EFEITOS PREVISTOS DA ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA COSTA BRASILEIRA – O CASO DO MUNICÍPIO DE PORTO DE SANTOS – SP - BRASIL

Gilberto Berzin
Engenheiro Civil - EESC-USP - 1971, Pós-Graduação em Engenharia de Saneamento Básico - UNISANTA, Extensão Universitária em Hidráulica Conceitual -FATEC-UEP , Administração de Empresas para Gerentes - FEA-USP , Gerência de Manutenção - ABRAMAN-Fundação Alvares Penteado-FAAP, Modelação Oceânica e Dispersão de Resíduos - IST-Instituto Superior Técnico-Lisboa, Cursos de Especialização na USP, SABESP, CETESB, IE, ABES, IST-Lisboa, Delft,...

Endereço: Rua Dr. Isidoro de Campos, 35, apto. 131, Ponta da Praia - Santos – SP- Brasil – cep -11030-490
Cel: +55 (13) 99104.4800 / e-mail: gberzin@uol.com.br

RESUMO

Foi apresentado no XXI-FENASAN-2010, o *paper* intitulado "*O que os Engenheiros Precisam Saber Sobre a Elevação do Nível do Mar e seus Efeitos na Baixada Santista",* baseando-se nele, foi atualizado e reapresentado do que ocorrerá na área costeira do Brasil.
O aumento do nível do mar, previsto pelos cientistas até o final do século, será lento e gradual, permitindo o seu acompanhamento e gerando providências para amenizar e evitar o possível caos urbano, mas é preciso verificar os seus possíveis efeitos, estudar e planejar e executar agora as obras de contenção. Será realizado uma análise sobre o aquecimento global e seus efeitos mundiais e principalmente nas cidades costeiras do Brasil, notadamente para a cidade e Porto de Santos. Será apresentado o possível alagamento de bairros santistas, devido ao aumento do nível do mar, para diversas variações de nível em relação ao nível máximo das marés, baseando-se em pesquisas cujos resultados são muito confiáveis e apresentados na pesquisa *Sea Level Rise Due to Global Warning – Climate Change* pelo *Grid Arenal, UNED e Observed Climate Trends*, Os efeitos foram avaliados nos Sistemas de Drenagem de águas pluviais , Captação e Tratamento de Água e de Coleta, Tratamento e Disposição de esgotos.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento Global, Aumento Nível do Mar, Efeitos na Baixada Santista.

INTRODUÇÃO:

Deve-se justificar o texto longo de início, com vários dados e informações, pois o intuito deste trabalho é conscientizar os profissionais de uma realidade que está ocorrendo e a maioria não leva em conta em seus projetos e decisões.

O relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática), estudo da ONU sobre o impacto ambiental, tem suscitado muitas discussões na mídia e gerado as mais variadas interpretações sobre as mudanças climáticas. Diz-se que esses relatórios geram a intercionalização do assunto e propicia muitos pesquisadores e especialistas ou não, surgirem na mídia para debater os assuntos, alguns até com conclusões assustadoras.

Parafraseando o geógrafo Aziz N.Ab´Saber, professor emérito da USP, no Jornal do Campus, março/07 : "Esses relatórios são muito importantes como alerta, quando tem a preocupação de chamar a atenção de governantes e cientistas, mas o problema é que há uma tendência de se transformar esses alertas em discussões alarmantes para a mídia em geral."
Visando esclarecer dúvidas, sem provocar alardes e falsas interpretações, está-se apresentando de uma maneira clara, o que há de realidade em todas as suposições, principais estudos, tendências e principalmente o que iria acontecer com as cidades costeiras do Brasil e o Estuário de Santos, caso os resultados destas pesquisas se concretizarem. Algumas perguntas:

1 - Por que ocorre o aquecimento global?

Três perguntas acompanham a discussão em torno do aquecimento global:
1ª) Questiona-se se o fenômeno é real?
2ª) Os efeitos das mudanças no clima da Terra são eminentes?
3ª) Como impedir que o problema se agrave?

Os 141 países que assinaram o Protocolo de Quioto, concluíram que a resposta às duas primeiras perguntas é Sim e que a terceira pode começar a ser resolvida com a redução da emissão dos poluentes responsáveis pelo efeito estufa, medida à qual aderiram. Os efeitos da mudança climática já não podem ser ignorados.
Deve-se considerar inicialmente que um terço do aquecimento terrestre tem causas naturais mais diversas e imponderáveis a nós. O aumento e a diminuição da temperatura fazem parte do ciclo natural do planeta, mas o que está ocorrendo agora é diferente, nos últimos 120 anos a temperatura média anual da superfície terrestre aumentou 1ºC. Pode parecer pouco se comparado às variações de um dia de verão, mas, em termos climáticos globais, mudanças desse tipo têm enormes consequências. As geleiras que cobriram a maior parte do Hemisfério Norte durante a última era glacial, que terminou 12.000 anos atrás, foram formadas por uma queda de apenas 2ºC na temperatura média do planeta.
Ao contribuir para acelerar o aquecimento, os seres humanos estão mexendo com algo que está além da capacidade de controle da mais avançada tecnologia. Pelos padrões de tempo da natureza, o *homo sapiens* é apenas um piscar de olhos – não mais do que 0,005% do total da idade do planeta.

O aquecimento global atual é resultado da atividade humana, pelo aumento dos gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono (CO_2),. Esses gases formam uma espécie de manto em torno do planeta, impedindo que a radiação solar, refletida pela superfície em forma de calor, se dissipe no espaço. O efeito estufa é um fenômeno natural, que garante as condições de temperatura e clima necessárias para a existência de vida na Terra, mas agora está se tornando crítico.

O aumento do CO_2 pode ser considerado o gatilho de uma série de efeitos, sendo um dos principais, o denominado efeito antiestufa do albedo (fenômeno em que o branco do gelo e da neve reflete para o espaço 90% da radiação solar que o planeta recebe), ele ajuda a manter a temperatura média do planeta em 14,6ºC. Com a diminuição da capa de gelo haverá uma maior absorção dos raios solares, provocando um círculo vicioso e contribuindo para o aquecimento global.

2- Quais os efeitos do aquecimento global?

O gelo da Antártica (Polo Sul) e do Ártico (Polo Norte) são vitais na manutenção do equilíbrio do clima no nosso planeta. As mudanças aceleradas na criosfera (conjunto dos ambientes congelados da Terra) ocasionarão consequências dramáticas nas outras partes do mundo.
O que está agora ocorrendo nos Polos deixou de ser um alerta para se tornar gerador de efeitos do que está acontecendo por lá e são mais rápidas e intensas do que as sentidas em qualquer outra parte do mundo.
Notícias alarmantes de que grandes bancos de gelo se desprendem na Antártida, 700 km^2 e agora mais 3.400 km^2, mas alguns argumentam que estes desprendimentos não aumentam o nível dos oceanos, pois o gelo já estava flutuando anteriormente, mas estas plataformas normalmente seguram geleiras que estão sobre o solo, quando se desintegram o gelo derrete para os oceanos com mais facilidade.
No Ártico, o ritmo da elevação da temperatura na atmosfera é o dobro da média global. Estima-se que a calota gelada do Oceano Ártico deve desaparecer totalmente durante o verão a partir de 2060. Na escala geológica, meio século é um piscar de olhos.

O terceiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, da ONU, coloca o Ártico no topo da lista das regiões sob maior pressão do aquecimento global, devido à elevação da temperatura superior à média mundial.
Há mais suposições alarmantes, por exemplo, com o derretimento do gelo do Ártico haverá o resfriamento da corrente quente do Golfo, e esta deixará de aquecer o norte da Europa, tornando a Inglaterra num iceberg, gelando todo o norte da Espanha, França, Holanda, Escandinávia, países bálticos, ... uma tragédia. Outra digna de ser citada é que com o derretimento da capa de gelo da Groelândia o nível do mar irá subir mais de 5 metros, alagando todas as partes baixas costeiras do mundo.

