Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Faculdade de Oceanografia
Trabalho de Conclusão de Curso

THAYANE ROBERTA COSTA DE ARAÚJO

DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR A PARTIR DE MEDIÇÕES DO SENSOR AVHRR/2 NOAA-14 NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

BELÉM - PARÁ
FEVEREIRO - 2010

THAYANE ROBERTA COSTA DE ARAÚJO

DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR A PARTIR DE MEDIÇÕES DO SENSOR AVHRR/2 NOAA-14 NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Melo Casseb do Carmo
Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Souza Filho

Belém

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

A663d Araújo, Thayane Roberta Costa de

Determinação e validação da temperatura da superfície do mar a partir de medições do sensor AVHRR/2 NOAA-14 na Plataforma Continental do Amazonas. / Thayane Roberta Costa de Araújo; Orientador: Alexandre Melo Casseb do Carmo; Coorientador: Pedro Walfir Souza Filho – 2010

34 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Sensoriamento remoto (AVHRR). 2. TSM. 3. Plataforma Continental do Amazonas. I. Universidade Federal do Pará. II. Carmo, Alexandre Melo Casseb do, *orient*. III. Souza Filho, Pedro Walfir *coorient*. IV. Título.

CDD 20º ed.: 621.367809811

THAYANE ROBERTA COSTA DE ARAÚJO

DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR A PARTIR DE MEDIÇÕES DO SENSOR AVHRR/2 NOAA-14 NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Data de aprovação: 03 / 02 / 2010

Conceito: Bom

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Melo Casseb do Carmo – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Pedro Walfir Souza Filho – Co-orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Profa. Odete Fátima Machado da Silveira – Membro
Doutora em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Maâmar El-Robrini – Membro
Doutor em Geologia Marinha
Universidade Federal do Pará

A memória de minha avó, Maria Rita.

A minha mãe, Maria Antônia.

Ao meu companheiro, Adalberto Akel.

AGRADECIMENTOS

Minha mãe – foi minha única patrocinadora fiel, pois, injustamente, não fui contemplada por nenhum tipo de bolsa durante meus "estágios", assim todo custeou que tive com minhas necessidades acadêmicas foram supridas por ela. Fora esse aspecto financeiro ela também é importantíssima na minha vida, pois foi dela que veio essa minha força de vontade e de fazer as coisas (mesmo aquilo que nunca tenha sido feito antes ou que não goste muito) com o maior zelo e perfeição possível para que saia um resultado sempre digno do alcance máximo, o excelente. Espero no futuro poder recompensar todo esse seu esforço, mãe!

Adalberto Akel – é a pessoa que me apoiou, viveu e venceu junto comigo bravamente a todos os desafios durante esses 4 anos na UFPA; sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, bons e ruins; é aquele que sempre pude contar.

"Gerusa" – é a minha segunda mãe, logo só o que posso fazer é agradecer muito e muito por ter cuidado de mim e zelado pelos meus estudos e educação quando minha mãe não podia estar presente. A senhora tem uma boa parcela da minha gratidão!

Sandra Akel – acolheu-me e sempre nos ajudou (a mim e Adalberto) tentando fornecer o mínimo e o máximo. Muito grata por tudo!

Lorena – minha melhor e única amiga verdadeira que me ajudou em momentos difíceis, ouvindo meus problemas e me lembrando que tenho valores, caráter e sou uma ótima pessoa do jeito que eu sou, e se os outros não me valorizam é porque não têm nenhuma dessas qualidades. Muito obrigada pela força!

Andrew – é a pessoa que se pode chamar de "amigão", pois foi quem me ajudou a solucionar os "bugues" do meu computador e me deu várias dicas relacionadas a computadores e programação, e sem cobrar nada!

Helenice – foi quem mais esteve presente a me dar orientações sobre o TCC, explicando aquilo que precisei saber para concluir este trabalho, e sofreu diretamente junto comigo os problemas envoltos do seu desenvolvimento, como no uso do programa ENVI.

Paulo – ajudou-me com o ArcGIS e na assistência "técnica-administrativa" do LAIT.

Pedro Walfir e **Alexandre Casseb** – foram os professores que aceitaram me orientar em um momento de muito aperto para o desenvolvimento de um TCC.

Meus cães – propiciaram-me e propiciam momentos muito felizes contribuindo para esquecer os problemas envoltos na universidade e diminuir o estresse.

“No meio do caminho tinha uma pedra
Tinha uma pedra no meio do caminho
Tinha uma pedra
No meio do caminho tinha uma pedra.

Nunca me esquecerei desse acontecimento
Na vida de minhas retinas tão fatigadas.
Nunca me esquecerei que no meio do caminho
Tinha uma pedra
Tinha uma pedra no meio do caminho
No meio do caminho tinha uma pedra.”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

A temperatura da superfície do mar (TSM) é importante para os estudos dos oceanos por poder indicar a situação do tempo meteorológico e clima global. Sabendo-se disso, a TSM tem sido inclusa em modelos numéricos de previsão de tempo, clima e circulação oceânica como dados de entrada para obter um resultado mais fiel à realidade, porém, para que as previsões tenham êxito, esses modelos necessitam que os dados possuam alta precisão. Com isso, o trabalho objetivou validar a TSM extraída através dos algoritmos multicanais MCSST do satélite NOAA-14, obtida pelo sensor AVHRR/2, por meio de medições de TSM *in situ* coletadas por navio em maio de 1999 pelo Programa REVIZEE na Plataforma Continental do Amazonas. Foram usados 37 pontos sendo comparados com 17 imagens de satélite obtidas com intervalo temporal máximo de ± 12 horas do horário de aquisição daqueles, de resolução de 4km que foram processadas com extração de TSM, georrefenciamento e interpolação obtendo 19 mapas de TSM. Para a análise estatística foram calculados os valores de MBE, MAE e de RMSE, anomalia normalizada percentual e índice de concordância. As diferenças máxima e mínima entre os valores de TSM medidos *in situ* e estimados por satélite foram 1,4 e 0,01°C, respectivamente. A TSM obtida por navio, em geral, apresentou maior valor que a TSM estimada por satélite. Porém, apesar disto, os dados apresentaram uma boa significância, pois a magnitude de erro foi menor que 6% (em módulo), e os valores de MBE, MAE e RMSE foram pequenos (respectivamente, -0,47, 0,60 e 0,72°C). O índice de concordância foi de 0,51 mostrando que os dados comparados não estavam nem próximos e nem distantes. Assim, a análise estatística mostrou-se divergente, essa correspondência entre os dados pode dever-se principalmente a grande quantidade de nuvens que reside na área e no período da coleta dos dados *in situ* que reduziu o número de dados observados com os das imagens de satélite e que influenciaram no cálculo da obtenção das TSMs entre outros erros.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto (AVHRR). TSM. Plataforma Continental do Amazonas.

