T_b)_{b31}$ , em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011 para o litoral de Alagoas. Observa-se, na Figura 20e, uma pequena cobertura de nuvens presente sob esta cena. Nota-se que, para pixels localizados sob o oceano os valores de  $(T_b)_{b31}$  variam entre 23 a 25,5°C. De forma geral, foram os maiores valores de  $(T_b)_{b31}$



encontrados para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas no estudo. Isto, possivelmente, pode estar ligado ao fato desta apresentar a menor cobertura de nuvens em relação às outras imagens MODIS/Aqua. Analisando os valores de  $(T_b)_{b31}$  mais detalhadamente, percebe-se que, próximo a costa do setor central e do setor norte do litoral de Alagoas, os valores de  $(T_b)_{b31}$  estão entre 24 e 25,5°C. No setor sul do litoral do Estado, os valores de  $(T_b)_{b31}$ , variam entre 23,5 e 24,5°C. Observa-se na Figura 20e que os valores de  $(T_b)_{b31}$  são maiores para o setor central e norte do litoral alagoano. Próximo à costa, dos setores supracitados, estende-se uma faixa de  $(T_b)_{b31}$  com valores entre 24,5 a 25°C. Como visto anteriormente, nas Figuras 20b, 20c e 20d, também, é possível notar na Figura 20e que os valores de  $(T_b)_{b31}$  são maiores na desembocadura fluvial do Rio São Francisco, onde sua foz possui orientação para sul/sudoeste.

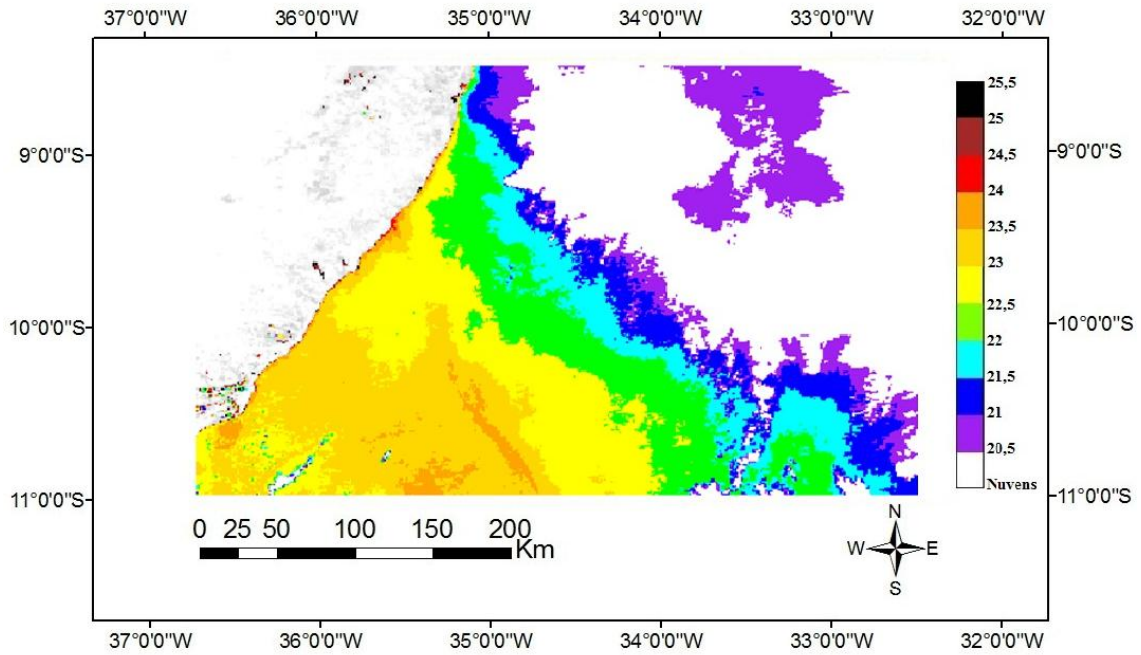
**Figura 20 - Mapas temáticos da  $(T_b)_{b31}$  (°C).**

**a)  $(T_b)_{b31}$  (°C) para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.**



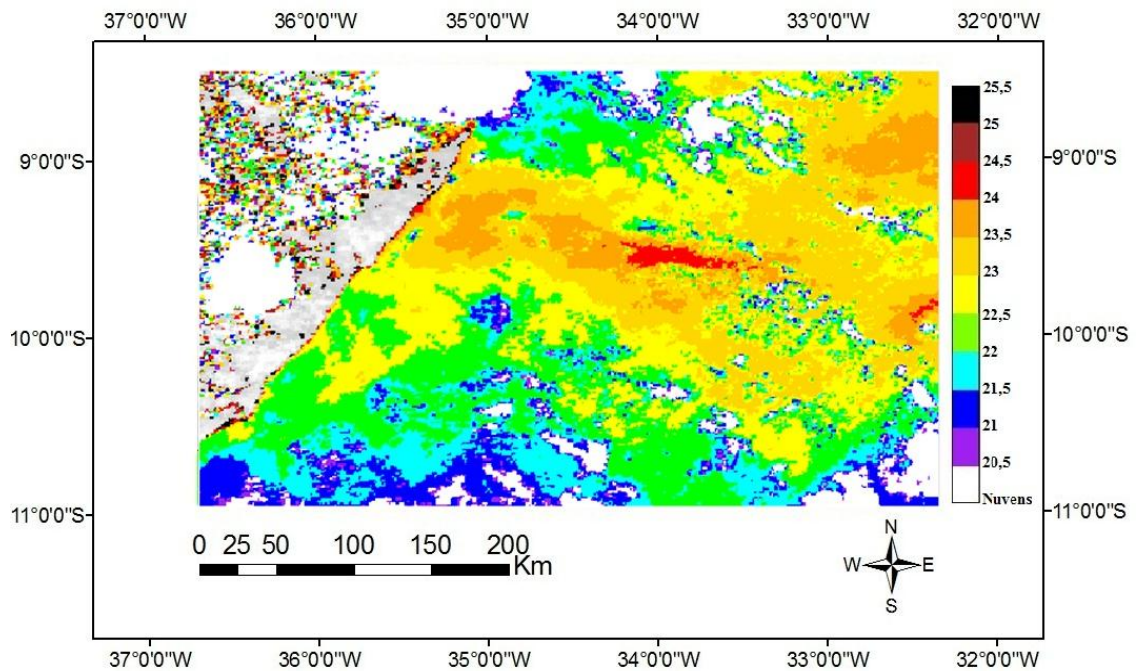
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

b)  $(T_b)_{b31}$  (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.



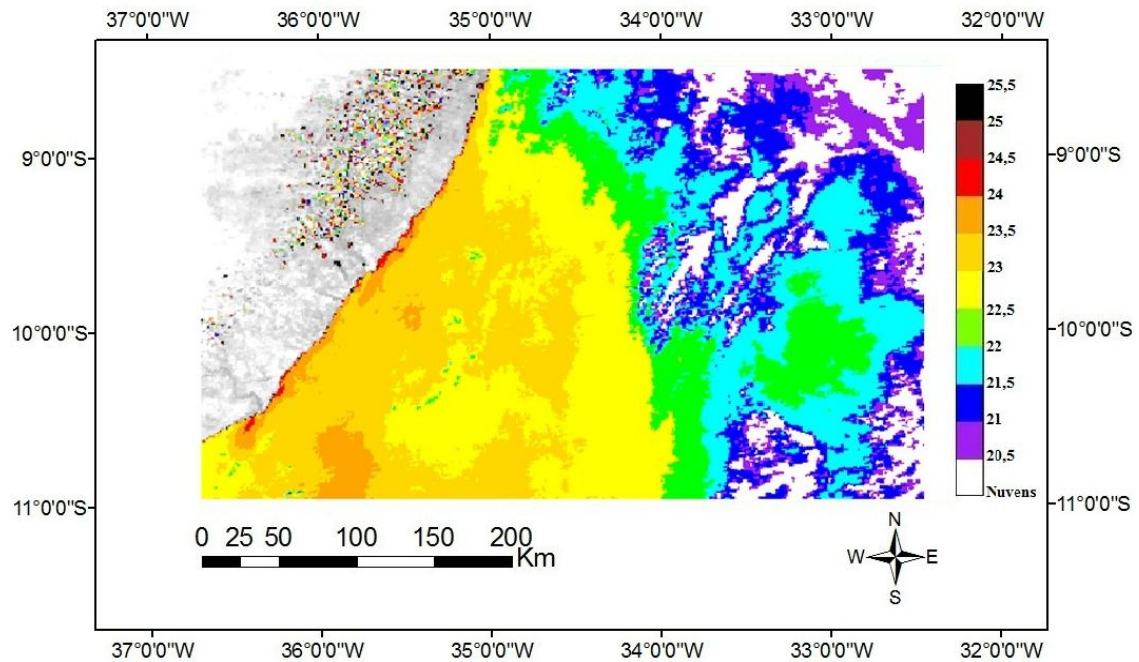
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

c)  $(T_b)_{b31}$  (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.



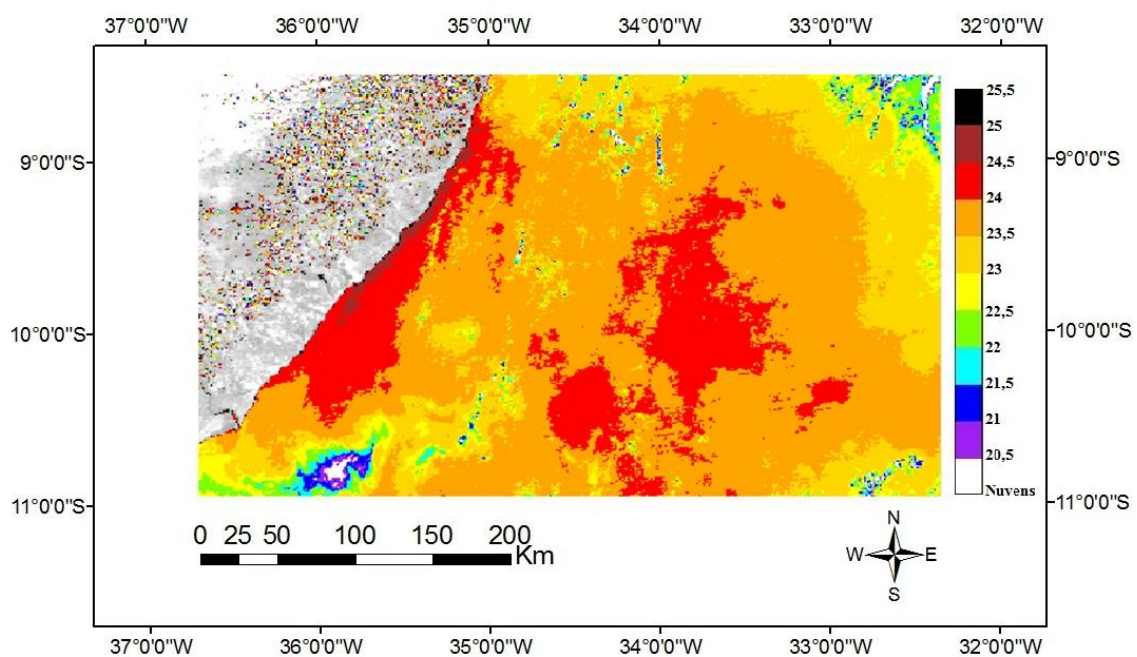
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

d)  $(T_b)_{b31}$  (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.



Fonte: Autor desta dissertação, 2012

e)  $(T_b)_{b31}$  (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A estrutura termal da camada superficial do mar, baseada na  $(T_b)_{b31}$ , mostrou-se homogênea nas cinco imagens MODIS/Aqua, analisadas para a costa litorânea de Alagoas. Os dados de  $(T_b)_{b31}$  analisados anteriormente através da Figura 20, mostram, de forma geral, um maior aquecimento para o setor norte do litoral de Alagoas. Já na Figura 20d e na Figura 20e, também, é possível notar um maior aquecimento no setor central do litoral do Estado. Nas

Figuras 20b, 20c, 20d e 20e, com exceção da Figura 20a, é possível notar que na foz do rio São Francisco os valores de  $(T_b)_{b31}$  são 0,5 a 1°C mais quente em relação aos valores de  $(T_b)_{b31}$  ao seu entorno e a desembocadura fluvial do rio São Francisco apresenta uma orientação para sul/sudoeste. Observou-se claramente que os valores de  $(T_b)_{b31}$  são influenciados pela cobertura de nuvens presente nas imagens MODIS/Aqua, principalmente nas imagens obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, as quais, apresentam maior cobertura de nuvens.

#### 4.2.2 Temperatura de brilho da banda 32 do MODIS/Aqua $(T_b)_{b32}$

A Tabela 10 apresenta os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão da  $(T_b)_{b32}$ , centrada em 12  $\mu\text{m}$ , das cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas neste estudo. Nota-se que os maiores valores médios da  $(T_b)_{b32}$  são observados nas imagens MODIS/Aqua, obtidas no mês de novembro para os anos de 2007, 2010 e 2011, período que corresponde à primavera no Hemisfério Sul. Provavelmente, os maiores valores médios da  $(T_b)_{b32}$  estão associados às imagens MODIS/Aqua com menor cobertura de nuvens. No geral, os valores da  $(T_b)_{b32}$  mínimos, máximos e médios diminuem em relação à  $(T_b)_{b31}$ . Nota-se na Tabela 10 que os valores médios e máximos da  $(T_b)_{b32}$  para as cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas, são próximos entre si, mostrando a consistência dos dados utilizados. A  $(T_b)_{b32}$  diminuiu 4,7%, 6,3%, 7,4%, 6% e 4,6% em relação à  $(T_b)_{b31}$ , para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007, 6/01/2008, 30/01/2009, 2/11/2010 e 16/11/2011, respectivamente. Sabe-se que os valores de Temperatura de brilho têm tendência a diminuir com o aumento do comprimento de onda, neste caso, aumentando de 11 para 12  $\mu\text{m}$ . É importante o conhecimento da  $(T_b)_{b32}$ , medida em 12  $\mu\text{m}$ , pois os canais 31 e 32 do MODIS, combinados entre si, permitem corrigir o efeito atenuador do conteúdo variável de vapor d'água na atmosfera. O algoritmo NLSST diferencia a carga de vapor atmosférico, a partir da diferença entre as temperaturas de brilho em 11 e 12  $\mu\text{m}$ , nos canais 31 e 32, respectivamente.

**Tabela 10 - Valores estatísticos da  $(T_b)_{b32}$  em (°C).**

$(T_b)_{b32}$ (°C)	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	14,23	32,23	22,78	± 2,70
6/01/2008	-3,31	32,54	21,18	± 5,80
30/01/2009	-3,40	32,26	20,27	± 4,09
2/11/2010	10,76	32,24	22,20	± 3,44
16/11/2011	10,70	32,14	23,41	± 2,21

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

### 4.3 Mapas Temáticos da Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

#### 4.3.1 TSM utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens

A Tabela 11 apresenta os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, para as cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas no estudo. Note-se na Tabela 11 que o maior valor médio de TSM é 26,35°C observado para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011, como também foi observado para este dia o maior valor de  $(T_b)_{b31}$  conforme visto na Tabela 9. Conforme dito anteriormente, esta cena MODIS/Aqua é a que apresenta a menor cobertura de nuvens, sendo este um fator determinante para a estimativa da TSM via dados de sensoriamento remoto. Conforme visto na Tabela 11, os menores valores médios de TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, são 24,88 e 24,45°C, encontrados nas imagens MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008 e 30/01/2009, respectivamente. Para estas imagens MODIS/Aqua supracitadas, também são encontrados os menores valores mínimos de TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens. Convém ressaltar que as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009 possuem a maior cobertura de nuvens, ocasionando assim menores valores de TSM. Já para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007 e 2/11/2010 os valores médios de TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, foram 25,9 e 25,5°C, respectivamente.

