

# “ Sobre a Variabilidade Climática e Extremos do Nível do Mar “

Afranio Rubens de Mesquita – IOUSP

<http://www.mares.io.usp.br>

Apresentação feita no 18 SINAPE - São Pedro – Est. S Paulo

28 de Julho a 3 de Agosto de 2008

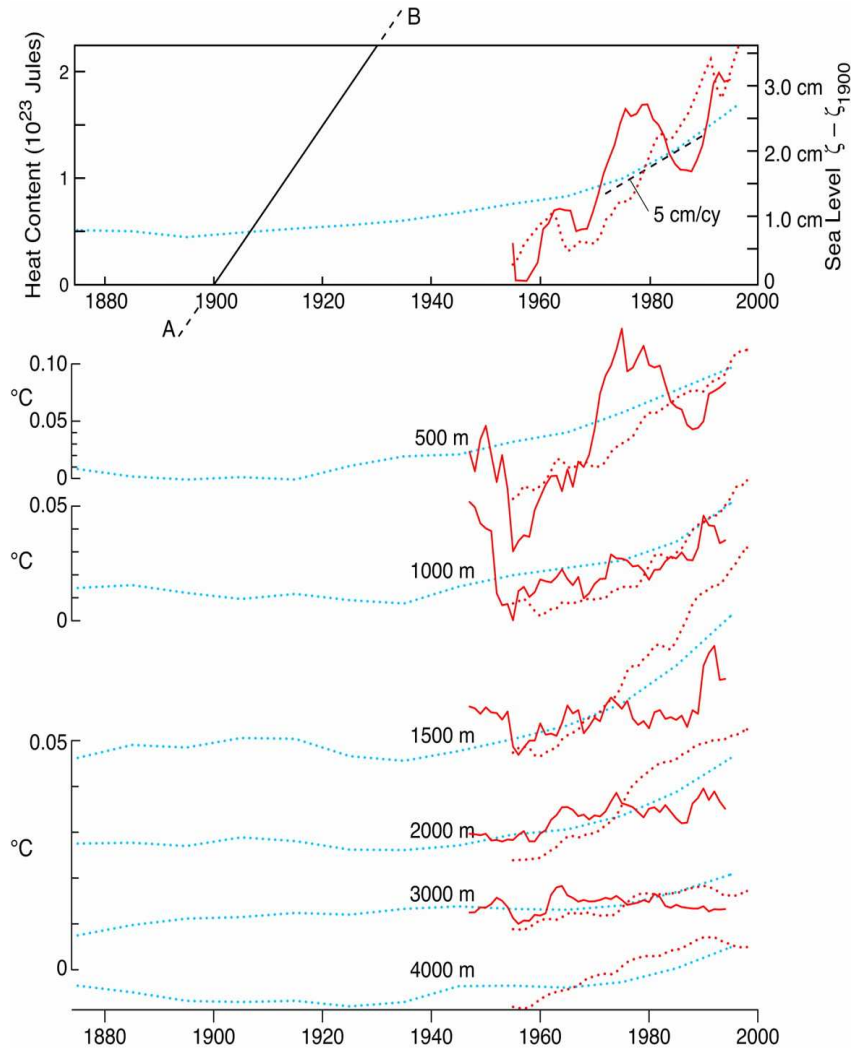
- Temas

- Tema 1 – Mudanças Climáticas –Temperatura
- Global dos Oceanos
- \* Considerações - 1
- -----
- Tema - 2 - Razão Variação da Crosta em Cananeia –
- -- Litoral do Estado de São Paulo
- \*\* Considerações - 2
- -----
- Tema - 3 - Valores Extremos - Cananeia –Costa
- Sudeste do Brasil
- \*\*\* Considerações - 3
- -----

- Conclusões

TEMA 1 – Mudanças Climáticas –  
- Temperatura Global dos Oceanos

# Tema I -Mudanças Climáticas – Variação Global da Temperatura dos Oceanos



**Fig 1 Parte de Cima** .- Conteúdo de calor. Curvas cheias indicam medições globais de temperatura e os conteúdos de calor associados entre 0 e 3000m no oceano global no período 1950-2000. Curvas pontuadas são previsões numéricas de dois programas de computador para o período 1880 -2000. À direita está a escala de variação do nível estérico do mar correspondente . A linha A B corresponde a variação do nível estérico na razão de 12 cm/século. Adaptado de Munk (2002).

**Fig 1 - Parte de Baixo**-. Mudanças de valores de temperatura em diferentes profundidades. Escalas verticais são ajustadas a diferentes profundidades na razão 1:2:4. e as previsões numéricas no período 1950 - 2000.

Como pode ser visto, existem variações da ordem de 0.05 graus centígrados, perfeitamente mensuráveis, através de Navios Oceanográficos capacitados e equipados com guinchos para fazer medições às profundidades de 5 a 6 mil metros. As medições de temperatura são de extrema importância para a determinação das variações do **nível estérico** do mar, conforme mostrado no lado direito da parte de cima da figura.

# Considerações - 1

- A partir do primeiro slide mostrando a figura produzida por Munk (2002) pode-se estimar que nos últimos 40 anos houve um aumento do conteúdo de calor, na camada oceânica de 0 a 3000 metros, da ordem de  $2 \times 10^{23}$  joules; no mesmo período houve um aumento da temperatura na camada de 0 a 500 metros de 0,10 graus centígrados e, em consequência, um aumento do **nível estérico** do mar da ordem de 3 cm. Nota-se também que todas as profundidades oceânicas até 3000 m apresentam variações térmicas decadais e intradecadais. Abaixo dessa profundidade os dados são escassos.
- Uma das inconformações de Munk(op.cit.) é a de que, “A compilação de Levitus virtualmente fechou a atribuição do aumento residual do oceano devido ao aquecimento global (**embora não se tenha conhecimento dos valores das profundidades abissais e dos Oceanos do Sul**)”.
-