ABSTRACT

The temperature of the sea surface (SST) is important for studies of the oceans to be able to indicate the status of the meteorological weather and climate global. Knowing this, the SST has been included in numerical models of prevision weather, climate and ocean circulation as input to obtain a result closer to the real, however, that the predictions are successful, these models require that data have high accuracy. Thus, the study aimed to validate the SST extracted by the algorithms multichannel MCSST satellite NOAA-14, obtained by the sensor AVHRR/2, through measurements of in situ SST collected by ship in May 1999 the Program REVIZEE in the Continental Shelf Amazon. Was used 37 points and compared with 17 satellite images obtained with time interval maximum time range of ± 12 hours from the purchase of those, 4km resolution were processed with extraction of SST, georeferencing and interpolation getting 19 SST maps. Statistical analysis was calculated values of MBE, MAE and RMSE, anomaly standard percentage and rate of agreement. The differences maximum and minimum between values of SST measured in situ and satellite estimates were 1.4 and 0.01 °C, respectively. The SST obtained by ship, in general, presented more value than the SST estimated by satellite. However, despite this, the data showed a good significance because the magnitude of error was less than 6% (in module), and the values of MBE, MAE and RMSE were small (respectively, -0.47, 0.60 and 0.72 °C). The concordance index was 0.51 showing that the data compared were not even close nor distant. Thus, statistical analysis showed divergent, the correspondence between the data may be due mainly to clouds that lie in the area and period of data collection in situ, which reduced the number of observed data with the images of satellite and influenced the calculation of obtaining the SSTs and other errors.

Key words: Remote sensing (AVHRR). SST. Amazon Continental Shelf.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Mapa da área de estudo mostrando os pontos de coleta do navio no período de 02 a 11 e 19 a 27 de maio de 1999..... 18
FIGURA 02 - Mapas de TSMs (em °C) obtidas a partir dos algoritmos MCSST usando dados de imagens do satélite NOAA-14 29
FIGURA 03 - Comparação entre os valores de TSM obtidos por satélite NOAA-14 e pelo navio 30
FIGURA 04 - Anomalia normalizada percentual de TSM obtida a partir dos dados de navio e do satélite NOAA-14..... 30
FIGURA 05 - Regressão linear entre as TSM medidas *in situ* e pelo satélite 30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMASSEDS - *A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study*
amp. - ampliada
AP - Amapá
at. - atualizada
AVHRR - *Advanced Very High Resolution Radiometer*
CCNE - Contra-Corrente Norte Equatorial
CLASS - *Comprehensive Large Array-data Stewardship System*
CNB - Corrente Norte do Brasil
COI - Comissão Oceanográfica Intergovernamental
CZCS - *Coastal Zone Color Scanner*
DHN. - Diretoria de Hidrografia e Navegação
ENVI - *Environment for Visualizing Images*
form. - fórmula
GAC - *Global Area Coverage*
HRPT - *High Resolution Picture Transmission*
IR - Infravermelho
LAC - *Local Area Coverage*
LAIT - Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido
MA -Maranhão
MAE - *Mean Absolute Error*
MBE - *Mean Bias Error*
MCSST - *Multichannel Sea Surface Temperature Algorithm*
N - Norte
NE - Nordeste
NOAA - *National Oceanic and Space Adiministration*
NW - Noroeste
PA - Pará
PI - Piauí
REVIZEE - Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
RMSD - *Root Mean Squared Difference*
RMSE - *Root Mean Squared Error*

S	- Sul
SE	- Sudeste
TIROS	- *Television and Infrared Observation Satellite*
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
UFPA	- Universidade Federal do Pará
ZCIT	- Zona de Convergência Inter-Tropical Atmosférica
ZEE	- Zona Econômica Exclusiva
W	- Oeste
WGS-84	- *World Geodetic System*

LISTA DE SÍMBOLOS

$\approx$	- aproximadamente.
$\pm$	- mais ou menos, aproximadamente.
s	- anomalia normalizada percentual das TSMs.
d	- índice de concordância
r	- coeficiente de correlação
p_i	- valor estimado (inferido por dados de satélite);
o_i	- valor observado (medido pelo navio *in situ*);
n	- número de observações;
$\bar{o}$	- média aritmética dos valores observados.
µm	- micrometro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 HISTÓRICO DAS EXPEDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS E DA TSM 15
1.2 OBJETIVO 17
2 ÁREA DE ESTUDO 18
3 MATERIAIS E MÉTODOS 20
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS AVHRR/NOAA 20
3.2 DADOS DE TSM MEDIDOS POR NAVIO 21
3.3 SELEÇÃO DE IMAGENS NOAA-14 21
3.4 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E OBTENÇÃO DA TSM 23
3.5 INTERCOMPARAÇÃO DOS DADOS DE TSM MEDIDOS POR NAVIO COM OS DADOS DE TSM ESTIMADOS POR SATÉLITE 24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 27
5 CONCLUSÃO 31
REFERÊNCIAS 32

1 INTRODUÇÃO

Um dos parâmetros de extrema importância para os estudos meteo-oceanográficos é a temperatura da superfície do mar (TSM). Esta é responsável, verticalmente, pela troca de calor (calor sensível e calor latente) entre o oceano e a atmosfera, e, horizontalmente, promove os processos de trocas oceânicas internas, como energia, que originam as correntes marinhas (CARVALHEIRO et al., 2008; HOCHLEITNER et al., 2005). A partir dessas relações, a TSM pode indicar a situação/variabilidade do tempo meteorológico e clima global. Sabendo-se disso, a TSM tem sido inclusa em modelos numéricos de previsão de tempo, clima e circulação oceânica como dados de entrada (*input*) para obter um resultado mais fiel da realidade contribuindo com os estudos que buscam compreender melhor as dinâmicas oceânica e atmosférica, porém, para que as previsões tenham êxito, esses modelos necessitam que os dados possuam alta precisão (CARVALHEIRO et al., 2008; HOCHLEITNER et al., 2005).

Os pesquisadores, principalmente oceanógrafos e meteorologistas, buscam pelos padrões de TSM que variam em escala espacial (de local a global) e temporal (de horas a meses ou anos), pois seus estudos, em meso-escala, esclarecem os processos de instabilidade dinâmica das correntes oceânicas, que geram meandros e vórtices, e os de ressurgência, que promovem a troca de energia, massa e nutrientes entre as massas d'água. Desta forma, não apenas influem nos fenômenos físicos mais também em processos biológicos regulando as atividades sócio-econômicas, como por exemplo, a pesca (ARAUJO, 2003).

Segundo Souza (2008), a apuração dos dados é feita de forma *in situ*, por meio de navios e bóias (a chamada oceanografia convencional ou tradicional), e remotamente (conhecida como oceanografia por satélites, oceanografia espacial ou sensoriamento remoto dos oceanos). A primeira opção apresenta problemas de descontinuidades temporais e espaciais, como a limitação de se coletar dados simultaneamente em grandes áreas no oceano, além de ser extremamente cara e difícil. Com isso, a segunda opção vem ganhando mais espaço nos estudos dos oceanos por justamente possibilitar a geração de dados multiespectrais com alta resolução espacial e temporal (HOCHLEITNER et al., 2005). Porém, esse método de aquisição de dados também apresenta desvantagens como a presença de nuvens, que restringem a coleta de dados nas faixas espectrais do visível e infravermelho, e os efeitos dos gases atmosféricos, principalmente a absorção do infravermelho pelo vapor d'água e sua

concentração no tempo e no espaço na atmosfera (HOCHLEITNER et al., 2005; SOUZA et al., 2008).

1.1 HISTÓRICO DAS EXPEDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS E DA TSM POR SATÉLITE

As expedições oceanográficas abordadas adiante se referem àquelas que ocorreram na Plataforma Continental do Amazonas e áreas oceânicas adjacentes até a data (maio de 1999) em que se obtiveram os dados utilizados neste trabalho.

De acordo com Santos (2000), a primeira grande expedição oceanográfica realizada na Plataforma Continental do Amazonas compôs um estudo global executado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) a fim de se ter uma visão geral referente às quatro áreas da Oceanografia (Física, Química, Biológica, Geológica) e à Meteorologia do Atlântico Tropical sendo organizado em duas etapas chamadas de Equalant I (fevereiro-março) e Equalant II (agosto-setembro) no ano de 1963 atuando nas regiões N e NE do Brasil.

