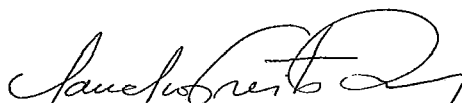


CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Afonso Felipe Dias Kalil

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO O DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA OCEÂNICA.


Aprovada por:



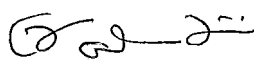
Prof. Claudio Freitas Neves, Ph.D.



Prof. Alberto dos Santos Franco, D.Sc.



Prof. Joseph Harari, D.Sc.



Prof^a. Enise Maria Salgado Valentini, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 1999

KALIL, AFONSO FELIPE DIAS

Contribuições ao estudo do nível médio do mar no estado do Rio de Janeiro [Rio de Janeiro] 1999

xvi, 88 p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Oceânica, 1999)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Nível Médio do Mar

2. Rio de Janeiro

I. COPPE/UFRJ

II. Título (série)

Ao meu Senhor e Salvador, JESUS CRISTO, toda a honra, o louvor e a glória!

Crê no Senhor JESUS e serás salvo, tu e tua casa.

Atos 16.16 - 40

Para a minha mãe, Crizélia.

Agradecimentos

- Ao Professor Claudio Freitas Neves, por ter confiado no meu trabalho.
- Ao Professor Geraldo Nogueira da Silva, da DHN, pela sua experiência, sugestões e participação no controle de qualidade dos dados maregráficos.
- Ao amigo Engenheiro Mauro Lopes Cruz, com quem iniciei minha vida profissional.
- Aos Professores Enise Maria Salgado Valentini e Gilberto Olympio Mota Fialho, pela minha introdução ao mundo da Engenharia Costeira e constantes incentivos.

Resumo da Tese apresentada a COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DO NÍVEL MÉDIO DO MAR NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Afonso Felipe Dias Kalil

Março de 1999

Orientador: Prof. Claudio Freitas Neves, Ph.D.

Programa: Engenharia Oceânica

Este trabalho apresenta os resultados de investigações sobre o comportamento espaço-temporal do nível médio do mar na costa do Estado do Rio de Janeiro em meados da década de 1990, utilizando-se apenas dados maregráficos.

É proposta uma metodologia de controle de qualidade dos dados maregráficos que combina a previsão harmônica clássica as variações do nível médio do mar devidas a efeitos predominantemente não astronômicos, calculadas com filtros passa-baixa otimizáveis. A análise estatística pontual convencional é comparada com uma abordagem contínua, que procura preservar o caráter contínuo dos fenômenos ambientais.

Constata-se que o nível médio do mar na costa fluminense apresenta um comportamento espacial muito bem definido, observado em todas as estações-ano referentes ao ano de 1996. Os espectros cruzados, as coerências e as fases dos níveis médios do mar de 1996 evidenciam as principais componentes nas bandas de 6 a 7 e 8 a 9 dias, com propagação de sudoeste para nordeste, muito provavelmente associadas às passagens das frentes frias na região. Percebe-se, também, uma considerável variação anual de comportamento do nível médio do mar, observada tanto nas análises estatísticas no domínio do tempo como no domínio da frequência.

Dentre as recomendações, enfatiza-se a necessidade de uma rede permanente de estações hidro-meteoro-oceanográficas e a continuidade da pesquisa sobre as tendências de variações espaço-temporais nas estatísticas de nível médio do mar, utilizando como base séries mensais, sazonais e anuais.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UF RJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

CONTRIBUTIONS TO THE STUDY OF MEAN SEA LEVEL IN
THE STATE OF RIO DE JANEIRO

Afonso Felipe Dias Kalil

March / 1999

Advisor: Prof. Claudio Freitas Neves, Ph.D.

Department: Ocean Engineering

This work presents the results of investigations on the behaviour of the mean sea level along the coast of Rio de Janeiro State, Brazil, in the mids of the 1990's years, using sea level data only.

It is proposed a quality control methodology which adds the classical harmonic prediction to mean sea level variations derived from predominantly non-astronomical effects, calculated with the customized low-pass filters approach. The classical punctual (even-spaced sampled) statistical analysis is matched with the continuous approach through linear interpolation, in an effort to preserve the continuity aspect of the environmental phenomena.

It is shown that the mean sea level along the coast of Rio de Janeiro State plays a well defined behaviour all along the shore, detected on all stations covering the year of 1996. Through cross spectral analysis, it is possible to identify the main bands between 6 and 7 days and 8 and 9 days, propagating from southwest to northeast, much probably related to the cold fronts dynamics in the region. There was observed a considerable variation on the yearly behaviour of the sea level, noticed both in the time and frequency domain statistics.

The recommendations include the need of a permanent environmental data acquisition network (hydro-meteoro-oceanographic) and the research upon the spatial and time variations of the mean sea level statistics based on monthly, seasonal and annual partitions.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS.....	4
2.1 O nível médio do mar.....	4
2.1.1 A medição do nível do mar.....	4
2.1.2 O controle de qualidade de dados maregráficos	5
2.1.3 Causas das variações do nível médio do mar	6
2.1.4 Conseqüências das variações do nível médio do mar.....	8
2.2 Filtragem numérica de séries temporais.....	10
2.2.1 Introdução.....	10
2.2.2 Os filtros passa-baixa segundo o modelo de Thompson.....	13
2.3 Análise estatística contínua no domínio do tempo.....	17
3. METODOLOGIA.....	20
3.1 Controle de qualidade maregráfico aplicado atualmente na DHN.....	21
3.2 Procedimento de controle de qualidade proposto.....	23
3.3 Cálculo dos filtros passa-baixa de Thompson	27
3.4 Cálculo do nível médio do mar.....	29
3.5 Cálculo das estatísticas no domínio do tempo.....	29
3.6 Cálculo das estatísticas no domínio da freqüência.....	29
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	30
4.1 O controle de qualidade	30
4.1.1 Coleta - A base de dados utilizada.....	30
4.1.2 Resultados do controle de qualidade adotado atualmente na DHN.....	32
4.1.3 Resultados do controle de qualidade proposto.....	33
4.2 A análise harmônica dos dados maregráficos	35
4.3 A filtragem numérica	37
4.3.1 O filtro ótimo de Thompson.....	37
4.3.2 Filtro ótimo de Thompson <i>versus</i> outros filtros	48
4.4 As séries filtradas - As séries de NMM.....	50
4.4.1 Descrição estatística das séries de NMM no domínio do tempo.....	56
4.4.2 Descrição estatística das séries de NMM no domínio da freqüência.....	67
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	74
5.1 O controle de qualidade	74

5.2 A análise harmônica.....	7 6
5.3 A filtragem numérica	7 6
5.4 Análises estatísticas pontual e contínua	77
9.5 O comportamento do NMM na costa fluminense	7 7
6. CONCLUSÕES	79
7. RECOMENDAÇÕES	8 1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Funções resposta de filtros digitais: filtro passa-alta (<i>high-pass</i>), filtro passa-baixa (low-pass) e filtro passa-banda (<i>band-pass</i>).....	11
Figura 2 - Principais características dos filtros passa-baixa otimizáveis de Thompson.....	14
Figura 3 - Exemplo de série temporal contínua amostrada pontualmente e ilustração do cálculo do tempo em que $x(t)$ permanece na classe $(x, x + dx)$	18
Figura 4 - Fluxograma geral do trabalho e suas principais etapas.....	21
Figura 5 - Fluxograma da coleta e controle de qualidade realizados pela DHN.....	22
Figura 6 - Fluxograma de controle de qualidade proposto. complementar ao realizado atualmente na DHN e aplicável aos dados já coletados.....	24
Figura 7 - Localização das estações maregráficas no estado do Rio de Janeiro.....	30
Figura 8 - Desvios médios quadráticos para diversos números de pesos $(2N + 1)$ do filtro de Thompson, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$	38
Figura 9 - Desvios médios quadráticos para diversas frequências de corte inferior Ω_1 ($^\circ/h$) do filtro de Thompson, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$	38
Figura 10 - Curva de fator de resposta $R(\omega)$ do filtro ótimo de Thompson calculado para Imbetiba . $\Omega_1 = 6,4^\circ/h$, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$, 241 pesos e $m = 16$	4 7
Figura 11 - Pesos $w(k)$ do filtro ótimo de Thompson calculado para Imbetiba . $\Omega_1 = 6,4^\circ/h$, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$, 241 pesos e $m = 16$	48
Figura 12 - Comparação de curvas de fator de resposta $R(\omega)$ entre os filtros de Thompson (241 pesos), Godin (71 pesos). Doodson-Warburg (39 pesos), fator resposta suavizado $L(\omega)$ e fator resposta ideal $H(\omega)$	4 9
Figura 13 - Detalhe da Figura 12. para as baixas frequências	4 9
Figura 14 - Detalhe da Figura 12. para as altas frequências	50
Figura 15 - Filtragem da estação-ano IB96 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson	51
Figura 16 - Filtragem da estação-ano PA96 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio da mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.....	51
Figura 17 - Filtragem da estação-ano IF96 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson	52
Figura 18 - Filtragem da estação-ano PI96 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson	52
Figura 19 - Filtragem da estação-ano PA95 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.....	53
Figura 20 - Filtragem da estação-ano C093 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.....	53
Figura 21 - Filtragem das estações-ano IB96, PA96, IF96 e PI96 . NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson . As escalas dos eixos das	

ordenadas são referidas aos zeros das régua s locais.....	55
Figura 22 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). IB96	57
Figura 23 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). PA96	57
Figura 24 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). E96	58
Figura 25 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). P196	58
Figura 26 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). PA95	59
Figura 27 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). C093	59
Figura 28 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IB96	60
Figura 29 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). PA96	60
Figura 30 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IF96	61
Figura 31 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). P196	61
Figura 32 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). PA95	62
Figura 33 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). C093	62
Figura 34 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). E93	64
Figura 35 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). IF95	64
Figura 36 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). P195	65
Figura 34 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IF93	65
Figura 38 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IF95	66
Figura 39 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). P195	66
Figura 40 - Densidade espectral de potência das estações-ano analisadas . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	67
Figura 41 - Densidade espectral de potência de IB96 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	68
Figura 42 - Densidade espectral de potência de PA96 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	68
Figura 43 - Densidade espectral de potência de IF96 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	69
Figura 44 - Densidade espectral de potência de P196 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	69
Figura 45 - Densidade espectral de potência de PA95 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	70
Figura 46 - Densidade espectral de potência de C093 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	70
Figura 47 - Densidades espectrais de potência de PA95 e PA96 . O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.....	72
Figura 48 - Densidade espectral cruzada de potência entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF	72
Figura 49 - Fases entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF: fase	

negativa indica IF adiantada em relação a outra estação..... 73

Figura 50 - Coerência entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF..... 33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais componentes astronômicas dos dados utilizados.....	36
Tabela 2 - Pesos do filtro de Thompson calculado para IB	41
Tabela 3 - Pesos do filtro de Thompson calculado para FO	42
Tabela 4 - Pesos do filtro de Thompson calculado para PA	4 3
Tabela 5 - Pesos do filtro de Thompson calculado para IF	44
Tabela 6 - Pesos do filtro de Thompson calculado para CO	45
Tabela 7 - Pesos do filtro de Thompson calculado para PI	46
Tabela 8 - Estatísticas básicas das séries de NMM pelas abordagens pontual e contínua	56

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

Símbolos:

a : função a ser **minimizada** através do método dos **multiplicadores** de Lagrange

b : função que representa as condições laterais de **minimização** de a através do método dos **multiplicadores** de Lagrange

cph : ciclos por hora

df : resolução espectral

dT_{x_i} : i -ésimo intervalo de tempo em que uma série contínua permanece em uma classe definida entre os valores x e $x + dx$

$dX(\omega)$: transformada de **Fourier** da série temporal $x(t)$

dx : **intervalo** ou **tamanho** das classes amostrais

$E(\omega)$: função desvio médio quadrático entre os fatores de resposta $R(\omega)$ e $E(\omega)$

f : frequência ($f = 1 / T$)

f_i : frequência inercial

gr/h : graus por hora, $^\circ/h$

$H(\omega)$: **função** resposta ideal do filtro passa-baixa $w(t)$

k : índice dos pesos

$L(\omega)$: **função** resposta contínua suavizada do filtro passa-baixa $w(t)$

m : quantidade de **frequências** selecionadas para condição de fator de resposta nulo

n : número de observações

N : **seminúmero** de pesos do filtro w_i (o número total de pesos do filtro é $2N + 1$)

ω : frequência angular ($\omega = 2\pi / f$)

$O_v(x)$: ordem de grandeza de uma variável v , em x unidades

psd : *power spectrum density* (densidade espectral de potência)

$R(\omega)$: fator de resposta do **filtro** $w(t)$

s_x : desvio padrão de x_i

T : período de onda

T_x : tempo total da série analisada

$w(t)$: **função** filtro passa-baixa

w_i : **função filtro** discretizada no instante i (ou peso de abscissa discreta i do filtro w)

$x(t)$: nível do mar no instante t

x : valor que $x(t)$ pode assumir

x_i : nível do mar discretizado no instante i

$y(t)$: nível **médio** do mar no instante t

y_i : nível médio do mar **discretizado** no instante i

y : valor que $y(t)$ pode assumir

a : variável auxiliar, controle da diferença (AR = $\Omega_2 - \Omega_1$)

φ : latitude

λ_j : coeficientes ou **multiplicadores** de Lagrange

ω : frequência angular ($\omega = \text{omga} = 2\pi / f$)

ω_0 : frequência angular de corte de $H(\omega)$

Ω_1 : frequência de corte superior de $E(\omega)$ e $R(\omega)$

Ω_2 : frequência de corte inferior de $L(\omega)$ e $R(\omega)$

ω_j : frequência com **imposição** de fator de resposta nulo

ω_T : frequência **angular** da Terra ($15^\circ/h$)

Siglas e Abreviaturas:

ANHAMA : Programa para a análise **harmônica** de **marés** (Franco, 1992)

ASCII : *American Standard Code for Information Interchange*

BNDO : Banco nacional de dados oceanográficos

BUSCA : Algoritmo de edição de dados maregráficos

CCQ : Coleta e controle de qualidade de dados maregráficos

COPPE/UFRJ : Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia,
Universidade Federal do Rio de Janeiro

CPRM : Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CQ : Controle de qualidade

DEHID : Departamento de **Hidrologia**

DHN : Diretoria de **Hidrografia** e Navegação da Marinha do Brasil

FFT : *Fast Fourier Transform*

GTNM/SBC : Grupo de Trabalho para o Programa Brasileiro de Monitoramento do Nível do Mar da Sociedade Brasileira de Cartografia

IBGE : Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IOC : *Intergovernmental Oceanographic Commission*

IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LACUNAS : Algoritmo de preenchimento de lacunas de séries **maregráficas**

NM : nível do mar (plural NMs)

NMG, nmg : **nível médio do mar** calculado pelo **filtro** de Godin de 71 pesos (plurais NMGs, nmgs)

NMM : nível médio do mar (plural NMMs)

NMMAR : Algoritmo de **cálculo** de NMM por filtragem numérica passa-baixa

NMT, nmt : nível médio do mar calculado pelo **filtro** de Thompson (plurais NMTs, nrnts)

PAC : Sistema de programas para previsão e **análise** de marés (Franco, 1992)

PREVANCR : Programa para a previsão **harmônica** e análise espectral cruzada de marés (Franco, 1992)

RN : referência de nível (plural RRNN)

SGB : Sistema Geodésico Brasileiro

THOMP : Algoritmo de cálculo de filtros passa-baixa de Thompson

UNESCO : *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

Siglas das estações maregráficas:

CO : Estação maregráfica de Copacabana, Rio de Janeiro - RJ

FO : Estação maregráfica de Forno, Arraial do Cabo - RJ

IB : Estação maregráfica de Imbetiba, Macaé - RJ

IF : Estação maregráfica de Ilha Fiscal, Rio de Janeiro - RJ

PA : Estação maregráfica de Ponta da Armação, Niterói - RJ

PI : Estação maregráfica de Piraquara, Angra dos Reis - RJ

1. INTRODUÇÃO

A investigação do comportamento espaço-temporal do nível médio do mar (NMM) tem sido motivo de diversos trabalhos há pelo menos 60 anos, quando La Fond (1939) analisou a sua sazonalidade em diversos locais da costa oeste dos Estados Unidos. Trabalhos posteriores também podem ser lembrados, como o de Pattullo *et al.* (1955), em que avaliaram uma base de dados maregráficos mundial, buscando identificar os padrões sazonais do NMM, os de Thompson (1980, 1981), analisando o NMM na costa da Grã-Bretanha e sua relação com os campos de pressões atmosféricas locais e regionais, ou ainda a regionalização maregráfica nas costas dos Estados Unidos, em Hicks (1981) e Hicks & Hickman (1988). Na costa do Brasil, podem ser lembrados os estudos de Harari (1985), Mesquita & Leite (1986), Muehe & Neves (1990), Neves Filho (1992), Silva (1992), Paiva (1993), Camargo & Harari (1994) e Castro & Lee (1995).

O nível médio do mar é uma grandeza sujeita a um grande número de forçantes: astronômicas, pressão atmosférica, ventos, ondas, deflúvios, precipitações, evaporação, salinidade, temperatura, correntes marítimas, geotectonismo e ação antrópica. As influências astronômicas do sistema Sol-Terra-Lua são muito bem conhecidas (Franco, 1988, 1992), podendo-se afirmar que são determinísticas (Morettin, 1979). No entanto, as relações do nível do mar com as demais forçantes também têm sido avaliadas, mas ainda guardam uma grande parcela de aleatoriedade, não podendo ser classificadas como totalmente determinísticas.

A importância do conhecimento do nível médio do mar é evidenciada quando são consideradas as conseqüências que suas variações provocam no ambiente costeiro. As principais são: alterações nos padrões de circulação costeira (hidrodinâmica), desequilíbrios nos mecanismos de processos litorâneos, geomorfologia e hidrogeologia costeira, impactos nos ecossistemas costeiros e atividades humanas na costa, como a ocupação urbana, o saneamento, o turismo e a navegação.

O presente trabalho tem o objetivo de caracterizar o comportamento espaço-temporal do nível médio do mar na costa do Estado do Rio de Janeiro. Para tal, utiliza-se uma base de dados composta de séries de nível do mar de seis estações

maregráficas localizadas na costa fluminense: Imbetiba (Macaé), Forno (Arraial do Cabo), Ponta da Armação (Niterói), Ilha Fiscal e Copacabana (Rio de Janeiro) e Piraquara (Angra dos Reis).

O ano base escolhido para a caracterização é 1996, contido nos arquivos disponíveis de quatro das estações maregráficas (Imbetiba, Ponta da Armação, Ilha Fiscal e Piraquara). Além deste ano, tem-se 1995 para Ponta da Armação, 1993 e 94 para Copacabana e 1991 para Forno.

No Capítulo 2, estão as considerações básicas sobre os principais assuntos discutidos neste trabalho: a medição do nível do mar, a filtragem numérica para o cálculo de níveis médios do mar através dos filtros passa-baixa otimizáveis de Thompson (1983) e a análise estatística sob uma abordagem contínua (Newland, 1984), em contraste à abordagem pontual usualmente empregada em hidrologia (Haan, 1977).

No Capítulo 3, encontram-se uma revisão da metodologia de controle de qualidade de dados maregráficos atualmente utilizada na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e a proposta de uma nova metodologia que permita a identificação de uma maior quantidade de problemas, utilizando a combinação da previsão astronômica clássica as variações de nível médio do mar calculadas a partir de filtragens passa-baixa das séries de nível do mar.

No decorrer do Capítulo 3, também são discriminados os procedimentos necessários para o cálculo de filtros passa-baixa otimizáveis segundo o modelo de Thompson (1983), que conclui com a utilização da abordagem estatística contínua através da interpolação linear e a análise espectral.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados da aplicação da metodologia de trabalho. Inicialmente descreve-se o estado das bases de dados e os resultados dos controles de qualidade em uso e proposto. Em seguida, são mostradas as principais componentes harmônicas calculadas e os parâmetros e filtros ótimos de Thompson para cada estação. Ainda neste capítulo, são mostradas as séries de nível médio do mar para o ano de 1996. Concluindo, há caracterização das séries de nível médio do mar em estatísticas no domínio do tempo e da frequência.

No Capítulo 5 encontram-se as discussões sobre os resultados atingidos e

descritos no capítulo anterior. O Capítulo 6 encerra as conclusões do trabalho e o Capítulo 7 enumera uma série de recomendações para a continuidade dos estudos sobre o nível médio do mar.

2. CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

Neste capítulo encontram-se informações essenciais sobre os assuntos que serão investigados neste trabalho: o nível médio do mar, as *filtragens* numéricas de séries temporais e a análise estatística sob a abordagem contínua.

2.1 O nível médio do mar

2.1.1 A medição do nível do mar

A medição do nível do mar em um local demanda, a princípio, uma referência altimétrica. Normalmente existem referências de nível (RRNN) nas proximidades de uma estação maregráfica e niveladas no sistema altimétrico nacional. No caso brasileiro, há a Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

O datum altimétrico nacional foi calculado a partir de médias anuais das observações maregráficas em Imbituba, SC, entre os anos de 1949 e 1957, sendo niveladas as suas próprias RRNN (da estação maregráfica) e as demais RRNN do SGB (Luz, 1996). Como observação, cabe ressaltar que 9 anos não é um período adequado para uma análise maregráfica de longo termo, sendo recomendável pelo menos 19 anos de dados contínuos (Swanson, 1974 e Franco, 1988).

Há diversos tipos de equipamentos que são utilizados na medição do nível do mar, como as régua de maré (linímetros), os marégrafos de flutuador em poço de tranquilização (linígrafos), de pressão (ou pneumáticos), de grande profundidade (pelágicos ou abissais) de reflexão (acústicos ou eletromagnéticos) e os satélites altimétricos (UNESCO, 1985; Pugh, 1987).

De acordo com UNESCO (1985), uma estação maregráfica básica deve conter uma régua de maré, um marégrafo (geralmente de flutuador em poço de tranquilização) e RRNN preferencialmente conectadas à rede altimétrica nacional.

O contato do interior do poço de tranquilização com o mar dá-se através dos orifícios ou tubos de tomada d'água, que podem ter variados diâmetros, posições e quantidades. Estas configurações visam a tranquilização do nível d'água interno para que o registro esteja livre das oscilações de alta frequência, como marolas e marulhos,

[$O_T(10s)$]. Luz & Neves (1995) e Luz (1996) apresentam maiores detalhes sobre o dimensionamento das tomadas d'água de marégrafos e a eliminação das oscilações de curto período no seu interior (geradas por ondas e turbulências no exterior do tubulão).

Os mecanismos que transmitem o movimento do sistema bóia-contrapeso a pena de registro (engrenagens, polias, cabos e guia da pena de registro) também eliminam sinais de alta frequência, merecendo cuidados especiais no seu projeto, instalação e manutenção.

Os orifícios ou tubos de tomada d'água e o sistema de deslocamento e registro dos marégrafos realizam uma fütragem denominada mecânica, em contraste com as fütragens amostral e numérica.

De posse dos maregramas, procede-se a digitalização dos mesmos. De acordo com o padrão do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), a amostragem é horária, para cada hora local inteira (0700h, 0800h, 0900h, etc.), o que também é um procedimento de fütragem, pois, pelo teorema de Nyquist (Morettin, 1979), somente oscilações com períodos superiores a 2 horas poderão ser resolvidas a partir de então (fütragem amostral). Outros intervalos de amostragem também são possíveis, sejam eles regularmente espaçados ou não, o que dependerá do objetivo do estudo em questão.

2.1.2 O controle de qualidade de dados maregráficos

O controle de qualidade dos dados maregráficos consiste nos procedimentos relacionados a coleta, digitalização, verificação, preenchimento de lacunas, edição e disponibilização qualificada dos dados maregráficos.

O termo **qualificado** significa que os dados foram submetidos a certo nível de controle de qualidade e encontram-se mais ou menos próximos da “verdade de campo” (*ground truth*). Se não houve nenhum tipo de controle, os dados são denominados brutos.

Outros autores também denominam o controle de qualidade como redução maregráfica (UNESCO, 1985; Pugh, 1987), consistência maregráfica (Prasad *et al.*, 1997) ou crítica maregráfica (Silva, 1992). Estas terminologias parecem considerar diferentes níveis de controle de qualidade dos dados: a crítica (ou verificação individual),

o procedimento mais simples; a consistência (ou compatibilização entre séries), um nível intermediário; e a redução (ou disponibilização final), que seria o nível de maior precisão.

2.1.3 Causas das variações do nível médio do mar

As principais variáveis ambientais que provocam variações no NMM são sucintamente descritas a seguir.

- A pressão atmosférica, em condições hidrostáticas, exerce uma ação sobre o nível do mar denominada “efeito barômetro invertido”, na qual para cada elevação em 1mbar na pressão corresponde a uma diminuição de 1cm no NMM. Entretanto, quando massas de ar de alta ou baixa pressão se deslocam pelo oceano, pode haver uma ressonância que elevaria o NMM em muito mais que 1cm/mbar (Dean & Dalrymple, 1992). A atmosfera também pode exercer sobre o NMM ações locais (Silva, 1992 e Paiva, 1993) e em larga escala, como as observadas por Thompson (1980 e 1981) ao redor das Ilhas Britânicas.
- O efeito do vento sobre o nível do mar pode ser, para fins didáticos, decomposto em duas direções, uma paralela à linha de costa e outra ortogonal a esta. A componente de vento que incide normalmente à costa pode elevar ou reduzir o NMM conforme ele esteja incidindo do mar para a terra (*onshore winds*, termo vulgar “maral”) ou vice-versa (*offshore winds*, termo vulgar “terral”), efeitos conhecidos como *wind setup* e *wind setdown*, respectivamente. A componente paralela à costa também provoca variações verticais, mas devidas a aceleração de Coriolis que, dependendo da direção do vento e do hemisfério, elevará ou rebaixará o nível do mar junto a costa (Dean & Dalrymple, 1991). Paiva (1993) sugere uma abordagem de componentes ortogonais ajustada as características do vento na região, obtendo bons resultados para a região do cabo Frio, onde há mudança abrupta na orientação da linha de costa (-90°).
- A influência das ondas de curto período, O_T (10s), no comportamento do NMM está relacionada as transformações que a onda sofre ao aproximar-se da costa, já no domínio de águas rasas, representadas pelos fenômenos de elevação (*wave setup*), rebaixamento (*wave setdown*) e a própria arrebentação das ondas, que também podem induzir oscilações indesejáveis no interior do poço de tranquilização (Dean &

Dalrymple, 1992; Luz & Neves, 1995; Luz, 1996).

- Stanton (1995) verificou a forte influência do deflúvio em estações maregráficas no sudoeste da Nova Zelândia, enquanto Cunha (1997) investigou a correlação entre a precipitação pluviométrica e os níveis médios do mar na Baía de Guanabara.
- Lisitzin (1974) e Shaw & Donn (1964) verificam importantes relações entre as variações de salinidade e do NMM, inversamente proporcionais. Luz & Neves (1995) e Luz (1996) alertam para o cuidado na instalação de estações maregráficas em estuários, pois em situações de forte estratificação estuarina também pode haver estratificação na coluna de água no interior do poço de tranquilização, que mascararia variações externas do NMM pela diferença de densidades de água. Lennon (1971 *In* Pugh, 1983) menciona que, em condições extremas, o nível d'água (NA) no interior do poço de tranquilização pode estar 12cm acima do NA externo para uma mare de 10m de altura onde a densidade interna varia de água doce a água salgada.
- LaFond (1939), na costa californiana, e Shaw & Donn (1964), comparando séries de dados das ilhas Bermudas e da Islândia, também observaram altas correlações entre a temperatura da água do mar e o NMM, com águas frias normalmente associadas a rebaixamento, principalmente em latitudes subtropicais. O aumento de temperatura global, devido ao efeito estufa, também é considerado como forte motivador de variações (no caso, elevação) do NMM.
- A influência das correntes marítimas sobre o NMM é citada por Mesquita & Leite (1986), no Sudeste do Brasil, por LaFond (1939), para a costa da Califórnia, e Komar & Enfield (1987), para o Estreito da Flórida, incluindo-se os efeitos devidos a batimetria e à aceleração de Coriolis.
- Lisitzin (1974) e Pirazzolli (1986 *In* Silva, 1992) relatam a elevação relativa das costas escandinavas em relação ao mar Báltico pelo efeito de isostasia glacial. Yamaguti (1965 *In* Lisitzin, 1994) menciona uma possível relação entre a variação do NMM antes de terremotos submarinos e as intensidades dos *tsunamis* por eles gerados. Esta constatação pode ser extremamente útil para o estudo e implementação de sistemas de alerta contra *tsunamis*, como já existe no Oceano Pacífico (Pugh, 1987).

- A ação humana também é capaz de causar variações no nível médio relativo do mar, como tem sido observado na região da grande metrópole chinesa de Xangai, onde há uma acelerada subsidência do terreno devido ao bombeamento excessivo e descontrolado de água dos lençóis subterrâneos da região (Nicholls & Leatherman, 1995). O delta do rio Mississippi também vem subsidindo, consequência da intervenção humana ao longo de seu curso, como a construção de diques e barragens que reduziram o aporte de sedimentos (Mehta *et al.*, 1987, *In* Silva, 1992). Argento (1989) e Costa (1994) relatam os problemas de intensificação da erosão costeira na localidade de Atafona, no estuário do rio Paraíba do Sul, influenciados pela retenção de sedimentos nas barragens localizadas a montante.

2.1.4 Conseqüências das variações do nível médio do mar

As principais conseqüências das variações do NMM, exemplificadas a seguir, evidenciam a importância do seu entendimento.

- Alterações nos padrões de circulação (hidrodinâmica) em águas costeiras, especialmente estuários, sendo introduzidos padrões de mares meteorológicas a alguns modelos numéricos de hidrodinâmica estuarina (Rosman, 1997), ou mesmo modelos especialmente dedicados para o estudo das marés meteorológicas (Gerritsen & Bijlsma, 1988).
- Ajustamento do perfil de equilíbrio (Bruun, 1962 *In* Komar, 1976) a variação do NMM, com retrogradação da linha de costa, no caso de elevação do NMM, e progradação, caso contrário. No caso de regiões com elevadas taxas de aporte sedimentar, pode haver progradação em cenário de elevação do NMM (Swift, 1976b *In* Muehe, 1995).
- O aumento (ou redução) da intrusão salina em aquíferos costeiros devido à elevação (ou rebaixamento) do NMM (Silva, 1992; De Wiest, 1965) pode ser especialmente preocupante em comunidades que têm somente este tipo de manancial de água doce para se servir, como algumas localidades da Região dos Lagos, RJ (CPRM *et al.*, 1998), principalmente nos períodos de veraneio, quando o abastecimento regular de água é deficiente.
- Impactos em alguns ecossistemas costeiros, principalmente em estuários como os dos

rios Paraíba do Sul e São João e baía de Guanabara (Muehe & Neves, 1990; Costa, 1994), mas também em costas abertas (Komar, 1976).

- Conseqüências nas faixas costeiras ocupadas com propósitos de urbanização, e.g., a praia de Ipanema-Leblon (Rosman & Valentini, 1989) e a região de Gold Coast, costa leste da Austrália (Smith, 1995). Não se pretende enfatizar excessivamente a contribuição da variação do NMM nestes casos, mas destacar a sua ação complementar aos efeitos erosivos das ondas de grande porte, potencializando-os. Os prováveis impactos na atividade turística poderiam ser devastadores e suas atividades não deveriam ser tão vulneráveis a estes eventos.
- Os impactos da elevação do NMM no saneamento, especialmente a drenagem urbana, podem ser observados, por exemplo, na cidade de Saquarema (Silva, 1992). Seria recomendável uma investigação sobre a influência do comportamento do NMM nas inundações na região da Praça da Bandeira, centro da cidade do Rio de Janeiro, onde se percebe uma tendência de alagamentos mais graves quando ocorrem passagens de frentes frias, que elevam o NMM junto a costa fluminense (efeitos de ventos, pressão atmosférica, precipitação e deflúvio). Para o dimensionamento adequado dos sistemas de drenagem urbana em regiões costeiras é imprescindível conhecer-se o comportamento do NMM. Carvalho et al. (1997) investiga a influência das marés meteorológicas nas cheias do rio Itajaí-Açu.
- As conseqüências para a navegação, nos portos com restrições de acesso e saída das embarcações (*downtime*), devidas às variações do nível do mar são preocupantes no caso de rebaixamento dos níveis, pois há diminuição do calado disponível (Savenije, 1996). O caso oposto, de elevações excessivas do NMM, pode demandar a construção de surge *barriers*, como no rio Tâmisia próximo a Londres, Inglaterra (Pugh, 1987) ou na região do Delta, Países Baixos (Gerritsen & Bijlsma, 1988; Janssen et al., 1994; Países Baixos, 1999).
- Quanto a empreendimentos de engenharia na costa (em terra), estes demandam estudos cuidadosos para assegurar níveis livres de serem alcançados pelas águas ou de serem expostos a determinados níveis de riscos. Como exemplos, mencionam-se usinas nucleares (Vaidyaraman et al., 1995), portos (Fialho, 1999) e diques (Países Baixos, 1999).