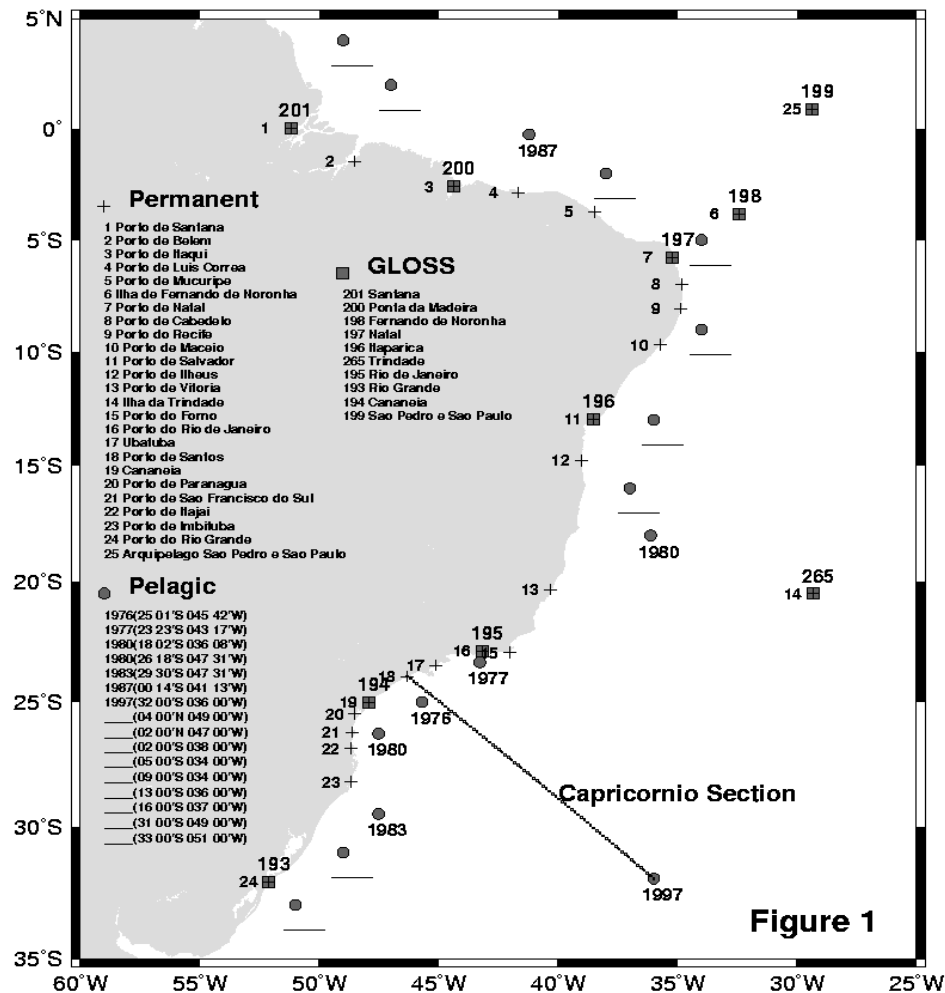
# Continuação Considerações - 1

- Em resposta a essa realidade **dos Oceanos do Sul**, precisa-se adquirir condições de poder fazer avaliações, ano a ano, da variabilidade térmica e salina das águas abissais no Atlântico Sul (da Água Antártica de Fundo, da Água Profunda do Atlântico Norte, bem como da Água Intermediária Antártica). No Atlântico Sul, é, entre outros, o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo que reúne melhores condições de fazê-las, provavelmente em colaboração com a DHN da Marinha do Brasil e claramente **é responsabilidade dos Docentes** dessa Instituição fazê-las, através de medições como as propostas, desde o início da década dos 80, na **Sessão Capricórnio, mostrada no próximo slide**.

Além disso, poderão também ser feitas previsões, através de **modelo numérico, França (2000)**, da variação anual da quantidade de calor armazenada nas diferentes Massas de Água do Atlântico Sul que, vindas do Antártico e do Ártico, ocupam as profundidades do Atlântico Sul, bem como nas Águas de superfície e da Corrente do Brasil e assim, contribuir para a correta estimativa **no Atlântico Sul** da evolução do **nível estérico** do mar e de sua contribuição na composição do (n.r.m.) em escala global, respondendo utilmente às expectativas da comunidade científica.

# Continuação Considerações I - Sessão Capricórnio - Estações Permanentes e Abissais de Medição do Nível do Mar

## Sea Level Stations



Na Figura é mostrada a **Sessão Capricórnio**. Sessão a ser realizada com Navio Oceanográfico que, saindo do porto de Santos, fará amostragens de Temperatura e de Salinidade, em várias profundidades, até o fundo do mar (4000m). Na Figura são também mostradas as posições geográficas, de estações onde são feitas medições de nível do mar, como as do GLOSS (Global Observing Sea Level System), da Marinha do Brasil e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, além das estações abissais, não permanentes, feitas pelo IO-USP.

**A Sessão oceanográfica Capricórnio proposta cobrirá as áreas das recentes descobertas de petróleo feitas pela PETROBRAS, bem como a área de ocorrência do furacão -Catarina – de recente detecção na região Sudeste pelos meteorologistas do CEPTEC.**

## Tema 2 - Razão de Variação da Crosta

- Área Estuarina de Cananeia--



# Tema 2 - Razão de Variação da Crosta na Área Estuarina de Cananeia



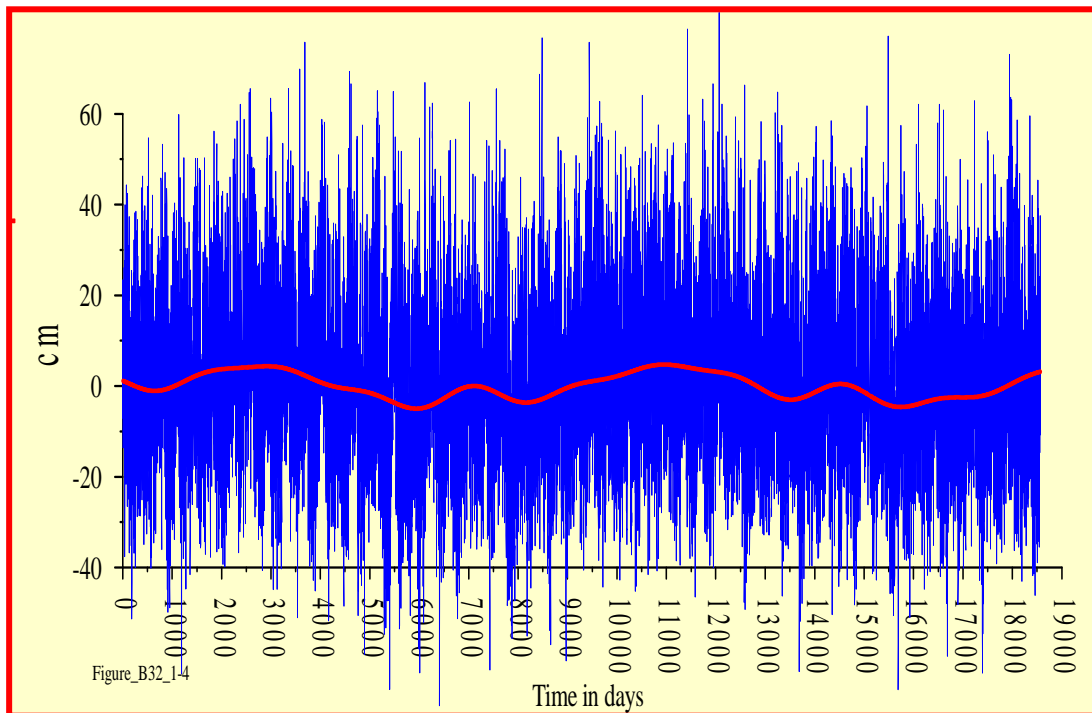
- Foram feitas comparações dos dados obtidos na estação de GPS de Cananeia , um estuário no Sul do Litoral do Estado de São Paulo e dos dados de nível do mar obtidos através do marégrafo AOTT, com o objetivo de estimar os valores do Nível Estérico do mar na região. A Figura ao lado mostra uma fotografia aérea da região da cidade de Cananeia, vendo-se também parte da Ilha Comprida, a Ilha de Cananeia e a Barra de Cananeia. Mesquita et al (2005).
- A Base de Cananeia foi fundada em 1954 e é operada pelo Instituto de Ciências Oceanográficas da Universidade de São Paulo, Brasil. A estação faz parte do programaGLOSS (Global Sea Level Observing System) e tem o número 194. Em 2002 foi instalada uma estação GPS e sua antena nas proximidades do medidor do nível do mar. Foram obtidos até agora cerca de 30 meses de frequências duplas que é utilizada nesta comunicação. Nivelamento geométrico é freqüentemente realizado entre a Estação GPS e o marégrafo.

# Torre da Antena de GPS de Cananeia



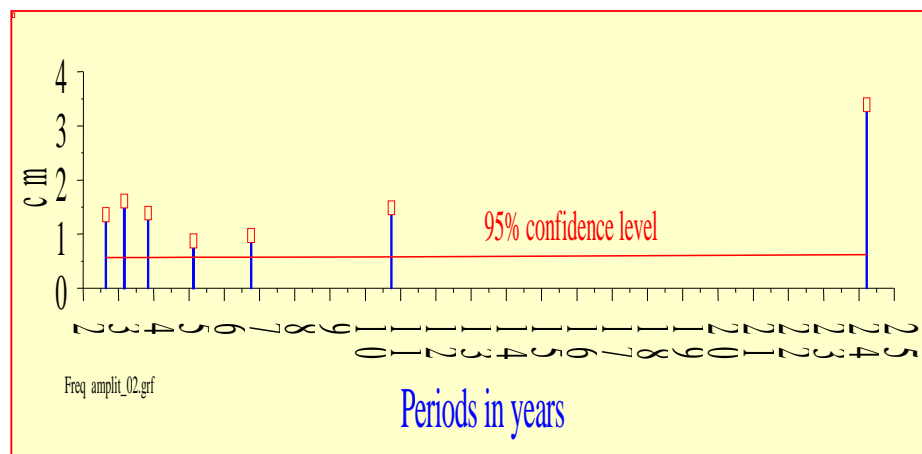
- A Figura ao lado mostra a Torre onde foi instalada a antena de recepção de sinal GPS na Base de Cananeia.
- O processamento dos dados de GPS seguiu as normas internacionais, usando o Serviço GNSS (IGS) e de sistema preciso de coordenadas ITRF-2000 de qualquer ponto no planeta. O Serviço utiliza modelos para corrigir os dados. Entretanto não foi aplicada correção, quanto as cargas oceânica e atmosférica . Outras informações sobre o programa de processamento podem ser obtidas no endereço:
- <http://www.ga.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps>