Mas há fatos incontestáveis: inundações sem limites em países da Europa e América, além de nos últimos cinco anos ter ocorrido os verões mais quentes.
O Banco Mundial prevê uma América Latina mais pobre e improdutiva nas próximas décadas, afirma que o degelo dos pequenos glaciares dos Andes, que formam as nascentes dos rios dos quais dependem todo o sistema de florestas tropicais, afetará significativamente o clima da Amazônia, criando grandes áreas de savanas. A cheia do rio Negro, que inundou parte de Manaus, foi provocada pelo aumento do nível do rio Solimões (degelo acrescido de chuvas), que funcionou como uma barragem para as águas do Negro. Como o correu em maio/24 no Rio Grande do Sul onde a falta de um escoamento eficiente da Lagoa dos Patos para o Oceano provocou um represamento catastrófico, devido aos grandes volumes de chuvas da região do rio Guaíba.
Enfim, todas as regiões do mundo irão se modificar, não sendo o escopo da atual pesquisa examinar cada uma das principais áreas a serem afetadas.

3 - O que dizem as Pesquisas da Elevação Global do Nível do mar?

A subida do nível do mar pode ser produto do aquecimento global através de dois processos principais: a expansão da água do mar devida ao aquecimento dos oceanos, já citado, e o derretimento de massas de gelo sobre terra firme. Prevê-se que aquecimento global possa causar uma subida significativa di nível domar ao longo do século XXI.

Existem dezenas de pesquisas que levam em consideração inúmeros fatores, alguns mais pessimistas outros não, por exemplo há um relatório da ONU, onde são apresentados três cenários, sendo que o primeiro apresenta um aumento do nível do mar em 59 cm até o final do século, outro preconiza um aumento de 12 metros (não devendo ocorrer neste século) e o terceiro em até 70 metros, totalmente imprevisível.

Já o IPCC (Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática), sugere um máximo de 80 cm, que não é descartável. Climatologistas respeitáveis tais como o alemão Stefan Rahmstorf propõem valores próximos de 1,5 m. Até o final desta segunda década de o século XXI, várias outras previsões irão aparecer devido ao acompanhamento sistemático da evolução do clima na Terra.

A temperatura da Terra aumentará entre 1,8º e 4º C até o fim do século, segundo o relatório do IPCC, apresentado em Paris. O texto afirma que há uma "enorme probabilidade" de que o aquecimento se deva à ação humana. O grupo, criado pela ONU (Organização das Nações Unidas) e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988, reúne atualmente 2.500 cientistas de mais de 130 países e prevê mais chuvas fortes, derretimento de geleiras, secas e ondas de calor.
Entre outras conclusões, o estudo aponta a possibilidade do derretimento total do gelo do Polo Norte até 2100 e a redução da cobertura de neve em outras áreas do planeta. Isso significará uma elevação do nível do mar.

Nas próximas duas décadas, a temperatura aumentará 0,2ºC por década devido ao efeito estufa acumulado e será inevitável que o aumento continue ao ritmo de 0,1ºC por década, mesmo que o nível de emissão de poluentes seja contido e se equipare ao nível de 2000. O texto afirma ser "muito provável", com mais de 90% de probabilidade, que atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis, expliquem a maior parte do aquecimento nos últimos 50 anos. O documento é mais realista que o último relatório de 2001, quando o IPCC disse que a ligação era "provável", com 66% de probabilidade. Basearam-se suas estimativas no compêndio das pesquisas científicas realizadas nos últimos seis anos para corrigir os dados de seu relatório anterior, de 2001, calculam que as temperaturas poderiam aumentar entre 1,1º C e 6,4º C.
Fenômenos extremos como ondas de calor e trombas d'água estão sendo cada vez mais frequentes e os ciclones tropicais mais intensos, principalmente na velocidade do vento e nas chuvas que provocam. Particularmente no Brasil, tivemos os últimos verões com todas estas características.

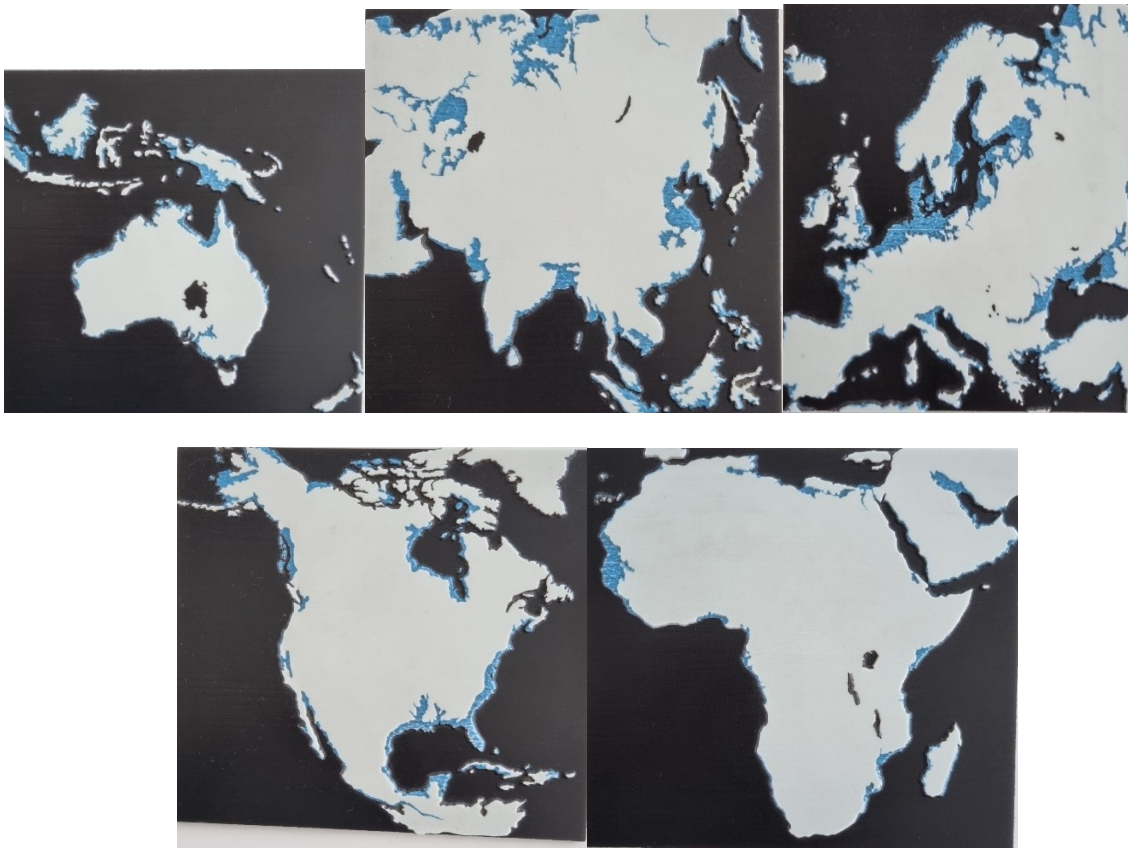
4 - Efeitos nas áreas costeira mundiais e brasileiras.

Inúmeras notícias circulam pelos meios de comunicação do mundo, por exemplo: relatando providencias que estão sendo tomadas em New York – USA, onde se está encarando cautelosamente as ameaças representadas pela elevação do nível dos mares e enchentes por tempestades cada vez mais severas. Mas há críticas que estão

agindo lento demais. O Japão preve gastos iniciais de 1 bilhão de dolares para proteçoes em suas areas costeiras e portuárias principais.
Indica-se o site "*Net Web Design Made Simple*" de autoria da pesquisadora Christina Breaut, que em março/2023, detalhou as principais areas alágaveis de todos os continentes do planeta.
A título de ilustração vamos reproduzir apenas as imagens brasileiras, obtidas nos paineis públicos do Museo do Amanha , no Rio de Janeiro, gerido pelo Instituto de Desenvolvimento e Gestão – IDG, iniciativa da Prefeitura do Rio de Janeiro. Os paineis mostram a invasão nas partes baixas dos continentes e ressalta ainda que a vida nos oceanos também sofrerá, pois o aquecimento das água está asssociado a diminuição dos niveis de oxigenio e aumento de acidez do ambiente. Juntos irão afetar drasticamente a reserva de peixes e vida dos corais, lares de grande parte da biodiversidade marinha. Em azul são as areas representadas como inundaveis.

