

## Variação Sazonal da TSM do Atlântico Equatorial Ocidental a partir do Sensor AVRHH

Hyvana Carla Soares de Oliveira<sup>1</sup>  
Alexandre Melo Casseb do Carmo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará- UFPA  
Instituto de Geociências/Faculdade de Oceanografia  
Caixa Postal:479 Belém/Pa, Brasil  
hyvanacarla@hotmail.com  
alxmcc@hotmail.com

**Abstract:** The sea surface temperature (SST) in the equatorial Atlantic has variability over the years with many interacting processes in the region that is influenced by the dynamics of winds, currents, tides and discharge of the Amazon River. The present study is an analysis of SST near the northern coastal region, using AVHRR sensor monthly data aboard the NOAA satellite for the period of January 1998 to December 2007. It was possible to evaluate through this time series the SST behavior in space and time with an objective description of the images and quantify the time-scale variability by wavelets transformed. It was also analysed the correlations of SST data with OLR (Outgoing Longwave Radiation) and the flow of the Óbidos station to represent the Amazon River flow, in order to understand the processes that are related. The correlation between SST and OLR weren't significant for the study period, the correlation between SST and low flow, indicating that the flow is not a dominant factor for the variability of SST of the northern waters of Brazil. The correlation between the SST anomalies for the three points, and the SST anomalies in the basin of the North and South Atlantic have clearly shown the influence of the dipole in the study area, suggesting that they are strongly associated.

**Palavras-chave:** Northern continental platform, remote sensing, wavelet transformed, plataforma continental Norte, sensoriamento remoto, transformada em ondeletas.

### 1.Introdução

A interação entre oceano-atmosfera bem como mudanças na temperatura superficial do mar (TSM) vem despertando cada vez mais interesse de muitos pesquisadores pela importância da compreensão destes processos.

Estudos anteriores mostram que pequenas mudanças na temperatura superficial do mar podem afetar o crescimento, desenvolvimento e reprodução de vários organismos aquáticos e também interferir nos processos químicos e físicos que se realizam neste ambiente. Cataldi et al. (2010), por exemplo, estudou anomalias no Atlântico Sul e sua influência sobre o regime hidrometeorológico da região Sul e Sudeste do Brasil. Marengo e Nobre (2009) observou manifestações de anomalias de temperatura superficial do mar (ATSM) é responsável por alterações na circulação atmosférica causando mudanças na distribuição e intensidade de chuvas sobre a região norte e nordeste do Brasil, afetando o clima de várias regiões.

Grande parte do sucesso na obtenção do conhecimento sobre o papel da TSM das grandes bacias tropicais do Pacífico e do Atlântico, sobre as condições do meio ambiente, se deve ao uso de imagens de satélite que, desde 1979, tem facilitado a análise e a descrição dos processos físicos e químicos em regiões de difícil acesso e de larga escala. Na última década, o aperfeiçoamento dos sensores de satélites, particularmente quanto à resolução espacial das medidas, tem permitido investigar as características físico-químicas regionais de trechos oceânicos como o que envolve a Foz do Amazonas. Correa (2009) demonstrou a validade do uso das imagens MODIS em sua análise sobre a variação sazonal da clorofila e TSM no Atlântico Equatorial Ocidental.

O presente trabalho é uma nova contribuição aos estudos observacionais realizados por Correa (2009). Os resultados, apresentados aqui, focam sobre a variabilidade temporal e espacial da TSM no trecho oceânico que envolve a pluma do Amazonas (TSM-FOZ).

Correlações entre a TSM-FOZ e vazão, TSM-FOZ e ROL (Radiação de onda Longa) foram calculadas para se investigar as prováveis forçantes responsáveis pela variabilidade das águas regionais. Adicionalmente a TSM-FOZ foi correlacionada com as anomalias de TSM das bacias do Atlântico Norte (ATL-NORTE) e Atlântico Sul (ATL-SUL) para se investigar sinais de correspondência entre as variabilidades regionais e as condições anômalas.

## 2. Metodologia

### 2.1 Análises das Imagens de Satélite

Utilizou-se uma série de 10 anos de dados de TSM a partir do sensor AVHRR, abordo do satélite NOAA para se observar a distribuição de temperaturas no espaço e no tempo das águas do Norte brasileiro (figura 1) ao longo do período estudado.