# Série dos Valores Horários do Nível do Mar de Cananeia após a eliminação da tendência



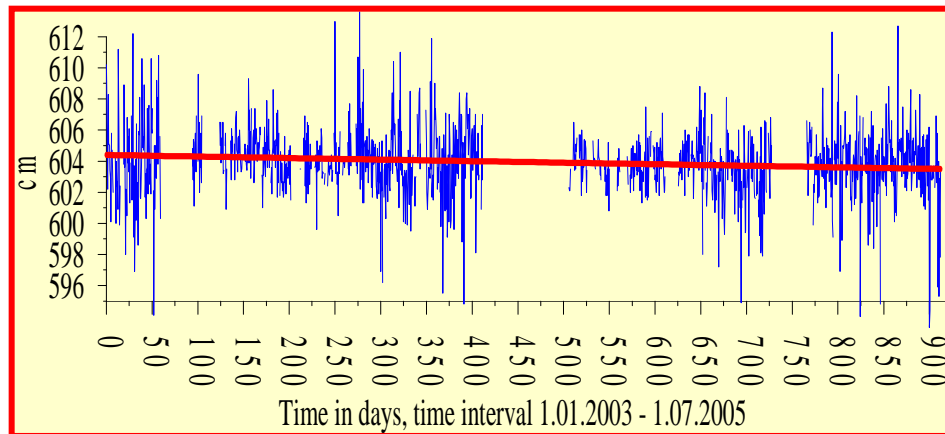
A Figura ao lado mostra os dados horários filtrados (detrended) dos efeitos do aumento do nível do mar de Cananeia. A linha vermelha corresponde a série filtrada das componentes de Maré. As flutuações observadas nessa linha são decorrentes do ENSO (El Niño & Oscilação Sul) fenômenos de natureza Oceânica e Meteorológica.

# Valores Intradecadais e Decadais da variação do Nível do Mar em Cananeia



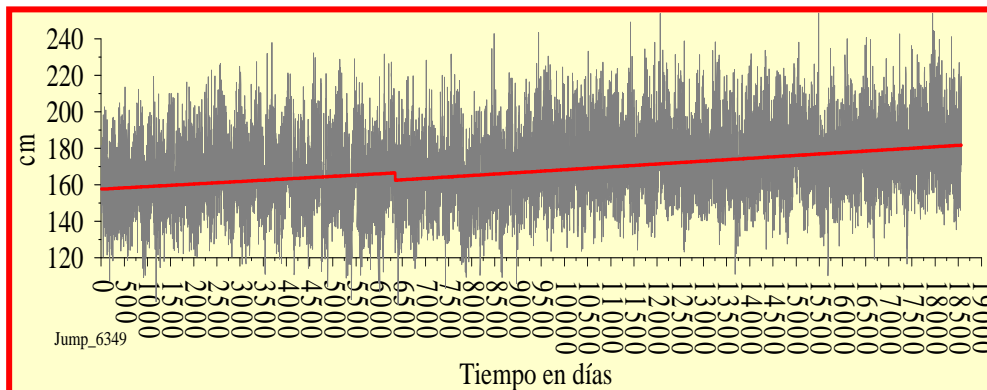
- A Figura ao lado mostra o periodograma obtido com os dados eliminados das componentes de marés e detrended (a linha vermelha do slide anterior). Os períodos desses picos espectrais evidenciam a influência do ENSO (El Niño e Oscilações Sul) no nível do mar em Cananeia . Amplitudes de periodicidades intra decadais ( 2 a 7 anos) e decadais ( 11 anos e 24 anos) são obtidas a 95 % de certeza estatística.

# Tendência dos Dados Verticais GPS



- A Figura ao lado mostra a série de tempo de alturas geométricas derivadas das medições GPS, depois de eliminadas certas incertezas . O valor estimado da razão de variação do movimento vertical de afundamento da crosta na Base de Cananeia derivado da inclinação da reta de regressão é de:
  - **$r2 = -0.38 \pm 0.11$  cm/year**

# Tendência do Nível do Mar em Cananeia



- O cálculo das variações do Nível Médio do Mar requer a estimativa de todas as componentes de marés que derivam do **potencial gerador de marés**; componentes dissipativas da energia das marés, também conhecidas como (componentes de pequeno fundo), marés radiacionais e outros componentes geofísicos, como a maré polar. Foi necessário identificar todas essas componentes de forma a realizar a filtragem de com grande precisão para checar a qualidade dos dados. A Figura mostra o conjunto dos dados horários originais de nível do mar de Cananeia, que após a filtragem mostrou um “jump”, um erro sistemático de 5cm nas medições. A correção desse fato possibilitou o cálculo preciso da tendência mostrada pela linha vermelha da Figura. Após a correção do “jump” foi obtido o valor do coeficiente da reta de regressão  $\underline{r}$  e do intercepto  $\underline{a}$  que produziram os seguintes números

- $a = 171.279 \pm 0.094 \text{ cm}$  ;
- $r1 = 0.5666 \pm 0.0070 \text{ cm/ano}$

# Indicações Preliminares

Os valores da tendência do nível do mar ( $r = 0,5666$  cm/ano) e da tendência do valores de GPS vertical ( $r = - 0,38$  cm/ano) indicam que a razão de variação do nível do mar de Cananeia é devida, principalmente, ao afundamento da crosta na região.

Estes resultados precisam ser confirmados, através de um conjunto maior de dados de GPS de Cananeia, bem como através de uma confrontação com o resultado das medições GPS e de Nível do Mar, em andamento, na base de pesquisas do IOUSP de Ubatuba, através de projeto de pesquisas aprovado pela FAPESP.



# Considerações - 2

A diferença entre a razão de variação do nível do mar e a razão de (variação crustal) em Cananeia é igual a 0,18 cm/ano.

Esse valor diferença é devido :1) ao aumento do volume da massa de água, em consequência do degelo (variação eustática) :2) à diminuição da salinidade da água do mar em razão do degelo (variação halostérica) :3) ao aumento da temperatura da água do mar (variação estérica), decorrente do Aquecimento Global da atualidade. Essas variações juntamente com a (variação crustal) compõem a razão de variação do Nível do Mar em Cananeia.

Para que sejam estimadas a (variação halostérica) separadamente da (variação estérica) e ter-se uma estimativa integral de todas variáveis do processo nível do mar de Cananeia, é necessária a ocupação anual da sessão Capricórnio proposta em 1980 com esse objetivo.

Procurar-se-á também com esse esforço determinar as variações decadais e intradecadais descobertas há 30 anos atrás nos dados de precipitação atmosférica do Nordeste brasileiro e nos dados de nível do mar de San Francisco (Morettin et al 1984 ), que agora foram também descobertas por Munk (2002), nos dados globais de temperatura dos oceanos.