2.2 Filtragem numérica de séries temporais

2.2.1 Introdução

Em teoria de sinais, filtro é um mecanismo que permite a passagem de harmônicos pertencentes a determinados intervalos do domínio de frequências, suprimindo ou **minimizando** componentes harmônicos não contidos nestes intervalos (Morettin, 1979).

Existem diversos tipos de filtros digitais destinados ao tratamento de séries temporais, como os filtros passa-alta (*high-pass*) ou passa-baixa (*low-pass*), para remover ruídos de baixa ou alta frequência, respectivamente, os filtros passa-banda (*band-pass*), para manter os sinais em somente uma (ou mais) bandas do espectro, Figura 1.

Baseando-se em registros maregráficos digitais, o cálculo do NMM realiza-se pela aplicação de **filtros** passa-baixa ou passa-banda, na intenção de se eliminar as componentes astronômicas, principalmente as diurnas, semidiurnas e de frequências mais elevadas e a componente inercial ou de Coriolis (Walters & Heston, 1982; Thompson, 1983; Paiva, 1993 e Castro & Lee, 1995).

Interessado em separar e estudar as componentes astronômicas, Dijkzeul (1984) desenvolve um filtro passa-bandas que preserva os principais harmônicos luni-solares, através de combinações de diversos filtros passa-banda. Tal operação fundamenta-se na possibilidade de se combinar paralela ou serialmente filtros lineares (Morettin, 1979).

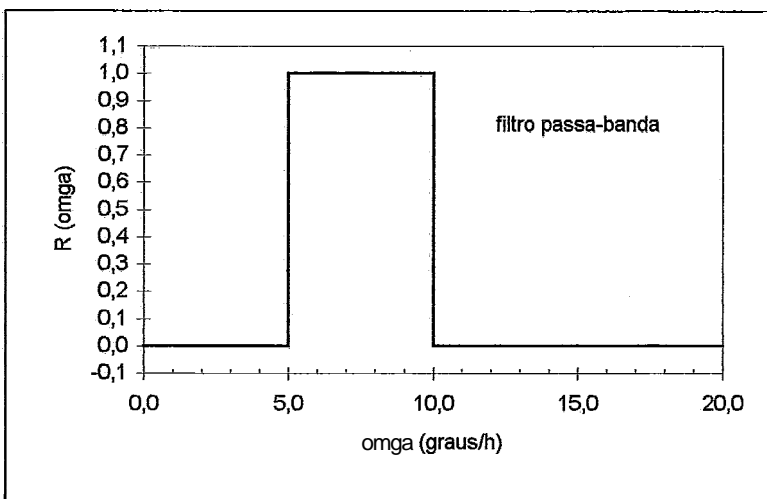
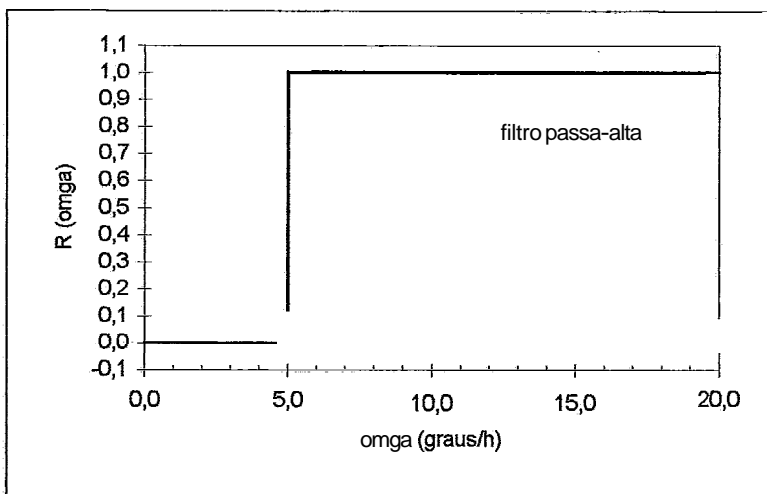
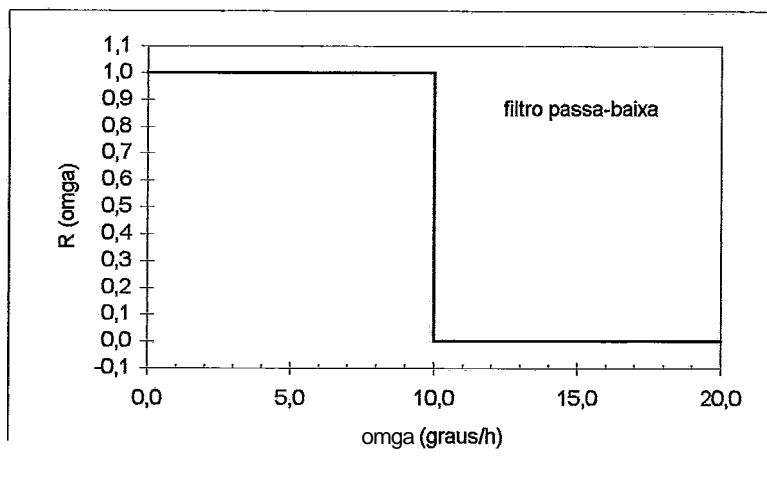


Figura 1 - Funções resposta de filtros digitais: filtro passa-alta (*high-pass*), filtro passa-baixa (*low-pass*) e filtro passa-banda (*band-pass*).

Na literatura são citados diversos tipos de filtros passa-baixa utilizados em oceanografia, entre os quais:

- O filtro X_0 de Doodson & Warburg (1941 *In* Silva, 1992), simples, mas que não remove eficazmente as componentes superiores a banda diurna, com resíduos de até 10% (Thompson, 1983; Pugh, 1987).
- O filtro de Godin (1972 *In* Silva, 1992), baseado na aplicação de três médias móveis sucessivas, mas que amortece excessivamente (- 40%) as oscilações de frequências inferiores a banda diurna (Walters & Heston, 1982; Silva, 1992).
- O filtro co-seno de Lanczos, largamente utilizado em Oceanografia, mas que **retém** um resíduo de componente diurna relativamente elevado, o que é contornável pela aplicação do filtro co-seno de Lanczos quadrado que, entretanto, demanda uma maior quantidade de observações (Walters & Heston, 1982; Thompson, 1983; Castro & Lee, 1995).
- O filtro de Thompson (1983), que **elimina frequências definidas** pelo usuário, o que é extremamente útil uma vez conhecidas as principais componentes astronômicas locais (Thompson, 1983; Silva, 1992; Paiva, 1993). Este tipo de filtro permite a **otimização** de seu desempenho, pois é possível selecionar os seus parâmetros de cálculo.

Um procedimento de filtragem numérica mais simples é a promediação (média aritmética) dos níveis horários, gerando os níveis médios diários, semanais, mensais e anuais. Este procedimento, no entanto, não elimina completamente as componentes astronômicas diurnas e semidiurnas, mantendo um nível de resíduos muito elevado nestas bandas (Franco, 1988).

Esta técnica foi utilizada durante muito tempo devido a indisponibilidade de equipamentos computacionais de alto desempenho, sendo os cálculos muito simples, podendo mesmo serem feitos "à mão", como os realizados por La Fond (1939) e Pattullo *et al.* (1955).

Os bons resultados obtidos por Silva (1992) e Paiva (1993) motivaram a utilização do filtro de Thompson neste trabalho e, a seguir, tem-se uma breve descrição de seu desenvolvimento matemático.

2.2.2 Os filtros passa-baixa segundo o modelo de Thompson

O processo de filtragem de uma série original, $x(t)$, para uma série de níveis médios, $y(t)$, é possível através da convolução entre a função filtro passa-baixa, $w(t)$, e a série original $x(t)$,

$$y(t) = w(t) * x(t), \quad (1)$$

cujos respectivos valores discretizados são os $(2N + 1)$ pesos (w_k), e a série original discreta (x_t),

$$y_t = \sum_{k=-N}^{+N} w_k x_{t+k} \quad (2)$$

Como características recomendáveis de um filtro passa-baixa tem-se (Thompson, 1983 e Silva, 1992):

- a simetria, que preserve as informações de fase,

$$w_k = w_{-k} \quad (3)$$

- a normalização,

$$\sum_{k=-N}^{+N} w_k = 1 \quad (4)$$

- uma função resposta ideal,

$$H(\omega) = \begin{cases} 1 & , \omega < \omega_0 \\ 0 & , \omega > \omega_0 \end{cases} \quad (5)$$

- uma função resposta contínua e suave, o mais próxima possível de $H(\omega)$ na vizinhança de $\omega = \omega_0$, $L(\omega)$.

Thompson (1983) sugere uma função resposta contínua e suave com o seguinte formato, Figura 2,

$$L(\omega) = \begin{cases} 1 & , \omega < \Omega_1 \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi(\omega - \Omega_1)}{(\Omega_2 - \Omega_1)} \right] \right\} & , \Omega_1 < \omega < \Omega_2 \\ 0 & , \omega > \Omega_2 \end{cases} \quad (6)$$

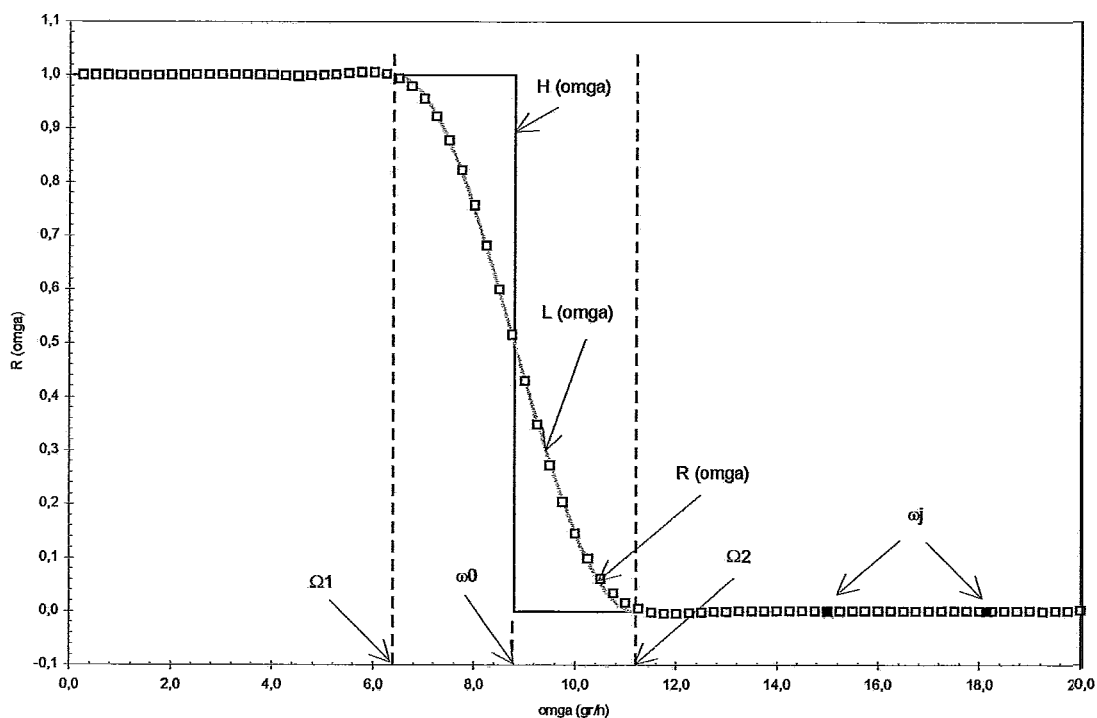


Figura 2 - Principais características dos filtros passa-baixa otimizáveis de Thompson.

De volta ao processo de filtragem, expressando a série original em termos de frequências, tem-se a integral de Fourier

$$x_t = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\omega t} dX(\omega) \quad (7)$$

onde \$dX(\omega)\$ é a transformada de Fourier da série original. A série filtrada fica, então,

$$y_t = \sum_{k=-N}^{+N} w_k \left[\int_{-\pi}^{\pi} e^{i\omega(t+k)} dX(\omega) \right] = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\omega t} \left[\sum_{k=-N}^{+N} w_k e^{i\omega k} \right] dX(\omega) \quad (8)$$

O termo entre colchetes é denominado fator de resposta do filtro utilizado,

$$R(\omega) = \sum_{k=-N}^{+N} w_k e^{i\omega k} \quad (9)$$

que é a transformada de Fourier da função filtro utilizada.

Pela equação 8, observa-se que a expressão da série filtrada no domínio da frequência é aquela da série original multiplicada pelo fator de resposta do filtro utilizado.

Considerando-se que o filtro utilizado tenha as características já citadas nas equações 3 e 4 e, a equação 9 fica

$$R(\omega) = w_0 + 2 \sum_{k=1}^{+N} w_k \cos(\omega k) \quad (10)$$

Para concretizar a filtragem, equação 2, necessita-se da série original discretizada, que é o dado básico, faltando apenas o conhecimento dos pesos w_k do filtro.

O filtro utilizado deve ter função resposta tendendo a $L(\omega)$, que é a aproximação de $H(\omega)$. Deste modo, os pesos w_k são calculados pela minimização dos desvios médios quadráticos entre $R(\omega)$ e $L(\omega)$, expressos na função $E(w)$,

$$E(w) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} [R(\omega) - L(\omega)]^2 d\omega \quad (11)$$

Como condicionantes complementares ao filtro, permite-se impor função resposta nula para uma quantidade m de frequências $\omega_j > \Omega_2$, Figura 2,

$$R(\omega_j) = w_0 + 2 \sum_{k=1}^{+N} w_k \cos(\omega_j k) = 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

frequências estas escolhidas pelo usuário do filtro tipo Thompson e baseada nos resultados da análise harmônica da série maregráfica original.

Uma condicionante adicional é a resposta unitária para a frequência nula,

$$R(\omega = 0) = w_0 + 2 \sum_{k=1}^{+N} w_k = 1 \quad (13)$$

Na Figura 2, pode ser observada a relação entre as funções $H(\omega)$, $L(\omega)$ e a função resposta do filtro tipo Thompson calculado, $R(\omega)$.

A determinação dos pesos w_k que minimizam $E(w)$ pode ser realizada através do método dos multiplicadores de Lagrange,

$$\vec{\nabla} a - \lambda \vec{\nabla} b = 0 \quad (14)$$

onde a é a função de que se deseja conhecer os mínimos (ou máximos) e b é a função que representa as condicionantes denominadas laterais (Shenk, 1986).

Aplicando 14 a situação presente, i.e., as equações 11 (função em análise) e 3, 4, 12 e 13 (condicionantes laterais) que definem o filtro passa-baixa segundo o modelo proposto por Thompson, tem-se

$$\vec{\nabla} E - \lambda \vec{\nabla} b = 0 \quad (15)$$

Montando o sistema de equações, Silva (1992) demonstra que o problema a ser resolvido resume-se a:

$$w_0 - \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} L(\omega) d\omega - \left(\lambda_0 + \sum_{j=1}^M \lambda_j \right) = 0 \quad (16)$$

e

$$2w_k - \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} L(\omega) \cos(\omega k) d\omega - \left[2\lambda_0 + 2 \sum_{j=1}^M \lambda_j \cos(\omega_j k) \right] = 0 \quad (17)$$

condicionadas pelas equações 12 e 13.

Rescrevendo-se as equações 12, 13, 16 e 17, monta-se o sistema:

$$\begin{cases} w_0 - \lambda_0 - \sum_{j=1}^M \lambda_j = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} L(\omega) d\omega = s_0 \\ 2w_k - 2\lambda_0 - 2 \sum_{j=1}^M \lambda_j \cos(\omega_j k) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} L(\omega) \cos(\omega k) d\omega = s_k \\ w_0 + 2 \sum_{k=1}^{+N} w_k \cos(\omega_j k) = 0 \\ w_0 + 2 \sum_{k=1}^{+N} w_k = 1 \end{cases} \quad (18)$$

A resolução numérica deste sistema (simétrico) é realizada por um algoritmo de decomposição matricial L-U, detalhado por Silva (1992), onde se obtêm os pesos w_k e os coeficientes de Lagrange λ_j .

Com os pesos, calcula-se o valor do desvio médio quadrático:

$$\begin{aligned} E(w) = & \frac{w_0^2}{2} + \sum_{k=1}^N w_k^2 + \frac{\Omega_1}{2\pi} + \frac{3}{16\pi} (\Omega_2 - \Omega_1) - \frac{w_0}{2\pi} (\Omega_1 + \Omega_2) + \\ & + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^N \left[\frac{w_k \alpha^2}{k(k^2 - \alpha^2)} \right] [\text{sen}(\Omega_2 k) + \text{sen}(\Omega_1 k)] \end{aligned} \quad (19)$$

sendo

$$\alpha = \frac{\pi}{\Omega_2 - \Omega_1} \quad (20)$$

2.3 Análise estatística contínua no domínio do tempo

Em hidrologia, é de uso corrente a análise estatística baseando-se apenas nos eventos registrados discretamente, sem se considerar o comportamento da variável entre um ponto (ou instante) e o seguinte, i.e., no intervalo de tempo entre duas leituras ou amostras. Esta abordagem, doravante denominada pontual, não parece representar o real comportamento do fenômeno na continuidade do tempo.

Uma abordagem que preserve a continuidade do fenômeno pode aumentar sensivelmente a qualidade das análises estatísticas de séries temporais, o que é possível através da interpolação entre as amostras pontuais ou pela minimização dos intervalos de amostragem.

A abordagem utilizando interpolações, doravante denominada contínua, segue os procedimentos utilizados quando da classificação dos eventos discretos, qual seja, não "agrupar" as ocorrências individuais, mas sim os i -ésimos intervalos de tempo decorridos em cada classe definida pelos seus extremos x e $x + dx$, $dT_{x,i}$, Figura 3. A frequência relativa de cada classe é a razão do seu tempo total pelo tempo total da série analisada, T_x ,

$$p(x) dx = \frac{\sum_i dT_{x,i}}{T_x}$$

Para quantificar as diferenças entre as abordagens pontual e contínua, apresenta-se um exemplo da aplicação de ambas a um fenômeno descrito por uma função seno de período 12h (doze horas) e mínimo e máximo em $-1,0$ e $+1,0m$, amostrada a cada 1 (uma) hora, Figura 3.

Observa-se claramente que a permanência de curva entre os níveis $+0,1$ e $+0,2$, por exemplo, não é zero, como a estatística pontual indicaria.

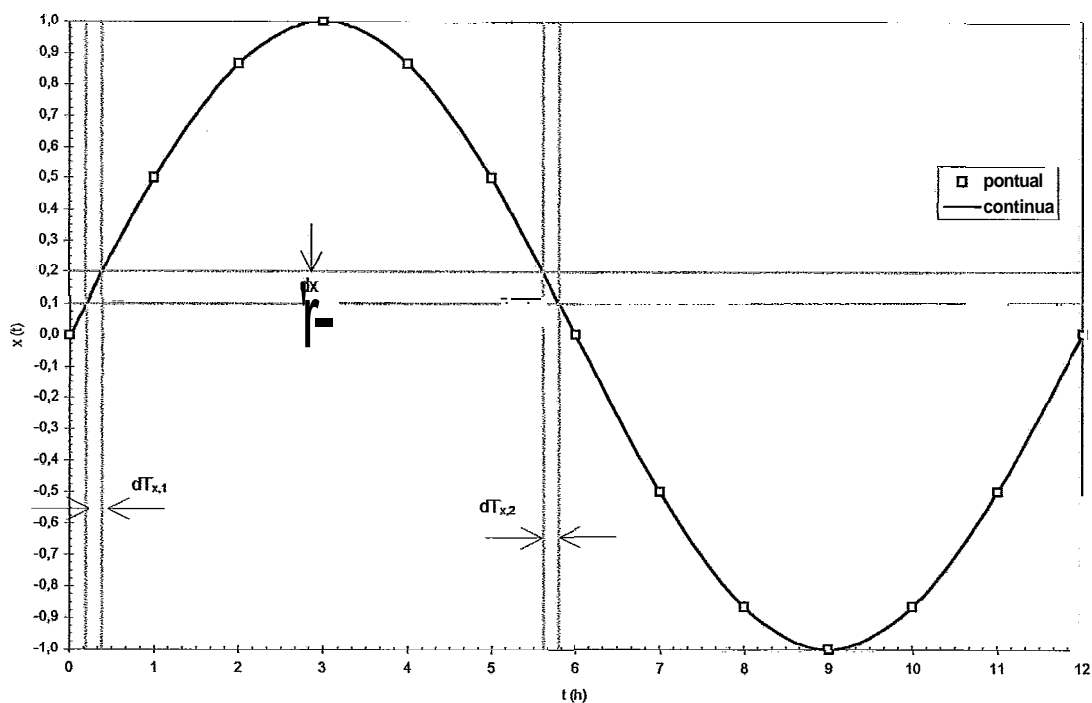


Figura 3 - Exemplo de série temporal contínua amostrada pontualmente e ilustração do cálculo do tempo em que $x(t)$ permanece na classe $(x, x + dx)$.

Uma alternativa à abordagem estatística contínua por interpolação dos dados discretos é a redução dos intervalos de amostragem, que aumenta a representatividade temporal da amostra em relação ao fenômeno contínuo. Para maiores detalhes sobre a abordagem estatística preservando as informações da continuidade das séries, recomenda-se Newland (1984).

3. METODOLOGIA

Uma premissa essencial em qualquer análise é a qualidade dos dados a serem processados. Dados ruins levam a resultados no mínimo questionáveis. Uma boa base de dados é um bom começo para qualquer trabalho.

Assim, a metodologia de trabalho deve se iniciar com a coleta e controle de qualidade de dados maregráficos (CCQ), sendo revistos os procedimentos empregados atualmente na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), desde a coleta dos dados maregráficos até a disponibilização aos usuários. Posteriormente, propõe-se uma complementação destes procedimentos, elaborada durante experimentos do Grupo de Trabalho para o Programa Brasileiro de Monitoramento do Nível do Mar da Sociedade Brasileira de Cartografia (GTNM/SBC), da qual este autor participou, juntamente com os professores Geraldo Nogueira da Silva (DHN) e Claudio Freitas Neves (COPPE/UFRJ), doravante denominada Equipe COPPE/DHN.

Garantida a qualidade dos dados maregráficos, procede-se ao cálculo do níveis médios do mar, passando pela análise harmônica (ANHAMA), cálculo dos filtros passa-baixa de otimizáveis de Thompson (THOMP) e a filtragem do nível do mar com estes filtros (NMMAR).

Na fase final do trabalho, realizam-se as análises estatísticas consideradas para as séries de NMM calculadas, tanto no domínio do tempo (STAT), sob as abordagens pontual e contínua, como no domínio da frequência (SPEC).

Na Figura 4 encontra-se o fluxograma geral do trabalho, segmentado nas três etapas mencionadas acima, que se subdividem em outras tarefas, a serem detalhadas mais adiante.

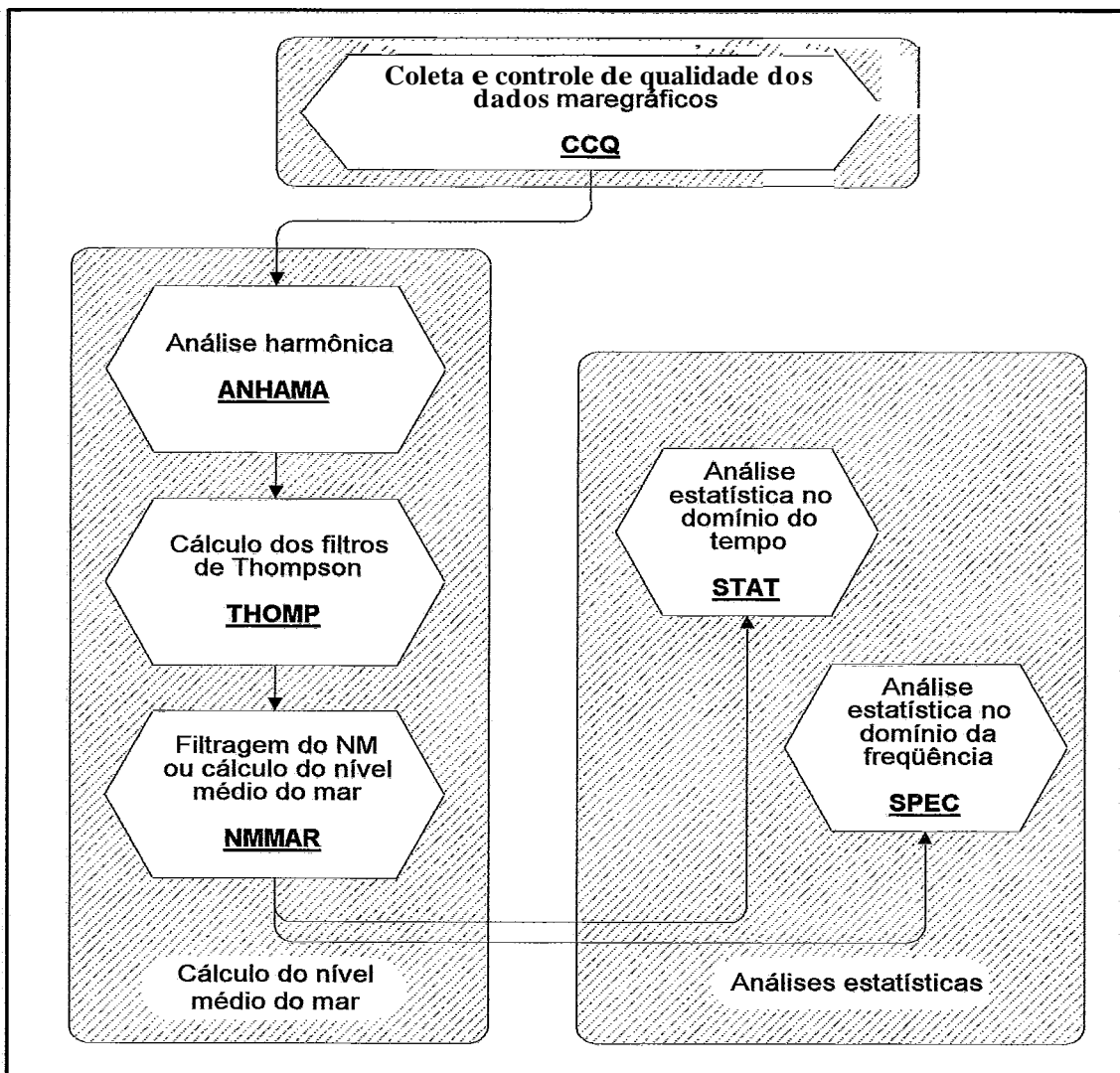


Figura 4 - Fluxograma geral do trabalho e suas principais etapas.

3.1 Controle de qualidade maregráfico aplicado atualmente na DHN

Na Figura 5 pode ser observado o encaminhamento normal dos dados maregráficos na DHN, desde a coleta até a disponibilização aos usuários.

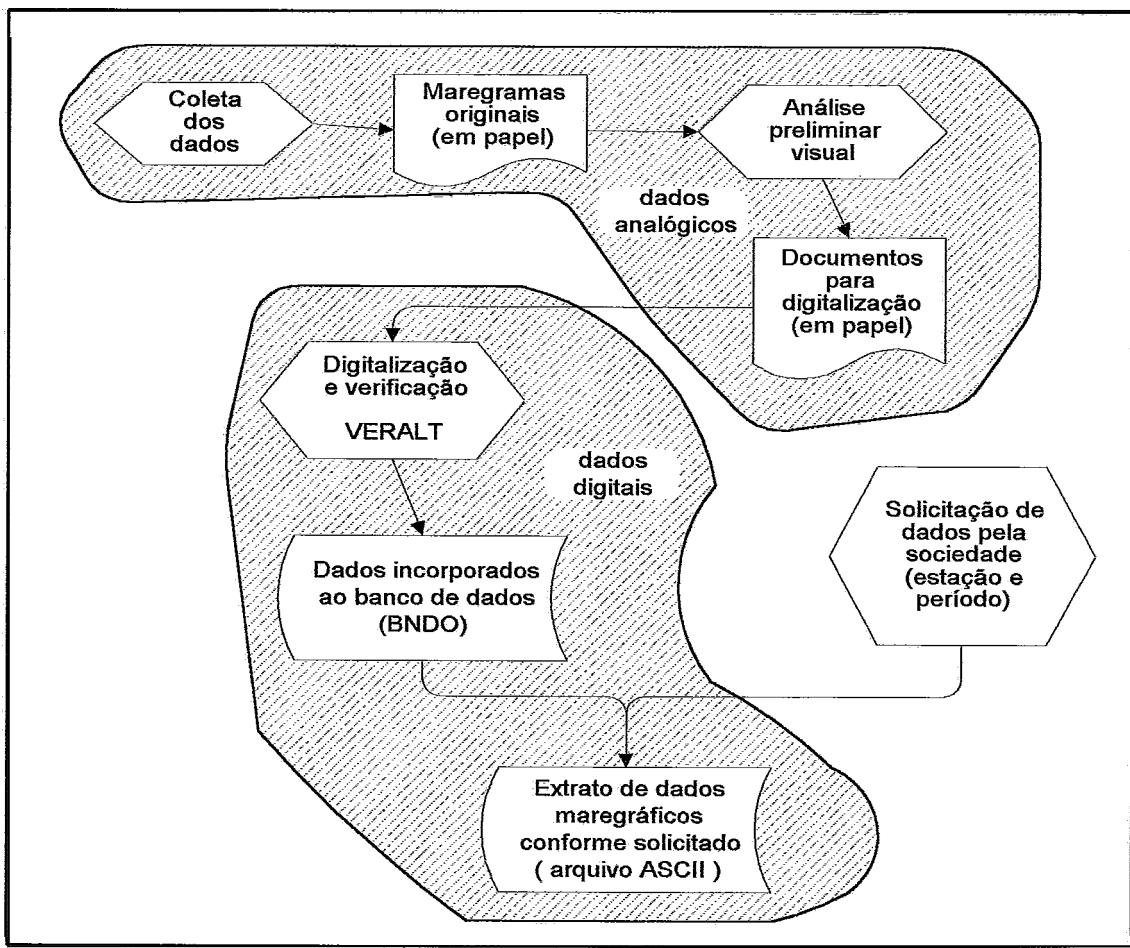


Figura 5 - Fluxograma da coleta e controle de qualidade realizados pela DHN.

Os passos são descritos a seguir e aplicam-se a estações maregráficas básicas com maregramas impressos e registro contínuo, diário, semanal ou mensal.

1. Os maregramas são coletados e é feita uma análise preliminar visual para identificar erros grosseiros, como defeito grave no equipamento, problemas com a pena, colocação errada do impresso e erro de leitura de régua, sendo registrados os problemas observados.
2. Após a digitalização, com amostragem horária (padrão BNDO), os dados são submetidos a uma rotina de verificação desenvolvida por Franco (1992), denominada VERALT. Esta rotina é fundamentada em uma interpolação trigonométrica para o valor central de um segmento de 15 valores horários de nível do mar. Utilizando-se 7 (sete) valores anteriores e 7 (sete) valores posteriores aquele que se deseja verificar, ajusta-se um polinômio trigonométrico nas componentes M1, M2 até M6 a estes 14 valores, comparando-se o valor interpolado com o valor registrado no maregrama. Se

a diferença entre esses valores for inferior a uma tolerância especificada pelo usuário, em geral da ordem de 10 cm (ou 10% da altura de maré astronômica local), aceita-se o valor da observação. Caso a amostra esteja fora da tolerância, ela é verificada com os maregramas, sendo confirmada ou corrigida.

3. Editados os erros encontrados pelo VERALT, o arquivo corrigido é incorporado a série histórica existente no BNDO, ficando disponível para qualquer usuário da sociedade, mediante requisição formal a DHN.

3.2 Procedimento de controle de qualidade proposto

Experimentos realizados pela Equipe COPPE/DHN revelaram limitações do método utilizado na DHN na identificação de alguns problemas nos maregramas e nos arquivos digitais, especialmente: marcação das horas de colocação e retirada do impresso, erros de escala na leitura dos maregramas e digitalização de maregramas invertidos ("de cabeça para baixo").

Deste modo, procurou-se desenvolver um método de controle de qualidade que pudesse ser menos vulnerável a esses e outros problemas. Assim, compara-se o nível do mar observado a combinação do nível do mar previsto (maré astronômica) com o NMM calculado pelos filtros passa-baixa otimizáveis de Thompson.

Na Figura 6 encontra-se o fluxograma com todas as etapas incluídas nesta proposta de complementação ao procedimento de controle de qualidade da DHN, Figura 5.