Nota-se que os valores médios instantâneos da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, aumentaram em relação aos valores médios instantâneos da  $(T_b)_{b31}$ . Convém ressaltar a importância da correção atmosférica para a estimativa da TSM e, não usar somente a  $T_b$  como verdade para a TSM. Observou-se uma elevação na faixa de: 8,1% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007; 10,1% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008; 11,7% para imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009; 7,9% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010 e 7,5% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011. O aumento dos valores da TSM, em relação aos valores de  $(T_b)_{b31}$ , para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007 e 2/11/2010 são muito próximos entre si, com uma elevação de 8,1 e 7,9%, respectivamente. Esta semelhança na elevação dos valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, em relação aos valores médios de  $(T_b)_{b31}$  para os dias citados, esta,

possivelmente, ligada ao fato das duas imagens serem adquiridas para o mesmo dia, mas em anos diferentes. Consta-se que para as imagens MODIS/Aqua adquiridas em novembro (2007, 2010 e 2011) os valores aumentaram numa proporção muito próxima, em torno de 8%. Já para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, as quais, apresentam maior cobertura de nuvens, o aumento dos valores médios foi na faixa de 10 a 12%. O aumento dos valores médios da TSM, em relação aos valores médios de  $(T_b)_{b31}$ , foi em média de 9% para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas.

**Tabela 11 - Valores estatísticos da TSM (°C), com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.**

TSM (°C)	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	16,33	36,30	25,85	± 3,29
6/01/2008	-0,09	36,60	24,88	± 5,37
30/01/2009	-1,25	37,36	24,45	± 4,15
2/11/2010	12,12	36,42	25,48	± 3,70
16/11/2011	14,21	37,11	26,35	± 2,54

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

As imagens MODIS/Aqua foram classificadas para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, a fim de investigar, mapear e compreender a estrutura termal da TSM para a região de estudo e são apresentadas na Figura 21 para as cinco imagens MODIS/Aqua estudadas. O range para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, apresentado no estudo é de 23,5 a 28,5 °C e foram divididos em dez intervalos de 0,5°C. Este range citado anteriormente, foi definido em função dos valores dos pixels encontrados na superfície oceânica para o litoral de Alagoas para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. A classificação das imagens MODIS/Aqua para os valores da TSM, utilizando os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, é representada por: valores menores do que 23,5°C são considerados para pixels, possivelmente, contaminados pela presença de nuvens e representados pela cor branca, áreas com tonalidade roxa representam valores entre 23,5 a 24°C, azul marinho representa valores entre 24 a 24,5°, azul claro representa valores entre 24,5 a 25°C, cor verde entre 25 a 25,5°C, a cor amarela entre 25,5 a 26°C, cor ouro entre 26 a 26,5°C, cor laranja entre 26,5 a 27°C, cor vermelha entre 27 a 27,5°C, cor marrom entre 27,5 a 28°C e cor preta entre 28 a 28,5°C. A Figura 21a, mostra a imagem MODIS/Aqua classificada da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, em °C, para o dia 2/11/2007. Nota-se que, em geral, os valores da TSM para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens variam entre 24 a 26,5°C. Nota-

se interferência de nebulosidade na Figura 21a, podendo comprometer os valores da TSM. Observa-se que os maiores valores da TSM entre 25 a 26,5°C são encontrados muito próximos da costa da cidade da Barra de Santo Antônio/AL e estende-se por todo o setor norte do litoral de Alagoas. Valores da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, entre 26 e 26,5°C são observados somente para o setor norte do litoral alagoano, em pequenas entradas do oceano sob o continente. Para o setor sul do litoral do Estado, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre 24 a 25°C. Próximo à costa do setor central do litoral alagoano, englobando a capital Maceió, a TSM apresentou valores entre 24,5 a 26°C. Observa-se que a estrutura termal da camada superficial do oceano, encontrada na Figura 20a, para a  $(T_b)_{b31}$  é semelhante à estrutura termal, encontrada na Figura 21a, para a TSM utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens. Isto mostra a forte dependência dos campos da TSM em utilizar os campos de  $(T_b)_{b31}$ , no algoritmo de correção atmosférica.

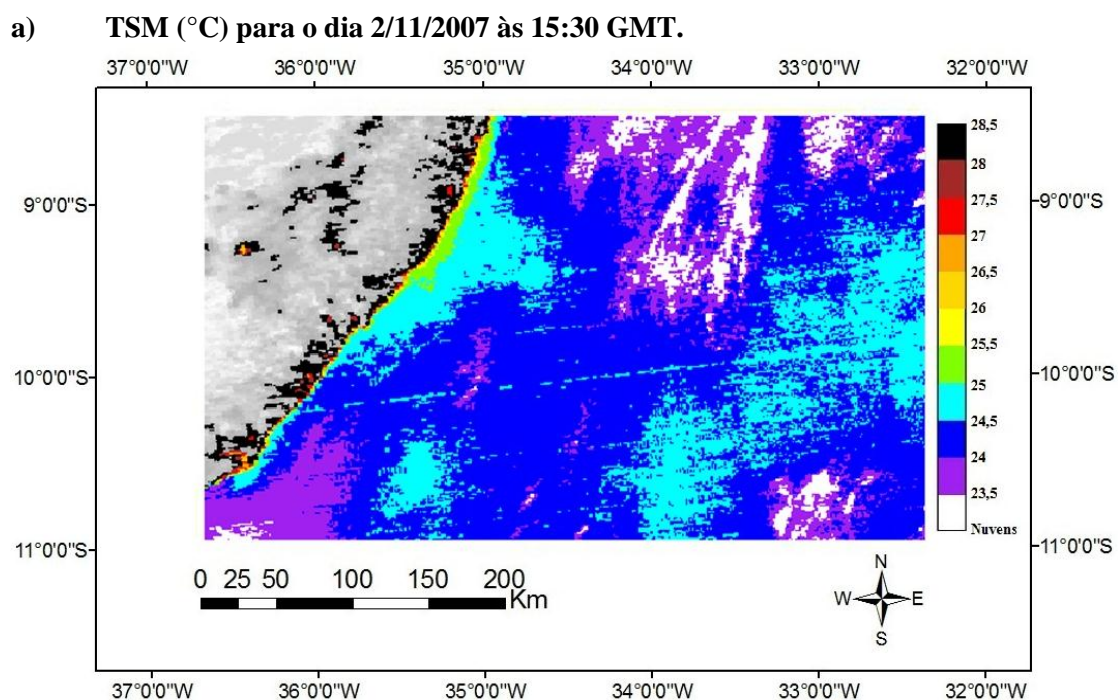
A Figura 21b mostra a imagem MODIS/Aqua classificada da TSM, em °C, para o dia 6/01/2008. Convém ressaltar a grande influência da cobertura de nuvens na Figura 21b, comprometendo os valores da TSM nesta área para este dia. Nota-se, um gradiente da TSM, de aproximadamente 1,5°C da área encoberta pelas nuvens (nordeste da Figura 21b) e a área onde encontra-se a mínima cobertura de nuvens (sudoeste da Figura 21b). O gradiente de  $(T_b)_{b31}$  de 2,5°C, como visto na Figura 20b, caiu para 1,5°C, como observado na Figura 21b. Isto mostra a importância da correção atmosférica para a estimativa da TSM. Na Figura 21b, observa-se, no setor central do litoral de Alagoas, os maiores valores da TSM, entre 25,5 a 26,5°C e são encontradas próximas da costa de Maceió/AL até o município da Barra de Santo Antônio/AL. Já os valores da TSM, para o setor norte do litoral do Estado, estão comprometidos pela cobertura das nuvens na imagem MODIS/Aqua. Para o setor sul do litoral alagoano, no geral, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre 25 a 25,5°C. Percebe-se que, também, para o setor sul do litoral de Alagoas, encontram-se valores da TSM entre 25,5 a 26°C muito próximos da costa. Nota-se que, na Figura 21b, os valores da TSM para o setor sul do litoral de Alagoas (onde encontra-se a menor presença de nuvens), aumentaram 0,5°C em relação a Figura 20b. Possivelmente, este aumento dos valores da TSM, neste setor supracitado, está ligado ao fato de a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007 (Figura 20b) corresponder ao período da primavera, enquanto a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008 (Figura 21b) corresponde ao período de verão. Observa-se que, na Figura 21b, valores da TSM entre 25,5 a 26°C são encontrados na foz do rio São

Francisco. Este vórtice quente, com a TSM aproximadamente  $0,5^{\circ}\text{C}$  mais quente que ao seu entorno, tem orientação para o sul/sudoeste e pode ser visto na Figura 21b e, também, na Figura 20b. Novamente, percebe-se que, a estrutura termal encontrada na camada superficial do mar para  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20b) é semelhante a estrutura termal encontrada na superfície do mar para a TSM com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21b). A Figura 21c mostra a TSM, em  $^{\circ}\text{C}$ , para a imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009. Observa-se que, de forma geral, os valores da TSM para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens variam entre  $24,5$  a  $27,5^{\circ}\text{C}$ . Observa-se que os maiores valores da TSM entre  $26$  a  $27,5^{\circ}\text{C}$  são encontradas próximo à costa da cidade da Barra de Santo Antônio/AL. Percebe-se, claramente, que na Figura 21c, os valores da TSM são superiores para o setor norte do litoral de Alagoas, enquanto para o setor sul do litoral do Estado, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre  $24,5$  a  $26^{\circ}\text{C}$ . O setor central do litoral alagoano apresentou valores da TSM entre  $24,5$  a  $27,5^{\circ}\text{C}$ . Também, para o setor central do litoral de Alagoas, os valores da TSM entre  $26,5$  a  $27,5^{\circ}\text{C}$  são observados ao norte de Maceió/AL até a Barra de Santo Antônio/AL. Nota-se, na Figura 21c, um vórtice de águas mais aquecidas, com valores da TSM entre  $26$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$ , centrado em  $9,5^{\circ}\text{S}/34^{\circ}\text{W}$ . Na Figura 21c, observa-se maiores valores da TSM na desembocadura fluvial do rio São Francisco, em torno de  $0,5^{\circ}\text{C}$  a mais em relação ao seu entorno. Novamente, a desembocadura fluvial do rio São Francisco, apresenta orientação para o sul/sudoeste. A estrutura termal encontrada na camada superficial do mar para  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20c) é semelhante à estrutura termal encontrada na camada superficial do mar, para a TSM com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21c). A Figura 21d mostra a TSM, em  $^{\circ}\text{C}$ , para a imagem MODIS/Aqua obtida no dia 2/11/2010. Nota-se a interferência de nebulosidade e, novamente, destacando a persistência de nuvens na costa leste do Nordeste brasileiro e, também, devido a grande área de abrangência da área de estudo. Constata-se, de forma geral, que os valores da TSM, para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens, variam entre  $24,5$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$ . No setor norte do litoral de Alagoas, a TSM variou entre  $25$  a  $26^{\circ}\text{C}$ . Valores da TSM entre  $26$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$  podem ser vistos em alguns pontos isolados do setor norte do litoral alagoano, possivelmente, em regiões onde o oceano possui baixa profundidade. Nota-se que os maiores valores da TSM entre  $25,5$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$  podem ser vistos ao norte de Maceió/AL até a Barra de Santo Antônio/AL, região pertencente ao setor central do litoral do Estado. No setor sul do litoral de Alagoas é observado valores da TSM entre  $24,5$  a  $26^{\circ}\text{C}$ . Valores da TSM entre  $25,5$  a  $26^{\circ}\text{C}$  podem ser observados no litoral dos municípios de Feliz Deserto/AL e Piaçabuçu/AL, próximos à foz do rio São Francisco. Como



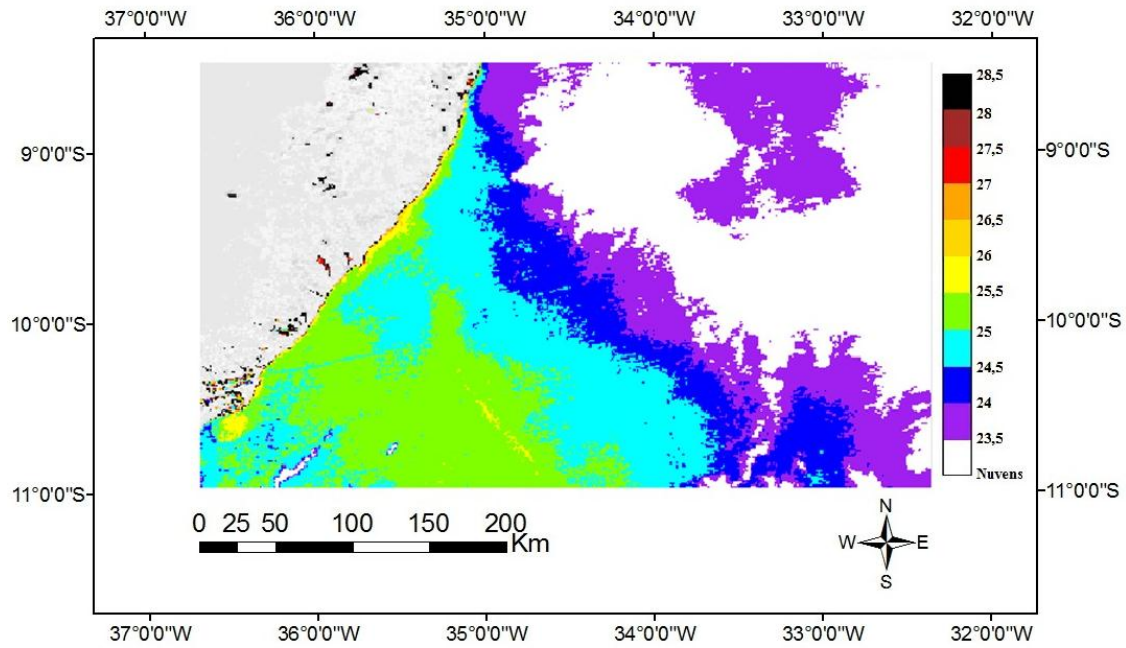
visto nas Figuras 21b e 21c, também, é possível notar na Figura 21d que os valores da TSM são maiores na desembocadura fluvial do Rio São Francisco, já no litoral do estado de Sergipe, e a sua foz possui orientação para sul/sudoeste. No geral, os valores da TSM, na Figura 21d, estão distribuídos mais uniformemente no litoral de Alagoas, diversificando-se somente muito próximo à costa litorânea do Estado. A Figura 21e mostra a TSM, em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011 para o litoral de Alagoas. Nota-se que, para pixels localizados sob o oceano os valores da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, variam entre 25 a 27,5°C. De forma geral, foram os maiores valores da TSM encontrados para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas no estudo e isto, possivelmente, pode estar ligado ao fato desta cena apresentar a menor cobertura de nuvens em relação às outras cenas MODIS/Aqua. Analisando os valores da TSM para o litoral de Alagoas, percebe-se que, próximo à costa do setor central e do setor norte do litoral do Estado, encontram-se valores da TSM entre 25,5 a 27,5°C. No setor sul do litoral alagoano, os valores encontrados para a TSM variam entre 25 a 26,5°C. Na Figura 21e, observa-se que, os valores da TSM são maiores para o setor norte do litoral de Alagoas. Como visto anteriormente, nas Figuras 21b, 21c e 21d, também, é possível notar na Figura 21e que os valores da TSM são maiores na desembocadura fluvial do rio São Francisco, onde a sua foz possui orientação para sul/sudoeste.