Os continentes identificam-se por si mesmo.

Figura-1 - Ilustrações da Invasão das águas dos oceanos nos continentes



Fonte: Museo do Amanha – Rio de Janeiro-RJ

Figura-2 - Ilustração da Invasão das águas dos oceanos na América do Sul



– Fonte: Museo do Amanha – Rio de Janeiro

Analisando algumas das medições e comentários no Brasil, segundo dados coletados em portos ao longo da costa brasileira, o nível do mar está aumentando no Brasil cerca de 40 centímetros (cm) por século, ou 4 milímetros (mm) por ano (mm/ano). A constatação é do Laboratório de Marés e Processos Temporais Oceânicos (Maptolab) do Instituto Oceanográfico (IO) da USP que investiga as variações no nível do mar no litoral brasileiro, a partir de séries de medições que começaram em 1980. As análises dos dados são feitas por médias de variações diárias, médias sazonais e médias anuais do nível do mar, que permitem estimar a variação local de longo prazo.

O prof. Afrânio Rubens de Mesquita, pesquisador do Maptolab, explica que as medições de nível do mar dependem de um conjunto de variáveis, usando suas palavras "a variação do volume de água doce presente no mar decorrente do degelo; a variação da salinidade da água; a variação de temperatura decorrente do aquecimento global; a variação vertical da crosta em relação ao centro da Terra; a variação devido aos ventos e outros fenômenos atmosféricos; a variação oceanográfica decorrente das ondas e correntes oceânicas; a variação astronômica, devido ao Sol e a Lua (marés) e o posicionamento das órbitas dos planetas (causador das Glaciações) em relação à Terra, entre outras variáveis".

As medições do nível do mar da Costa Brasileira são feitas em estações permanentes distribuídas ao longo da costa por diferentes instituições: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), Diretoria e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o IO, que realiza, além das medições permanentes nas estações de Cananéia e de Ubatuba, no litoral Sul do Estado de São Paulo, realiza medições de caráter não permanente em oceano profundo, ao longo da plataforma continental.

Deve-se lembrar que os oceanos absorvem cerca de 90 % da energia solar absorvida pelos gases de efeito estufa. O restante se divide entre as geleiras, os mares congelados, a superfície não coberta pelo mar e a atmosfera – ou seja, somente uma pequena fração do calor capturado aquece o ar da atmosfera. E, apesar das medições dos satélites, o calor medido nos oceanos, até uma profundidade de cerca de 1.000 metros, está constante há anos.

Em julho de 2022 foi divulgado pela Agência/FAPESP:" Foi descoberto o mecanismo que pode provocar o colapso da grande circulação do Atlântico". O pesquisador José Tadeu Arantes, noticiou que a Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico – que leva águas quentes do hemisfério Sul para o hemisfério Norte, e traz águas frias do hemisfério Norte para o hemisfério Sul – é um mecanismo fundamental para a regulação do clima do planeta. Essa célula já colapsou no passado, devido a fatores naturais, e seu último colapso teve papel

crucial no processo de deglaciação. Agora, a célula está outra vez ameaçada, por causa do aquecimento global. E uma pesquisa recentíssima descobriu a sequência de eventos que provoca o colapso.
O estudo foi realizado por pesquisadores alemães e brasileiros e teve como um dos autores principais o paleoclimatologista Cristiano Mazur Chiessi, professor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Artigo a respeito foi publicado em *Nature Communications*: "*Subsurface ocean warming preceded Heinrich Events*".
Realizaram uma investigação dos sedimentos marinhos coletados entre o Canadá e a Groenlândia, descobriu-se que, no passado, o aquecimento da subsuperfície oceânica daquela região fez com que as grandes geleiras que um dia cobriram os territórios que correspondem ao Canadá e ao norte dos Estados Unidos liberassem quantidades colossais de icebergs no Atlântico", o que está para se repetir.

Como Ocorrerá na Costa Brasileira

Em 2017, Iton Alisson da Agência/FAPESP, fez uma série de observações do que ocorrerá na costa brasileira com a elevação do nível do mar nas próximas décadas.
Resumiu-se as principais observações, juntamente com nossos comentários.
No Brasil vivem 60% da população em cidades costeiras e não há um estudo integrado da vulnerabilidade destes municípios costeiros, que possibilitaria estimar danos sociais, econômicos e ambientais e com isto elaborar uma Plano de Ação.

As conclusões são do relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) sobre "Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas", lançado em 2017, durante um evento no Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro. A publicação teve o apoio da FAPESP e são resultado do **Projeto Metrópole** e de outros projetos apoiados pela Fundação no âmbito do Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (**PFPMCG**) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas, financiado pela Fundação e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Foi feito exaustiva pesquisa sobre publicações nacionais e internacionais sobre o tema e possibilitar a apresentação de um relatorio por José Marengo, coordenador-geral de pesquisa e desenvolvimento do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e um dos autores e editores do relatório, à **Agência FAPESP** , que resumimos:

Entre 1901 e 2010 o nível médio do mar globalmente aumentou 19 centímetros – com variação entre 17 e 21 centímetros.

Entre 1993 e 2010, a taxa de elevação correspondeu a mais de 3,2 milímetros (mm) por ano – com variação entre 2,8 e 3,6 mm por ano.

No Brasil há uma relativa incerteza pois não há registros histórios continluos e confiaveis . Não se conseguiu evidenciar o aumento do nivel do mar no Brasil, devido as poucas observaçoes existentes, mas atualmente várias cidades portuárias, tal como Santos, já estão registrando rotineiramente com marégrafos, as alturas diarias das marés.

Considerando que as cidades litoraneas, onde 60% da população reside na faixa de 60 quilômetros da costa, estão Rio Grande (RS), Laguna e Florianópolis (SC), Paranaguá (PR), Santos (SP), Rio de Janeiro (RJ), Vitória (ES), Salvador (BA), Maceió (AL), Recife (PE), São Luís (MA), Fortaleza (CE) e Belém (PA).

Nos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, por exemplo, têm sido registradas taxas de aumento do nível médio do mar de 1,8 a 4,2 mm por ano desde a década de 1950. Na cidade de Santos, no litoral sul paulista, onde está situado o maior porto da América Latina, o nível do mar tem aumentado 1,2 mm por ano, em média, desde a década de 1940. Além disso, ocorreu um aumento significativo na altura das ondas – que alcançava 1 metro em 1957 e passou a atingir 1,3 m, em 2002 – e na frequência de ressacas no município.

Já no Rio de Janeiro, a análise dos dados da estação maregráfica da Ilha Fiscal – que tem a série histórica mais antiga do Brasil e fica no meio da Baía da Guanabara – indica uma tendência média de aumento do nível do mar de mais ou menos 1,3 mm por ano, com base nos dados mensais do nível do mar do período de 1963 a 2011 e com um índice de confiança de 95%. Em Recife o nível do mar aumentou 5,6 mm entre 1946 e 1988 – o que corresponde a uma elevação de 24 centímetros em 42 anos. A erosão costeira e a ocupação do pós-praia provocaram uma redução da linha de praia em mais de 20 metros na Praia de Boa Viagem – a área da orla mais valorizada da cidade, este fato é discutivel pois as correntes transportadoras de areia para a praia foram cerciadas pelo molhe construido a montante da praia, desviando a corrente e formando um grande banco de areia longe da costa.