Os dados de TSM utilizados neste trabalho é são produzidos pela Physical Oceanography DACC (PO.DACC ), disponíveis no site <http://poet.jpl.nasa.gov>. As informações do sensor AVHRR, versão 5.0 a bordo do satélite NOAA, seguem na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Informações dos dados obtidos a partir do sensor AVHRR

<b>Produto</b>	<b>Dados</b>	<b>Início_</b> <b>Fim</b>	<b>Resolução</b> <b>Temporal</b>	<b>Resolução</b> <b>Espacial</b>
<b>AVHRR</b>	OPENDAP	1998 –	Mensal	4 km
<b>Pathfinder, SST v5</b>	POET	2009		

Após a filtragem dos dados, no Arc Gis foi realizada a interpolação do tipo **spline tension** dos pontos para criar um GRID, superfície de informação e imagens em **geotiff**. No total foram geradas 360 imagens em geotiff para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 1997.

### 2.2 Análise de Transformada em Ondeletas

Para a detecção e análise de variabilidades de múltiplas frequências, optou-se fazer uso da Transformada em Ondeletas (TO).

Para a análise de dados e discussão dos resultados através das TO escolheu-se, dentro da área de estudo, três pontos estratégicos com latitude e longitudes diferentes. Um ponto mais oeste (Ponto 1), outro ponto central bem próximo a foz do Rio Amazonas(Ponto 2) e o último ponto localizado na parte mais leste (Ponto 3). A figura 1 mostra a localização dos três pontos na área de estudo.

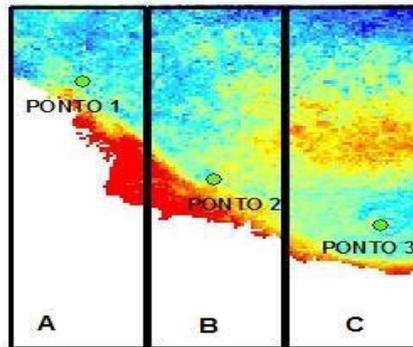


Figura 1: Localização dos pontos nas áreas A, B e C. Ponto 1: 5°4'48,032"N e 50°33'37,872"W ; Ponto 2: 1°4'30,511"N e 46°37'55,546"W ; Ponto3: 0°47'41,496"S e 41°35'37,223"W. O espectro de cores é variação da TSM mensal do sensor AVRHH.

Optou-se pela utilização da ondeleta complexa de Morlet por ser esta a mais adequada para captar variações nas periodicidades do sinal geofísico, de maneira contínua ao longo das escalas (equação 1):

$$g(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (1)$$

Os espectros de ondeletas são representados utilizando-se uma escala de cores que representam sua magnitude. Esta escala varia em tons de azul do escuro ao claro à medida que cresce a magnitude do espectro. A metodologia utilizada para análise de ondeletas foi de Torrence e Compo (1998), onde considera-se o limite de confiança de 90%, estes estão representados por contornos vermelhos. Representado por uma linha preta grossa temos chamado Cone de Influência (CI), onde os dados que se encontram abaixo desta linha não são considerados válidos, estando sujeitos a erros estatísticos.

### 2.3- Dados de ROL, Vazão e ATSM das bacias do Atlântico Norte e Sul

Estas variáveis foram utilizadas para as correlações com os dados de TSM do Atlântico Equatorial, com o objetivo de entender os processos que interagem e influenciam nesta variável durante todo o período estudado.

Para os dados mensais de vazão escolheu-se a estação de Óbidos para representar a vazão do Rio Amazonas. Eles estão disponíveis para download na página eletrônica da Agência Nacional de Águas (ANA), <http://hidroweb.ana.gov.br>. A série temporal para vazão foi menor, sendo de janeiro de 1998 a dezembro de 2005, logo para a correlação utilizamos os dados de TSM até este período.

Os dados interpolados de ROL e TSM das bacias do Atlântico Norte e Atlântico Sul para o período de nosso estudo foi obtido pelo NOAA / OAR / ESRL PSD, Boulder, Colorado, EUA, de sua Web site em <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. A grade de ROL é igualmente espaçada em 2,5° de latitude e longitude e as TSM é de 2,0°.

Para todos os dados foi feita média aritmética simples para posteriormente calcular o valor da anomalia. A fim de determinar se a correlação entre as variáveis era-significante foi aplicado o teste t-Student, descrito por Spiegel (1993)

### 3. Resultados e Discussões

Esta região possui uma dinâmica muito complexa, de alta energia, que reuni as influencias de correntes de maré, descarga do Rio Amazonas, transportes das correntes Norte do Brasil e Contra-Corrente Norte Equatorial, além de significativas influencias indiretas que ocorrem devido as mudanças das circulações atmosféricas e oceânicas ocorridas na bacia do Atlântico Norte e Sul. A figura 2 e 3 mostra a distribuição espacial da TSM mensal do período de janeiro de 1998 a dezembro de 2007. A média de TSM próxima a região costeira variou entre 25,46 a 30,57 ao longo deste período.

Observa-se que uma faixa de águas mais quentes possui um deslocamento ao longo do ano no sentido Norte-Sul, demonstrando claramente o ciclo sazonal da nossa região que é dividido em dois períodos (o seco e o chuvoso). Nos meses de janeiro, fevereiro e março as massas de água se concentram bem próximo a região do equador, na região da foz do Rio Amazonas. A partir do mês de maio seguidos dos meses junho e julho ocorre um deslocamento desta massa de água mais quentes para o Norte e águas mais frias se posicionam na região mais próxima ao Equador. Nos meses de agosto, setembro esta faixa de TSM máxima encontra-se em sua posição mais ao Norte. A partir do mês de outubro observa-se que esta faixa de valores de TSM máxima começa deslocar-se novamente em direção ao sul. Esta característica foi anteriormente observada por Correa (2009) para esta região.

Para os anos de 1998 e 2005 observa-se que no mês de Junho a faixa de TSM já bem mais posicionada ao Norte do que nos outros anos com aparecimento de TSM mais frias próximo a costa.

Para o ano 2004, o mês de dezembro nota-se que as águas mais quentes ainda se encontram mais ao Norte do que nos outros anos.