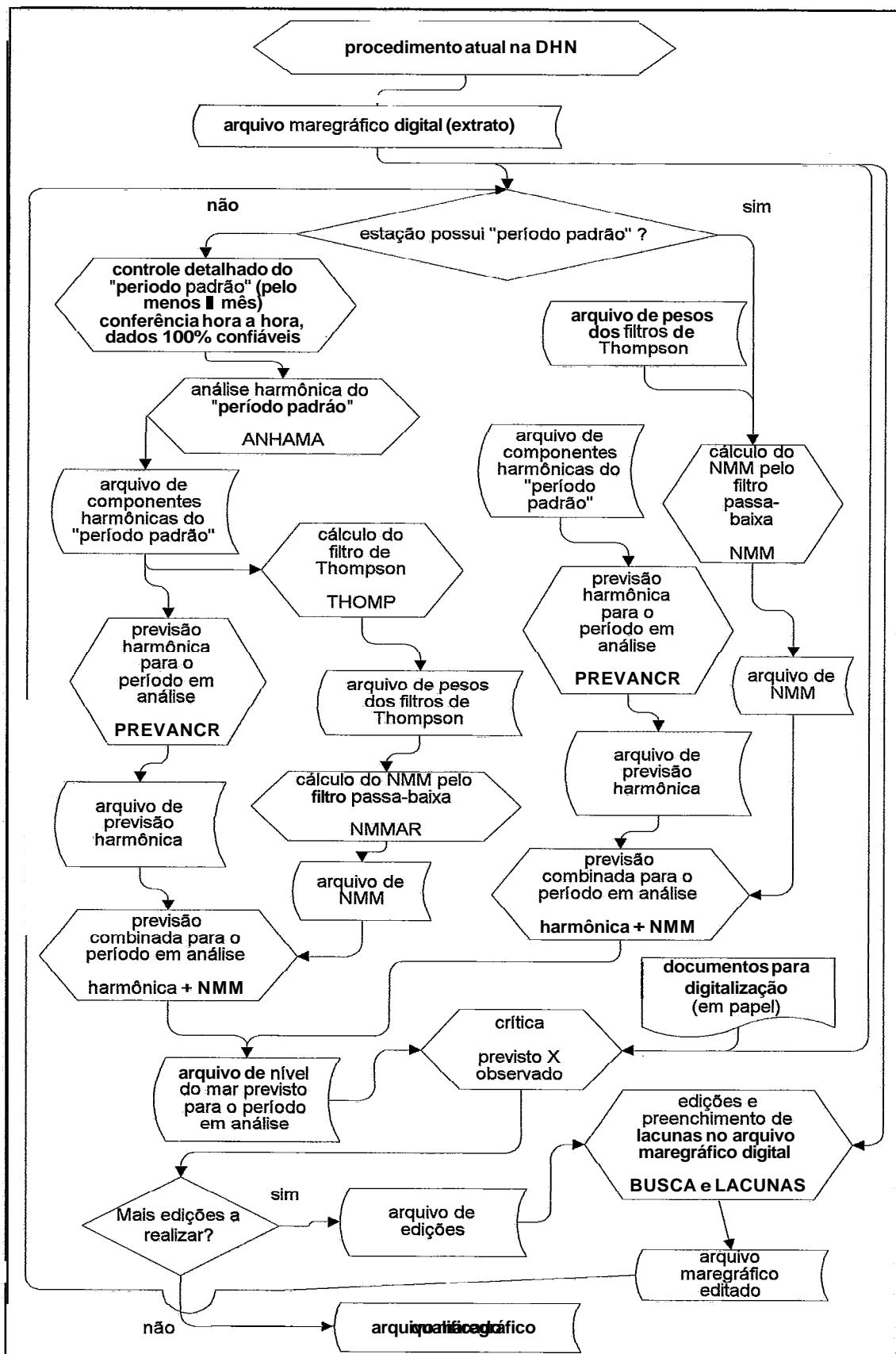


Figura 6 - Fluxograma de controle de qualidade proposto, complementar ao realizado atualmente na DHN e aplicável aos dados já coletados.

O período padrão deve ser um período ou intervalo de tempo de pelo menos 1 mês em que os dados maregráficos são totalmente confiáveis. Deve-se verificar o arquivo digital ponto a ponto com os maregramas. Este período padrão será a base para as análises harmônicas e previsões astronômicas a serem utilizadas no controle de qualidade. Supondo-se uma estação sem nenhum dado histórico analisado, o período padrão inicial seria o primeiro mês contínuo da série. Depois de analisado e devidamente assegurada a confiabilidade do primeiro ano, este passaria a ser o período padrão para o controle de qualidade dos demais dados da série histórica, a partir de então.

A análise harmônica de dados maregráficos encontra-se descrita em Franco (1988) e o programa utilizado neste trabalho, denominado ANHAMA, está disponível no sistema PAC (Franco, 1992). A quantidade mínima de dados para uma análise harmônica deveria ser 29 dias (equivalente a um mês lunar), mas o ideal seria trabalhar com pelo menos um ano de registro para que sejam identificadas as componentes de longo período com boa margem de confiança (Franco, 1988 e Pugh, 1987). Se necessário for, períodos de 15 dias ou até mesmo 1 semana podem ser utilizados na análise harmônica (Franco, comunicação pessoal), com resultados aceitáveis ainda que sob algumas restrições, face a pequena quantidade de dados.

O programa ANHAMA fornece um relatório com todas as componentes astronômicas e suas características (amplitudes, fases e nível de confiança estatística), que serão utilizadas posteriormente em outras etapas deste trabalho.

As componentes harmônicas calculadas no programa ANHAMA são utilizadas para a previsão astronômica do nível do mar, através do programa PREVANCR, do sistema PAC (Franco, 1992). A previsão deve estender-se por todo o período do arquivo em estudo (sugere-se pelo menos 1 ano contínuo).

Os procedimentos de cálculo dos filtros passa-baixa de Thompson utilizados para a obtenção dos NMMs encontram-se no item 3.3.

Os dados observados e com erros grosseiros eliminados na análise visual preliminar e no programa VERALT, são filtrados passa-baixa pelo filtro de Thompson, obtendo-se uma série de NMMs. Para este procedimento (NMMAR) realizou-se a operação de "convolução" numérica entre as séries discretas de níveis observados corrigidos e de pesos do filtro de Thompson.

Adicionando-se a maré astronômica calculada pelo PREVANCER aos NMMs obtidos da **filtragem** dos dados observados (NMMAR), tem-se uma série de níveis horários denominados previstos, que serão comparados aos valores observados.

A crítica dos dados observados ou a sua comparação com os níveis previstos demanda a posse dos maregramas referentes ao período analisado, para a investigação dos dados suspeitos de conterem erros e a correção destes possíveis erros.

Nesta fase do controle de qualidade, é conveniente a utilização simultânea de uma listagem tabular e a visualização **gráfica** das séries, podendo ser utilizada uma planilha eletrônica, que facilita a visualização dos dados, tão logo sejam eles modificados.

Assim como na rotina VERALT, uma tolerância é especificada na crítica para aceitação ou não dos dados observados, tolerância esta referida aos níveis previstos (astronômicos mais NMMs). Os registros comprovadamente errados são listados para as edições e posteriormente podem ser utilizados no treinamento do pessoal de operação das estações maregráficas. Os registros suspeitos mas **confirmados** como verdadeiros recebem uma identificação (*flag*) de que já foram verificados.

O preenchimento de lacunas é uma atividade que pode ser realizada em diferentes momentos do controle de qualidade, e.g., antes da análise harmônica ou somente após a crítica. O momento de realizá-la depende do estado dos dados **maregráficos** digitais. Há lacunas explícitas, quando os arquivos estão segmentados, ou lacunas ocultas, quando o arquivo encontra-se completo, mas contendo lacunas que foram preenchidas inadequadamente. Estas últimas só são encontradas durante o processo de crítica, pela comparação previsto *versus* observado.

A **metodologia** de preenchimento de lacunas recomendada encontra-se detalhada em Silva e Neves (1991, 1993), Silva (1992) e Silva e de Paula (1993), e consiste em um **refinamento** da técnica de Karunaratne (1980), em que se utilizam as 11 componentes harmônicas principais em vez da série M1 a M6.

A listagem de anomalias identificadas no procedimento de crítica e as listagens das lacunas a preencher são aplicadas na edição do arquivo maregráfico (BUSCA e LACUNAS).

Concretizada a edição do arquivo maregráfico, deve-se submetê-lo a uma nova rodada de cálculo de NMM e crítica, para verificação do arquivo. Não havendo mais edições a realizar, pode-se considerar o arquivo qualificado. Como parte integrante do acervo maregráfico, também são guardadas as listagens de edições e lacunas e respectivos problemas, como memória técnica da estação em análise.

Finalizando, os níveis do mar podem ser ajustados as cotas altimétricas em relação ao sistema altimétrico nacional (redução do dados).

Seria interessante que, após a última verificação dos dados, fosse realizada uma nova análise harmônica para obtenção das características qualificadas das componentes harmônicas do período em estudo. Franco e Neves (comunicações pessoais) realizaram análises harmônicas de registros maregráficos subtraídos dos valores de NMM (equivalente a séries maregráficas filtradas passa-alta), obtendo menores resíduos e maior precisão nas características das componentes harmônicas.

3.3 Cálculo dos filtros passa-baixa de Thompson

Esta parte da metodologia está inserida no processo de controle de qualidade, mas julgou-se melhor colocá-la a parte, visto a sua importância na determinação do NMM.

Inicialmente, realiza-se o cálculo do filtro ótimo de Thompson (THOMP), pois ele é ajustável as condições de cada estação maregráfica. Posteriormente, realiza-se a comparação do desempenho deste com o de outros filtros usualmente empregados em estudos de NMM (e.g., Godin e Doodson-Warburg).

A determinação dos filtros ótimos de Thompson a serem utilizados, para cada estação maregráfica, depende das curvas de fator de resposta no domínio da frequência do filtro, $R(\omega)$, e seus respectivos desvios médios quadráticos em relação ao filtro ideal contínuo e suavizado, $L(\omega)$.

Como os pesos do filtro de Thompson são calculados em função dos parâmetros N , Ω_1 , Ω_2 , ω_j e m (quantidade de pesos, frequências de corte e quantidade e frequências com imposição de resposta nula), Figura 2, pode-se realizar uma série de testes com variadas configurações destes parâmetros e cálculos dos respectivos desvios médios

quadráticos em relação à $L(\omega)$. A melhor configuração de filtro (o filtro ótimo de Thompson) será aquela que apresentar o menor desvio médio quadrático.

A escolha das frequências de corte Ω_1 e Ω_2 é baseada na análise harmônica da série maregráfica em estudo, dependendo das componentes que se deseja eliminar e manter. Para o estudo de NMM, normalmente pretende-se eliminar todas as componentes diurnas e de frequências mais altas, além da componente inercial.

A frequência da componente inercial em um local da Terra é calculada pela fórmula

$$f_i = 2\omega_t \sin(\varphi),$$

onde ω_t é a frequência angular da Terra ($15^\circ/h$) e φ é a latitude do local.

Uma bateria de testes avaliando o comportamento do filtro de Thompson sob os diversos valores de ω_j , m , N , Ω_1 e Ω_2 , é realizada com a seguinte configuração (Thompson, 1983, Silva, 1992 e Paiva, 1993):

- **Influência** da escolha das frequências de corte Ω_1 e Ω_2 - Para uma quantidade de pesos (N) constante e ω_j e m fixos, escolhem-se pares (Ω_1 e Ω_2) e calculam-se os filtros e seus desvios médios quadráticos. Avalia-se a sensibilidade de $R(\omega)$ aos valores de Ω_1 e Ω_2 , selecionando-se os valores que proporcionem os menores desvios médios quadráticos.

É importante ressaltar que, no procedimento de cálculo dos pesos, a diferença entre as frequências de corte Ω_1 e Ω_2 não pode ser um submúltiplo de $180^\circ/h$ (Silva, 1992)

- **Influência** da quantidade de pesos (N) - Pela comparação dos menores desvios médios quadráticos no segmento de valores (Ω_1, Ω_2) selecionado anteriormente, verifica-se a sensibilidade de $R(\omega)$ à quantidade de pesos. A configuração de número de pesos e frequências de corte que possuir o menor desvio médio quadrático é o melhor filtro de Thompson.

Um refinamento deste filtro pode ser feito pela inclusão de frequências com

imposição de resposta nula além daquelas obtidas pela análise harmônica. Estas frequências adicionais permitiriam uma maior aderência da resposta do filtro a resposta nula nas altas frequências, caracterizada por uma redução do desvio médio quadrático. O filtro obtido é então denominado filtro ótimo de Thompson.

3.4 Cálculo do nível médio do mar

O cálculo do NMM pela filtragem de séries temporais é realizada através da convolução de duas funções (NMMAR), representada pelos seus valores discretos, sendo uma a série de níveis horários observados (e qualificados) e a outra a discretização da função filtro passa-baixa, i.e., os pesos horários do filtro ótimo de Thompson.

Para que não haja perda de informação no início e fim da série em estudo, faz-se necessária a inclusão de algumas horas nos dois extremos da série, que servirão para o cálculo do NMM nestes horários. Por exemplo, para o filtro de Thompson com 241 pesos, necessário é incluir-se 120 dados antes e 120 depois do período em estudo.

3.5 Cálculo das estatísticas no domínio do tempo

O cálculo das estatísticas no domínio do tempo (STAT) é realizado sob as abordagens pontual e contínua e depois comparando-as a uma distribuição Normal. Os intervalos de classe são definidos a partir das características das séries, podendo ser utilizado o critério de Steel & Torrie (1961 *In* Haan, 1977).

3.6 Cálculo das estatísticas no domínio da frequência

A análise espectral das séries de NMM pode ser realizada através da rotina *spectrum* (Little & Shure, 1992), baseada na estimação de potência espectral pelo método de Welch e que utiliza o algoritmo de FFT, Transformada Rápida de Fourier (Oppenheim & Schaffer, 1976 e Morettin, 1979).

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3.

4.1 O controle de qualidade

4.1.1 Coleta - A base de dados utilizada

A base de dados utilizada neste trabalho é constituída por registros maregráficos de 6 estações localizadas na costa do estado do Rio de Janeiro, Figura 7. Foi selecionado o ano civil de 1996 para o período básico de estudos.

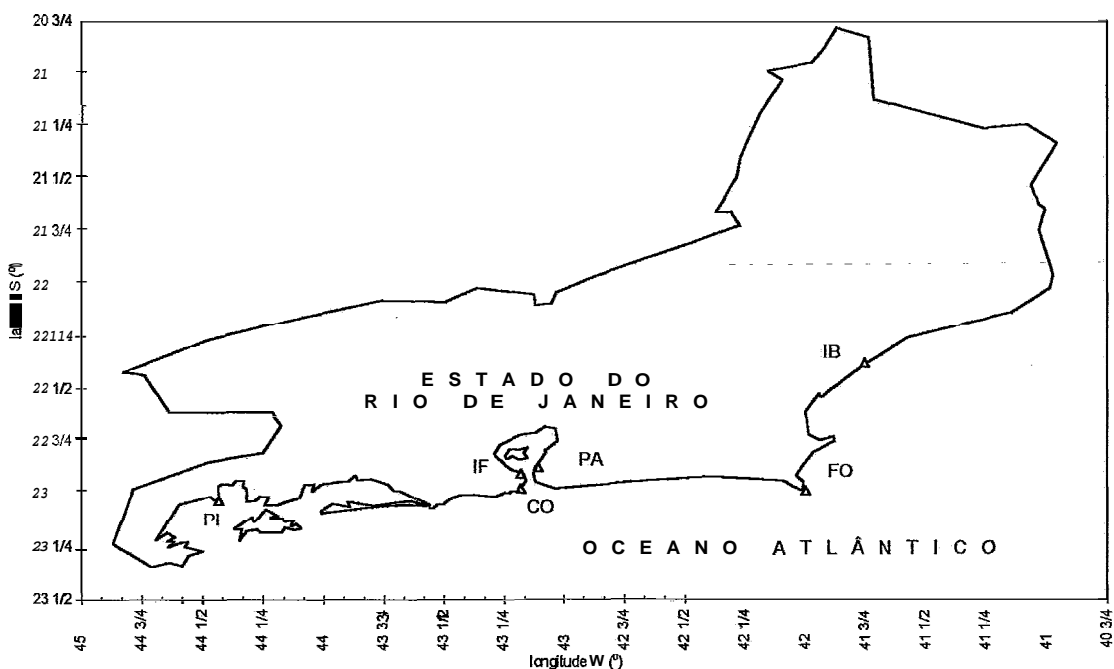


Figura 7 - Localização das estações maregráficas no estado do Rio de Janeiro.

Todas as estações sucintamente descritas a seguir utilizam ou utilizavam maregrafos de flutuador em poço de tranquilização, com registro analógico em papel e régua de maré para calibragem na troca dos maregramas.

A terminologia estação-ano será empregada deste ponto em diante, caracterizando uma estação maregráfica e o ano representativo da série analisada. Na sua

identificação, as duas primeiras letras correspondem ao código adotado para a estação e nos dois algarismos seguintes, o ano representativo dos dados.

- Estação maregráfica de Imbetiba (IB), [22°23,0' S 41°46,3' W].

Localizada no Porto de Imbetiba, Macaé (DHN, 1975 e Luz, 1996), esta estação tem sido operada pelo IBGE (em colaboração com a PETROBRAS) desde novembro de 1994. Como no primeiro ano de operação foram observadas anormalidades nos registros (Luz, 1996), em novembro de 1995 foi instalado um marégrafo adicional. Os dados utilizados compreendem o período 28/12/1995 a 05/01/1997, contendo registros horários de maregramas diários em arquivo digital no formato ASCII (estação-ano IB96).

- Estação maregráfica de Forno (FO), [22°58,3' S 42°00,8' W].

A estação maregráfica de Forno (também denominada Arraial do Cabo ou Duque d'Albas) está situada na enseada dos Anjos, Arraial do Cabo (DHN, 1986) e é operada pelo IEAPM, utilizando maregramas semanais. Os dados disponibilizados para este trabalho compreendem os anos de 1991 e 1994 a 1996, todos em formato digital.

O primeiro bloco de dados (estação-ano FO91) encontra-se discretizado de hora em hora, enquanto o segundo bloco contém registros discretizados em intervalos irregulares. Este último arquivo também possui uma grande quantidade de lacunas (cerca de 60% do período nele contido) e foi desconsiderado para uso no presente trabalho.

- Estação maregráfica de Ponta da Armação (PA), [22°53,0' S 43°08,0' W].

A estação maregráfica de Ponta da Armação, Niterói, está localizada nas atuais dependências da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1985), margem oriental da baía de Guanabara. Os maregramas são diários e os arquivos digitais de registros horários utilizados compreendem os períodos 26/12/1994 a 05/01/1996 (PA95) e 26/12/1995 a 05/01/1997 (PA96).

- Estação maregráfica de Ilha Fiscal (IF), [22°53,8' S 43°10,0' W].

A estação de Ilha Fiscal, na cidade do Rio de Janeiro, está localizada no litoral ocidental da baía de Guanabara (DHN, 1985) e possui uma série histórica maregráfica de

longo período (Silva, 1992). Os maregramas são diários e os arquivos digitais com os registros horários utilizados compreendem o período 26/12/1995 a 05/01/1997 (estação-ano IF96).

- Estação maregráfica de Copacabana (CO), [22°59,1' S 43°11,2' W].

A estação maregráfica de Copacabana localizava-se no extremo sudoeste do arco de praia de Copacabana, Posto 6 (DHN, 1985 e Luz, 1996), e foi implantada em abril de 1991 pela COPPE/UFRJ no escopo de COPPETEC (1992). Concluídos estes estudos, a estação permaneceu desativada até abril de 1993, passando a ser operada pelo IBGE. No dia 07/03/1994 a estação foi destruída por uma ressaca. Os dados utilizados compreendem o período em que esteve sob responsabilidade do IBGE, de 23/06/1993 a 06/03/1994 (estação-ano CO93).

- Estação maregráfica de Piraquara (PI), [23°01,2' S 44°26,4' W].

Localizada na enseada de Piraquara (município de Angra dos Reis), na baía de Ilha Grande (DHN, 1982), a estação homônima encontra-se atualmente sob administração da ELETRONUCLEAR S/A, com a cooperação técnica da COPPE/UFRJ. Os maregramas são mensais e os arquivos digitais com os registros horários encontravam-se disponíveis para análise, sendo utilizados os dados que compreendem o período 11/12/1995 a 15/01/1997.

O primeiro maregrama do período, de 11/12/95 a 08/02/96 apresentava uma considerável anomalia de nível médio (elevação progressiva), com os registros constantemente "rebatendo" nos limites da área impressa do maregrama. Também há uma grande lacuna nos seus últimos dias, sendo este maregrama desconsiderado para o trabalho. Assim, a estação-ano P196 compreende o período de 10/02/1996 a 15/01/1997.

4.1.2 Resultados do controle de qualidade adotado atualmente na DHN

Foi observado que o controle de qualidade atualmente em uso na DHN permite a verificação de alguns tipos de erros grosseiros, como o erro de metro ou erros de digitalização da ordem de 30cm ou maiores. Entretanto, mostrou-se limitado na identificação de outros tipos de erros considerados grosseiros, como os seguintes:

1. Diferenças de fase da ordem de 1 hora, caso típico das épocas de vigência do horário

oficial de verão, como também da ordem de 30 minutos, causadas por imprecisões de leitura ou ajuste de relógio.

2. Leitura das alturas do maregrama em escala errada. O digitalizador utiliza uma escala do marégrafo, quando na realidade é outra.
3. Digitalização do maregrama invertido ("de cabeça para baixo"), trocando-se preamar por baixa-mar.

4.1.3 Resultados do controle de qualidade proposto

O procedimento complementar proposto na metodologia permitiu a identificação de problemas ocorridos nos dados maregráficos que não eram **identificados** pelo método em uso até então na DHN. Estes problemas são descritos a seguir:

- Problemas típicos de operação do marégrafo (trabalho de campo):
 1. Falha de calibragem do marégrafo na colocação do maregrama (hora e/ou cota incorreta e/ou inclinado).
 2. Calibragem temporal do maregrama baseada em relógios diferentes, inclusive utilizando a hora do registro no maregrama a ser retirado, o que não é o procedimento correto.
 3. Registro de horário de verão no maregrama sem caracterizar o fato e falta de uniformidade quanto ao uso do mesmo.
 4. Leitura errada de régua, que pode ocorrer por engano do observador, falta de treinamento adequado, ou dificuldade ocasional devida a agitação excessiva do mar nas proximidades do marégrafo.
 5. Grande **alternância** de operadores na substituição dos maregramas, principalmente em feriados e fins de semana, com pessoal aparentemente inabilitado operando o equipamento nestes períodos.
 6. Falta de registro devido a demora entre a retirada e a colocação do novo maregrama, exceto nos períodos de manutenção.

7. Superposição de registros em uma mesma folha, em especial nas épocas de feriados e fins de semana, dificultando a identificação dos dias para a digitalização.
- Problemas típicos de funcionamento do marégrafo (fatores instrumentais):
8. Falhas nos mecanismos do marégrafo (relojoaria, engrenagens, bóia, cabos e/ou polias) ou nas tomadas d'água.
9. Atraso ou adiantamento do relógio do marégrafo.
10. Desprendimento da haste de sustentação do maregrama ou do próprio papel durante o registro.
11. Pena perdendo o contato com o papel ou sem tinta para o registro.
- Problemas típicos de padronização dos equipamentos (fator padronização):
12. Não padronização do impresso do maregrama (formatos diferentes e malhas inclinadas em relação as margens do papel), caracterizando falta de controle de qualidade no recebimento do material dos fornecedores.
13. Não padronização dos tambores de fixação de maregramas diários: tambores de diferentes diâmetros, com uso de tambor em marégrafo inadequado levando a prováveis erros, atribuídos, a princípio, ao mecanismo de relojoaria (Cardoso, comunicação pessoal).
- Problemas típicos do processo de digitalização (trabalho de gabinete):
14. Erros de leitura e/ou escala do maregrama.
15. Erros de digitalização (valor errado, hora errada e/ou dia errado), seja via planilha ou mesa digitalizadora.
16. Digitalização de maregrama invertido ("de cabeça para baixo"), trocando as preamares pelas baixa-mares.
17. Preenchimento de lacunas a mão (por "sentimento") ou com a maré prevista (somente a astronômica), sem nenhuma indicação ou justificativa técnica.

Alguns dos maregramas consultados registravam intensas oscilações de curtos períodos nos registros logo após os períodos de manutenção. Foi levantada a hipótese de corrosão progressiva do poço de tranquilização, com pequenos orifícios ocorrendo ao longo do segmento submerso, e que estaria comprometendo a *filtragem* hidráulica passa-baixa. Depois de algum tempo de operação, as cracas, que costumam aderir externamente ao *tubulão*, naturalmente obstruiriam essas passagens de água e a *filtragem* hidráulica volta a funcionar adequadamente. Na limpeza, estes orifícios seriam desobstruídos e as oscilações de alta frequência voltam a ser registradas, até nova acumulação de cracas (Cardoso e Venceslau, comunicação pessoal).

O ocorrido acima era aparentemente temporário, mas Luz e Neves (1995) também relatam perturbações permanentes devidas a influência das ondas de pequeno período no interior dos poços de tranquilização por dimensionamento inadequado das tomadas d'água (*profundidade*, *diâmetro* e *quantidade*).

Quatro estações-ano foram submetidas a este controle de qualidade: PA95, PA96, IF96 e PI96. A sua escolha foi baseada na disponibilidade dos maregramas para as verificações e na competência de controle de qualidade destas estações tanto da DHN como da COPPE.

Para cada arquivo maregráfico qualificado existe uma listagem de edições e lacunas preenchidas (memória técnica do controle de qualidade), indicando os respectivos problemas e anomalias encontrados.

As estações-ano IB96, FO91 e C093 não foram submetidas ao controle de qualidade mencionado, pela indisponibilidade dos maregramas para consulta e pela competência de controle de qualidade destas estações estar a cargo do IBGE (IB e CO) e IEAPM (FO).

4.2 A análise harmônica dos dados maregráficos

Os resultados da análise harmônica realizada com o programa ANHAMA (Franco, 1992) encontram-se resumidos na Tabela 1, que contém as características da 10 principais componentes de cada estação-ano analisada, em ordem decrescente de alturas (H).

Tabela 1 - Principais componentes astronômicas dos dados utilizados.

Nf											ordem	período analisado	latitude	longitude	Estação
0,2905	MU2	P1	M4	Q1	N2	K2	K1	O1	S2	M2	componente	28/12/95 a 05/01/97	22° 23,04' S	41° 46,25' W	Ponta de Imbetiba Macaé, RJ IB96
	1,97	2,06	2,37	2,87	4,98	5,32	5,73	10,08	18,15	36,27	H (cm)				
	39,31	138,58	32,52	68,96	99,80	77,53	154,59	93,31	91,39	82,92	G (graus)				
0,3416	Q1	MS4	M4	MU2	N2	K2	K1	O1	S2	M2	componente	24/05/91 a 13/11/91	22° 58,3' S	42° 00,8' W	Arraial do Cabo (Forno) Arraial do Cabo, RJ FO91
	2,21	2,22	2,32	2,52	4,35	4,77	5,88	9,64	14,91	30,52	H (cm)				
	60,78	73,85	5,91	70,69	101,29	65,14	140,93	82,77	75,27	67,65	G (graus)				
0,3328	MS4	MIN4	Q1	N2	M4	K2	K1	O1	S2	M2	componente	27/12/95 a 05/01/97	22° 53,0' S	43° 08,0' W	Ponta da Armação Niterói, RJ PA96
	2,25	2,42	3,09	4,16	4,75	5,58	8,08	10,64	17,82	32,45	H (cm)				
	202,74	38,37	67,77	123,74	59,22	86,33	148,05	91,33	97,11	90,13	G (graus)				
0,3334	MS4	MIN4	Q1	N2	M4	K2	K1	O1	S2	M2	componente	27/12/95 a 05/01/97	22° 53,8' S	43° 10,0' W	Ilha Fiscal Rio de Janeiro, RJ IF96
	2,13	2,26	3,08	4,14	4,93	5,31	8,30	10,64	17,96	32,65	H (cm)				
	183,12	38,31	66,77	123,82	65,06	87,40	148,01	90,91	86,03	88,97	G (graus)				
0,3477	MU2	P1	Q1	M4	M2	K2	K1	O1	S2	M2	componente	23/06/93 a 06/03/94	22° 59,1' S	43° 11,2' W	Copacabana Rio de Janeiro, RJ CO93
	1,59	1,90	2,90	3,54	3,76	4,79	5,73	10,64	16,74	30,34	H (cm)				
	92,23	126,70	57,63	33,76	116,60	75,57	145,87	86,05	86,06	79,88	G (graus)				
0,3246	Q1	MIN4	MS4	N2	K2	K1	M4	O1	S2	M2	componente	10/02/96 a 15/01/97	23° 01,2' S	44° 26,4' W	Piraquara Angra dos Reis, RJ PI96
	3,08	3,21	3,36	3,89	6,91	6,07	7,20	11,12	19,35	33,61	H (cm)				
	58,14	336,88	112,39	118,56	72,01	139,76	27,92	82,71	83,42	77,59	G (graus)				
0,3339	MS4	MIN4	Q1	N2	M4	K2	K1	O1	S2	M2	componente	27/12/94 a 05/01/96	22° 53,0' S	43° 08,0' W	Ponta da Armação Niterói, RJ PA95
	2,13	2,31	2,66	3,79	4,99	5,43	8,43	10,36	18,16	32,13	H (cm)				
	204,46	38,03	61,61	126,39	91,03	92,44	146,35	90,90	96,19	90,57	G (graus)				

Percebe-se **claramente** a dominância das componentes M2, S2 e O1 em todas as estações-ano. A partir da quarta **componente**, sobressai uma componente de pequeno fundo em PI96, M4, enquanto nas outras estações-ano, a quarta componente é K1. A quinta componente é K2, exceto em PI96, onde é K1. Em IB96, FO91 e CO93, a sexta componente é N2, enquanto em PA95, PA96 e IF96 é M4 e em PI96 é K2.

Comparando-se as principais componentes astronômicas de PA95 e PA96, percebe-se que elas mantêm a mesma ordem, com pequenas variações nas alturas e fases.

Na última linha da Tabela 1 encontram-se os valores dos coeficientes de forma N_f das estações-ano, que indicam as características gerais da maré no local, calculado pela expressão

$$N_f = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2} + H_{S2}},$$

onde H_q corresponde a altura da componente q obtida a partir da análise harmônica. Como pode ser observado, todas as séries analisadas apresentam coeficientes variando entre 0,29 e 0,35, típicos de marés semidiurnas com desigualdades diurnas ($0,25 < N_f < 1,50$).

4.3 A filtragem numérica

4.3.1 O filtro ótimo de Thompson

A partir dos resultados da análise harmônica, adotou-se a frequência de corte superior $\Omega_2 = 11,2^\circ/\text{h}$ (correspondente a um período de 32,14h), que permitiria a **eliminação** dos sinais das componentes astronômicas diurnas e de **frequências** mais altas e da componente inercial em cada estação, posto que o menor valor destas componentes inerciais dentre as estações-ano analisadas é de $11,4^\circ/\text{h}$ para a estação de Imbetiba (latitude $22^\circ 23,0' \text{ S}$).

A quantidade de pesos a ser utilizada nos filtros foi **determinada** avaliando-se alternativas de 145 a 289 pesos, pela variação dos valores de N entre 72 e 144, em múltiplos de 12 (72, 84, 96, 108, 120, 132 e 144), Figura 8. Foi estabelecido um comprometimento de não mais de 12 dias de dados no processamento da **filtragem**.

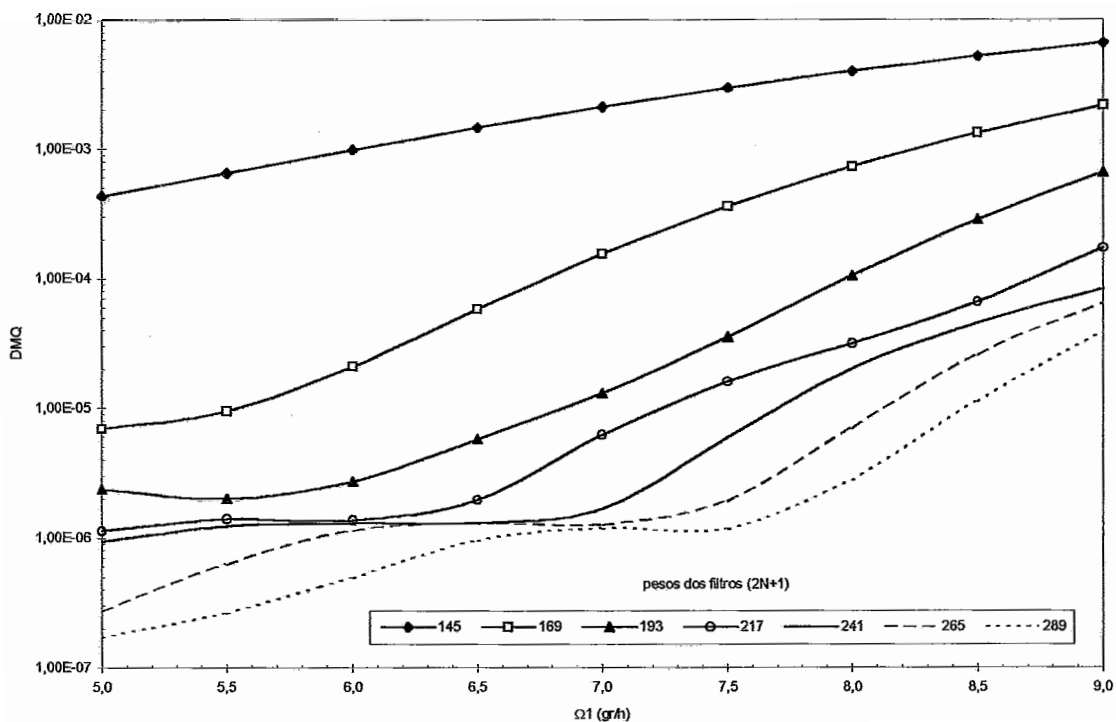


Figura 8 - Desvios médios quadráticos para diversas números de pesos ($2N + 1$) do filtro de Thompson, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$.