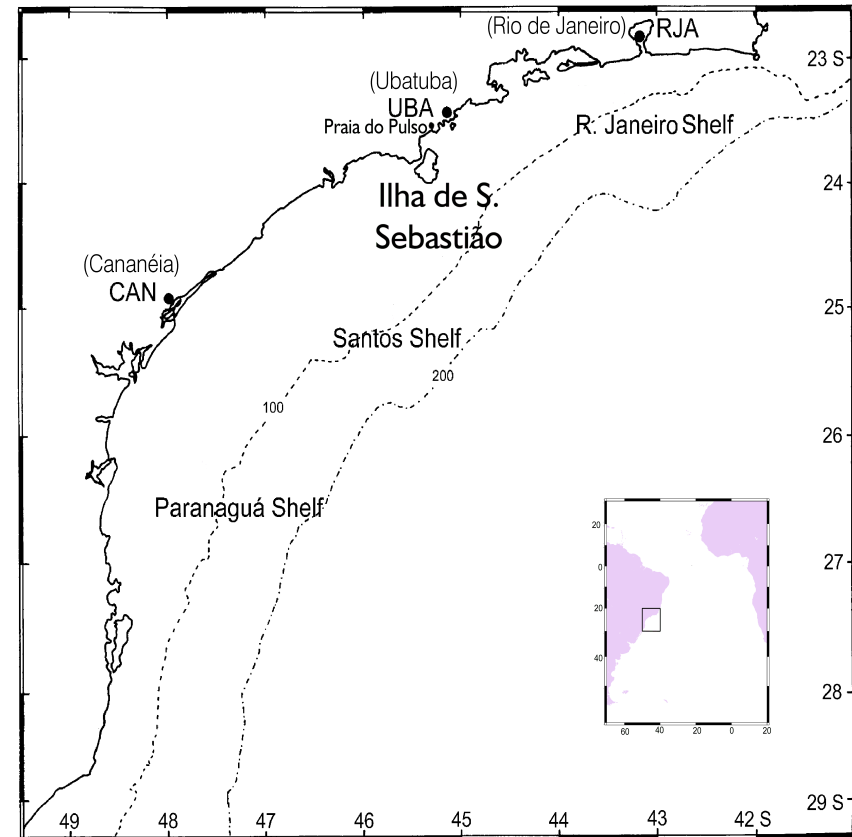
# Tema 3 - Valores Extremos – Cananeia – Costa Sudeste –

# Tema 3 - Valores Extremos – Cananeia – Costa Sudeste –

O nível do mar de Cananeia (Lat 25 1'.0 ; 47 55.5'Long), na costa sudeste do Brasil ( Fig 1 ), foi no passado analisado por vários autores, no estudo de sua interação com parâmetros da circulação e da atmosfera, da área estuarina onde a cidade é localizada. ( Miniussi 1958, Johannessen ,1967, Leinebö, 1969, Miao, and Harari 1973 )

Mais recentemente usando séries mais longas as análises das variações de longo termo do nível do mar definiram firmemente os períodos intradecadais e decadais relacionando-as com o ENSO (Mesquita, Harari & França, 1997). Desde então as leis que regulam o uso das praias (Lei brasileira No 4760) sobre os limites entre a terra e o oceano, lembrando o rápido aumento do nível do mar consequente aos atuais efeitos do aquecimento Global foram também objeto de análise (Mesquita 2001).

De fato o aumento do nível do mar é assunto preocupante que ameaça as praias , talvez, de toda a costa brasileira com uma razão de variação de cerca de 40 cm por século.



# Continuação-Tema 3 - Valores Extremos – Cananeia – Sudeste –

Muito mais preocupantes são os atuais valores extremos Globais estimados das tendências de aumento do nível do mar.

Em continuação aos estudos da área esta contribuição trata como o uso da teoria de Gumbell, Frechet e Weibull na forma exposta em Coles (2001) e também aos estudos de Pugh e Vassie(1979) sobre os tempos de recorrência dos valores extremos do nível do mar. A presente contribuição cobre apenas o porto de Cananeia e se espera que o esforço venha ser estendido a outros portos da costa Brasileira .

Dados de nível do mar distribuídos pela Universidade do Hawaii dos portos de Honolulu, de Atlantic City, San Francisco, Balboa e de Vigo , com séries mais longas foram analisadas de forma análoga para comparação na procura de, agora, das variações decadais e intradecadais na variabilidade dos níveis extremos do mar.

# Métodos – A Matriz de Extremos

- **Séries de dados horários** originais de nível de mar de Cananeia (50 anos) , Honolulu (102), Atlantic City(98), Balboa(92 anos), Vigo(48) e San Francisco (101 anos), foram submetidas à análise segundo o programa de computador PACMARE (Franco 2001), de forma a produzir :
- **a) as constantes harmônicas de cada ano e porto** das séries de dados horários originais, através de procedimentos expostos em Franco &Rock, (1971).
- **b) a série prevista (astronômica) de valores horários do nível do mar** de cada ano,e de cada porto, obtida à partir das **constantes harmônicas** da análise no passo a);
- **c) a série residual, (meteorológica)** através da subtração da **série de dados horários de nível do mar original** da **série prevista (astronômica), de dados horários de nível do mar** de cada ano e de cada porto.
- **d) os histogramas das séries do nível do mar (originais) e das séries previstas (astronômicas)** de cada ano e cada porto.
- **e) a probabilidade conjunta das series residuais (meteorológicas) e das séries previstas (astronômicas) de nível do mar de cada ano**, para cada porto, (Franco et al 2007).
- **f) a Matriz de Extremos** para cada porto (Tabela I), contendo os valores extremos de variáveis definidas nos histogramas dos dados de nível de mar.
- **g) os histogramas** de todas as séries de extremos mostradas nas colunas da Matriz de Extremos (Tabela I) e estimar visualmente as suas **caudas de cada ano e porto**.
- **h) a análise espectral** de todas as **séries de extremos** contidas na Matriz de Extremos (Tabela I) para estimar e testar as amplitudes e a ocorrência de periodicidades **de cada ano e porto**.

Tabela I – Matriz de Valores Extremos de Cananeaia

1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8 th	9th	10th	11th	12th	13th
70	246	158.47	33.69	-51	61	-0.01	18.16	-140	140	50	92	1955
67	244	158.88	33.76	-57	67	0.02	18.58	-150	150	97	13	1956
79	247	158.41	33.66	-67	70	0.01	18.49	-150	150	13	191	1957
73	252	161.51	34.10	-49	63	-0.02	18.48	-140	140	97	11	1958
84	245	162.34	33.86	-52	68	0.00	19.29	-130	140	5	13	1959
75	253	165.34	34.16	-47	77	0.07	18.03	-140	160	50	834	1960
71	249	166.26	34.24	-48	80	0.01	18.08	-150	150	700	14	1961
70	249	164.61	33.71	-61	79	-0.01	20.19	-150	150	63	29	1962
66	259	165.95	33.91	-64	100	0.00	18.44	-160	180	469	119	1963
66	260	165.59	34.30	-54	77	0.02	18.95	-150	160	17	85	1964
67	266	164.95	35.32	-53	63	-0.01	18.87	-150	150	61	12	1965
70	255	162.13	34.96	-60	95	0.01	18.66	-150	180	26	673	1966
76	254	162.34	33.85	-67	84	0.02	20.16	-160	160	1314	64	1967
59	260	159.65	35.45	-68	76	0.02	21.91	-170	170	121	234	1968
68	256	162.51	35.17	-78	70	-0.03	21.04	-170	150	72	16	1969
47	240	158.21	34.58	-76	90	0.07	20.84	-190	160	486	14	1970
52	260	162.90	35.36	-65	90	0.02	19.52	-170	180	14	547	1971
62	253	160.98	34.19	-70	74	0.01	19.02	-170	150	441	15	1972
74	248	163.96	34.24	-75	80	-0.01	17.46	-160	150	102	17	1973
68	250	164.41	35.03	-61	83	-0.02	19.00	-160	160	114	250	1974
56	263	160.42	36.25	-57	70	0.02	19.70	-160	160	40	164	1975
77	244	160.60	34.30	-59	69	0.01	18.81	-140	140	17	8	1976
77	253	163.77	35.45	-61	97	-0.02	19.15	-150	180	142	473	1977
74	253	166.19	35.45	-72	70	-0.01	18.85	-160	150	12	312	1978
73	257	169.70	35.32	-58	72	0.02	17.78	-160	150	1095	364	1979
80	256	172.12	34.77	-58	100	0.00	21.11	-150	170	32	27	1980
82	255	170.06	34.95	-54	80	-0.01	17.97	-140	150	48	16	1981
85	254	171.76	34.62	-71	77	0.00	19.62	-160	150	350	21	1982
87	263	176.34	35.09	-66	79	0.01	19.75	-160	160	772	380	1983
87	267	175.63	35.00	-53	72	-0.01	18.81	-140	150	10	93	1984
81	266	172.05	35.24	-54	83	-0.02	18.98	-140	160	5	12	1985
82	267	174.82	35.21	-53	79	0.00	19.35	-140	160	5	46	1986
78	258	177.48	34.38	-63	84	0.01	19.21	-160	150	32	6	1987
63	259	171.16	35.31	-63	95	-0.01	20.94	-170	170	292	101	1988
66	263	169.71	35.07	-45	90	0.07	18.63	-150	170	398	127	1989
79	266	172.94	34.88	-65	80	0.02	19.10	-160	160	243	43	1990
75	258	169.58	35.06	-63	75	0.02	19.58	-150	150	6	49	1991
79	256	172.80	34.81	-58	86	-0.01	20.41	-150	160	93	46	1992
90	262	175.65	34.74	-60	68	-0.01	19.08	-150	150	604	343	1993
86	269	173.34	35.05	-59	77	0.06	18.79	-150	170	37	51	1994
78	262	172.30	35.50	-56	82	0.03	18.50	-155	171	120	240	1995
75	254	171.23	35.68	-53	98	-0.02	18.13	-150	170	215	14	1996
78	256	172.33	35.12	-67	77	-0.01	19.12	-160	150	31	151	1997
81	265	177.01	35.06	-73	70	0.01	18.01	-170	150	292	224	1998
80	263	176.36	35.04	-92	216	0.00	21.09	-160	155	300	100	1999
90	260	175.78	35.17	-59	79	-0.02	18.30	-150	150	625	11	2000
76	272	176.24	35.72	-57	91	-0.01	18.19	-160	180	324	1877	2001
92	271	179.69	34.81	-81	90	0.02	18.76	-170	170	136	110	2002
97	272	184.98	35.22	-87	144	0.00	21.11	-165	155	200	50	2003
82	265	179.89	35.02	-61	63	-0.01	19.86	-160	140	1501	62	2004

