



PIBIC/CNPq/UFPG-2010

MONITORAMENTO DO NÍVEL DO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL NAS PROXIMIDADES DA COSTA DO NORDESTE DO BRASIL: ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DA TSM E DAS TÁBUAS DAS MARÉS PARA O PORTO DE CABEDELÓ-PB, MUCURÍPE-CE, RECIFE-PE E SALVADOR-BA

*Stephanny C. F. do Egito Costa*¹, *Manoel F. Gomes. Filho*²

RESUMO

A problemática do aumento do nível do mar está associada aos acréscimos da temperatura global, ao derretimento das geleiras, e a fusão das calotas glaciais em paralelo com a expansão térmica dos oceanos. As capitais do nordeste brasileiro experimentam esse tipo de problema por conta da descarga dos rios nos momentos de maré alta. Utilizando-se dados diários de janeiro de 1990 a dezembro de 2009 da tábua das marés - fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN do Ministério da defesa e dados da Temperatura da superfície do mar (TSM) para o oceano Atlântico obtidos através do NCEP, monitorou-se o nível do mar e o comportamento da TSM ao longo do período de estudo, com objetivo de analisar as tendências dos dados de TSM para o oceano Atlântico Tropical e das variações das tábuas das marés estimados para os portos de Cabedelo-PB, Mucuripe-CE, Recife-PE e Salvador-BA. A partir dos resultados obtidos, depreende-se que os episódios El Niño e La Niña dos anos 1997/1998/1999, pelo menos o primeiro foi de grande intensidade, influenciando os valores da TSM no período como os máximos das marés observadas.

Palavras-Chave: Mudanças climáticas; aumento do nível do mar; temperatura da superfície do mar

MONITORING OF THE LEVEL OF THE TROPICAL ATLANTIC OCEAN NEAR THE COAST OF NORTHEAST BRAZIL: ANALYSIS OF TEMPORAL VARIABILITY OF TSM AND BOARDS OF TIDES FOR PORT CABEDELÓ-PB, MUCURÍPE-CE, RECIFE-PE AND SALVADOR-BA

ABSTRACT

The problem of sea level rise is associated with increases in global temperature, the melting of glaciers and the melting of polar icecaps in parallel with the thermal expansion of the oceans. The capital of the northeastern Brazilian experience this problem due to the discharge of rivers in times of high tide. Using daily data from January 1990 to December 2009 the board of the tides - provided by the Directorate of Hydrography and Navigation - DHN Ministry of Defence and data on sea surface temperature (SST) to the Atlantic Ocean obtained from the NCEP, monitored to sea level and the behavior of the SST over the study period, aiming to analyze trends in SST data for the Tropical Atlantic Ocean and the tidal variations of boards estimated for the port of Cabedelo-PB, Mucuripe-CE, Recife-PE e Salvador-BA. From the results, it appears that El Niño events and La Niña years of 1997/1998/1999, at least the first was of great intensity, influencing the values of the SST in the period as the maximum tidal observed.

Keywords: Climate change, sea level rise, sea surface temperature

¹ Aluna do curso de Engenharia Civil, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: stephanny_egito@hotmail.com

² Meteorologia, Professor. Doutor, Unidade Acadêmica de Meteorologia, UFPG, Campina Grande, PB, Email: mano@dca.ufpb.br

INTRODUÇÃO

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos tropicais Pacífico e Atlântico é a principal variável física influenciadora das condições climáticas em várias áreas do globo. No Pacífico Tropical, a presença de eventos quentes (frios) denominados de El Niño (La Niña), com anomalias positivas (negativas) de TSM, causa fenômenos climáticos diferenciados em várias áreas do globo (Bjerknes, 1969; Rasmusson & Carpenter, 1982; Ropelewisk & Halpert, 1997).

Associado ao aumento da TSM global tem-se o derretimento das geleiras, a fusão das calotas glaciais em paralelo com a expansão térmica do oceano. Quando uma calota se funde, o volume de água diminui em um raio de 2000 km e aumenta progressivamente nas áreas afastadas elevando o nível do mar. Em 2007, um relatório do IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas), sugeriu que o nível do mar vai subir entre 0.19 m e 0.59 m até 2100, mas já em Copenhague-2009, cientistas falaram em 1 m ou mais, pois agora se considera o derretimento das calotas que antes não tinha sido cogitado. Caso estas projeções sejam confirmadas, as regiões litorâneas baixas correm mais riscos de inundação e marés repentinas. Ilhas do Pacífico, Vietnã, Bangladesh, México, Caribe, Equador, Flórida e Nova York são considerados mais susceptíveis ao referido avanço marítimo que promete inundar áreas costeiras, o que se torna extremamente preocupante quando associado ao crescimento da urbanização e do turismo, forçando imigrações humanas já que aproximadamente 10 % da população mundial vive em áreas baixas, desencadeando também, indicadores econômicos, que neste caso seria o prejuízo de valores imobiliários, das infra-estruturas portuárias, das defesas contra inundações e setores da indústria. Outra implicação potencialmente devastadora sobre o avanço do mar na região costeira será o prejuízo natural, relacionado às mudanças das interações químicas, físicas e biológicas que acontecem com grande intensidade nessas regiões. Este tipo de ameaça de estende a pesca, ao poder erosivo sobre os cordões dunares e as praias.

Restringindo as análises para o nordeste brasileiro, sabe-se que grande parte das suas capitais encontra-se situada na zona costeira atlântica, ao nível do mar. Durante muito tempo essas cidades experimentaram problemas de inundação, por conta da descarga dos rios nos momentos de maré alta. Grandes somas em dinheiro foram gastas para se criar barragens nos rios ou áreas de escape para o excesso das águas nas horas de pico das marés. Nas duas últimas décadas, apesar dos esforços realizados, as áreas de praia foram duramente castigadas pelas marés, ruas inteiras sucumbiram ao oceano nas principais capitais do nordeste.

Recife, capital do estado de Pernambuco, foi apontada como umas das cidades brasileiras que mais sofrerá com o aumento do nível do mar. Esta triste e desastrosa indicação se dá pelo fato de estar situada em uma planície de cotas baixas com altitude média variando entre 2 e 4 metros e ainda possuir uma grande rede hidrográfica, agravando ainda mais o problema tem-se a grande ocupação de mangues e áreas alagadiças. O aumento do nível do mar reduzirá a largura das praias, fará com que os rios transbordem, os canais inuntem e os mangues sejam cobertos, a soma desses fatores levará a realocação de parte da população e da fauna dos manguezais, prejuízo devastador!

Deste modo, o objetivo deste trabalho é analisar as tendências dos dados de TSM para o oceano Atlântico Tropical e das variações das tábuas das marés estimadas para os portos de Cabedelo-PB, Mucuripe-CE, Recife-PE e Salvador-BA.

MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizados dados diários de janeiro de 1990 a dezembro de 2009 das tábuas das marés (TM) para os portos de Cabedelo-PB (Lat.: -06° 58' 52" Long.: 34° 50' 02"), Mucuripe-CE (Lat.: -03° 43' 02" Long.: 38° 32' 35"), Recife-PE (Lat.: -08° 03' 14" Long.: 34° 52' 52") e Salvador-BA (Lat.: -12° 58' 16" Long.: 38° 30' 39"), Figura 1, fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN do Ministério da Defesa, com as séries dos valores das TM, determinou-se a média semanal dos valores máximos diários. Os dados semanais da Temperatura da superfície do mar (TSM) para o oceano Atlântico foram obtidos através do NCEP. A grade utilizada está localizada entre 10° N e 30° S e entre 10° W e 65°W, o espaço de grade para a análise dos dados de médias semanais de TSM está em uma resolução de 2.0 ° para ambas latitude e longitude num período de 1990 a 2010. A segunda parte do estudo consistiu na análise do comportamento dos dados de TM e TSM para a região próxima ao porto de Salvador-BA. Quanto à correlação entre a TSM e a maré máxima, as séries estudadas são referentes aos anos de 1990 a 2009 para o oceano Atlântico Tropical e os portos de Recife-PE, Salvador-BA, Cabedelo-PB e Mucuripe-CE.. Para tanto foram utilizados os coeficientes de determinação e de correlação calculados pela equação (1) e (2), respectivamente:

$$r^2 = \frac{a \sum y + b \sum xy - n(\bar{y})^2}{\sum y^2 - n(\bar{y})^2} \quad (1)$$

em que: y é o valor médio da variável dependente, X é o valor médio da variável independente, a é o ponto onde a reta toca o eixo y e b é o coeficiente angular da reta, n é o número de dado da amostra.

O coeficiente de correlação é dado pela equação (2):

$$r = \sqrt{r^2} \quad (2)$$

em que: r^2 é o coeficiente de determinação e r coeficiente de correlação.

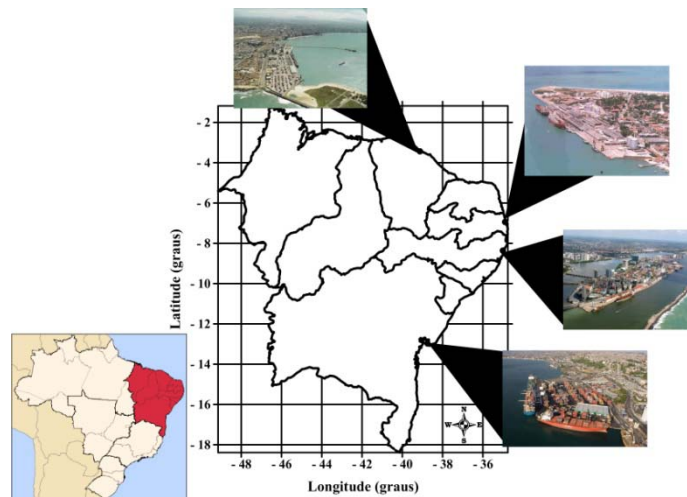


Figura 1. Localização do porto de Cabedelo, Mucuripe, Recife e Salvador

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foi analisada a possível influência da TSM do Atlântico Tropical sobre as estimativas das tábuas das marés para os portos de Recife-PE, Salvador-BA, Cabedelo-PB e Mucuripe-CE. Registros sobre os eventos climatológicos La Niña e El Niño são encontrados na Tabela 1. Analisando as tendências da TSM (Figura 2) observou-se que para o período de 1990 a 2009 verifica-se uma normalidade para o período entre 1990-1995 e entre 2000-2005, e tendência negativa para o período de 1995-2000 e entre 2005-2009 da temperatura média semanal de cada ano. De forma geral observa-se um valor médio de TSM entre 25,4 °C, com máximo em torno dos 26,7 °C e mínimo 23,7 °C. Os valores máximos tendem a ser registrado nos meses de março e abril ao longo dos anos estudados, justificado pela maior oferta de energia no período do verão, como o aquecimento de corpos d'água dá-se de maneira mais lenta que superfícies continentais, os maiores valores de TSM são verificados na transição de verão-outono. O processo de resfriamento também é retardado, sendo os menores valores de TSM registrados entre os meses de julho e agosto, tal período é caracterizado pela estação de inverno no hemisfério sul, onde a oferta de energia é menor que no período do verão. A ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña não foram significativos na variabilidade do comportamento do registro da TSM. Todavia para o ano de 1997-1998 (Figura 2B), quando ocorreu um evento de El Niño forte, o valor máximo de TSM foi de 27,0 °C antecedido de um mínimo de 24,0 °C, valores esses superiores as médias máximas e mínimas ao longo do período de estudo.

Tabela 1. Anos de atuação dos sistemas El Niño e La Niña e respectivas intensidades

EVENTO	ANO	INTENSIDADE
El Niño	1982-83	Forte
La Niña	1984	Fraca
El Niño	1988	Moderado
La Niña	1989	Forte
El Niño	1997-98	Forte
La Niña	1999	Fraca
El Niño	2004	Fraca

Fonte: Adaptado de [HTTP://www.climerh.ret-se/elnino](http://www.climerh.ret-se/elnino)

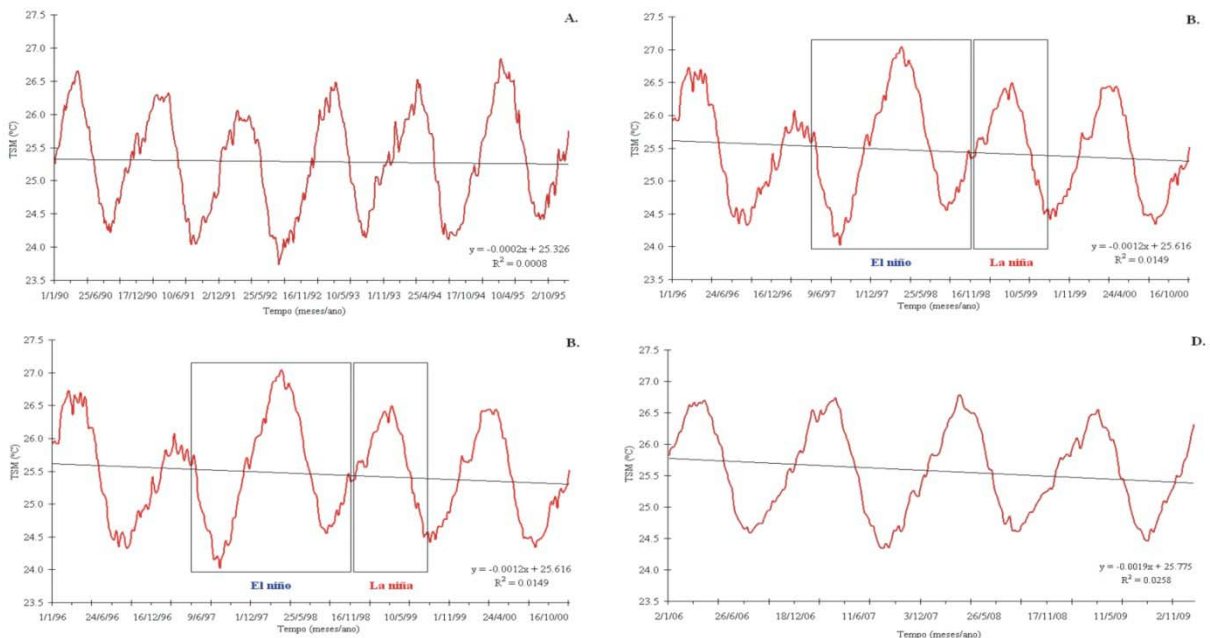


Figura 2. Variação média semanal da TSM do oceano Atlântico Tropical para o período de 1990-1995 (A), 1995-2000 (B), 2000-2005 (C) e 2005-2009 (D).

De acordo com as Figuras 3,4,5 e 6 são verificados para Cabedelo-PB, Mucuripe-CE, Recife-PE e Salvador-BA os comportamentos da variação média semanal das tábuas das marés e da TSM do Atlântico Tropical para o período de 1990-1995 (Figuras 3A, 4A, 5A e 6A), 1995-2000 (Figuras 3B, 4B, 5B e 6B), 2000-2005 (Figura 3C, 4C, 5C e 6C) e 2005-2009 (Figura 3D, 4D, 5D e 6D).

Na Figura 3A e 3D, os máximos valores da tábua da maré se encontram durante o primeiro semestre de cada ano, enquanto nas figuras 3B e 3C, esses valores estão no segundo semestre. Os períodos de menor variabilidade de maré são os opostos aos dos máximos valores.

Para a figura 4A os máximos valores da tábua da maré ocorrem em predominância para o segundo semestre de cada ano. Na figura 4B e 4C esses máximos oscilam entre o primeiro e o segundo semestre, enquanto na figura 4D a predominância de maré alta para o período de 2006 a 2009 se encontra no primeiro semestre. Esta série apresenta maior variabilidade dos valores das marés, em comparação com os demais portos analisados.

Nas figuras 5A, 5B e 5C os máximos valores da tábua da maré oscilam durante todo ano, enquanto na figura 5D pode-se observar maior oscilação dos máximos e menor variabilidade em comparação com os demais portos estudados.

Para a figura 6 observam-se os máximos valores da tábua da maré para o período entre os meses de julho a dezembro, com os meses de agosto e setembro ocorrendo as marés mais altas. Também é verificado menor oscilação dos limites inferiores e superiores nos meses de novembro e dezembro, onde a diferença entre a alta e baixa maré é amenizada.

De forma geral analisando o comportamento da série temporal da tábua da maré em paralelo com a da TSM, têm-se um retardamento entre os máximos da tábua em relação aos máximos de TSM. Todavia utilizando-se da tendência da média móvel para os valores da tábua da maré, o comportamento se aproxima bastante ao verificado para a TSM, tendo o Porto de Cabedelo-PB com melhor sincronia em relação a TSM. Contudo a partir das Figuras 7, 8, 9 e 10 não foram observadas nenhuma correlação entre os dados de maré máxima e os valores semanais de TSM. Este resultado pode ser justificado pelo uso de apenas um ponto de registro das marés, o uso de dados de marégrafos e da tábua das marés de toda a costa do nordeste pode ajudar no estudo de correlações dessa natureza.

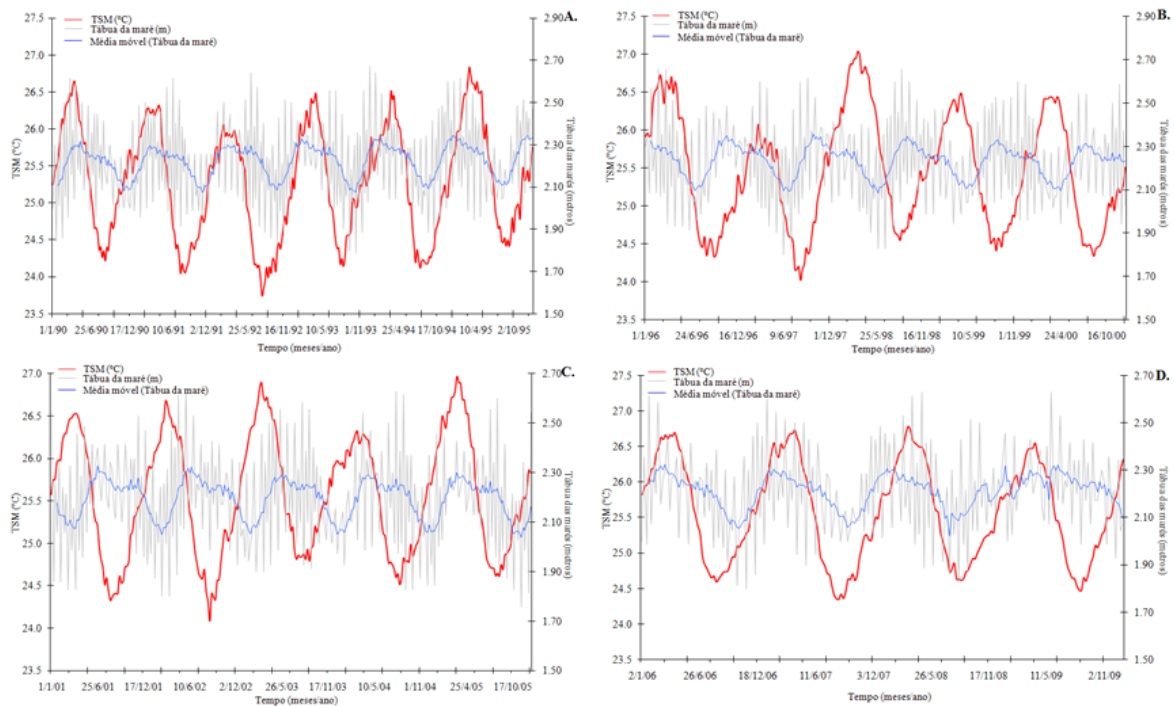


Figura 3. Variação média semanal das tábuas das marés e da TSM para o período de 1990-1995 (A), 1995-2000 (B), 2000-2005 (C) e 2005-2009 (D), para o porto de Cabedelo-PB e o oceano Atlântico Tropical, respectivamente.

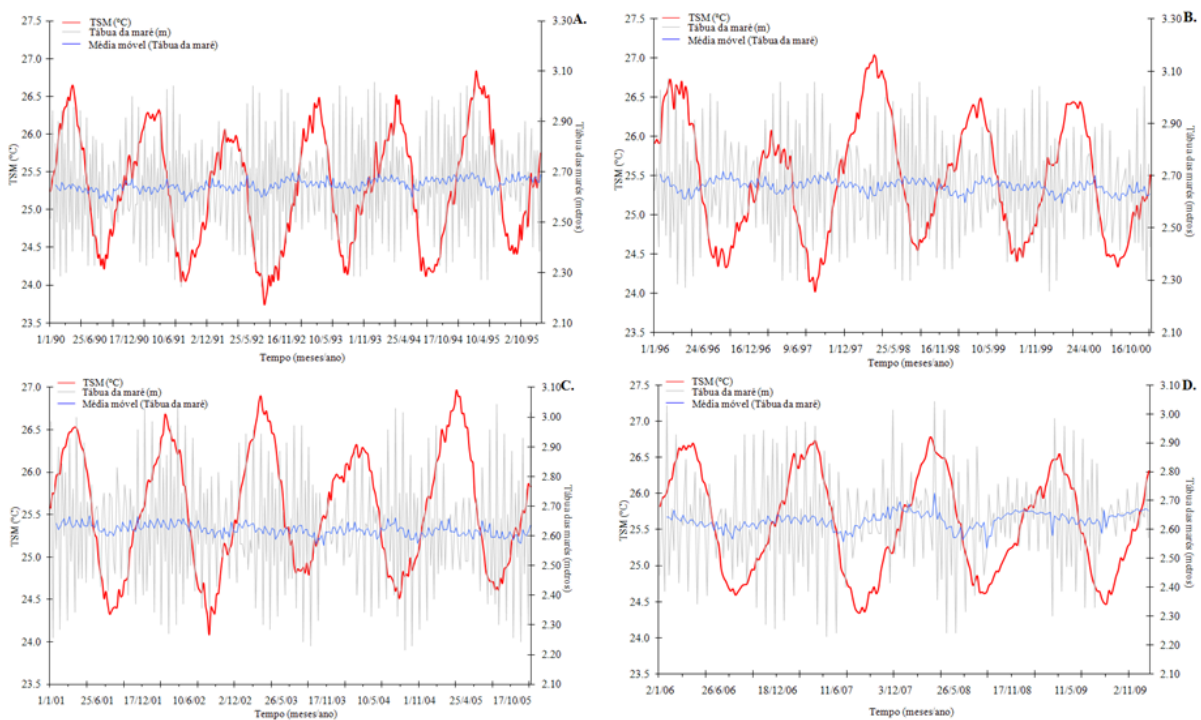


Figura 4. Variação média semanal das tábuas das marés e da TSM para o período de 1990-1995 (A), 1995-2000 (B), 2000-2005 (C) e 2005-2009 (D), para o porto do Mucuripe-CE e o oceano Atlântico Tropical, respectivamente.

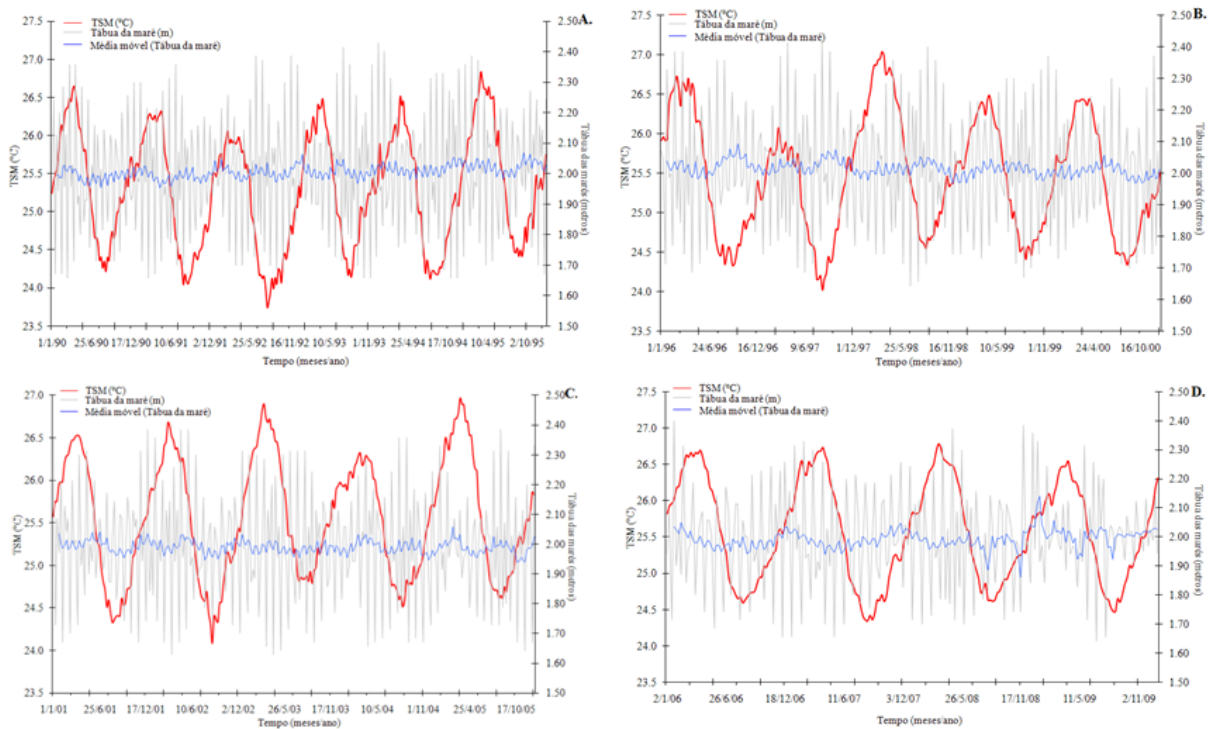


Figura 5. Variação média semanal das tábuas das marés e da TSM para o período de 1990-1995 (A), 1995-2000 (B), 2000-2005 (C) e 2005-2009 (D), para o porto de Recife-PE e o oceano Atlântico Tropical, respectivamente.

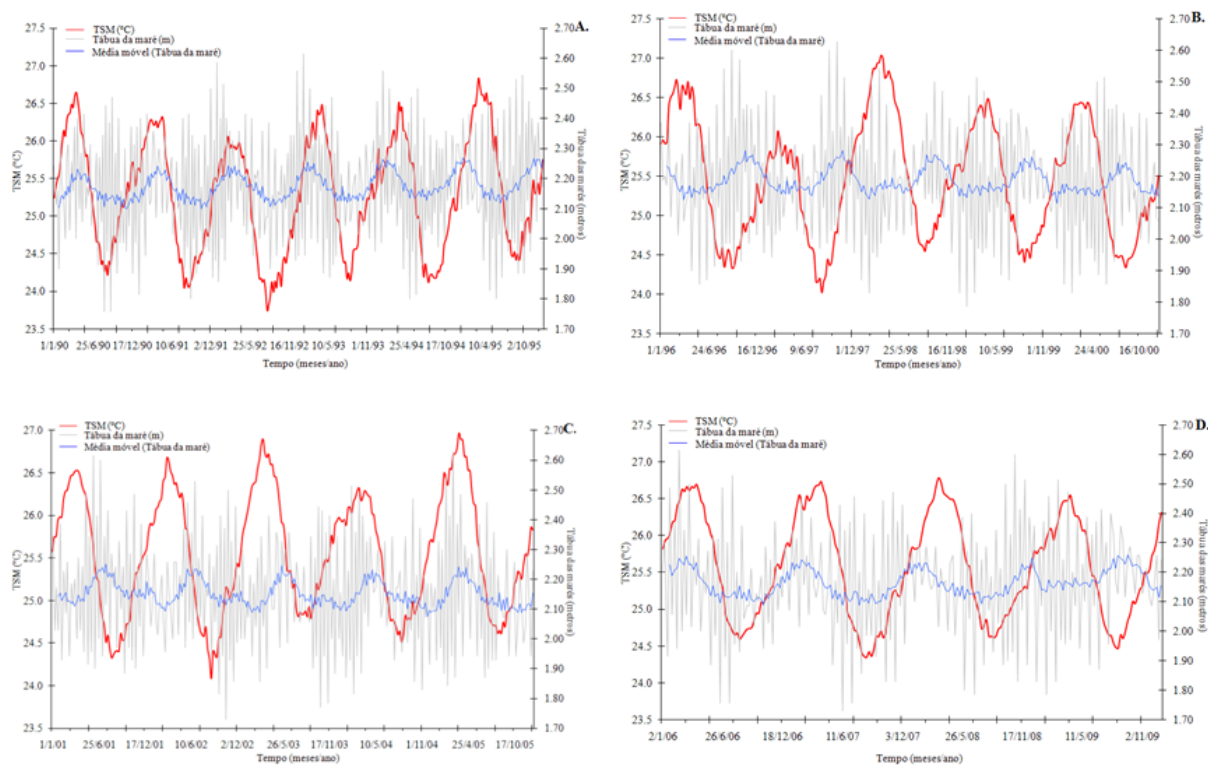


Figura 6. Variação média semanal das tábuas das marés e da TSM para o período de 1990-1995 (A), 1995-2000 (B), 2000-2005 (C) e 2005-2009 (D), para o porto de Salvador-BA e o oceano Atlântico Tropical, respectivamente.

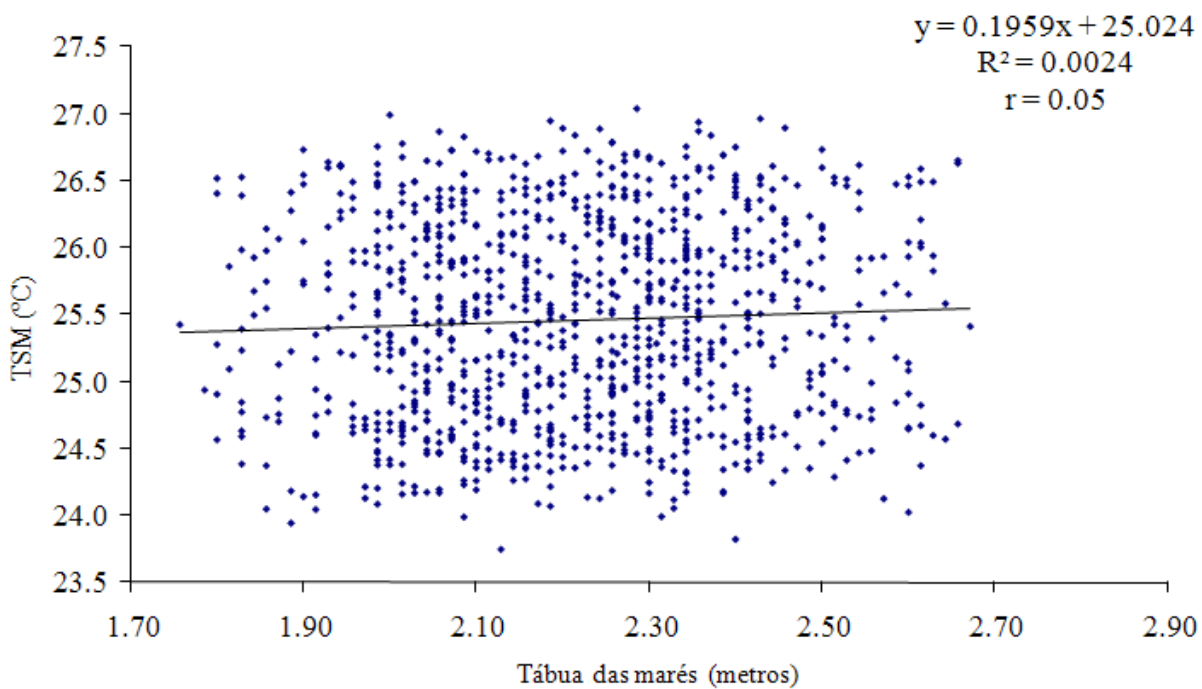


Figura 7. Correlação entre a TSM e maré máxima as séries estudadas são referentes aos anos de 1990 a 2009 para o oceano Atlântico Tropical e o Porto de Cabedelo-PB.

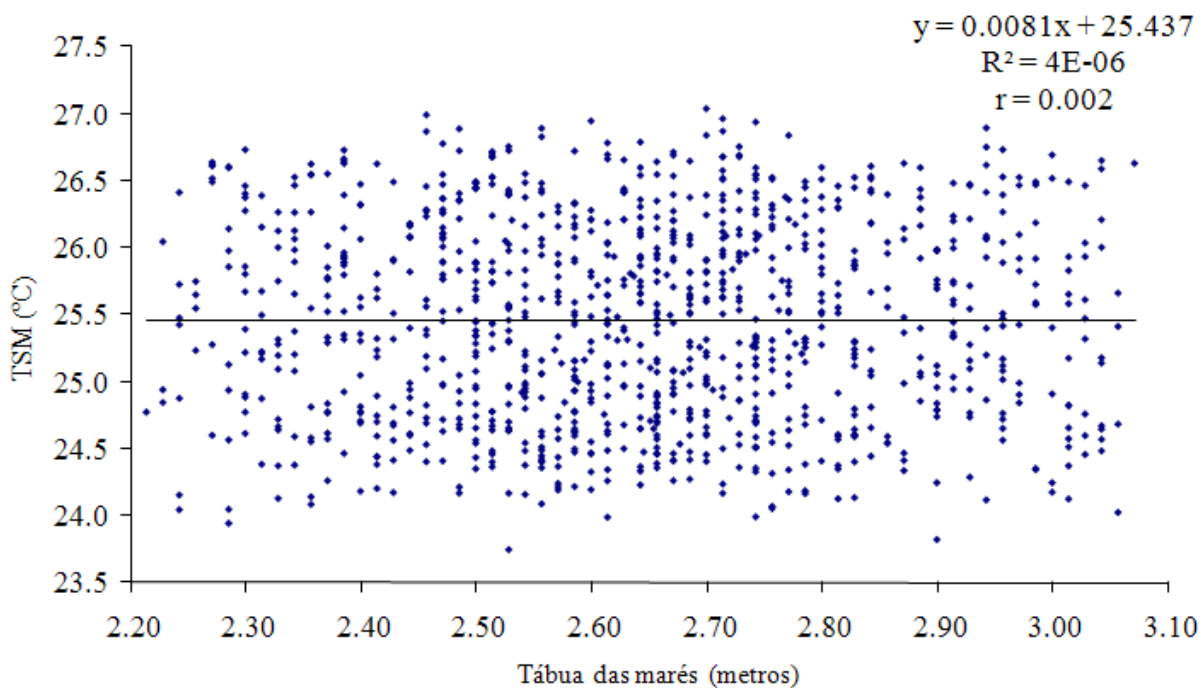


Figura 8. Correlação entre a TSM e maré máxima as séries estudadas são referentes aos anos de 1990 a 2009 para o oceano Atlântico Tropical e o Porto do Mucuripe-CE.