Nos meses de setembro a dezembro de 1967, ocorreu a Operação Norte/Nordeste I e de abril a junho de 1968 a Operação Norte/Nordeste II ambas realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) objetivando conhecer os processos químicos, biológicos, geológicos e meteorológicos existentes entre Recife e Cabo Orange (SANTOS, 2000).

Outra campanha oceanográfica foi a PAVASAS I que, abrangendo o Estado do Maranhão e a Barra Norte do rio Amazonas no período de junho a setembro de 1987, fez um levantamento das condições oceanográficas, meteorológicas, biológicas e geológicas por meio do Navio Oceanográfico Almirante Saldanha. Esta campanha fez parte do projeto “Pontos Anfidrômicos e Variações Sazonais do Atlântico Sul” organizado pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (SANTOS, 2000).

Nos anos de 1989 a 1991, foram realizados 4 cruzeiros oceanográficos na Plataforma Continental do Amazonas (próximo à foz do rio Amazonas) pelo projeto *A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study* (AMASSEDS) contendo os grupos de pesquisa oceanografia física, geoquímica da coluna de água (incluindo produtividade primária), transporte de sedimento, biologia bêntica, e sedimentologia/estratigrafia (SANTOS, 2000).

O Programa Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva – REVIZEE objetivou o levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na ZEE para estabelecer correlações e inferências que relatassem a

dinâmica e sazonalidade envolvendo as subáreas da Oceanografia Física, Química, Biológica e Geológica, a Meteorologia, o Sensoriamento Remoto e a Pesca. Com isso, o Programa REVIZEE pode contribuir com a gestão e conservação desses recursos da ZEE e a ampliação dos limites do conhecimento oceanográfico e pesqueiro. Na área entre o Cabo Orange/AP até a foz do rio Parnaíba/PI, na ZEE do Brasil, aconteceram 3 operações: Norte I (1995), Norte II (1997) e Norte III sendo esta realizada entre 30 de abril à 29 de junho de 1999 contabilizando 202 estações oceanográficas (SANTOS, 2000). Os dados da operação Norte III foram utilizados para validação dos dados de satélite analisados neste trabalho.

Segundo Araujo (2002), as observações convencionais feitas por navios de oportunidade cuja distribuição é irregular fazem parte do velho problema no delineamento e monitoramento da TSM que geralmente abrange grandes regiões, neste caso nos trópicos e no hemisfério sul, sem observações.

De acordo com Souza et al. (2008), a partir da década de 70, os oceanógrafos perceberam que os dados provindos de satélites meteorológicos no visível e infravermelho sem nuvens continham informações muito úteis sobre os oceanos. Com isso, o estudo dos oceanos por meio do sensoriamento remoto por satélites se solidificou e desde então tem sido aperfeiçoado. O primeiro satélite com plataforma orbital voltada exclusivamente para o monitoramento marinho foi o SeaSat lançado no ano de 1978 (ROBINSON, 1985 apud SOUZA et al., 2008). Neste mesmo ano, o sensor CZCS (*Coastal Zone Color Scanner*) a bordo do satélite Nimbus-7 foi iniciado para o estudo da cor dos oceanos, principalmente nas zonas costeiras (SOUZA et al., 2008).

Ainda na década de 70 foram lançados os satélites da série TIROS (*Television and Infrared Observation Satellite*) sendo posteriormente substituídos por uma nova série de satélites NOAA (*National Oceanic and Space Adiministration*) de órbita polar oferecendo medidas de TSM que podem ser aplicadas em estudos de cinemática, dinâmica e clima do oceano global (SOUZA et al., 2008; KAMPEL, 2004). Estas medidas de TSM dos satélites NOAA são adquiridas pelo sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) através de algoritmos específicos (SOUZA et al., 2008) como, por exemplo, o algoritmo multicanal MCSST (*Multichannel Sea Surface Temperature Algorithm*) que foi usado por vários autores, dentre eles pode-se citar Araujo (2002), França et al. (2000), França et al. (1998), e é discutido neste trabalho.

Um maior detalhamento do histórico da TSM por satélite, instrumentos e outras informações das características gerais dos satélites NOAA pode ser encontrado em Kampel (2004).

A validação dos algoritmos de TSM no mundo é mais freqüente nos oceanos Atlântico Norte e Pacífico. No Brasil, estes estudos concentram-se nas regiões sul e sudeste do país, ficando as demais regiões sem referências quanto às TSM de suas áreas oceânicas.

1.2 OBJETIVO

Validar a TSM extraída a partir de imagens do satélite NOAA-14, obtida pelo sensor AVHRR/2, por meio de medições de TSM *in situ* coletadas pelo navio Antares (H-40), da Marinha do Brasil, durante o Programa REVIZEE na Plataforma Continental do Amazonas e áreas oceânicas adjacentes, a fim de se contabilizar a acurácia dos algoritmos multicanais MCSST para a área de estudo.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está compreendida entre os paralelos 00°07,4’S e 06°46,2’N e os meridianos 046°09,3’W e 051°02’W abrangendo a Plataforma Continental do Amazonas, entre o Cabo Orange (AP) e a foz do rio Pará (PA), e área oceânica adjacente (Fig. 01).

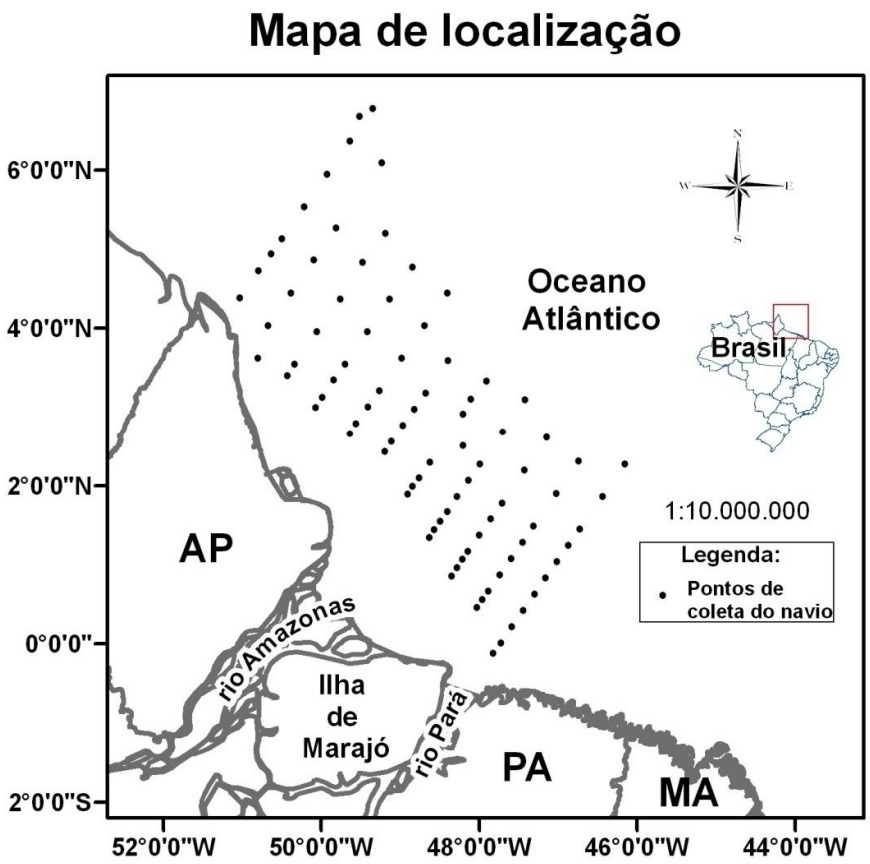

FIGURA 01 – Mapa da área de estudo mostrando as estações de coleta do navio Antares no período de 02 a 11 e 19 a 27 de maio de 1999.