A Tabela I foi produzida com os valores extremos de Cananeaia definidos à partir dos histogramas de dados horários mencionados no slide anterior. Cada linha da Tabela I se refere ao ano mostrado na última coluna (décima terceira).

--Na primeira, segunda, terceira e quarta colunas são mostrados, respectivamente, 1) os valores extremos dos mínimos, e 2) os valores extremos dos máximos, previstos (astronômicos) de Nível do Mar, 3) os valores médios anuais do Nível do Mar e 4) os valores extremos do **desvio padrão dos dados horários originais** de cada ano.

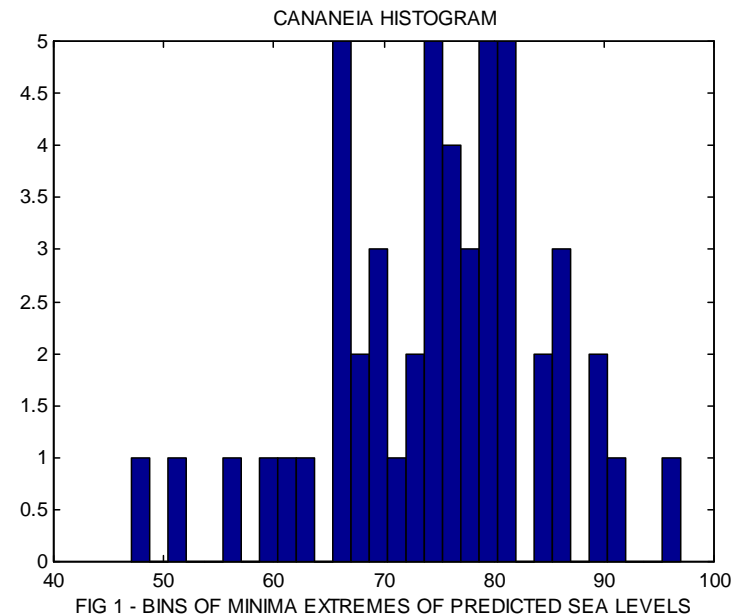
--Na quinta, sexta, sétima e oitava colunas estão os 1) **valores anuais** dos extremos mínimos, 2) de valores extremos máximos, 3) valores extremos das médias e 4) valores extremos do desvio padrão da série residual (meteorológica).

--Na nona, décima, décima primeira, e décima segunda colunas estão, respectivamente, os 1) **valores extremos anuais** da probabilidade conjunta (dos **valores horários** astronômicos **previstos** de nível do mar) com (os **valores horários** da série residual (**meteorológica**)) de cada ano e, em seguida, 2) o **período de retorno** dos valores mínimos e 3) **período de retorno** dos valores máximos extremos **anuais**.

--Note-se que, embora calculados para cada ano de dados, os valores mínimos e máximos dos períodos de retorno variam substancialmente de ano para ano.

# Histogramas dos Valores Extremos

- À partir da Tabela I foram produzidos histogramas dos extremos de cada coluna, como mostrado na Figura ao lado para o porto de Cananeia, que tem 50 anos de dados horários.
- Tabelas similares foram preparadas contendo os valores extremos para os portos de Balboa, Honolulu, Atlantic City, Vigo e de San Francisco.
- A forma das caudas (Frèchet à esquerda; Weibull à direita e Gumble caudas simétricas) de histogramas similares, como a mostrada na Figura, de todos os portos em estudo é mostrada na Tabela II.



# Tabela II -Caudas dos Histogramas

Porto	1st	2d	3d	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
Balboa	right	left	right	mix	left	right	mix	right	left	right
Cananea	left	left	right	mix	left	right	mix	right	left	right
S Francisco	right	right	right	mix	left	right	mix	right	left	right
Honolulu	left	left	left	mix	left	right	mix	right	left	right
AtlanCity	left	left	right	mix	left	right	mix	right	left	right
Vigo	right	right	right	mix	left	right	mix	right	right	left

- A Tabela II mostra a direção das caudas dos histogramas, construídos à partir dos dados da Tabela I para os portos de Balboa (Panama), Cananea (Brasil), San Francisco (Est Unidos), Honolulu (Est Unidos), Atlantic City (Est Unidos) and Vigo (Espanha).

--As caudas dos valores extremos mínimos e máximos da Primeira e Segunda colunas não parecem se repetir para todos os portos. A terceira coluna que corresponde aos valores médios do mar apenas Honolulu tem cauda à esquerda. (Fréchet)

-A quarta coluna mostra que os valores extremos do desvio padrão do nível do mar de todos os portos não tem caudas definidas, exibindo uma espécie de mistura de todas as caudas, sendo provavelmente distribuições de Gumble . .

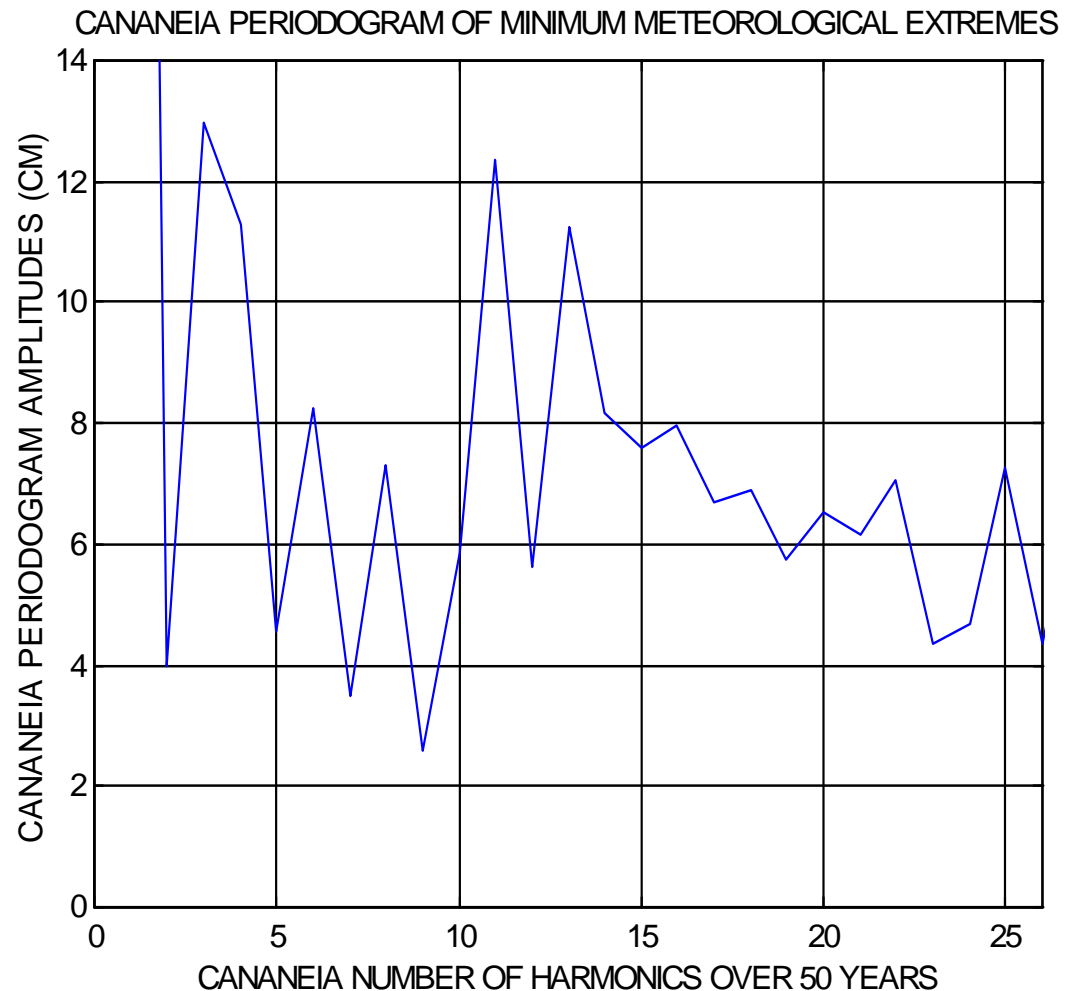
-Enquanto que a quinta, sexta, sétima e oitava colunas, para os valores mínimos, máximos, média e desvio padrão dos extremos das séries residuais (meteorológicas), as caudas tem direções, à esquerda, ou à direita em todos os portos.