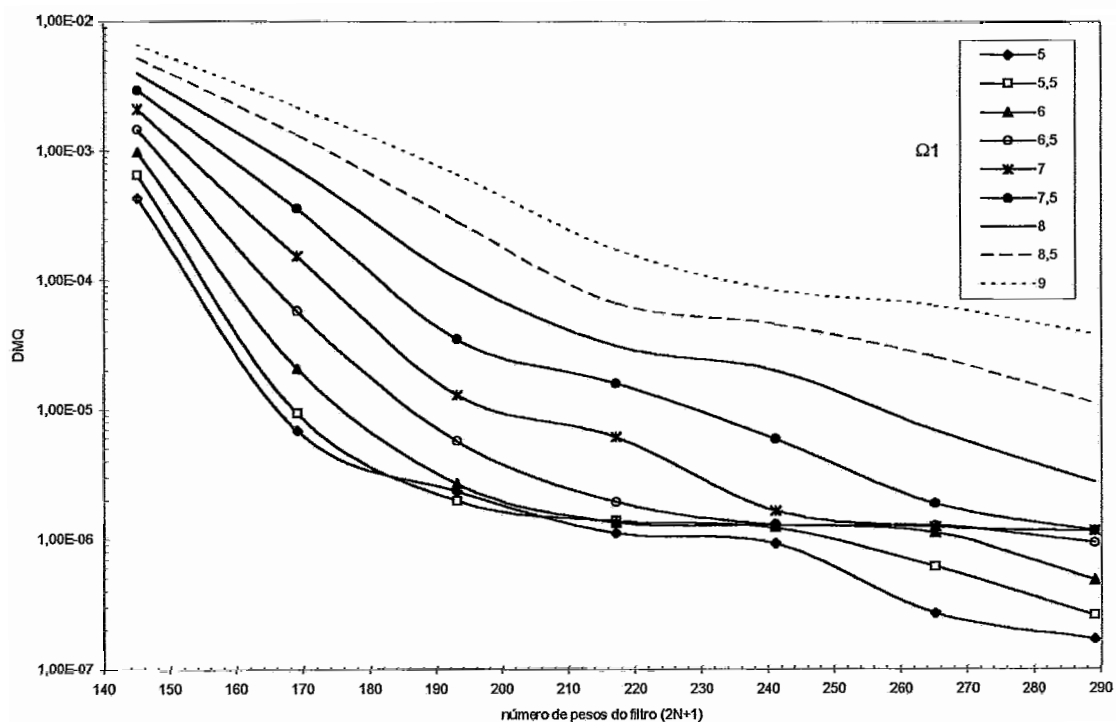


Figura 9 - Desvios médios quadráticos para diversas frequências de corte inferior Ω_1 ("h) do filtro de Thompson, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$.

O limite mínimo de Ω_1 (frequência de corte inferior) utilizado nos testes foi de $5^\circ/\text{h}$, i.e., todas as oscilações de períodos maiores que 3 dias deveriam ser mantidas inalteradas. Variou-se este parâmetro em passos de $0,5^\circ/\text{h}$ até $9^\circ/\text{h}$, Figura 9, sendo o segmento mais favorável indicado pela análise dos desvios médios quadráticos e posteriormente refinado a cada $0,1^\circ/\text{h}$ para um "ajuste fino".

As frequências com imposição de fator de resposta nula (ω_j) inicialmente escolhidas foram as 10 componentes astronômicas principais mais a frequência inercial local, totalizando $m = 11$.

De acordo com a metodologia de cálculo dos filtros ótimos de Thompson, exposta anteriormente, pôde ser constatado que:

- De acordo com a Figura 8, observa-se que para Ω_1 entre $6,0$ e $7,0^\circ/\text{h}$ há uma estabilização do desvio médio quadrático para 241 e 265 pesos. A melhoria de resposta do filtro com 289 pesos é muito pequena.
- Analisando a Figura 9, percebe-se que também há estabilização dos desvios médios quadráticos entre 220 e 255 pesos, para Ω_1 entre $6,0$ e $6,5^\circ/\text{h}$.
- A aderência dos filtros nas frequências superiores a Ω_2 foi **sensivelmente** melhorada incluindo-se frequências com imposição de resposta nula distribuídas entre as frequências das principais componentes astronômicas eliminadas. Com cinco destas componentes adicionais, o ramo de resposta nula apresentou uma resposta máxima de apenas 10^{-3} , considerada aceitável como tendendo a zero.

Deste modo, os testes para a determinação das frequências de corte, quantidade de pesos e frequências com imposição de resposta nula indicaram que os filtros ótimos de Thompson deveriam ter as seguintes características:

- $N = 120$, ou 241 pesos, o que implica em um acréscimo de 5 dias anteriores ao início e mais 5 dias posteriores ao término do período a ser analisado para o processamento da filtragem sem perda de informação do período de interesse.
- Frequências de corte Ω_1 e Ω_2 de $6,4^\circ/\text{h}$ e $11,2^\circ/\text{h}$, respectivamente (períodos de 56,25h e 32,14h).

- 16 frequências com imposição de fator de resposta nulo (ω_j), sendo as 10 principais componentes locais mais a componente inercial ou de Coriolis local e mais 5 “componentes de aderência”.

Da Tabela 2 a Tabela 7 encontram-se listados os pesos dos filtros de Thompson, calculados com as características mencionadas acima, para cada uma das estações analisadas. Estes pesos não estão vinculados a períodos porque a sua determinação baseia-se apenas na localização da estação (latitude para a componente inercial) e na identificação das principais componentes astronômicas, que não mudam com o tempo, como foi observado para PA95 e PA96.

Tabela 2 - Pesos do filtro de Thompson calculado para IB.

Imbetiba - IB					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04889522				
1	0,04869546	41	0,00008576	81	-0,00018214
2	0,04809928	42	0,00093110	82	-0,00002745
3	0,04711587	43	0,00169043	83	0,00011217
4	0,04576012	44	0,00235183	84	0,00023484
5	0,04405228	45	0,00290667	85	0,00033912
6	0,04201776	46	0,00334960	86	0,00042393
7	0,03968698	47	0,00367837	87	0,00048865
8	0,03709494	48	0,00389346	88	0,00053336
9	0,03428058	49	0,00399794	89	0,00055889
10	0,03128579	50	0,00399738	90	0,00056673
11	0,02815440	51	0,00389974	91	0,00055874
12	0,02493135	52	0,00371511	92	0,00053694
13	0,02166201	53	0,00345506	93	0,00050352
14	0,01839149	54	0,00313199	94	0,00046096
15	0,01516377	55	0,00275867	95	0,00041202
16	0,01202076	56	0,00234794	96	0,00035948
17	0,00900134	57	0,00191257	97	0,00030581
18	0,00614076	58	0,00146510	98	0,00025286
19	0,00347031	59	0,00101748	99	0,00020187
20	0,00101708	60	0,00058063	100	0,00015364
21	-0,00119626	61	0,00016424	101	0,00010876
22	-0,00315190	62	-0,00022330	102	0,00006767
23	-0,00483716	63	-0,00057474	103	0,00003062
24	-0,00624464	64	-0,00088401	104	-0,00000236
25	-0,00737199	65	-0,00114640	105	-0,00003133
26	-0,00822160	66	-0,00135882	106	-0,00005617
27	-0,00880036	67	-0,00151997	107	-0,00007643
28	-0,00911954	68	-0,00163019	108	-0,00009142
29	-0,00919469	69	-0,00169115	109	-0,00010061
30	-0,00904521	70	-0,00170549	110	-0,00010400
31	-0,00869371	71	-0,00167670	111	-0,00010226
32	-0,00816517	72	-0,00160919	112	-0,00009657
33	-0,00748609	73	-0,00150818	113	-0,00008823
34	-0,00668400	74	-0,00137954	114	-0,00007838
35	-0,00578698	75	-0,00122935	115	-0,00006786
36	-0,00482324	76	-0,00106348	116	-0,00005727
37	-0,00382041	77	-0,00088744	117	-0,00004685
38	-0,00280481	78	-0,00070644	118	-0,00003639
39	-0,00180086	79	-0,00052548	119	-0,00002518
40	-0,00083072	80	-0,00034930	120	-0,00001220

Tabela 3 - Pesos do filtro de Thompson calculado para FO.

Porto do Forno - FO					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04894542				
1	0,04874404	41	0,00007877	81	-0,00020704
2	0,04814351	42	0,00091878	82	-0,00004100
3	0,04715417	43	0,00167406	83	0,00010856
4	0,04579187	44	0,00233216	84	0,00023927
5	0,04407701	45	0,00288403	85	0,00034998
6	0,04203439	46	0,00332444	86	0,00044010
7	0,03969378	47	0,00365165	87	0,00050939
8	0,03709030	48	0,00386657	88	0,00055812
9	0,03426398	49	0,00397225	89	0,00058725
10	0,03125839	50	0,00397384	90	0,00059827
11	0,02811890	51	0,00387887	91	0,00059280
12	0,02489128	52	0,00369725	92	0,00057239
13	0,02162095	53	0,00344076	93	0,00053870
14	0,01835250	54	0,00312222	94	0,00049394
15	0,01512914	55	0,00275470	95	0,00044108
16	0,01199189	56	0,00235118	96	0,00038361
17	0,00897874	57	0,00192437	97	0,00032489
18	0,00612419	58	0,00148645	98	0,00026763
19	0,00345912	59	0,00104865	99	0,00021378
20	0,00101071	60	0,00062077	100	0,00016458
21	-0,00119790	61	0,00021122	101	0,00012066
22	-0,00314840	62	-0,00017262	102	0,00008184
23	-0,00482794	63	-0,00052389	103	0,00004693
24	-0,00622931	64	-0,00083616	104	0,00001402
25	-0,00735065	65	-0,00110399	105	-0,00001865
26	-0,00819487	66	-0,00132353	106	-0,00005156
27	-0,00876936	67	-0,00149297	107	-0,00008332
28	-0,00908591	68	-0,00161218	108	-0,00011112
29	-0,00916059	69	-0,00168219	109	-0,00013208
30	-0,00901310	70	-0,00170487	110	-0,00014449
31	-0,00866567	71	-0,00168325	111	-0,00014836
32	-0,00814207	72	-0,00162191	112	-0,00014502
33	-0,00746722	73	-0,00152701	113	-0,00013627
34	-0,00666742	74	-0,00140544	114	-0,00012394
35	-0,00577077	75	-0,00126343	115	-0,00010991
36	-0,00480674	76	-0,00110564	116	-0,00009625
37	-0,00380479	77	-0,00093534	117	-0,00008483
38	-0,00279252	78	-0,00075555	118	-0,00007619
39	-0,00179430	79	-0,00057038	119	-0,00006851
40	-0,00083110	80	-0,00038542	120	-0,00005738

Tabela 4 - Pesos do filtro de Thompson calculado para P A

Ponta da Armação - PA					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04895021				
1	0,04874820	41	0,00008345	81	-0,00020094
2	0,04814569	42	0,00092529	82	-0,00004161
3	0,04715289	43	0,00168058	83	0,00010299
4	0,04578599	44	0,00233743	84	0,00023141
5	0,04406647	45	0,00288763	85	0,00034223
6	0,04202073	46	0,00332653	86	0,00043389
7	0,03968000	47	0,00365248	87	0,00050520
8	0,03707993	48	0,00386627	88	0,00055579
9	0,03425987	49	0,00397099	89	0,00058628
10	0,03126168	50	0,00397214	90	0,00059788
11	0,02812872	51	0,00387774	91	0,00059195
12	0,02490519	52	0,00369785	92	0,00057003
13	0,02163580	53	0,00344384	93	0,00053420
14	0,01836539	54	0,00312760	94	0,00048751
15	0,01513805	55	0,00276117	95	0,00043382
16	0,01199601	56	0,00235683	96	0,00037704
17	0,00897845	57	0,00192721	97	0,00032028
18	0,00612079	58	0,00148500	98	0,00026540
19	0,00345442	59	0,00104230	99	0,00021330
20	0,00100645	60	0,00061000	100	0,00016454
21	-0,00120058	61	0,00019747	101	0,00011960
22	-0,00314919	62	-0,00018715	102	0,00007874
23	-0,00482737	63	-0,00053673	103	0,00004163
24	-0,00622850	64	-0,00084519	104	0,00000737
25	-0,00735082	65	-0,00110795	105	-0,00002488
26	-0,00819693	66	-0,00132243	106	-0,00005513
27	-0,00877360	67	-0,00148800	107	-0,00008222
28	-0,00909182	68	-0,00160543	108	-0,00010441
29	-0,00916701	69	-0,00167609	109	-0,00012033
30	-0,00901857	70	-0,00170159	110	-0,00012982
31	-0,00866908	71	-0,00168407	111	-0,00013377
32	-0,00814323	72	-0,00162673	112	-0,00013346
33	-0,00746705	73	-0,00153412	113	-0,00012981
34	-0,00666763	74	-0,00141180	114	-0,00012318
35	-0,00577291	75	-0,00126563	115	-0,00011379
36	-0,00481130	76	-0,00110124	116	-0,00010201
37	-0,00381079	77	-0,00092409	117	-0,00008828
38	-0,00279787	78	-0,00073978	118	-0,00007253
39	-0,00179689	79	-0,00055414	119	-0,00005382
40	-0,00082984	80	-0,00037292	120	-0,00003066

Tabela 5 - Pesos do filtro de Thompson calculado para IF.

Ilha Fiscal - IF					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04895080				
1	0,04874893	41	0,00008315	81	-0,00020084
2	0,04814665	42	0,00092453	82	-0,00004080
3	0,04715387	43	0,00167998	83	0,00010355
4	0,04578661	44	0,00233743	84	0,00023110
5	0,04406656	45	0,00288806	85	0,00034140
6	0,04202048	46	0,00332673	86	0,00043352
7	0,03967975	47	0,00365196	87	0,00050598
8	0,03707988	48	0,00386520	88	0,00055745
9	0,03425984	49	0,00397005	89	0,00058781
10	0,03126137	50	0,00397191	90	0,00059846
11	0,02812801	51	0,00387811	91	0,00059170
12	0,02490432	52	0,00369817	92	0,00056986
13	0,02163516	53	0,00344354	93	0,00053489
14	0,01836513	54	0,00312675	94	0,00048894
15	0,01513795	55	0,00276049	95	0,00043504
16	0,01199570	56	0,00235700	96	0,00037719
17	0,00897780	57	0,00192821	97	0,00031940
18	0,00612009	58	0,00148614	98	0,00026445
19	0,00345409	59	0,00104285	99	0,00021328
20	0,00100667	60	0,00060989	100	0,00016557
21	-0,00120005	61	0,00019736	101	0,00012084
22	-0,00314880	62	-0,00018653	102	0,00007919
23	-0,00482732	63	-0,00053528	103	0,00004109
24	-0,00622856	64	-0,00084360	104	0,00000660
25	-0,00735055	65	-0,00110707	105	-0,00002494
26	-0,00819617	66	-0,00132247	106	-0,00005428
27	-0,00877263	67	-0,00148837	107	-0,00008126
28	-0,00909117	68	-0,00160530	108	-0,00010440
29	-0,00916691	69	-0,00167524	109	-0,00012161
30	-0,00901874	70	-0,00170066	110	-0,00013164
31	-0,00866900	71	-0,00168396	111	-0,00013502
32	-0,00814263	72	-0,00162776	112	-0,00013365
33	-0,00746620	73	-0,00153570	113	-0,00012952
34	-0,00666709	74	-0,00141294	114	-0,00012349
35	-0,00577301	75	-0,00126585	115	-0,00011521
36	-0,00481178	76	-0,00110101	116	-0,00010401
37	-0,00381105	77	-0,00092432	117	-0,00008980
38	-0,00279756	78	-0,00074090	118	-0,00007295
39	-0,00179624	79	-0,00055569	119	-0,00005354
40	-0,00082946	80	-0,00037392	120	-0,00003064

Tabela 6 - Pesos do filtro de Thompson calculado para CO.

Copacabana - CO					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04894449				
1	0,04874324	41	0,00007701	81	-0,00020929
2	0,04814302	42	0,00091821	82	-0,00004502
3	0,04715393	43	0,00167470	83	0,00010403
4	0,04579165	44	0,00233389	84	0,00023558
5	0,04407662	45	0,00288659	85	0,00034817
6	0,04203388	46	0,00332741	86	0,00044063
7	0,03969342	47	0,00365443	87	0,00051207
8	0,03709041	48	0,00386856	88	0,00056222
9	0,03426468	49	0,00397302	89	0,00059166
10	0,03125947	50	0,00397330	90	0,00060175
11	0,02811991	51	0,00387728	91	0,00059434
12	0,02489171	52	0,00369509	92	0,00057147
13	0,02162044	53	0,00343857	93	0,00053545
14	0,01835102	54	0,00312041	94	0,00048905
15	0,01512698	55	0,00275352	95	0,00043559
16	0,01198959	56	0,00235064	96	0,00037860
17	0,00897700	57	0,00192428	97	0,00032121
18	0,00612364	58	0,00148652	98	0,00026576
19	0,00346016	59	0,00104857	99	0,00021368
20	0,00101332	60	0,00062038	100	0,00016582
21	-0,00119424	61	0,00021057	101	0,00012250
22	-0,00314458	62	-0,00017329	102	0,00008353
23	-0,00482495	63	-0,00052430	103	0,00004801
24	-0,00622801	64	-0,00083617	104	0,00001449
25	-0,00735147	65	-0,00110363	105	-0,00001832
26	-0,00819775	66	-0,00132302	106	-0,00005073
27	-0,00877373	67	-0,00149258	107	-0,00008154
28	-0,00909084	68	-0,00161213	108	-0,00010845
29	-0,00916495	69	-0,00168266	109	-0,00012906
30	-0,00901583	70	-0,00170596	110	-0,00014195
31	-0,00866612	71	-0,00168492	111	-0,00014705
32	-0,00814026	72	-0,00162388	112	-0,00014531
33	-0,00746389	73	-0,00152871	113	-0,00013806
34	-0,00666386	74	-0,00140610	114	-0,00012665
35	-0,00576827	75	-0,00126241	115	-0,00011260
36	-0,00480612	76	-0,00110282	116	-0,00009775
37	-0,00380613	77	-0,00093132	117	-0,00008398
38	-0,00279522	78	-0,00075156	118	-0,00007228
39	-0,00179745	79	-0,00056779	119	-0,00006172
40	-0,00083382	80	-0,00038518	120	-0,00004918

Tabela 7 - Pesos do filtro de Thompson calculado para PI.

Piraquara - PI					
k	w(k)	k	w(k)	k	w(k)
0	0,04889249				
1	0,04869503	41	0,00005697	81	-0,00019038
2	0,04810450	42	0,00089664	82	-0,00004100
3	0,04712722	43	0,00165013	83	0,00009803
4	0,04577560	44	0,00230774	84	0,00022575
5	0,04406940	45	0,00286295	85	0,00033826
6	0,04203534	46	0,00331078	86	0,00043084
7	0,03970549	47	0,00364730	87	0,00050081
8	0,03711522	48	0,00387061	88	0,00054899
9	0,03430211	49	0,00398234	89	0,00057842
10	0,03130592	50	0,00398842	90	0,00059171
11	0,02816917	51	0,00389828	91	0,00058941
12	0,02493707	52	0,00372300	92	0,00057090
13	0,02165653	53	0,00347357	93	0,00053690
14	0,01837445	54	0,00316052	94	0,00049117
15	0,01513614	55	0,00279467	95	0,00043965
16	0,01198436	56	0,00238802	96	0,00038753
17	0,00895892	57	0,00195382	97	0,00033673
18	0,00609619	58	0,00150550	98	0,00028588
19	0,00342832	59	0,00105542	99	0,00023281
20	0,00098225	60	0,00061424	100	0,00017725
21	-0,00122078	61	0,00019141	101	0,00012147
22	-0,00316507	62	-0,00020396	102	0,00006852
23	-0,00483974	63	-0,00056302	103	0,00001993
24	-0,00623812	64	-0,00087801	104	-0,00002477
25	-0,00735758	65	-0,00114366	105	-0,00006628
26	-0,00820002	66	-0,00135779	106	-0,00010334
27	-0,00877211	67	-0,00152075	107	-0,00013236
28	-0,00908532	68	-0,00163404	108	-0,00014971
29	-0,00915531	69	-0,00169929	109	-0,00015462
30	-0,00900138	70	-0,00171827	110	-0,00015020
31	-0,00864615	71	-0,00169364	111	-0,00014145
32	-0,00811530	72	-0,00162949	112	-0,00013209
33	-0,00743698	73	-0,00153092	113	-0,00012273
34	-0,00664045	74	-0,00140318	114	-0,00011189
35	-0,00575433	75	-0,00125120	115	-0,00009834
36	-0,00480524	76	-0,00108015	116	-0,00008226
37	-0,00381758	77	-0,00089661	117	-0,00006383
38	-0,00281451	78	-0,00070876	118	-0,00004102
39	-0,00181912	79	-0,00052497	119	-0,00000925
40	-0,00085459	80	-0,00035141	120	0,00003552

Como ilustração do aspecto geral dos filtros ótimos de Thompson calculados, na Figura 10 há o gráfico da função resposta do filtro ótimo de Thompson para a estação de Imbetiba e na Figura 11, os respectivos pesos. Os demais filtros ótimos calculados para as outras estações apresentam o mesmo aspecto.

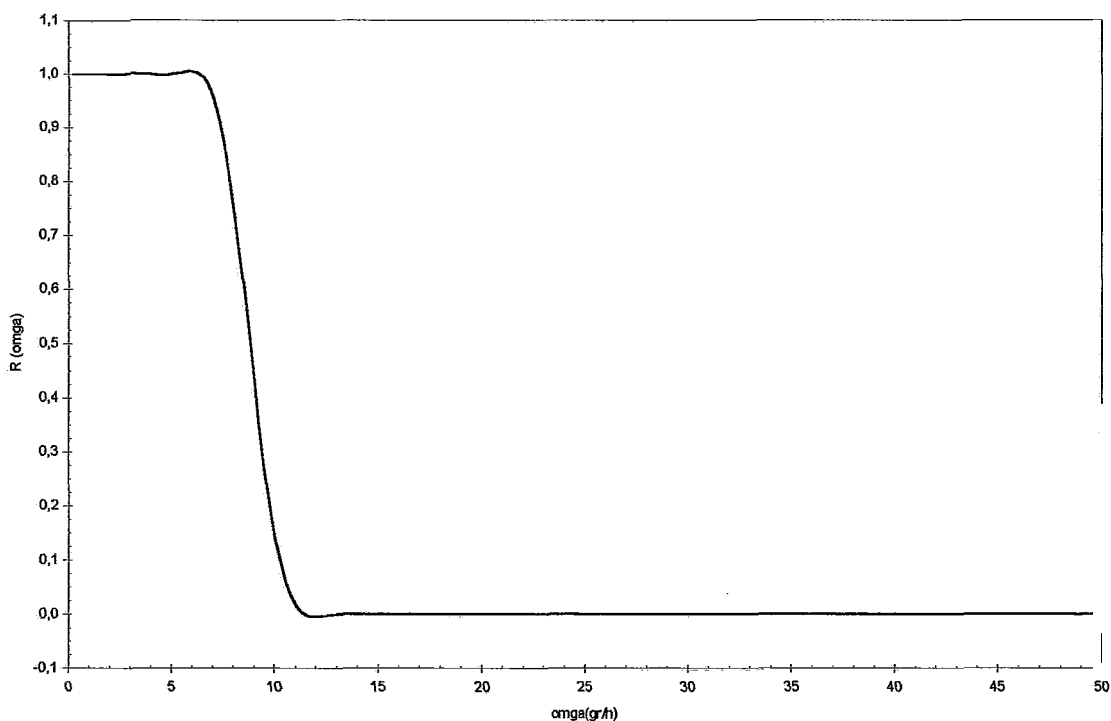


Figura 10 - Curva de fator de resposta $R(\omega)$ do filtro ótimo de Thonipson calculado para Imbetiba.

$$\Omega_1 = 6,4^\circ/\text{h}, \Omega_2 = 11,2^\circ/\text{h}, 241 \text{ pesos e } m = 16.$$

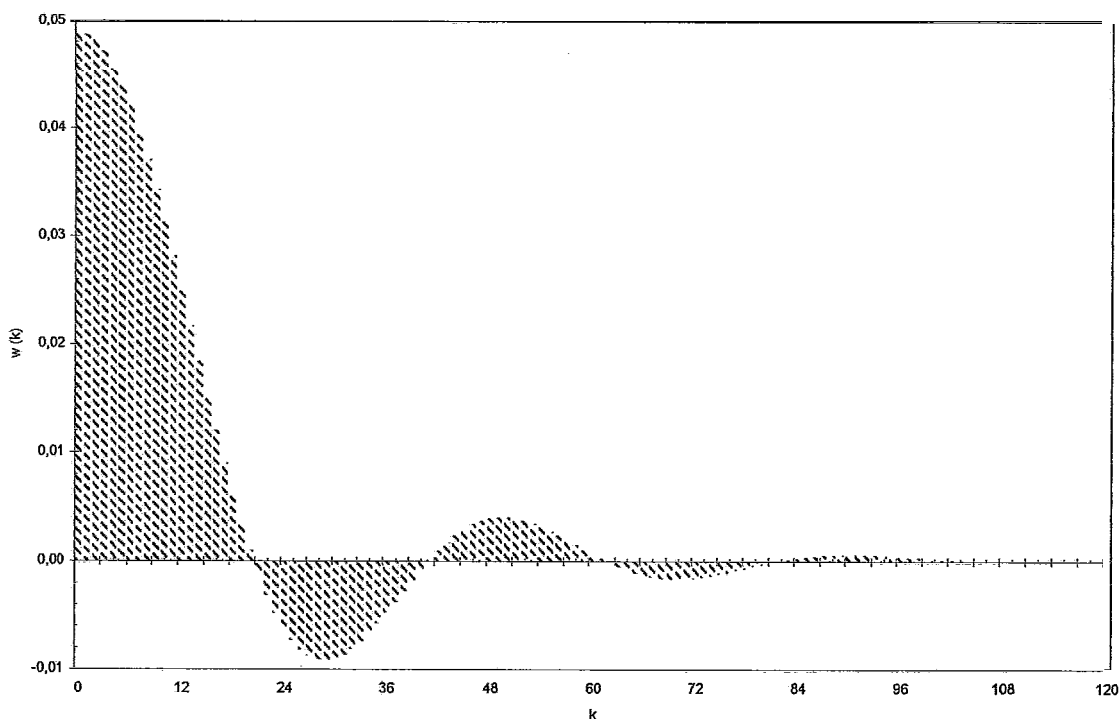


Figura 11 - Pesos $w(k)$ do filtro ótimo de Thompson calculado para Imbetiba. $\Omega_1 = 6,4^\circ/h$, $\Omega_2 = 11,2^\circ/h$, 241 pesos e $m = 16$.

4.3.2 Filtro ótimo de Thompson *versus* outros filtros

A comparação de desempenhos entre os filtros de Thompson, Godin e Doodson-Warburg, utilizando as curvas de fator de resposta, encontra-se na Figura 12. Observar as respostas de cada filtro nas baixas frequências, Figura 13, e nas altas frequências, Figura 14.

A aderência da resposta $R(\omega)$ do filtro de Thompson a função filtro ideal $H(\omega)$ é muito melhor que as dos filtros de Godin 71 e Doodson-Warburg 39, principalmente nas baixas frequências, onde se percebe que todas as frequências inferiores a $6,4^\circ/h$ foram mantidas integralmente, como era o desejado.

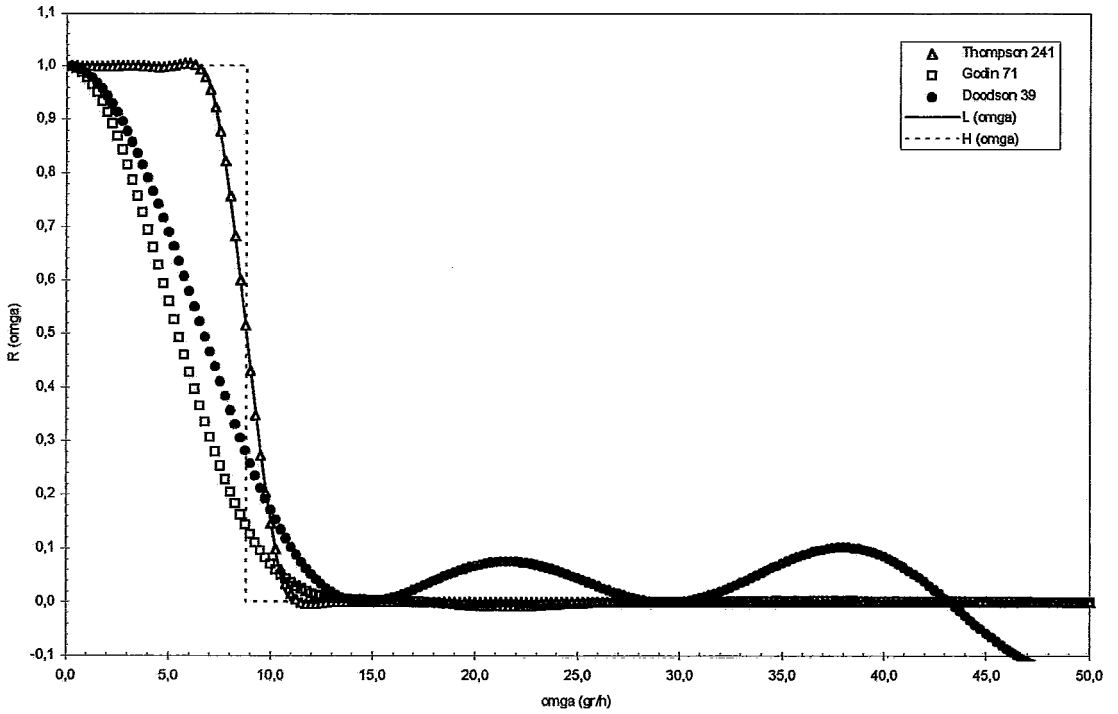


Figura 12 - Comparação de curvas de fator de resposta $R(\omega)$ entre os filtros de Thompson (241 pesos), Godin (71 pesos), Doodson-Warburg (39 pesos), fator resposta suavizado $L(\omega)$ e fator resposta ideal $H(\omega)$.

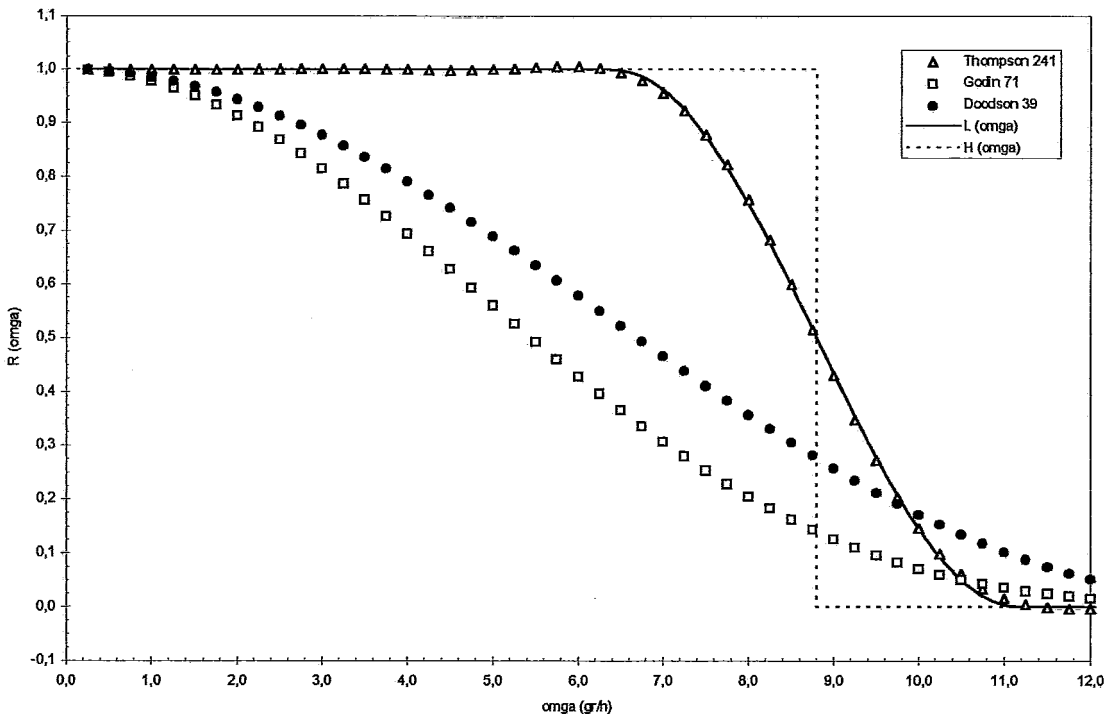


Figura 13 - Detalhe da Figura 12, para as baixas frequências.

