Monitoramento do Nível do Oceano Atlântico Tropical nas Proximidades da Costa do Nordeste do Brasil: Projeto proMarés

Manoel F. Gomes Filho[1], Daisy Beserra de Lucena[2], Jacques Servain[3] Julliana Larise Mendonça Freire[4] e Lais Alves Santos[5]

[1] Prof. Dr. Departamento Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande - PB;
[2]Dra. Meteorologia, Pesquisadora do projeto sem vínculo empregatício;
[3]Pesquisador, Funceme/IRD/LOCEAN, Paris – França;
[4]Estudante Meteorologia, bolsista PIBIC/CNPq/UFCG, Campina Grande;
[5]Estudante Meteorologia, bolsista PIVIC/CNPq/UFCG, Campina Grande.

RESUMO

Apresenta-se uma descrição do projeto ProMarés, que representa uma tentativa de monitorar, através da instalação de marégrafos na costa do Nordeste do Brasil, o aumento do nível do mar na área do Oceano Atlântico Tropical. Inicialmente, devido a questões ligadas ao financiamento do projeto, será instalado um único marégrafo sônico no porto de Cabedelo na grande João Pessoa. Os dados gerados por este equipamento serão disponibilizados em uma página WEB que já está em construção cujo endereço será: www.dca.ufcg.edu.br/promares. O projeto cujo financiamento está sendo feito pelo CNPq (edital universal 2008) tem prazo previsto para terminar até 2010.

Palavras chave: nível do mar, marés, monitoramento, destruição costeira.

INTRODUÇÃO

Grande parte das capitais do nordeste do Brasil 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, especialmente Recife/Olinda e João Pessoa, alvo principal deste trabalho. Na orla marítima de Olinda, bares tradicionais como o "Bar da Agulha Frita", a "Palhoça do Zé Pequeno" e o "Bar do Goiamum" tiveram que ser transferidos para o outro lado da Avenida Senador Marcos Freire (beira mar), por falta de condições de sustentabilidade, uma vez que a muralha de proteção foi derrubada pelas ondas. Em João Pessoa o problema é idêntico: a Avenida Arthur Monteiro de Paiva perdeu mais que a metade da sua extensão ao longo da orla e do mesmo modo que em Recife, alguns bares da orla tiveram que ser transferidos para a Avenida Governador Argemiro de Figueiredo, no bairro de Camboinha, por exemplo. O ponto mais oriental das Américas, que fica localizado na "Ponta do Seixas" em Tambaú, João Pessoa, onde está localizado o Farol do Cabo Branco, marco conhecido internacionalmente, também está sofrendo com a força da maré e já perdeu parte de seu mirante, não estando mesmo descartada que em alguns anos, se nada for feito para proteção, a perda do farol.

EVIDÊNCIAS OBSERVACIONAIS

A seqüência de figuras mostrada a seguir (Figs. 1-5), sugere que nos últimos quinze ou vinte anos, o oceano avançou sobre as regiões praieiras das principais capitais do nordeste, provocando

desabamentos de muros de arrimo, partes de casas situadas à beira mar e até fazendo desaparecer ruas inteiras ou partes delas. Para não ser repetitivo, mostram-se apenas situações observadas em João Pessoa (Figs. 1-3) e Olinda (Figs. 4-5).