-Resultado similar é obtido para a distribuição conjunta dos dados de mínimos e de máximos extremos de previsão do nível do mar e de resíduo (meteorológico), nona e décima colunas, com exceção de Vigo.

-Estes resultados são preliminares pois parecem depender da forma como as constantes harmônicas foram calculadas para a produção dada série residual.

## Análise Espectral das Séries de Extremos

Foi feita a análise espectral dos valores extremos de todas as colunas da Tabela I, para todos os portos em consideração. Todas as series foram plotadas como na Figura, de onde foram identificadas as amplitudes e períodos mais comuns que foram submetidos ao teste de estatístico de Fisher( 1928) para sua aceitação. Na Figura, amplitudes de harmônicos entre os números 3 e 4, por exemplo, correspondem a períodos  $50/3$  anos e  $50/4$  anos, portanto períodos entre 16 e 12 anos, e assim por diante.





**Tabela III– Harmônicos de Cananeia que passaram no Teste de Fisher**

No Har	Period	Amplit	Test	Fisher	
1.0000	50.0000	8.3262	0.3482	0.1259	
2.0000	25.0000	5.1740	0.2063	0.1294	
6.0000	8.3333	4.6240	0.2076	0.1332	First
3.0000	16.6667	3.5430	0.1538	0.1373	
15.000	3.3333	3.5249	0.1799	0.1416	
1.0000	50.0000	5.2521	0.2340	0.1259	
3.000	16.6667	4.7531	0.2502	0.1294	2d
4.0000	12.5000	3.1066	0.1425	0.1332	
1.0000	50.0000	6.9555	0.5439	0.1259	
3.0000	16.6667	3.4762	0.2979	0.1294	
5.0000	10.0000	2.6546	0.2474	0.1332	
4.0000	12.5000	1.8126	0.1533	0.1373	3d
10.0000	5.0000	1.7627	0.1712	0.1416	
6.0000	8.3333	1.5651	0.1628	0.1463	
8.0000	6.2500	1.3919	0.1538	0.1514	
1.0000	50.0000	0.4135	0.2368	0.1259	4th
2.0000	25.0000	0.3580	0.2325	0.1294	
2.0000	25.0000	6.7126	0.2331	0.1259	
10.0000	5.0000	6.1230	0.2530	0.1294	5th
3.0000	16.6667	5.0955	0.2345	0.1332	
12.0000	4.1667	5.0469	0.3005	0.1373	
14.0000	3.5714	12.9254	0.1582	0.1259	6th
13.0000	3.8462	0.0169	0.269	0.1259	7th
0	0	0	0	0	8th
0	0	0	0	0	9th
0	0	0	0	0	10th

A Tabela III contem os resultados da aplicação do teste de Fisher (1929) às colunas de valores extremos da Tabela I. As séries de dados anuais de cada coluna foram analisadas por Fourier e os picos espectrais testados.

(No Har) é o número do harmônico , (Período) é a periodicidade do harmônico em anos. (Amplit) é a amplitude do harmônico (cm). (Test) é o valor estimado ( $g^*$ ) do teste para o harmônico considerado. (Fisher) é o valor limite teórico da estatística de Fisher. Se ( $g^*$ ) é maior que ( $g$ ) o harmônico é aceito.

Amplitudes das transformadas de Fourier de séries de valores extremos de outros portos em consideração (Honolulu, San Francisco, Balboa, Vigo..., submetidas ao teste de Fisher passaram no teste, mesmo as nonas e décimas colunas – o contrário ao que é mostrado nesta tabela III para o porto de Cananeia.

**Tabela IV – Balboa - Harmônicos que passaram no Teste de Fisher**

No Har	Period	Amplit	Test	Fisher	
20.0000	4.4000	10.5976	0.3877	0.0844	
1.0000	88.0000	6.7906	0.2599	0.0859	
5.0000	17.6000	4.1854	0.1334	0.0873	
2.0000	44.0000	3.7151	0.1213	0.0889	1st
40.0000	2.2000	3.6654	0.1344	0.0905	
3.0000	29.3333	3.0857	0.1100	0.0921	
21.0000	4.1905	2.8678	0.1068	0.0939	
16.0000	5.5000	2.5881	0.0974	0.0957	
20.0000	4.4000	12.4504	0.5811	0.0844	
19.0000	4.6316	4.1277	0.1525	0.0859	
5.0000	17.6000	3.7293	0.1469	0.0873	
7.0000	12.5714	3.1925	0.1262	0.0889	
6.0000	14.6667	3.0281	0.1299	0.0905	2d
18.0000	4.8889	2.9951	0.1460	0.0921	
11.0000	8.0000	2.3968	0.1095	0.0939	
28.0000	3.1429	2.3655	0.1198	0.0957	
40.0000	2.2000	2.3040	0.1291	0.0976	
32.0000	2.7500	2.0374	0.1159	0.0995	
36.0000	2.4444	1.8129	0.1038	0.1016	
1.0000	88.0000	4.0046	0.3258	0.0844	
2.0000	44.0000	2.0240	0.1234	0.0859	3d
7.0000	12.5714	1.8265	0.1324	0.0889	
5.0000	17.6000	3.9947	0.6809	0.0844	
4.0000	22.0000	1.6677	0.3719	0.0859	
2.0000	44.0000	1.1600	0.2865	0.0873	
1.0000	88.0000	0.9571	0.2733	0.0889	
6.0000	14.6667	0.7659	0.2409	0.0905	
3.0000	29.3333	0.6540	0.2314	0.0921	4th
Note-se que as séries de todas as colunas tem energia distribuída nos períodos intradecadais e decadais. As séries de extremos de Balboa são maiores do que as de Cananeia.					
Continued					
No Har	Period	Amplit	Test	Fisher	
7.0000	12.5714	0.6296	0.2789	0.0939	
9.0000	9.7778	0.4220	0.1739	0.0957	
22.0000	4.0000	0.3216	0.1222	0.0976	
8.0000	11.0000	0.2867	0.1106	0.0995	
23.0000	3.8261	0.2817	0.1201	0.1016	5th
18.0000	4.8889	0.2657	0.1215	0.1038	
19.0000	4.6316	0.2621	0.1345	0.1061	
16.0000	5.5000	0.2440	0.1347	0.1084	
6.0000	14.6667	7.9415	0.0885	0.0844	
23.0000	3.8261	10.2030	0.1535	0.0844	6th
1.0000	88.0000	9.9623	0.1729	0.0859	
42.0000	2.0952	7.1724	0.1083	0.0873	
23.0000	3.8261	0.0568	0.8079	0.0844	
21.0000	4.1905	0.0090	0.1066	0.0859	7th
24.0000	3.6667	0.0079	0.0912	0.0873	
1.0000	88.0000	0.4495	0.1324	0.0844	
4.0000	22.0000	0.4084	0.1260	0.0859	8th
19.0000	4.6316	0.3263	0.0920	0.0873	
2.0000	44.0000	0.3236	0.0997	0.0889	
20.0000	4.4000	10.8397	0.1010	0.0844	
28.0000	3.1429	9.9631	0.0949	0.0859	
3.0000	29.3333	9.1019	0.0875	0.0873	9th
6.0000	14.6667	8.9623	0.0930	0.0889	
5.0000	17.6000	8.4792	0.0917	0.0905	
1.0000	88.0000	10.4333	0.1273	0.0844	
23.0000	3.8261	10.1527	0.1381	0.0859	10th
20.0000	4.4000	7.8058	0.0947	0.0873	
Note que as séries de todas as colunas da matriz de extremos do porto de Balboa tem energia nos períodos de décadas e intradécadas.					