“Existem poucas observações como essas em outras regiões do país. Quando tentamos levantar dados dos últimos 40 ou 100 anos sobre o aumento do nível do mar em outras cidades do Nordeste, como Fortaleza, por exemplo, é difícil encontrar”, disse Marengo.

Impactos socioeconômicos

Os impactos socioeconômicos seriam mais restritos às proximidades das 15 maiores cidades litorâneas, que ocupam uma extensão de 1,3 mil quilômetros da linha costeira – correspondente a 17% da linha costeira do Brasil. Entre as principais consequências da elevação do nível do mar, estão o aumento da erosão costeira, da frequência, intensidade e magnitude das inundações, da vulnerabilidade de pessoas e bens e a redução dos espaços habitáveis. Ressaltou Marengo : “Os impactos mais evidentes da elevação do nível do mar são o aumento da frequência das inundações costeiras e a redução da linha de praia. Mas há outros não tão perceptíveis, como a intrusão marinha, em que a água salgada do mar começa a penetrar aquíferos e ecossistemas de água doce”.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) cita que as projeções do quinto relatório (AR5) do são que a elevação do nível do mar globalmente varie entre 0,26 e 0,98 metro até 2100 – em um cenário mais pessimista. O relatório apresenta estimativas similares para a costa brasileira. Considerando que a probabilidade de inundações aumenta com a elevação do nível do mar pode ser esperada uma maior probabilidade de inundações em áreas que apresentam mais de 40% de mudanças no nível do mar observadas nos últimos 60 anos – como é o caso de várias metrópoles costeiras brasileiras, ressaltam os autores.

As inundações costeiras serão mais preocupantes no litoral do Nordeste, Sul e Sudeste, e também podem afetar o litoral sul e sudoeste da cidade do Rio de Janeiro. Os seis municípios fluminenses mais vulneráveis à elevação do nível do mar, de acordo com estudos apresentados no relatório, são Parati, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Magé e Campos dos Goytacazes.

“A combinação do aumento do nível do mar com tempestades e ventos mais fortes pode provocar danos bastante altos na infraestrutura dessas cidades”, estimou Marengo.

Exemplo de um Plano em Santos-SP

O documento destaca o Plano Municipal de Adaptação à Mudança de Clima (PMAMC) da cidade de Santos como exemplo de plano de ação para adaptação às mudanças de clima e os seus impactos nas cidades . elaboração do plano foi baseada nos resultados do Projeto Metrópole, coordenado por Marengo. O estudo internacional estimou que a inundação de áreas costeiras das zonas sudeste e noroeste de Santos, causada pela combinação da elevação do nível do mar com ressacas, marés meteorológicas e astronômicas e eventos climáticos extremos, pode causar prejuízos acumulados de quase R$ 2 bilhões até 2100 se não forem implementadas medidas de adaptação.

O estudo é realizado por pesquisadores do Cemaden, dos Institutos Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e Geológico (IG) e das Universidades de São Paulo (USP) e Estadual de Campinas (Unicamp), em parceria com colegas da University of South Florida, dos Estados Unidos, do King's College London, da Inglaterra, além de técnicos da Prefeitura Municipal de Santos. "Nossa intenção é aplicar essa metodologia utilizada em Santos em outras cidades litorâneas brasileiras para termos pelo menos uma estimativa inicial do custo de adaptação à elevação do nível do mar", disse Marengo.

ESTUDO DOS EFEITOS NO LITORAL SANTISTA

Pesquisa do efeito da elevação do nível do mar na Baixada Santista, mas não sem antes se verificar a Evolução do Litoral da Baixada Santista ou "Como Era o litoral da Baixada Santista antigamente?".

Milênios atrás, toda a região da Baixada Santista estava coberta por uma camada de até 50 m de altura de água, só eram visíveis os morros principais (*Revista USP,* nº 41). Com base nos estudos detalhados do solo da região (rochas, depósitos de argilas orgânicas, areias...) e admitindo que o nível médio atual seja zero, no início do Pleistoceno, há cerca de 120.000 anos, o nível do mar teria de 20 a 25 m, ou seja, chegava ao pé da Serra do Mar, desde então foi abaixando, provavelmente como resultado da última idade glacial, e formaram-se cordões de areia à medida que o nível abaixava. Em seguida, vários canais e baías foram sendo erodidos, até o nível do mar atingir cerca de 100 m abaixo do atual.

Então, já no Holoceno, era do domínio dos humanos e dos animais atuais, há cerca de 15.000 anos, de novo o nível voltou a subir, com a diminuição da glaciação nos polos. Em 5.000 anos estava com 4,0 m acima do nível atual e aos 3.000 anos atrás atingiu os níveis atuais, como se observa na figura 3.

.

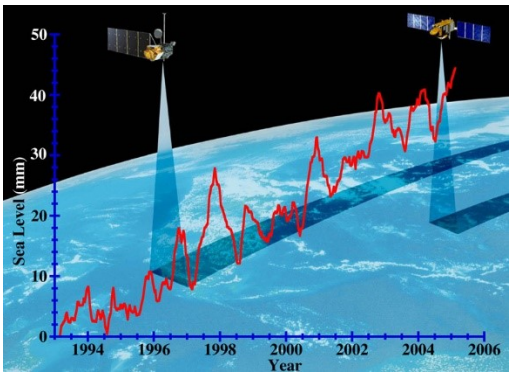
Figura - 3 – Detalhe do Planalto Paulista e a Baixada Santista (Vê-se a mancha da Grande São Paulo)



Fonte: Mapa " Costa dos Fortes" ed- Vista Divina – S/P.

Até o século XIX manteve-se praticamente constante, subindo entre 0.1 e 0.2 mm/ano. A partir de 1992 dados de altimetria, obtidos pelo satélite TOPEX/Poseidon, indicam uma subida média de 3 mm/ano, mas entanto, não foi detectada uma aceleração significativa na velocidade de subida do nível do mar durante o século XX.

Figura - 4 – Com é o rastreamento do satélite TOPX/Poseidon



Fonte : site da NASA

Quais os Estudos existentes para a Região?

Várias publicações, técnicas ou não, procuram antever o que acontecerá com a região da baixada santista, mas como o intuito não é gerar polemicas, não serão comentados.
Merece destaque mesmo assim, uma maquete do Estuário de Santos montada num galpão do Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da USP em 2007, ao abrigo do Ministério do Meio Ambiente. Trata-se de um modelo físico de 750 m^2, onde foram simuladas várias elevações do nível do mar e seus efeitos de inundação de áreas locais. Os pesquisadores apresentaram vários resultados de grande impacto visual., apesar de não serem tão exatos devido à desproporção entre as medidas horizontais (quilômetros) e as verticais (metros), analisa as linhas de costa e partes internas sem detalhes das construções, além de não representar as ruas e avenidas das cidades.

Foi dado enfoque maior para a Ilha de São Vicente, precisamente para a cidade de Santos, onde está o maior porto da América Latina, mostrando o potencial dos resultados da pesquisa atual, podendo ser estendida para todas as cidades do Estuário, e desde que seja de interesse e se tenha um perfeito cadastro topográfico, com uma altimetria detalhada.