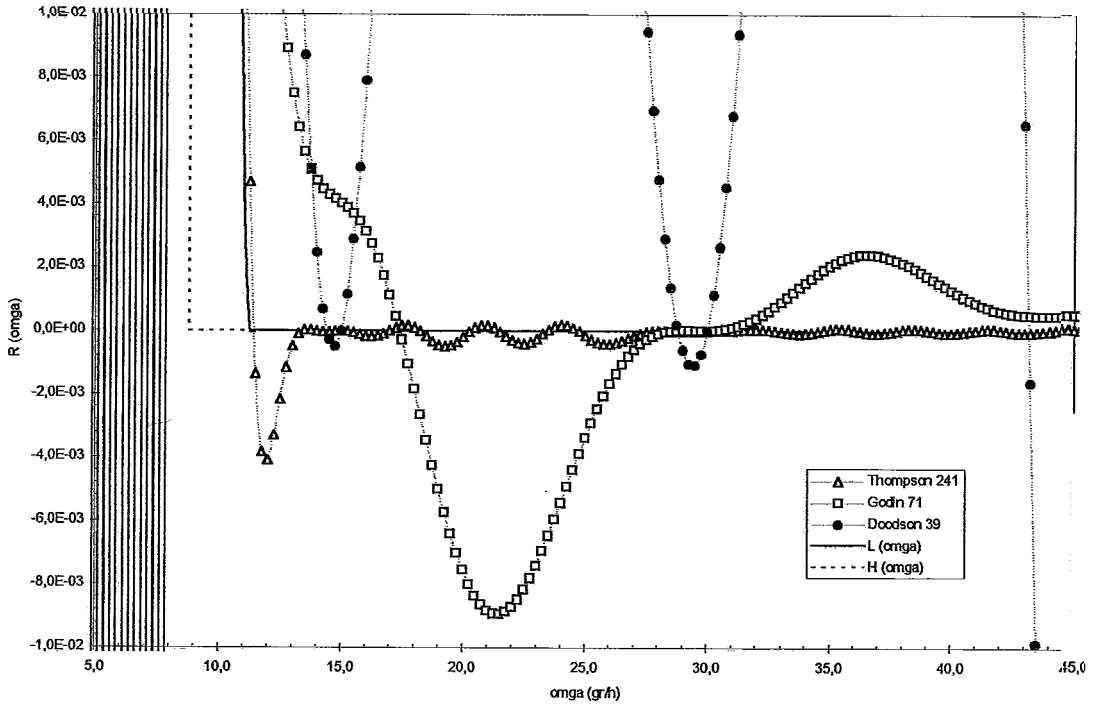


Figura 14 - Detalhe da Figura 12, para as altas frequências.

4.4 As séries filtradas- As séries de NMM

As séries de NMM calculadas através da filtragem das séries maregráficas pelos filtros de Thompson encontram-se da Figura 15 à Figura 20. Observar a eliminação das componentes de alta frequência nestas séries e a correspondência dos sinais de NMM para as estações-ano de 1996.

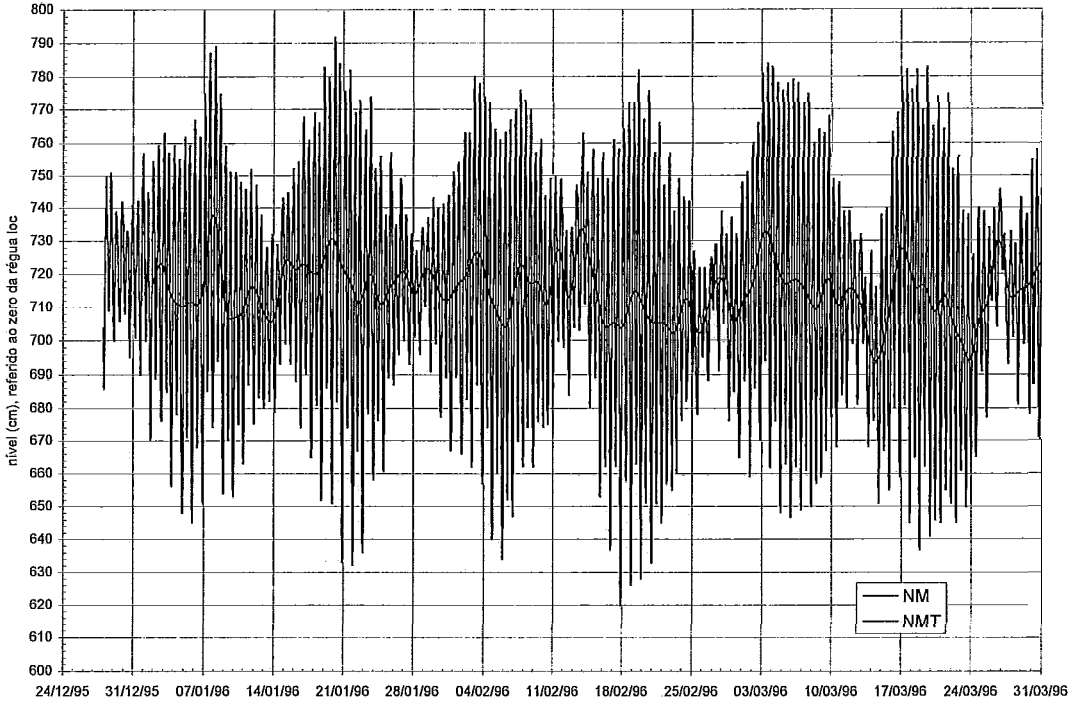


Figura 15 - Filtragem da estação-ano IB96. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

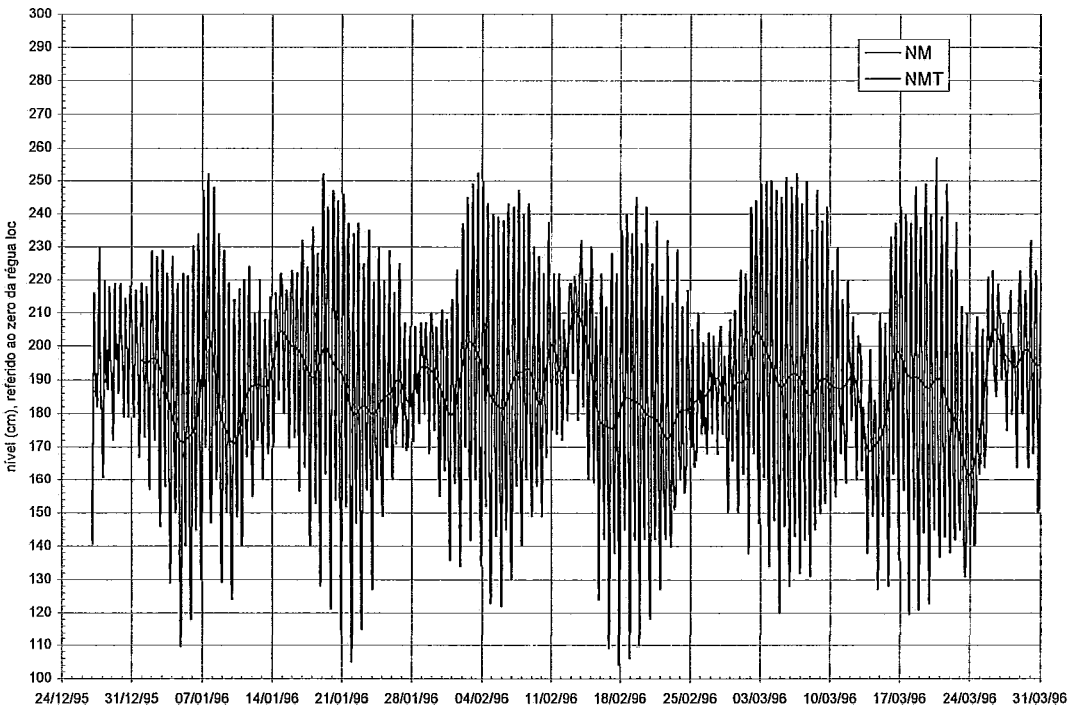


Figura 16 - Filtragem da estação-ano PA96. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

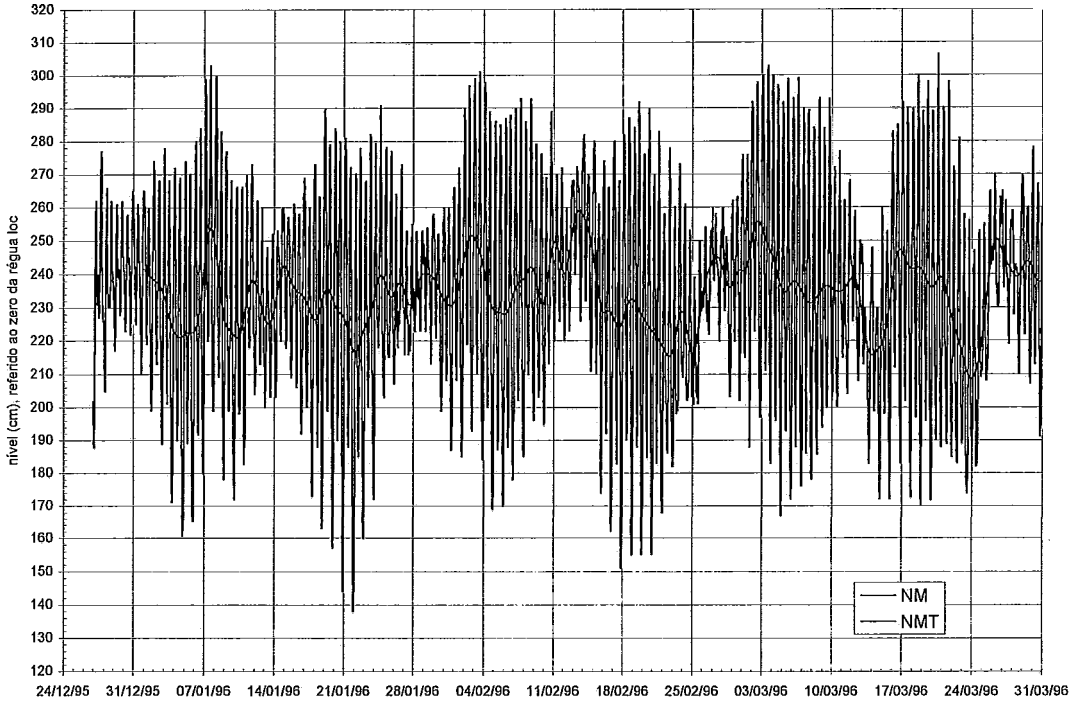


Figura 17 - Filtragem da estação-ano IF96. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

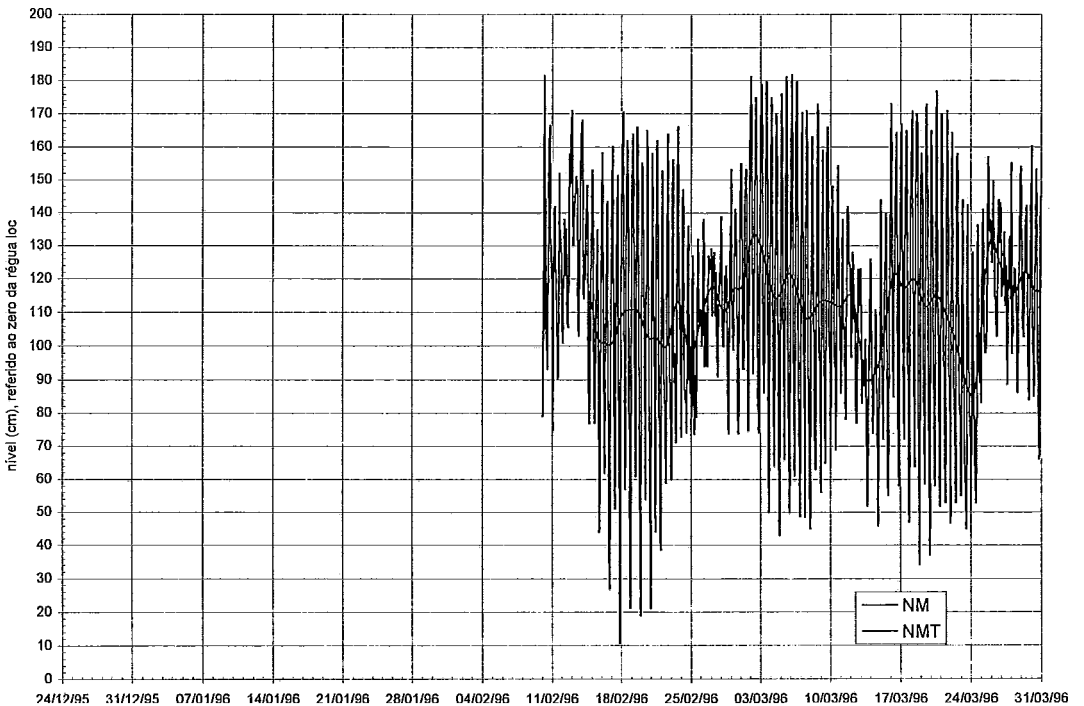


Figura 18 - Filtragem da estação-ano PI96. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

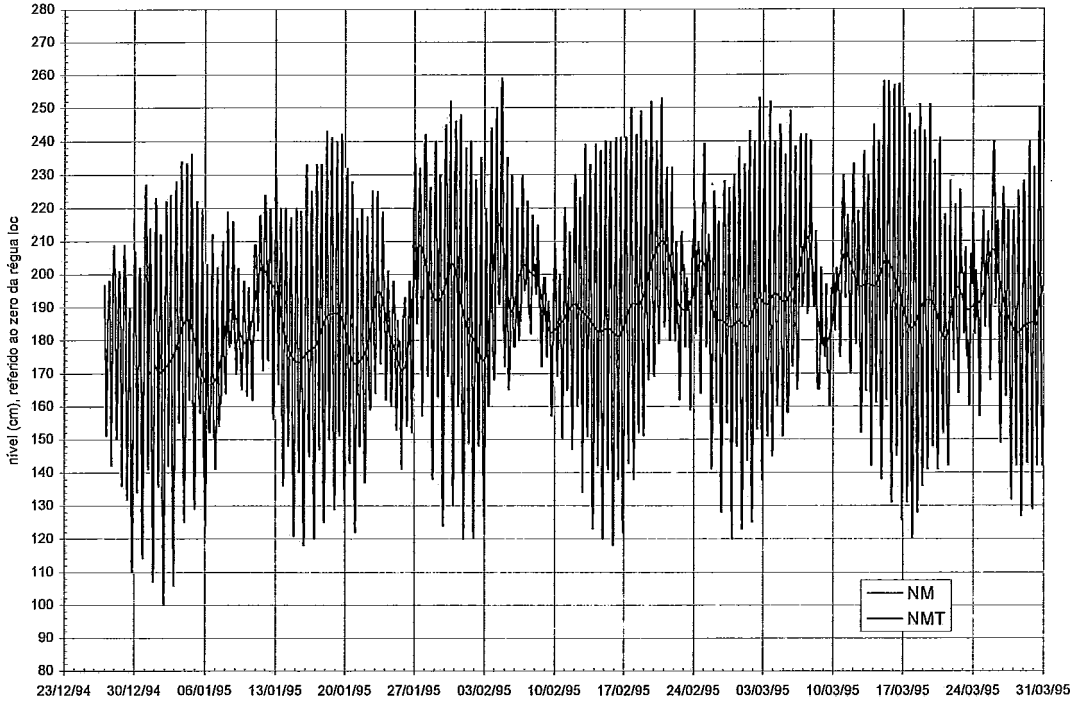


Figura 19 - Filtragem da estação-ano PA95. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

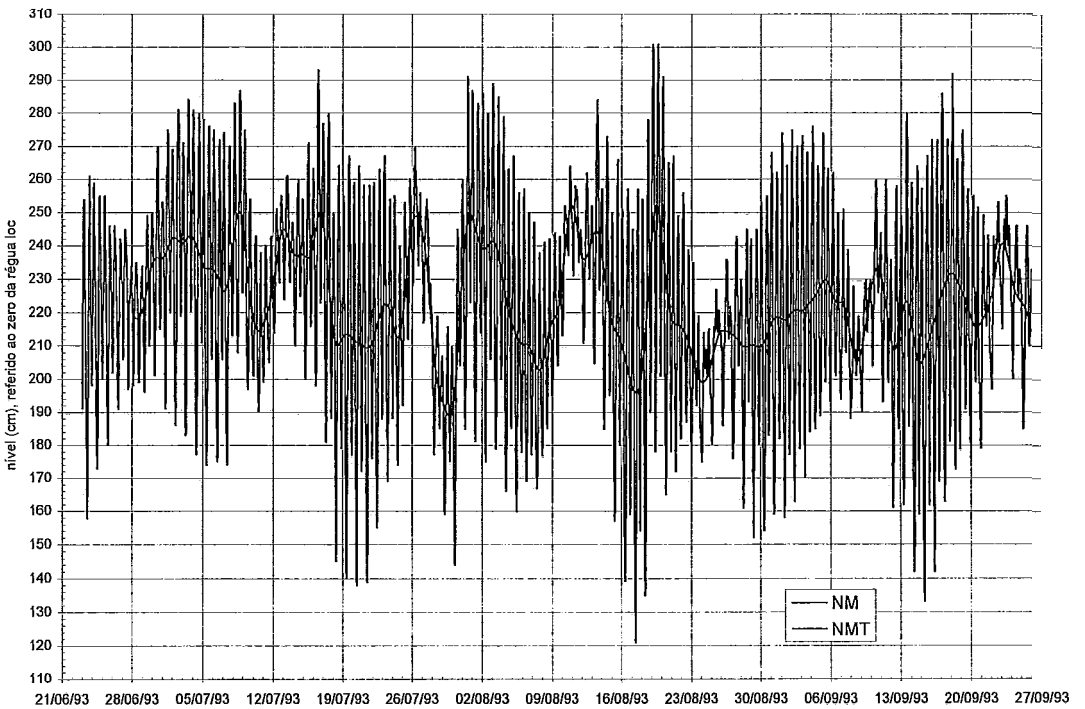


Figura 20 - Filtragem da estação-ano CO93. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson.

Na Figura 21 está a **visualização** dos **NMMs** calculados para todo o ano de 1996, onde se confirma a correspondência de comportamento ao longo do litoral **fluminense**. Entre meados de abril e maio de 1996, percebe-se uma pequena discordância em **IB96** (elevação) e **P196** (decréscimo) em relação a **PA96** e **IF96**.

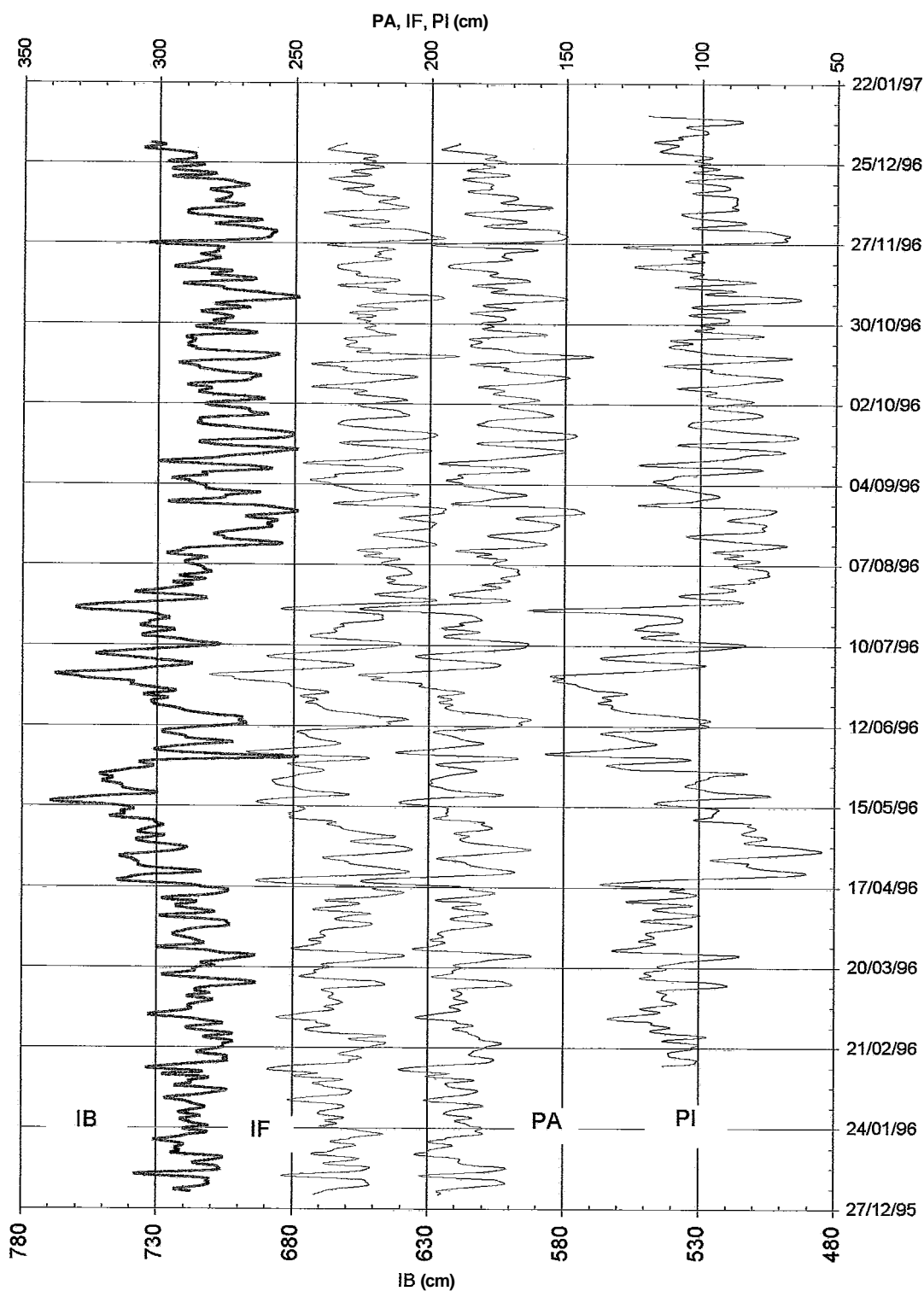


Figura 21 - Filtragem das estações-ano IB96, PA96, IF96 e PI96. NM é o nível do mar e NMT é o nível médio do mar obtido pela filtragem passa-baixa por Thompson. As escalas dos eixos das ordenadas são referidas aos zeros das réguas locais.

4.4.1 Descrição estatística das séries de NMM no domínio do tempo

As séries de NMM apresentadas acima foram submetidas a análises estatísticas sob as abordagens pontual e contínua, anteriormente explanado, utilizando classes de 5cm (Steel & Torrie, 1960 *In* Haan, 1977).

Na Tabela 8 encontram-se os resultados de ambas as abordagens e da Figura 22 a Figura 27 encontram-se as curvas de densidade de probabilidade de cada uma das séries de NMMs calculadas, juntamente com respectivas curvas de distribuição Normal ajustadas aos dados. Da Figura 28 a Figura 33 estão as respectivas curvas de permanência de NMMs com a curvas de distribuição Normal acumulada.

Tabela 8 - Estatísticas básicas das séries de NMM pelas abordagens pontual e contínua.

Estatística pontual dos Níveis Médios de Thompson						
estação-ano	mínimo	média	máximo	variança	desvio padrão	amplitude
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm)
IB96	678,1	716,1	769,3	249,35	15,79	91,2
PA96	139,8	181,3	225,7	204,42	14,30	85,9
IF96	189,4	228,1	280,7	226,72	15,06	91,3
PI96	54,7	101,2	163,3	342,11	18,50	108,6
PA95	151,8	186,7	230,5	165,29	12,86	78,7
CO93	178,1	217,0	252,2	182,75	13,52	74,1

Estatística contínua dos Níveis Médios de Thompson						
estação-ano	mínimo	média	máximo	variança	desvio padrão	amplitude
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(cm)
IB96	678,1	713,6	769,3	252,17	15,88	91,2
PA96	139,8	178,8	225,7	206,05	14,35	85,9
IF96	189,4	225,6	280,7	229,30	15,14	91,3
PI96	54,7	98,8	163,3	344,79	18,57	108,6
PA95	151,8	184,3	230,5	166,87	12,92	78,7
CO93	178,1	214,6	252,2	184,63	13,59	74,1

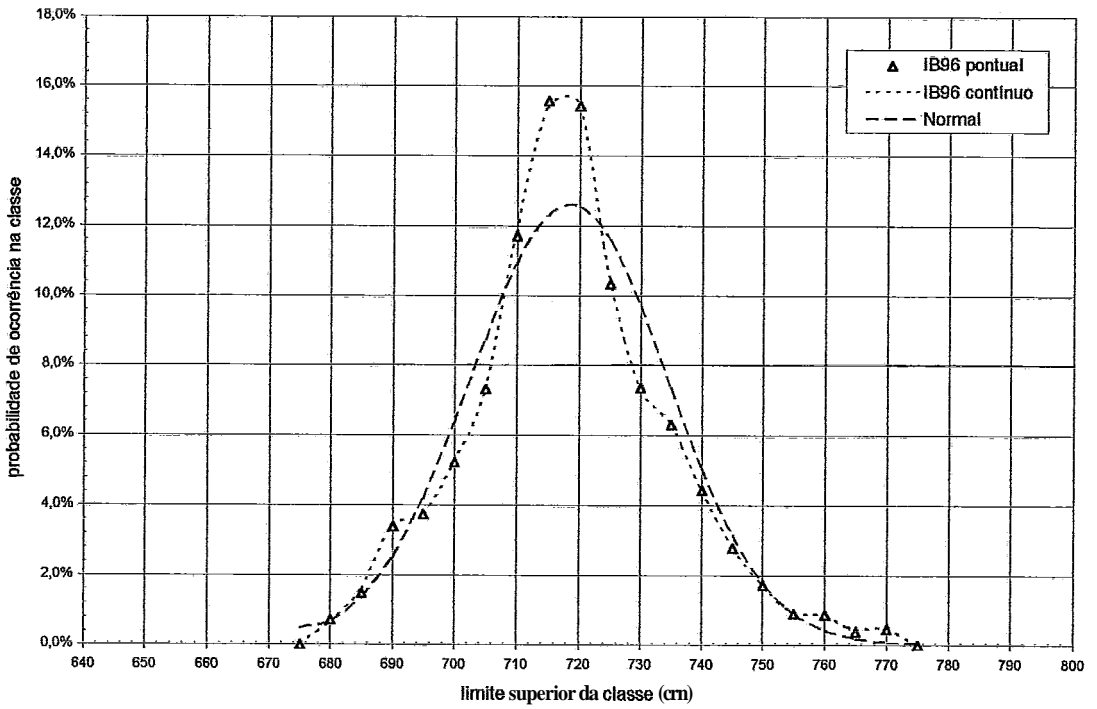


Figura 22 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). IB96.

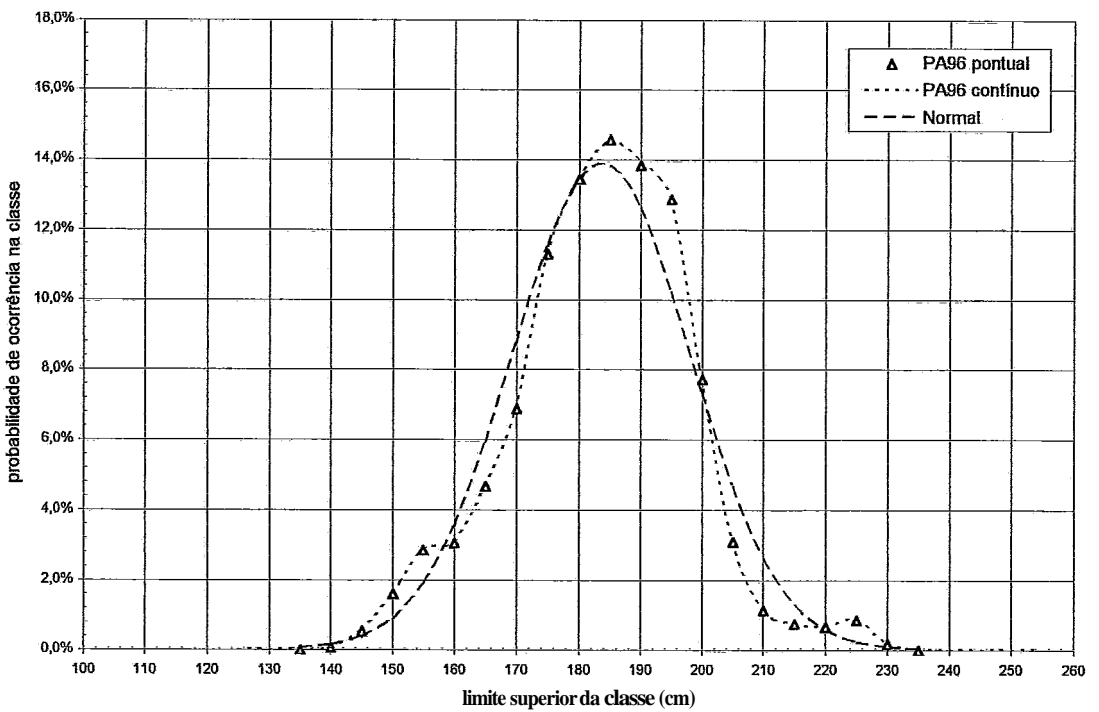


Figura 23 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). PA96.

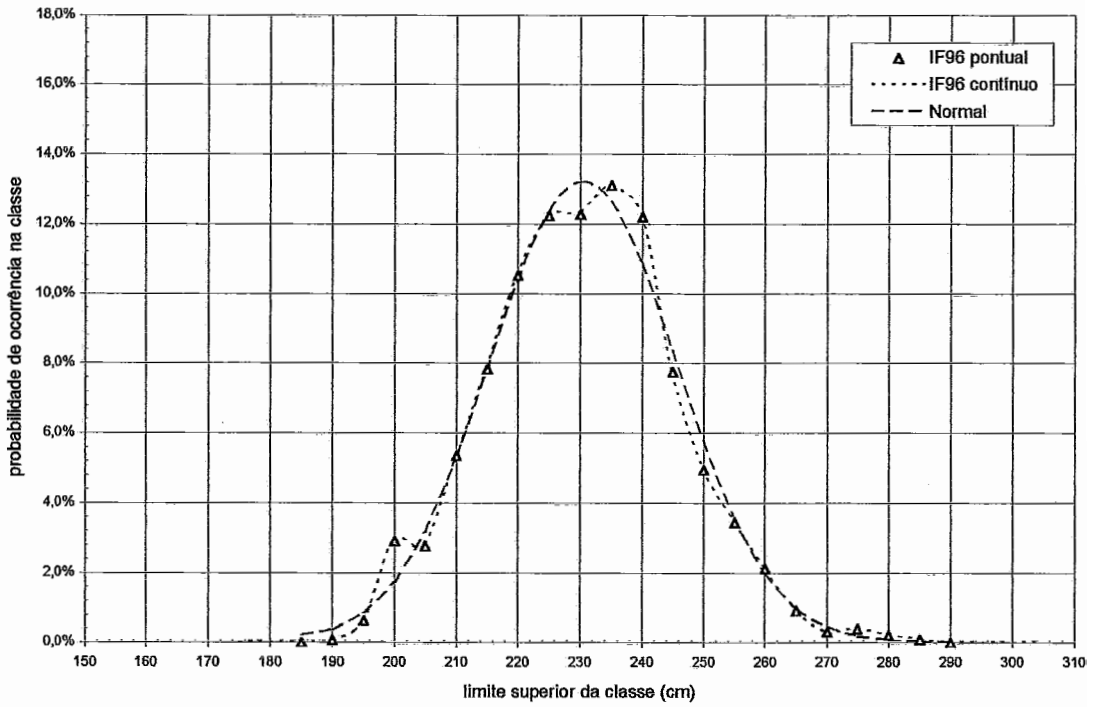


Figura 24 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm), IF96.