## Notas Sobre os Procedimentos Adotados

- **Os Dados**

- Os dados horários originais de nível do mar de todos os portos foram interpolados para dados faltantes das séries, através de previsão de marés, na produção da Matriz de Extremos.
- Os resultados são bastante dependentes do comprimento das séries horárias originais à partir das quais as constantes harmônicas são calculadas. Elas podem ser calculadas à partir de todo o conjunto de dados horários de nível do mar, ou à partir de dados de cada ano do conjunto. Como as séries de diferentes portos tem comprimento diferentes foi adotado como regra geral para a comparação dos resultados, produzir o cálculo das constantes para cada ano de dado em estudo.
- Outra regra adotada foi o de trabalhar apenas com séries sem correção da tendência, pois todas elas além não serem simultâneas tem razão de variação com o tempo diferente ao longo dos anos.

- **Os Histogramas**

- Os estudos estatísticos de valores extremos identificaram três classes de distribuição de valores extremos conhecidas como distribuições de Gumble, Fréchet e Weibull. A característica extraordinária desse resultado é a de que os três tipos de distribuição de valores extremos são os únicos limites possíveis, independente da distribuição dos dados originais (Coles, 2001). Os três tipos de limites obtidos nesta comunicação, Tabela III, tem formas diferentes de caudas dependendo da distribuição dos dados horários originais, ao que tudo indica.
- Este fato pode ser visto na Tabela III, onde há um comportamento similar de todas as séries meteorológicas de extremos, com poucas exceções. A distribuição dos valores extremos mínimos (Quinta coluna da Tabela III) tem o tipo de distribuição Fréchet, enquanto a distribuição dos máximos (Sexta coluna) tem em todos os portos, Cananea inclusive, a distribuição tipo Weibull. Isso é também evidente nas distribuições conjuntas da série residual e série de previsão de marés mostradas na Sétima e Oitava colunas. As distribuições dos valores extremos dos desvios padrões (Sétima coluna) tem em geral uma espécie de perfil mixto, embora não em todos os histogramas. Este fato também não parece poder ser atribuído a nenhuma das distribuições estatísticas Gumble, Fréchet e Weibull, embora os conjuntos de dados sejam, em todos os portos estudados, suficientemente longos.

-

- **O Teste de Fisher**
- O teste de Fisher aceita apenas as amplitudes do periodograma que melhor produzem o ajuste da série de Fourier aos dados. Ele não assegura que há uma causa física de qualquer pico espectral que tenha passado nos testes.
- 
- As causas físicas tem de ser obtidas por comparação com outros resultados com os mesmos dados que tenham investigado essas causas, como por exemplo em Mesquita, A. R. de , Harari, J. & Franca, C. A. de S. (1997) para o caso de Cananeia.
- 
- 
- 

- **O Nível e Período de Retorno de Cananeia**

A distribuição conjunta de valores previstos, Pugh and Vassie (1979), foi calculada para cada ano de dados. Para cada ano, elas as séries de nível do mar e de resíduos originaram separadamente valores extremos que foram bem dentro dos limites da variação dos dados originais, enquanto que a distribuição conjunta produziu níveis e períodos de retornos extremamente variáveis e muito maiores do que esperado.

Por essa razão valores médios de níveis extremos e de período de retorno desses extremos foram calculados à partir das colunas 11 e 12 da Tabela III, produzindo 1) 380 cm para o extremo máximo e 20 cm para o extremo mínimo durante os próximos 200 anos em relação ao nível médio do mar.(180 cm no presente)

# Considerações - 3

- -1) De acordo com a teoria estatística, os valores extremos de qualquer variável real, tem, no limite, apenas três tipos possíveis de distribuições, qualquer que seja a distribuição que tenham os dados originais, de onde são estimados os valores extremos. São as distribuições de Gumbell, Fréchet e Weibull, mencionadas em Coles (2001). Essas distribuições foram posteriormente generalizadas como uma única distribuição denominada GEV (Generalized Extreme Value).
- -2) O que é intrigante nessa distribuição é o fato de derivação de natureza geométrica, como ela é, realizada no domínio do real, possa determinar formas de distribuições de dados relativos ao mar e a atmosfera, esporádicos, extremos e únicos, que tem natureza dinâmica e que são gerados por forças aceleradoras determinantes, desses mesmos valores extremos. Como algo dinâmico e esporádico pode resultar de uma abstração geométrica e vice versa? Qual é a mágica desse processo?
- -3) O que é intrigante também é saber se é possível determinar, com precisão, o tipo de distribuição de valores extremos que tem os dados de nível do mar de Cananeia, pois essa determinação passa por procedimentos de filtragem dos dados reais da maré astronômica local e de suas componentes não lineares, geradas pelas correntes locais de maré, cujo mecanismo de produção ainda é uma incógnita. Dependendo como a filtragem é feita a cauda da distribuição pode ser diferente.
- -4) Portanto, dependendo como a maré é gerada e filtrada dos dados originais, a distribuição dos resíduos resultantes da filtragem pode exibir cauda à esquerda, à direita ou nenhuma cauda, segundo distribuições de Fréchet, Weibull, ou Gumbel, respectivamente. A pergunta que se faz nesse caso é a de que, qual método de análise de marés (Franco, Foreman & Munk and Cartwright) produz uma filtragem que conduz à determinação da cauda **verdadeira** da distribuição do porto de Cananeia. Serão todos os métodos equivalentes para a determinação das caudas **verdadeiras** das distribuições?

# Continuação - Considerações – 3

- -5) Existem evidências, ainda por confirmar, como a produzida, na Tabela abaixo, por Franco et al (op.cit.), de que dados de nível do mar provenientes de diferentes locais, podem ter caudas diferentes. A cauda da distribuição de níveis extremos do porto de Cananeia é à esquerda da média da distribuição (Fréchet), enquanto as caudas dos portos de Balboa, San Francisco e de Vigo são à direita (Weibull), como se vê na Tabela abaixo.

Tabela

Cauda das distribuições dos valores mínimos extremos do Nível do Mar dos portos de :

Porto	Cauda	Distribuição
Balboa	- à direita -	Weibull
Cananeia	- à esquerda -	Fréchet
San Francisco	- à direita -	Weibull
Honolulu	-à esquerda -	Fréchet.
Atlantic City	- à esquerda -	Fréchet.
Vigo	- à direita -	Weibull

- -6) Como podem elas ser diferentes? Se todos os dados são dados horários de nível do mar (Cananeia, Balboa, San Francisco & Vigo) e, a distribuição dos extremos, de acordo com a teoria, não depende da distribuição dos dados originais. ? Terá a discordância com a teoria, dados de mesma variável produzindo distribuições de extremos diferentes, ocorrido devido a ação das forçantes atmosféricas? Que podem ser diferentes de porto a porto? Será devido ao cálculo de constantes harmônicas locais à partir de datas iniciais diferentes? Terá sido a dinâmica do fenômeno das marés, que produziu, após uma filtragem inadequada, uma distribuição diferente das indicadas pela teoria estatística, interferindo no processo nesses locais? Em que circunstâncias podem as distribuições do nível residual do mar ser diferentes?
- -7) Todas essas perguntas deverão ser examinadas e, eventualmente respondidas, no projeto temático já aprovado pela FAPESP (Morettin et al 2008) , durante o trabalho de estimar os valores extremos à partir de dados horários originais dos portos de Belém, Fortaleza, Recife , Salvador , Rio de Janeiro e Imituba no litoral do país, utilizando os programas PACMARE. (Franco, 2001), S-PLUS e MATLAB.