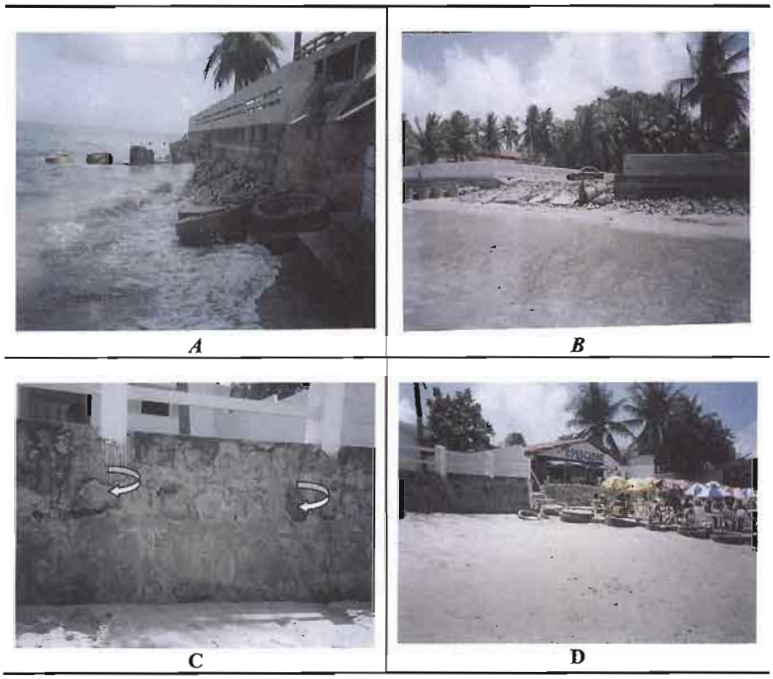
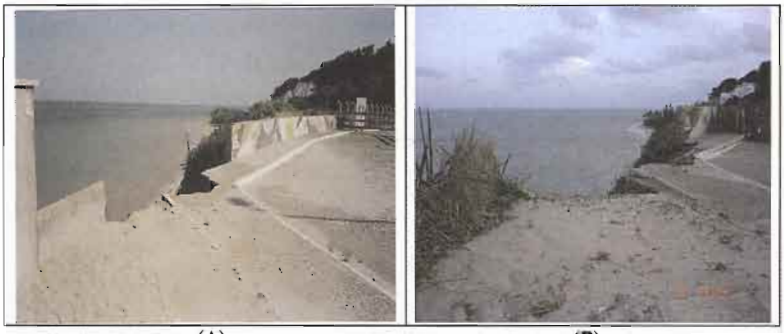


Figura 1 *– Imagem do avanço do mar sobre o continente na área da Praia do Bessa em João Pessoa, capital do estado da Paraíba, observado em janeiro de 2005. As setas mostram desgastes da muralha de proteção provocados pela maré alta.*

Como se pode ver na figura 1, a Avenida Arthur Monteiro Paiva, perdeu grande trecho de calçamento na praia do Bessa, fazendo com que os bares localizados à sua margem



(A) (B)

Figura 2 *– Destruição do mirante do Farol do Cabo Branco, em Ponta do Seixas, ponto mais oriental das Américas, em João Pessoa – PB. Fotos obtidas em janeiro de 2005 (A) e janeiro de 2006 (B).*

Figura 3 *– Mapa de parte da Cidade de João Pessoa, bairro e praia do Bessa. No destaque (em vermelho), a área do bar "**O Pescador**" mostrado na foto da figura 3-D. A Avenida Arthur Monteiro de Paiva nesse trecho (a primeira mais à leste), não existe mais, foi tragada pela maré.*

tivessem que providenciar proteção ante a força das ondas, como mostrado nas figuras 3A a 3D. Há não mais que dez anos atrás, se alguém consultasse as tábuas das marés em Cabedelo, poderia constatar uma variação entre a baixa-mar e a preamar da ordem de 0,50m a 1,50m. Hoje essa variação é de 0,10m a 2,80m, observada em agosto/2007.

Uma análise inicial dos dados diários do nível médio do mar no Porto de Cabedelo, em João Pessoa e Recife, fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil para os últimos cinco anos, ou seja, janeiro de 2002 a março de 2007 revela que no mês de janeiro, esse nível passou de 1,18 m, para 1,34 m com um aumento de 0,16 m em cinco anos. Entretanto, precisa-se de uma série temporal mais extensa para que se possa tirar conclusões mais concisas sobre essa variação, que não é pequena, pois se esse aumento for linear como mostram as figuras 7 e 8, 16 centímetros em cinco anos, pode significar que esse nível poderia chegar a 160 centímetros no ano 2050, um aumento muito maior do que o previsto em todos os estudos divulgados sobre o assunto até o presente momento.

Figura 4 *– Orla de Olinda, Avenida Senador Marcos Freire, onde se podem notar as obras de contenção do avanço do mar onde outrora existiam os bares que foram transferidos para o lado esquerdo da avenida.*

DADOS E METODOLOGIA

Dados Utilizados

Os dados que serão utilizados neste trabalho são imagens captadas em fotografias tiradas *in situ* da situação atual das praias enfocadas, imagens antigas, quando a situação ainda estava sob controle, mapas antigos e dados diários das tábuas das marés fornecidas pela Diretoria e Hidrografia e Navegação - DHN do Ministério da Marinha, disponibilizados em seu sítio eletrônico e algumas séries de variáveis climáticas pertinentes ao trabalho disponíveis no Departamento de Ciências atmosféricas da UFCG. Além destes, usam-se também dados da climatologia para o período 1948 a 1997 do modelo francês ARPÉGE, além de dados do IRI/USA.