**Figura 21 - Mapas temáticos da TSM (°C), utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.**



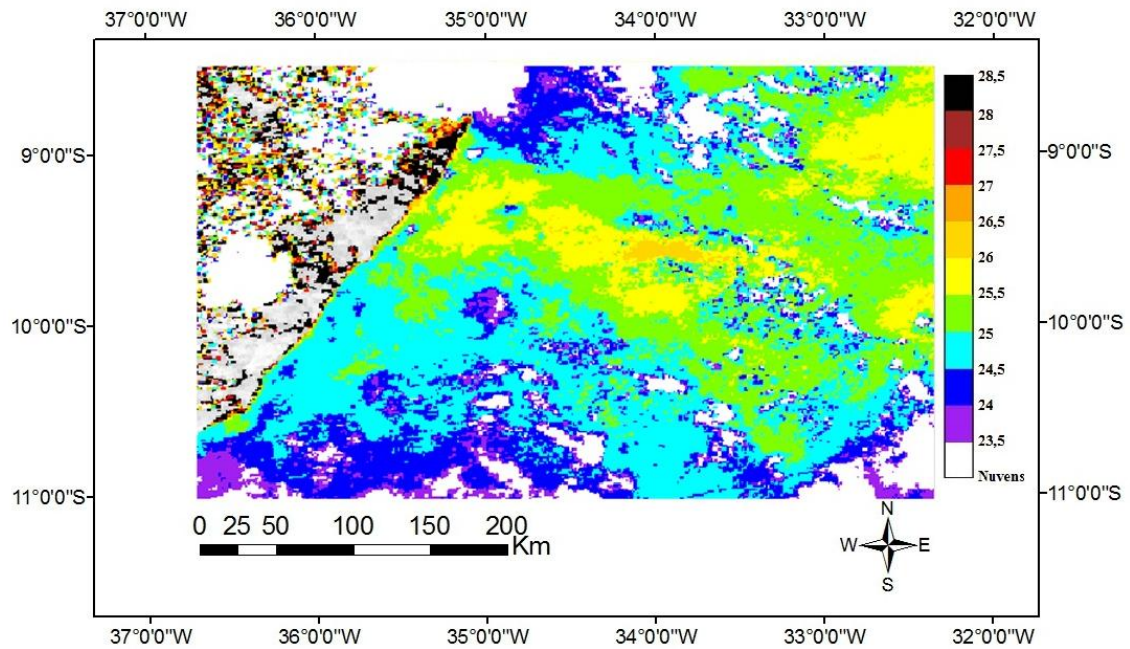
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**b) TSM (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.**



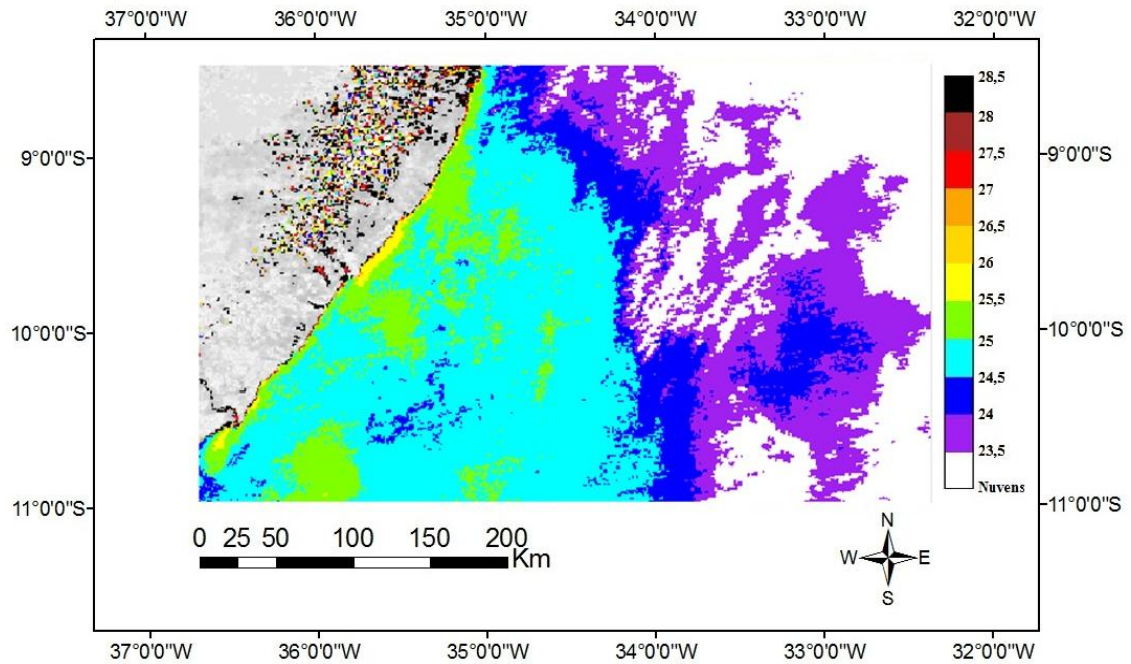
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**c) TSM (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.**



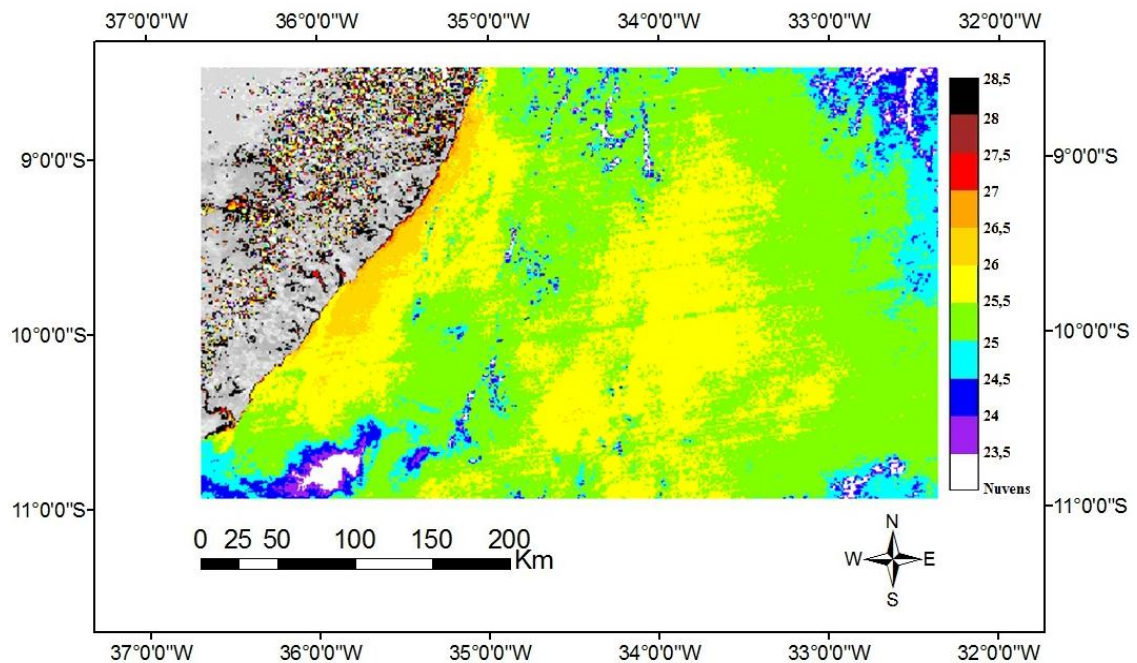
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

d) **TSM (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

e) **TSM (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A estrutura termal, encontrada na camada superficial do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, próximo à costa do litoral de Alagoas, mostrou-se homogênea com base nas cinco imagens MODIS/Aqua

analisadas. Os dados estimados para a TSM, conforme a Figura 21, mostra de forma geral, um maior aquecimento para o setor norte do litoral de Alagoas. Nas Figuras 21b, 21c, 21d e 21e, é possível notar que na foz do rio São Francisco os valores da TSM são 0,5 a 1°C mais quente em relação aos valores da TSM ao seu entorno e a desembocadura fluvial do rio São Francisco apresenta uma orientação para sul/sudoeste. Observou-se claramente que os valores da TSM são influenciados pela cobertura de nuvens presente nas imagens MODIS/Aqua, principalmente nas imagens obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, no qual, apresentam a maior cobertura de nuvens.

#### 4.3.2 TSM utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados do modelo ECMWF

A Tabela 12 apresenta os valores mínimo, máximo, médio e desvio padrão da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, para as imagens MODIS/Aqua utilizadas no estudo. Nota-se, na Tabela 12, que o maior valor médio da TSM é 27,53°C, observado para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011, como, também, foi observado para este dia, os maiores valores da  $(T_b)_{b31}$ , conforme visto na Tabela 9, e a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, conforme a Tabela 11. Esta cena MODIS/Aqua é a que apresenta a menor cobertura de nuvens, sendo este um fator determinante para a estimativa da TSM via dados de sensoriamento remoto. Na Tabela 11, observa-se que, os menores valores médios da TSM são 26,13 e 25,83°C, encontrados nas imagens MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008 e 30/01/2009, respectivamente. Para estas imagens MODIS/Aqua supracitadas, também, é encontrado os menores valores mínimos da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo. Convém ressaltar que as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009 possuem a maior cobertura de nuvens, ocasionando assim menores valores da TSM. Na Tabela 12, as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007 e 2/11/2010 apresentam valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, de 26,96 e 26,54°C, respectivamente. Nota-se que os valores médios instantâneos da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, aumentaram em relação aos valores médios instantâneos da  $(T_b)_{b31}$  e, também, em relação os valores médios instantâneos da TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens. Analisando os valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, em relação aos valores médios da  $(T_b)_{b31}$ , observou-se uma elevação na faixa de:

12,8% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007; 15,6% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008; 18,0% para imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009; 12,4% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010 e 12,3% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011. Constatou-se que, para as imagens MODIS/Aqua adquiridas em novembro (2007, 2010 e 2011) os valores médios da TSM aumentaram em relação a  $(T_b)_{b31}$  numa proporção muito próxima, em torno de 12,5%. Já para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, no qual apresentam a maior cobertura de nuvens, os valores médios da TSM aumentaram em relação aos valores médios da  $(T_b)_{b31}$ , na faixa de 16 e 18%, respectivamente. O aumento dos valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, em relação aos valores médios da  $(T_b)_{b31}$ , foi em média de 14,2% para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. Agora, analisando os valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, em relação aos valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, observou-se uma elevação na faixa de: 4,3% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007; 5,0% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008; 5,6% para imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009; 4,2% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010 e 4,5% para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011. O aumento dos valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, em relação aos valores médios da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, foi em média de 4,7%, em termos quantitativos, teve um aumento médio de 1,2°C para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas.

**Tabela 12 - Valores estatísticos da TSM (°C), com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

TSM (°C)	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão
2/11/2007	16,83	39,09	26,96	± 3,65
6/01/2008	-0,14	39,76	26,13	± 5,65
30/01/2009	-1,37	40,56	25,83	± 4,44
2/11/2010	12,03	39,09	26,54	± 3,99
16/11/2011	14,48	40,29	27,53	± 2,88

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

As imagens MODIS/Aqua foram classificadas para a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, também, com o objetivo de investigar, mapear e compreender a estrutura termal da TSM para a região de estudo e, são apresentadas na Figura 22 para as cinco imagens MODIS/Aqua estudadas. O range para a

TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, apresentado no estudo é de 23,5 a 28,5°C e foram divididos em dez intervalos de 0,5°C. Este range, citado anteriormente, foi definido em função dos valores dos pixels encontrados na superfície oceânica para o litoral de Alagoas para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. A classificação das imagens MODIS/Aqua para os valores da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, é representada por: valores menores do que 23,5°C são considerados para pixels possivelmente contaminados pela presença de nuvens e representados pela cor branca, áreas com tonalidade roxa representam valores entre 23,5 a 24°C, azul marinho representa valores entre 24 a 24,5°, azul claro representa valores entre 24,5 a 25°C, cor verde entre 25 a 25,5°C, a cor amarela entre 25,5 a 26°C, cor ouro entre 26 a 26,5°C, cor laranja entre 26,5 a 27°C, cor vermelha entre 27 a 27,5°C, cor marrom entre 27,5 a 28°C e cor preta entre 28 a 28,5°C.

A Figura 22a mostra a imagem MODIS/Aqua classificada da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, em °C, para o dia 2/11/2007. Nota-se que, no geral, os valores da TSM para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens variam entre 25 a 27,5°C. Observa-se que, os maiores valores da TSM, são encontrados para o setor norte do litoral de Alagoas, com valores da TSM entre 26 a 28°C. Valores da TSM entre 27,5 e 28°C podem ser vistos em alguns pixels isolados, somente muito próximo da costa do setor norte do litoral de Alagoas, possivelmente, sobre áreas com baixíssima profundidade do oceano. Enquanto que, para o setor sul do litoral do Estado, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre 25 a 27,5°C. Na Figura 22a, observa-se valores da TSM entre 26,5 e 27,5°C, somente muito próximos a costa do setor sul do litoral de Alagoas. Para o setor central do litoral alagoano, onde engloba a capital Maceió/AL, a TSM apresentou valores entre 25,5 a 28°C. Também, para este mesmo setor, os valores da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, entre 27 e 28°C são observados somente próximos da costa. Observa-se que, a estrutura termal encontrada na camada superficial do mar para a  $(T_b)_{b31}$  é semelhante à estrutura termal encontrada na superfície do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens e, também, para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.

A Figura 22b mostra a imagem MODIS/Aqua classificada da TSM, em °C, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, para o dia 6/01/2008.

Convém ressaltar a grande influência da cobertura de nuvens na Figura 22b, comprometendo os valores da TSM nesta área para este dia. Na Figura 22b, observa-se que, no setor norte do litoral de Alagoas, encontram-se os maiores valores da TSM, entre 26 a 28°C. Possivelmente, há interferência das nuvens sobre o extremo norte do setor norte do litoral de Alagoas. Para o setor central do litoral alagoano, são encontrados valores da TSM entre 26 e 27,5°C. Valores da TSM entre 27 e 27,5°C são observados próximos da costa do setor central do litoral do Estado, mais precisamente ao norte de Maceió/AL até o município da Barra de Santo Antônio/AL. Para o setor sul do litoral de Alagoas, no geral, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre 26 a 27°C. Nota-se que, na Figura 22b, os valores da TSM, para o setor sul do litoral de Alagoas (onde encontra-se a menor presença de nuvens), aumentaram em torno de 1°C em relação a Figura 22a. Possivelmente, este aumento dos valores da TSM, neste setor supracitado, está ligado ao fato de a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007 (Figura 22a) corresponder ao período da primavera, enquanto a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008 (Figura 22b) corresponde ao período de verão. Observa-se que, na Figura 22b, valores da TSM entre 26,5 a 27,5°C são encontrados na foz do rio São Francisco. Este vórtice quente, com a TSM aproximadamente 0,5°C mais quente que ao seu entorno, tem orientação para o sul/sudoeste e pode ser visto na Figura 22b. Novamente, percebe-se que, a estrutura termal encontrada na superfície do mar para a  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20b) é semelhante à estrutura termal encontrada na superfície do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21b), e a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo (Figura 22b).

A Figura 22c, mostra a TSM, em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida em 30/01/2009. Observa-se que, de forma geral, os valores da TSM, para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens, variam entre 25,5 a 28°C. Observa-se que, valores da TSM entre 26,5 a 28,5°C são encontrados próximo à costa da cidade da Barra de Santo Antônio/AL. Percebe-se claramente que, na Figura 22c, os valores da TSM são superiores para o setor norte do litoral de Alagoas, variando entre 26 a 28,5°C, enquanto que, para o setor sul do litoral do Estado, os valores da TSM são mais uniformes e variam entre 25,5 a 27°C. O setor central do litoral alagoano apresentou valores da TSM entre 25,5 a 28,5°C onde os valores da TSM de 28,5°C são observados próximo da costa de Maceió/AL. Na Figura 22c, observa-se um vórtice de águas mais aquecidas, com valores da TSM entre 27 a 27,5°C, centrado em 9,5°S/34°W. Na Figura 22c, nota-se que os valores da TSM na desembocadura fluvial do rio São Francisco são maiores, em torno de 0,5°C em relação ao seu entorno.

Novamente, a foz do rio São Francisco apresenta orientação para o sul/sudoeste. A estrutura termal encontrada na superfície do mar, para a  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20c), é semelhante às estruturas termal encontrada na superfície do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21c), e para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo (Figura 22c). A Figura 22d mostra a TSM, em °C, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, para a imagem MODIS/Aqua obtida no dia 2/11/2010. Constata-se que, de forma geral, os valores da TSM, para pixels sob o oceano e sem a possível interferência das nuvens, variam entre 25,5 a 27,5°C. No setor norte do litoral de Alagoas a TSM variou entre 26 a 27,5°C. Valores da TSM entre 27 a 27,5°C, podem ser vistos muito próximos da costa, em alguns pontos isolados do setor norte do litoral alagoano, possivelmente, em regiões onde o oceano possui baixa profundidade. Nota-se que, valores da TSM entre 26,5 a 27,5°C são observados ao norte de Maceió/AL até a Barra de Santo Antônio/AL, região pertencente ao setor central do litoral do Estado. No setor sul do litoral de Alagoas é observado valores da TSM entre 25,5 a 26,5°C e estão distribuídos mais uniformemente ao longo deste setor. Como visto nas Figuras 22b e 22c, também, é possível notar na Figura 22d, que os valores da TSM são maiores na desembocadura fluvial do Rio São Francisco, em torno de 0,5 a 1°C que ao seu entorno, já no litoral do Estado de Sergipe, e sua foz possui orientação para sul/sudoeste. A estrutura termal, encontrada na camada superficial do mar, para a  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20d) é semelhante a estrutura termal encontrada na superfície do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21d), e para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo (Figura 22d).

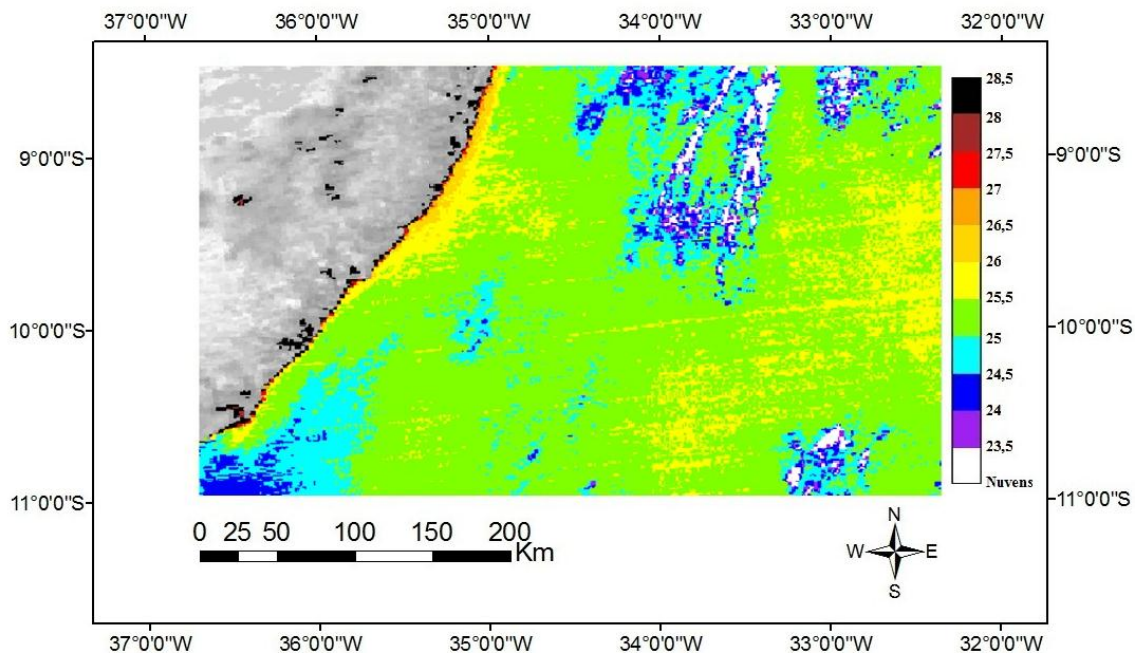
A Figura 22e mostra a TSM, em °C, para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011 para o litoral de Alagoas. Nota-se que, para pixels localizados sob o oceano os valores da TSM variou entre 26 a 28,5°C. De forma geral, foram os maiores valores da TSM encontrados para as cinco imagens MODIS/Aqua analisadas no estudo e isto, possivelmente, pode estar ligado ao fato desta cena apresentar a menor cobertura de nuvens em relação às outras cenas MODIS/Aqua. Analisando a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, próximo à costa do setor central do litoral de Alagoas, observa-se valores da TSM entre 26,5 a 28,5°C. Os valores da TSM entre 27,5 e 28,5°C, para o setor central do litoral do Estado, são observados ao norte da capital Maceió/AL estendendo-se até o município da Barra de São Miguel/AL. No setor sul do litoral alagoano, os valores encontrados para a TSM são mais uniformes e variam entre 26 a 27,5°C. Na Figura



22e, observa-se que, próximo de toda a costa do setor norte do litoral de Alagoas, são encontrados valores da TSM entre 27,5 a 28,5°C. Como visto anteriormente nas Figuras 22b, 22c e 22d, também, é possível notar na Figura 22e, que os valores da TSM são maiores na desembocadura fluvial do rio São Francisco, em torno de 0,5 a 1°C em relação ao seu entorno e que sua foz possui orientação para sul/sudoeste. A estrutura termal, encontrada na superfície do mar para a  $(T_b)_{b31}$  (Figura 20e), é semelhante à estrutura termal, encontrada na superfície do mar, para a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens (Figura 21e), e para a TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo (Figura 22e).

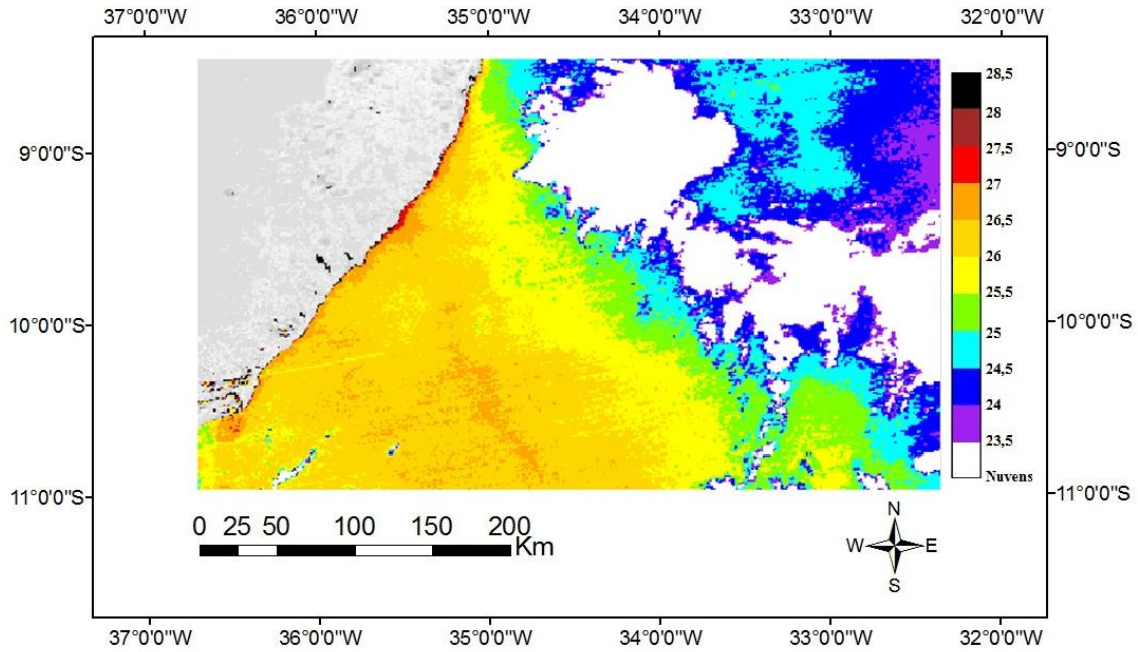
**Figura 22 - Mapas temáticos da TSM (°C), utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados do modelo ECMWF.**

a) TSM (°C) para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.



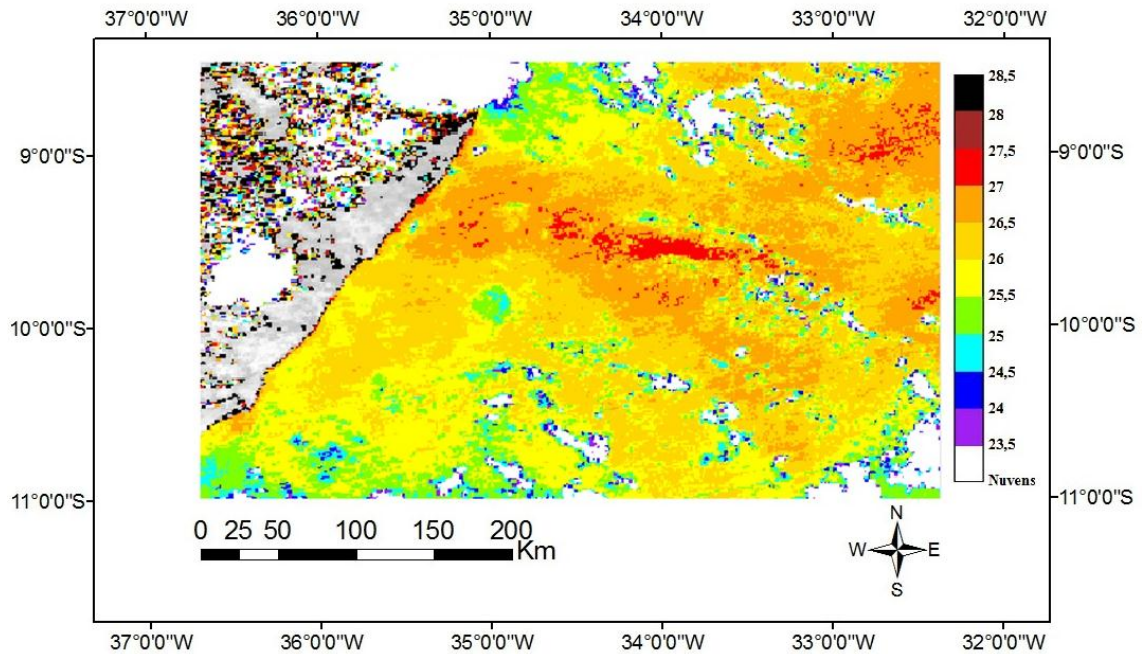
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**b) TSM (°C) para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.**



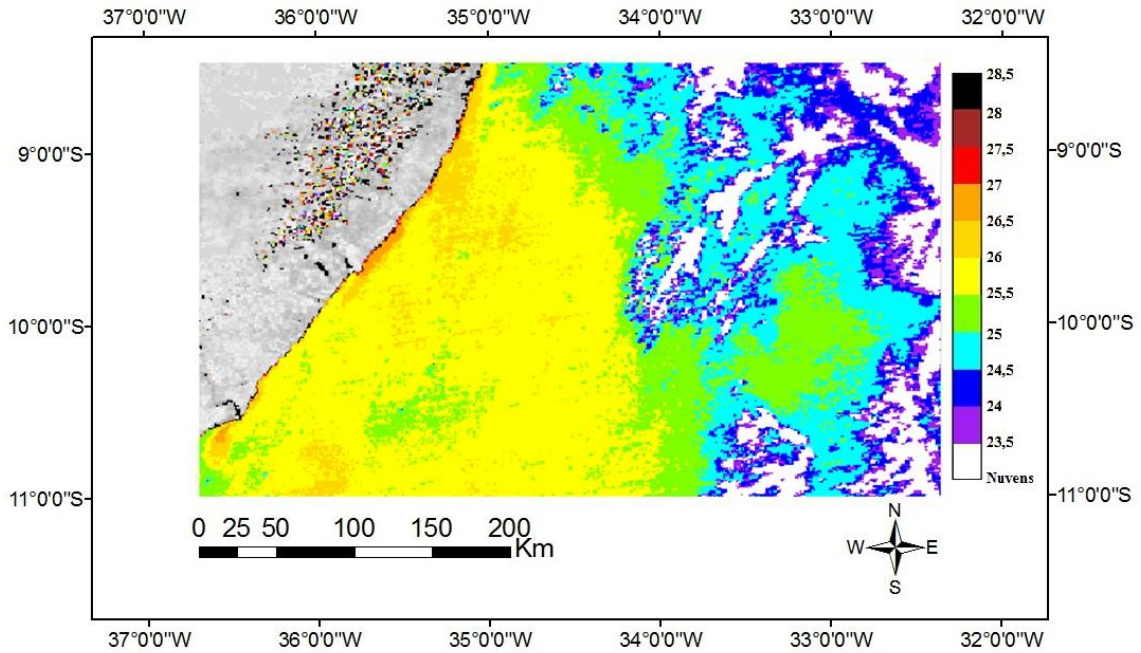
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**c) TSM (°C) para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.**



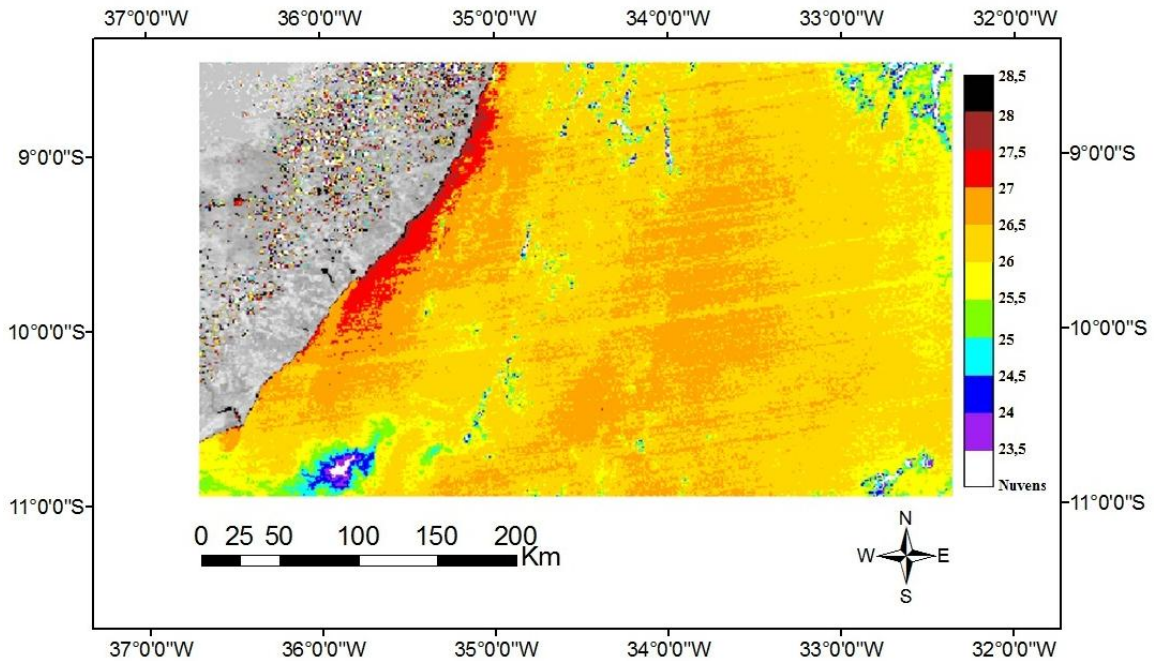
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**d) TSM (°C) para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**e) TSM (°C) para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.**



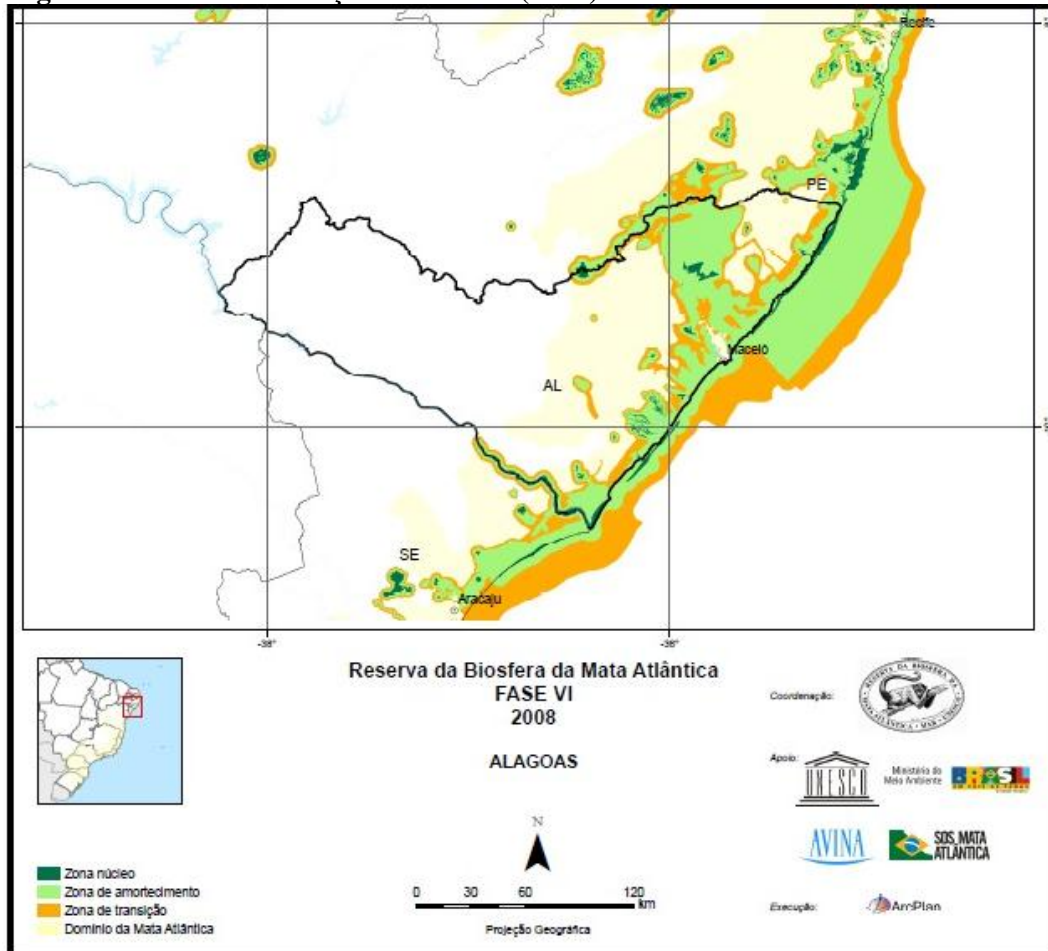
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

No estudo realizado, com base nas cinco imagens MODIS/Aqua, observa-se valores da TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, aproximadamente 1°C a mais, em relação aos valores da TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens. A estrutura termal encontrada na camada superficial do mar para a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, próximo da costa do litoral de Alagoas mostrou-se homogênea com base nas cinco imagens MODIS/Aqua analisadas. Os dados estimados para a TSM mostram, de forma geral, um maior aquecimento, para os setores central e norte do litoral de Alagoas, em relação ao setor sul do litoral do mesmo Estado. Nas Figuras 22b, 22c, 22d e 22e, é possível notar que, na foz do rio São Francisco os valores da TSM são 0,5 a 1°C mais quente, em relação aos valores da TSM ao seu entorno. A desembocadura fluvial do rio São Francisco apresenta uma orientação para sul/sudoeste. Observou-se claramente que os valores da TSM são influenciados pela cobertura de nuvens presente nas imagens MODIS/Aqua, principalmente nas imagens obtidas em 6/01/2008 e 30/01/2009, no qual, apresentam a maior cobertura de nuvens.

Os maiores valores da TSM, encontram-se no setor central e no setor norte do litoral de Alagoas, provavelmente, porque nestes setores, a profundidade do oceano é muito baixa, em decorrência de formações naturais do ecossistema de recifes de corais, que estão inseridas na Área de Proteção Ambiental (APA) da Costa dos Corais, conforme visto através da Figura 23. A APA Costa dos Corais foi criada pelo Decreto Federal s/nº de 23 de outubro de 1997. Observou-se que, com base nas cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas no estudo, a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, variou entre 27,5 a 28,5°C muito próximo da costa do município da Barra de Santo Antônio, no setor central do litoral de Alagoas, e próximo da costa dos municípios de São Miguel dos Milagres e Porto de Pedras, no setor norte do litoral de Alagoas. Os maiores valores da TSM, possivelmente, estão ligados ao fato da grande concentração de recifes de corais encontrados próximo da costa dos municípios supracitados e, também, ligados ao fato da baixa profundidade do oceano sob os ecossistemas de corais nestas cidades, como observado na Figura 24. A APA Costa dos Corais tem objetivo de garantir a conservação dos recifes de coral, praias e manguezais entre o litoral sul de Pernambuco e norte de Alagoas. Abrange uma área total de 413.563 hectares, sendo a maior unidade de conservação marinha do Brasil. A APA Marinha, Costa dos Corais, estende-se ao longo de 135km de litoral, desde Tamandaré (PE) até Paripueira (AL), e fica dentro dos limites 8°42'16''S e 35°04'40''W; 8°47'44''S e

34°47'20''W; 9°46'30''S e 35°25'W; 9°32'51''S e 35°36'59''W. A APA Costa dos Corais é a primeira unidade de conservação federal a incluir os recifes costeiros e tem como um dos objetivos proporcionar o ordenamento das atividades na área, mediante gestão participativa, tendo em vista a utilização sustentável dos recursos naturais. Nessa região, os recifes associados aos mangues representam o suporte para a manutenção da intensa atividade pesqueira artesanal (FERREIRA et al., 2000). Os municípios que fazem parte da APA são: Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande, no Estado de Pernambuco e Maragogi, Japaratinga, Porto de Pedras, São Miguel dos Milagres, Passo do Camaragibe, São Luis do Quitunde, Barra de Santo Antônio, Paripueira e Maceió, no Estado de Alagoas.

**Figura 23 - Área de Proteção Ambiental (APA) – Costa dos Corais**



Fonte: RBMA, 2008.

**Figura 24 - APA Costa dos Corais - Barra de Santo Antônio/AL (a); São Miguel dos Milagres/AL (b); Porto de Pedras/AL (c).**



Fonte: Google Earth, 2012.

#### **4.4 Relação entre a $(T_b)_{b31}$ e a TSM**

Após analisar detalhadamente os dados da TSM, estimados a partir de imagens MODIS/Aqua pelo algoritmo NLSST, para os três setores do litoral de Alagoas, foi testado, através de parâmetros estatísticos, a possível relação da  $T_b$ , centrada em  $11\mu\text{m}$  e medida no canal 31 do MODIS/Aqua, com a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e de radiossondagens. Com isto, espera-se mostrar, a influência do conceito físico, no qual é a  $T_b$  estimada pela inversão da equação de Planck (Lei de Planck), sobre os campos da TSM, obtidos pelo NLSST. Vale salientar a grande importância da correção atmosférica para os dados de  $T_b$  e, como visto anteriormente, os valores da TSM, tanto com os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo quanto de radiossondagens, aumentaram substancialmente em relação aos valores da  $(T_b)_{b31}$ . Posteriormente, será discutida a validação dos dados da TSM, obtida pelo MODIS/Aqua, com relação aos dados da TSM obtida pelas boias marítimas PIRATA (*in situ*). Mas já adiantando que, os valores estimados pelo algoritmo NLSST, para a TSM, são mais próximos dos dados *in situ* do que em relação aos dados de  $T_b$ , estimada pela equação inversa de Planck. Então, espera-se mostrar a dependência termal dos campos da TSM para os campos da  $T_b$ , e isto é

possível notar na Tabela 13, onde os coeficientes de correlação estatísticos, entre a  $(T_b)_{b31}$  e a TSM, mostraram uma forte correlação positiva e variam entre 0,75 a 1,00. Observa-se na Tabela 13 coeficientes de correlação positivo perfeito entre a  $(T_b)_{b31}$  e a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007 e 6/01/2008. Os coeficientes de correlação calculados entre a  $(T_b)_{b31}$  e a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, estão muito próximos entre si e variam de 0,85 a 0,99 para as cinco imagens MODIS/Aqua utilizadas no estudo.

O índice de concordância (d) varia de 0 a 1, sendo que  $d=1$  indica uma perfeita concordância entre os valores da  $(T_b)_{b31}$  e os valores estimados para a TSM; e  $d=0$  significa total discordância. No estudo, foram encontrados índices de concordância, entre dados da  $(T_b)_{b31}$  e dados da TSM, com ambos os coeficientes de calibração do algoritmo, entre 0,77 a 0,96.

O Índice (c) indica o desempenho dos métodos de estimativa da TSM (algoritmo *NLSST*) em relação à estimativa da  $(T_b)_{b31}$ , através da inversão da equação de Planck (conceito físico). Para testar o desempenho do algoritmo *NLSST*, foi analisado o índice (c) entre a  $(T_b)_{b31}$  e a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e foi classificado como: BOM para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2010 e 16/11/2011; MUITO BOM para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007 e 30/01/2009; ÓTIMO para a imagem MODIS/Aqua obtida em 6/01/2008. Já o índice (c), entre a  $(T_b)_{b31}$  e a TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, foi classificado como: SOFRÍVEL para a imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011; MUITO BOM para a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2010; ÓTIMO para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 2/11/2007, 6/01/2008 e 30/01/2009.

**Tabela 13 - Análise dos parâmetros Estatísticos: Coeficiente de Correlação (r); Índice de Concordância (d); Índice de Confiança (c).**

Imagens MODIS/Aqua	$(T_b)_{b31}$ x TSM <sub>coeficientes modelo</sub>			$(T_b)_{b31}$ x TSM <sub>coeficientes radiossondas</sub>		
	r	d	c	r	d	c
2/11/2007	0,99	0,83	0,82	1,00	0,91	0,91
6/01/2008	0,99	0,91	0,90	1,00	0,96	0,96
30/01/2009	0,98	0,82	0,80	0,99	0,91	0,90
2/11/2010	0,85	0,81	0,69	0,87	0,88	0,77
16/11/2011	0,98	0,77	0,75	0,75	0,77	0,58

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 4.5 Validação dos dados

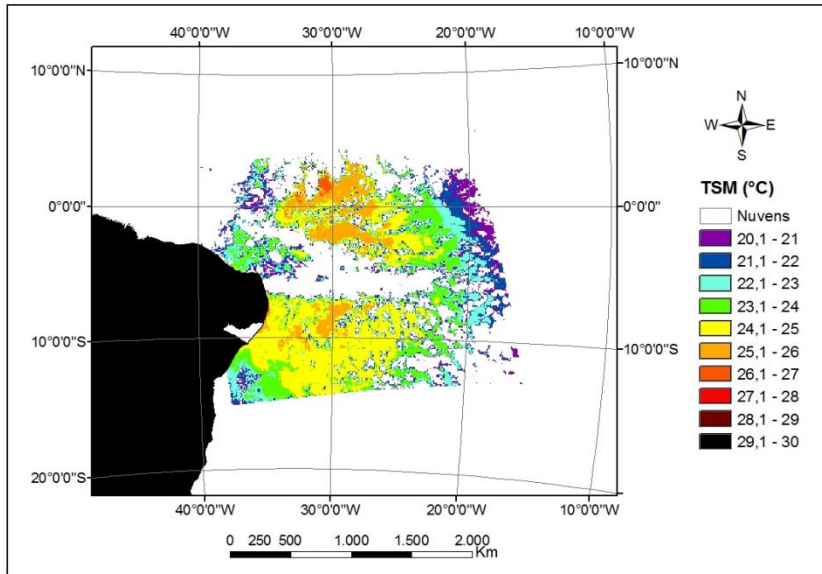
Para a validação dos dados estimados para a TSM, tanto utilizando os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo quanto derivados de radiossondagens, utilizou-se imagens MODIS/Aqua referentes ao *tile h14v09*, pois este *tile*, abrange as estações PIRATA 31003 e 31004. A validação dos dados estimados para a TSM foi calculada separadamente, com as observações da TSM de cada boia PIRATA, a fim de contornar o efeito da cobertura de nuvens, persistente nessa região.

A validação da TSM procedeu-se de quatro maneiras, onde, primeiramente, foram validados os dados da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, utilizando dados da estação PIRATA 31003. Segundo, foi validado a TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, utilizando dados da TSM obtidos pela estação PIRATA 31004. Terceiro, validou-se os dados da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, utilizando dados observados pela boia PIRATA 31003. Enfim, em quarto, foram validados os dados da TSM, com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, utilizando dados obtidos pela estação PIRATA 31004.

Como pode ser observado através das Figuras 25, 26, 27, 28 e 29, há persistência de nuvens sob todas as cenas MODIS/Aqua, referentes ao *tile h14v09*, provavelmente, interferindo na validação dos dados. No trabalho, mostrou-se a validação da TSM, estimada a partir de imagens MODIS/Aqua, para ambas as boias (TSM *in situ*), a fim de contornar a interferência da grande cobertura de nuvens e, também, devido a grande área de abrangência destas cenas. As Figuras 25, 26, 27, 28 e 29 mostram a TSM (°C), utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, para as cinco cenas estudadas. Foi sobreposto sob as cenas MODIS/Aqua o *shapefile* do Brasil (preto) e o *shapefile* do Estado de Alagoas (branco). A classificação das cinco imagens MODIS/Aqua foi atribuída apenas para a TSM, utilizando-se de coeficientes derivados de modelo, pois apresentaram melhores resultados na validação dos dados.

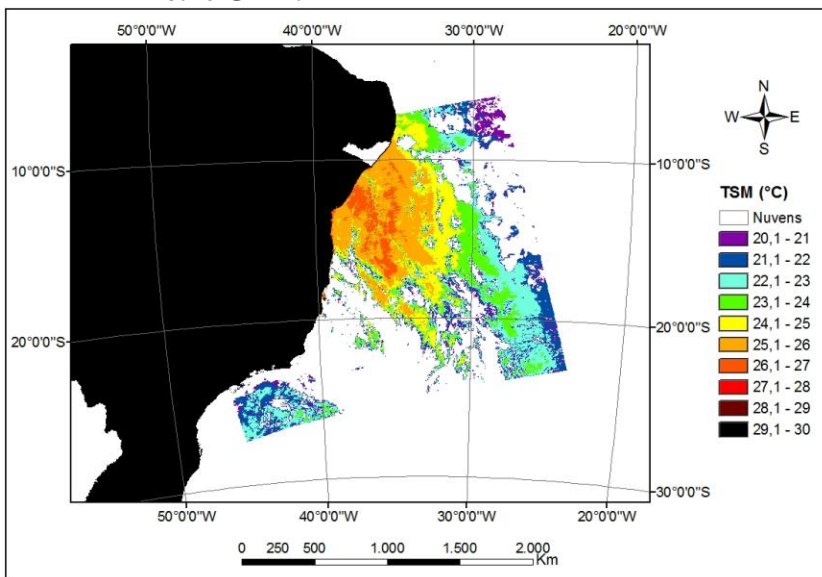


**Figura 25 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 2/11/2007 às 15:30 GMT.**



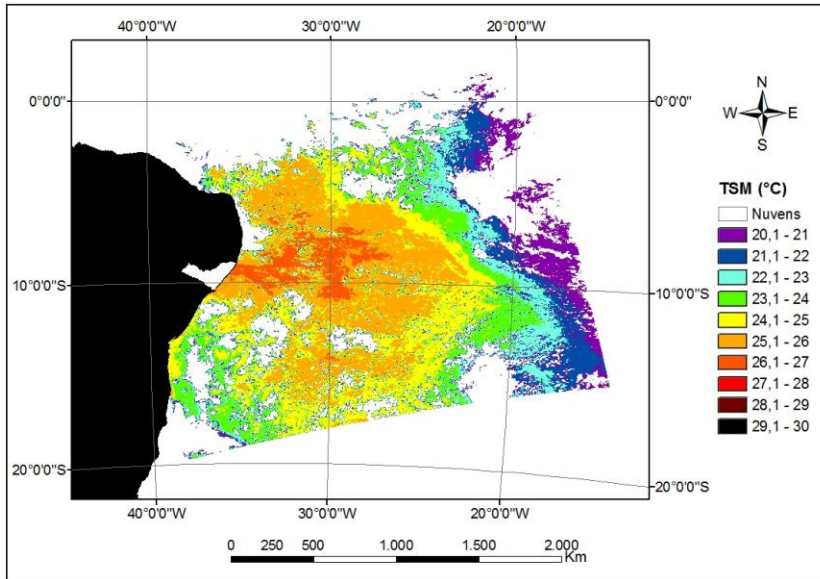
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Figura 26 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 6/01/2008 às 16:10 GMT.**



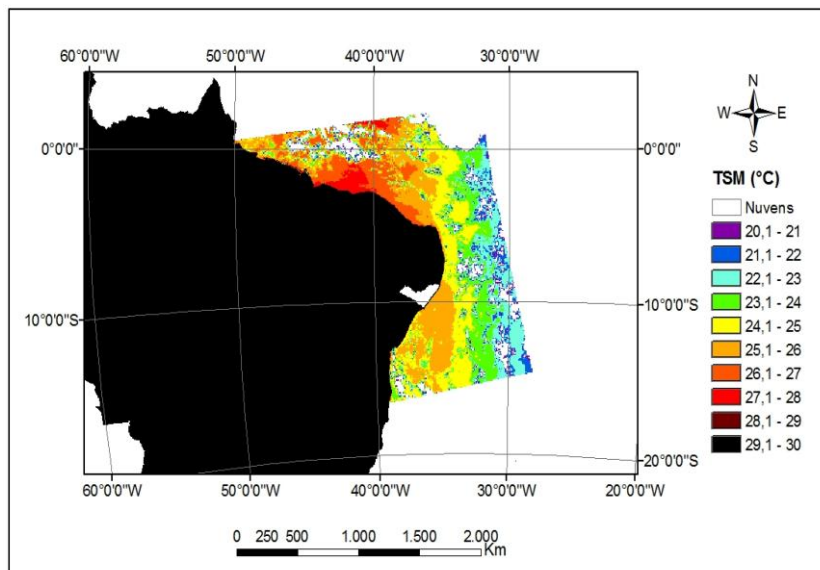
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Figura 27 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 30/01/2009 às 15:40 GMT.**



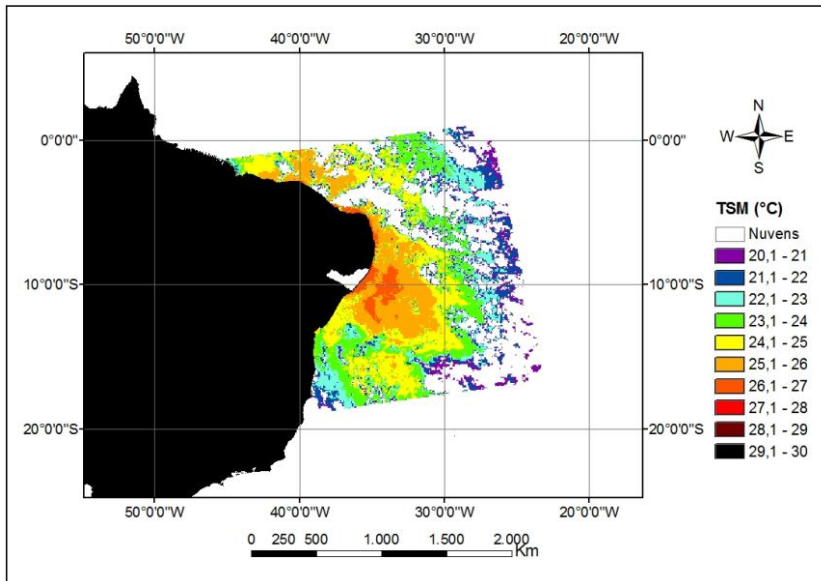
Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Figura 28 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 2/11/2010 às 16:20 GMT.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

**Figura 29 - Mapa instantâneo da TSM (°C) referente ao “tile h14v09” para o dia 16/11/2011 às 16:00 GMT.**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 4.5.1 Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo x TSM *in situ* observada na boia PIRATA 31003

Na Tabela 14 são mostrados os valores da TSM (°C) medidos pela boia PIRATA 31003 (*in situ*) e os valores estimados para a TSM, em uma janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia (8°S/30°W), de onde foram extraídos os valores da TSM, para o pixel central da janela 3x3, para o pixel mais quente da janela 3x3, para o pixel mais frio da janela 3x3 e a média da janela 3x3 pixels. Posteriormente foram comparados separadamente com os dados da TSM *in situ*. Nota-se que, não foi possível aplicar o recorte 3x3 pixels, centrado na posição da boia, para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 2/11/2010 pela cobertura de nuvens sob a janela 3x3 pixels. Os valores estimados para a TSM, através de imagens do sensor MODIS, são subestimados em relação aos dados *in situ* observados pela boia PIRATA.

**Tabela 14 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31003 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

TSM (°C)	2/11/2007	6/01/2008	30/01/2009	2/11/2010	16/11/2011
TSM (pixel central)	25,55	*	26,38	*	24,63
TSM (pixel quente)	25,75	*	26,51	*	24,79
TSM (pixel frio)	25,55	*	26,12	*	24,20
TSM (média pixels)	25,65	*	26,15	*	24,54
TSM ( <i>in situ</i> )	26,24	27,34	27,72	26,87	26,59

\* pixels sob a influência de nuvens.

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Na Tabela 15, observa-se que o erro percentual é negativo, confirmando-se a subestimação dos dados estimados em relação aos dados observados da TSM. Conforme pode ser observado, na Tabela 15, o erro percentual, entre o dado observado e o dado estimado, foi menor para o dia 2/11/2007 e maior para o dia 16/11/2011, possivelmente, porque a imagem MODIS/Aqua obtida em 2/11/2007 apresenta pequena cobertura de nuvens nas proximidades da janela 3x3 pixels. Foi calculado o erro percentual médio das janelas 3x3 pixels, centradas na boia 8°S/30°W, para o pixel central, para o pixel mais quente, para o pixel mais frio e a média da janela 3x3 pixels. Como observado na Tabela 15, com base nas três imagens MODIS/Aqua, o maior erro percentual médio (5,80% em módulo) é entre, a TSM medida na boia e a TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels, enquanto o menor erro percentual médio (4,34% em módulo) é observado entre a TSM medida na boia e a TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels.

**Tabela 15 - Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.**

$\epsilon$ (%)	TSM (pixel central)	TSM (pixel quente)	TSM (pixel frio)	TSM (média pixels)
2/11/2007	-2,62	-1,87	-2,62	-2,26
6/01/2008	*	*	*	*
30/01/2009	-4,84	-4,37	-5,77	-5,68
2/11/2010	*	*	*	*
16/11/2011	-7,37	-6,78	-9,00	-7,70
$\bar{\epsilon}$ (5 cenas)	-4,94	-4,34	-5,80	-5,21

\* pixels sob a influência de nuvens.

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 16 mostra o MAE (°C), entre os valores da TSM medidos pela boia PIRATA 31003 e estimados na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. O MAE indica o afastamento (desvio) médio absoluto dos valores previstos em relação aos valores observados e, no estudo, foram encontrados valores do MAE de 1,17°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels) e 1,56°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels). Na Tabela 16, observa-se valores próximos para o MAE, quando compara-se a TSM *in situ* com a TSM estimada tanto para o pixel central quanto para a média na janela 3x3 pixels.

**Tabela 16 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

	MAE (°C)
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,33
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,17
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,56
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,40

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 17 mostra o coeficiente de correlação ( $r$ ), entre os valores da TSM *in situ* e a TSM estimada para a janela de 3x3 pixels, centrada na posição da boia 8°S/30°W. O coeficiente de correlação mais alto, encontrado no estudo, foi de 0,71 entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel central na janela 3x3 pixels (pixel onde possivelmente encontra-se a boia) e o coeficiente de correlação mais baixo, também, para o estudo, foi de 0,55, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels. Apesar da TSM, estimada para o pixel mais quente na janela de 3x3 pixels, apresentar o menor erro percentual e, também, o menor MAE, não apresentou o melhor coeficiente de correlação, onde o ( $r$ ) encontrado foi 0,68.

**Tabela 17 - Coeficiente de correlação ( $r$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

	$r$
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,71
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,68
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,55
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,57

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 4.5.2 Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo x TSM *in situ* observada na boia PIRATA 31004

Na Tabela 18 são mostrados os valores da TSM (°C), medidos pela boia PIRATA 31004 (*in situ*) e os valores estimados para a TSM em uma janela de 3x3 pixels, centrada na posição da boia (14°S/32°W), de onde foram extraídos os valores da TSM, para o pixel central da janela 3x3, para o pixel mais quente da janela 3x3, para o pixel mais frio da janela 3x3 e a média da janela 3x3 pixels. Posteriormente, foram comparados separadamente com os dados da TSM *in situ*. Os valores estimados para a TSM, através de imagens do sensor MODIS, são subestimados em relação aos dados *in situ* observados pela boia PIRATA 31004.

**Tabela 18 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31004 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

TSM (°C)	2/11/2007	6/01/2008	30/01/2009	2/11/2010	16/11/2011
<b>TSM (pixel central)</b>	24,01	24,93	25,44	24,28	25,10
<b>TSM (pixel quente)</b>	24,21	25,13	25,45	24,48	25,16
<b>TSM (pixel frio)</b>	23,51	24,84	24,72	24,28	24,92
<b>TSM (média 3x3 pixels)</b>	23,93	25,00	25,33	24,36	25,05
<b>TSM (<i>in situ</i>)</b>	25,95	26,71	27,85	26,49	26,57

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Na Tabela 19, observa-se que o erro percentual é negativo, confirmando-se a subestimação dos dados estimados em relação aos dados observados para a TSM. Foi calculado o erro percentual médio das janelas 3x3 pixels, centradas na boia 14°S/32°W, para o pixel central, para o pixel mais quente, para o pixel mais frio e a média da janela 3x3 pixels. Com base nas cinco imagens MODIS/Aqua analisadas, observa-se, na Tabela 19, que o maior erro percentual médio (8,44% em módulo) é entre a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels, enquanto o menor erro percentual médio (6,82% em módulo) é observado entre a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels.

**Tabela 19 - Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.**

$\epsilon$ (%)	TSM (pixel central)	TSM (pixel quente)	TSM (pixel frio)	TSM (média pixels)
<b>2/11/2007</b>	-7,47	-6,7	-9,4	-7,8
<b>6/01/2008</b>	-6,66	-5,9	-7,01	-6,41
<b>30/01/2009</b>	-8,66	-8,61	-11,26	-9,04
<b>2/11/2010</b>	-8,34	-7,6	-8,35	-8,06
<b>16/11/2011</b>	-5,55	-5,3	-6,2	-5,71
<b><math>\bar{\epsilon}</math> (5 cenas)</b>	-7,34	-6,82	-8,44	-7,4

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 20 mostra o MAE (°C), entre os valores da TSM medidos pela boia PIRATA 31004 e estimados para a janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. Foram encontrados valores do MAE de 1,83°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels) e 2,26°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels). Na Tabela 20, observa-se, valores do MAE muito próximos quando compara-se a TSM *in situ* com a TSM estimada tanto para o pixel central quanto para a média da janela de 3x3 pixels.

**Tabela 20 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

	MAE (°C)
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,96
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,83
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,26
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	1,98

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 21 mostra o coeficiente de correlação ( $r$ ) entre os valores da TSM *in situ*, observada pela boia PIRATA 31004, e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. O  $r$  mais alto foi de 0,85, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel central na janela 3x3 pixels (pixel onde possivelmente encontra-se a boia). O  $r$  mais baixo foi de 0,61, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels. Apesar da TSM, estimada para o pixel mais quente na janela de 3x3 pixels, apresentar o menor erro percentual e, também, o menor MAE, não apresentou o melhor coeficiente de correlação, onde o ( $r$ ) encontrado foi 0,83.

**Tabela 21 - Coeficiente de correlação ( $r$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo.**

	$r$
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,85
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,83
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,61
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,83

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Como observado, nas Tabelas 17 e 21, os maiores coeficientes de correlação são encontrados entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel central na janela 3x3 pixels e os menores coeficientes de correlação, são observados, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels. Os resultados observados na validação da TSM estimada x TSM observada pela boia PIRATA 31003, assemelha-se aos resultados observados na validação da TSM estimada x TSM observada pela boia PIRATA 31004. O erro percentual médio e o MAE são maiores quando usamos a boia PIRATA 31004, localizada em 14°S/32°W, como dado *in situ*, porém, apresentam melhores coeficientes de correlação, quando comparados, aos dados observados pela boia PIRATA 31003, localizada

em 8°S/30°W, provavelmente, pela menor influência, na correção atmosférica, da cobertura de nuvens sob a boia 31004.

#### 4.5.3 Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens x TSM *in situ* observada na boia PIRATA 31003

Na Tabela 22 são mostrados os valores da TSM (°C), medidos pela boia PIRATA 31003 (*in situ*) e os valores estimados para a TSM em uma janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia (8°S/30°W). Foram extraídos os valores da TSM para o pixel central da janela 3x3, para o pixel mais quente da janela 3x3, para o pixel mais frio da janela 3x3 e a média da janela 3x3 pixels. Nota-se que, não foi possível aplicar o recorte 3x3 pixels, centrado na posição da boia, para as imagens MODIS/Aqua obtidas em 6/01/2008 e 2/11/2010 pela cobertura de nuvens sob esta janela 3x3 pixels. Os valores estimados para a TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, através de imagens do sensor MODIS, são subestimados em relação aos dados *in situ* observados pela boia PIRATA 31003.

**Tabela 22 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31003 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.**

TSM (°C)	2/11/2007	6/01/2008	30/01/2009	2/11/2010	16/11/2011
<b>TSM (pixel central)</b>	24,59	*	25,25	*	23,47
<b>TSM (pixel quente)</b>	24,75	*	25,42	*	23,64
<b>TSM (pixel frio)</b>	24,59	*	25,04	*	23,09
<b>TSM (média 3x3 pixels)</b>	24,66	*	25,19	*	23,42
<b>TSM (<i>in situ</i>)</b>	26,24	27,34	27,72	26,87	26,59

\* pixels sob a influência de nuvens.