# Conclusões

- 1) À partir do primeiro slide mostrando a figura produzida por Munk (2002) pode-se estimar que nos últimos 40 anos houve um aumento do conteúdo de calor na camada oceânica de 0 a 3000 metros da ordem de  $2 \times 10^{23}$  joules, (com uma razão de variação de  $5 \times 10^{21}$  joules por ano). No mesmo período houve um aumento da temperatura na camada oceânica de 0 a 500 metros de 0,10 graus centígrados (com uma razão de variação de 0,0025 graus Celsius por ano) e, em consequência, produziu um aumento do **nível estérico** do mar da ordem de 3 cm ( com uma razão de variação de 0,75 mm por ano). Nota-se também que todas as profundidades oceânicas até 3000 m apresentam **variações térmicas decadais e intradecadais**. Abaixo dessa profundidade os dados são escassos.
  
- 2) Os valores da tendência do nível do mar em Cananeia ( $r_1 = 0,5666$  cm/ano) e da tendência dos valores de GPS vertical ( $r_2 = - 0,38$  cm/ano), indicam que o aumento do nível do mar de Cananeia é devido, principalmente, ao afundamento da crosta na região.
  
- 3) A diferença ( $r_3$ ) entre a razão de variação do nível do mar ( $r_1$ ) e a razão de variação crustal ( $r_2$ ), em Cananeia, é igual a 0,18 cm/ano.
  
- 4) O valor diferença ( $r_3$ ) corresponde à : 1) ao aumento do volume da massa de água, em consequência do degelo (variação eustática) : 2) à diminuição da salinidade da água do mar em razão do degelo (variação halostérica) e: 3) ao aumento da temperatura da água do mar (variação estérica), decorrente do Aquecimento Global da atualidade. A razão dessas variações em cada ano, juntamente com a da (variação crustal) compõem a razão de variação ( $r_1$ ) do Nível do Mar em Cananeia.

# Continuação - Conclusões

- 5) Para que sejam estimadas a variação halostérica separadamente da variação estérica e ter-se uma estimativa integral de todas variáveis do processo nível do mar de Cananeia é necessária a realização anual de medições oceanográficas na sessão Capricórnio, proposta em 1980, portanto, há 30 anos atrás com esse objetivo, além de determinar-se as variações decadais e intradecadais de salinidade e de temperatura na costa sudeste do país.
- 6) Análises comparativas dos valores extremos de 50 anos de dados de nível do mar da estação de Cananeia SP e dados das estações de Atlantic City (USA) (92), Balboa Panama (88), Honolulu USA (99), Vigo Spain (48) e San Francisco USA(103), showed similar Fréchet and Weibull histograms para a distribuição conjunta nível previsto do mar / meteorologia. Foi difícil visualizar e determinar o tipo de distribuição dos extremos dos desvios padrão do nível médio do mar e da série residual. Esse fato está possivelmente relacionado à determinação das constantes harmônicas de marés.
- 7) Os valores mínimos e máximos dos extremos do nível previsto do mar e os extremos do nível médio do mar de Cananeia e de todos os portos analisados tem também caudas variáveis seguindo as de Fréchet e de Weibull , fato que parece estar também relacionado com a determinação inadequada das constantes harmônicas. Isso também é bastante visível nos valores extremos dos desvios padrões do nível do mar que, em geral, é difícil ter-se certeza de que tenha um tipo misto de cauda, Fréchet e Weibull
- 8) A distribuição conjunta dos extremos mar/meteorologia, tanto os máximos quanto os mínimos de Cananeia não tiveram picos espectrais aprovados pelo Teste de Fisher, bem como o desvio padrão dos valores extremos da série residual. Entretanto, os extremos de outras localidades ( San Francisco, Balboa,...etc) tiveram amplitudes que passaram no Teste de Fisher e indicaram a ocorrência de periodicidades decadais e intra decadais também na distribuição conjunta.
- 9) Para período de retorno de retorno de 200 anos da série de Cananeia, o correspondente nível de retorno tem valor médio de extremos máximos de 320 cm e de extremos mínimos de 20 cm, em relação ao nível médio do mar que atualmente é cerca de 180 cm.



# Referências

- 1--Coles, S ( 2001 ).An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer-Verlag . London Limited. 208p.
- 2--Fisher,R, A. (1929). Tests of Significance in Harmonic Analysis.Proc. Roy. Soc.,ser.A. 125:54-59.
- 3--Franco, A. dos Santos & Rock, N.J.(1971). The fast Fourier Transform and its Application to Tidal Oscillations. Bolm Inst. oceanogr., S. Paulo, 20(1):455-199.
- 4--Franco, A.dos S.(2001). Programas de Análise e Previsão de Marés.PacMare. Consultar [as\\_franco@uol.com.br](mailto:as_franco@uol.com.br).
- 5--Franco, A. dos S. , Mesquita, A. R. de, Harari, J.& França, C. A. de S. (2007).Preliminary Results of Extreme Sea Level Events from Cananeia Brazil . Afro America Gloss News (2007).Edição 11(1) :12p. Ver [www.mares.io.usp.br](http://www.mares.io.usp.br) .
- 6--Johannessen,O. M. (1967). Preliminary Studies on the Mean daily Oscillation of Sea Level and Atmospheric Pressure at Cananeia and Santos on the southern Part of the Brazilian coast.Contrções Inst. Oceanogr. Univ. S. Paulo, sér. Ocean. fís. N 9 :1-2
- 7--Leinebö, R. (1969).Study of Coastal water on the Brazilian Shelf at Latitude 25 S. Contrções Inst. Oceanogr. Univ. S. Paulo, sér. Ocean. fís. N 11 :1-14.
- 8--Miyao, S. Y. & Harari, J. - 1989 - “Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (25°S - 48°W)”– Boletim do Instituto Oceanográfico da USP, nº37 (2), p. 107 - 123.
- 9--Miniussi,I.C. (1958).Nível de reducao de sondagens e variação anual do Nível Médio Mensal do Porto de Cananeia .Contrções Inst. Oceanogr. S. Paulo. Univ. S. Paulo. sér. Ocean, fís. N 2 ,7 p.
- 10--Mesquita, A. R. de. , Harari, J. & Franca, C. A. de S. (1997). Global Change in the South Atlantic : Decadal and Interdecadal Scale. Anals. Braz. Acad. scien. V(66),
- 11--Mesquita, A. R. de, Franca, C. A. de S., Blitizkow, D., Trabanco, L. L., Quandt, M. & Correa, M. A. (2001). Nível do Mar de 1831 em Barra do Una. Afro America GLOSS News . Vol(5), 1:2-8 see . [www.mares.io.usp.br](http://www.mares.io.usp.br) Icon AAGN.
- 12-- Mesquita, A. R. de , C. A. de S. França, B. Ducarme, A. Venedikov, D. S. Costa, M. A. de Abreu, R. Vieira Diaz, D. Blitizkow, S. R. C. de Freitas, J. A. L. Trabanco (2005) [Analysis of the mean sea level from a 50 years tide gauge record and GPS observations at Cananéia \(São Paulo–Brazil\)](#) .Afro America Gloss News. Edição 9(1). 1p.ver [www.mares.io.usp.br](http://www.mares.io.usp.br) – Laboratório MAPTOLAB.
- 13--Morettin, P.A & Mesquita, A. R. de(1984) Rainfall at Fortaleza Brazil Reviseted. In time Series Analyses. UK Vol 1: 66 – 87.
- 14--Morettin, P.A. et al (2008) . Programa Temático de Análise Estatística. Processo FAPESP No xxxxxxxxxx.
- 15--Munk, W. (2002). Twentieth century sea level : An Enigma. Proceedings of the National Academy of Sciences. Vol 99. N 10 : 6550-6555.
- 16--Pugh, D. & Vassie, I.(1979). Extreme Sea Levels from Tide Gauge & Surge Probability . Proc 16th Coastal Engineering Computation. Hamburg , 1978, Vol 1 pp 911-930.