Figura 5 *– Vista da praia do Janga em Olinda, com o que restou de uma rua após o mar ter destruído o muro de contenção e levado o calçamento. No canto inferior esquerdo, uma "boca de lobo" do sistema de esgoto. Ao fundo, lado direito na parte superior, os arrecifes naturais receberam reforço de pedras.*

Metodologia

A metodologia utilizada foi a análise dos dados obtidos no início deste ano de 2005, para comparação com material antigo, análise das séries de dados das variáveis climáticas para verificar possíveis tendências que identifiquem uma mudança climática. Também foram analisados inicialmente arquivos antigos de tábuas das marés em João Pessoa e Recife para comprovação do aumento do nível médio do mar (diferença entre a maré máxima e a mínima). Se necessário, em etapa futura, poderá ser realizada uma análise da série temporal dos dados de marés, precipitação e temperatura do ar para a região estudada provavelmente utilizando-se séries harmônicas de Fourier para se determinar se há tendências de aumento ou diminuição no tempo, intrínsecas às séries dos dados.

Séries Harmônicas

Poderão ser usadas para se estudar as variações do nível do mar, as séries harmônicas dadas por:

$$X_t = a_0 + \sum_{k=1}^{k=N} [a_k \cos(l_k . t) + b_k sen(l_k . t)]$$

Na qual, $k = 1, N$ representa o tamanho da série de dados e X_t é a altura em metros correspondente ao nível do mar.

$\lambda = 2\pi n_k$ é a freqüência expressa em termos de radianos por unidade de tempo e $n_k = \frac{k}{N}$.

Estatísticas

Algumas estatísticas foram realizadas com os dados e são basicamente:

A média dos valores observados, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$

Os desvios em relação a essa média,

$$d_i = x_i - \overline{x}$$

RESULTADOS PRELIMINARES

(Sem o uso dos marégrafos)

As primeiras análises dos valores diários das marés para as localidades de Cabedelo (porto) e Recife (porto) figuras 7 e 8 respectivamente, apresentam uma tendência de aumento do nível do mar naquelas localidades, que está destacado pela linha branca sobre o gráfico, confirmando o que já havíamos observado através dos valores médios mensais das marés que são disponibilizados na página da DHN na Internet. Examinando aqueles dados, nota-se que, nestes últimos cinco (05) anos, há uma tendência clara de aumento, que como já foi mencionado, o nível médio do mar aumenta de 1,18 para 1,34 metros, somando 0,16 metros nestes anos. Evidentemente, isto é muito pouco quando pensamos em uma escala de clima, porém, pode significar uma justificativa para os danos causados ao longo da costa do nordeste, uma vez que essa tendência também pode ser observada em outras localidades da região.

A figura 8 abaixo mostra através de anomalias de temperatura da superfície do mar obtidas do IRI/USA, para a área adjacente à costa do Nordeste, próximo à Paraíba e Pernambuco, que no período de 1990 até 1992, as temperaturas apresentavam valores acima da média, o que se reflete nas anomalias positivas apresentadas pelo gráfico, e o mais importante, há uma tendência crescente das temperaturas da superfície do mar nessa área, assim como também, a tendência de aumento do nível do mar [Gomes Filho, 2006 A e B]. Resultados obtidos com o modelo ARPÉGE da França (Figs 9-10) apresentam anomalias de tsm com tendência crescente desde os anos quarenta (1948) como mostra a figura 10 e que esta tendência ainda persiste até hoje. Além disso, os dados do pseudo-stress do vento (Fig. 9), climatologia 1947 a 1998 apresentam valores negativos, o que indica que o vento está forçando as águas de leste para oeste,

numa tendência de acumular água na área da costa nordestina o que também explicaria o aumento do nível do mar neste setor.

Nesta análise preliminar apresentam-se apenas duas estações (Cabedelo e Recife), porém os dados de outras estações tais como Fortaleza, Fernando de Noronha, Natal, Maceió, Aracaju, e Salvador já estão disponíveis para análise, inclusive para as análises estatísticas.

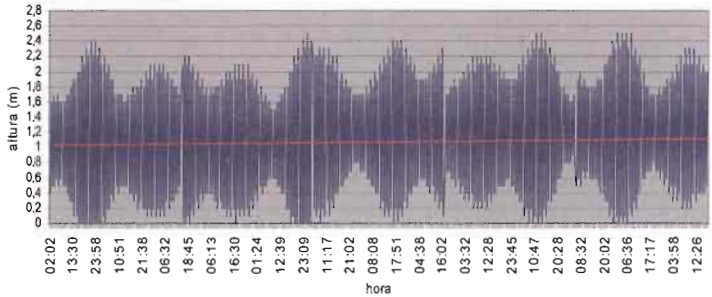


Figura 6 *– Diagrama mostrando a variabilidade do nível diário das marés no porto de Cabedelo para todos os meses de janeiro no período de 2001 a 2005. A linha vermelha sobre o gráfico mostra a tendência de aumento do nível médio do mar naquela estação nos últimos cinco anos.*

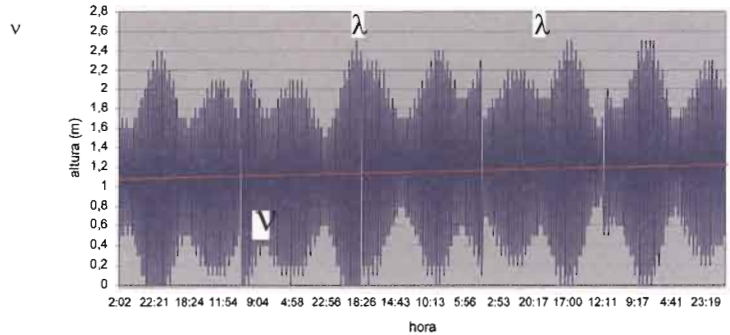


Figura 7 *– Diagrama mostrando a variabilidade do nível diário das marés no porto de Recife para todos os meses de janeiro no período de 2001 a 2005. A linha vermelha sobre o gráfico mostra a tendência de aumento do nível médio do mar naquela estação nos últimos cinco anos.*

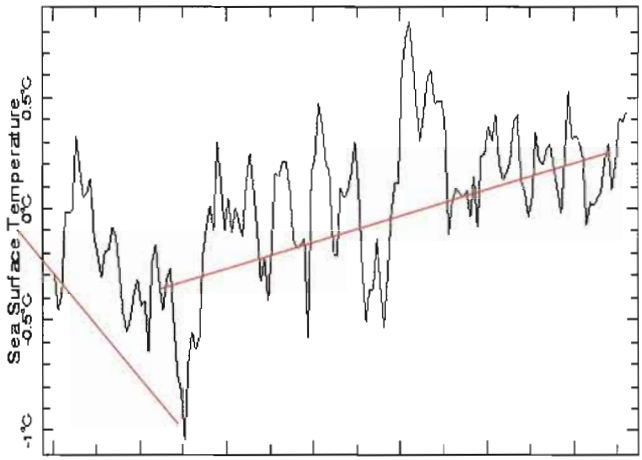


Figura 8 *– Anomalias de temperatura da superfície do mar para todos os meses de janeiro desde 1990 até 2003, dados pelo IRI/USA para a área do Oceano Atlântico adjacente aos estados de Pernambuco e Paraíba. Notem-se as tendências decrescentes no início dos anos noventa e crescentes de 1993 a 2003. As tendências estão destacadas em vermelho.*

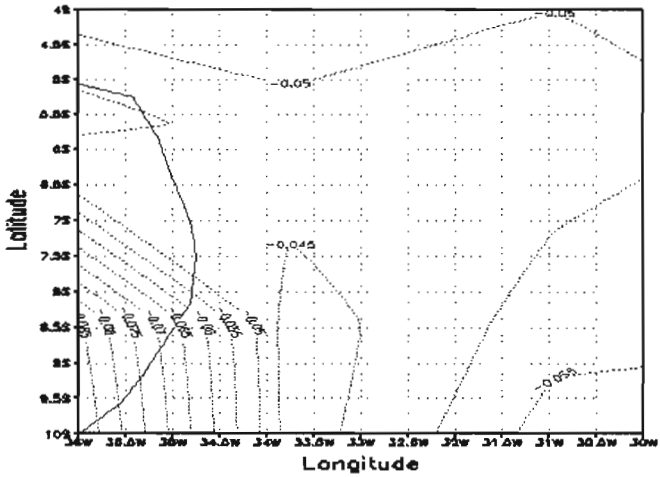


Figura 9 *– Pseudo-stress do vento, dados pelo modelo ARPÈGE. Note-se que há uma tendência de acumular água no lado oeste da bacia do Atlântico na área estudada.*