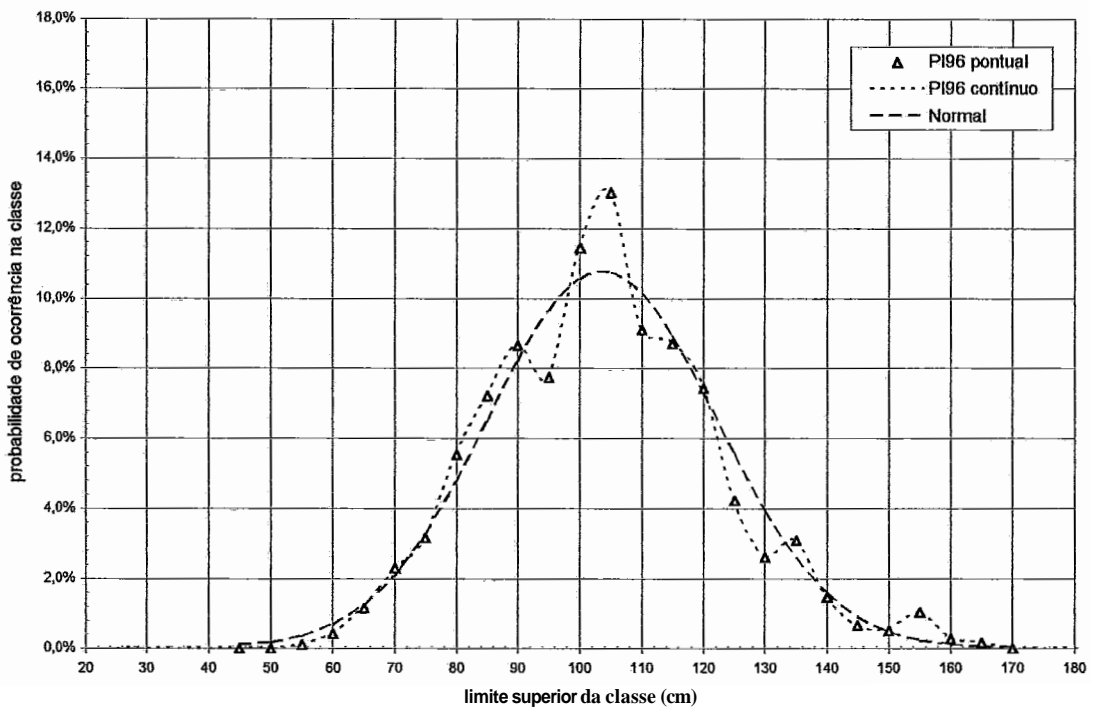


Figura 25 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm), PI96.

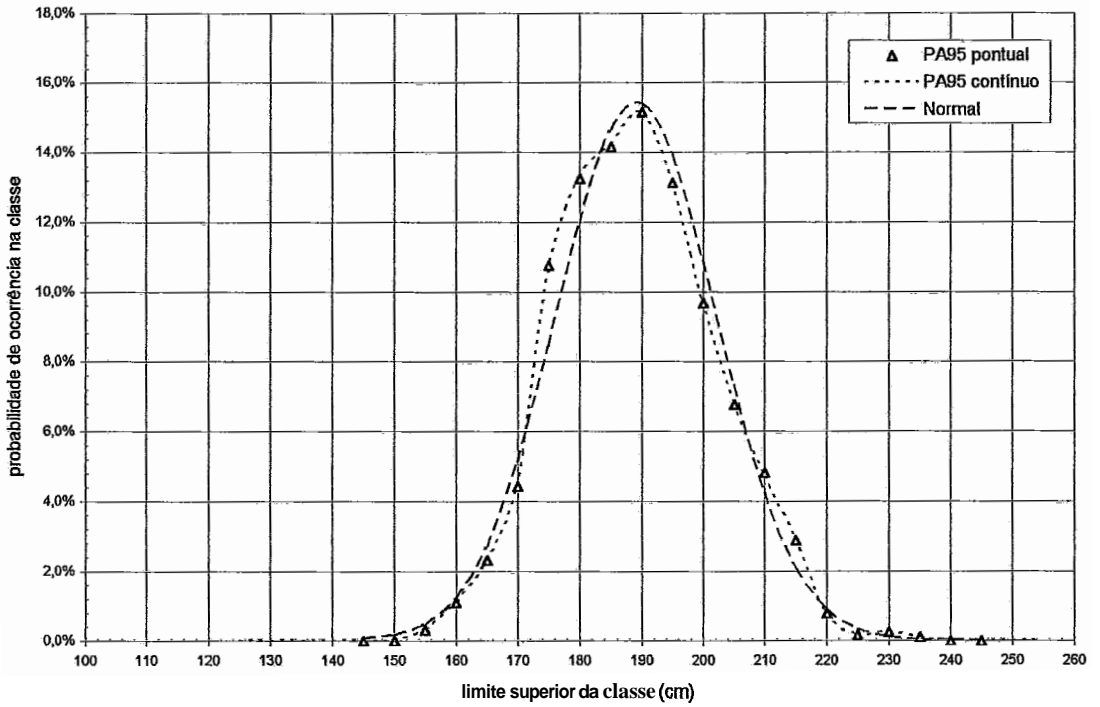


Figura 26 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). PA95.

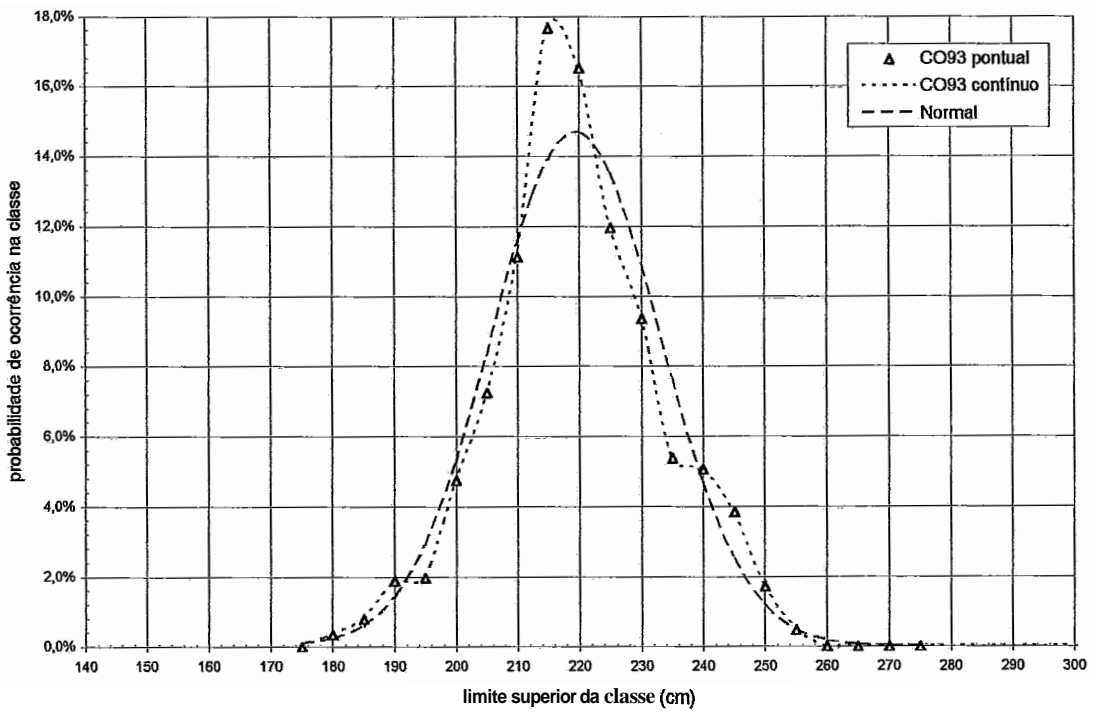


Figura 27 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). CO93.

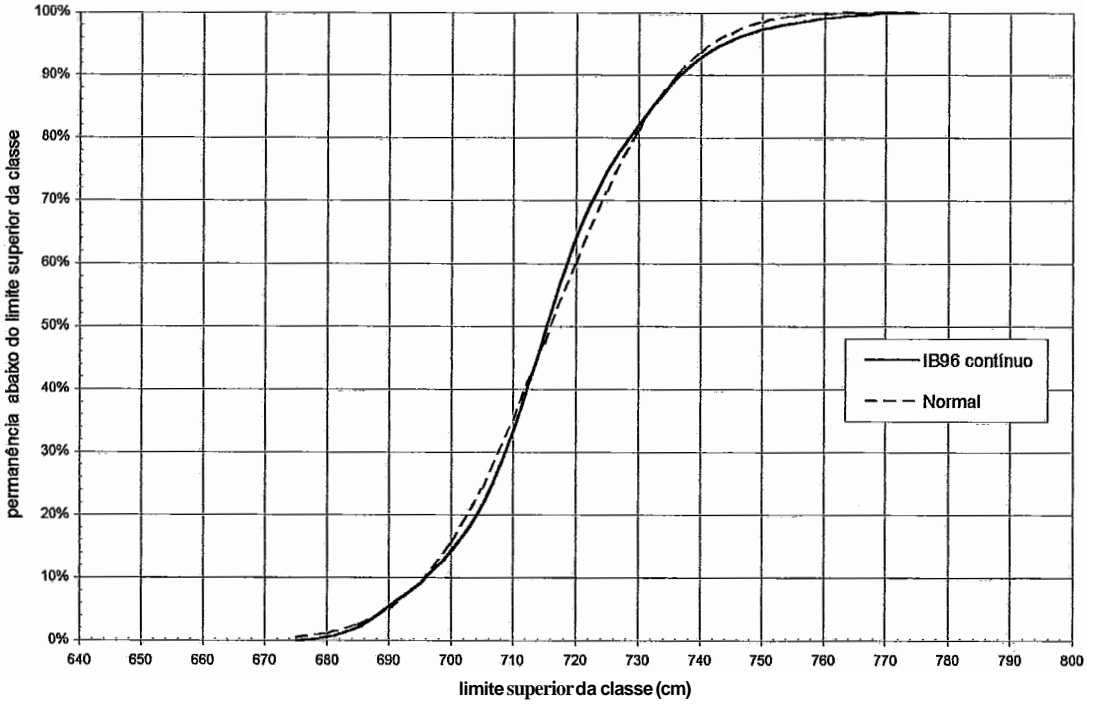


Figura 28 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm), IB96.

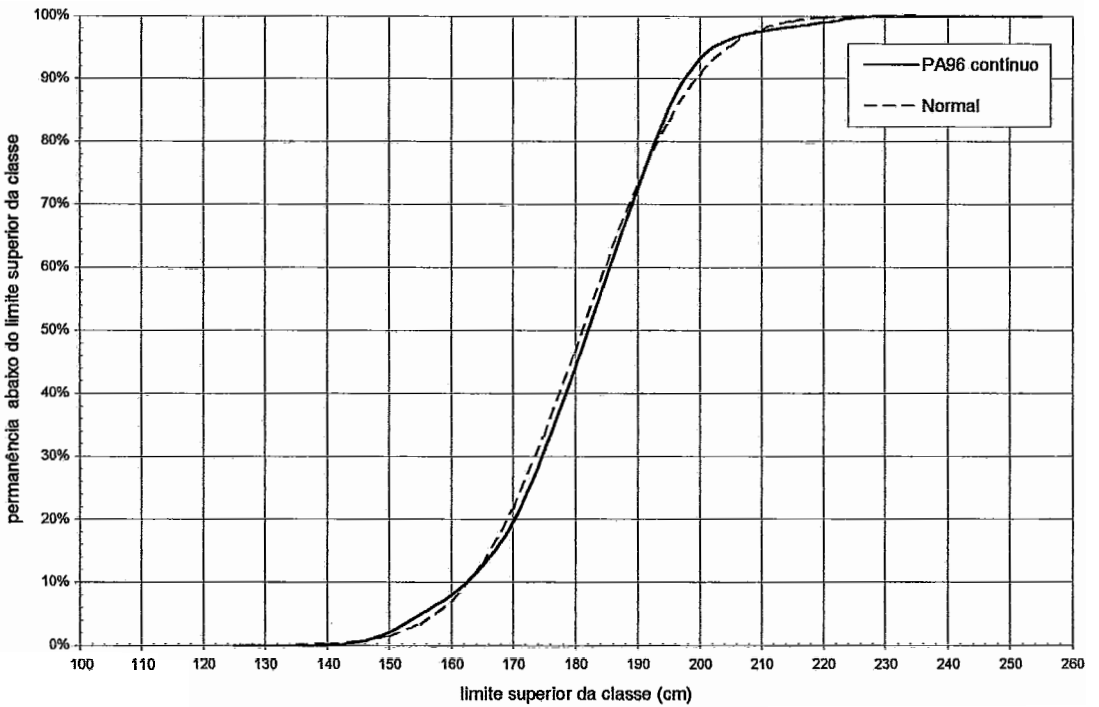


Figura 29 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm), PA96.

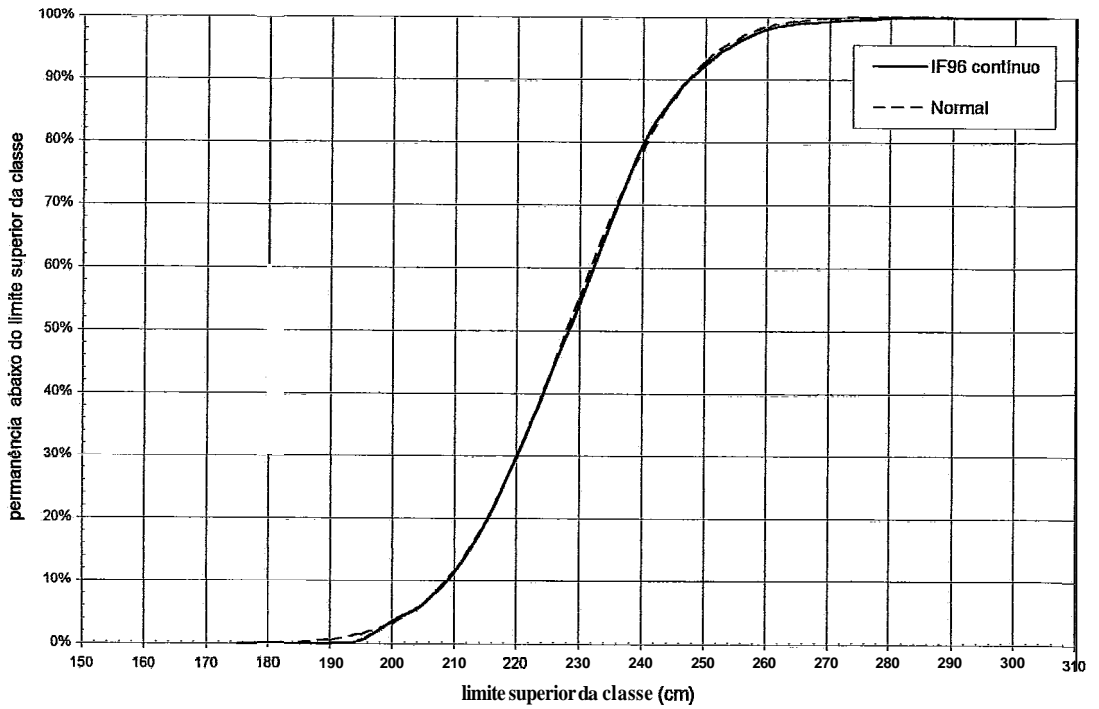


Figura 30 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IF96.

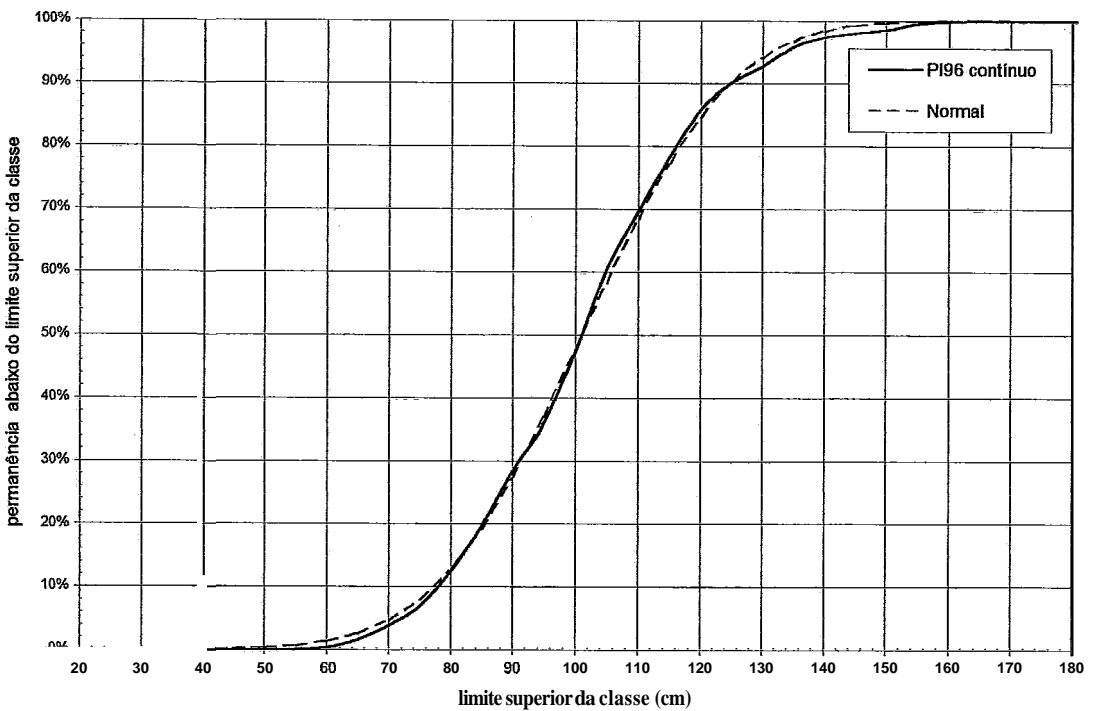


Figura 31 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). PI96.

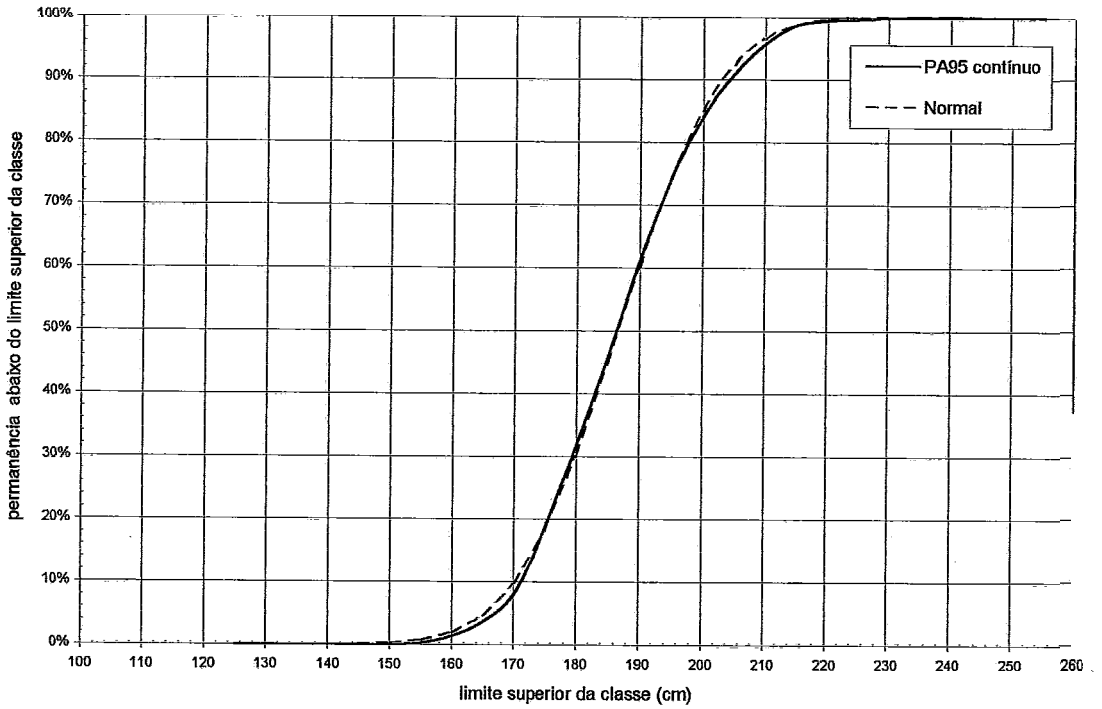


Figura 32 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). PA95.

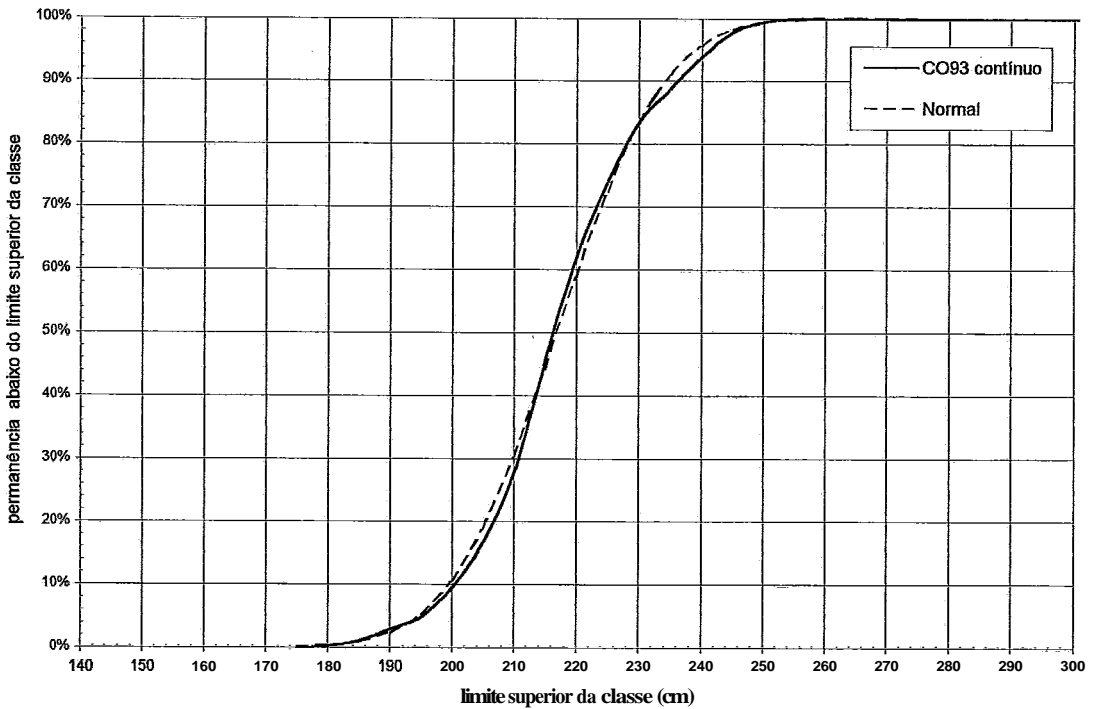


Figura 33 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). CO93.

Observa-se na Tabela 8 e nas figuras mencionadas que:

- Os resultados das análises estatísticas sob as abordagens pontual e contínua estão muito próximos, não havendo diferenças consideráveis nos resultados.
- Em relação à distribuição Normal, percebe-se uma tendência de formação de lobos laterais, em um aspecto multimodal para todas as estações-ano e mais intenso em PI96.
- As estações-ano PA95 e PA96 apresentam consideráveis diferenças no que se refere a moda, aos lobos laterais e à simetria. Esta constatação permite um questionamento sobre a intensidade das variações temporais (no caso, anuais) no comportamento do NMM.

Para permitir uma análise mais detalhada destas variações interanuais, são mostrados os resultados de análises estatísticas de séries de NMM referentes as estações-ano IF93, IF95 e PI95, Figura 34 a Figura 39. (Neves, comunicação pessoal).

Confrontando-se as curvas de densidade de probabilidade de PA95 (Figura 26) *versus* PA96 (Figura 23), IF93 (Figura 34) *versus* IF95 (Figura 35) *versus* IF96 (Figura 24) e PI95 (Figura 36) *versus* PI96 (Figura 25), observa-se uma sensível variação anual entre as estatísticas de NMM das estações-ano.

Em PA há inversão da simetria, o que também ocorre em IF, incluindo ainda uma maior multimodalidade em 1995 e leptocurtose em 1993 (moda principal excessivamente alta, destoando da tendência geral do ajuste pela curva Normal). Para PI, há uma inversão dos lobos laterais e variação da multimodalidade.

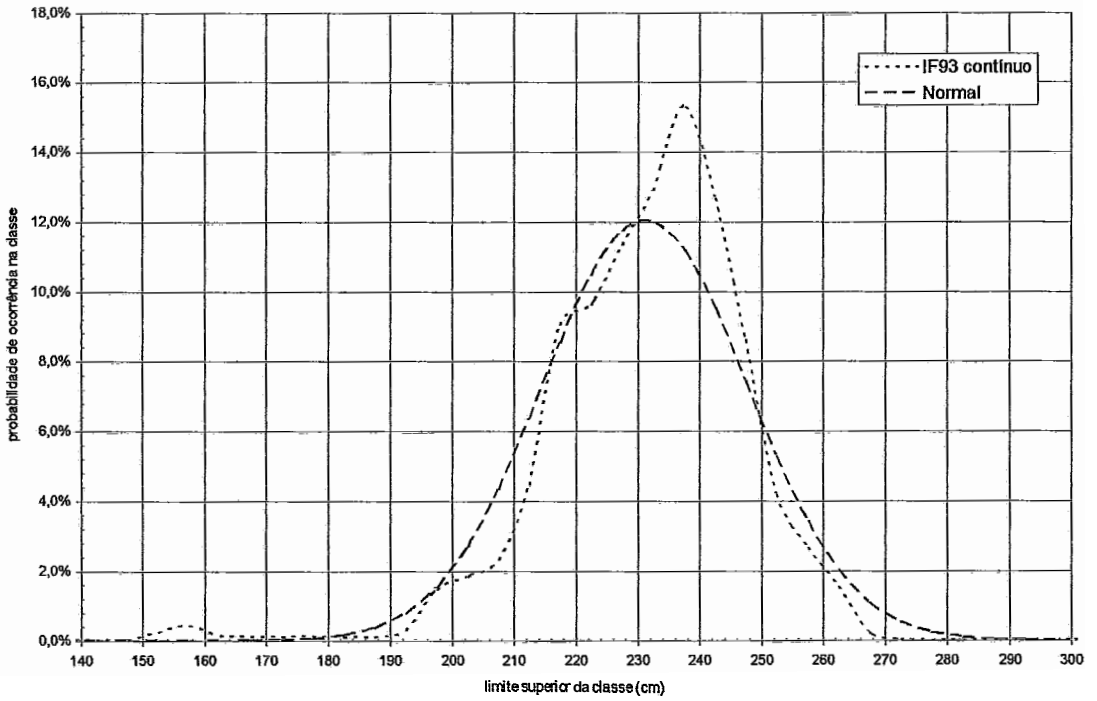


Figura 34 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). IF93.

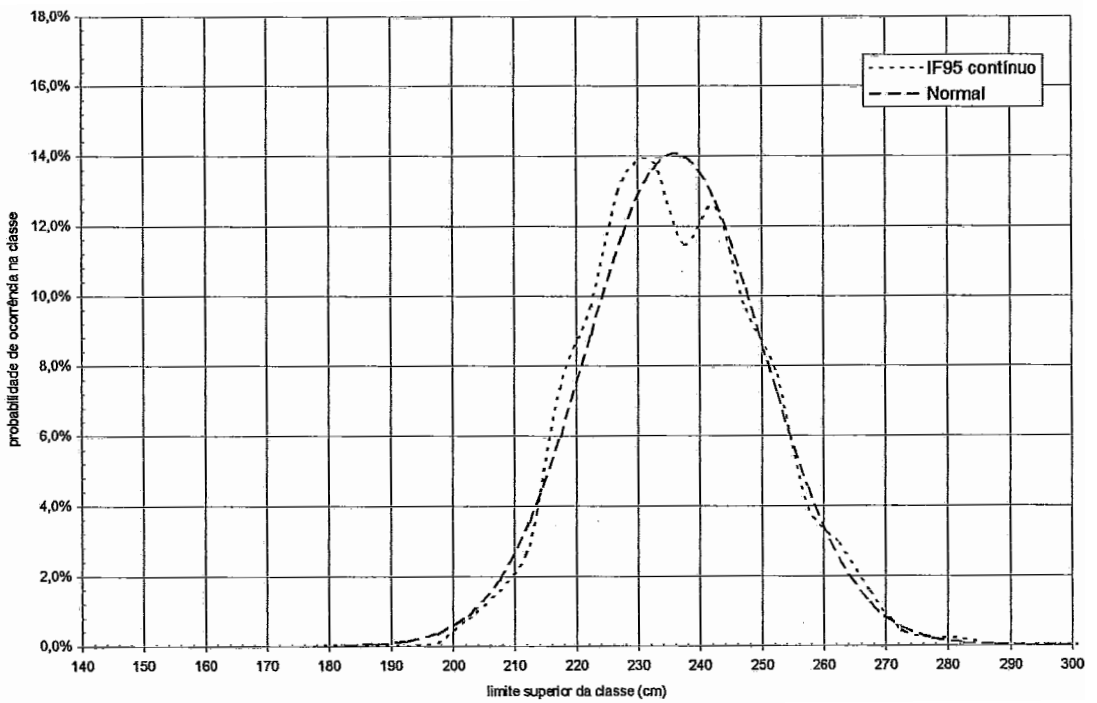


Figura 35 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). IF95.

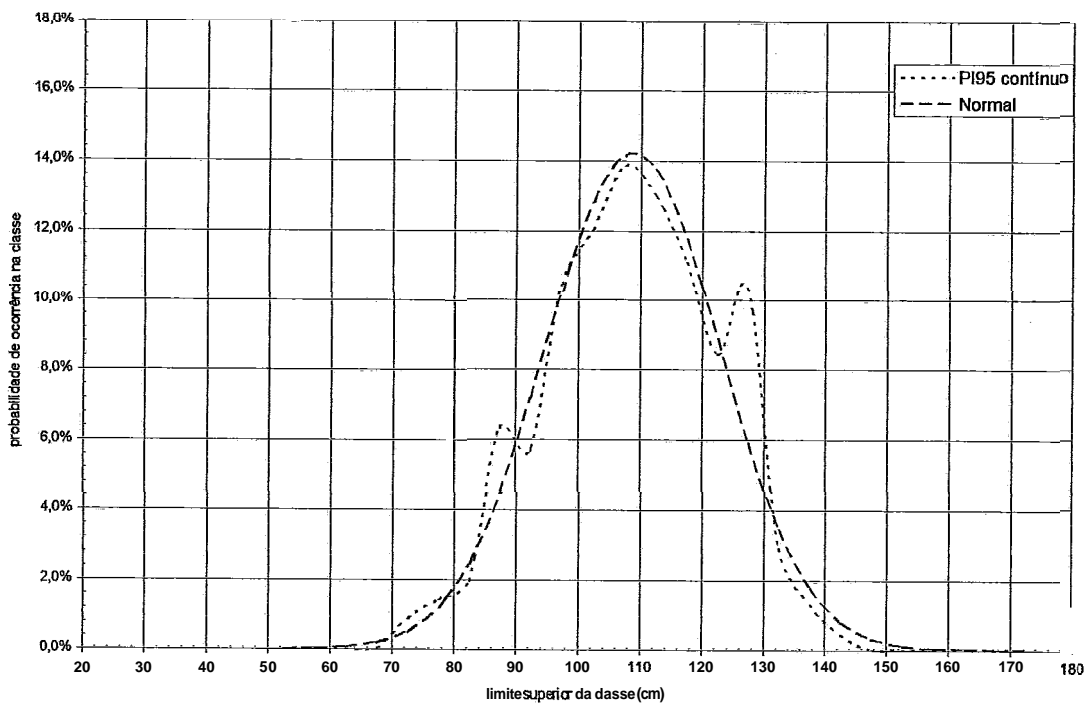


Figura 36 - Curvas de densidade de probabilidade de NMM (classes de 5cm). PI95.