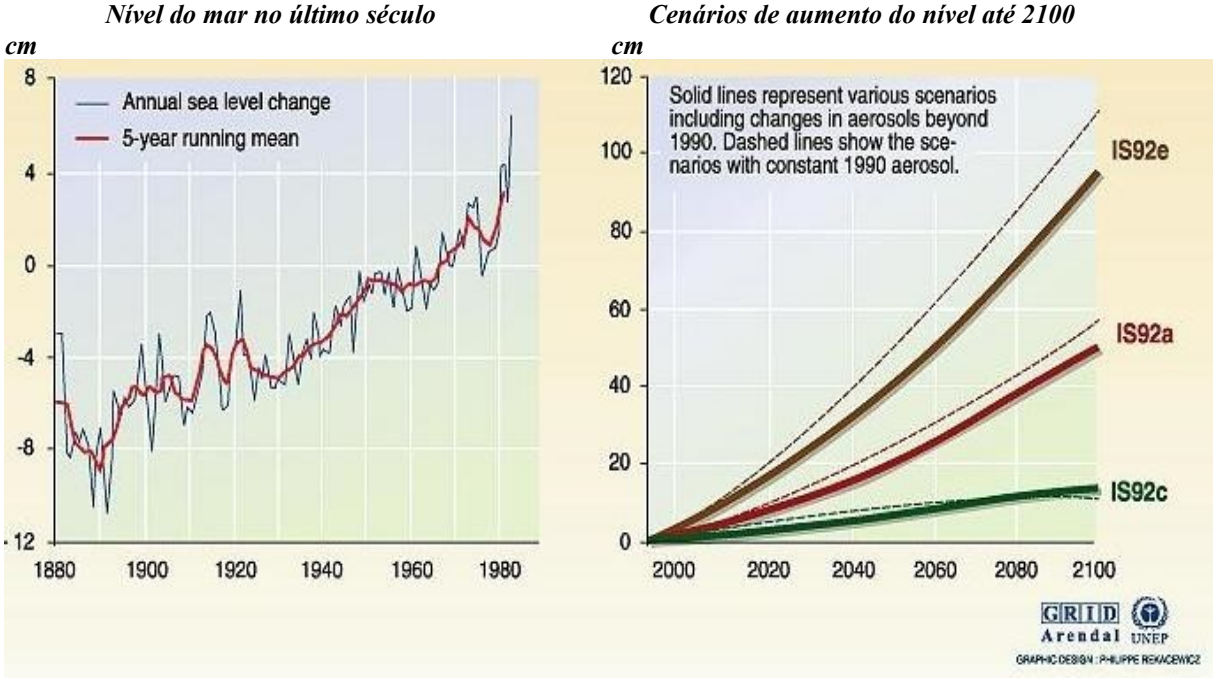
Estudos Utilizados para as Simulações no Estuário de Santos.

Com fito de utilizar valores que permitam o estudo das consequências a serem previstas para a Baixada Santista, apoiou-se em pesquisa cujos resultados são muito confiáveis preparados e apresentados na pesquisa *Sea Level Rise Due to Global Warning – Climate Change* pelo *Grid Arenal, UNED e Observed Climate Trends*, onde em gráficos reproduzidos a seguir na Figura-5, se observa a tendência de aumento do nível do mar no último século. Não serão detalhados os cenários, suas causas, suposições e considerações técnicas, pois não é o objetivo da pesquisa.

Três cenários de aumento do nível até 2100, considerando as três propostas mais previsíveis:

1º – Aumento de 5 a 7 cm.
2º – Aumento de 50 a 57 cm.
3º – Aumento de 95 a 110 cm.

Figura-5 - – Variações do Nível Médio do Mar devido ao Aquecimento Global



Fonte: GRID – Arendal _ UNEP

Nota: O estudo conclui que ao longo dos últimos 100 anos, o nível global do mar subiu cerca de 10 a 25 cm.

Uma observação importante é que o nível do mar é difícil de medir. Mudanças do nível relativo do mar foram obtidas principalmente a partir de dados de maré calibrada. Na maré pelo sistema convencional de medida, o nível do mar é medido em relação a uma terra-mar-base de referência do indicador. O grande problema é que a terra há experiências de movimentos verticais (por exemplo, os efeitos isostáticos, neotectonismos e sedimentação), e estes se incorporam nas medições. No entanto, métodos aperfeiçoados de filtrar os efeitos de longo prazo dos movimentos terrestres verticais, bem como uma maior confiança na maior maré para estimar as tendências, proporcionaram uma maior confiança de que o nível do mar aumentou dentro do intervalo especificado.
O estudo também afirma ser provável que grande parte da subida do nível do mar tem sido relacionada ao aumento simultâneo na temperatura global nos últimos 100 anos. Nesta escala de tempo, o aquecimento e a consequente expansão térmica dos oceanos podem ser responsáveis por cerca de 2-7 centímetros da subida do nível do mar observado, enquanto o recuo observado de geleiras e calotas polares pode ser responsável por cerca de 2-5 cm.

Outros fatores são mais difíceis de quantificar. A taxa de aumento do nível do mar observado sugere que houve uma contribuição líquida positiva das enormes camadas de gelo da Groenlândia e da Antártida, mas as observações dos mantos de gelo ainda não permitem significativas estimativas quantitativas de suas contribuições distintas. Os mantos de gelo são uma importante fonte de incertezas na contabilização de alterações no passado do nível do mar, devido à insuficiência de dados sobre essas placas de gelo nos últimos 100 anos.

Estudou-se simulações planialtimétricas do que iria acontecer na ilha de São Vicente no litoral, de São Paulo – SP, principalmente na área da cidade e no Porto de Santos, caso os resultados das pesquisas se concretizarem.

O QUE VAI ACONTECER NA BAIXADA SANTISTA?

Para responder esta questão, utilizou-se de valores reais, passiveis de serem medidos e obtidos na realidade, desde que se tenha a altimetria precisa das regiões.

Para correlacionar a altura das marés com a parte física da cidade (ruas, calçadas prédios), foi utilizada uma técnica que para muitos pode ser simplista, mas os resultados são surpreendentemente exatos.

Foi escolhido o dia 28/08/2007 e o horário de maré mais alta (de sizígia) cerca de 1,50 m às 15h30min, durante a estofa de preamar, pela Tábua de Marés publicada pela Marinha do Brasil, com base na **figura 6** abaixo:

Figura-6 – Horário e Nível das marés para o Porto de Santos em 28/08/2007.

Horário	Altura
03:09	1,4 m
09:09	- 0,2 m
15:32	1,5 m
21:43	0,2 m

Fonte : Tábua de Marés da Marinha do Brasil

Neste horário foi realizado medidas entre o nível das águas nos sete canais de Santos e pontos de referência nas pontes sobre os canais, nas vigas de concreto da sustentação das pontes. Posteriormente foram feitas correções, com base nos dados obtidos no marégrafo da CODESP (localizado no píer da Conceiçãozinha), devido à diferença de horários e consequentemente diferença na altura da maré nas medições a fim de se

trabalhar com a mesma altura de maré, sendo escolhido o valor de 1,5 metros por representar as maiores marés que ocorrem na região. (*Lâmina d'água = Altura do referencial do canal, com a lâmina d'água.)*

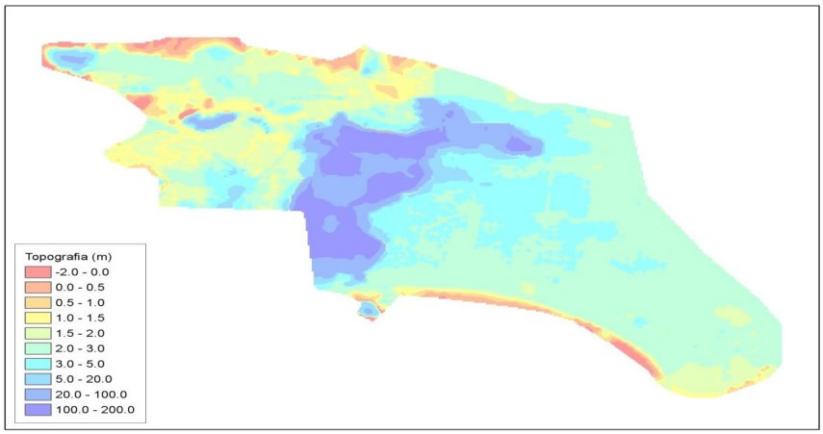
Figura- 7 - Nível da Maré em Relação a Pontos Fixos nos Canais de Santos