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 23 mostra o erro percentual ( $\epsilon$ ), entre os valores da TSM *in situ* e a TSM estimada para a janela de 3x3 pixels, centrada na posição da boia PIRATA 31003. Observa-se que o erro percentual é negativo, confirmando-se a subestimação dos dados estimados, em relação, aos dados observados da TSM. Foi calculado o erro percentual médio das janelas 3x3 pixels, centradas na boia, para o pixel central, para o pixel mais quente, para o pixel mais frio e a média da janela 3x3 pixels. Observa-se que, na Tabela 23, o maior erro percentual médio (9,71% em módulo) é entre, a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels, enquanto o menor erro percentual médio (8,36% em módulo) é observado, entre a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels. Erros



percentuais, acima de 10% em módulo, são observados entre os valores da TSM *in situ* e a TSM estimada, para a janela de 3x3 pixels, referente à imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011. Esta subestimação, superior a 10%, em módulo, do dado estimado em relação ao dado observado, possivelmente, está ligado ao fato da cobertura de nuvens sob a localização da boia PIRATA 31003 (8°S/30°W) na imagem MODIS/Aqua obtida em 16/11/2011.

**Tabela 23 - Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.**

$\epsilon$ (%)	TSM (pixel central)	TSM (pixel quente)	TSM (pixel frio)	TSM (média pixels)
2/11/2007	-6,29	-5,68	-6,29	-6,02
6/01/2008	*	*	*	*
30/01/2009	-8,91	-8,3	-9,67	-9,13
2/11/2010	*	*	*	*
16/11/2011	-11,73	-11,09	-13,16	-11,92
$\bar{\epsilon}$ (5 cenas)	-8,98	-8,36	-9,71	-9,02

\* pixels sob a influência de nuvens.

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 24 mostra o MAE (°C), entre os valores da TSM medidos pela boia PIRATA 31003 e estimados, na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. Foram encontrados valores do MAE de 2,25°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels) e 2,61°C (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels). Na Tabela 24, observa-se que os valores do MAE são próximos, quando, compara-se a TSM *in situ* com a TSM estimada tanto para o pixel central quanto para a média na janela 3x3 pixels.

**Tabela 24 - Erro Absoluto Médio (MAE) (°C) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.**

	MAE (°C)
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,42
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,25
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,61
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,43

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 25 mostra o coeficiente de correlação ( $r$ ), entre os valores da TSM observada pela boia PIRATA 31003 e os valores da TSM estimada na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. O coeficiente de correlação mais alto foi de 0,63, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels (pixel onde possivelmente

encontra-se a boia). Já para os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel central na janela 3x3 pixels, o valor de (r), foi 0,62. O coeficiente de correlação mais baixo, foi de 0,50, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels. A TSM, estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels, apresenta o menor erro percentual e o menor MAE e, neste caso, também, apresentou o melhor coeficiente de correlação.

**Tabela 25 - Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31003 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.**

	r
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,62
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,63
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,50
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,56

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

#### 4.5.4 Validação da TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens x TSM *in situ* observada na boia PIRATA 31004

Na Tabela 26 são mostrados os valores da TSM (°C), medidos pela boia PIRATA 31004 (*in situ*) e os valores estimados para a TSM na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia (14°S/32°W). Foram extraídos, os valores da TSM, para o pixel central da janela 3x3, para o pixel mais quente da janela 3x3, para o pixel mais frio da janela 3x3 e a média da janela 3x3 pixels. Posteriormente foram comparados separadamente com os dados da TSM *in situ*. Os valores estimados para a TSM, através de imagens do sensor MODIS, são subestimados em relação aos dados observados pela boia PIRATA 31004.

**Tabela 26 - Valores da TSM (°C) medida pela boia PIRATA 31004 e estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.**

TSM (°C)	2/11/2007	6/01/2008	30/01/2009	2/11/2010	16/11/2011
TSM (pixel central)	23,00	23,90	24,00	23,32	24,14
TSM (pixel quente)	23,22	24,04	24,01	23,47	24,19
TSM (pixel frio)	22,51	23,80	23,82	23,32	23,97
TSM (média pixels)	22,97	23,95	23,96	23,38	24,10
TSM ( <i>in situ</i> )	25,95	26,71	27,85	26,49	26,57

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 27 mostra o erro percentual ( $\epsilon$ ), entre os valores da TSM *in situ* e a TSM estimada para a janela de 3x3 pixels, centrada na posição da boia PIRATA. Observa-se que, o erro percentual é negativo, superior a 10% em módulo, confirmando-se a subestimação dos dados estimados, em relação, aos dados observados da TSM. Foi calculado o erro percentual médio, das janelas 3x3 pixels, para o pixel central, para o pixel mais quente, para o pixel mais frio e a média das janelas 3x3 pixels. Observa-se que, na Tabela 27, o maior erro percentual médio (12,07% em módulo) é entre a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels, enquanto o menor erro percentual médio (10,93% em módulo) é observado entre a TSM *in situ* e a TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels.

**Tabela 27 - Erro percentual ( $\epsilon$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas e o Erro médio ( $\bar{\epsilon}$ ) entre as 5 cenas.**

$\epsilon$ (%)	TSM (pixel central)	TSM (pixel quente)	TSM (pixel frio)	TSM (média pixels)
2/11/2007	-11,37	-10,51	-13,24	-11,49
6/01/2008	-10,53	-10	-10,88	-10,34
30/01/2009	-13,84	-13,8	-14,47	-13,97
2/11/2010	-11,96	-11,39	-11,96	-11,75
16/11/2011	-9,15	-8,96	-9,8	-9,3
$\bar{\epsilon}$ (5 cenas)	-11,37	-10,93	-12,07	-11,37

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 28 mostra o MAE ( $^{\circ}\text{C}$ ), entre os valores da TSM medidos pela boia PIRATA 31004 e estimados na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. Foram encontrados valores do MAE de 2,93 $^{\circ}\text{C}$  (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais quente na janela 3x3 pixels) e 3,23 $^{\circ}\text{C}$  (TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels). Na Tabela 28, é possível observar que os valores do MAE são iguais, quando, compara-se a TSM *in situ* com a TSM estimada tanto para o pixel central quanto para a média na janela 3x3 pixels.

**Tabela 28 - Erro Absoluto Médio (MAE) ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.**

	MAE ( $^{\circ}\text{C}$ )
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	3,04
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	2,93
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	3,23
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	3,04

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Tabela 29 mostra o coeficiente de correlação ( $r$ ), entre os valores da TSM observada pela boia PIRATA 31004 e estimada na janela 3x3 pixels, centrada na posição da boia. Os coeficientes de correlação mais altos foram de 0,66, entre os dados da TSM *in situ* x TSM

estimada para o pixel central e para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels. Apesar da TSM, estimada para o pixel mais quente na janela de 3x3 pixels, apresentar o menor erro percentual e, também, o menor MAE, não apresentou o melhor coeficiente de correlação, onde o (r) encontrado foi 0,60.

**Tabela 29 - Coeficiente de correlação (r) entre os valores da TSM medida pela boia PIRATA 31004 e a TSM estimada na janela 3x3 pixels, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondas.**

	r
TSM (pixel central) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,66
TSM (pixel quente) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,60
TSM (pixel frio) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,66
TSM (média 3x3 pixels) x TSM ( <i>in situ</i> )	0,65

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

Nota-se, nas Tabelas 25 e 29, que os coeficientes de correlação entre a TSM *in situ* x TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens, variam entre 0,50 a 0,66 para ambas as boias PIRATA. Enquanto que, nas Tabelas 17 e 21, os coeficientes de correlação entre a TSM *in situ* x TSM, utilizando-se de coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, variam entre 0,55 a 0,85 para ambas as boias PIRATA. Observa-se, na Tabela 29, que o maior coeficiente de correlação encontrado, entre os dados da TSM *in situ* x TSM estimada para o pixel central e para o pixel mais frio na janela 3x3 pixels, foi de 0,66.

Quando compara-se a TSM *in situ* com a TSM, utilizando-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, são encontrados os menores erros percentuais, os menores MAE e os maiores coeficientes de correlação, como mostrado detalhadamente acima. Ao analisar, a TSM estimada com coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, observa-se que os erros percentuais e o MAE, são ainda menores, quando utiliza-se o pixel mais quente na janela 3x3 pixels para a comparação com o dado da TSM *in situ*. Então, com base no estudo, pode-se dizer que, para estimativas da TSM, a partir de imagens MODIS/Aqua, para o oceano Atlântico Tropical, é mais preciso utilizar-se dos coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo e validá-los com o pixel mais quente na janela 3x3 pixels, centradas na posição da boia em estudo, a fim de se obter um melhor resultado na validação dos dados.

Haines et al. (2007), em um estudo de caso para a Flórida, compararam os dados das boias (*in situ*) com composições do MODIS e encontraram coeficientes de correlação entre 0,80 a 0,98, para imagens obtidas durante o dia.

Assireu et al. (2011) compararam dados da TSM obtidos pelo MODIS com os dados da TSM medidos por derivadores rastreados por satélite, para a região nordeste do oceano Atlântico Sul, e confirmaram a utilização do pixel mais quente na janela 3x3 pixels, que leva a melhores ajustes, refletidos pelos baixos valores de viés.

Hosoda et al. (2007) estimaram a TSM, através do algoritmo NLSST e imagens MODIS, para o norte do oceano Pacífico Ocidental. Para a calibração do algoritmo NLSST utilizaram a TSM climatológica (Pathfinder – OISST Reynolds) para a TSM *first-guess*. Os resultados mostraram pequenos valores de RMSE (Root Mean Square Error) na validação dos dados e, também, destacaram a alta eficiência do algoritmo NLSST calibrado com a TSM climatológica de alta resolução.

#### **4.6 Relação entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP**

A Tabela 30 mostra o coeficiente de correlação ( $r$ ) entre a precipitação observada, em cada um dos 13 postos pluviométricos situados no setor leste de Alagoas, e para cada uma das variáveis utilizadas (reanálise NCEP) e, também, a média de ( $r$ ) dos 13 postos pluviométricos. Nota-se, na Tabela 30, que os maiores valores de ( $r$ ) são 0,55 encontrados entre as observações de precipitação, no pluviômetro da Base Experimental Peixe Boi, Riacho Doce em Maceió e os dados de reanálise do vento zonal e advecção de umidade, ambos em 925hPa. O coeficiente de correlação ( $r$ ), entre as observações de precipitação e a Pressão na Superfície (NCEP), são negativos para 8 postos pluviométricos ( $-0,01 \leq r \leq -0,3$ ) e positivos para 5 postos pluviométricos ( $0,01 \leq r \leq 0,3$ ). Os maiores coeficientes de correlação, entre a TSM e a precipitação no setor leste de Alagoas, ocorreram na Base Experimental Peixe Boi em Riacho Doce, Maceió (45%), na Destilaria Paísa em Penedo (36%) e na Jacarecica COBEL em Maceió, Usina Coruripe em Coruripe e na Usina Guaxuma em Coruripe, todas com ( $r$ ) de (31%).

Na Usina Camaragibe, em Porto Calvo, nota-se coeficientes de correlação muito baixos ( $0,003 \leq r \leq 0,01$ ), com exceção do ( $r$ ), entre a precipitação e a pressão na superfície

(dados de reanálise), que foi de 0,3. Os coeficientes de correlação, entre a precipitação e a umidade específica em 925hPa, são positivos e variam entre 0,003 a 0,42, valores encontrados para a Usina Camaragibe, em Porto Calvo e para a Base Experimental Peixe Boi em Riacho Doce, Maceió, respectivamente.

Observa-se, na Tabela 30, que a variabilidade da precipitação no setor leste de Alagoas, com base na média dos coeficientes de correlação dos 13 postos pluviométricos encontrados neste estudo, é explicada em; 26% pelas variações na TSM, 33% pelas variações no vento zonal em 925 hPa, 24% pela umidade específica em 925 hPa, 27% pela advecção de umidade em 925hPa e -0,07% para a pressão na superfície.

**Tabela 30 - Coeficiente de correlação (r) entre a precipitação observada no setor leste de Alagoas e dados de reanálise do NCEP.**

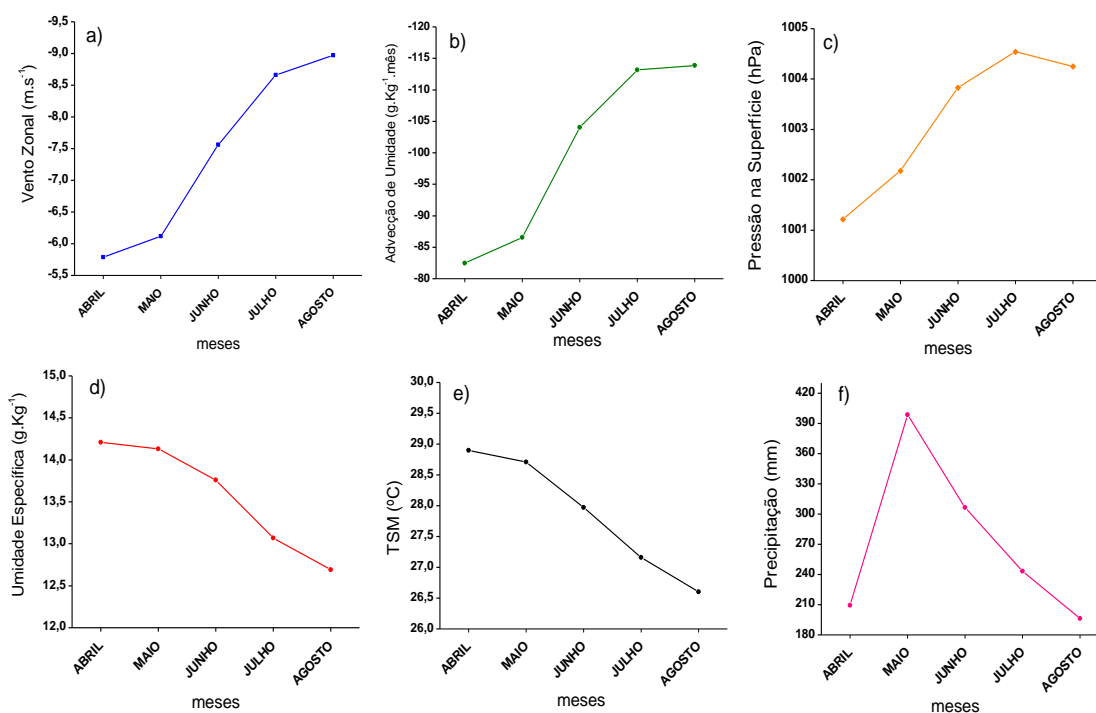
Dados Pluviométricos	TSM (NOAA OI SST)	Vento Zonal	Umidade específica	Advecção de Umidade	Pressão Superfície
Base Experimental Peixe Boi - Riacho Doce - Maceió	0,45	0,55	0,42	0,55	-0,3
CECA - UFAL - Rio Largo	0,22	0,31	0,16	0,31	0,03
CINAL - Marechal Deodoro	0,24	0,32	0,19	0,32	-0,01
Destilaria Paísa - Penedo	0,36	0,38	0,34	0,35	-0,23
INMET - Maceió	0,26	0,32	0,22	0,3	0,02
INMET - Porto de Pedras	0,26	0,41	0,22	0,42	-0,12
Jacarecica - COBEL - Maceió	0,31	0,45	0,24	0,46	-0,12
Usina Caeté - São Miguel dos Milagres	0,29	0,32	0,26	0,3	0,001
Usina Camaragibe - Junco - Porto Calvo	0,01	0,01	0,003	0,004	0,3
Usina Coruripe - Coruripe	0,31	0,34	0,35	0,3	-0,22
Usina Guaxuma - Coruripe	0,31	0,41	0,27	0,41	-0,22
Usina Triunfo - Boca da Mata	0,18	0,19	0,2	0,16	0,08
Usina Roçadinho - São Miguel dos Campos	0,24	0,29	0,25	0,27	-0,09
Média dos 13 postos pluviométricos	0,26	0,33	0,24	0,32	-0,07

Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

A Figura 30 mostra o Vento Zonal (Figura 30a), Advecção de Umidade (Figura 30b), Pressão na Superfície (Figura 30c), Umidade Específica (Figura 30d), TSM (Figura 30e) e a precipitação média dos 13 postos pluviométricos (Figura 30f) utilizados no estudo, para os meses de abril, maio, junho, julho e agosto (média de cinco anos). Nota-se que a Advecção de Umidade (Figura 30b) é dependente do Vento Zonal (Figura 30a). As Figuras 30a, 30b e 30c apresentam uma curva semelhante, onde, o valor mínimo é observado em abril e o valor máximo é observado em agosto, com exceção da Pressão na Superfície, onde, seu máximo é observado no mês de julho. Já nas Figuras 30d e 30e, observa-se um padrão semelhante, onde as curvas atingem o valor máximo, de umidade específica e TSM, no mês de abril e o mínimo é observado no mês de agosto.

Com base na análise da Figura 30f, a precipitação no setor leste de Alagoas apresenta um valor máximo no mês de maio e um valor mínimo no mês de agosto. Esta análise quantitativa mostra que, o aumento abrupto na precipitação observada no mês de maio, possivelmente, esta ligada ao fato da umidade específica e a TSM, permanecerem com valores altos, associados, também, a um aumento na velocidade do vento zonal, juntamente, ao acréscimo do transporte de umidade do oceano para o continente. A queda na precipitação, observada no setor leste de Alagoas, de maio a agosto, possivelmente associa-se ao decréscimo da TSM, conseqüentemente, um decréscimo na umidade específica e na concentração de vapor d' água.

**Figura 30 - Vento zonal em 925hPa (m/s) (a); Advecção de umidade específica em 925hPa (g/Kg.mês) (b); Pressão na superfície (hPa) (c); Umidade específica em 925hPa (g/Kg) (d); TSM (°C) (e); Precipitação média dos 13 postos pluviométricos (mm)(f).**



Fonte: Autor desta dissertação, 2012.

## 5 CONCLUSÕES

- O sensor MODIS/Aqua, juntamente com o algoritmo NLSST, apresentam bons resultados na estimativa e no mapeamento da TSM no litoral do Estado de Alagoas.
- Os valores estimados para a TSM, utilizando-se de imagens MODIS/Aqua e o algoritmo NLSST, estão consistentes com os dados da TSM *in situ*, observados pelas boias da rede PIRATA.
- A precisão na medida da TSM, para a área de estudo, pode ser influenciada pelo fato da correção atmosférica utilizada ser mais adequada ao Hemisfério Norte, pois este detém maior concentração de boias para aferição.
- A cobertura de nuvens, presente nas imagens MODIS/Aqua, causa interferência na estimativa da TSM via dados de sensoriamento remoto.
- A TSM, estimada com os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de modelo, apresenta campos da TSM com menores incertezas, do que a TSM estimada com os coeficientes de calibração do algoritmo derivados de radiossondagens.
- Observa-se que para a validação dos dados estimados da TSM, em relação aos dados observados pelas boias PIRATA, é mais preciso utilizar o pixel mais quente, em um janelamento 3x3 pixels, centrados na posição da boia, pois esta metodologia apresenta melhores resultados na validação dos dados, como encontrados neste estudo.
- O máximo de precipitação no setor leste de Alagoas, observado no mês de maio, provavelmente, está associado aos altos valores da TSM e da umidade específica em 925hPa, juntamente, ao acréscimo da pressão na superfície, e, conseqüentemente, o acréscimo na velocidade do vento zonal e do transporte de umidade do oceano para o continente.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estender o número de imagens MODIS/Aqua para as análises comparativas entre o dado estimado da TSM e o dado da TSM *in situ*.
- Validar os dados da TSM, obtidos pelo MODIS/Aqua e o algoritmo NLSST, com outras formas de dados da TSM *in situ*, por exemplo, dados coletados por navios mercantes, boias à deriva, etc.
- Derivar coeficientes de calibração do algoritmo a nível regional. Os coeficientes podem ser determinados por regressões lineares entre as temperaturas de brilho dos canais termais e as temperaturas das boias.
- Estimar a TSM mediante imagens MODIS/Aqua obtidas durante o período noturno.
- Instalação de uma boia fixa no litoral do Estado de Alagoas.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. E. S. **Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélite para a região sul-sudeste da costa brasileira**. 2002. 146f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-9751-TDI/857), São José dos Campos, 2002.
- ASSIREU, A. T.; FREITAS, R. M.; LORENZZETTI, J. A. Validação da TSM estimada pelo MODIS na região Nordeste do Oceano Atlântico Sul. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. Curitiba. **Anais...Curitiba**, p. 7037-7043, 2011.
- BARBIERI, R.W.; MCCLAIN, C.R.; ENDRES, D.L. **Methodology for interpretation of SST retrievals using the AVHRR split window algorithm**. Greenbelt, Maryland (NASA Technical Memorandum 85100), 1983.
- BARNES, W. L. et al., Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS –AM1. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p. 442-458, 1998.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 856p., 1983. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).
- BROWN, O. B.; MINNETT, P. J.; 1999. **MODIS infrared sea surface temperature algorithm, Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 2.0**. ATBD-MOD-25. Disponível em: <[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/ocean\\_atbd.html](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/ocean_atbd.html)>. Acesso em: 24 ago. 2011.
- CAETANO, M. **Apontamentos da disciplina de Detecção Remota e Monitorização do Ambiente**. Instituto Superior de Estatística e gestão de Informação. Universidade Nova de Lisboa, 2004.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAPÃO, L.A. **Análise de imagens MERIS para cartografia de ocupação de solo de Portugal**. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Gestão de Informação), Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.
- CARVALHEIRO, L.C.; BERNARDO, S. de O.; COSTA, P.D.; MANSO ORGAZ, M.D.J.; YAMASAKI, Y.; 2008. **Validação da Temperatura da Superfície do Mar a partir de medições de satélite**. Disponível em: <[http://www.ame-web.org/JORNADAS/6B\\_Carvalho.pdf](http://www.ame-web.org/JORNADAS/6B_Carvalho.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2010.
- CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**. Longman Scientific and Technical, New York. 282f., 1985.

- DI PACE, F. T. **Estimativa do Balanço de Radiação à Superfície Terrestre utilizando imagens TM - Landsat 5 e o Modelo de Elevação Digital**. 2004. 120f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.
- DONLON, C.J.; CASTRO, S.L.; KAYE, A. Aircraft validation of ERS-1 ATSR and NOAA-14 AVHRR sea surface temperature measurements. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 18, p. 3503-3513, 1999.
- DUONG, N.D. Land cover mapping of Vietnam using MODIS 500m 32-day global composites. **International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences**. Hanoi, Vietnam, 2004.
- EMERY, W.J.; CASTRO, S.; WICK, G. A.; SCHLUESSEL, P.; DONLON, C. Estimating Sea Surface Temperature from Infrared Satellite and *In situ* Temperature Data. **Bulletin of the American Meteorological Society**. n. 82, p. 2773-2785, 2001.
- EMERY, W.J.; CHERKAUER, K.; SHANNON, B.; REYNOLDS, R.W. Hull mounted bulk sea surface temperature measurements from volunteer observing ships. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 14, p. 1237-1251, 1997.
- EMERY, W.J.; BALDWIN, D.J.; SCHLUESSEL, P.; REYNOLDS, R.W. Accuracy of *In situ* Sea Surface Temperatures Used to Calibrate Infrared Satellite Measurements, submitted to **Journal of Geophysical Research**, 2000.
- EMERY, W.J.; YU, Y.; WICK, G. A.; SCHLUESSEL, P.; REYNOLDS, R.W. Correcting infrared satellite estimates of sea surface temperature for atmospheric water vapor attenuation. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 5219-5236, 1994.
- FARIA, C.; 2008. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/corrente-maritima/>> Acesso em: 17 maio 2012.
- FERREIRA, B.P.; MAIDA, M.; CAVA, F. Características e perspectivas para o manejo da pesca artesanal na APA Marinha Costa dos Corais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 2., 2000, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2000.
- FRANÇA, A.M.C. **Geomorfologia da margem continental leste brasileira e da bacia oceânica adjacente**. IN: Projeto REMAC – Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes, Rio de Janeiro, RJ, n. 7, p. 89-127, 1979.
- FRANÇA, G.B.; CARVALHO, W.S.; GONDIM, M.A. Estimativa da temperatura da superfície do mar utilizando GOES-8 no CPTEC/INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, p. 3860-3867, 2000.
- FRANÇA, G.B.; CRACKNELL, A.P. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR data in north-eastern Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 8, p. 1695-1712, 1994.
- GOOGLE EARTH, 2012. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/50010917?Source=wapi&referrer=kh.google.com>>. Acesso em: 18 set. 2012.

HAINES, S. L.; JEDLOVEC, G. J.; LAZURUS, S.M. A MODIS Sea Surface Temperature Composite for Regional Applications. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 9, p. 2919-2927, 2007.

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. **Anais...Goiânia**, 2005. p. 3629 – 3632.

HOSODA, K.; MURAKAMI, H.; SAKAIDA, F.; KAWAMURA, H. Algorithm and validation of sea surface temperature observation using MODIS sensors aboard Terra and Aqua in the western North Pacific. **Journal of Oceanography**, v. 63, n. 2, p. 267-280, 2007.

HUANG, H.L.; GUMLEY, L.E.; STRABARA, K.; LI, J.; WEISZ, E.; RINK, T.; BAGGETT, K.C.; DAVIS, J.E.; SMITH, W.L.; DODGE, J.C. International MODIS and AIRS processing package (IMAPP): A Direct Broadcast Software Package for the NASA Earth Observing System. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 85, n. 2, p. 159-161, 2004.

JENSEN, J.R. An Earth Resource Perspective. EUA: Prentice Hall. **Remote Sensing of the Environment**, 2000.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE, R.E.; SALEOUS, N.; ROY, D.P.; MORISETTE, J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 3-15, 2002.

KAMPEL, M. **Sensoriamento remoto aplicado à oceanografia**. In: RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PONZONI, F. J.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CONFORTE, J. C.; MOREIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N.; MOREIRA, M. A.; KAMPEL, M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. de; MARTINI, P. R.; FERREIRA, S. H.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; SANTOS, V. M. N. dos (Ed.). Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE. Capítulo 6, p. 20 (INPE-8984-PUD/62), 2002.

KATSAROS, K. B.; SOLOVIEV, A. V. Vanishing horizontal Sea Surface Temperature Gradients at Low Wind Speeds. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 112, p. 381-396, 2004.

KIDWELL, K. B. **NOAA Polar Orbiter Data users guide** (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12, NOAA-13 and NOAA-14. NOAA/NESDIS National Climatic Data Center, Satellite Data Services Division, Washington, D.C., 1995.

LAADS, 2012. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. Disponível em: <<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>>. Acesso em: 25 jul. 2012.

LI, Xiao-feng. Application of Nonlinear Multi- channel 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.; CLEMENTE-COLÓN, P.; KRASNOPOLSKY, V.; SAPPER, J. Validation of coastal sea and lake surface temperature measurements derived from NOAA/AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 7, p. 1285-1303, 2001.
- MCCLAIN, E.P.; WILLIAN, W.G.; WALTON C.C. Comparative Performance of AVHRR-Based Multi-channel Sea Surface Temperatures. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n.6, p. 11587-11601, 1985.
- MCMILLIN, L.M.; CROSBY, D.S. Theory and validation of multiple window sea surface temperature technique. **Journal of Geophysical Research**, v. 89, p. 3655-3661, 1984.
- MCST – MODIS Characterization Support Team: **MODIS Level 1B Product User's Guide**, for level 1B version 6.1.0 (Terra) and 6.1.1 (Aqua). MCST document PUB-01-U-0202, 63p., 2009.
- MESQUITA, H.N.; BITENCOURT, M.D. Análise Multi-temporal de fragmentos de cerrado no estado de São Paulo com sensor orbital MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, p. 2815–2822, 2003.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação** (2ª ed.). Brasil: UFV, 2003.
- MUEHE, D. **O litoral brasileiro e sua compartimentação**. IN: Geomorfologia do Brasil (orgs.) Cunha, S.B., Guerra, A.J.T., Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 273-349, 1998.
- MUEHE, D.; LIMA, C. F.; LINS DE BARROS, F. M. Rio de Janeiro. Pp. 265-296. In: Muehe, D. (Ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 475p., 2006.
- NASA, 2003. MODIS L1B Product Users Guide. NASA/Goddard Space Flight Center. USA.
- NASA, 2012a. Disponível em <<http://aqua.nasa.gov/about/instruments.php>>. Acesso em: 02 set. 2012.
- NASA, 2012b. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Acesso em: 02 set. 2012.
- NOAA - NDBC, 2012. National Oceanic and Atmospheric Administration's – National Data Buoy Center. Disponível em: <<http://www.ndbc.noaa.gov/images/stations/31003.jpg>>. Acesso em: 31 ago. 2012.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, p. 1-73, 1991.
- PRABHAKARA, C.; DALU G.; KUNDE, V. G. Estimation of Sea Surface Temperature from remote sensing in the 11 to 13  $\mu\text{m}$  window region. **Journal of Geophysical Research**, v. 79, p. 5039-5045, 1974.

REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. **Journal of Climate**, v. 7, p. 929-949, 1994.

RMBA, 2008. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. Disponível em: <[http://www.rbma.org.br/rbma/rbma\\_fase\\_vi\\_06\\_estados\\_al.asp](http://www.rbma.org.br/rbma/rbma_fase_vi_06_estados_al.asp)>. Acesso em: 05 ago. 2012.

ROBINSON, I. S. **Satellite Oceanography - an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists**. Ellis Horwood Ltd., Chichester, Reino Unido, 455p., 1985.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 1ed. São José dos Campos: Editora Parêntese. 425 p., 2007.

SILVA, R.M. **Mecanismo de Intensificação da Baroclinia Atmosférica em Função dos Gradientes de Temperatura da Superfície do Mar**. 2010. 88f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SILVESTER, R. Sediment transport long term net movement. IN: **The Encyclopedia of Geomorphology** (ed.) R.W. Fairbridge, Reinhold Book Corp., p. 985-989, 1968.

SOBRINO, J.A.; COLL, C.; CASELLES, V. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 e 5. **Remote Sensing of Environment**, v. 38, p. 19-34, 1991.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J, F. Construção de um saldo radiômetro com termopilha de filme fino e avaliação de sua performance. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 10, n. 112, p. 29-36, 1995.

SOUZA, R.B. SENSORIAMENTO REMOTO DOS OCEANOS. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 1, p. 123-145, 2003.

STRAMMA, L.; IKEDA, Y.; PETERSON, R. G. Geostrophic Transport in the Brazil Current Region North of 20°S. **Deep-Sea Research**, v. 37, p. 1875-1886, 1990.

STUART, J.; RINTOUL, S.R. Meteorological Monographs. **American Meteorological Society**, v. 27, n. 49, 1998.

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

WALTON, C. C.; MCCLAIN, E. P.; SAPPER, J. F. **Recent changes in satellite-based multichannel sea surface temperature algorithms**. Washington: Marine Technological Society, 1990.

WALTON, C. C.; PICHEL, W. G.; SAPPER, J. F. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurements of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 27999-28012, 1998.

WIENDERS, N.; ARHAN, M.; MERCIER, H. Circulation at the western boundary of the South and Equatorial Atlantic: Exchanges with the ocean interior. **Journal of Marine Research**, v. 58, p. 1007-1039, 2000.

WILKS, D.S. **Statistical Methods in Atmospheric Sciences**. Academic Press, NY. 467p., 2005.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.