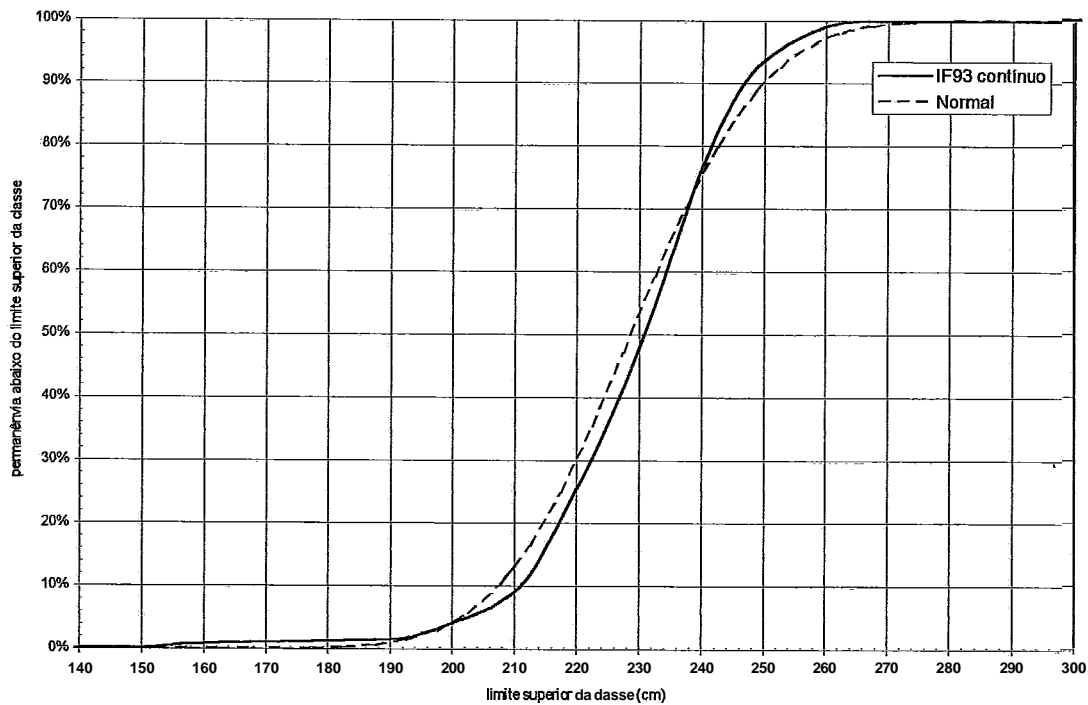


Figura 37 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm). IF93.

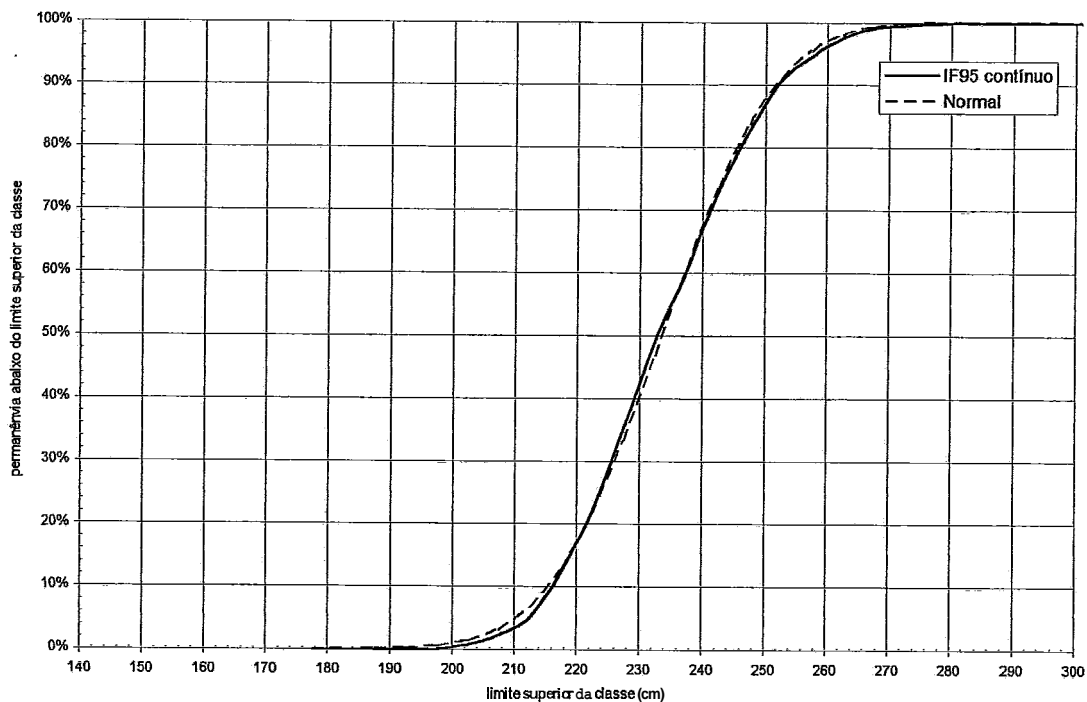


Figura 38 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm), IF95.

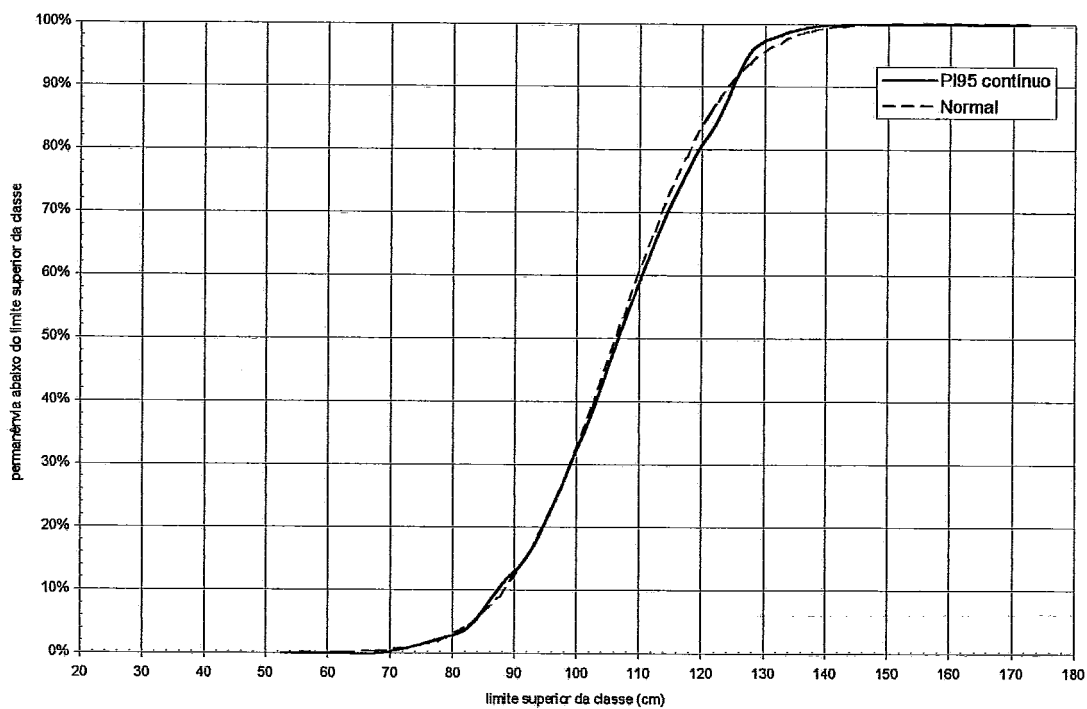


Figura 39 - Curvas de permanência de NMM (classes de 5cm), PI95.

4.4.2 Descrição estatística das séries de NMM no domínio da frequência

A análise espectral das séries de NMM calculadas neste trabalho mostrou, em geral, uma boa similaridade de aspectos, em especial para as estações-ano de 1996, como pode ser observado na Figura 40.

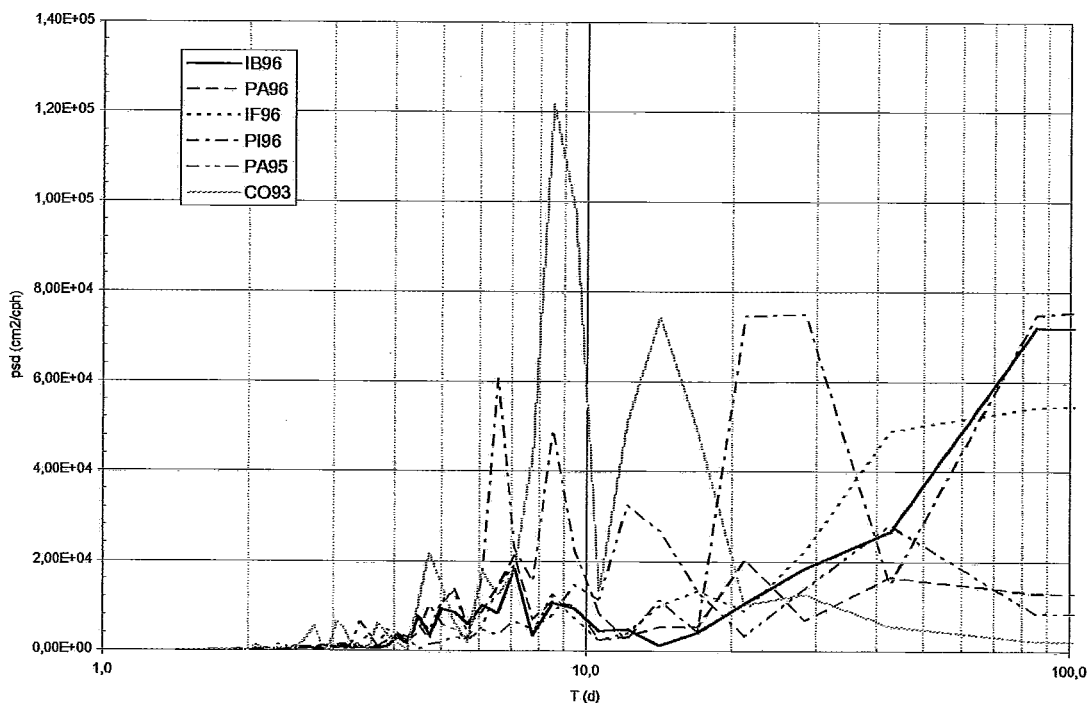


Figura 40 - Densidade espectral de potência das estações-ano analisadas. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

Em IB96, Figura 41, nota-se maiores energias relativas nas bandas 6,0 a 7,5 dias, 8 a 9,5 dias, 5,0 a 5,5 dias e 4,1 a 4,5 dias. Em PA96, Figura 42, as maiores energias estão nas bandas 6,0 a 7,5 dias, 20 a 22 dias, 5,0 a 5,5 dias e 8,5 a 9,5 dias. IF96, Figura 43, apresenta máximos nas faixas 6,5 a 7,0 dias, 5,0 a 5,5 dias e 8,5 a 9,0 dias e 16 a 20 dias. P196 apresenta um espectro um pouco diferenciado em relação aos demais para 1996, Figura 44, com o sinal mais forte na banda 21 a 29 dias, seguido de 6,5 a 7,5 dias, 8,5 a 9,5 dias, 4,5 a 5 dias e em torno de 14 dias.

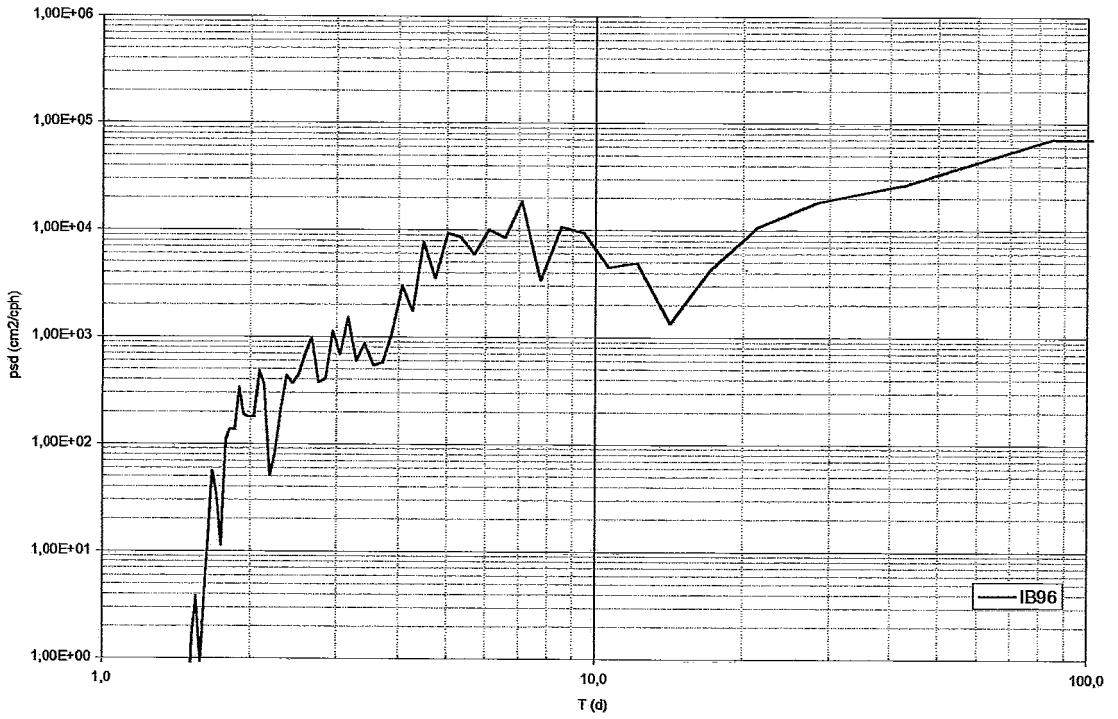


Figura 41 - Densidade espectral de potência de IB96. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

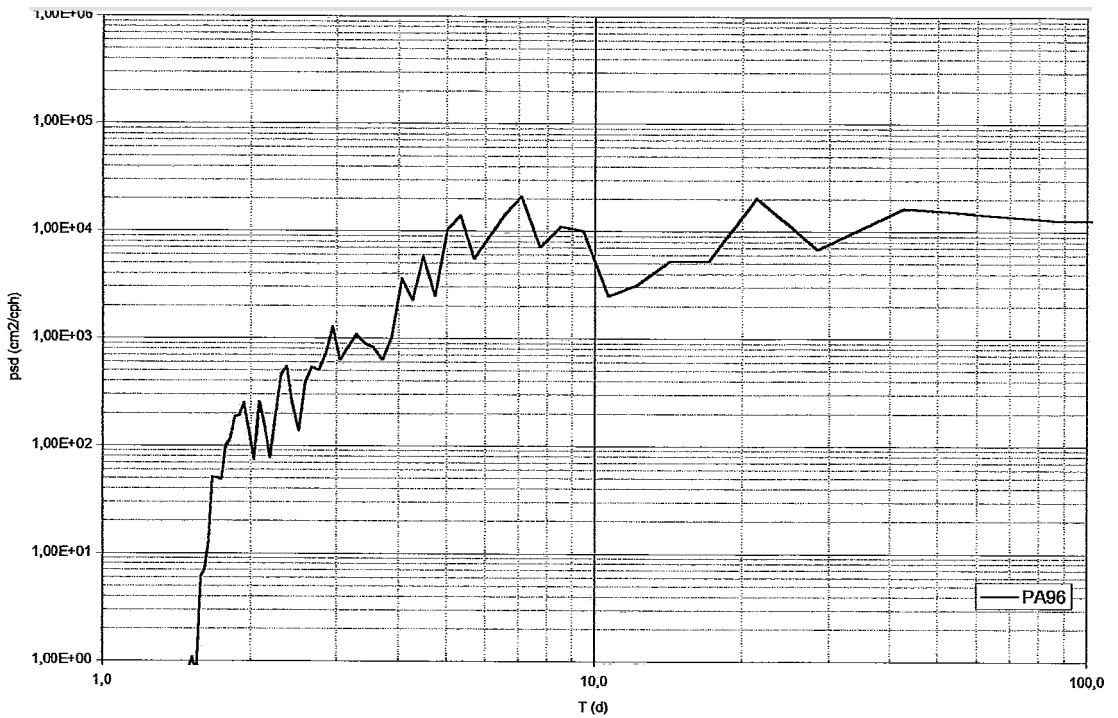


Figura 42 - Densidade espectral de potência de PA96. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

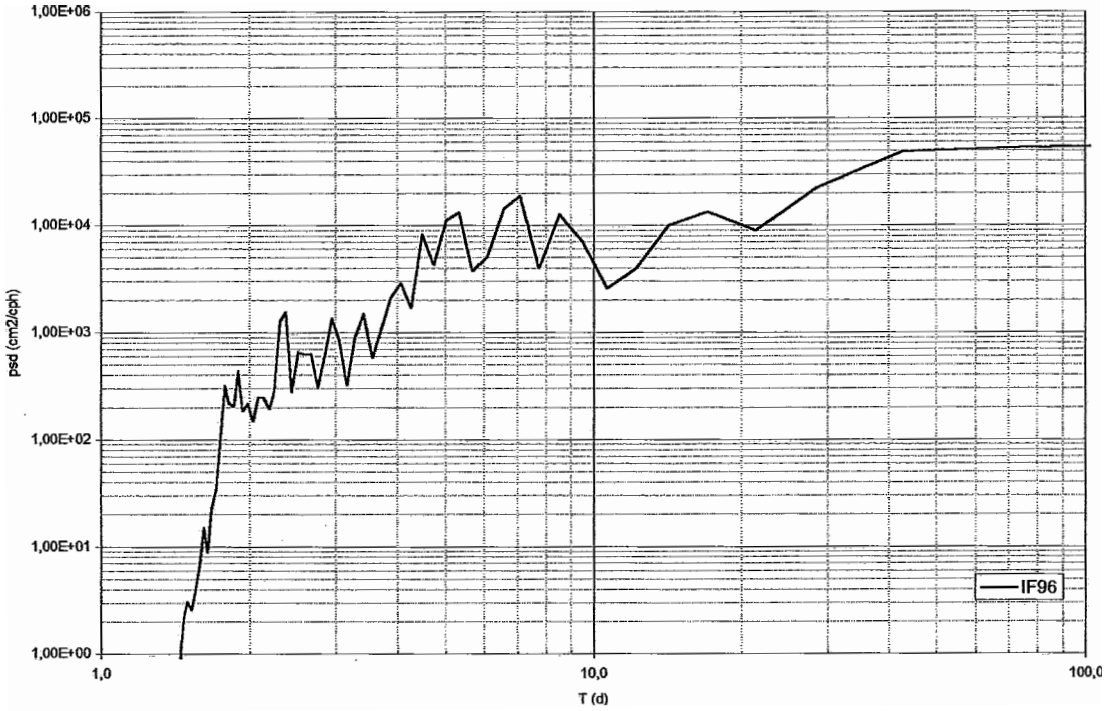


Figura 43 - Densidade espectral de potência de IF96. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

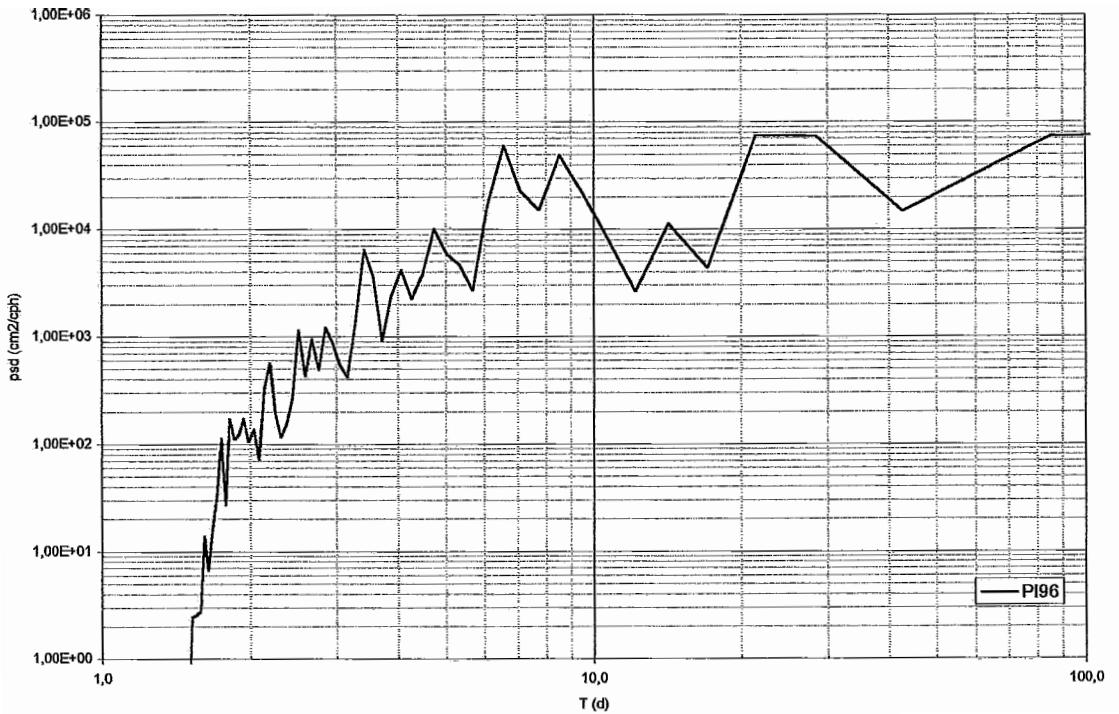


Figura 44 - Densidade espectral de potência de PI96. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

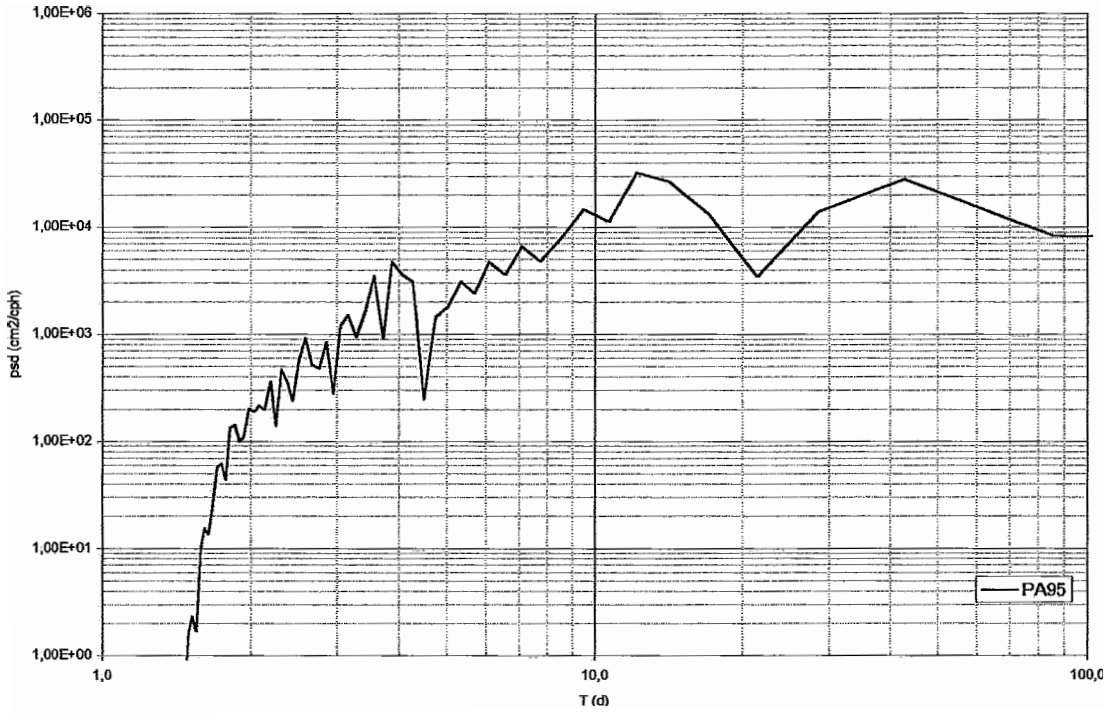


Figura 45 - Densidade espectral de potência de PA95. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

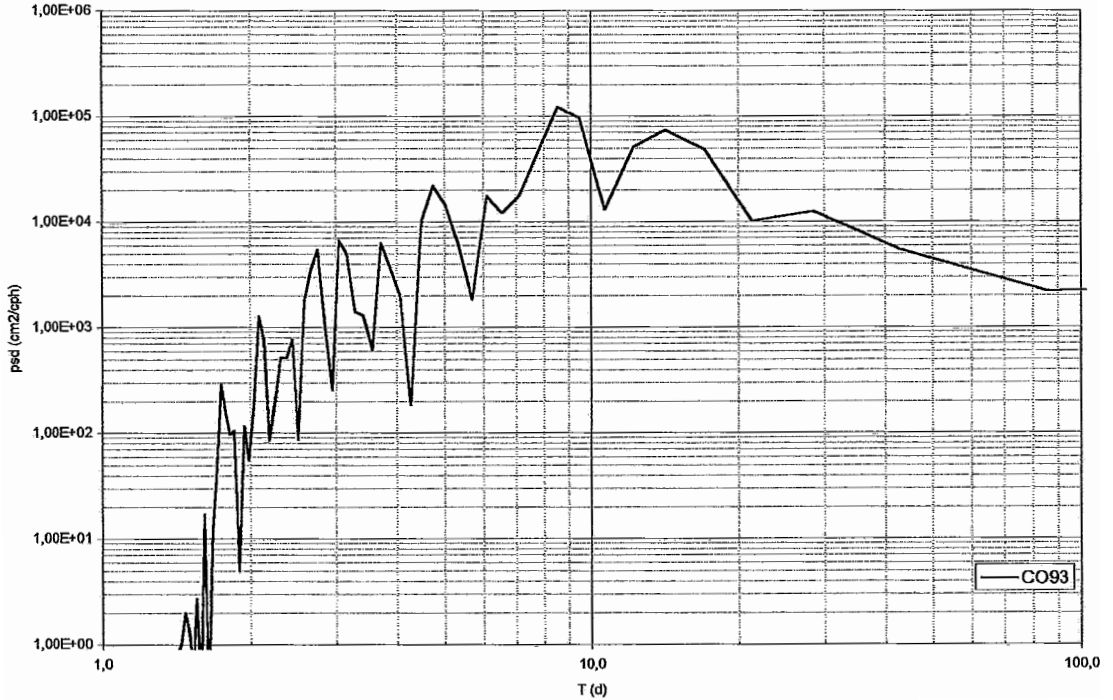


Figura 46 - Densidade espectral de potência de CO93. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

Para as estações-ano de PA95, Figura 45, e CO93, Figura 46, os espectros apresentam-se da seguinte forma: em PA95, as maiores energias estão nas bandas 12 a 15 dias, 28 a 42 dias, 9 a 10 dias e 6,5 a 7,5 dias; em CO93 os seus principais máximos de densidade espectral de potência estão entre 8,5 e 9,5 dias, 12 a 18 dias, 4,5 a 5,5 dias e 6 a 6,5 dias.

Aproveitando a disponibilidade de dois anos adjacentes de dados em Ponta da Armação, PA96 e PA95, Figura 47, observa-se uma grande variação de densidade espectral de potência em quase todas as bandas de um ano para o outro.

A concordância das séries de NMM, Figura 21, evidencia-se na análise espectral cruzada entre as estações-ano de 1996, calculado a partir do período comum 00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96, Figura 48.

Observar as concentrações de energia entre 6,0 e 7,0 dias, 8,0 e 9,0 dias, 4,5 e 5,0 dias, 3,2 a 3,5 dias e 3,9 a 4,1 dias. Nos períodos mais altos há extremos para PA e PI em 28 dias e em 42 dias para IB.

Na Figura 49, encontram-se as fases entre os NMMs das estações de 1996, tomando-se IF como referência, fase negativa indicando IF adiantada e positiva, atrasada. Na Figura 50, estão as coerências entre as estações de 1996.

Não foram detectadas componentes astronômicas de longo período com contribuições significativas para o espectro de NMM, seja pela análise espectral ou pela análise harmônica (ANHAMA) .

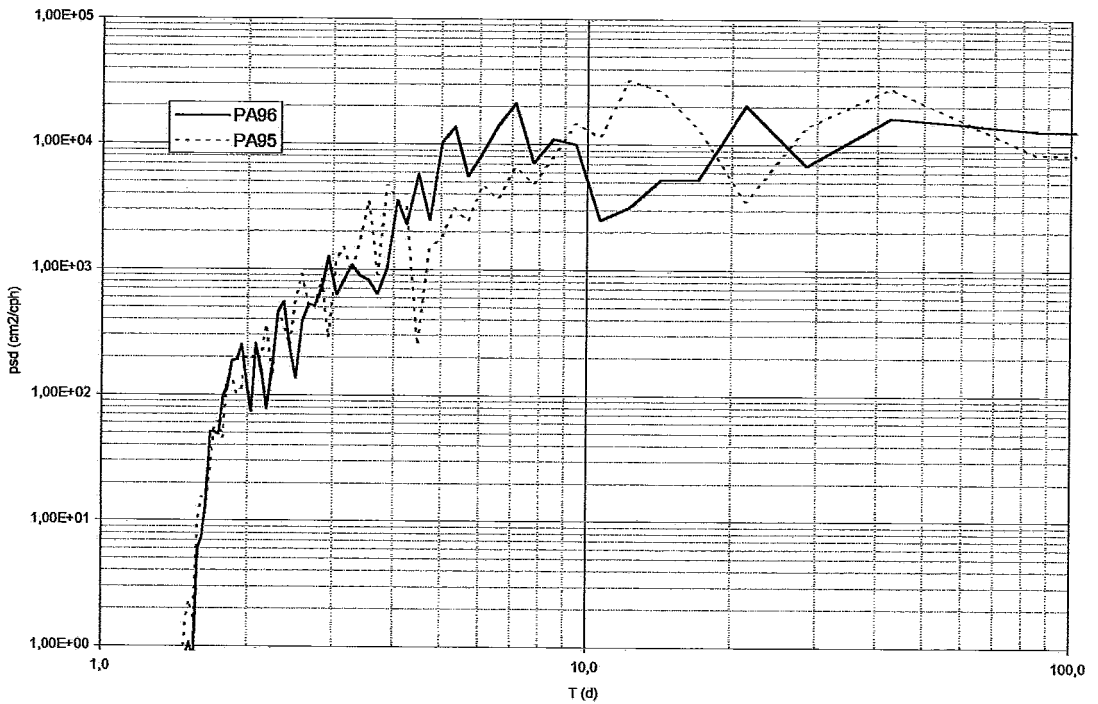


Figura 47 - Densidades espectrais de potência de PA95 e PA96. O segmento de alisamento corresponde a 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%.

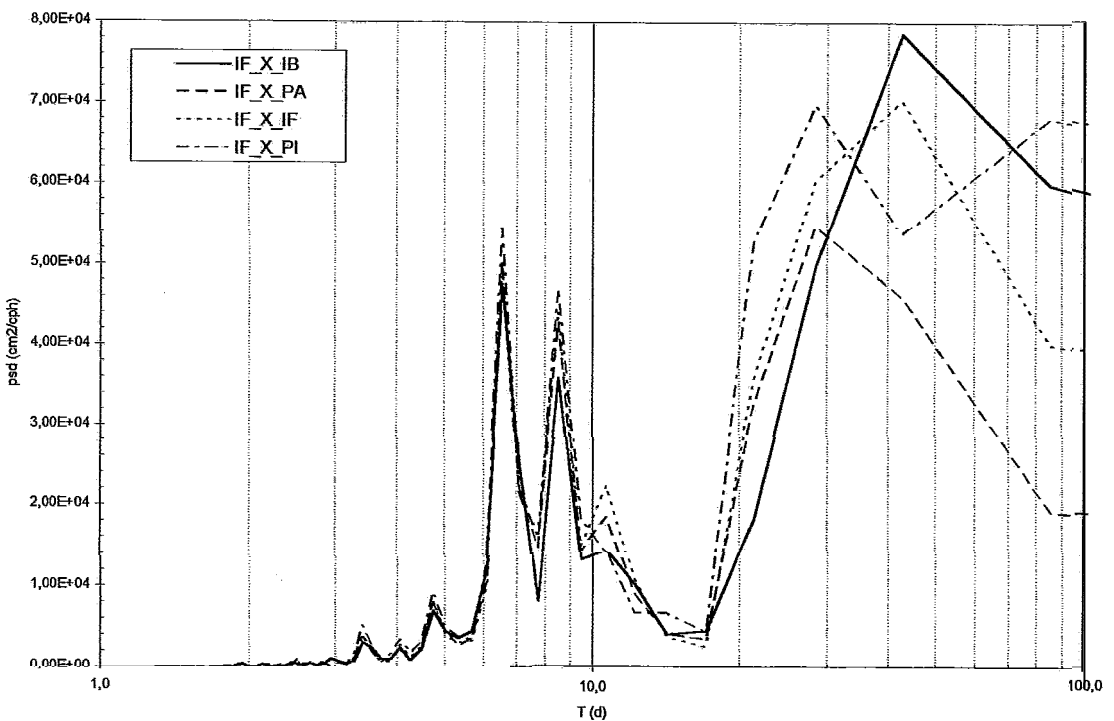


Figura 48 - Densidade espectral cruzada de potência entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF.