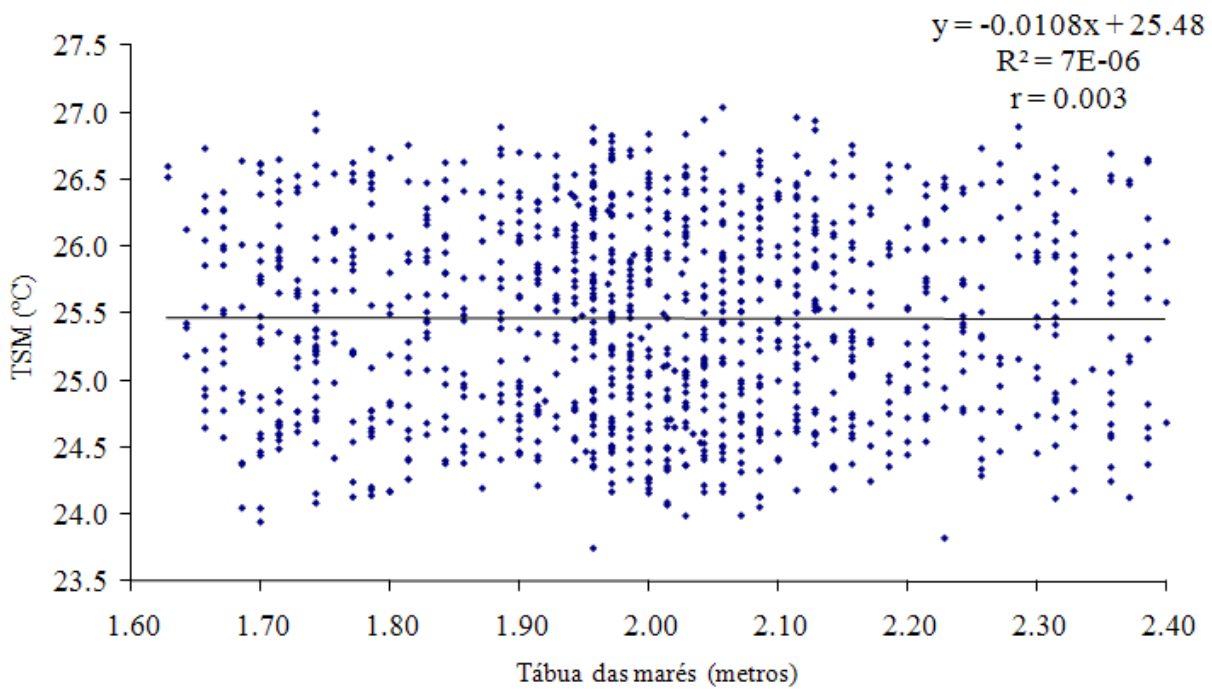


Figura 9. Correlação entre a TSM e maré máxima as séries estudadas são referentes aos anos de 1990 a 2009 para o oceano Atlântico Tropical e o Porto de Recife-PE.

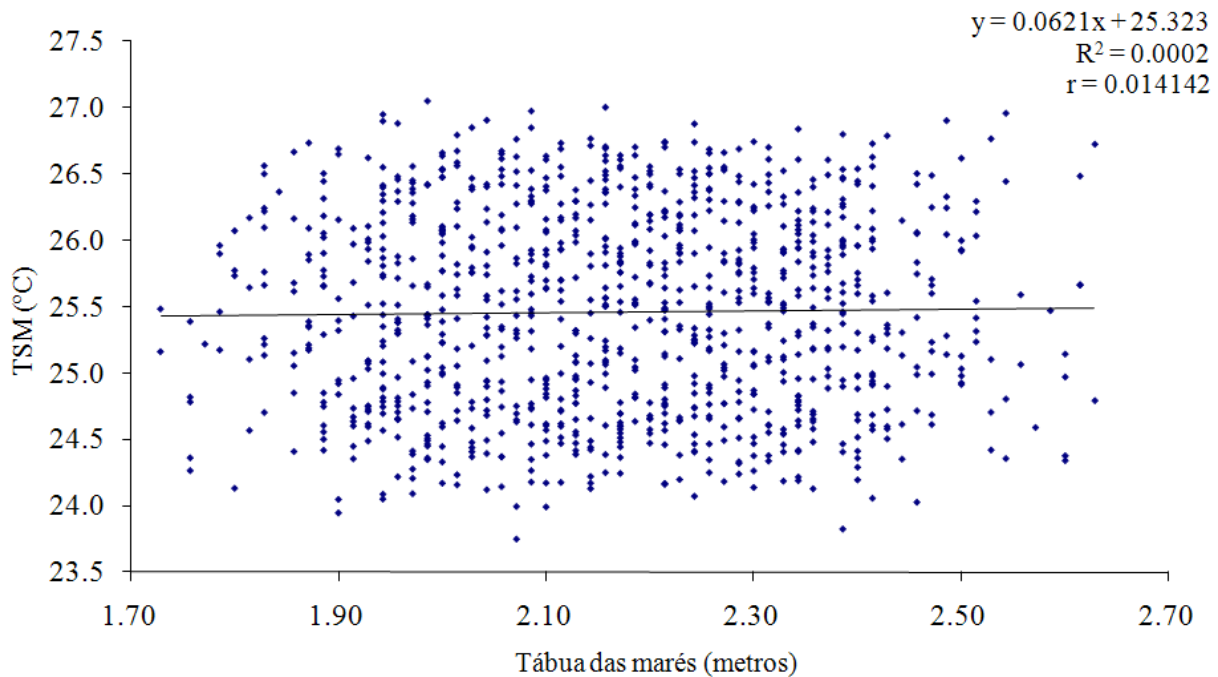


Figura 10. Correlação entre a TSM e maré máxima as séries estudadas são referentes aos anos de 1990 a 2009 para o oceano Atlântico Tropical e o Porto de Salvador-BA.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, depreende-se que os episódios El Niño e La Niña dos anos 1997/1998/1999, pelo menos o primeiro foi de grande intensidade, influenciaram tanto os valores das TSM no período como os máximos das marés observadas nas figuras 2, 3, 4, 5 e 6. Nota-se que embora as curvas de TSM apresentem uma ligeira tendência de decréscimo, as correspondentes curvas das marés permanecem mostrando nenhuma tendência de aumento ou decréscimo, com exceção do Porto de Cabedelo-PB, indicando que o nível médio do mar, permaneceu constante nesse período.

AGRADECIMENTOS: Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, e ao Departamento de Hidrografia e Navegação na pessoa do senhor Jorge Carvalho encarregado da Seção de Intercâmbio de Dados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, v.97, p.163-172. 1969.

Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN (tábuas das marés). Disponível em: <[http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas%20das%20marés)>. Acesso em: abr. 2010

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. J. M. McCarthy et al., editors. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1032 pp., 2001.

National Centers for Environmental Prediction – NCEP. Disponível em: <<http://nomad3.ncep.noaa.gov/>>. Acesso em: abr. 2010

RASMUSSON, F. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, v. 110, n.5, p.354-384. 1982.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626. 1997.