	PONTO DE COLETA	HORÁRIO	Lâmina d'água (m)	Cota Referencial	Nível da Maré	Cota da Lâmina d'água (m)
28/08/07	CANAL 7	15:45	1,48	2,69	1,45	1,21
28/08/07	CANAL 6	15:59	1,78		1,4	
28/08/07	CANAL 5	16:09	1,29	2,43	1,4	1,14
28/08/07	CANAL 4	16:24	1,54	2,47	1,3	0,93
28/08/07	CANAL 3	16:36	1,45	2,65	1,3	1,20
28/08/07	CANAL 2	16:49	1,05	3,01	1,2	
28/08/07	CANAL 1	17:03	2,10	2,80	1,2	0,70
28/08/07	Pier SV, Praia do Gonzaguinha	17:30	1,55		1,1	
				Média		1,18

Fonte : do autor

Para se avaliar a topografia da área insular de Santos foi utilizada a Base Cartográfica do Projeto Digital da PMS. Foram interpolados, através do método de kricagem com a utilização do *software* ArcGIS Desktop 9.2, aproximadamente 17.000 pontos cotados para elaborar o mapa da topografia da região, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9- Topografia da Porção Insular de Santos



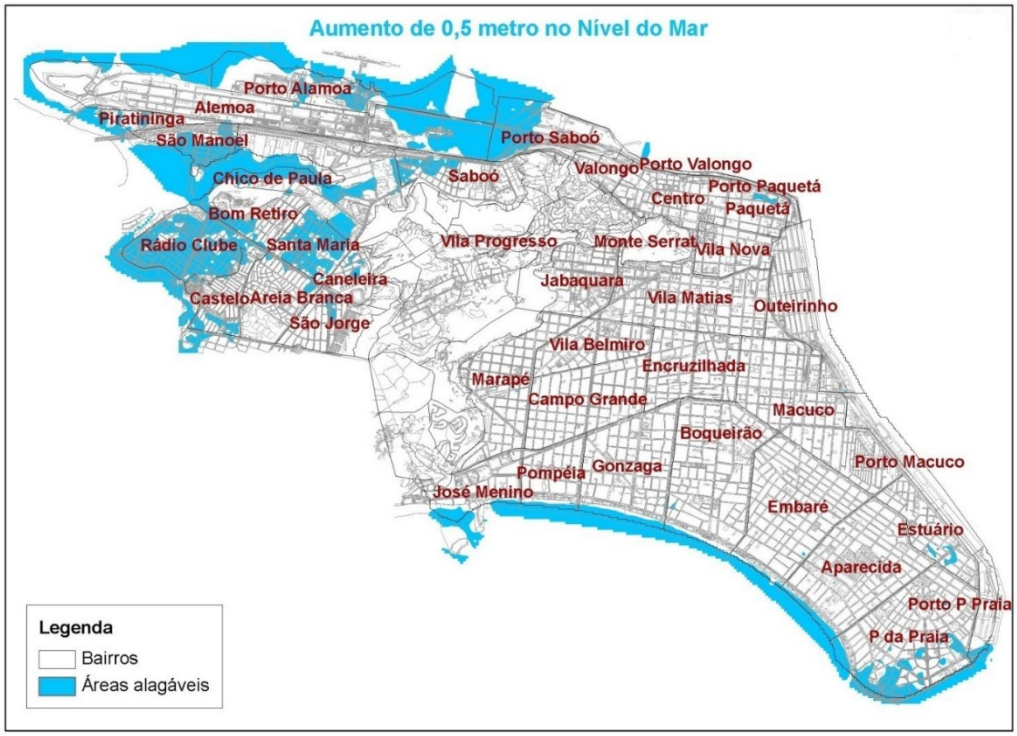
Fonte: Do autor

Foi obtida a cota do nível da água médio, com base nas medições dos sete canais de drenagem. A partir dessa cota, foram simulados cenários de aumento relativo do nível do mar em 0,5 m, 1,0m e 1,5m, considerando um evento extremo de preamar em maré de sizígia, também foi simulado um cenário com aumento relativo no nível do mar de 1,5m considerando um evento extremo de baixa-mar em maré de sizígia.
A partir dos cenários calculados, com a utilização do *software* ArcGIS Desktop 9.2 e baseados no mapa topográfico, foram desenvolvidas as plantas mostrando as áreas de inundação nos cenários simulados, descritos anteriormente.

A seguir são apresentados figuras dom os **Cenários 1, 2 e 3** dos efeitos provocados pela elevação do nível do mar em 0,5; 1,0 e 1,5 metros, sempre com referência ao nível máximo atual nas marés de sizígia, ou seja, serão as áreas alagáveis quando de marés altas (áreas azuis)

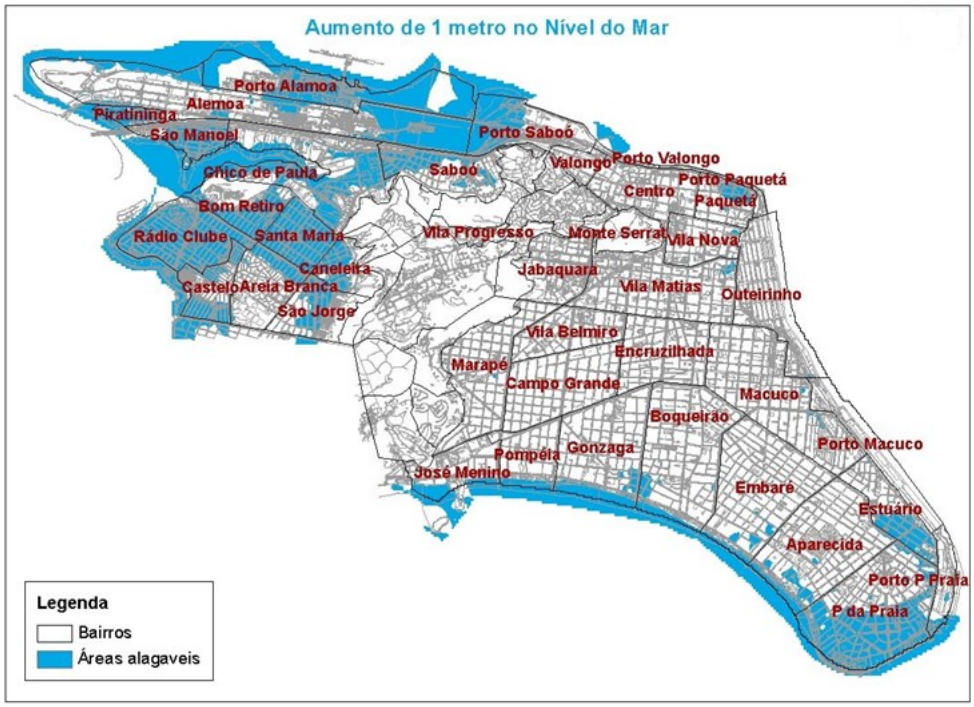
Com o fito de mostrar o potencial dos resultados obtidos foi preparado também um *zoom* detalhado da área de Santos denominada Ponta da Praia, no **Cenário. 4**.

Figura-10 - Cenário. 1 – Áreas alagáveis com o aumento de 0,5 metro das marés máximas atuais.