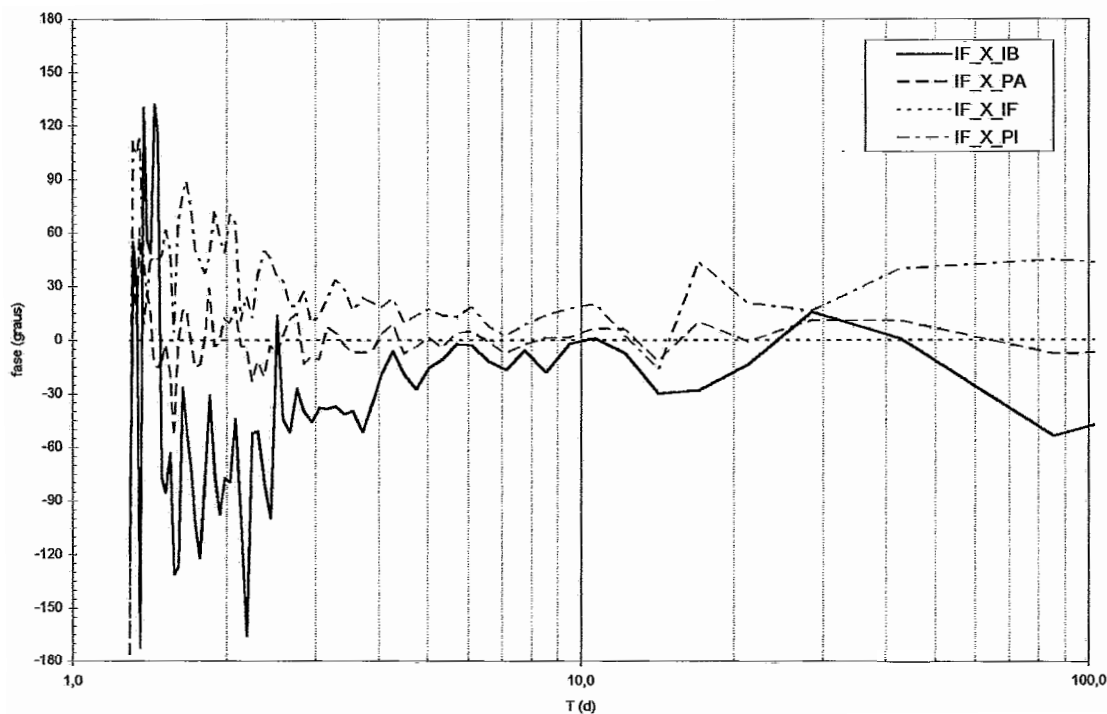


Figura 49 - Fases entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF: fase negativa indica IF adiantada em relação a outra estação.

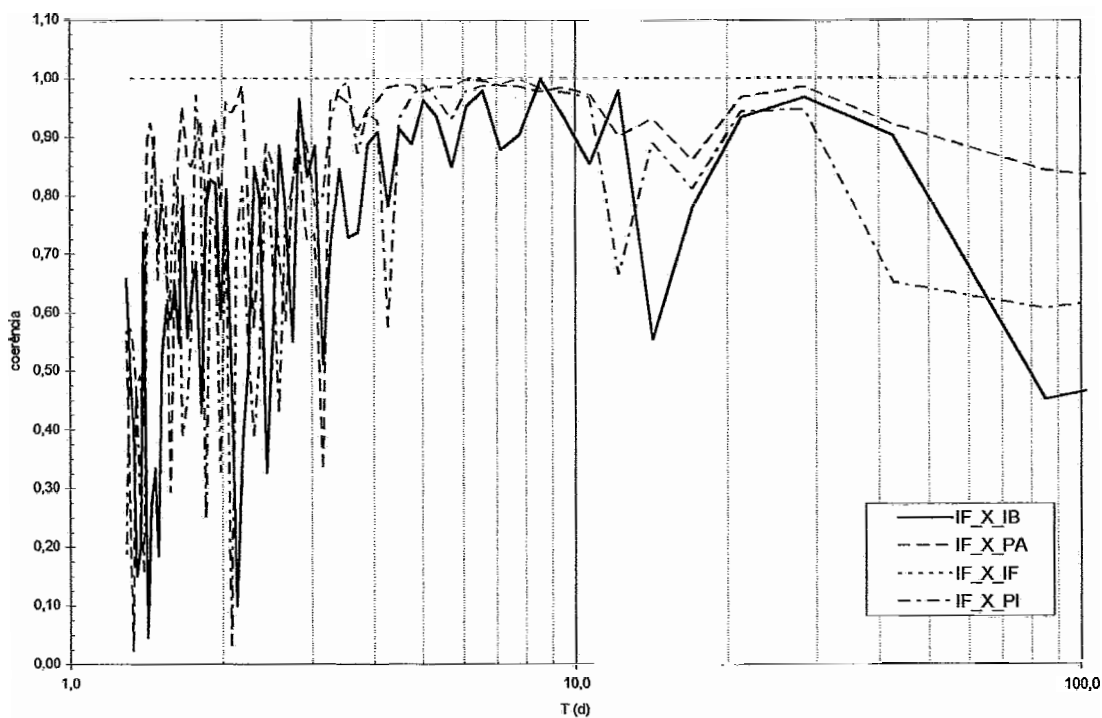


Figura 50 - Coerência entre as estações-ano de 1996 (00:00h 15/02/96 a 23:00h 31/12/96). O segmento de alisamento é de 2048 horas e o intervalo de confiança é de 95%. A estação referência é IF.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 O controle de qualidade

As bases de dados disponibilizadas para o trabalho encontravam-se todas em formato digital, mas foi possível aplicar a **metodologia** de controle de qualidade proposta apenas aos dados de Ponta da Armação, Ilha Fiscal e Piraquara. Os dados de Imbetiba e Copacabana não puderam ser submetidos ao controle de qualidade porque os seus maregramas não se encontravam disponíveis. Quanto a Forno, os seus maregramas também não estavam disponíveis e os seus arquivos digitais possuíam muitas lacunas, sendo utilizado apenas um período contínuo de 1991 para a análise harmônica e posterior cálculo do filtro passa-baixa de Thompson.

Verificou-se que os procedimentos de controle de qualidade atualmente em uso na DHN são limitados na detecção de grande parte dos problemas existentes nos arquivos maregráficos.

A **metodologia** de controle de qualidade proposta permite a identificação de uma quantidade muito maior de problemas, não apenas nos arquivos maregráficos, mas também nos maregramas. Os procedimentos de correções e preenchimentos de lacuna mostraram-se adequados e as séries de dados submetidos ao controle de qualidade proposto foram PA95, PA96, IF96 e PI96, havendo uma memória técnica de problemas identificados, edições e preenchimento de lacunas para cada estação-ano.

A maioria dos problemas listados está relacionada, principalmente, a operação da estação maregráfica, ficando evidente a necessidade de treinamento de todo o pessoal que nela possa estar envolvido.

O tipo de problema mais encontrado foi o das calibrações dos maregramas na sua colocação, tanto em relação as leituras de régua como aos horários, principalmente durante as épocas de vigência do horário de verão (outubro a fevereiro).

Foi observada uma maior tendência de erros e lacunas próximos e durante feriados e fins de semana, quando também havia grande **alternância** de operadores dos marégrafos.

Em diversas ocasiões, a propagação de erros de leitura de régua e de horário

estendia-se por vários dias. Nestes casos, houve a necessidade de se conferir todos os maregramas das vizinhanças, por vezes até 10 dias de dados.

A superposição de registros em um mesmo maregrama foi um problema encontrado muitas vezes. A identificação das curvas dos dias registrados mostrou-se sobretudo trabalhosa pelo fato de as malhas impressas dos maregramas cobrirem um período de 25 horas.

Esta malha permite uma margem de segurança, no caso de haver um atraso na retirada do maregrama, ou ainda o registro de dois ciclos de maré (nos locais de maré semidiurna). Contudo, quando não há retirada do maregrama, as duas curvas registradas quase sempre se superpõem completamente. Por exemplo, se a malha do maregrama fosse de 24 horas, uma preamar no primeiro dia, que fosse registrada as 0600h, no dia seguinte seria registrada as 0700h, com uma defasagem de 1 hora no maregrama. No maregrama de 25 horas esta defasagem é eliminada, pois a malha impressa “anda” de um dia para o outro exatamente 1 hora e os registros se superpõem.

O preenchimento de lacunas "à mão" ou "por sentimento" também foi um problema que merece destaque, principalmente quando o maregrama era desenhado a caneta. O maregrama é um documento de campo e como tal não deveria ser desenhado ou rasurado. Se necessário fosse, uma observação no seu verso seria uma solução muito mais conveniente. Também foram encontrados maregramas com superposição de registros desenhados a caneta, o que dificultou ainda mais a verificação.

Quanto aos intervalos de amostragem, observou-se que os seiches não eram resolvidos na amostragem horária, o que já era previsível, mas que levanta um problema. Como proceder para estudar os seiches da baía de Guanabara, por exemplo? A princípio, seria necessário redigitalizar os maregramas em um intervalo de amostragem conveniente, e.g., 5 minutos, o que parece ser um grande retrabalho.

Os arquivos de Forno (1994 a 1996) foram gerados a partir da digitalização de maregramas semanais, que não fornecem precisão temporal adequada (2 horas). Além disto, se houvesse algum problema durante o registro, toda a semana de dados ficaria comprometida. Os maregramas semanais não deveriam ser banidos, substituindo-os por maregramas diários ou mensais.

A digitalização em intervalos irregulares não é adequada, a princípio, pois os algoritmos de análise de Fourier (base da análise harmônica e dos procedimentos de controle de qualidade) somente se aplicam a séries regularmente espaçadas. Uma alternativa a este problema seria a interpolação (horária) dos dados disponíveis para a sua análise, mas o controle de qualidade fica comprometido na etapa de **verificação** dos dados. Outra alternativa seria a pesquisa de técnicas de análise de Fourier em séries irregularmente discretizadas.

Os maregramas mensais, utilizados em PI, não continham verificações de régua periódicas (exceto no fim de 1996). Esta falta pode comprometer dias ou até meses de registros, como ocorreu no início de 1996. Se o problema tivesse sido identificado no início, poderia ter se providenciado a manutenção da estação e a quantidade de dados perdidos seria muito menor. Verificações periódicas (e.g., a cada 4 ou 5 dias) nestes tipos de **maregramas** são essenciais para evitar perdas de longos registros.

A disponibilidade de outros dados **ambientais**, como pressão atmosférica, ventos e ondas poderia contribuir sensivelmente para a **agilização** e **melhoria** dos resultados dos procedimentos de controle de qualidade.

Os dados não foram reduzidos a um mesmo referencial **altimétrico** pela **indisponibilidade** da malha de nivelamento entre as estações **maregráficas**. Tão logo esta malha esteja disponível, será possível conectar as séries de nível do mar e de níveis médios.

5.2 A análise harmônica

A análise harmônica demonstrou a **dominância** das componentes M2, S2 e O1 em todas as estações fluminenses. A componente M4 mostrou-se forte em **Piraquara** e medianamente forte em Ponta da Armação e Ilha Fiscal, o que é coerente com suas localizações. Todas as marés são semidiurnas com desigualdades diurnas. O período de FO91, utilizado na análise harmônica, era o maior período contínuo de Forno em disponibilidade.

5.3 A filtragem numérica

O desempenho dos filtros **otimizáveis** de Thompson mostrou-se muito superior

aos de outros filtros tradicionalmente utilizados em oceanografia, como já haviam observado Thompson (1983) e Silva (1992).

Os filtros ótimos de Thompson calculados para as estações avaliadas eliminaram todas as componentes desejadas (a inercial, as diurnas e todas acima da banda diurna), sendo adequada a escolha das frequências de corte (6,4 e 11,2°/h), do número de pesos (241) e das componentes com imposição de resposta nula (16, sendo 10 componentes astronômicas principais da estação, 1 componente inercial local e 5 frequências superiores a frequência de corte superior, para melhoria da aderência no ramo de resposta nula).

Os filtros de Thompson são muito versáteis na medida em que é possível configurá-los ao objetivo do estudo. Pela propriedade de linearidade dos operadores transformada, é possível criar filtros passa-alta e passa-banda a partir dos filtros passa-baixa de Thompson (Dijkzeul, 1984 e Paiva, 1993).

5.4 Análises estatísticas pontual e contínua

As diferenças esperadas entre as duas abordagens estatísticas não foi observada. Tal fato originou-se nas diferenças entre as ordens de grandezas do intervalo de classes adotado e das variações horárias do NMM. Os valores absolutos das variações do NMM entre as amostras não ultrapassavam 2,0cm/h, enquanto o intervalo de classe utilizado para as estatísticas foi de 5,0cm. Houve, então, uma acumulação dos valores discretizados nos intervalos de classe, que "mascarou" as diferenças entre a abordagem pontual e a abordagem contínua.

5.5 O comportamento do NMM na costa fluminense

A análise das séries de NMM em 1996, Figura 21, Figura 48, Figura 49 e Figura 50, deixa clara a alta correspondência entre elas (IB96, PA96, IF96 e PI96), sugerindo que suas forçantes são os mesmos processos ambientais de larga escala (Paiva, 1993 e Castro & Lee, 1995). As principais bandas, 6,0 a 7,0 e 8,0 a 9,0 dias, parecem propagar-se de sudoeste para nordeste, de PI para IB, Figura 48 e Figura 49, devendo estar relacionadas as passagens de frentes frias sobre o litoral do Sul e Sudeste (Castro & Lee, 1995).

Devido a resolução espectral utilizada ($df = 1/2048$ cph), existe uma possibilidade de inserção das componentes astronômicas de longo período nas bandas espectrais. Entretanto, esta hipótese somente teria implicações consideráveis para a componente Mm ($0,544^\circ/h$ ou 27,55 dias), que estaria na banda espectral de 21 a 28 dias, com máximos em torno de 28 dias para o espectro cruzado entre IF e IB e IF e PI, Figura 48.

Seria interessante investigar-se a forte presença de bandas superiores ao período de 10 dias nas baías de Guanabara e Ilha Grande, detectadas em PA96, IF96 e PI96.

A variabilidade anual do comportamento do NMM, observada nas estatísticas temporais de PA95 e PA96, IF93, IF95 e IF 96 e PI95 e PI96 e nos espectros de PA95 e PA96, enfatiza a necessidade de aprofundamento das pesquisas sobre as variações do comportamento do NMM no tempo.

6. CONCLUSÕES

Os procedimentos de controle de qualidade de dados maregráficos usualmente empregados na DHN mostraram-se insuficientes para a verificação adequada dos dados. Foi desenvolvida uma metodologia de qualificação de dados de nível do mar que adiciona variações horárias do NMM a previsão astronômica clássica, comparando este resultado as observações registradas em arquivo e nos maregramas.

Esta metodologia proporcionou a identificação de uma grande variedade de problemas nos dados maregráficos, que foram classificados em problemas de operação dos maregrafos, problemas instrumentais, problemas de padronização de equipamentos e problemas de gabinete (etapa de digitalização dos dados).

Os principais problemas encontrados estavam relacionados a operação das estações maregráficas, especialmente a colocação e retirada dos maregramas, onde haviam sérios problemas de calibragem temporal e de leitura de régua ou maregrama. Seria razoável a instituição de equipes permanentes de operação maregráfica, devidamente habilitadas.

A base de dados submetida ao controle de qualidade apresentou uma grande quantidade de problemas, o que demandou um tempo excessivo para a disponibilização final dos dados qualificados. A base qualificada compreende as estações-ano Ponta da Armação 1995 e 1996, Ilha Fiscal 1996 e Piraquara 1996.

A análise harmônica das séries de nível do mar permitiu a caracterização das marés semidiurnas com desigualdades diurnas na costa fluminense, com domínio das componentes M2, S2, O1, K1 e K2. Em Piraquara, a quarta componente é M4, seguida por K1 e K2. Em Ponta da Armação e Ilha Fiscal a sexta componente é M4, enquanto em Imbetiba, Fomo e Copacabana é N2. A presença de M4 em Ponta da Armação, Ilha Fiscal e Piraquara é coerente com suas localizações no interior de baías (de Guanabara e da Ilha Grande).

O modelo de filtro passa-baixa de Thompson confirmou o seu desempenho muito superior aos dos filtros tradicionais. O seu cálculo é relativamente simples e rápido em qualquer microcomputador da atualidade e a adição de 5 dias nos extremos das séries a

serem analisadas é aceitável (considerando-se os filtros de 241 pesos).

As frequências de corte (6,4 e 11,2°/h), a quantidade de pesos (241) e as componentes escolhidas para imposição de resposta nula mostraram-se adequadamente selecionadas, tendo em vista os bons resultados obtidos observáveis não somente pelas curvas de fator de resposta, mas como também pelas séries de níveis médios do mar calculadas, onde se percebe claramente a eliminação das indesejáveis altas frequências.

A comparação de abordagens estatísticas pontual e contínua no domínio do tempo do nível médio do mar foi "mascarada" pela incompatibilidade entre as ordens de grandeza dos intervalos de classe utilizados (5cm) e das variações do nível médio do mar entre os pontos discretos (< 2cm/h).

O nível médio do mar na costa do estado do Rio de Janeiro mostrou uma alta coerência espacial para o ano base de 1996, principalmente nas bandas 6 a 7 dias e 8 a 9 dias, onde há uma forte correlação e aparente propagação de sudoeste para nordeste. A dinâmica de frentes frias sobre a costa do Sul e do Sudeste brasileiro deve ser a principal forçante nestas bandas, mas não se dispunha de dados meteorológicos para comprovar esta hipótese.

Foram observados sinais intensos de períodos superiores a 10 dias nas estações em baías (Ponta da Armação, Ilha Fiscal e Piraquara), sendo necessárias pesquisas mais detalhadas para o entendimento das origens destas componentes.

O nível médio do mar apresentou uma grande variação anual no seu comportamento, observada tanto nas estatísticas como nos espectros. Há a necessidade de serem realizadas mais investigações sobre este aspecto do comportamento do nível médio do mar. A utilização de séries mais longas e abordagens segmentadas, mensais, sazonais e plurianuais seria uma hipótese de trabalho.

7. RECOMENDAÇÕES

A capacitação do elemento humano e a padronização dos procedimentos de operação das estações maregráficas e digitalização dos dados é fundamental no processo de qualificação das séries históricas futuras. Quanto aos dados pretéritos, sugere-se adotar a metodologia proposta neste trabalho.

Como exemplo de padronização de procedimentos e capacitação de pessoal, menciona-se a operação da rede hidrometeorológica de cerca de 3000 estações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), CPRM (1997a ,b).

Alguns problemas identificados podem ser resolvidos com soluções relativamente simples. Por exemplo, a utilização de um pequeno relógio digital no interior das estações maregráficas como referência temporal para os maregramas eliminaria quase completamente o problema de calibragem temporal dos maregramas. Outro caso simples seria colocação de um pequeno tubo de plástico transparente junto a régua de maré também facilitaria a leitura do nível do mar durante a troca de maregramas, pois o nível seria facilmente identificável pela refração da luz e pela tranquilização através da filtragem hidráulica na tomada d'água deste tubo (Silva e Cardoso, comunicação pessoal).

O intervalo de amostragem irregular, presente em uma das bases de dados (Forno 1994 a 1996), sugere a investigação de técnicas numéricas para a análise estatística nos domínios do tempo e frequência, sem a necessidade de interpolação em intervalos regulares. Esta técnica poderá ser muito útil ao se trabalhar com dados digitalizados através de *scanners* ou mesas digitalizadoras.

A utilização dos filtros otimizáveis de Thompson é altamente recomendada devido à sua versatilidade de configurações e aplicações, seja em estudos de oscilações de alta ou de baixa frequência, ou de processos de banda larga ou estreita. A linearidade dos operadores transformada permite rapidamente o desenvolvimento de famílias de filtros.

A análise estatística sob a abordagem contínua deve ser confrontada com a

abordagem pontual em estudos hidrológicos, avaliando-se seus resultados, principalmente no cálculo de curvas de permanências de valores e nas análises de freqüências de eventos extremos.

De acordo com a caracterização do comportamento do nível do mar na costa do Estado do Rio de Janeiro apresentada neste trabalho, recomenda-se o prosseguimento dos estudos, com especial atenção as variações temporais (mensais, sazonais e anuais) e aos processos localizados em grandes corpos d'água costeiros, como nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.

As características identificadas no comportamento do nível médio do mar e as grandes extensões de litoral desprovidas de estações maregráficas (na verdade, desprovidas de qualquer tipo de monitoramento ambiental permanente, exceto na bacia de Campos) ressaltam a necessidade de se adensar a rede **maregráfica** (e ambiental) no litoral fluminense, como enfatizam Muehe e Valentini (1998).

Locais recomendáveis para a instalação de novas estações **maregráficas** no Estado do Rio de Janeiro seriam Atafona, Barra de São João, Ponta Negra ou Saquarema, Ilha Rasa, interior da baía de Guanabara (pelo menos mais 2 estações), Copacabana (reinstalação), Guaratiba, Sepetiba (no porto), Ilha Grande, Angra dos Reis e Parati. Nas proximidades ou mesmo nestas localidades deveriam haver estações hidro-meteoro-oceanográficas.

A utilização de outros dados ambientais relacionados a dinâmica do nível do mar é de grande utilidade para o controle de qualidade e suma importância para a caracterização do comportamento do nível médio do mar

Particular atenção deve ser observada quanto aos intervalos de amostragem de cada uma das grandezas ambientais medidas, que devem ser compatíveis com as análises cruzadas a serem **realizadas** com as outras grandezas. Por exemplo, os dados de pressão atmosférica deveriam ser amostrados a cada hora, no **mínimo**, devido a sua grande correlação com o nível médio do mar, que é normalmente discretizado de hora em hora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argento, M. S. F., 1989, "The Paraíba do Sul retrogradation and the Atafona environmental impact". In: *Coastlines of Brazil*, Neves, C. F. and Magoon, O. T. (eds.), ASCE, New York, pp. 267-277.
- Camargo, R. & Harari, J., 1994, 'Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície', *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v. 42, n. 1, pp. 19-34.
- Carvalho, J.L.B. *et al.*, 1997, "A influência de marés meteorológicas nas cheias do rio Itajaí-Açu", In: *II Seminário sobre ondas e marés - I Simpósio sobre engenharia oceânica*, pp. IV-85, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ, 12 a 16 de maio de 1997.
- Castro, B. M. & Lee, T. N., 1995, 'Wind-forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf', *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C8, pp. 16045-16056.
- COPPETEC, 1992, *Solução conjunta dos problemas de erosão na praia de Ipanema-Leblon e qualidade de água na Zaga Rodrigo de Freitas*, In: Relatório Final COPPETECET-170173, Rio de Janeiro, RJ.
- Costa, G., 1994, *Evolução histórica, hidráulica e sedimentológica do estuário do rio Paraíba do Sul*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CPRM *et al.*, 1998, *Estudo da intrusão marinha em aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras (RJ)*, Projeto de Pesquisa PADCT III, Convênio UFRJ/UFF/CPRM/DRM-RJ, Departamento de Hidrologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- CPRM, 1997a, *Curso de Análise de Consistência de Dados Fluviométricos*, Departamento de Hidrologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- CPRM, 1997b, *Curso sobre Análise de Consistência Pluviométrica*, Departamento de Hidrologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- CPRM, 1999a, *Chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro*, Departamento de Hidrologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (em preparação).
- CPRM, 1999b, *Disponibilidade Hídrica do Estado do Rio de Janeiro*, Departamento de Hidrologia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (em preparação).
- Cunha, M. F. R. da, 1997, *Modelagem estocástica conjunta de precipitação e nível do*

- mar na *baía* de *Guanabara*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- De Wiest, R. G., 1965, *Geohydrology*, New York, John Wiley & Sons.
- Dean, R. G. & Dalrymple, R. A., 1991, *Water wave mechanics for engineers and scientists*, Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd..
- DHN, 1975, Carta Náutica *DHN-1507 - Enseada de Macaé e proximidades*, 1 ed., Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil.
- DHN, 1982, *Carta Náutica DHN-1632 - Baía da Ilha Grande - parte centro-norte*, 1 ed., Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil.
- DHN, 1985, *Carta Náutica DHN-1511 - Barra do Rio de Janeiro*, 3 ed., Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil.
- DHN, 1986, *Carta Nhutica DHN-1503 - Enseadas do Cabo Frio*, 4 ed., Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil.
- Dijkzeul, J. C. M., 1984, "Tide filters", *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 110, n. 7, pp. 981-987.
- Fialho, G.O.M., 1999, *Análise do desenvolvimento do Porto de Suape, Pernambuco - Perspectivas para o futuro*, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Franco, A. S, 1988, *Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction*, 2. ed, São Paulo, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).
- Franco, A. S., 1992, *Marés - programas para previsão e análise* (Manual do sistema PAC), Cotia, SP, Brasil.
- Franco, A. S., 1995, "Equivalência entre os métodos direto e indireto de análise espectral", *Revista Brasileira de Engenharia*, Caderno de Recursos Hídricos, Dezembro 1995, v. 13, n. 2, pp. 5-18.
- Franco, A. S., 1997, "Comentário sobre as previsões de marés em locais sujeitos a forte influência meteorológica", In: **II** Seminário sobre ondas e marés - **I Simpósio** sobre engenharia oceânica, pp. IV-48, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ, 12 a 16 de maio de 1997.
- Franco, A. S., Harari, J. & Mesquita, A.R., 1985, "Some results of analysis of inverted echo-sounder records fi-om the Atlantic Equatorial region", *Boletim do Instituto*

Oceanográfico da USP, v. 33, n. 2, pp. 213-218.

- Gerritsen, H. & Bijlsma, A. C., 1988, "Modelling of tidal and winddriven flow: The Dutch Continental Shelf Model", *Delft Hydraulics Publications*, n. 398, December 1988, pp. 331-338.
- Haan, C. T., 1977, *Statistical methods in Hydrology*, The Iowa State University Press.
- Harari, J. & Cacciari, P. L. , 1998, "Análise das condições oceanográficas físicas n'As Ilhas (23°47,3'S 45°42,5'W) - Agosto de 1990", *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 1, pp. 75-87.
- Harari, J. & Camargo, R. de, 1994, "Simulação da propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico", *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v. 42, n. 1, pp. 35-54.
- Harari, J., 1985, 'Desenvolvimento de um modelo numérico hidrodinâmico tridimensional linear, para a simulação e a previsão da circulação na plataforma brasileira, entre 23" e 26" S", *Boletim do Instituto Oceanográfico da USP*, v. 33, n. 2, pp. 159-191.
- Hicks, S. D. & Hickman Jr., L. E., 1988, "United States sea level variations through 1986", *Shore and Beach*, July 1988, pp. 3-7.
- Hicks, S. D., 1981, "Long-period sea level variations for the United States through 1978", *Shore and Beach*, April 1981, pp. 26-29.
- Janssen, J. P. F. M. et al., 1994, "The design and construction of the New Waterway storm surge barrier in the Netherlands - Technical and contractual implications". In: *28th International Navigation Congress*, section II-3, pp. 85-96, Seville, Spain, May 22nd -27th, 1994.
- Kamnaratne, D. A., 1980, "An improved method for smoothing and interpolating hourly sea level data", *International Hydrographic Review*, v. 57, n. 1, pp. 135-148.
- Komar, P. D., 1976, *Beach Processes and Sedimentation*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- LaFond, E., 1939, "Variations of sea level on the Pacific Coast of the United States", *Journal of Marine Research*, v. 2, n. 1, pp. 17-29.
- Lisitzin, E., 1974, *Sea level changes*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co.

- Little, J. N. & Shure, L., 1992, *Signal Processing Toolbox User's Guide for use with MATLABTM*, The MathWorks, Inc., Natick, Mass. USA.
- Luz, R. T. & Neves, C. F., 1995, "Problemas presentes na observação do nível do mar visando a definição do datum vertical de grandes redes geodésicas", In: *Congresso Brasileiro de Cartografia*, pp. 29-35.
- Luz, R. T., 1996, *A influência das ondas de alta e média frequência na observação do nível médio do mar para aplicações geodésicas*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Mesquita, A. R. de & Leite, J. B. A., 1986, "Sobre a Variabilidade do Nível Médio do Mar na Costa Sudeste do Brasil", *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 4, pp. 229-236.
- Morettin, P. A., 1979, *Análise harmônica de processos estocásticos*, Rio de Janeiro, IMPA.
- Muehe, D. & Neves, C. F., 1990, "Potential impacts of sea level rise on the coast of Brazil", In: *Changing climate and the coast*, Report to the IPCC from the Miami Conference on Adaptive processes to sea level rise and other impacts fo global climate change, pp. 311-340, Miami, Florida, May 1990.
- Muehe, D. & Valentini, E., 1998, *O litoral do Estado do Rio de Janeiro: Uma caracterização físico-ambiental*, Rio de Janeiro, FEMAR - Fundação de Estudos do Mar.
- Muehe, D., 1995, "Geomorfologia Costeira". In: Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. da (orgs.), *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*, cap. 6, Rio de Janeiro, Ed. Bertrand Brasil.
- Neves Filho, S. C., 1992, *Variação da maré meteorológica no litoral sudeste do Brasil*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Newland, D. E., 1984, *An introduction to random vibrations and spectral analysis*, 2 ed., Longman Scientific & Technical Ltd.
- Oppenheim, A.V. & Schaffer, R. W., 1975, *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Países Baixos, 1999, "New watenvay storm surge barrier", *Ministry of Transport, Public Works and Water Management homepage*, The Netherlands, [<http://www.minenvw.nl/rws/dzh/srk/engels/>].

- Paiva, A. M., 1993, Estudo *das Variações do Nível Médio do Mar* em Arraial do Cabo - RJ, Relatório de Pesquisa, FAPERJ - COPPE/UFRJ.
- Patullo, J. *et al.*, 1955, "The seasonal oscillation in sea level", *Journal of Marine Research*, v. 14, n. 1, pp. 88-113.
- Prasad, G. S. S. D. *et al.*, 1997, "Um estudo de consistência de dados maregráficos com a utilização da transformada WAVELET", **In: II Seminário sobre ondas e marés - I Simpósio sobre engenharia oceânica**, pp. IV-80, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ, 12 a 16 de maio de 1997.
- Pugh, D. T., 1987, *Tides, surges and mean sea level*, John Wiley & Sons Ltd.
- Rosman, P. C. C. & Valentini, E., 1989, "Recent erosion in the 'stable' Ipanema-Leblon beach in Rio de Janeiro", **In: Coastlines of Brazil**, Neves, C. F. and Magoon, O. T. (eds.), ASCE, New York, pp. 278-292.
- Rosman, P. C. C., 1997, "Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos". **In: Silva, R. C. V. (ed.), Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 3**, cap. 3, Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH.
- Savenije, P. P. A. C., 1996, "Probabilistic admittance policy deep draught vessels", *PIANC Bulletin*, n. 91, pp. 25-37.
- Shaw, D. M. & Donn, W. L., 1964, "Sea level variations at Iceland and Bermuda", *Journal of Marine Research*, v. 22, n. 2 pp. 111-122.
- Shenk, A., 1986, Cálculo e *geometria analítica*, 2 ed., v. 2, Rio de Janeiro, Ed. Campus.
- Silva, G. N. & de Paula, A. C., 1993, "Estudo do método de preenchimento de lacunas aplicado a diferentes características da maré da costa brasileira". **In: X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 5, pp. 456-464, Gramado, RS, Nov/93.
- Silva, G. N. & Neves, C. F., 1991, "O nível médio do mar entre 1965 e 1986 na Ilha Fiscal, RJ", *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*.
- Silva, G. N. & Neves, C. F., 1993, "Preenchimento de Lacunas em Registros de Maré", *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*, Março 1983, v. 11, n. 1, pp. 39-54.
- Silva, G. N., 1992, *Variação de Longo Período do Nível Médio do Mar: Causas, Conseqüências e Metodologia de Análise*, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- Stanton, B. R., 1995, "Sea level variability on the West Coast of New Zealand", *Journal of Physical Oceanography*, June 1995, v. 25, pp. 1265-1272.
- Stronge, W. B., 1994, "Beaches, tourism and economic development", *Shore and Beach*, April 1994, pp. 6-8.
- Swanson, R. L., 1974, *Variability of tidal datums and accuracy in determining datums from short series of observations*, NOAA Technical Report NOS 64, National Ocean Survey.
- Thompson, K. R., 1980, "An analysis of British monthly mean sea level", *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, v. 63, pp. 57-73.
- Thompson, K. R., 1981, "The response of Southern North Sea elevations to oceanographical and meteorological forcing", *Estuarine, Coastal and Shelf Science* v. 13, pp. 287-301.
- Thompson, R. O. R. Y., 1983, "Low-Pass Filters to Suppress Inertial and Tidal Frequencies", *Journal of Physical Oceanography*, June 1983, v. 13, pp. 1077-1083.
- UNESCO, 1985, *Manual on sea level measurement and interpretation*, International Oceanographic Commission, Manuals and guides v. 14.
- US Army, 1992, *Shore Protection Manual*, 4 ed. (2 v.), Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, United States Army, Vicksburg, Mississippi.
- Vaidyaraman, P.P. *et al.*, 1995, "Safe grade elevation of power plants in coastal environment". In: *IV International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries - COPEDEC IV*, v. 3, pp. 1872-1882, Rio de Janeiro, September.
- Walters, R. A. & Heston, C., 1982, "Removing Tidal Variations from Time-Series Data Using Low-Pass Digital Filters", *Journal of Physical Oceanography*, January 1982, v. 12, pp. 112-115.
- Wiegel, R. L., 1994, "Beaches - Tourism - Jobs", *Shore and Beach*, April 1994, pp. 4-5.