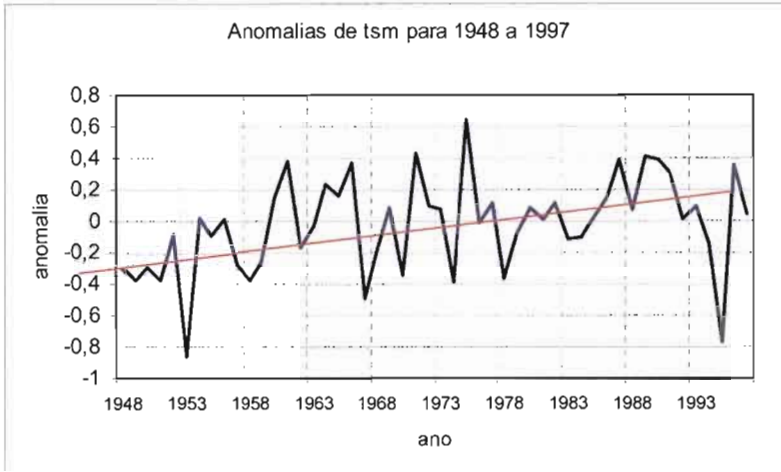


Figura 10 *– Anomalias de temperatura da superfície do mar para a área adjacente à costa do Nordeste, segundo a climatologia do modelo ARPÈGE para o período entre 1948 a 1997. Note-se a tendência crescente representada pela linha vermelha sobre o gráfico.*

O MONITORAMENTO COSTEIRO

A Região Nordeste do Brasil, apesar de ser uma das regiões mais afetadas pelo avanço do mar decorrente do aumento de seu nível, não possui sequer um marégrafo que indique a magnitude desse avanço. Torna-se imperativo o monitoramento desse nível em toda costa nordestina, a partir de observações *in situ* e através de dados de marés fornecidos pela Diretoria de Hidrografia e navegação da Marinhado do Brasil e análise matemática da série de dados históricos para se detectar tendências de aumento do nível médio do mar.

Pretende-se iniciar nesta etapa, a depender do financiamento ora solicitado, a instalação de alguns marégrafos geodesicamente referenciados, para se medir de forma sistemática, o aumento do nível do mar na costa nordestina e o conseqüente avanço do mar sobre as áreas costeiras. Serão instalados três marégrafos com elemento sensível ultrasônico (ver foto na Fig. 11 adiante), nos portos de Cabedelo na Paraíba, Recife em Pernambuco e

Maceió em Alagoas. Os dados gerados pelos marégrafos nessas localidades serão armazenados de forma contínua em datalogger e recuperados a partir de Laptop adquirido com recursos do projeto para esse fim. Com esses dados será possível construir uma série temporal das informações para posterior análise de tendência de aumento do nível do mar. Todas informações geradas pelo projeto, serão disponibilizadas em uma página WEB que está sendo construída para esse fim - www.dca.ufcg.edu.br/promares/

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho faz parte do Projeto de cooperação científico franco-brasileiro IRD-CNPq CATIN "Climat de l'Atlantique Tropical et Impacts sur le Nordeste" (Processo CNPq 492690/2004-9).

Figura 11 *– Marégrafo que será usado neste projeto em processo de aquisição - DCU7110 Ultrasonic Water Level Sensor. (fabricante VAÏSALA)*

BIBLIOGRAFIA

Diretoria de Hidrografia e Navegação - tábuas das marés. Sítio eletrônico "www.dhn.mar.mil.br / serviços / tábuas das marés".

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., 2001a.

Gomes Filho, M. F.; Servain, J.; Lucena, D.B.; Paula, R. K.; Silva, A. B.: Evidências observacionais de aumento no nível do Atlântico Tropical próximo a costa do Nordeste do Brasil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 30, 39 - 45 2006.

Gomes Filho, M.F.; Servain, J.; Lucena, D. B.; Paula, R. K.; Silva, A. B.: A study of the sea level elevation in the Tropical Atlantic as observed in the neighborhoods of the Brazilian Northeast coastline. Proceedings of the 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 259 - 266, 2006.

Janini Pereira; Ilana Wainer; Edmo J. Campos; Reindert J. Haarsma: Variabilidade Climática do oceano austral usando um modelo acoplado do NCAR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19, 287 - 298 2004.

Justino, F. B. The influence of boundary conditions on the Last Glacial Maximum. Shaker Verlag editor, Kiel, 2004.

Revista Veja: Como Salvar o Planeta. Reportagem Especial. Editora ABRIL, (51), dezembro de 2004.

Wainer, I. Aquecimento global e a variabilidade climática na região do Oceano Atlântico Tropical e Sul. 94f. Tese Livre Docência, Instituto Oceanográfico da USP, São Paulo, SP, 2003.