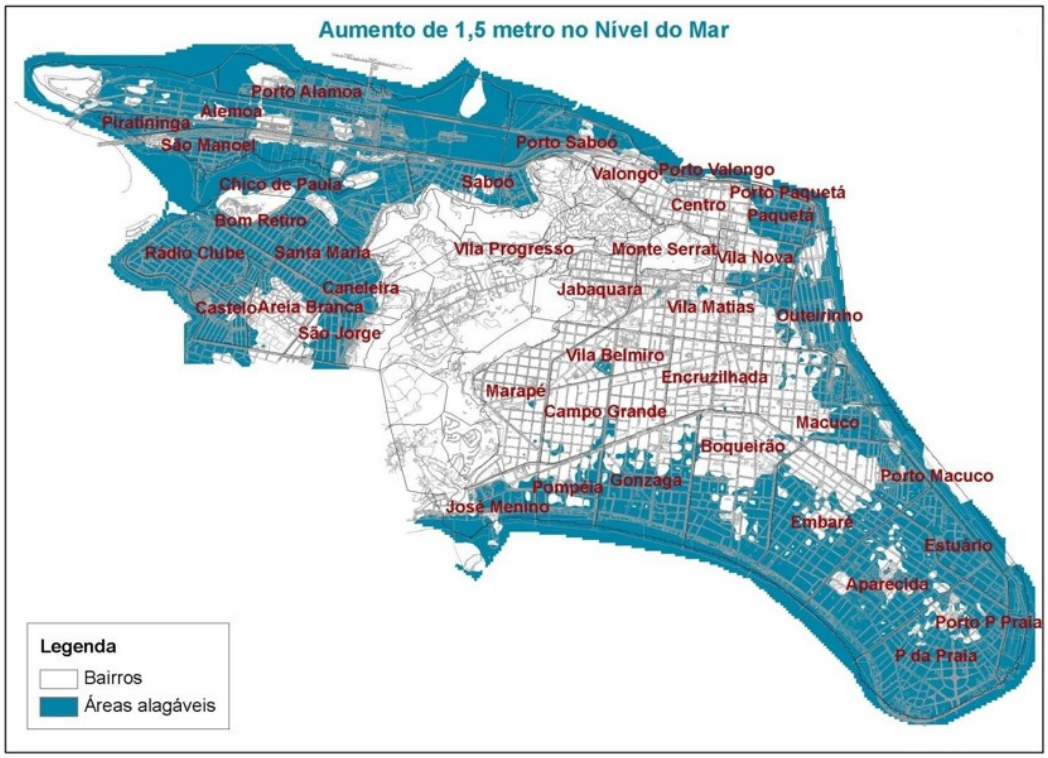
Fonte : Do autor

Figura 11 - Cenário. 2 – Áreas alagáveis com o aumento de 1,0 metro das marés máximas atuais



Fonte : Do autor

Figura-12 - Cenário. 3 – Áreas alagáveis com o aumento de 1,5 metro das marés máximas atuais



Fonte ; Do autor

Figura-13 - Cenário. 4 – Detalhe de Áreas alagáveis com o aumento de 1,0 metro



Fonte : Do autor

QUAIS OS EFEITOS NAS ÁREAS DA BAIA E ESTUÁRIO DE SANTOS?

- Nos manguezais: Antes uma explicação: O manguezal é um ecossistema costeiro de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, característicos de regiões tropicais e subtropicais e sujeito ao regime das marés. Ocorre em regiões costeiras abrigadas como estuários, baías e lagunas, e apresenta condições propícias para alimentação, proteção e reprodução para muitas espécies animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica e gerador de bens e serviços (Schaeffer-Novelli, 1995).

Segundo Herz (1991), o Brasil é coberto por aproximadamente 10.000 Km² com áreas de manguezal, no Estado de São Paulo estão apenas 231 Km². No Estado de São Paulo ocorrem tipicamente três espécies de vegetação nos manguezais, são elas: *Rizophora mangle*, conhecida popularmente como mangue vermelho; *Avicennia schaueriana*, conhecida popularmente como mangue preto; *Laguncularia racemosa*, conhecida popularmente como mangue branco.

Nos manguezais da região da Baixada Santista são encontradas essas três espécies de vegetação, e cobrem aproximadamente uma área de 120,2 Km² segundo Lamparelli & Moura (1998). Um estudo recente (Schmiegelow *et. al.*, 2008), calculou a cobertura de manguezais no entorno do Sistema Estuarino de Santos chegando em uma área de 71,3 Km².

O manguezal por estar localizado na região costeira e é fortemente influenciado pelo regime das marés evidentemente sofrerá com essas alterações provocadas pelo aquecimento global, principalmente no que diz respeito ao aumento da temperatura do ar e o aumento relativo do nível médio do mar. Sabe-se que os manguezais são importantes estabilizadores da linha de costa, devido a sua grande adaptabilidade, além da retenção de sedimentos, um pequeno aumento no nível médio do mar aumentaria a salinidade no estuário, assim forçando os manguezais a colonizarem outras regiões, onde ocorra o aporte de sedimentos.
Na região da Baixada Santista os manguezais já sofreram e ainda sofrem diversos impactos oriundos da ação antrópica, com o aumento relativo do nível do mar é possível que esses manguezais não venham a

colonizarem outras regiões, principalmente pelas alterações no fluxo dos sedimentos, como por exemplo, devido a construções de estradas, outro fator é a forte ocupação urbana no entorno das áreas de manguezais, assim possivelmente impossibilitando a colonização de novos locais.
Em qualquer um dos cenários, o aumento do nível do mar também iria causar o aumento da salinidade no estuário, causando a morte das espécies arbóreas encontradas nos manguezais, pois prejudicaria sua respiração e retenção de água. Com isto uma parte dos manguezais desapareceriam em todo o Estuário, pois várias espécies respiram por suas raízes e estas ficariam permanente afogadas.
Como esse aumento seria gradativo é possível que parte dos manguezais se adapte e colonizem novas regiões *"rio acima"*, mas como na região da Baixada Santista o transporte de sedimentos nesses ecossistemas foi alterado principalmente devido à construção de estradas, pontes etc. e há uma grande ocupação nas áreas no entorno desses ecossistemas que dificultaria a colonização de novas áreas.

- Nas praias e regiões costeiras: Os cenários apresentados falam por si. As áreas azuis representam as áreas inundáveis nas marés altas. Com o intuito de enfatizar ocorrências, chama-se atenção para alguns aspectos:

Cenário. 1 - Só com um aumento de 0,50 m da maré mais alta (média de 1,50m), pode-se verificar que nas marés mais altas a faixa da praia iria ficar encoberta pela água, e algumas pequenas áreas da Ponta da Praia seriam alagadas. As zonas Noroeste, Alemoa, ... seriam também alagadas. O Porto por ter sua estrutura mais alta ficaria nesta fase livre de inundações.

Cenários. 2 e 4 *(zoom)* – Com mais 1,0 m , constata-se que toda a faixa da areia da praia e grande partes dos jardins seriam alagados a cada maré mais alta. Diversas pequenas áreas junto a praia, muito bem conhecidas dos santistas, seriam alagadas, no bairro do Gonzaga, nas primeiras quadras junto ao Canal-3 e entre os Canais 4 a 6. Boa parte da Ponta da Praia seria atingida nas marés mais altas, assim como a área portuária das proximidades. A zona Noroeste será totalmente alagada. Todo o sistema de drenagem de águas pluviais serão atingidos, assim como o sistema de coleta de esgotos pois os tampões dos PV´s passarão a admitir água nos coletores, aumentando significativamente a vazão e sobrecarregando a rede e a EPC.

Cenário. 3 - Realmente com 1,50 m, será o caos total na urbanização da cidade, drenagem e coleta de esgotos, grandes áreas de bairros em toda a cidade seriam alagadas na altas marés. O Porto será duramente prejudicado. A vista geral do Cenário.3 é o suficiente para se concluir.

Com o aumento de 1,0 a 1,50 m do nível atual do mar, nas marés mais altas (sizígia) que chega a atingir normalmente 1,60 m, haverá um represamento das águas do rio Cubatão, mudando a cunha salina para pontos do rio acima, que irão atingir a captação do ETA-Cubatão da SABESP, fazendo com que passe a operar apenas com a barragem Sub-Álvea, logicamente com vazão reduzida. O Rio Cubatão irá também alagar grandes trechos do parque industrial.

Os emissários submarinos de esgoto da baixada irão receber uma perda de carga no valor da nova maré, alterando substancialmente as vazões de saída dos difusores e sua consequente diluição.