As ações, em conjunto, da corrente de fronteira oeste, dos ventos alísios, das oscilações de marés e das descargas de águas continentais provindas dos rios Pará e Amazonas tornam a área do oceano Atlântico Equatorial adjacente à região Norte um sistema marinho de alta energia (SILVA et al., 2005). A descarga deste é em torno de 1 trilhão m³/ano (NITTROUER et al., 1991 apud SANTOS, 2000) e 180.000 m³/s contabilizando ao redor de 18% do total de água doce continental lançada nos oceanos (MULLER-KARGER et al., 1988;

OLTAM, 1968 apud SILVA et al., 2005) e de 10% dos sedimentos nas águas do oceano Atlântico (MULLER-KARGER et al., 1986 apud SANTOS, 2000). Sua vazão varia sazonalmente com um máximo ao redor de 220.000 m³/s em maio e mínimo de 100.000 m³/s em novembro (GEYER et al., 1996 apud SILVA et al., 2005), sendo que a descarga máxima ocorre de maio a junho e a mínima de outubro a novembro (MEADE et al., 1985 apud SANTOS, 2000). A pluma superficial do rio Amazonas pode se estender mais de 200 km em direção NE e cerca de 1000 km em direção NW (GIBBS, 1970; LENTZ; LIMEBURNER, 1995 apud SILVA et al., 2005).

Quanto à corrente, a área sofre influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB) ao longo da quebra da Plataforma Continental do Amazonas, sobre o talude, com sentido predominante de NW, com velocidades entre 0,5 a 1,0 m/s (RICHARDSON et al., 1994 apud SILVA et al., 2005) e valores de transporte adjacente à costa amazônica (4ºN-45ºW) de 35.10^6 m³/s durante julho-agosto e de 13.10^6 m³/s em abril-maio (JOHNS et al., 1998 apud SILVA et al., 2005). Esta corrente sofre uma retroflexão para leste próximo ao Estado do Amapá nutrindo sazonalmente a Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE) e a formação de vórtices anticiclônicos (DIDDEN; SCHOTT, 1993; FRATANTONI et al., 1995; JOHNS et al., 1990; SCHOTT et al., 1998 apud SILVA et al., 2005).

Os ventos alísios também fazem parte da dinâmica da área em questão variando sazonalmente conforme as oscilações da Zona de Convergência Inter-Tropical Atmosférica (ZCIT) mantendo-se na maior parte do ano no hemisfério norte podendo migrar próximo ao Equador durante março-abril e para a latitude de 5ºN em agosto-setembro (CASTRO; MIRANDA, 1998 apud SILVA et al., 2005). Com isso, a direção predominante dos ventos alísios é SE entre junho-novembro e de NE entre dezembro-maio (GEYER et al., 1996; NITTROUER; DEMASTER, 1996 apud SILVA et al., 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS AVHRR/NOAA

A órbita dos satélites NOAA são heliossíncronas, circulares quase-polares, com altitude média de 850 km. O satélite NOAA-14, do qual foram obtidas as imagens para o desenvolvimento deste trabalho, foi lançado no dia 30 de dezembro de 1994 e continua operando até hoje, sendo que, juntamente com outros satélites, faz parte da série que deu continuidade à série TIROS-N (lançado em 13 de outubro de 1978). Os seus horários de cruzamento com o Equador terrestre são às 19:30h (órbita ascendente) e às 07:30h (órbita descendente) (KAMPEL, 2004).

O sensor AVHRR/2 é um radiômetro em que a bordo dos satélites TIROS-N, NOAA-6, 8 e 10 possuía quatro canais, já nos satélites NOAA-7, 9, 11, 12 e 14, possuía cinco canais (Tabela 01) nas faixas do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Este sensor foi substituído pelo atual AVHRR/3 que possui seis canais espectrais, além dos cinco anteriores há mais um canal (3A) que permite uma melhor discriminação de nuvens, neve e gelo (KAMPEL, 2004).

Os dados AVHRR podem ser registrados em alta resolução (1,1 km) conhecido como LAC (*Local Area Coverage*) cujo formato é o mesmo HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) que é obtido em tempo real, ou com resolução de 4 km chamado de GAC (*Global Area Coverage*). O primeiro, devido a alta resolução, possui apenas ao redor de 10 minutos de dados em um único registro, já o segundo pode armazenar cerca de 116 minutos que possibilita a total cobertura dos 102 minutos de uma órbita completa (KAMPEL, 2004).

TABELA 01 – Distribuição dos canais de operação do sensor AVHRR/2 do satélite NOAA-14.

Canal	**Intervalo espectral (µm)**	**Tipo de espectro**	**Principais aplicações**
1	0,58-0,68	Luz solar refletida no visível	Mapeamento da superfície terrestre e nuvens
2	0,725-1,10	Luz solar refletida no IR próximo	Delineamento de superfícies de água, gelo e neve
3	3,55-3,93	IR solar refletido e IR emitido	Mapeamento noturno de nuvens e de TSM
4	10,30-11,30	IR termal emitido	Mapeamento de nuvens e de TSM
5	11,50-12,50	IR termal emitido	Mapeamento de nuvens e de TSM

Fonte: Adaptado de Araujo (2002) e Mello Filho (2006).

Segundo Lorenzzetti e Araujo (2004), a TSM obtida por satélite é uma medida de "pele", ou seja, é aquela referente ao primeiro milímetro da superfície, já a TSM medida *in situ* (temperatura *bulk* ou temperatura de volume, como é conhecida) normalmente corresponde a dezenas de centímetros e até alguns metros de profundidade.

3.2 DADOS DE TSM MEDIDOS POR NAVIO

Os dados utilizados neste trabalho são referentes à Operação Norte III do Programa REVIZEE, em que, por meio do navio oceanográfico (NOc) "Antares" pertencente à Marinha do Brasil, foram coletados dados oceanográficos desde o Cabo Orange no Amapá (AP) até a foz do rio Parnaíba no Piauí (PI) durante o período de 30 de abril a 29 de junho de 1999 (Operação III) divididas em quatro pernadas (SANTOS, 2000). Destas, apenas os dados das pernadas 1 e 2 realizadas nos períodos de 02 a 11 e 19 a 27 de maio de 1999, respectivamente, foram usados neste estudo, compondo 87 estações oceanográficas localizadas em 11 perfis perpendiculares à costa (SANTOS, 2000). Entretanto, uma estação do dia 26/05 coletado às 5h não continha dado de TSM, portanto não pôde ser comparado restando 86 pontos para análise dos dados a serem comparados com os valores obtidos a partir das imagens de satélite.

As profundidades de coleta para dados de TSM considerados de superfície variaram de 2,31 a 7,95m com uma média de 3,89m, sendo que para os 37 dados de TSM comparados a profundidade mínima foi um pouco maior (2,96m), com uma média de ≈ 4m.

3.3 SELEÇÃO DE IMAGENS NOAA-14

As imagens brutas, obtidas a partir dos dados coletados pelo sensor AVHRR/2 a bordo do satélite NOAA-14, foram baixadas diretamente do sítio da *Comprehensive Large Array-data Stewardship System* (CLASS, 2009).

Para manter a coerência entre os dados obtidos por satélite e os dados *in situ*, observados por coleta de navio, foram selecionadas as imagens cujos horários de passagem do satélite sobre a área dos pontos de coleta do navio eram mais próximos dos horários de

aquisição de TSM destes pontos (com intervalo temporal máximo de ± 12 horas) e com menos nuvens na área correspondente. Estes critérios estão de acordo com os usados por Araujo (2002), Mello Filho (2006) e Carvalheiro et al. (2008).

De um conjunto de cerca de 162 imagens no formato GAC, disponibilizadas para os dias 02 a 11 e 19 a 27 de maio de 1999, apenas 17 cenas (Tabela 02) puderam ser comparadas à 37 pontos da coleta *in situ* (do total de 86). Isto decorreu principalmente devido a grande presença de nuvens nas imagens, pois o período (maio) apresenta elevada cobertura de nuvem devido estar relacionada ao período chuvoso da região e o local ser afetado diretamente pela ZCIT. Demais fatores que contribuíram para esta redução do número de imagens utilizadas foram: a repetição das imagens, ou seja, muitas imagens eram a mesma apenas com área reduzida (um recorte de área menor); e posição não precisa da cena sobre a área como informada previamente no momento da aquisição das cenas.

TABELA 02 – Relação dos dados obtidos pelo navio (*in situ*) no ano de 1999 e informações sobre as imagens usadas obtidas pelo sensor AVHRR/2 abordo do satélite NOAA-14, bem como os respectivos algoritmos utilizados e os valores de TSM estimados a partir dos dados de satélite.

(continua)

Dados *in situ*					Dados das imagens do satélite NOAA-14		
Data	Hora	LONG	LAT	TSM (°C)	Imagem usada	ALG	TSM (°C)
2/5	15:15	-51,0333	4,3813	27,98	NSS.GHRR.NJ.D99122.S1731.E1901.B2235354.WI	D	28,56
2/5	19:30	-50,7950	4,7250	27,87	NSS.GHRR.NJ.D99122.S1855.E2042.B2235355.WI	N	29,27
3/5	00:23	-50,6333	4,9367	27,94	NSS.GHRR.NJ.D99123.S0529.E0723.B2236061.WI	N	27,22
5/5	15:36	-49,5167	6,6750	27,51	NSS.GHRR.NJ.D99125.S1658.E1828.B2239596.WI	D	27,30
5/5	19:35	-49,8083	5,2667	27,76	NSS.GHRR.NJ.D99125.S1822.E2007.B2239597.WI	N	27,46
6/5	14:15	-49,9233	5,9450	27,54	NSS.GHRR.NJ.D99126.S1650.E1817.B2240910.WI	D	26,98
7/5	14:10	-49,4733	4,8317	27,76	NSS.GHRR.NJ.D99127.S1635.E1806.B2242324.WI	D	26,64
8/5	18:42	-49,6950	3,5400	28,24	NSS.GHRR.NJ.D99128.S1623.E1809.B2243738.GC	N	28,04
9/5	08:35	-49,6333	2,6617	27,52	NSS.GHRR.NJ.D99129.S0604.E0757.B2244546.WI	D	27,06
9/5	09:50	-49,5583	2,7933	27,67	NSS.GHRR.NJ.D99129.S0604.E0757.B2244546.WI	D	27,06
9/5	14:31	-49,4100	3,0033	27,99	NSS.GHRR.NJ.D99129.S0604.E0757.B2244546.WI	D	27,01
9/5	16:58	-49,2633	3,2100	28,22	NSS.GHRR.NJ.D99129.S0604.E0757.B2244546.WI	D	27,27
10/5	14:40	-48,1083	3,0983	27,76	NSS.GHRR.NJ.D99130.S0559.E0746.B2245960.WI	D	27,57
20/5	00:04	-48,7633	2,0967	28,46	NSS.GHRR.NK.D99139.S2116.E2237.B0527980.WI	N	27,33
21/5	06:52	-48,2033	2,5067	28,29	NSS.GHRR.NJ.D99141.S1727.E1848.B2262122.WI	D	27,95
21/5	13:33	-48,2033	2,9150	28,15	NSS.GHRR.NJ.D99141.S1727.E1848.B2262122.WI	D	27,45
21/5	18:45	-47,9050	3,3283	28,2	NSS.GHRR.NJ.D99141.S1727.E1848.B2262122.WI	D	27,42
22/5	20:40	-48,4050	1,6733	28,26	NSS.GHRR.NJ.D99142.S1832.E2017.B2263537.WI	N	28,33
22/5	21:35	-48,4917	1,5500	27,74	NSS.GHRR.NJ.D99142.S1832.E2017.B2263537.WI	N	27,75
22/5	23:45	-48,5700	1,4450	27,67	NSS.GHRR.NJ.D99142.S1832.E2017.B2263537.WI	N	27,56
23/5	02:00	-48,6333	1,3450	28,53	NSS.GHRR.NJ.D99142.S1832.E2017.B2263537.WI	N	27,53
23/5	06:45	-48,3517	0,8567	28,28	NSS.GHRR.NJ.D99142.S1832.E2017.B2263537.WI	N	28,26

(conclusão)

Dados *in situ*					Dados das imagens do satélite NOAA-14		
Data	Hora	LONG	LAT	TSM (°C)	Imagem usada	ALG	TSM (°C)
23/5	08:30	-48,2800	0,9600	28,3	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	D	27,54
23/5	10:45	-48,2100	1,0667	28,42	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	D	28,24
23/5	12:25	-48,1400	1,1650	28,42	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	D	28,33
23/5	15:30	-47,9967	1,3733	28,26	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	D	28,07
23/5	18:05	-47,8517	1,5783	28,6	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	D	27,96
23/5	20:30	-47,7100	1,7800	28,46	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	N	28,51
24/5	03:12	-47,4267	2,1983	28,3	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	N	27,82
24/5	06:30	-47,1417	2,6133	28,27	NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI	N	27,48
25/5	04:34	-47,5917	1,0750	28,23	NSS.GHRR.NJ.D99145.S0631.E0818.B2267172.WI	N	28,59
26/5	07:48	-47,4433	0,4217	28,36	NSS.GHRR.NJ.D99146.S0614.E0807.B2268586.WI	D	27,03
26/5	13:25	-47,2967	0,6267	28,87	NSS.GHRR.NJ.D99146.S0614.E0807.B2268586.WI	D	28,15
26/5	17:14	-47,1633	0,8317	28,83	NSS.GHRR.NJ.D99146.S1622.E1807.B2269192.GC	D	27,68
26/5	22:28	-47,0150	1,0417	28,68	NSS.GHRR.NJ.D99146.S1622.E1807.B2269192.GC	N	27,58
27/5	01:11	-46,8700	1,2417	28,56	NSS.GHRR.NJ.D99146.S1622.E1807.B2269192.GC	N	27,65
27/5	04:18	-46,7267	1,4517	28,6	NSS.GHRR.NJ.D99146.S1622.E1807.B2269192.GC	N	27,57

LONG – longitude;
LAT – latitude;
Imagem usada – NSS.Data-type.Spacecraft-Unique-ID.Year-day.Start-time.Stop-time.Processing-block-ID. Source;
ALG – algoritmo aplicado;
D - *Day* MCSST *Split*, algoritmo para o dia;
N- *Night* MCSST *Split*, algoritmo para a noite.

3.4 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS E OBTENÇÃO DA TSM

Todo o processamento digital das imagens e obtenção da TSM pelo algoritmo multicanal MCSST foi realizado no Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) utilizando o pacote Microsoft Office e os programas ENVI 4.6.1 e ArcGIS 9.3.

O programa ENVI 4.6.1 foi usado para o processamento das imagens brutas utilizando das ferramentas que possibilitam o cálculo de TSM (conversão das imagens de radiância em campos de TSM) e georreferenciamento para imagens do sensor AVHRR no formato 1B (MELLO FILHO, 2006).

A TSM foi calculada a partir do algoritmo multicanal (*Multichannel Sea Surface Temperature Algorithm* – MCSST) sobre as imagens para a conversão dos números digitais computados pelo sensor, em cada elemento da imagem. O programa ENVI disponibiliza cinco algoritmos de MCSST para o cálculo de TSM dependendo da iluminação do dia e o número

de bandas usadas. Neste trabalho foram usados somente o *Day* MCSST *Split*, para cenas diurnas, e o *Night* MCSST *Split*, para cenas noturnas. Lorenzzetti e Araujo (2004) descrevem mais detalhadamente essa determinação de TSM usando os algoritmos multicanais.

Após a obtenção dos campos de TSM, estes foram georeferenciados a partir dos pontos de controle já contidos nas próprias imagens pelo sensor AVHRR (KIDWELL, 1993 apud MELLO FILHO, 2006). A projeção usada foi a *Geographic* Lat/Long com o *Datum* WGS-84. Com os mapas georreferenciados, os dados foram salvos em formato ASCII e posteriormente abertos na planilha eletrônica Microsoft Office EXCEL para filtrar (eliminar) os dados não-úteis, ou seja, os dados negativos e os zeros, referentes às nuvens e continente.

Com os dados filtrados, a etapa final para obtenção da temperatura de mesma coordenada do navio ou com distância de até 25 km desta, de acordo com critério usado por Araujo (2002), foi feita no programa ArcGIS 9.3, através da interpolação que preencheu os "buracos" (espaços sem dados devido a presença de nuvens e/ou a cena não recobrir a área de estudo por completo).

Novamente a planilha eletrônica Microsoft Office EXCEL foi utilizada durante a análise estatística e elaboração dos gráficos referentes à comparação dos dados de TSM de navio e pelo algoritmo MCSST através das imagens NOAA-14.

3.5 INTERCOMPARAÇÃO DOS DADOS DE TSM MEDIDOS POR NAVIO COM OS DADOS DE TSM ESTIMADOS POR SATÉLITE

Os dados do navio e os obtidos pelo satélite NOAA-14 foram digitados em uma planilha eletrônica Microsoft EXCEL para posterior análise estatística a fim de se avaliar o grau de ajuste entre os dados de navio e os estimados por satélite. Esta análise seguiu a proposta de Carvalheiro et al. (2008) na qual foram quantificados os erros pela obtenção: do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Squared Error* – RMSE) que mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos; do Erro Absoluto Médio (*Mean Absolute Error* – MAE) que indica o desvio médio absoluto dos valores previstos em relação aos valores observados; do desvio médio (*Mean Bias Error* – MBE) que representa o desvio médio dos valores estimados em relação aos observados; e da anomalia normalizada percentual das TSMs (ε) que informa o erro percentual entre o valor observado e o estimado. Além desses,

também foi calculado o índice de concordância (d) que mede o grau em que os dados estimados estão ou não livres de erro através da variação de 0 a 1, na qual este (d=1) mostra uma perfeita concordância e aquele (d=0) indica total discordância entre os valores observados e estimados. Os valores de MBE, MAE e de RMSE para serem considerados bons deveriam estar mais próximo de zero. As fórmulas para o cálculo dessas estatísticas seguem abaixo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|p_i - o_i|}{n} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)}{n} \quad (3)$$

$$\varepsilon = 100\% \,.\frac{(p_i - o_i)}{o_i} \quad (4)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|p_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \quad (5)$$

Onde:

p_i: valor estimado (inferido por dados de satélite);

o_i: valor observado (medido pelo navio *in situ*);

n: número de observações;

$\bar{o}$: média aritmética dos valores observados.

Outros parâmetros também foram calculados: a regressão linear simples e o coeficiente de correlação para o conjunto de pares ordenados (p_i, o_i) obtendo-se uma equação de reta cuja forma é:

$$o_i = a.p_i + b \quad (6)$$

Onde a e b são os coeficientes obtidos na regressão.

Segundo Araujo (2002), a RMSD (*Root Mean Squared Difference*), que aqui será tratada também como RMSE devido ambos terem a mesma fórmula – form. (1) –, estatisticamente, representa um estimador da variância, porém também é usado por vários autores como um estimador da acurácia dos algoritmos MCSST, sendo os dados comparados com os de temperatura *in situ*. Com base nisso, a comparação e acurácia dos dados obtidos a partir dos algoritmos MCSST foram feitas por meio dessas estatísticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme mencionado anteriormente, foram usadas apenas 17 cenas que compuseram 19 mapas de TSM estimadas, pois duas cenas (NSS.GHRR.NJ.D99143.S1657.E1827.B2264950.WI e NSS.GHRR.NJ.D99146.S1622.E1807.B2269192.GC) serviram para a aplicação dos dois algoritmos (para dia e noite). Em algumas imagens (Fig. 02c, h, r e s) a interpolação foi feita em áreas que não continham dados. Estas áreas podem ser identificadas por listras paralelas entre si com inclinação de aproximadamente 45° com relação ao N (norte geográfico). Todos os 19 mapas de TSM estimadas podem ser visualizados na Figura 02.

As diferenças máxima e mínima entre os valores de TSM observados e estimados foram 1,4 e 0,01°C, respectivamente. A comparação de todos os valores pode ser visualizada na Figura 03 com as curvas de TSM. A Figura 04 mostra a anomalia normalizada percentual de TSM determinada a partir dos dados de navio e do satélite NOAA-14. Aproximadamente 83,78% dos valores de TSM estimados por satélite subestimaram os de TSM obtidos *in situ* (navio), ou seja, a temperatura obtida por navio, em geral, apresentou valores mais elevados que aqueles estimados com os dados de satélite. Porém, apesar disto, os dados apresentaram uma boa significância, pois a magnitude de erro foi menor que 6% (em módulo). Os valores de MBE, MAE e RMSE foram -0,47, 0,60 e 0,72°C, respectivamente.

Estes resultados comparados aos de Carvalheiro et al. (2008), considerados como demonstrativo de boa relação, cuja magnitude foi inferior a 10% e os valores de MBE, MAE e RMSE para o satélite NOAA-17 foram, respectivamente, 0,10, 0,42 e 0,54°C, mostram-se ligeiramente superiores e com um menor percentual de erro. Vale-se ressaltar que a temperatura para os autores acima variou entre 15 a 21°C, já na área em estudo a variação da temperatura ficou entre 26,5 e 29,5°C, ou seja, metade da variação observada no Atlântico Norte.

Araujo (2002) obteve uma baixa correlação para o satélite NOAA 11 ($R^2 = 0,24$) e uma alta correlação para o NOAA 12 ($R^2 = 0,72$). Comparando estes ao aqui obtido, a correlação para este é ainda mais baixa, pois, conforme mostra a Figura 05, a análise da regressão linear entre as TSM medidas por navio e a obtida por satélite NOAA-14, o valor do coeficiente de correlação (r) obtido foi de aproximadamente 0,32 ($R^2 \approx 0,11$) e um índice de

concordância (d) de 0,51 indicando que a relação entre os dados de satélite e os *in situ* é pouco equivalente, ou seja, que as duas séries discordam bastante entre si. Porém, o RMSE deste comparado ao obtido por Strong e McClain (1984) para navios de oportunidade é menor 1,09°C, sendo que a acurácia global máxima obtida pelo método multicanal varia entre ± 0,5 e ± 0,6°C para aqueles autores, e ± 0,7°C para Barton (1995) (LORENZZETTI e ARAUJO, 2004).

Possíveis erros que contribuíram para estes resultados são referentes, principalmente, a grande quantidade de nuvens devido à ação direta da ZCIT na área de estudo e pelo período (maio) chuvoso da região que impossibilitou a análise de maior número de dados observados com os das imagens de satélite e que influenciaram no cálculo da obtenção das TSMs, pois não foram filtrados conforme a interferência dos vários tipos de nuvens existentes (mascaramento de nuvens) e sim apenas pela eliminação dos dados extremos (negativos e zeros). Além deste, pode haver erros referentes à profundidade em que foram tomadas as TSMs *in situ* (geralmente varia de dezenas de centímetros até alguns metros) que é diferente da medida por satélite (de “pele”, ou seja, relativa ao primeiro milímetro da superfície) e fora outros problemas oriundos do próprio radiômetro, segundo Lorenzzetti e Araujo (2004). Há também os erros referentes à interpola0ção.

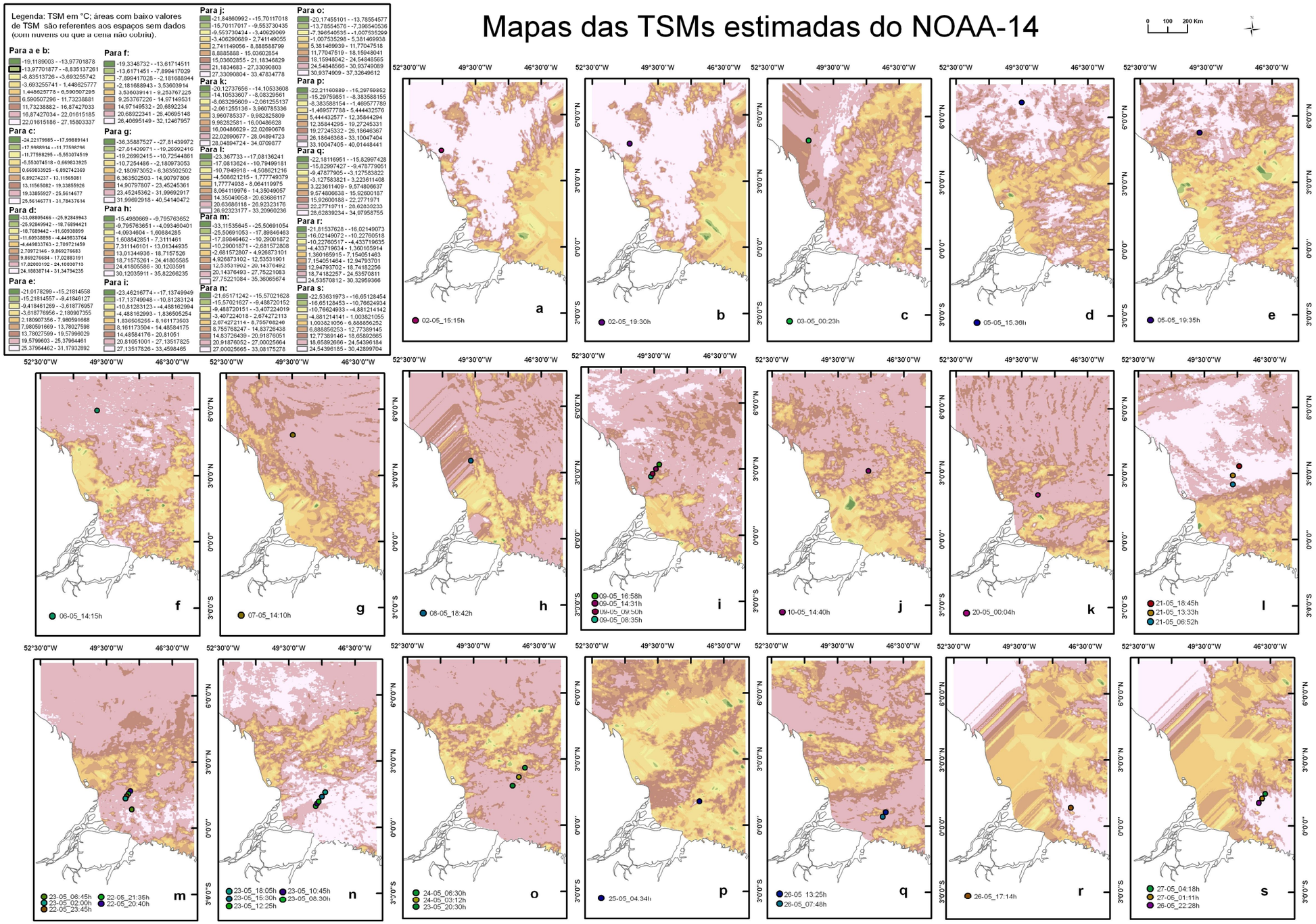

FIGURA 02 – Mapas de TSMs (em °C) obtidas a partir dos algoritmos MCSST usando dados de imagens do satélite NOAA-14

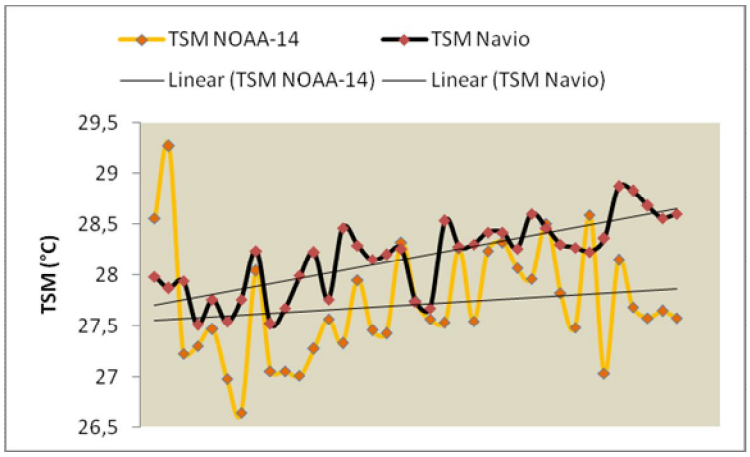

FIGURA 03 – Comparação entre os valores de TSM obtidos por satélite NOAA-14 e pelo navio.

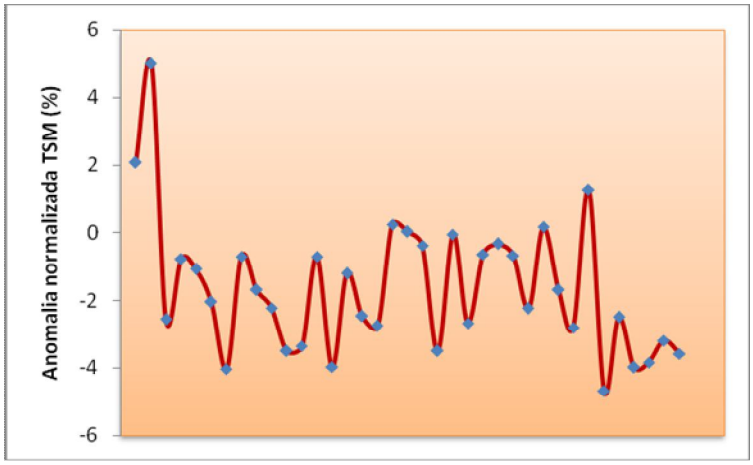

FIGURA 04– Anomalia normalizada percentual de TSM obtida a partir dos dados de navio e do satélite NOAA-14.

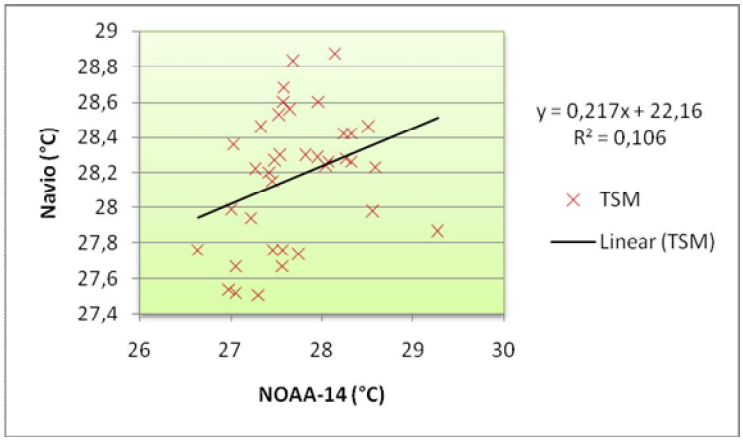

FIGURA 05 – Regressão linear entre as TSM medidas *in situ* e pelo satélite.

5 CONCLUSÃO

A análise estatística mostrou-se divergente, pois os erros MBE, MAE e RMSE foram pequenos, além da magnitude de erro ter sido (em termos absolutos) menor que 6%, e o índice de concordância foi de 0,51 mostrando que os dados comparados não estavam nem próximos e nem distantes.

Essa correspondência dos dados pode dever-se principalmente a grande quantidade de nuvens que reside na área e no período da coleta dos dados *in situ* que reduziu o número de dados observados com os das imagens de satélite e que influenciaram no cálculo da obtenção das TSMs, uma vez que a eliminação dos dados não-úteis foram apenas os extremos (negativos e zeros) e não conforme a interferência dos vários tipos de nuvens existentes (mascaramento de nuvens) e demais contaminações.

Para uma avaliação mais apurada deve-se fazer uma comparação para um período com menor quantidade de nuvens, com maior número de observações (se possível por bóia de deriva que é a melhor opção para validar a TSM obtida por satélite) e usar filtros que eliminem os pixels contaminados nas imagens. Outra observação a ser analisada seria a derivação de algoritmos regionais.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, C. E. S. *Avaliação da acurácia das temperaturas da superfície do mar obtidas por satélites para a região sul-sudeste da costa brasileira*. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais, Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 2002.

CARVALHEIRO, L. C. O. et al. *Validação da temperatura da superfície do mar a partir de medições de satélite*. [S.l.: s.n.]. 2008. p. 5.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4ºN and 34ºS. *The Sea*, v. 11, p. 209-251, 1998.

COMPREHENSIVE LARGE ARRAY-DATA STEWARDSHIP SYSTEM (CLASS). *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)*. Disponível em: <http://www.nsof.class.noaa.gov/saa/products/welcome>. Acesso em: 11 nov. 2009.

DIDDEN, N.; SCHOTT, F. A. Eddies in the North Brazil Current retroflection region observed by Geosat altimetry. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, n. 11, p. 20, 121-20, 131, 1993.

FRANÇA, G. B.; CARVALHO, W. S.; GONDIM, M. A. *Estimativa da temperatura da superfície do mar utilizando GOES-8 no CPTEC/INPE*. 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. p. 3860-3867.

FRANÇA, G. B. et al. Validação da TSM-NOAA no CPTEC a partir de dados de bóias do projeto Pirata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10; CONGRESSO DA FLISMET, 8, Brasília, DF. *Anais*... Brasília, DF: SBMET, 1998. Não paginado.

FRATANTONI, D. M.; JOHNS, W. E.; TOWNSEND, T. L. Rings of the North Brazil current: their structure and behavior inferred from observations and a numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. 6, p. 10633-10654, 1995.

GEYER, W. R.et al. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, v. 16, p. 575–616, 1996.

GIBBS, R. J. Circulation in the Amazon river estuary and adjacent Atlantic ocean. *Journal of Marine Research*, v. 28, p. 113–123. 1970.

HOCHLEITNER, F.; PAIVA, C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. *Validação da estimativa da temperatura da superfície do mar via dados do satélite GOES-8 utilizando dados "in situ" do projeto PNBOIA*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia: INPE. *Anais*... p. 3629-3632.

JONHS, W. E. et al. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 103-128, 1998.

JOHNS, W. E. et al. The North Brazil Current retroflection: seasonal structure and eddy variability. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. C12, p. 22103-22120. 1990.

KAMPEL, M. Características gerais dos satélites NOAA: histórico, instrumentos e comunicação de dados. In: FERREIRA, N. J. *Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 15-40.

KAMPEL, M.; COSTA, M. P.; HUNGRIA, C. S.; SETZER, A. W. Avaliação preliminar da utilização de um receptor de imagens orbitais AVHRR/NOAA para estudos oceanográficos na Antártica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba: *Anais*... , 1993. v. 3. p. 56-59.

LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R. The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research*, v. 100 n. C2, p. 2355-2376, 1995.

LORENZZETTI, J. A.; ARAUJO, C. E. S. Determinação da temperatura da superfície do mar (TSM), a partir do sensor AVHRR. In: FERREIRA, N. J. *Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 103-126.

MEADE, R. H. et al. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River estuary. *Nature*, v. 278, p. 161-163, 1985.

MELLO FILHO, W. L. *Observação de feições oceanográficas de superfície na costa sudeste brasileira através de imagens termais do sensor AVHRR/NOAA*. 2006. 85f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), – Instituto Nacional e Pesquisas Espaciais, Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 2006.

MULLER-KARGER, F. E., McCLAIN, C. R.; RICHARDSON, P. L. The dispersal of the Amazon's waters. *Nature*, v. 333, p. 56-69, 1986.

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by large river. *Continental Shelf Research*, v. 16, p. 553-574, 1996.

NITTROUER, C. A. et al. AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, Oxford, v. 4, n. 1, p. 3-7, 1991.

RICHARDSON, P. L. et al. North Brazil Current retroflection eddies. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 997-1014. 1994.

ROBINSON, I. S. *Satellite Oceanography – an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists*. Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1985.

SANTOS, M. de L. S. *Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica. 2000*. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Oceanografia Biótica) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2000.

SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and pathsways of the upper-layer circulation in the western tropical Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 1904-1928, 1998.

SILVA, A. C. da; ARAUJO, M.; SOUZA PINHEIRO, L. de. Caracterização hidrográfica da Plataforma Continental do Maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.25, n. 3, p. 281-294, 2007.

SILVA, B. B. Balanço de radiação com dados AVHRR/NOAA-14. In: FERREIRA, N. J. *Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 143-164.

SOUZA, R. B. Introdução à Oceanografia por satélites. In: SOUZA, R. B. *Oceanografia por satélites*. 2. ed. at. e amp. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 15-20.

SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. *Oceanografia por satélites*. 2. ed. at. e amp. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 115-130.