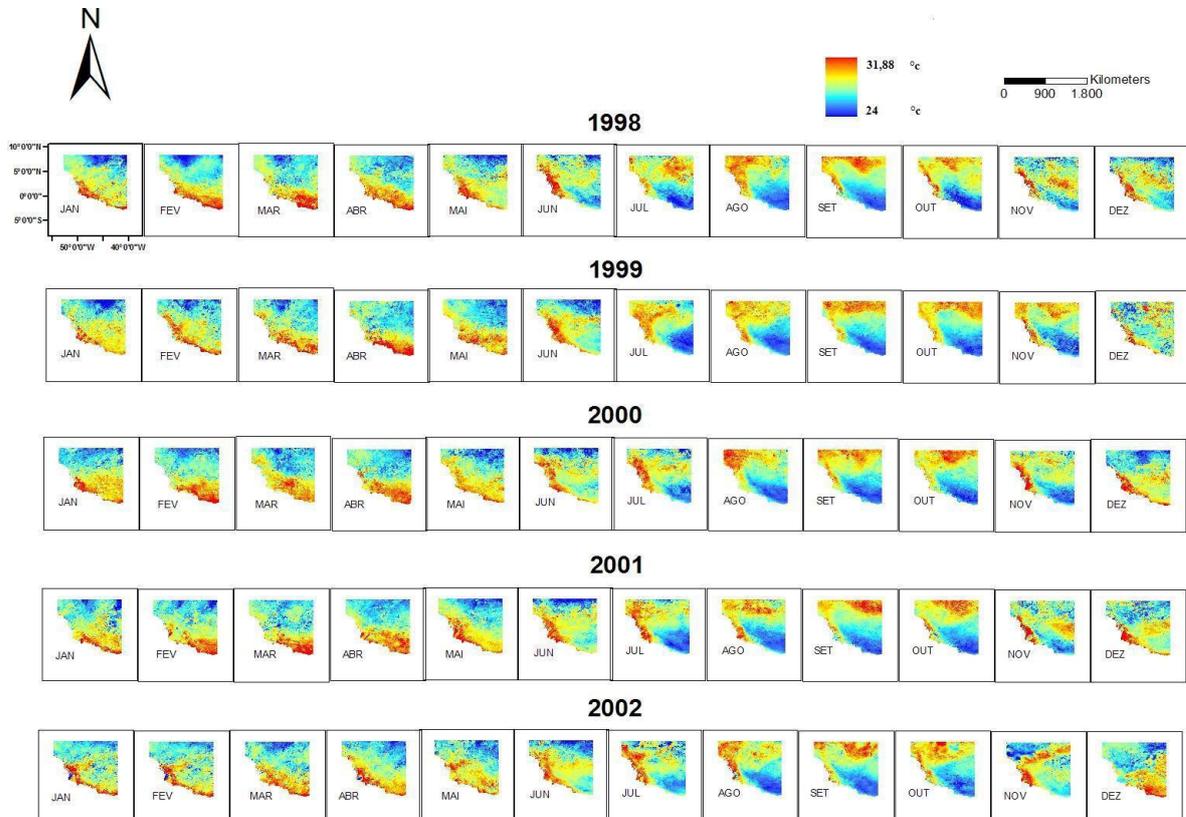


Figura 2: Média mensal da temperatura da superfície do mar de janeiro de 1998 a dezembro de 2002, utilizando dados do sensor AVHRR. Fonte: <http://poet.jpl.nasa.gov>.

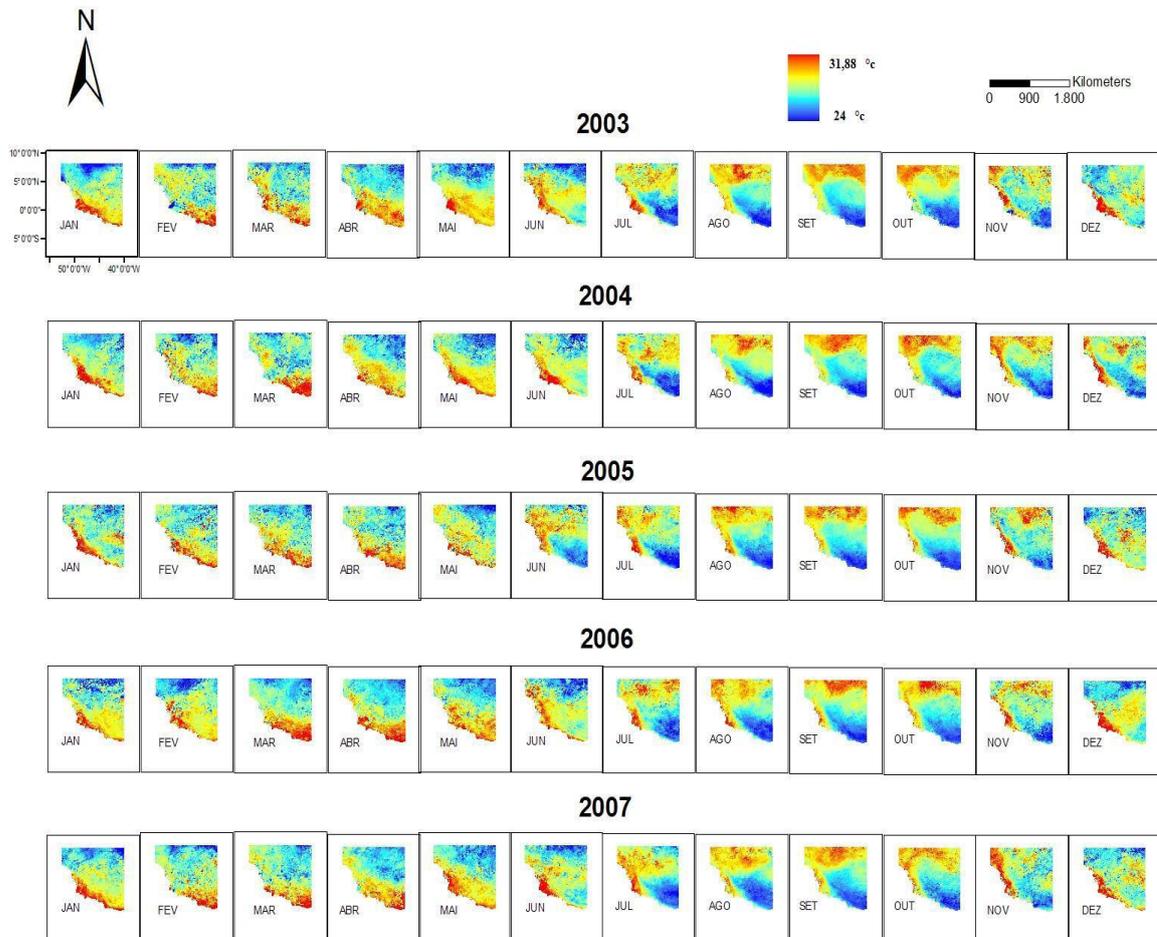


Figura 3: Média mensal da temperatura da superfície do mar de janeiro de 2003 a dezembro de 2007, utilizando dados do sensor AVHRR. Fonte: <http://poet.jpl.nasa.gov>.

O resultado mais interessante observado no espectro de ondas é a diferença da intensidade de energia entre os três pontos 1, 2 e 3 que mesmo estando em áreas próximas apresenta comportamentos diferenciados.

O ponto 1, localizado na área mais a oeste (figura 4) foi a mais significativa para os períodos entre 10 a 14 meses, ou seja dentro de um ciclo anual. Um dos fatores que podem explicar esse comportamento pode ser a presença de vórtices anticiclônicos na região de retroflexão da CNB descrito por Silva, Araújo e Bourlès (2005) que fica localizada aproximadamente na latitude 5° N e longitude 50° W (figura 3.3). Segundo CORREA (2009) a retroflexão da CNB e o posicionamento da ZCIT propicia o aumento da TSM.

Para o ponto 2, localizado bem ao centro da área de estudo (figura 5), próxima a Foz do Rio Amazonas nota-se que uma variabilidade energética para o período de 6 a 8 meses, indicando possivelmente que estas variabilidades sazonais maiores nos anos de 2002 e 2006 e início de 2007 podem estar relacionadas com variabilidades interanuais como evento de El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico.

Para o ponto três (figura 6) mostra apenas uma região mais significativa no período de 6 a 8 meses no ano de 2002 e início de 2003. Novamente a região no período de 10 a 14 meses é bem expressiva para todos os anos da série temporal de 1998 a 2007, desconsiderando o ano de 1998 e início de 1999 e o final de 2006 e todo o ano de 2007 por estar fora do CI.

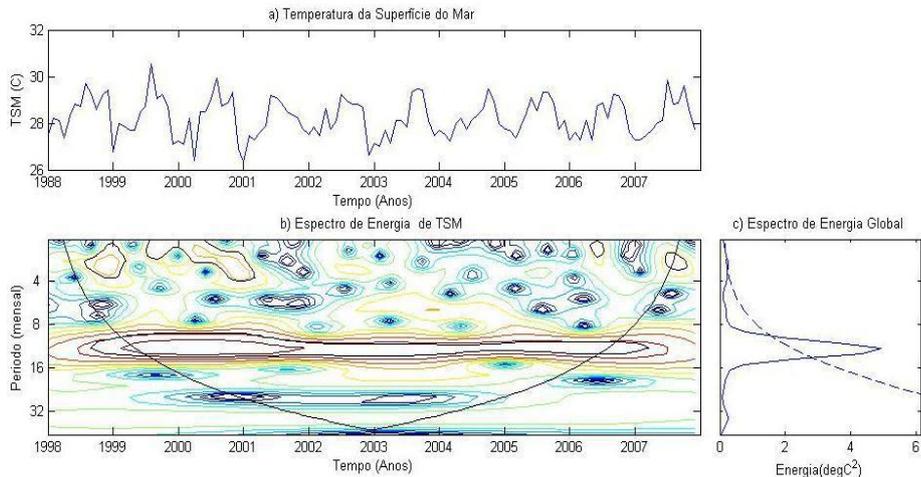


Figura 4: Valores da TSM de 1998 a 2007 para o Ponto1. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta

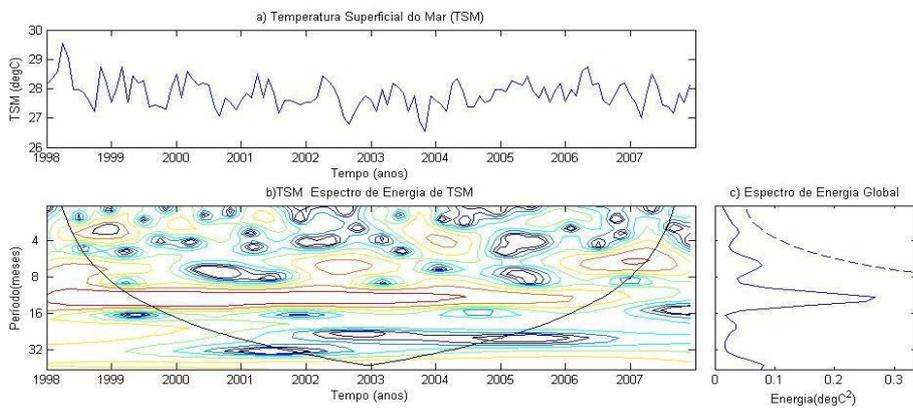


Figura 5: Valores da TSM de 1998 a 2007 para o Ponto2. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

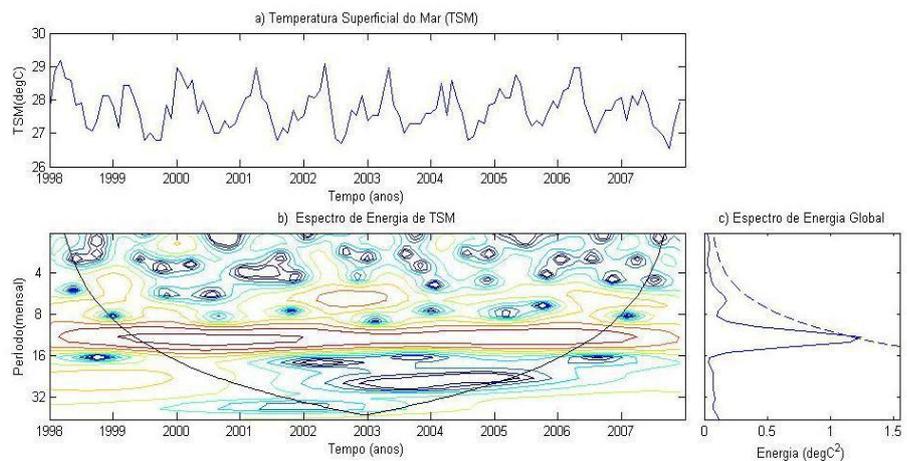


Figura 6: Valores da TSM de 1998 a 2007 para o Ponto3. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

As anomalias de vazão e TSM do Atlântico Equatorial apresentaram correlações positivas baixas para os três pontos (Tabela 2), o que reafirma os resultados das ondeletas sugerindo que a variabilidade da TSM não depende somente da vazão, mas sim, de outros processos possivelmente relacionados as variações interanuais como El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico.

Tabela 2: Correlação vazão e Tsm do Atlântico Equatorial.

<b>VAZÃO/TSM</b>	<b>CORRELAÇÃO</b>	<b>COEF.DE CORREL.</b>	<b>TESTE_T-STUDENT</b>
<b>vazão; P1</b>	0,062	0,06	<b>Não signif.</b>
<b>vazão; P2</b>	0,325	0,32	<b>99,50%</b>
<b>vazão; P3</b>	0,217	0,21	<b>99,50%</b>

As correlações de ROL e TSM não foram significativas (Tabela 3). Bomventi et al (2006) demonstraram que apesar da TSM ser elevada, os valores negativos de ROL não indicam, necessariamente, a presença de convecção profunda, o que sugere a influência de outras processos no regime pluviométrico local, além da variabilidade da TSM. Isto sugere que as ATSM locais não são explicadas pela variação da nebulosidade regional.

Tabela3: Correlações entre ROL e TSM do Atlântico Equatorial.

<b>ROL/TSM</b>	<b>CORRELAÇÃO</b>	<b>COEF.DE CORREL.</b>	<b>TESTE_T-STUDENT</b>
<b>ROL P1; TSMP1</b>	0,259	0,25	ñ signif.
<b>ROL P2; TSM P2</b>	-0,084	-0,08	ñ signif.
<b>ROL P3; TSM P3</b>	0,010	0,01	ñ signif.

Outra observação importante foi a correlação entre as anomalias das bacias do Atlântico Norte e Sul (Table 4) com as áreas de estudo, as correlações são opostas o que sugere mais uma vez a ocorrência de Dipolo e suas influências no Atlântico Equatorial.

Tabela 4: Correlações entre as bacias do Atlântico Norte e Atlântico Sul

	<b>CORREL. ATL-NORTE</b>	<b>COEF. CORREL(ATL-N)</b>	<b>CORR EL. ATL-SUL</b>	<b>COEF.CORREL(ATL-S)</b>	<b>TEST T-STUDENT</b>
<b>TS M P1</b>	<b>0,732</b>	<b>0,73</b>	<b>-0,693</b>	<b>-0,69</b>	<b>99,50%</b>
<b>TS M P2</b>	-0,351	-0,35	0,475	0,47	99,50%
<b>TS M P3</b>	<b>-0,625</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,757</b>	<b>0,75</b>	<b>99,50%</b>

#### 4. Conclusões:

As imagens do sensor AVHRR possibilitaram observar o deslocamento sazonal de uma faixa de água mais aquecida durante o ciclo de um ano. Esta variação no tempo e no espaço da TSM para esta região foi relatada anteriormente por Correa (2009).

As variabilidades da TSM das águas tropicais podem refletir a passagem do equador térmico, no sentido norte-sul. Segundo Torres e Machado (2008), o Equador térmico representa a máxima insolação superficial e naturalmente não coincide, na maior parte do ano, com o equador geográfico.

A análise de ondas MOSTROU a variabilidade da TSM ao longo DO período estudado, com médias de 28,24; 27,28 e 27,73 respectivamente para os pontos 1,2 e 3. As figuras 5(c) e 6(c) mostram que há um ciclo interanual para os três pontos e um ciclo sazonal apenas no ponto 2 e 3, sendo mais expressivo no ponto 2. Estes resultados sugerem que a influência das variabilidades de TSM na escala de 8 a 14 meses são maiores que na escala de quatro a seis meses para a região do Atlântico Equatorial próximo a costa do Norte do Brasil.

Os resultados descritos neste trabalho representam mais um esforço do grupo de pesquisa do Laboratório de Oceanografia Física (LOF/IG/UFGA) para o entendimento dos processos de interação oceano-atmosfera que se desenvolvem ao longo do litoral norte brasileiro.

**Agradecimentos:** aos laboratórios LAIT (Laboratório de Análise Intertropical) da UFGA e LOF (Laboratório de Oceanografia Física/IG/UFGA), nos quais pude desenvolver meu trabalho.

#### Referências Bibliográficas:

CATALDI, M.; ASSAD, L. P. F.; JUNIOR, A. R. T.; ALVES, J. L. D. **Estudo da influência das anomalias da TSM do Atlântico Sul extratropical na região da confluência Brasil Malvinas no regime hidrometeorológico de verão do sul e sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.4, 513 - 524, 2010.

BOMVENTI, T. N.; WAINER, I. E. K. C.; TASCETTO, A. S. Relação entre radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.24, n.4, 2006.

CORRÊA, S. C. **Variação Sazonal da clorofila A no Atlântico equatorial ocidental a partir de imagens de sensores remotos.** 2009. Monografia (Graduação em Oceanografia)-Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009, p. 197-212.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. . Clima da região Amazônica. In: I. F. CAVALCANTE, **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SILVA, A. C.; ARAÚJO, M.; BOURLÈS, B. Variação sazonal da estrutura de massas de água na Plataforma Continental do Amazonas e área oceânica adjacente. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.25, n.2, p 145-157, 2005.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**-3ª Ed-São Paulo: Markron Books, 1993.

TORRENCE, C; COMPO, G P. A Practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the american meteorology society.** v. 79, p. 61-78. Jan, 1998.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução a Climatologia.** 2008. 244p.