Atenção: Em qualquer um dos cenários não será só o efeito dos alagamentos a considerar, deve-se sempre levar em conta o **efeito das ondas**, que será muito destruidor, mesmo sem grandes ressacas, pois está na sua constância (várias por minuto) este poder de danificar o que encontrar no seu caminho. Os jardins seriam destruídos assim como o pavimento calçadas das ruas, as garagens e pátios dos prédios seriam invadidos pelas águas e ondas, enfim o caos.

CONCLUSÃO

Não há como fechar os olhos e ignorar mais o alerta dos pesquisadores sobre o derretimento das geleiras e outros efeitos do aquecimento global. É preciso que a sociedade comece a planejar agora obras de contenção para conviver com o possível aumento do nível do mar esperado para as próximas décadas.

O que deve ser Feito para Prevenir e/ou Amenizar?

Há duas maneiras de reagir às mudanças climáticas no planeta:

1º) Reduzir drasticamente a emissão dos gases poluentes.

Pelo Protocolo de Quioto (1997) os 141 países signatários se comprometem a voltar aos níveis de poluição anteriores a 1990, havendo ainda muita divergência sobre isto. Os Estados Unidos, responsável por 36% das emissões mundiais, recusou-se a assinar o tratado porque achava que o aquecimento global não era uma questão urgente e que os custos econômicos para o reverter seriam excessivos. Os indícios de estavam errados são cada vez mais fortes. Os países do Caribe e da América do Sul são responsáveis por somente por 12% das emissões mundiais.

Tinha-se a esperança que haveria compromissos a seguir para uma solução global na Conferência de Copenhague (COP-15) - 15.ª Conferência das Partes sobre o Clima, que aconteceu em 2009, em Copenhagen, Dinamarca, com a presença de 192 países. O tema central foi: "As alterações climáticas e o novo protocolo para deter o aquecimento global".

Estes 192 membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas teriam a responsabilidade que envolve o futuro de todo o mundo: firmar um acordo convincente capaz de reduzir a emissão de gases causadores de efeito estufa, principal responsável pelas alterações do clima global, dentre as quais, o superaquecimento do planeta. Como o Protocolo de Kyoto, determinou metas obrigatórias de 5% de redução das emissões de gases de efeito estufa para a União Europeia e mais 37 países industrializados (de 2008 a 2012), as nações em desenvolvimento, como Brasil, China e Índia não foram obrigadas a reduzir os poluentes que emitem. No entanto, seus representantes deverão ser cobrados a firmarem compromissos significativos em âmbito nacional, durante a COP-15.

O encontro foi considerado o mais importante da história recente dos acordos multilaterais ambientais pois teve por objetivo estabelecer o tratado que substituirá o Protocolo de Quioto, vigente de 2008 a 2012. No início, referida nos corredores como "Hopenhague" , de *hope* (esperança) , e no seu término de "Flopenhague", de *flop* (fiasco), pois não conseguiu unificar os objetivos ambientais aos econômicos entre países pobres e ricos. Foi encerrada não gerando nenhum documento legal de compromisso entre as nações.

A COP-16, em Cancun-Me iniciou com uma atmosfera de esfriamento das expectativas pelos seus resultados, o que tirou a pressão dos negociadores em obter um acordo final legalmente vinculante nesse momento.

Finalmente na COP-28, 28ª Conferência do Clima da ONU , terminou com uma decisão histórica: pela primeira vez em três décadas de discussões, cerca de 200 paises concordaram em eliminar gradualmente os combustiveis fósseis de suas matrizes energéticas.

2°) Há ideias mirabolantes, tais como lançar milhares espelhos refletores entre a Terra e Sol, a de lançar gases por meio de milhares de balões na estratosfera para gerar nuvens que refletiriam parte dos raios solares resfriando a Terra e outras mais.

3º) Procurar adaptar-se da melhor maneira possível às transformações que o mundo viverá nas próximas décadas.

Essas mudanças serão inevitáveis, mesmo com a diminuição da participação humana no efeito estufa, sabe-se um terço do aquecimento tem causas naturais.
"Cada população terá de se preparar para um tipo diferente de desequilíbrio climático, como enchentes, furacões ou secas, e isso terá um custo alto", disse à revista "VEJA" o economista australiano Warwick McKibbin, da UMA - Canberra. A mesma reportagem afirma que: "Nosso sucesso como espécie ocorreu na janela geológica entre o fim da última era glacial e hoje, marcada por temperaturas amenas. Uma pequena variação pode ser letal para nosso estilo de vida".

Alguns exemplos: se a elevação do nível dos oceanos for somente de 1,0 metros, conforme uma das estimativas até o fim do século, a cidade do Recife-PE, terá de construir diques para não ser totalmente

inundada pelo mar. No Rio de Janeiro com 1,5 m, a Barra da Tijuca desaparecerá nas marés mais altas, alguns outros bairros do Rio só ficarão os morros, que se tornarão ilhas. A título de Ilustração apresenta-se como seria os efeitos do aumento da maré na praia de Ipanema, no Rio de Janeiro.

Figura-14 - Simulação de inundação para o bairro de Ipanema no Rio de Janeiro



Fonte : Revista Veja - 2005

Na Baixada Santista e Municípios Costeiros.

O aumento do nível, se ocorrer, será lento e gradual, permitindo o seu acompanhamento, e em se verificando, inúmeras providencias deverão ser tomadas, para isto os municípios precisam saber com antecedência onde atuar, quais as áreas atingidas e o que fazer para controlar e/ou proteger estas áreas em função do aumento do nível das marés e das ondas. A técnica desenvolvida pelo NPH-UNISANTA tem condições de determinar com exatidão todas estas áreas dos municípios costeiros do Brasil.

A região do Estuário de Santos, onde estão situadas as cidades de Santos, São Vicente, Guarujá, Praia Grande, Bertioga e Cubatão, com cerca de um milhão de habitantes, deve se previr inicialmente com controle de nível, instalando um marégrafo registrador de concepção moderna, com o intuito de se acompanhar as oscilações de nível local, inclusive com comparações com as alturas previstas pela Tábua das Marés.

Citam-se algumas obras que se farão necessárias dependendo de cada caso e região:

- Construção e/ou aumento da altura de muradas junto às praias,

- Molhes, quebra-mares, espigões marítimos,

- Obras de proteção e defesa costeiras mais afastadas das praias, controle de erosão marítima. Os governos estaduais e municipais poderão exigir que obras junto ao mar tenha uma determinada altura e ou tipo de estrutura.

- Modificação de toda a logística do Porto, além de obras de contenção, devido ao alagamento constante das áreas junto aos atracadouros. Todas estas obras muito dispendiosas e devem ser estudas e previstas em longo prazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERZIN G., RIBEIRO R., XXI - FENASAN - 2010 - “O que os Engenheiros Precisam Saber Sobre a Elevação do Nível do Mar e seus Efeitos na Baixada Santista”,
2. ACARENA – Associação Catarinense de Preservação da Natureza, “Nível do Mar” – 2006.
3. Agência FAPESP, “Descoberto o mecanismo que pode provocar o colapso da grande circulação do Atlântico", 07/2022.

4. CHIESSI,C.MAZUR prof. da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Artigo publicado no *Nature Communications*: "*Subsurface ocean warming preceded Heinrich Events*".
5. GRID ARENAL, UNED E OBSERVED CLIMATE TRENDS – "Sea Level Rise Due to Global Warning" – 2005 - London
6. ITON ALISSON - Agência FAPESP – "Nível do mar na costa brasileira tende a aumentar nas próximas décadas" – 2017
7. Laboratório de Marés e Processos Temporais Oceânicos (Maptolab) do Instituto Oceanográfico (IO) da USP.
8. MARENGO J. coordenador-geral de pesquisa e desenvolvimento do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) – "Relatorio da Agência FAPESP"
9. MUSEO DO AMANHA, Rio de Janeiro, gerido pelo Instituto de Desenvolvimento e Gestão – I
10. REVISTA VEJA – Efeitos do Aquecimento Global, Edição n° 1923, de setembro 2005.

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx