

INVESTIGAÇÕES SOBRE A CHEGADA DE ONDULAÇÕES (SWELL) EM  
SITUAÇÕES DE BOM TEMPO NA BACIA DE CAMPOS

Felipe Leite Coelho da Silva

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

Aprovada por:

---

Prof. Carlos Eduardo Parente Ribeiro, D. Sc.

---

Profa. Susana Beatriz Vinzon, D. Sc.

---

Dr. José Antônio Moreira Lima, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2008

SILVA, FELIPE LEITE COELHO DA

Investigações sobre a chegada de ondulações  
(swell) em situações de bom tempo na Baía de  
Campos [Rio de Janeiro] 2008

XIV, 84 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,  
Engenharia Oceânica, 2008)

Dissertação - Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, COPPE

1. Ondas Oceânicas

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus e a minha família, em especial aos meus pais e irmãos.

Ao meu orientador, professor Parente, pela paciência, clareza, apoio em todos os momentos e com quem venho aprendendo a cada dia.

Aos professores da Área de Engenharia Costeira da COPPE/UFRJ pelo conhecimento aqui adquirido.

Aos meus colegas e amigos: Ademilton Luis, Daniel Meneses, Debora Machado, Ricardo Martins, Túlio Souza e muitos outros que estão sempre presentes nas boas horas.

À todos os amigos do alojamento da UFRJ.

À todos os amigos de Santa Isabel do Rio Preto.

Aos funcionários do programa de Engenharia Oceânica, e em especial a grande amiga Marise Cardoso.

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

INVESTIGAÇÕES SOBRE A CHEGADA DE ONDULAÇÕES (SWELL)  
EM SITUAÇÕES DE BOM TEMPO NA BACIA DE CAMPOS

Felipe Leite Coelho da Silva

Março/2008

Orientador: Carlos Eduardo Parente Ribeiro

Programa: Engenharia Oceânica

A necessidade de se conhecer melhor o comportamento da chegada de ondulações na Bacia de Campos, a maior bacia petrolífera do país, é importante para o grande fluxo de operações de sistemas flutuantes. O objetivo deste estudo é caracterizar a chegada de ondulações associadas à situação de bom tempo, determinar valores extremos de ondulações e verificar a distância de origem de geração destas ondulações.

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os dados de ondas coletados pela PETROBRAS na Bacia de Campos entre 1991 e 1995, a técnica DAAT, cartas de reanálise do NCEP, método de Peaks Over Threshold, método Ridge Line e análise espectral.

Os resultados obtidos mostram características importantes, entre eles, é que grande parte das ondulações demoram mais de dois dias para chegar a Bacia de Campos, percorrendo mais de 2500km.

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

INVESTIGATIONS OF THE SWELL ARRIVAL IN GOOD TIME  
SITUATIONS IN THE CAMPOS BASIN

Felipe Leite Coelho da Silva

March/2008

Advisor: Carlos Eduardo Parente Ribeiro

Department: Engenharia Oceânica

The need to better understand the behaviour of the swell of arrive of the Campos Basin, the biggest basin oil of the country, it is important of the operations great flow of floating systems. The main purpose from this study is characterize swell associates arrival the good time situation, to determine extreme values of swell and to verify the distance from generation swell.

For the development of this work were used the waves data collected by PETROBRAS in the Campos Basin between 1991 and 1995, the technique DAAT, reanalysis letters (pressure and wind field in surface) of NCEP, method of Peaks Over Threshold, Ridge Line Method and spectral analysis.

The results show important characteristics, among them, is that part many of the swell take more than two days to arrive in the Campos Basin, traveling more than 2500km.

## Índice

1	Introdução.....	1
2	Revisão Bibliográfica .....	4
3	Caracterização Meteo-Oceanográfica da Área de Estudo .....	8
3.1	Caracterização Meteorológica.....	9
3.2	Características dos Sistemas Frontais.....	10
3.3	Caracterização das Ondas.....	11
3.4	Caracterização da situação de Bom Tempo .....	12
4	Metodologia.....	13
4.1	Registro de Dados .....	13
4.2	Técnica de análise direcional de ondas DAAT .....	15
4.3	Análise Espectral.....	17
4.4	Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP .....	18
4.5	Classificação dos mares .....	19
4.6	Chegadas Dispersivas.....	20
4.6.1	Dispersão de ondas.....	21
4.7	Valores Extremos .....	23
4.7.1	Peaks Over Threshold (POT) .....	24
5	Resultados.....	28
5.1	Análise qualitativa das chegadas de ondulações .....	28
5.2	Análise quantitativa das chegadas de ondulações .....	35
5.2.1	Conjunto de Dados.....	35
5.2.2	Caracterização das chegadas associadas à estação do ano .....	35
5.2.3	Caracterização das direções .....	36
5.2.4	Caracterização das alturas .....	37

5.2.5	Caracterização dos períodos.....	37
5.3	Análise qualitativa das chegadas dispersivas .....	38
5.3.1	Presença de ciclones com as chegadas dispersivas .....	38
5.3.2	Chegadas dispersivas geradas por Anticiclones .....	41
5.4	Caracterização quantitativa das chegadas dispersivas.....	43
5.4.1	Classificações dos eventos relativas à direção e estação do ano .....	43
5.4.2	Identificação e classificação do período das ondulações .....	44
5.4.2.1	Período de chegada.....	45
5.4.2.2	Período de saída .....	46
5.4.3	Tempo de permanência ( $\Delta t$ ) .....	47
5.4.4	Classificação da altura relacionada aos períodos .....	48
5.4.4.1	Altura das ondulações correspondentes aos períodos de chegada.....	48
5.4.4.2	Altura das ondulações correspondentes aos períodos de saída .....	49
5.4.4.3	Relação de altura entre o intervalo de maior e menor período.....	50
5.4.4.4	Comparação entre alturas .....	51
5.4.6	Caracterização da distância e do tempo das chegadas dispersivas.....	53
5.4.6.1	Distância (D) .....	54
5.4.6.2	Tempo de chegada (t).....	55
5.4.6.3	Tempo de chegada e a distância percorrida pelas ondulações .....	56
5.4.7	Desenvolvimento de 3 eventos.....	57
5.4.7.1	Evento 1: 24, 25 e 26 de Março de 1992.....	57
5.4.7.2	Evento 2: 8, 9 e 10 de Junho de 1992.....	60
5.4.7.3	Evento 3: 24 e 25 de Outubro de 1994.....	62
5.5	Resumo das chegadas de ondulações .....	64
5.6	Análise de valores extremos.....	69
5.6.1	Conjunto de dados.....	69
5.6.2	Determinação do limiar .....	70
5.6.3	Estimação de parâmetros e ajuste do modelo GPD.....	71

5.6.4 Valores extremos.....	74
6 Conclusões e Recomendações.....	75
Referências Bibliográficas.....	78
A Dedução de Equações.....	81
A.1 Equação do método Ridge Line.....	81
A.2 Equação da distribuição de excessos acima do limiar através da GPD.....	83



## Índice de Figuras

Figura 1.1: Foto tomada durante uma operação de offloading.....	2
Figura 3.1- Região da Bacia de Campos.....	8
Figura 3.2- Influência do AAS sobre a Bacia de Campos, situação climatológica mais freqüente.....	9
Figura 3.3- Chegada de uma frente, seguido pela formação de ciclone.....	11
Figura 4.1- Bóia meteo-oceanográfica.....	14
Figura 4.2- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: janeiro 1995 (Técnica DAAT).....	16
Figura 4.3- Espectro do oitavo registro do dia 3 de janeiro de 1993.....	17
Figura 4.4- Carta de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP.	19
Figura 5.1- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: outubro 1994 (Técnica DAAT).....	28
Figura 5.2- Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) NCEP período entre os dias 20 e 29 de outubro de 1994.....	30
Figura 5.3- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: dezembro 1991 (Técnica DAAT).....	31
Figura 5.4- Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) NCEP, período entre os dias 8 e 13 de dezembro de 1991.....	32
Figura 5.5- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: janeiro 1995 (Técnica DAAT).....	33
Figura 5.6- Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) NCEP, período entre os dias 6 e 9 de janeiro de 1995.....	34
Figura 5.7- Probabilidade de ocorrência de chegadas de ondulações nas estações do ano.....	35
Figura 5.8- Classificação direcional das chegadas de ondulações.....	36
Figura 5.9- Histograma de distribuição da altura significativa das ondulações.....	37
Figura 5.10- Histograma de distribuição de períodos das ondulações.....	38
Figura 5.11- Formação do ciclone que se aproxima da Bacia de Campos com o passar do tempo, 9 de junho de 1992 (Cartas de reanálise do NCEP).....	39
Figura 5.12- Ciclone próximo da Bacia de Campos, 12 de junho de 1992 (Carta de reanálise do NCEP).....	40
Figura 5.13- Ciclone próximo da Bacia de Campos, 2 de novembro 1994	

(Carta de reanálise do NCEP).....	40
Figura 5.14- Formação do ciclone, 1 de novembro de 1994	
(Carta de reanálise do NCEP).....	41
Figura 5.15- Presença do anticiclone, 31 de dezembro de 1992	
(Carta de reanálise do NCEP).....	42
Figura 5.16- Presença do anticiclone, 12 de março de 1993	
(Carta de reanálise do NCEP).....	42
Figura 5.17- Gráfico de pizza representando a probabilidade de ocorrência de chegadas dispersivas em situações de bom tempo.....	44
Figura 5.18- Histograma de distribuição de probabilidade do período de chegada....	46
Figura 5.19- Histograma de distribuição de probabilidade do período de saída.....	47
Figura 5.20- Histograma de probabilidade de ocorrência do tempo de permanência.	48
Figura 5.21- Histograma de distribuição de probabilidade de altura relacionada ao Período de chegada.....	49
Figura 5.22- Histograma de distribuição de probabilidade de altura relacionado ao período de saída.....	50
Figura 5.23- Histograma de distribuição de probabilidade de altura entre o intervalo de maior e menor período.....	51
Figura 5.24- Gráfico de barras com todos os registros de chegadas dispersivas.....	52
Figura 5.25- Relação entre altura e o tempo de permanência.....	53
Figura 5.26- Histograma de probabilidade de ocorrência de distância.....	55
Figura 5.27- Histograma de probabilidade de ocorrência do tempo de chegada.....	56
Figura 5.28- Relação entre o tempo de chegada e a distância.....	57
Figura 5.29- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: março 1992	
(Técnica DAAT).....	58
Figura 5.30- Mostra os espectros seguindo a ordem da chegada dispersiva (março 1992).....	58
Figura 5.31- Carta de reanálise do NCEP contendo os campos de pressão e vento em superfície do dia 21 de Março de 1992.....	60
Figura 5.32- Espectros caracterizando as chegada dispersiva dos dias 08, 09 e 10 de Junho de 1992.....	61
Figura 5.33- Carta de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície) do dia 21 de Março de 1992.....	62

Figura 5.34- Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: outubro de 1994 (Técnica DAAT).....	63
Figura 5.35- Espectros caracterizando as chegada dispersiva dos dias 24 e 25 de Outubro de 1994.....	63
Figura 5.36- Carta de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície do dia 21 de Março de 1992.....	64
Figura 5.37- Conjunto de dados de ondulações.....	70
Figura 5.38- Gráfico de Mean Excess Plot.....	71
Figura 5.39- Ajuste da GPD aos dados de ondulações.....	72
Figura 5.40: Ajuste linear aos dados de ondulações.....	73

## Índice de Tabelas

Tabela 4.1- Faixas de frequência da técnica DAAT.....	20
Tabela 5.1: Os dias de chegadas dispersivas.....	43
Tabela 5.2: Parâmetros relativos a cada evento.....	45
Tabela 5.3: Resultados de chegadas dispersivas.....	54
Tabela 5.4: Resumo dos resultados de chegadas de ondulações.....	65
Tabela 5.5 : Estimadores GPD para os dados de ondulação (altura significativa).....	71

## Índice de Símbolos

### Símbolos romanos

$c$	velocidade de propagação das cristas
$c_g$	velocidade de propagação da energia
$D$	distância entre a zona de geração e o ponto de observação
$e(u)$	função da média dos excessos acima do limiar
$\bar{F}$	função de distribuição de excessos acima do limiar
$\bar{G}$	função de aproximação para a distribuição generalizada de Pareto
$g$	aceleração da gravidade
$H_s$	altura significativa
$k$	número de onda
$L$	comprimento de onda
$N$	número de observações em um determinado período
$N_u$	número de excedentes acima do limiar
$n$	número total de observações
$n_a$	número de anos
$p$	probabilidade de não-excedência
$T$	Período de pico
$T_C$	período de chegada ou maior período
$T_S$	período de saída ou menor período
$t$	tempo gasto pela onda de maior período desde da zona de geração até o ponto de observação
$u$	limiar (threshold)
$X$	valores acima do limiar
$x$	valores amostrados
$x_p$	valores extremos
$y$	excessos acima do limiar

## Símbolos gregos

$\sigma$	freqüência
$\sigma^2$	dispersão em águas profundas
$\beta$	estimador beta (escala)
$\xi$	estimador qsi (forma)
$\Delta t$	intervalo de tempo entre o período de chegada e o período de saída

## Termos técnicos

AAS	Anticiclone do Atlântico Sul
DAAT	Directional Analysis with Adaptive Techniques
FPSO	Navios armazenadores de óleo
GEV	Distribuição Generalizada de Extremos
GPD	Distribuição Generalizada de Pareto
GrADS	Grid Analysis and Display System
Mean Excess Plot	Média dos excessos acima do limiar
NCEP	National Center for Environmental Prediction- Estados Unidos
PLEDS	Plotting the Evolution of the Directional Spectrum
POT	Peaks Over Threshold
PWM	Métodos de Momentos Probabilísticos
SAWMO	South Atlantic Wave Model
Threshold	Limiar

# Capítulo 1

## 1 Introdução

A Bacia de Campos está localizada no norte do estado do Rio de Janeiro e é a maior bacia petrolífera do país. Por ser uma área de intensa atividade petrolífera na costa do Brasil, são desenvolvidas em águas profundas operações de alto risco e custo financeiro. Estruturas como plataformas de petróleo e navios FPSO (navios armazenadores de óleo), entre outros, estão constantemente recebendo ação de ondas, ventos e correntes, desta forma, sujeitos a algum tipo de risco. Há, portanto, uma grande motivação para estudar este fenômeno oceanográfico e assim conseguir uma melhor caracterização de sua chegada à região.

Em função do interesse econômico na região, nos últimos anos vem aumentando o desenvolvimento de trabalhos ligados às áreas de engenharia oceânica e oceanografia, entre outras. Esses estudos vêm contribuindo para a exploração de óleo e gás em águas profundas.

As ondas de gravidade na superfície do mar geradas por ventos têm grande influência na estabilidade das estruturas flutuantes, sendo esta superior à ação de ventos e correntes (PINHO, 2003).

As ondulações (swell) são definidas como ondas que se propagam para fora da zona de geração do vento ou não são mais capazes de receber energia do vento. Deixam de ter a aparência tão complexa, tornam-se sobreposições de ondas senoidais de comprimento e direção de propagação bastante próximas umas das outras e são capazes de se propagar por grandes distâncias no oceano com pouca atenuação.

As operações realizadas na Bacia de Campos entre as estruturas flutuantes geralmente ocorrem em situação de bom tempo, as quais estão freqüentemente ligadas às chegadas de ondulações (PINHO, 2003) e são as ondas com maior energia incidentes na costa sul-sudeste brasileira (CANDELA, 1997). De acordo com (SPHAIER et al, 2005) grandes ondulações podem causar problemas nas operações, principalmente entre os navios FPSO e aliviadores.

A figura 1.1 mostra um cenário de operação entre o navio FPSO e o navio aliviador, ambos posicionados com a corrente e a direção do vento predominante na Bacia de Campos em situação de bom tempo, nessas condições podem surgir ondulações de sudoeste, sul ou sudeste que podem causar risco a operação de transferência de óleo.



Figura 1.1: Foto tomada durante uma operação de offloading.

Fonte:[http://www.copinaval.com/copinaval/pdf/Investigacion\\_ciencias/Usos\\_Praticos\\_de\\_Modelos\\_Matematicos\\_em\\_Operacoes\\_com\\_Sistemas\\_Flutuantes\\_de\\_Armazenamento\\_de\\_Oleo.pdf](http://www.copinaval.com/copinaval/pdf/Investigacion_ciencias/Usos_Praticos_de_Modelos_Matematicos_em_Operacoes_com_Sistemas_Flutuantes_de_Armazenamento_de_Oleo.pdf)



O objetivo geral deste trabalho é caracterizar a chegada de ondulações na Bacia de Campos associadas a situações de bom tempo (PARENTE, 1999). E, os objetivos secundários são: obter estimativa de valores extremos associados às ondulações e determinar a distância às zonas de geração.

O trabalho está organizado em 5 Capítulos, apresentados da seguinte maneira: o Capítulo 1 busca-se mostrar a importância da caracterização da chegada de ondulações; no Capítulo 2 foi realizada uma revisão bibliográfica, na qual são resumidos resultados relevantes sobre o assunto; no Capítulo 3 foi realizada a caracterização meteorológica da Bacia Campos; o Capítulo 4 descreve os dados, fundamentos teóricos e a metodologia; o Capítulo 5 apresenta os resultados obtidos; e, finalmente o Capítulo 6 mostra as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## Capítulo 2

### 2 Revisão Bibliográfica

Para investigar a chegada de ondulações na Baía de Campos foram analisados trabalhos relacionados à caracterização do clima de ondas na região e algumas aplicações realizadas em outras áreas de estudo.

Um dos trabalhos pioneiros na caracterização do clima de ondas na Baía de Campos foi realizado por SOUZA (1988), que estudou a evolução da agitação marítima. Nesse trabalho destaca-se a principal característica da região, que é a persistência do mar de nordeste (NE) e ondulações de sudoeste (SW) com grande período, que chegam durante a primavera, gerados por sistemas meteorológicos extratropicais sobre o Atlântico Sul.

Em muitos casos é possível quantificar o caráter dispersivo de chegada dessas ondulações. Nesses casos pode-se identificar o ponto de origem das ondulações longínquas (MELO & ALVES, 1993 citado por BARBER & URSELL, 1948).

HAMILTON (1992) trabalhou com os dados de 19 bóias no oeste do Atlântico Norte caracterizando a fonte de geração de alguns eventos de chegadas de ondulações. Para encontrar a distância entre a fonte de origem e o ponto de observação das ondulações foi utilizado o método Ridge Line (Munk et al., 1963).

MELO & AVES (1993) discutiram a existência de ondulações longínquas na costa brasileira em maio de 1990. Através de observações visuais identificaram a fonte geradora de ondulações como sendo uma tempestade juntos as Ilhas Malvinas a uma distância de 3000 km do Rio de Janeiro.

Analisando as chegadas dispersivas de ondulações na costa do Ceará, (ALVES et al., 1995) utilizou o método Ridge Line (Munk et al., 1963) para identificar a distância entre a zona de geração e o ponto de observação.

Para VIOLANTE-CARVALHO (1998), os períodos de ondas maiores que 9 segundos podem ser considerados como ondulações. Este também confirma a grande presença de ondulações como uma das principais características da região da Bacia de Campos.

Dentre os trabalhos, CANDELA (1997) simulou dois eventos de ondas usando o modelo SAWMO (South Atlantic Wave Model) e em seguida comparou os resultados com os dados da bóia Oceanográfica da PETROBRAS, também localizada na Bacia de Campos. No primeiro evento foram geradas ondas com período de pico de 18 segundos no extremo sul do continente, se propagando ao longo da costa. No segundo foi gerado um mar local de NE com altura significativa chegando a 3 metros. O desempenho do modelo para a representação dos parâmetros do mar local foi satisfatório, já a representação da altura significativa das ondulações de 18 segundos não mostrou resultados satisfatórios.

Uma nova técnica para análise de dados de ondas produzidas por ondógrafos direcionais foi elaborada por PARENTE (1999), o qual contribuiu e vem contribuindo para o estudo do clima ondas da Bacia de Campos. Esta técnica, conhecida como DAAT (Directional Analysis with Adaptive Techniques), é do tipo tempo-frequência para análise direcional de ondas; e permite detectar, para uma mesma faixa de frequência, a ocorrência de ondas de diversas direções, aumentando de forma significativa a resolução direcional.

Com os dados direcionais de ondas e os dados de ventos coletados na Bacia de Campos, PARENTE (1999) classificou os mares de acordo com a severidade e direção, encontrando 4 situações distintas: situação de Bom Tempo, situação de Bom Tempo com

ondulações de sul, situações de Mau Tempo de SW e situações de Mau Tempo de SE. Através dessa classificação, PINHO (2003) destacou a presença das ondulações geradas a grandes distâncias ao sul, em situação de bom tempo.

Foi realizado um estudo de extremos de onda e vento de bom tempo na Bacia de Campos por CARDOSO JUNIOR (2004). Uma das partes mais interessante deste estudo corresponde à etapa de seleção dos dados da bóia Oceanográfica da PETROBRAS. Este se mostrou bastante satisfatório, mas sugere a inclusão de parâmetros referentes à direção e período de pico das ondas.

Através de modelagem numérica, CRUZ (2004) realizou um estudo de caso e geração de ondas superficiais de gravidade no Oceano Atlântico Sul. Os resultados apresentados representam bem as ondulações, embora algumas deficiências tenham sido identificadas.

MENDES (2005) investigou os valores de dispersão (spread) associados às características de geração das ondas e aos processos de interação entre mares na Bacia de Campos. Os menores valores de dispersão foram detectados para as ondulações em situação de Bom Tempo.

Usando simulações numéricas através do modelo WAVEWATCH III, ALVES (2006), estudou a contribuição de ondulações em diferentes bacias do oceano, mostrando que as ondulações geradas em áreas extratropicais ao sul dos oceanos espalham energia ao longo de todo o globo.

De acordo com MENDES (2006), através de um método automático de detecção de ciclones extratropicais nos campos de 6 em 6 horas das reanálises do NCEP/NCAR para o período de 1997-2003, a distribuição espacial mostra dois centros com maior frequência de

ciclogêneses, um sobre o norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil e o outro perto da Península Antártica.

## Capítulo 3

### 3 Caracterização Meteo-Oceanográfica da Área de Estudo

A maior bacia petrolífera do Brasil está situada no norte do estado do Rio de Janeiro, localizada na Bacia de Campos (Figura 3.1).



Figura 3.1: Região da Bacia de Campos

Fonte: <http://www.drm.rj.gov.br/item.asp?chave=134>

A região da Bacia de Campos é uma área de depósito sedimentar com 100 mil km<sup>2</sup> localizada entre os paralelos 22<sup>o</sup> e 24<sup>o</sup> sul. Possuem atualmente 15 campos em atividade, 36 plataformas e navios-plataforma que exploram mais de 750 poços submarinos, de onde são extraídos aproximadamente 80% do petróleo e 40% do gás produzidos diariamente em território nacional (MENDES, 2005 citado por PETROBRAS, 2005).

### 3.1 Caracterização Meteorológica

A região da Bacia de Campos está localizada na Zona Tropical e sofre grande influência do Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), que oscila em torno de sua posição média anual e gera ventos do quadrante norte e leste ao longo de todo ano. Este sistema é responsável pelas condições meteorológicas mais frequentes na região (Figura 3.2) resultando no aumento da estabilidade atmosférica e assim caracterizando a situação de bom tempo.

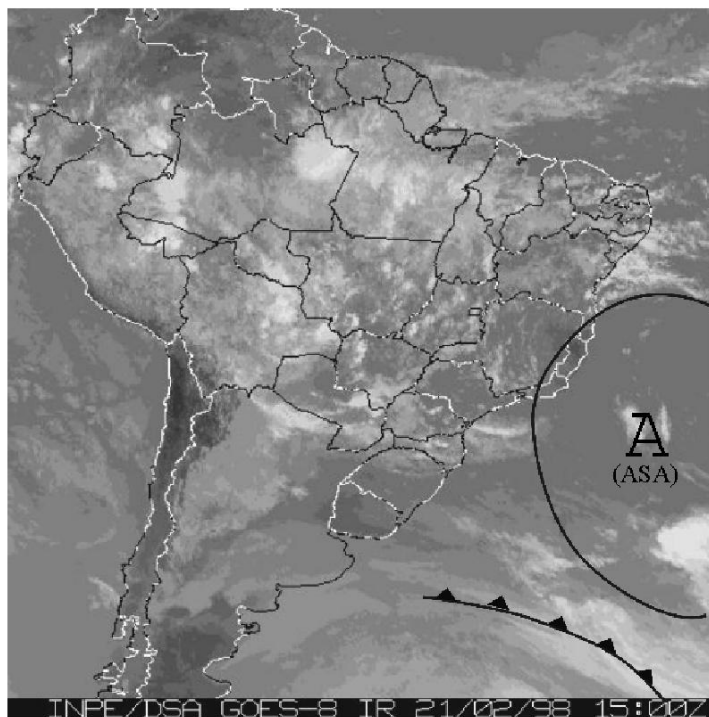


Figura 3.2: Influência do AAS sobre a Bacia de Campos, situação climatológica mais freqüente.

Este sistema de alta pressão oscila em função do gradiente de temperatura entre o oceano e o continente. Durante o verão o centro de alta pressão se desloca mais para leste, porque o mar nesta época do ano se encontra comparativamente menos aquecido e no inverno se desloca mais para oeste, porque o continente se encontra menos aquecido. Os

sistemas frontais, em menor escala, também podem mudar a posição do sistema de alta pressão.

De acordo com VIOLANTE-CARVALHO (1998), a Bacia de Campos é caracterizada pela predominância de ventos provenientes de norte, nordeste e leste. As velocidades variam de 4,0 a 9,0 m/s, com predominância entre 4,0 e 5,0 m/s. Assim, é caracterizada como uma região de ventos fracos e moderados, sendo interessante destacar que os maiores valores médios de velocidade do vento estão relacionados com as direções norte e nordeste (respectivamente, 8,32 e 8,22 m/s).

DERECZYNSKI (1992) identificou que os maiores valores mensais de velocidade do vento na Bacia de Campos ocorrem no verão, possivelmente devido a Baixa do Chaco que gera maiores gradientes de pressão. Já no inverno a velocidade do vento diminui porque os gradientes de pressão são menos intensos, em função Anticiclone Atlântico Sul que se desloca para oeste sobre o continente sul-americano.

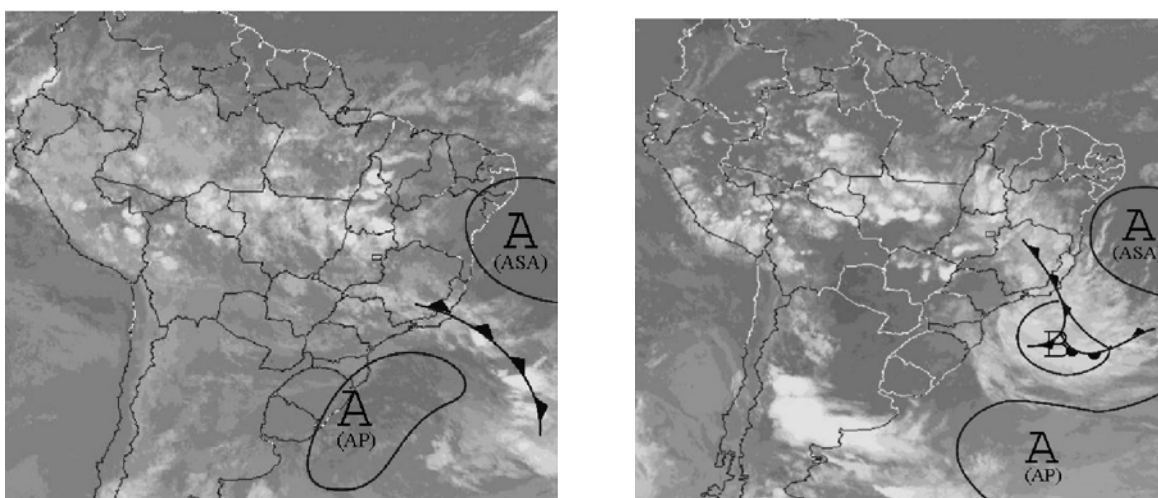
### **3.2 Características dos Sistemas Frontais**

Na região da Bacia de Campos é comum a entrada de sistemas frontais, que são formados quando a massa de ar frio, provenientes de sul, se desloca de encontro com as massas de ar quentes localizadas em latitudes tropicais. O ar frio é mais denso e assim desloca-se junto à superfície forçando a subida do ar quente e conseqüentemente o resfriamento. E, desta forma, ocorre à formação de nuvens de desenvolvimento vertical acentuado, com destaque para os cumuliformes. Estas provocam pancadas de chuvas torrenciais, trovoadas e rajadas fortes de ventos à superfície com passagem de uma frente fria pelo local.



De acordo com DEREZYNSKI (1992), a Bacia de Campos assim como grande parte do Brasil, não possui estações do ano bem definidas, o verão e o inverno com características mais acentuadas. A estação do ano com maior frequência de passagem dos sistemas frontais ocorre no inverno (em média uma invasão por semana), seguida pelo verão onde as frentes ocorrem com menor intensidade, já na primavera e no outono as características não são tão marcantes por serem estações de transição.

A figura a seguir mostra a evolução de um sistema frontal na Bacia de Campos, causando mudanças na direção do vento, na temperatura e na pressão atmosférica.



(a) Chegada de uma frente.

(b) Formação de um ciclone.

Figura 3.3: Chegada de uma frente, seguido pela formação de ciclone.  
Fonte: Imagem satélite GOES – 8 (26/05/2000).

### 3.3 Caracterização das Ondas

A região da Bacia de Campos é caracterizada pela predominância de ondas com períodos entre 2 e 12 segundos. Aquelas com períodos entre 2 e 5 segundos associadas a

vagas, aquelas com períodos entre 6 e 8 segundos como características de mares locais e os períodos superiores a 9 segundos como ondulações (VIOLANTE-CARVALHO, 1998).

### **3.4 Caracterização da situação de Bom Tempo**

A situação de bom tempo é gerada pela influência do Anticiclone do Atlântico Sul (AAS), na qual os ventos dominantes têm direção predominante de nordeste, com variações para norte ou para leste de acordo com o posicionamento do AAS em relação à Baía de Campos.

PARENTE (1999) identificou algumas características das situações de bom tempo na Baía de Campos:

- Presença ou não de ondulação distante;
- Intensificação do vento de nordeste (NE) com aproximação de frentes.

Analisando 10 anos de dados de ventos coletados na Baía de Campos PINHO (2003, citado por VIOLANTE-CARVALHO, 1998) encontrou predominância dos ventos de direções N, NE e E, com respectivas ocorrências 13,2%, 37,5% e 14,0% totalizando um total de 65% de todos os ventos observados na região.

PINHO (2003) destaca que, freqüentemente, em condições de bom tempo, são observadas ondas de baixa freqüência geradas a grandes distâncias ao sul, além das vagas de nordeste.

# Capítulo 4

## 4 Metodologia

A investigação das ondulações na Bacia de Campos para situação de bom tempo utilizou os dados coletados de março de 1991 a junho de 1995 pela PETROBRAS. Os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram a técnica DAAT, análise espectral, método de Ridge Line, técnica de valores extremos (POT) e as cartas de reanálise do NCEP (os campos de pressão e vento em superfície).

A primeira etapa do trabalho consistiu em selecionar todos os resultados gerados pela técnica DAAT que apresentasse as chegadas de ondulações para a situação de bom tempo, de acordo com a classificação de mares proposta por PARENTE (1999). Em seguida foi realizada a análise espectral, na qual foi determinado o período, a altura significativa e o espectro direcional de uma dimensão para cada evento selecionado. Para confirmar a situação de bom tempo foram utilizadas as cartas de reanálise do NCEP.

Na segunda etapa foram analisados os eventos que caracterizam as chegadas dispersivas. Para isso foi utilizada a técnica DAAT, a análise espectral, o método de Ridge Line e os dados de reanálise do NCEP.

Para finalizar o estudo, uma análise de valores extremos foi realizada através do método Peaks Over Threhsold (POT).

### 4.1 Registro de Dados

Os dados de ondulações analisados nesta dissertação correspondem ao período das medições que se estende de março 1991 a março de 1993 realizado no campo de Marlim,

fundeada a uma profundidade de 1250 metros e de janeiro de 1994 a junho de 1995 realizado no campo de Barracuda, fundeada a uma profundidade de 1050 metros. Contabilizando um total de 42 meses, dos quais 12 correspondem ao verão, 12 ao outono, 9 à primavera e 9 ao inverno.

O sensor utilizado para medição direcional de ondas foi realizado por uma bóia do tipo heave-pitch-roll (Figura 4.1), sendo um equipamento muito eficiente projetado por LONGUET-HIGGINS et al. (1961, citado por PINHO, 2003).



Figura 4.1: Bóia meteo-oceanográfica.

A cada três horas, a bóia registra 1024 segundos (17 minutos e 4 segundos) das séries de elevação do nível do mar ( $\eta$ ), e das inclinações ortogonais W-E ( $\eta_x$ ) e N-S ( $\eta_y$ ). A amostragem foi realizada com intervalo de 1 segundo (frequência amostral de 1 Hz).

## **4.2 Técnica de análise direcional de ondas DAAT**

A técnica DAAT (Directional Analysis with Adaptive Techniques) foi desenvolvida por Parente (1999) com intuito de melhorar a resolução espacial de dados direcionais de ondas. É do tipo tempo-frequência para análise direcional de ondas e permite detectar, para uma mesma faixa de frequência, a ocorrência de ondas de diversas direções, aumentando de forma significativa a resolução direcional.

As medições direcionais de ondas apresentam pouca resolução espacial, esta limitação se deve ao fato de ser reduzido o número de sensores utilizados. Para compensar esta restrição operacional, estudos vêm buscando uma melhor resolução nas técnicas de análise direcional, como é caso da DAAT.

Com objetivo de ressaltar componentes invariantes de direção de onda em um registro e cancelar ou diminuir características variantes (ruídos), os parâmetros são calculados a partir de média obtidas em segmentos fixos do registro, com ou sem superposição de segmentos. Como exemplo, considere um registro com 1024 amostras (1024 segundos com  $\Delta t = 1$ ), pode determinar 16 segmentos de 64 pontos (64 segundos) com 32 graus de liberdade, ou 32 segmentos de 32 pontos com 64 graus de liberdade. Para maiores detalhes podem consultar PARENTE (1999).

Uma maneira de apresentar os resultados obtidos na aplicação da DAAT é a representação gráfica da evolução do espectro direcional, que é um complemento da técnica DAAT, denominado Plotting the Evolution of the Directional Spectrum – PLEDS;

desenvolvido por PARENTE (1999), para a visualização da evolução do espectro direcional de ondas para cada faixa de frequência. A figura 4.2 mostra o gráfico gerado pela PLEDS.

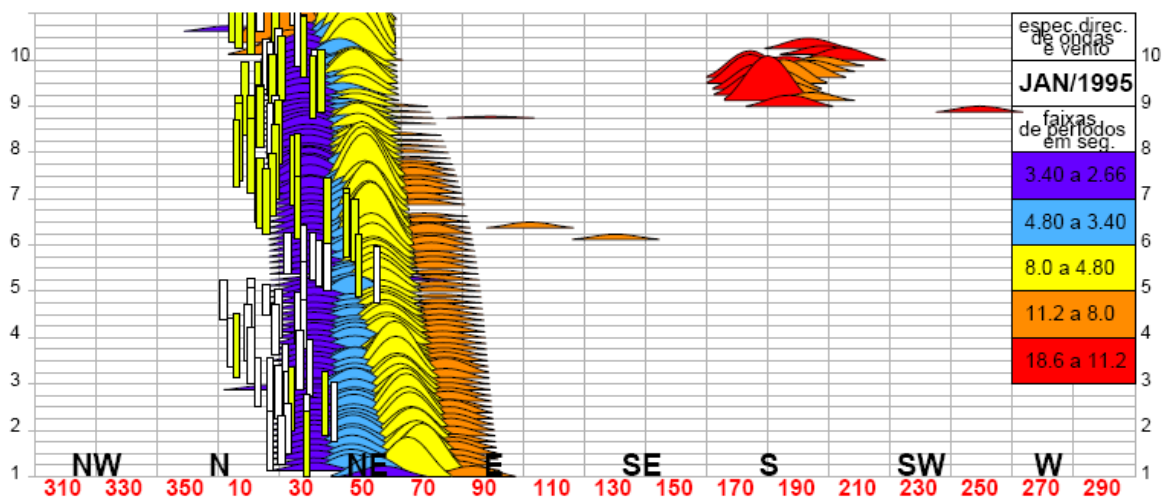


Figura 4.2: Situação de mar de bom tempo na Baía de Campos: janeiro 1995 (Técnica DAAT).

As linhas horizontais mostram o número de registros, cada linha horizontal indica um registro, isto é, no eixo das ordenadas estão representados os dias (sendo que cada dia do mês no eixo vertical possui 8 registros, um a cada 3 horas). O eixo das abscissas corresponde à direção em graus do vento e da onda entre  $0^0$  e  $360^0$ . As barras verticais representam a intensidade do vento, sendo que cada 1cm corresponde a aproximadamente 10 m/s. As faixas de períodos obtidas pela DAAT são mostradas em cores como indicado na legenda à direita do gráfico. As elevações das curvas no gráfico representam a energia dos espectros de ondas, para cada faixa de períodos (coloridas de acordo com o quadro de faixas de frequência).

A figura 4.2 mostra um mar local de nordeste, com presença de ondulações com direção correspondendo aos mares de sul. Os períodos de ondas identificados entre os dias

1 e 10 de janeiro de 1995 apresentam variação desde 2,66 a 18,60 segundos. Sendo que somente partir do dia 8 observa-se a presença de ondulações com períodos entre 11,2 segundos e 18,6 segundos.

### 4.3 Análise Espectral

No presente trabalho a análise espectral foi desenvolvida para auxiliar na caracterização das ondulações, como a aquisição dos dados pela bóia estão separados por três horas (8 registros por dia), então para cada dia foram construídos 8 espectros de uma dimensão. Foi calculada, para cada espectro, a frequência de pico e a altura significativa dentro do limite (0,05 Hz a 0,09 Hz) definido para as ondulações.

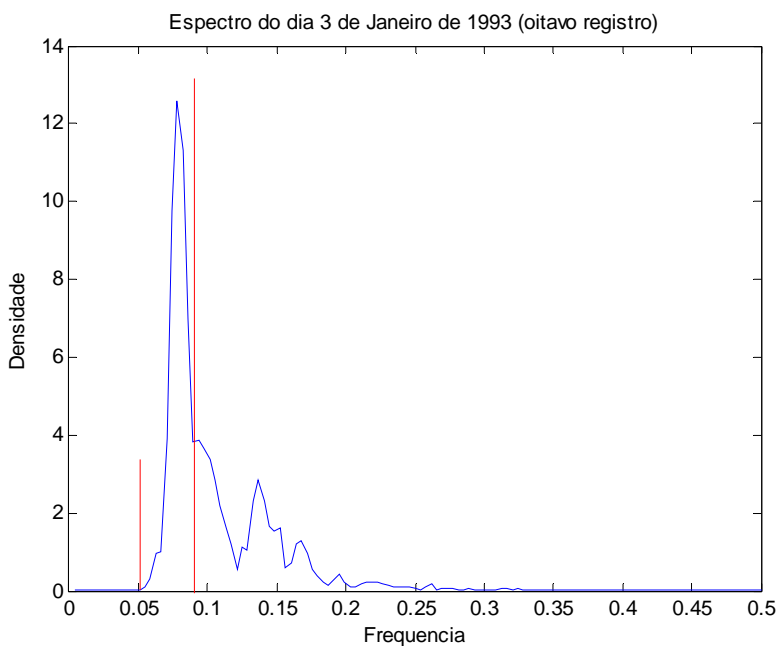


Figura 4.3: Espectro do oitavo registro do dia 3 de janeiro de 1993.

Os espectros de uma dimensão foram obtidos com auxílio da função “spectrum”, rotinas em linguagem MATLAB, com 128 pontos de frequência entre 0,0039 Hz e 0,5 Hz. O espectro (Figura 4.3) mostra o desenvolvimento do oitavo registro do dia 3 de janeiro de

1993, os segmentos de retas (cor vermelha) apresentados na figura indicam o limite da faixa de frequência definido para as ondulações.

A energia das ondas é determinada pela função de densidade espectral, obtida no domínio da frequência. Essa função determina a média de energia da onda em módulo, e a área sobre a função de densidade espectral representa o grau de severidade do mar. Para representar essa severidade, a definição mais utilizada é a altura significativa, denotada por  $H_s$ , que é numericamente igual a quatro vezes a raiz quadrada da área sobre a função de densidade espectral.

#### **4.4 Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP**

A reanálise do NCEP (National Center for Environmental Prediction – Estados Unidos) é considerada um dos conjuntos de dados meteorológicos mais completos e fisicamente consistentes existentes (BEU, 2003 citado por KALNAY et al., 1996), os quais têm sido amplamente difundidos e utilizados para pesquisa científica em todo o mundo.

Foram usados os campos de pressão e vento em superfície com auxílio do programa GrADS, sendo este o responsável pelas plotagens. Os dados utilizados neste trabalho correspondem ao período de 1991 a 1995. A resolução horizontal dos dados é de aproximadamente 210 km, com medidas a cada 6 horas. A figura 4.4 nos mostra, por exemplo, a presença do Anticiclone do Atlântico Sul caracterizando a situação de bom tempo.



#### Pressão e Vento em Superfície – 1991:6:5:18

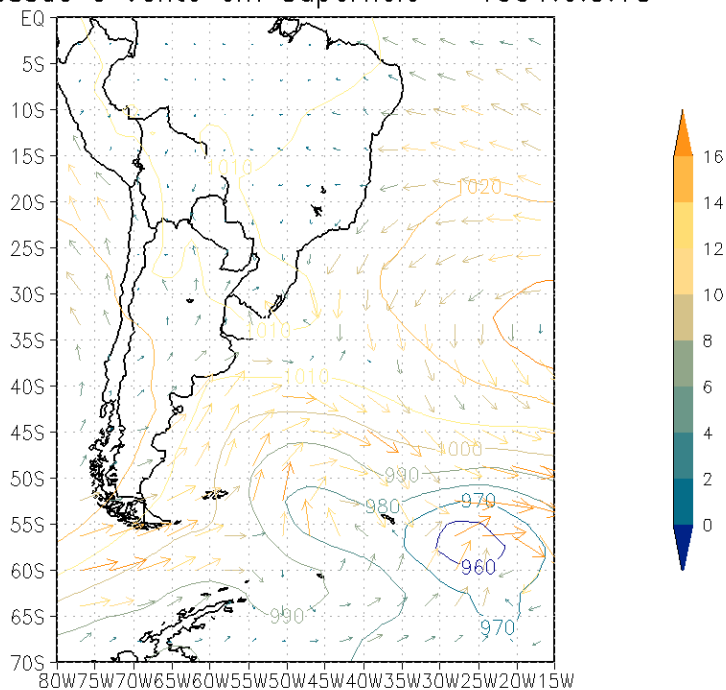


Figura 4.4: Carta de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP.

## 4.5 Classificação dos mares

Para classificar as ondulações em relação à faixa de frequência foi utilizada a metodologia proposta por PARENTE (1999). Esta classificação foi elaborada através de rotinas executadas em Matlab, sendo: categoria 11- bom tempo com ondulação (swell); categoria 12- bom tempo sem ondulação; categoria 21- mau tempo- tempestade de SW; e categoria 21- mau tempo- tempestade SE.

As rotinas utilizadas para classificar os mares calculam a energia em diversas faixas de frequência, sendo estas estabelecidas na tabela 1. Iniciam os processos de encontrar energia contabilizando a direção, pela faixa de alta frequência (Faixa 5) seguindo para as frequências mais baixas. Quando existe energia na faixa de alta frequência, caracteriza-se um mar local. Quando são detectadas energias nas faixas de frequência seguintes (4, 3 e 2),

com mesma direção da faixa 5, são consideradas “quase sea” (ondas geradas em áreas próximas a do mar local).

Tabela 4.1: Faixas de frequência da técnica DAAT.

<b>Faixa</b>	<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Período (s)</b>
1	0,05 a 0,09	11,20 a 18,60
2	0,09 a 0,125	8,00 a 11,20
3	0,125 a 0,208	4,80 a 8,00
4	0,208 a 0,294	3,40 a 4,80
5	0,294 a 0,376	2,66 a 3,40

O mar da Bacia de Campos foi classificado de acordo com a direção e a faixa de frequência (PARENTE, 1999). Esta metodologia de classificação foi utilizada no presente trabalho, com uma observação especial para a faixa 1 devido as ondas de baixa frequência (ondulações).

#### **4.6 Chegadas Dispersivas**

As chegadas dispersivas são caracterizadas pela presença de um período de chegada (maior período) que diminui progressivamente com o tempo e mantém a direção constante. A chegada dispersiva pode ser utilizada para identificar o ponto de origem de ondulações longínquas (Melo Filho, 1993 citado por Barber & Ursell, 1948).

Para analisar as chegadas dispersivas, primeiramente foi feito um estudo de dispersão de ondas. Em seguida foram analisados todos os resultados apresentados pela

técnica DAAT, foi feita uma análise espectral e uma comparação com os dados de reanálise do NCEP.

A técnica DAAT foi utilizada para auxiliar na caracterização das chegadas dispersivas. Para realizar esta análise primeiramente foram analisados os resultados gerados pela técnica DAAT e em seguida foram selecionados os dias em que caracterizavam as chegadas dispersivas em função da direção.

Com auxílio dos espectros de uma dimensão foi possível analisar o comportamento das ondulações e ainda descobrir o maior e menor período, identificando a energia do espectro. Assim, conforme o período de chegada fosse diminuindo com o tempo, os dias seriam selecionados, sendo algumas seleções pela técnica DAAT descartados por não satisfazerem esta hipótese.

Os dados de reanálise do NCEP foram utilizados para verificar se os resultados estavam sendo compatíveis e auxiliar na descoberta do possível ponto de geração das ondulações.

#### **4.6.1 Dispersão de ondas**

A relação de dispersão está diretamente relacionada com o período ( $T$ ) de uma determinada onda e com o seu comprimento ( $L$ ). O interesse neste estudo é poder relacionar as ondas que se propagam em águas profundas. A equação matemática para dispersão em águas profundas é dada da seguinte maneira:

$$\sigma^2 = gk \tag{5.1}$$

Sendo que:

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \quad \text{e} \quad K = \frac{2\pi}{L},$$

Onde:  $\sigma$  é a frequência e  $k$ , o número de onda.

Com a equação da relação de dispersão, determina-se a velocidade de propagação das cristas ( $c$ ) e a velocidade de propagação da energia ( $c_g$ ) da seguinte maneira:

$$c = \frac{\sigma}{k} = \left(\frac{g}{k}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.2)$$

e

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2}c \quad (5.3)$$

E desta maneira chega-se a equação de velocidade de propagação em águas profundas dada por:

$$c_g = \frac{g}{4\pi}T \quad (5.4)$$

Uma observação importante das equações (5.2) e (5.3) está relacionado ao número de onda ( $k$ ), sendo tanto a velocidade de fase quanto a velocidade de grupo variantes em função de ( $k$ ). Assim, as ondas com diferentes comprimentos e, conseqüentemente, com diferentes períodos, propagam-se a velocidades diferentes, com as ondas de maiores períodos viajando mais rápido do que as ondas com menores períodos. Este fenômeno recebe o nome de dispersão.

## 4.6.2 Método Ridge Line

Para determinar a distância e o tempo de chegada entre a zona de geração e o ponto de observação foi utilizado o método de Ridge Line (MUNK et al., 1963), a partir da equação (5.5). Maiores detalhes consultar o apêndice.

$$D = \frac{g}{4\pi} \left( \frac{T_C T_S}{T_C - T_S} \right) \Delta t \quad (5.5)$$

Onde:

$D$  = distância entre a zona de geração e o ponto de observação;

$T_C$  = maior período ou período de chegada;

$T_S$  = menor período ou período de saída;

$\Delta t$  = intervalo de tempo.

Em função do resultado da distância entre a zona de geração e o ponto de observação, pode-se calcular pela equação (5.6) o tempo ( $t$ ) gasto pela onda de maior período e conseqüentemente uma previsão do dia em que foi gerada.

$$t = \frac{D}{c_g}, \quad c_g = \frac{g}{4\pi} T_C \quad (5.6)$$

## 4.7 Valores Extremos

A teoria dos valores extremos é um ramo da probabilidade que estuda o comportamento estocástico de extremos associados a um conjunto de variáveis aleatórias com distribuição comum. Esta apresenta melhores resultados para análises de

probabilidades de ocorrências de eventos raros, ou nunca observados, de um fenômeno. As características e propriedades mais importantes das distribuições de extremos aleatórios são identificadas pelas caudas extremas.

O objetivo deste trabalho não é desenvolver detalhadamente a teoria de valores extremos, e sim aplicar os conceitos. Para maiores esclarecimentos consultar as referências bibliográficas citadas.

A modelagem univariada de extremos foi inicialmente desenvolvida por GUMBEL (1958), e se aplicava somente a distribuição dos valores máximos selecionados. De acordo com MENDES (2004), as distribuições assintóticas de valores máximos podem ser modeladas pela distribuição generalizada de extremos (GEV), que descreve a distribuição limite do máximo, podendo ser do tipo: Fréchet, Gumbel ou Weibull. Com o passar do tempo surgiu a necessidade de trabalhar com valores de excessos acima de um determinado limiar, sendo assim, surgiu um novo método de análise estatística de extremos, denominado Peaks Over Thresholds (POT). Neste método os valores de máximo são modelados pela distribuição generalizada de Pareto (GPD), que descreve a distribuição limite dos excessos.

#### **4.7.1 Peaks Over Threshold (POT)**

É um método estatístico que surgiu na área de hidrologia nos anos 80, e que hoje se constitui como uma das principais ferramentas estatísticas empregadas na estimativa de probabilidade de eventos raros. A técnica POT foi elaborada para resolver o problema específico de estimação da cauda, isto é, modelar excessos acima do limiar. Quando se trata de limiar, refere-se a um valor próximo ao limite da distribuição dos dados amostrados. Os excessos são considerados os valores resultantes da diferença entre o limiar e os valores

acima do limiar. Para melhor entendimento, serão apresentadas abaixo as definições citadas acima com uma formulação matemática.

Considerando  $X_1, X_2, \dots, X_n$  variáveis aleatórias independente e identicamente distribuídas com função distribuição  $F_X$ , e seja  $x_{F_X}$  o limite superior da distribuição  $F_X$ . O limiar ( $u$ ) é denominado um valor alto perto de  $x_{F_X}$ . Os valores  $X_i$  tais que  $X_i > u$  são chamados de excedentes, isto é, são os valores  $X_i - u \geq 0$ .

Para aplicação da técnica POT, primeiramente deve-se determinar o limiar (threshold) através de métodos estatísticos. O critério adotado neste trabalho foi a análise do gráfico de Mean Excess Plot (média dos excessos acima do limiar). A equação (5.7) da média de excessos acima do limiar mostra que essa função pode ter características de linearidade acima de certo limiar (EMBRECHTS, 1997).

$$e(u) = E(X - u | X > u) = \frac{\beta + \xi u}{1 - \xi} \quad (5.7)$$

Onde:

$\beta$  = Estimador beta (escala);

$\xi$  = Estimador qsi (forma);

$u$  = Limiar (threshold);

$X$  = Valores acima do limiar.

Em seguida é aplicado o ajuste aos valores de excessos acima do limiar pela distribuição generalizada de Pareto (GPD). Os valores amostrados são considerados estatisticamente independentes e representam um processo heterogêneo de Poisson (EMBRECHTS, 1997).

A equação (5.8) representa uma aproximação para a distribuição de ajuste do modelo GPD para os dados acima do limiar (MENDES, 2004). Os parâmetros de forma ( $\xi$ ) e de escala ( $\beta$ ) foram calculados pelo estimador de Momentos Probabilísticos Ponderados (PWM). Assim, o modelo para a cauda é dado por:

$$\bar{G}_{\xi, \beta}(x) = \left(1 + \xi \frac{x}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (5.8)$$

Onde:

$\beta$  = Estimador beta (escala);

$\xi$  = Estimador qsi (forma);

$x$  = Valores amostrados.

De acordo com EMBRECHTS (1997), a distribuição de excessos acima do limiar é dada por (maiores detalhes ver Apêndice A):

$$\bar{F}(u + y) = \frac{N_u}{n} \left(1 + \xi \frac{y}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (5.9)$$

Onde:

$\beta$  = Estimador beta (escala);

$\xi$  = Estimador qsi (forma);

$u$  = Limiar (threshold);

$y$  = Excessos acima do limiar;

$N_u$  = Número de excedentes acima do limiar;

$n$  = Número total de observações.



Com o desenvolvimento da equação (5.9) pode-se determinar o valor extremo ( $x_p$ ) de ocorrência em longo período dado por:

$$x_p = u + \frac{\beta}{\xi} \left[ \left( \frac{n}{N_u} (1-p) \right)^{-\xi} - 1 \right] \quad (5.10)$$

Onde:

$\beta$  = Estimador beta (escala);

$\xi$  = Estimador qsi (forma);

$u$  = Limiar (threshold);

$y$  = Excessos acima do limiar;

$N_u$  = Número de excedentes acima do limiar;

$n$  = Número total de observações;

$N$  = Número de observações em um determinado período;

$p$  = Probabilidade de não-excedência,  $p = 1 - \bar{F} = \left( 1 - \frac{1}{N} \right)$ .

A metodologia utilizada para determinar o valor de probabilidade de não-excedência ( $p$ ), se relaciona com o número de observações esperados em 10, 50 e 100 anos. Neste trabalho existe um total de 156 eventos independentes e identicamente distribuídos num período de 42 meses. Para determinar o número de observações nos períodos citados utiliza-se a relação abaixo:

$$N = \frac{156}{42} \times 12 \times n_a,$$

$n_a$  = Número de anos.

# Capítulo 5

## 5 Resultados

### 5.1 Análise qualitativa das chegadas de ondulações

Nesta primeira etapa são apresentados alguns exemplos de chegadas de ondulações com auxílio da técnica DAAT e com as cartas de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície) a evolução sinótica.

Pelas análises desenvolvidas neste trabalho identifica-se que as chegadas de ondulações estão associadas aos anticiclones e aos ciclones, que serão apresentados posteriormente.

A figura 5.1, gerada pela técnica DAAT, mostra a chegada de ondulações entre os dias 24 e 28 de outubro de 1994.

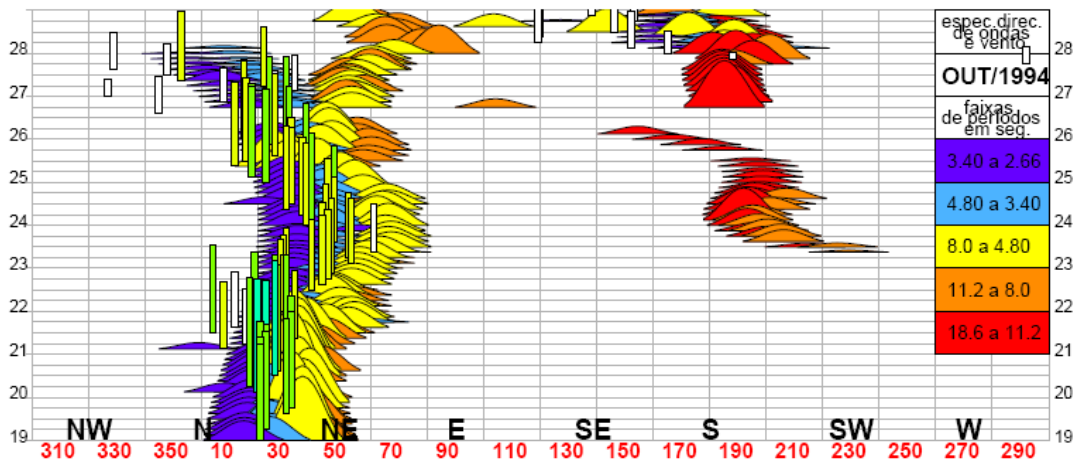
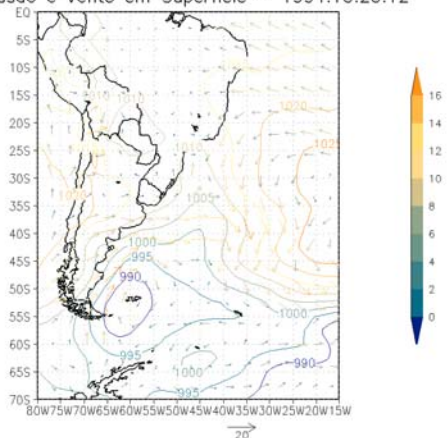


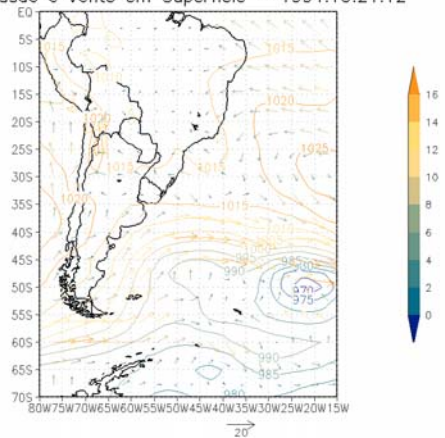
Figura 5.1: Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: outubro 1994 (Técnica DAAT).

Pelas cartas de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície) é possível acompanhar a evolução sinótica deste período (Figura 5.2). Pode-se observar o anticiclone estacionado próximo à Bacia de Campos caracterizando a situação de bom tempo e formação de ciclones ao sul que se propagam para leste.

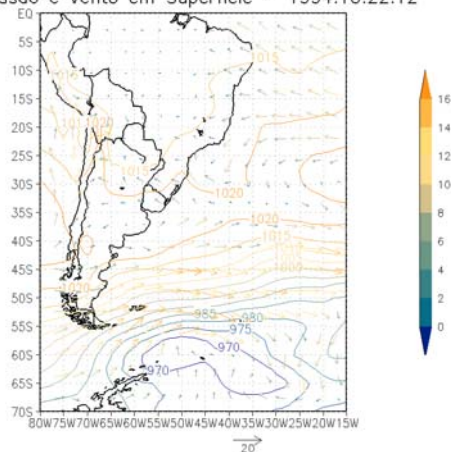
Pressao e Vento em Superficie - 1994:10:20:12



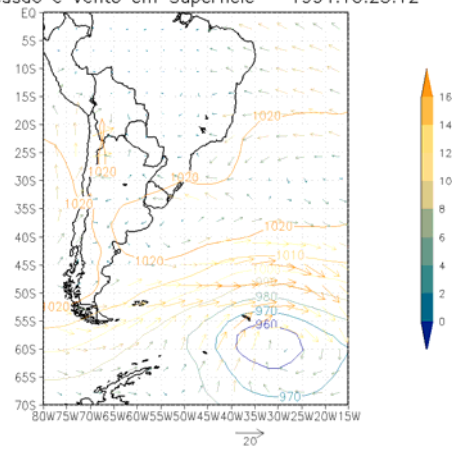
Pressao e Vento em Superficie - 1994:10:21:12



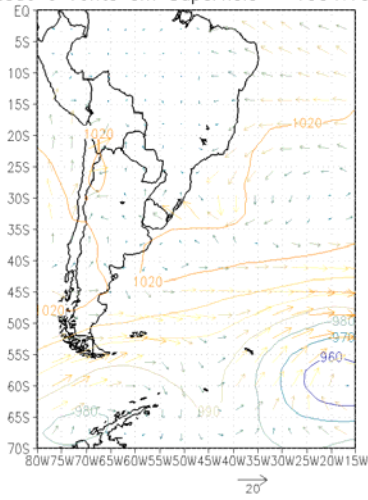
Pressao e Vento em Superficie - 1994:10:22:12



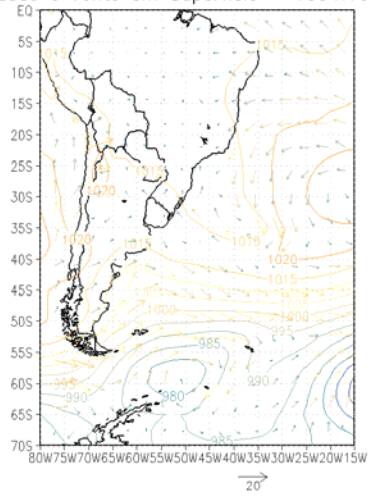
Pressao e Vento em Superficie - 1994:10:23:12



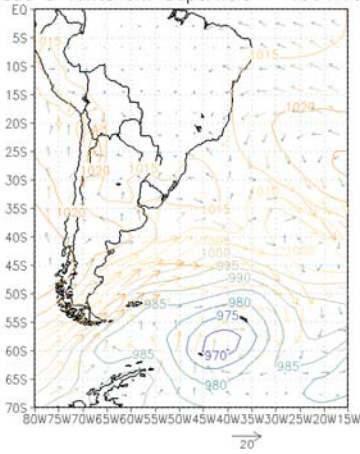
Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:24:12



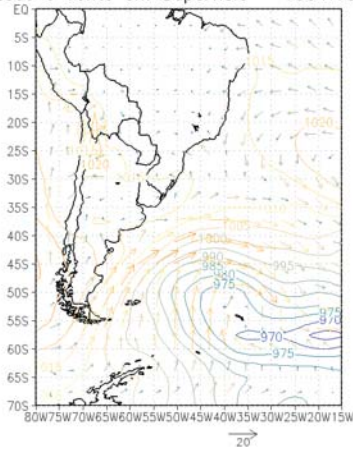
Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:25:12



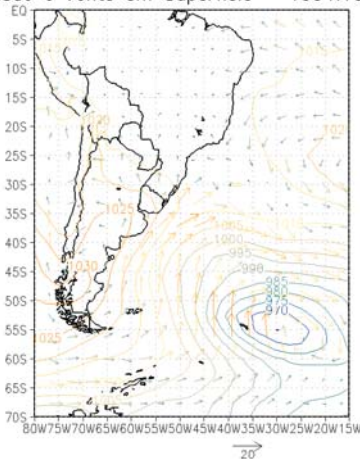
Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:26:12



Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:27:12



Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:28:12



Pressao e Vento em Superficie – 1994:10:29:12

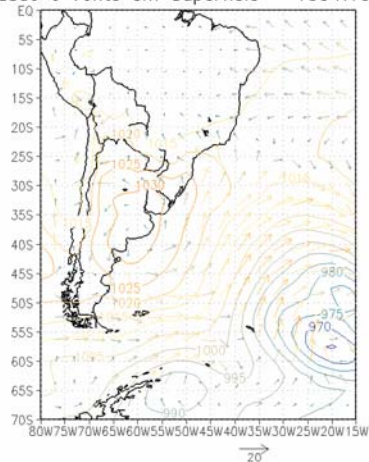


Figura 5.2: Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP, período entre os dias 20 e 29 de outubro de 1994.

Outra situação (Figura 5.3) interessante é referente ao período do dia 9 ao dia 13 de dezembro de 1991, onde aparecem às chegadas de ondulações com direção predominante de sul.

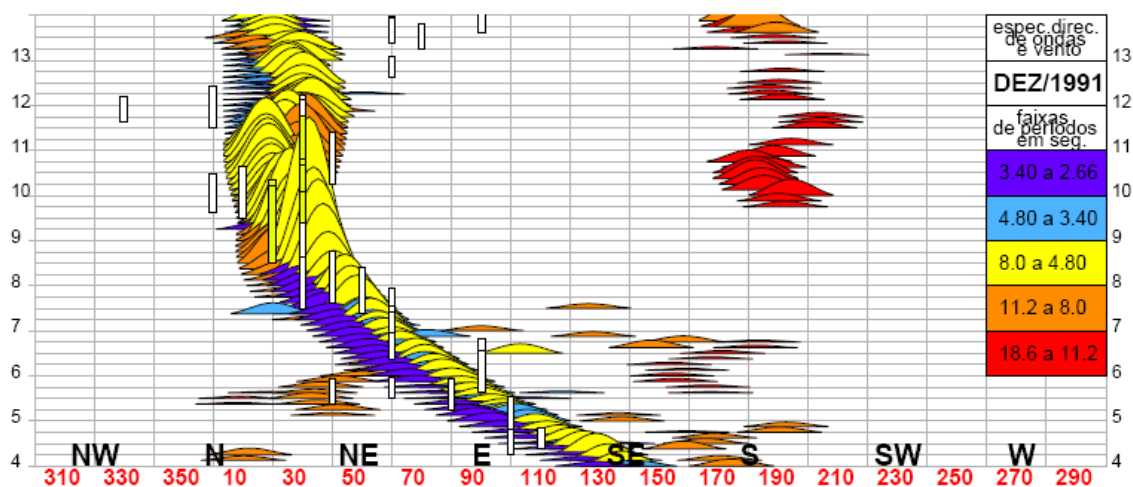
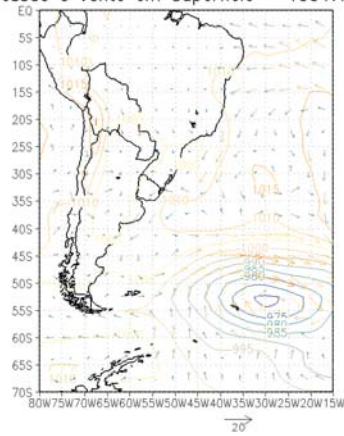


Figura 5.3: Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: dezembro 1991 (Técnica DAAT).

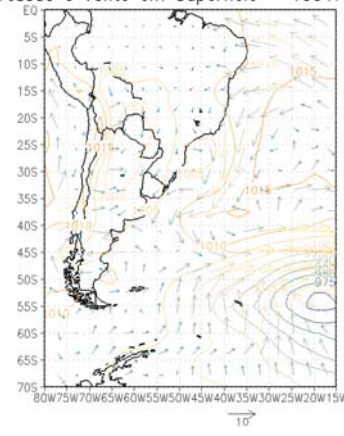
A figura 5.4 mostra a evolução sinótica deste período. No dia 8 de dezembro de 1991 observa-se um ciclone ao sul e no dia 12 de dezembro de 1991 pode-se observar um anticiclone mais ao sul da Bacia de Campos.



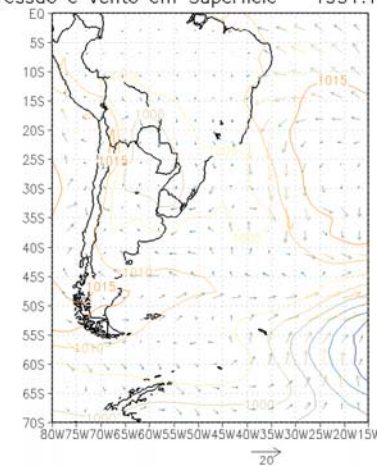
Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:8:6



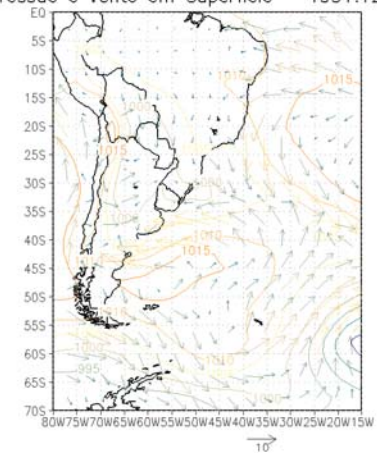
Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:9:0



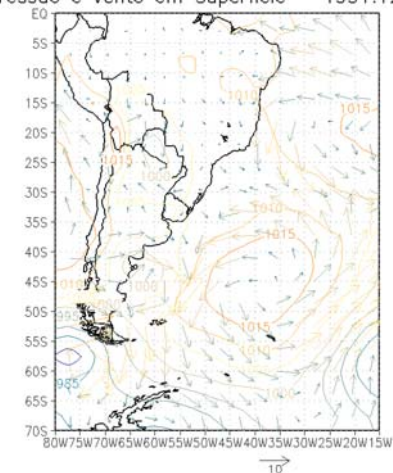
Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:10:0



Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:11:0



Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:12:0



Pressao e Vento em Superficie – 1991:12:13:0

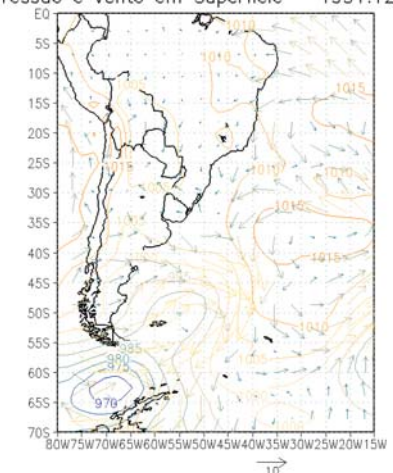


Figura 5.4: Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP, período entre os dias 8 e 13 de dezembro de 1991.

A figura 5.5 mostra que nos dias 09 e 10 de janeiro de 1995 a chegada de ondulações possui direção predominante de sul.

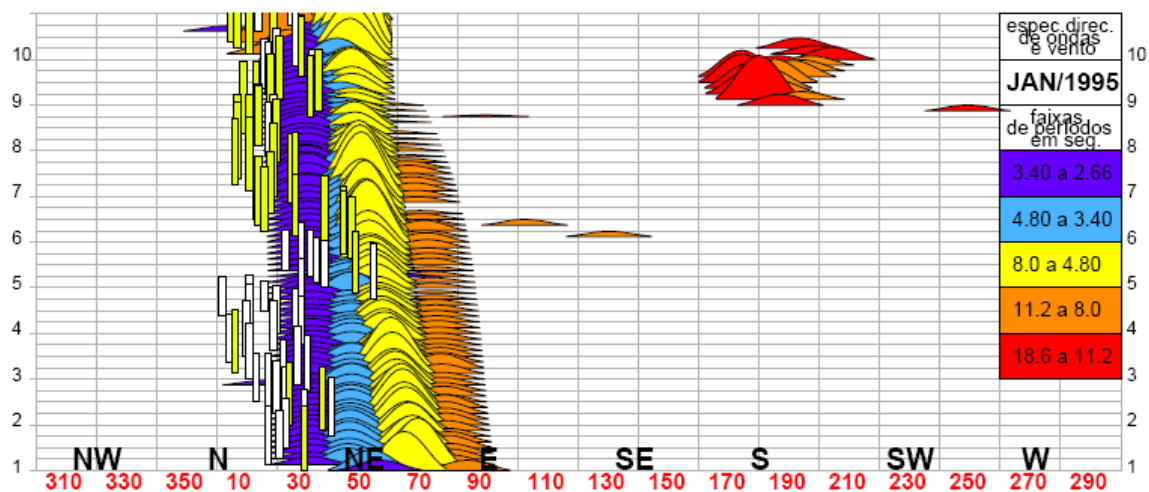


Figura 5.5: Situação de mar de bom tempo na Bacia de Campos: janeiro 1995 (Técnica DAAT).

A figura 5.6 mostra a evolução sinótica deste período. No dia 6 de janeiro de 1995, pode-se observar a presença do anticiclone próximo a Bacia de Campos caracterizando a situação de bom tempo e a presença de ciclones ao sul.

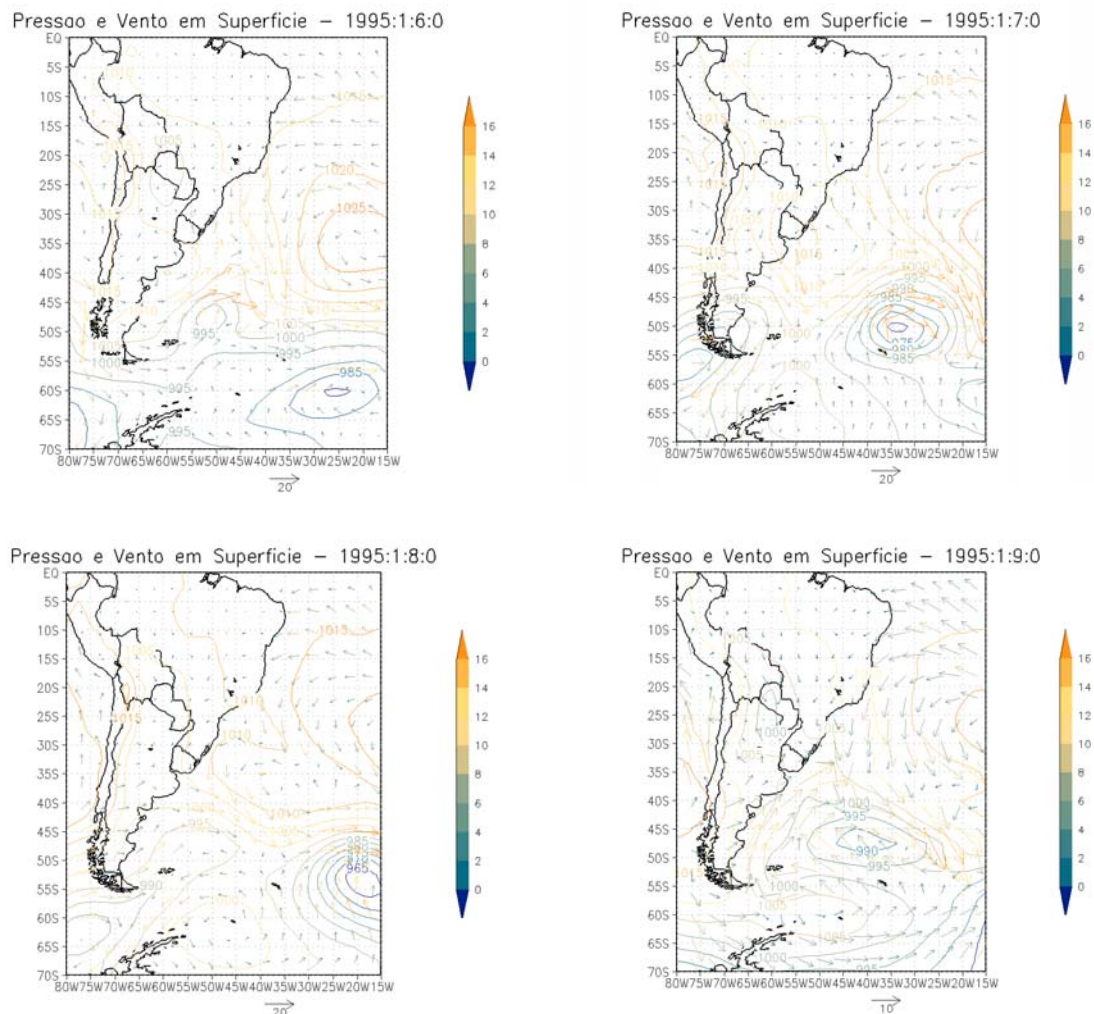


Figura 5.6: Cartas de reanálise (campos de pressão e vento em superfície) do NCEP, período entre os dias 6 e 9 de janeiro de 1995.

O objetivo desta análise é investigar a zona de geração das ondulações e se possível determiná-la. Em muitos casos isso não é uma tarefa fácil, pois somente as chegadas dispersivas possibilitam encontrar a zona de geração. No desenvolvimento do trabalho serão apresentados os eventos identificados que caracterizam as chegadas dispersivas.

Nos exemplos acima existem situações que foram possíveis identificar a chegada dispersiva, como nos dias 23 e 24 de outubro de 1994 e nos dias 9 e 10 de janeiro de 1995;



mas as outras situações não foram possíveis detectá-las.

## 5.2 Análise quantitativa das chegadas de ondulações

### 5.2.1 Conjunto de Dados

Através da metodologia adotada neste trabalho foram selecionados 156 dias com a presença de chegadas de ondulações, correspondendo a aproximadamente 12% do total de dados analisados (42 meses).

### 5.2.2 Caracterização das chegadas associadas à estação do ano

A estação do ano com maior incidência de chegadas de ondulações no período de março de 1991 a junho de 1995 foi o verão, seguida pela primavera, outono e inverno. Mas há um ponto importante no ano de 1993: só foram analisados os dados dos meses de Janeiro, Fevereiro e Março, pois a bóia foi retirada para manutenção.

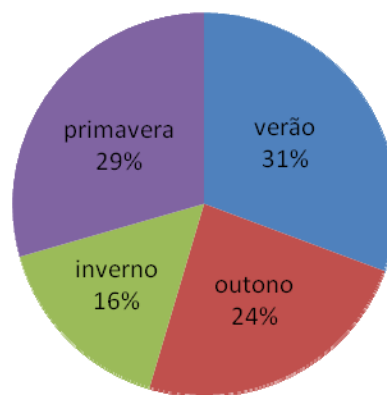


Figura 5.7: Probabilidade de ocorrência de chegadas de ondulações nas estações do ano.

O conjunto de dados é constituído por 4 estações de verão, 4 estações de outono, 3 estações de inverno e 3 estações de primavera; sendo que uma destas estações do verão é referente ao ano de 1993 que possivelmente ocorreu algum problema com a seleção dos dados, talvez seja a explicação pelo número reduzido de chegadas de ondulações no verão de 1993 que contabiliza apenas 6% de todas as chegadas no verão.

Um ponto importante é que a estação do ano com maior número de chegadas de ondulações é a primavera de 1994 com aproximadamente 14%, sendo o mês de Outubro responsável por aproximadamente 7%. E sendo o verão de 1993 a estação com menor número de chegadas, seguida pelo inverno de 1991 e 1994; o que é esperado pois essa estação do ano possui maior ocorrência de entradas de frentes frias de acordo com DEREZYNSKI (1992).

### 5.2.3 Caracterização das direções

Para caracterizar a direção das chegadas de ondulações foi utilizada a técnica DAAT. A figura 5.8 mostra a direção sul como predominante das chegadas de ondulações na Bacia de Campos.

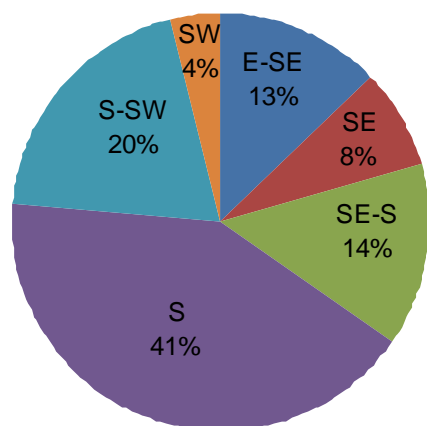


Figura 5.8: Classificação direcional das chegadas de ondulações.

## 5.2.4 Caracterização das alturas

A figura 5.9 mostra o histograma de distribuição de altura significativa da chegada de ondulações com intervalos de classe de 0,5 metros.

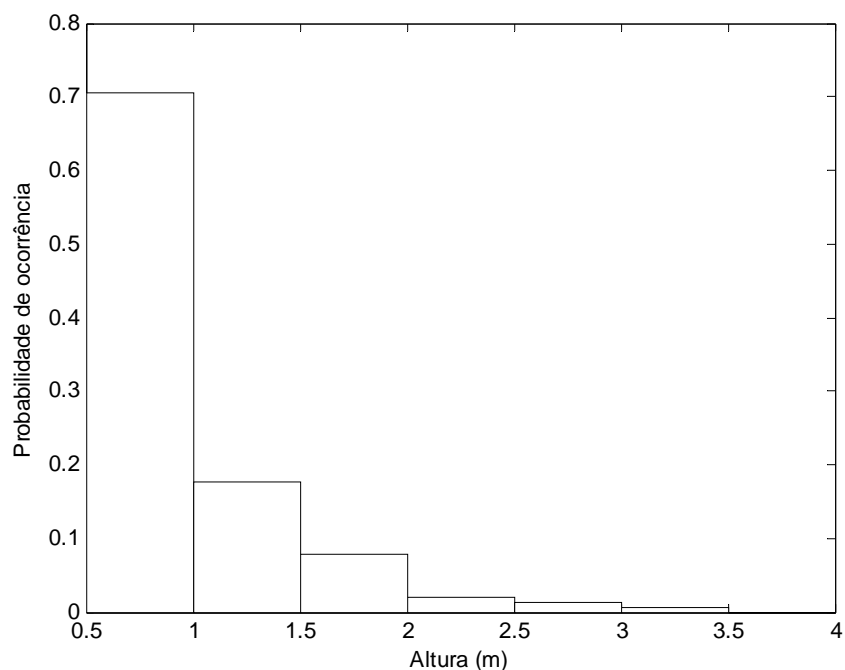


Figura 5.9: Histograma de distribuição da altura significativa das ondulações.

O histograma mostra que 70% dos dados de altura significativa das ondulações são inferiores a 1 metro de altura.

## 5.2.5 Caracterização dos períodos

O histograma (Figura 5.10) apresenta a caracterização do período de chegadas das ondulações com intervalo de classe de 1 segundo. Como se pode observar a maior probabilidade de ocorrência está entre 12 e 13 segundos, e os períodos superiores a 16 segundos contabilizam menos de 10% de ocorrência.

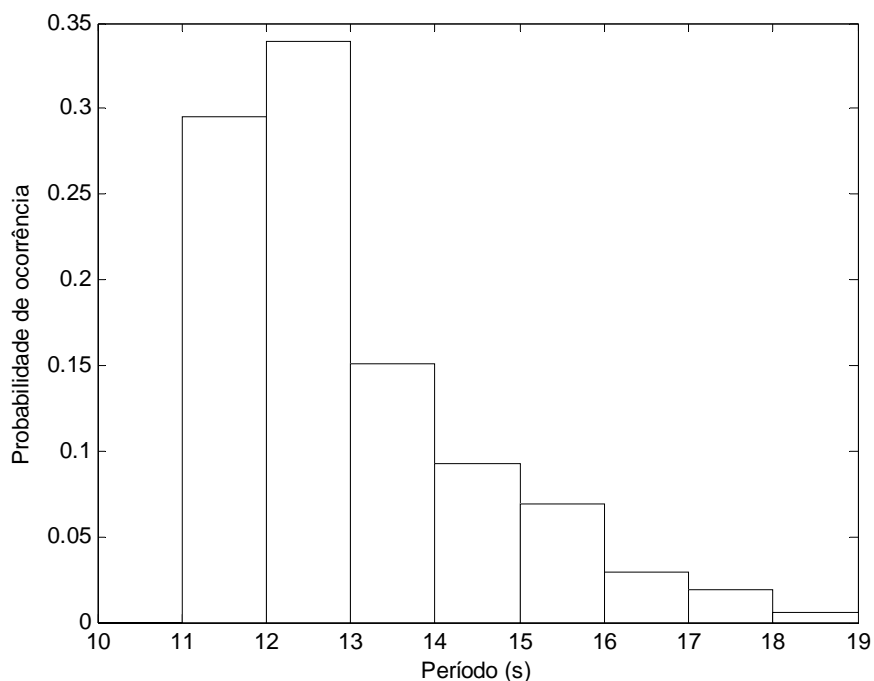


Figura 5.10: Histograma de distribuição de períodos das ondulações.

### 5.3 Análise qualitativa das chegadas dispersivas

#### 5.3.1 Presença de ciclones com as chegadas dispersivas

Esta análise consiste em verificar se ocorre a passagem de ciclones em seguida das chegadas dispersivas.

As cartas de reanálise do NCEP mostram que todos os sistemas de baixa pressão responsáveis pela geração das ondulações em sua grande maioria estão posicionados no sul da Argentina e com o passar do tempo este sistema se propaga para o oceano até desaparecer. Mas existem duas situações interessantes, Junho de 1992 e Novembro de 1994, onde os sistemas de baixa pressão são gerados no período das chegadas dispersivas e se aproximam da Bacia de Campos.

No dia 9 de junho de 1992 pode se observar pela figura 5.11 a formação de um ciclone entre 40° e 50° sul, bem distante da Bacia de Campos. Este se aproxima no dia 12 de junho de 1992 (Figura 5.12).

Pressão e Vento em Superfície – 1992:6:9:18

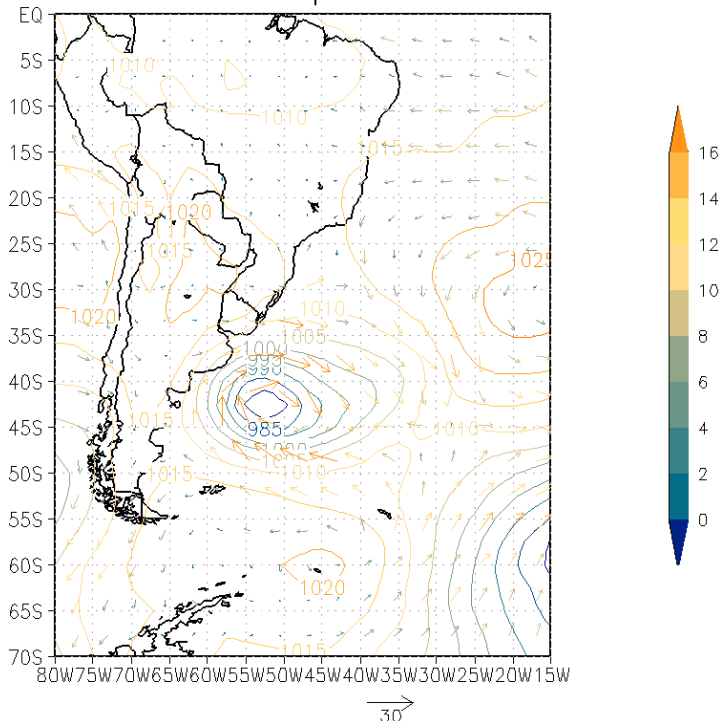


Figura 5.11: Formação do ciclone que se aproxima da Bacia de Campos com o passar do tempo, 9 de junho de 1992 (Carta de reanálise do NCEP).

Pressão e Vento em Superfície – 1992:6:12:12

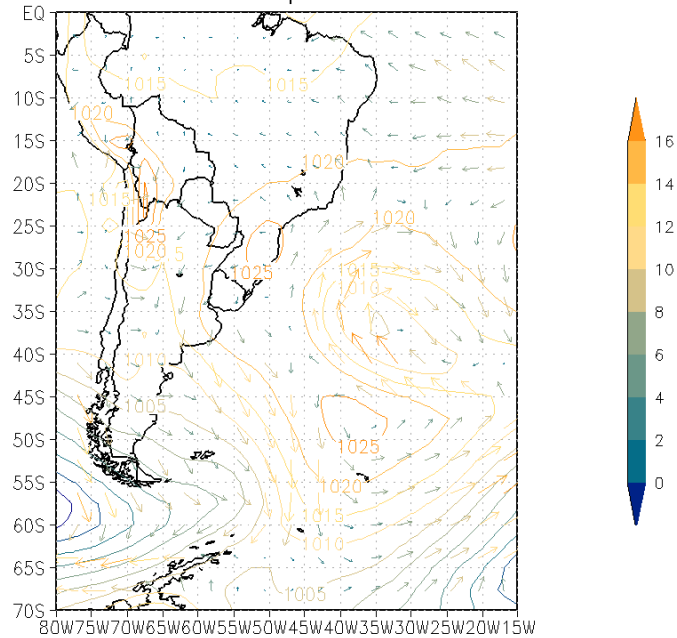


Figura 5.12: Ciclone próximo da Baía de Campos, 12 de Junho de 1992 (Carta de reanálise do NCEP).

No dia 2 de novembro de 1994 pode se observar pela figura 5.13 um ciclone bem próximo à Baía de Campos sendo formado um dia antes (Figura 5.14).

Pressão e Vento em Superfície – 1994:11:2:18

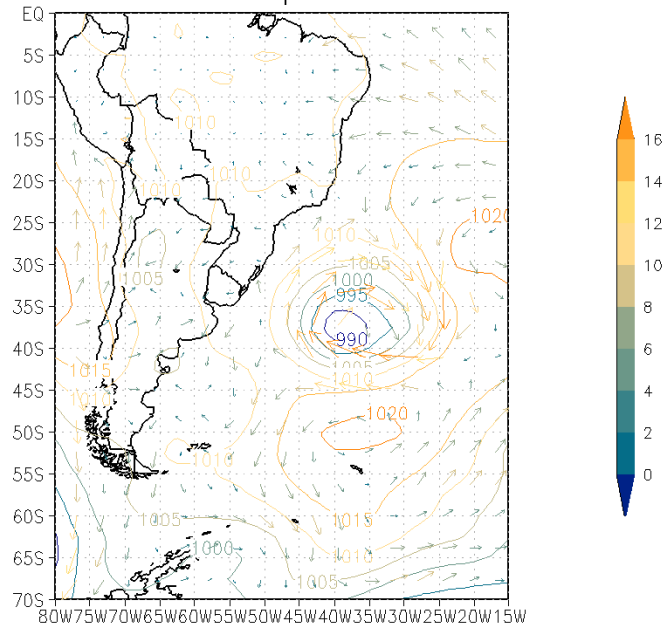


Figura 5.13: Ciclone próximo da Baía de Campos, 2 de novembro de 1994 (Carta de reanálise do NCEP).

### Pressão e Vento em Superfície – 1994:11:12

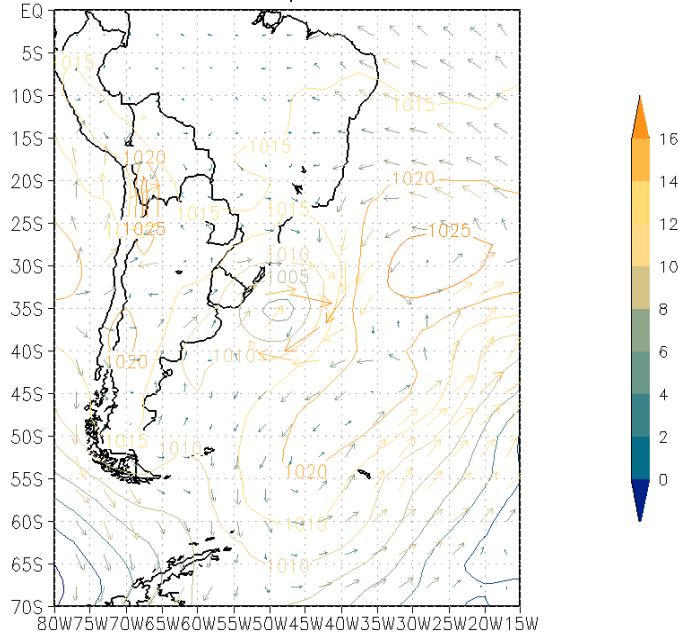


Figura 5.14: Formação do ciclone<sup>20</sup>, 1 novembro de 1994 (Carta de reanálise do NCEP).

### 5.3.2 Chegadas dispersivas geradas por Anticiclones

Para esta análise foram verificadas se existiam situações de chegadas de ondulações geradas por anticiclones. Pelas análises dos dados verificaram-se dois eventos, janeiro de 1993 e março de 1995, que estão associados aos anticiclones e aos ciclones. Esta situação sinótica gerou uma pista extensa, com ventos fortes de sudoeste.

Nos dias 2 e 3 de Janeiro de 1993 verificou-se a chegada dispersiva gerado, possivelmente, no dia 31 de Dezembro de 1992 que pode ser observado na figura 5.15.

Pressao e Vento em Superficie – 1992:12:31:18

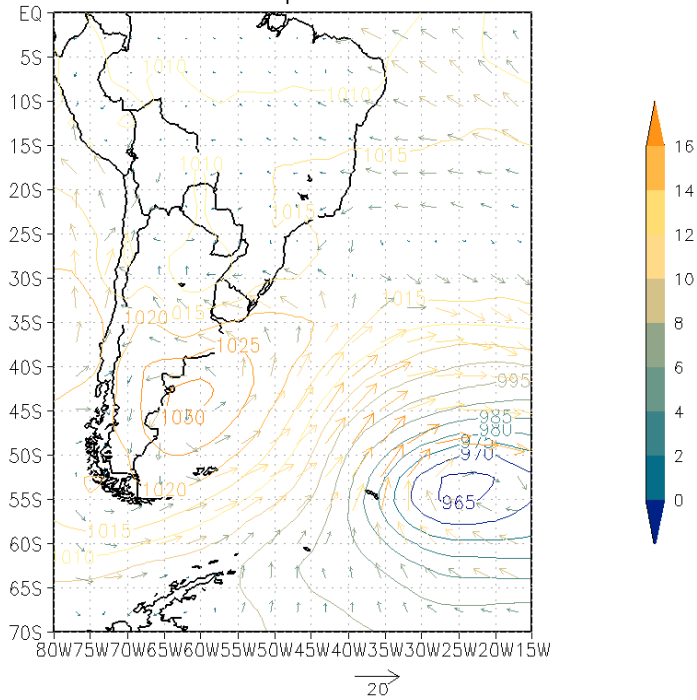


Figura 5.15: Presença do anticiclone, 31 de dezembro de 1992 (Carta de reanálise do NCEP).

Pressao e Vento em Superficie – 1995:3:12:6

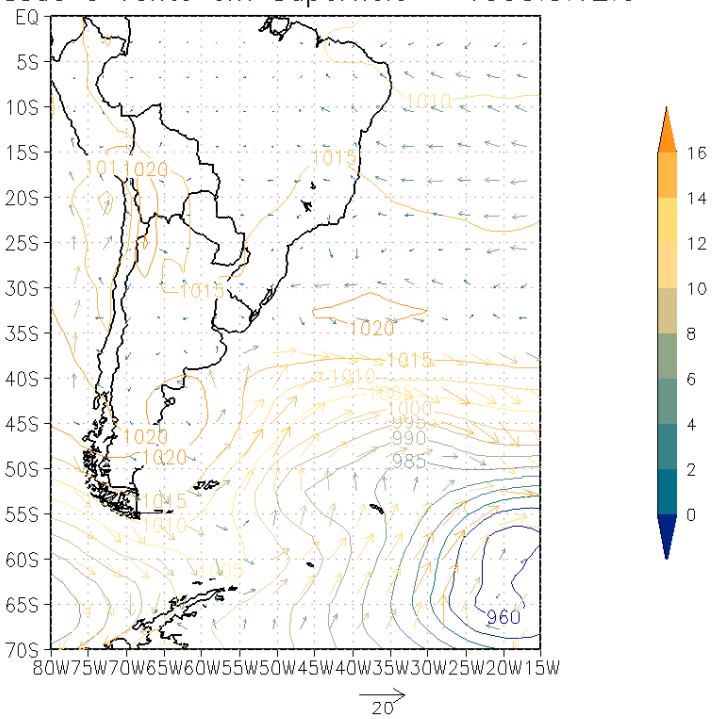


Figura 5.16: Presença do anticiclone, 12 de março de 1993 (Carta de reanálise do NCEP).



Pelos campos de vento e pressão em superfície da reanálise do NCEP, pode se observar na figura 5.16 que no dia 12 de Março de 1995 uma pista extensa é responsável pela chegada dispersiva de ondulações na Bacia de Campos nos dias 15 e 16 de março de 1995.

## 5.4 Caracterização quantitativa das chegadas dispersivas

### 5.4.1 Classificações dos eventos relativos à direção e estação do ano

Os casos selecionados que caracterizam as chegadas dispersivas contabilizam um total de 20 eventos (Tabela 5.1), correspondendo a aproximadamente 28% das ondulações que chegam à Bacia de Campos, com direção predominante de sul, sendo o verão a estação do ano com maior predominância.

Tabela 5.1: Os dias de chegadas dispersivas.

<b>Dias</b>	<b>Mês</b>	<b>Ano</b>	<b>Direção</b>
4 e 5	Junho	1991	Sul
14 e 15	Fevereiro	1992	Sul
24, 25 e 26	Março	1992	Sudoeste
4, 5 e 6	Junho	1992	Sul
8, 9 e 10	Junho	1992	Sudeste/sul
2 e 3	Setembro	1992	Sul/sudoeste
19 e 20	Outubro	1992	Sul
2 e 3	Novembro	1992	Sul
2 e 3	Janeiro	1993	Sul
15 e 16	Janeiro	1993	Sul
20 e 21	Março	1994	Sul
18 e 19	Abril	1994	Sul
24 e 25	Outubro	1994	Sul
1 e 2	Novembro	1994	Sul
14 e 15	Novembro	1994	Leste/sudeste
3 e 4	Dezembro	1994	Sul/sudoeste
9 e 10	Janeiro	1995	Sul
21 e 22	Fevereiro	1995	Sul
3 e 4	Março	1995	Sul
15 e 16	Março	1995	Sul

Cerca de 75% dos eventos selecionados possuem direção sul. Isto se deve ao fato de grande parte das ondulações serem geradas por sistemas de baixa pressão que se desenvolvem abaixo do paralelo 40<sup>o</sup> sul (CANDELA, 1997).



Figura 5.17: Gráfico de pizza representando a probabilidade de ocorrência de chegadas dispersivas em situações de bom tempo.

A figura 5.17 mostra que a estação do ano com maior predominância de chegadas dispersivas é o verão, seguido pela primavera, outono e o inverno. Este fato se dá, pois no verão o mar de NE tem presença marcante na área de acordo com SOUZA (1988) e como o estudo está sendo realizado para uma situação de bom tempo então esta característica é coerente.

#### 5.4.2 Identificação e classificação do período das ondulações

Foram identificadas para cada evento as seguintes informações: a onda com maior período ( $T_C$ ), a com menor período ( $T_S$ ) e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) entre ambas como se pode observar na tabela 5.2. Pode-se observar que todos os períodos de ondas são maiores do que 11 segundos e que todos os intervalos de tempo encontrados foram superiores ou iguais a 9 horas.

Tabela 5.2: Parâmetros relativos a cada evento.

Dias	Mês	Ano	$T_C$ (s)	$T_S$ (s)	$\Delta t$ (h)
4 e 5	Junho	1991	14,22	12,19	9
14 e 15	Fevereiro	1992	15,06	11,63	30
24, 25 e 26	Março	1992	18,96	11,77	36
4, 5 e 6	Junho	1992	16,10	12,90	30
8, 9 e 10	Junho	1992	15,06	12,80	9
2 e 3	Setembro	1992	16,10	12,80	24
19 e 20	Outubro	1992	15,06	11,13	21
2 e 3	Novembro	1992	14,23	12,28	12
2 e 3	Janeiro	1993	15,06	11,63	12
15 e 16	Janeiro	1993	15,06	11,63	24
20 e 21	Março	1994	16,00	12,19	24
18 e 19	Abril	1994	14,22	12,19	18
24 e 25	Outubro	1994	14,22	12,19	15
1 e 2	Novembro	1994	14,22	12,19	18
14 e 15	Novembro	1994	14,22	12,19	9
3 e 4	Dezembro	1994	18,29	13,47	30
9 e 10	Janeiro	1995	14,23	11,63	21
21 e 22	Fevereiro	1995	15,06	12,80	15
3 e 4	Março	1995	15,58	11,63	18
15 e 16	Março	1995	14,23	11,63	18

#### 5.4.2.1 Período de chegada

A distribuição de probabilidade de ocorrência do período de chegada das ondulações é apresentada na figura 5.18, com intervalos de classe de 1 segundo. O período médio de chegada foi de 15,24 segundos, sendo que apenas 10% das ondulações possuem períodos superiores a 18 segundos. A moda é de 14,22 segundos, sendo a maior probabilidade de ocorrência encontram-se entre os intervalos de período de 14 e 16 segundos.

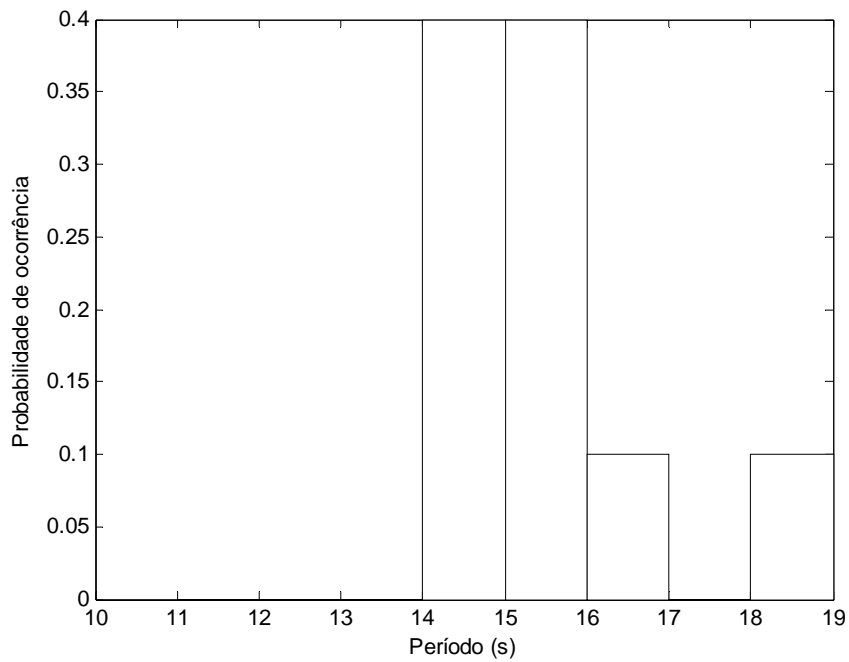


Figura 5.18: Histograma de distribuição de probabilidade do período de chegada.

#### 5.4.2.2 Período de saída

A figura 5.19 mostra o histograma de probabilidade de ocorrência do período de saída com intervalos de classe de 1 segundo. Mais de 50% dos períodos de saída estão entre o intervalo de 12 e 13 segundos. O período médio de saída é de 12,24 segundos e aquele com maior probabilidade de ocorrência é de 11,63 segundos, com 30% de probabilidade de ocorrência.

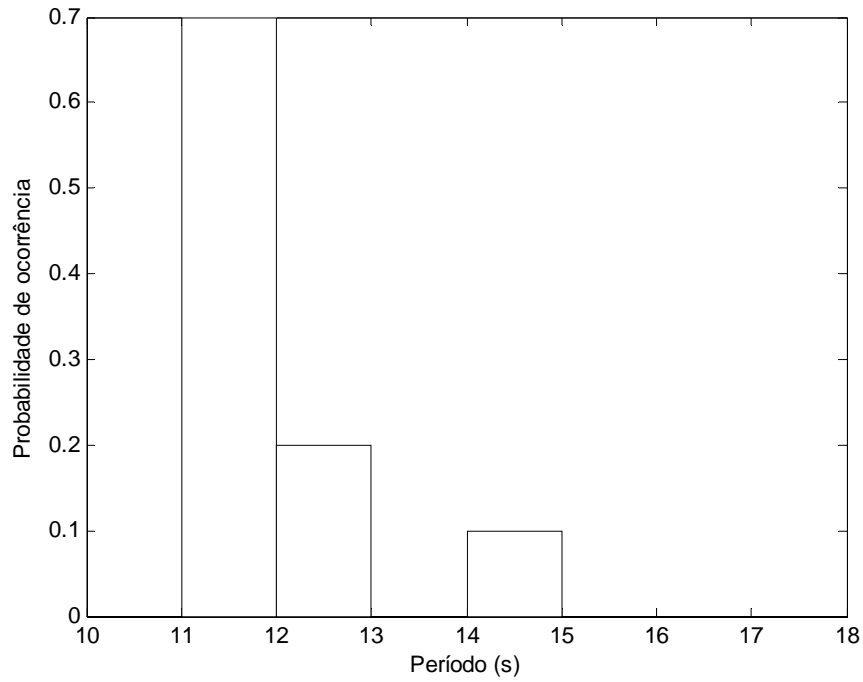


Figura 5.19: Histograma de distribuição de probabilidade do período de saída.

### 5.4.3 Tempo de permanência ( $\Delta t$ )

O tempo de permanência é considerado neste estudo como o intervalo de tempo entre o período de chegada e o período de saída de cada chegada dispersiva.

A figura 5.20 mostra o histograma de distribuição de probabilidade de ocorrência do tempo de permanência, com intervalos de classe de 5 horas. A média do tempo de permanência é de aproximadamente 20 horas e 35% permanecem por mais ou igual a 24 horas.

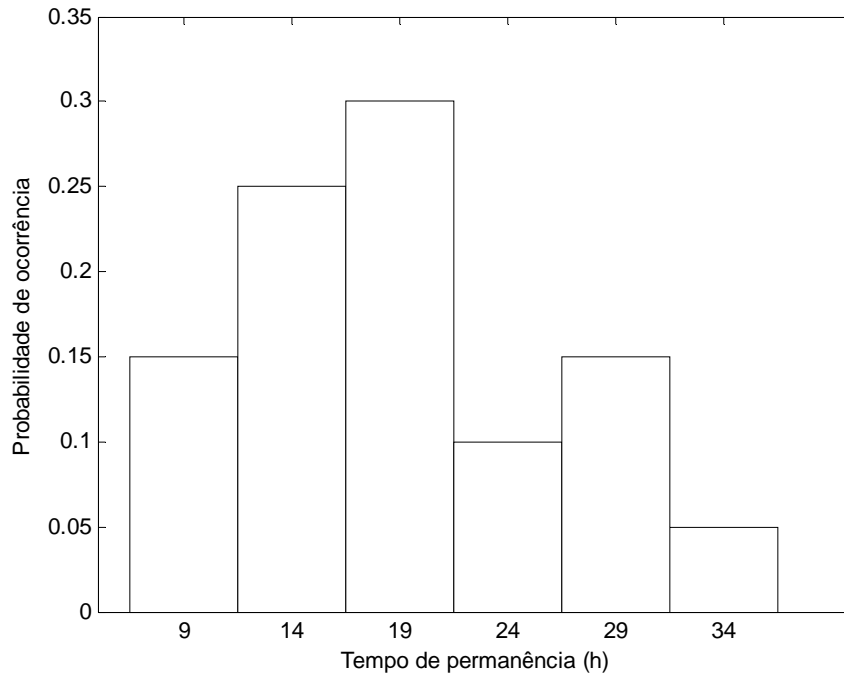


Figura 5.20: Histograma de probabilidade de ocorrência do tempo de permanência.

#### 5.4.4 Classificação da altura relacionada aos períodos

Esta análise é realizada para a altura das ondulações que possuem o maior e menor período. Ressalta-se que existem situações em que a altura entre o intervalo é superior às alturas relacionadas ao período de saída e de chegada. Logo foram realizadas 3 análises, sendo: altura correspondente aos períodos de chegada, altura correspondente aos períodos de saída e para os períodos correspondentes às maiores alturas entre os intervalos.

##### 5.4.4.1 Altura das ondulações correspondentes aos períodos de chegada

A figura 5.21 mostra o histograma de probabilidade de ocorrência de altura relacionada ao período de chegada com intervalos de classe 0,2 metros. A média de altura do histograma é de aproximadamente 1 metro, 35% possuem altura superior a 1 metro e 10% possuem altura superior a 2 metros.

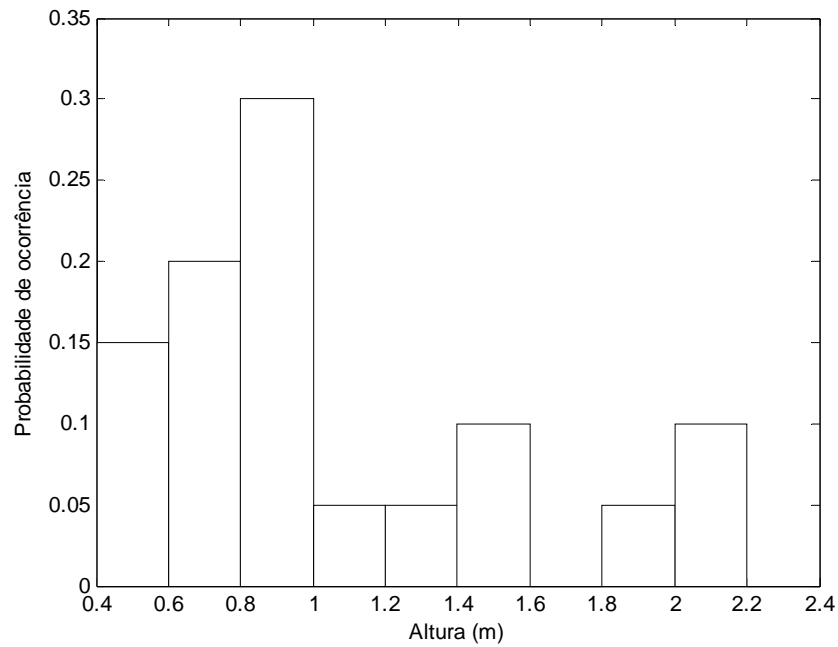


Figura 5.21: Histograma de distribuição de probabilidade de altura relacionada ao período de chegada.

#### 5.4.4.2 Altura das ondulações correspondentes aos períodos de saída

A figura 5.22 mostra o histograma de probabilidade de ocorrência de altura de ondulações relacionadas ao período de saída, com intervalos de classe de 0,2 metros. A média de altura é de aproximadamente 1 metro. Cerca de 45% das ondulações possuem altura superior a 1 metro e não existe nenhuma ondulação com altura superior a 2 metros.

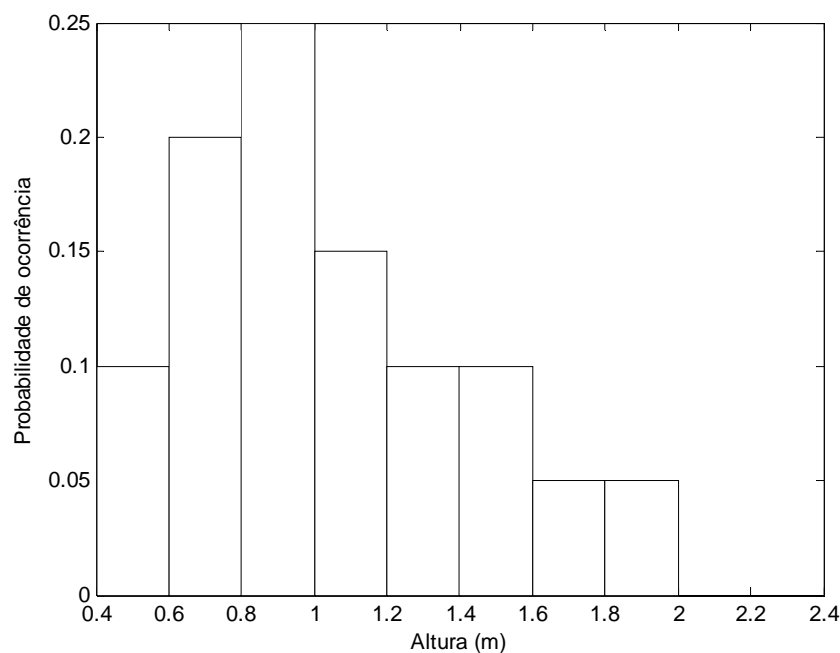


Figura 5.22: Histograma de distribuição de probabilidade de altura relacionado ao período de saída.

#### 5.4.4.3 Relação de altura entre o intervalo de maior e menor período

A figura 5.23 apresenta o histograma de probabilidade de ocorrência dos maiores valores de altura entre o intervalo do período de chegada e o período de saída, com intervalos de classe de 0,5 metros. A média de altura deste histograma é de aproximadamente 1,4 metros, 80% possuem altura superior a 1 metro e apenas 5% possuem altura superior a 3 metros.



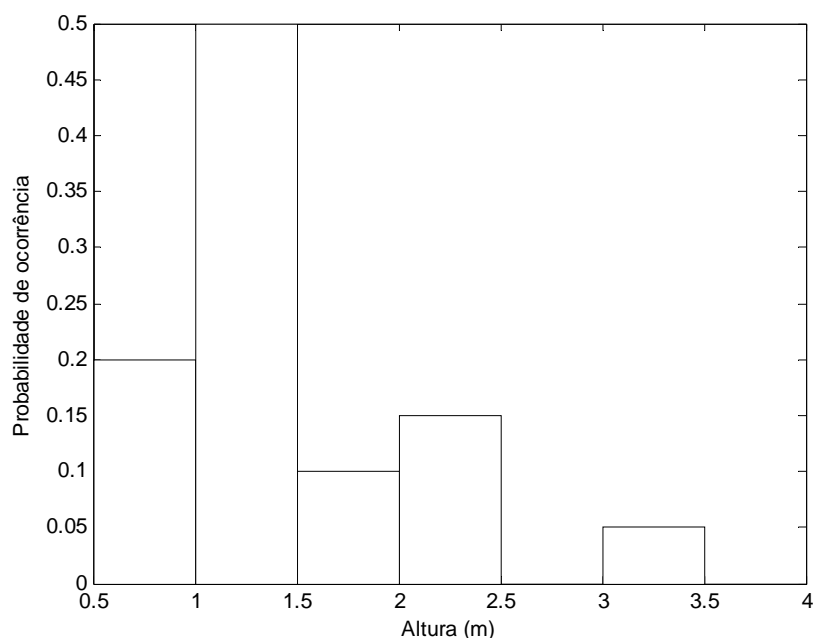


Figura 5.23: Histograma de distribuição de probabilidade de altura entre o intervalo de maior e menor período.

#### 5.4.4.4 Comparação entre alturas

O intuito destas análises de alturas foi o de encontrar um comportamento para as chegadas dispersivas a partir do primeiro registro que está relacionado ao período de chegada até o último registro que está relacionado com o menor período.

A figura 5.24 mostra todos os registros de chegadas dispersivas. Cada registro está associado à altura do período de chegada, a altura do período de saída e a maior altura entre o intervalo (é o período da chegada dispersiva). Como se pode observar 70% das ondulações possuem maior energia entre o intervalo, cerca de 25% possuem maior energia junto ao período de chegada e apenas 5% com maior energia junto ao período de saída.

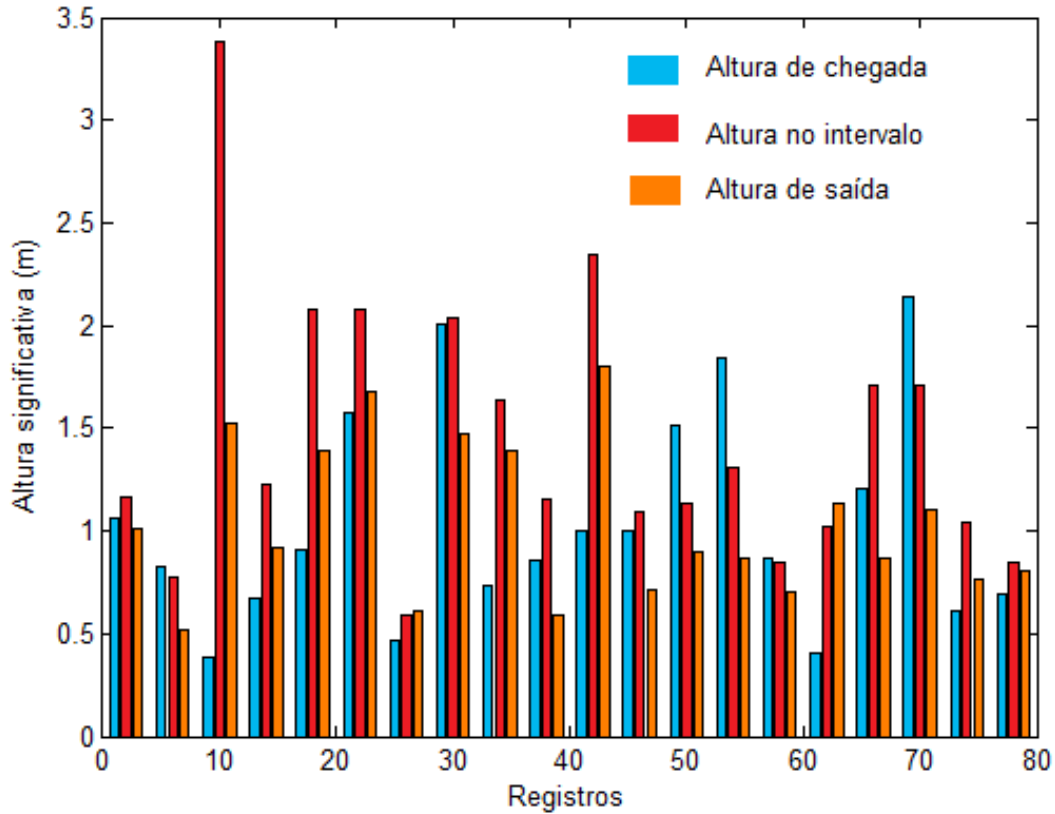


Figura 5.24: Gráfico de barras com todos os registros de chegadas dispersivas.

#### 5.4.5 Relação entre altura e o tempo de permanência

Nesta análise foi considerada a maior altura significativa identificada entre o intervalo. O intuito desta análise é verificar alguma característica da energia com o tempo de permanência, mas como se pode observar na figura 5.25 não existe correlação evidente.

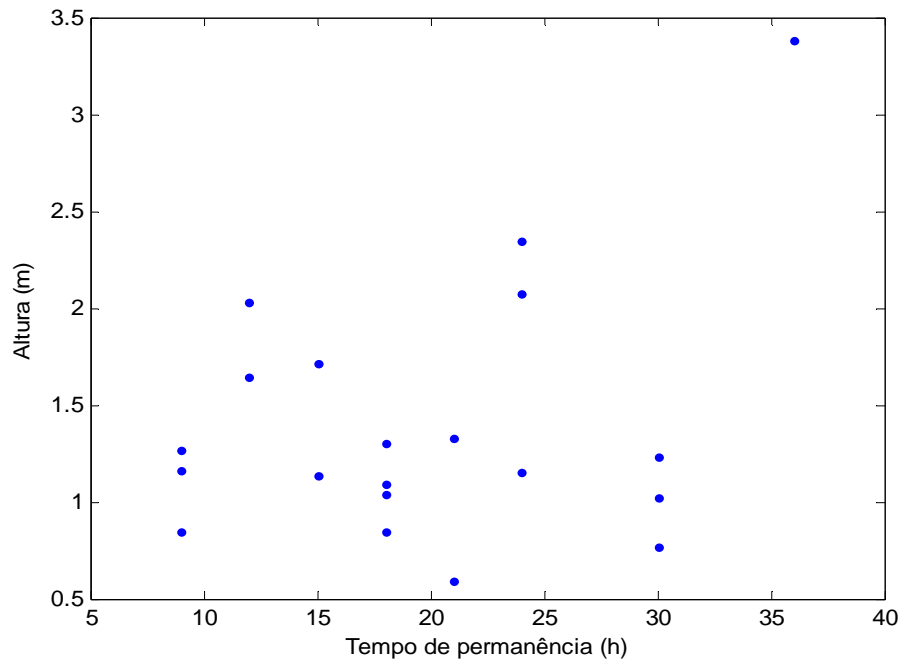


Figura 5.25: Relação entre altura e o tempo de permanência.

#### 5.4.6 Caracterização da distância e do tempo das chegadas dispersivas

Usando as equações (5.5) e (5.6) obtêm-se os resultados que estão sendo apresentados na tabela 5.3, sendo que todos os resultados apresentados são compatíveis se comparados com as fontes geradoras presentes nas cartas de reanálise, isto é, o tempo gasto pela onda até o ponto de observação é comum ao dia em que o sistema foi gerado. Os sistemas responsáveis pelas chegadas dispersivas neste estudo estão associados tanto a um anticiclone quanto a um ciclone, mas sendo o sistema de baixa pressão com maior ocorrência.

Tabela 5.3: Resultados de chegadas dispersivas.

Dias	Mês	Ano	D (km)	t (h)
4 e 5	Junho	1991	2156	54
14 e 15	Fevereiro	1992	4302	102
24, 25 e 26	Março	1992	3137	59
4, 5 e 6	Junho	1992	4312	96
8, 9 e 10	Junho	1992	1681	34
2 e 3	Setembro	1992	4312	96
19 e 20	Outubro	1992	2515	59
2 e 3	Novembro	1992	4312	108
2 e 3	Janeiro	1993	1721	40
15 e 16	Janeiro	1993	3442	81
20 e 21	Março	1994	3450	77
18 e 19	Abril	1994	4315	108
24 e 25	Outubro	1994	3593	90
1 e 2	Novembro	1994	4311	108
14 e 15	Novembro	1994	2156	54
3 e 4	Dezembro	1994	4312	84
9 e 10	Janeiro	1995	3762	94
21 e 22	Fevereiro	1995	4312	102
3 e 4	Março	1995	2582	61
15 e 16	Março	1995	3225	81

#### 5.4.6.1 Distância (D)

A distribuição da distância de todos os registros de chegadas dispersivas é apresentada na figura 5.26, onde os intervalos de classe são de 600 km. A moda do histograma é de 4312 km, sendo a maior probabilidade de ocorrência (aproximadamente 25%). Cerca de 65% das distâncias encontradas ultrapassam 3200 km. Nota-se ainda que a média de distância de todos os eventos é de aproximadamente 3400 km.

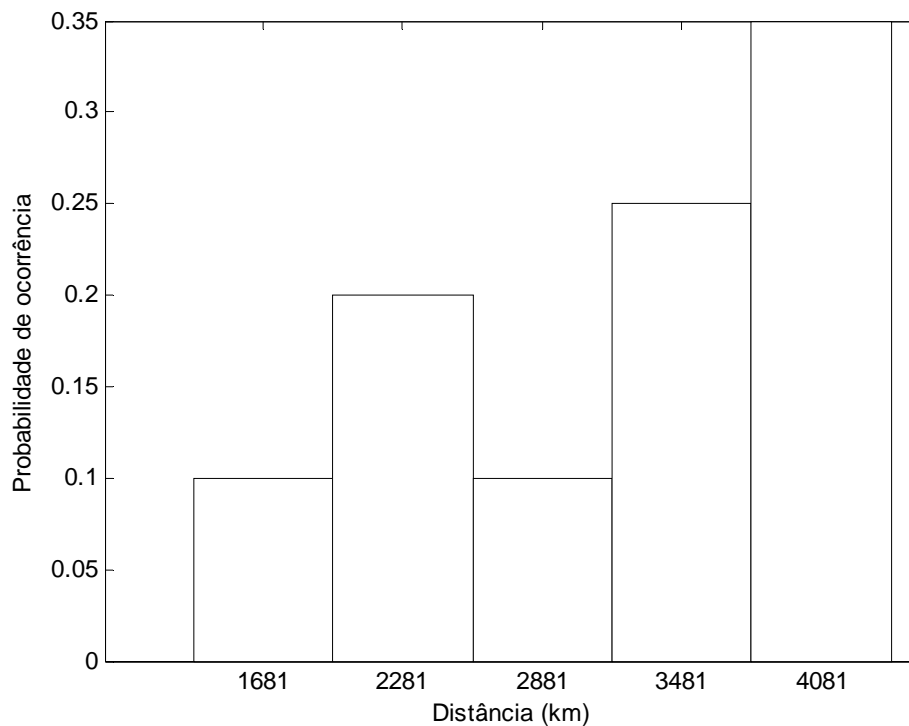


Figura 5.26: Histograma de probabilidade de ocorrência da distância.

#### 5.4.6.2 Tempo de chegada (t)

O histograma de probabilidade de ocorrência do tempo de chegada é mostrado na figura 5.27 com os intervalos de classe de 18 horas. Cerca de 65% do tempo de chegada é superior a 72 horas, isto significa que as ondas demoram mais de três dias para chegar até o ponto de observação. Nota-se ainda que a probabilidade de ocorrência de chegadas de ondas com menos de dois dias chega a 10%. O tempo médio de chegada é de aproximadamente 80 horas.

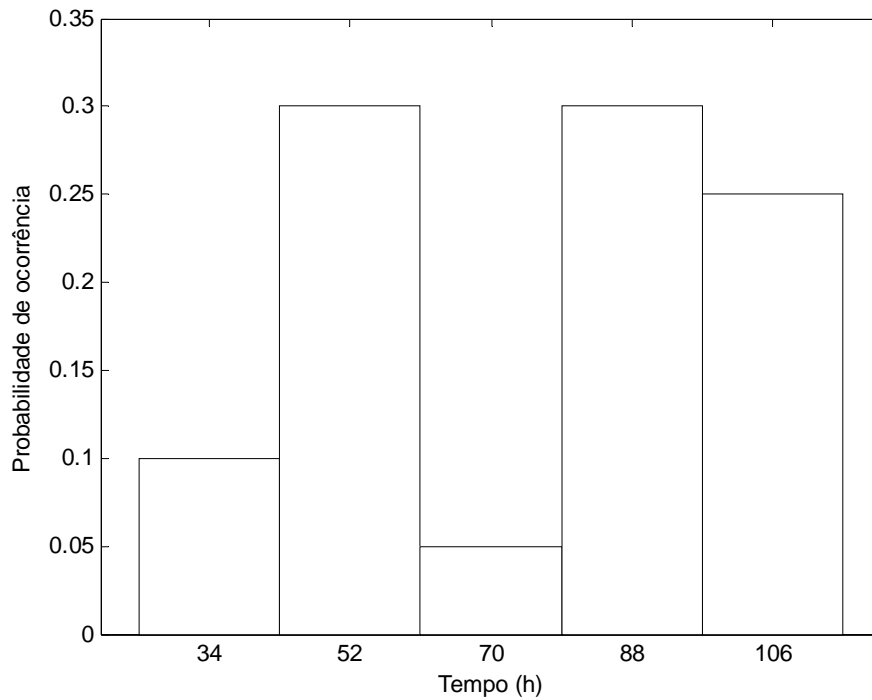


Figura 5.27: Histograma de probabilidade de ocorrência do tempo de chegada.

#### 5.4.6.3 Tempo de chegada e a distância percorrida pelas ondulações

A figura 5.28 mostra a correlação linear entre o tempo de chegada e a distância. A reta vermelha é um ajuste linear por mínimos quadrados. O coeficiente de correlação é de aproximadamente 0,96 o que confirma um ajuste satisfatório. É necessário ter bastante atenção, porque nem sempre a maior distância vai se relacionar com o maior tempo e o que vai definir esta relação é a velocidade de propagação.

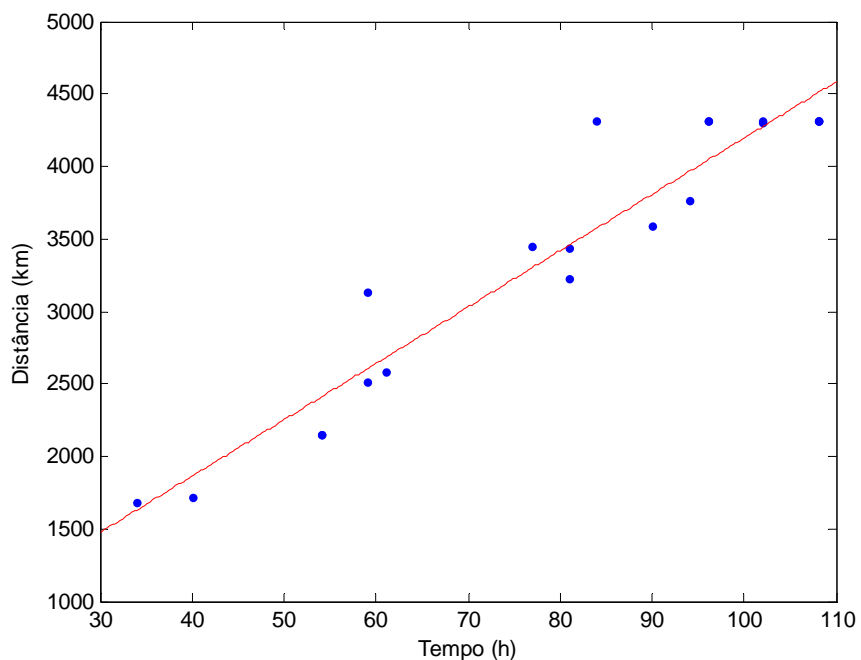


Figura 5.28: Relação entre o tempo de chegada e a distância.

### 5.4.7 Desenvolvimento de 3 eventos

A seguir será apresentado o desenvolvimento de 3 casos marcantes de chegadas dispersivas na Bacia de Campos.

#### 5.4.7.1 Evento 1: 24, 25 e 26 de Março de 1992

O primeiro evento analisado ocorreu nos dias 24, 25 e 26 de Março de 1992 (Figura 5.29). O objetivo desta análise é determinar a distância ( $D$ ) e o tempo ( $t$ ) gasto pela onda entre a zona de geração e o ponto de observação. Primeiramente foi analisado o evento com auxílio da técnica DAAT detectando-se ondulações com direção constante. Através da análise espectral verificou-se que o período foi diminuindo progressivamente, caracterizando uma chegada dispersiva.

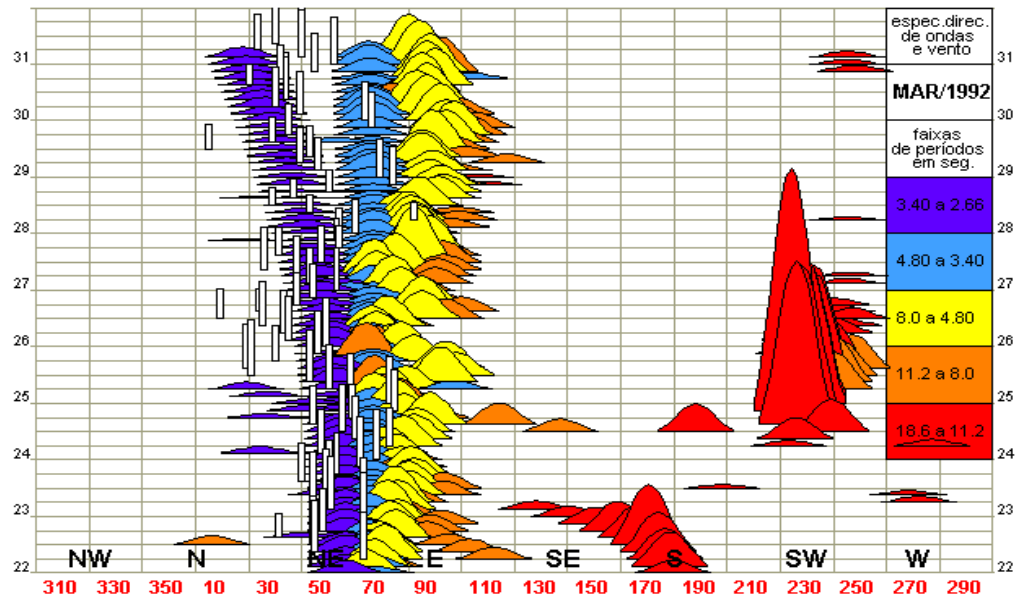


Figura 5.29: Situação de mar de bom tempo na Baía de Campos: março 1992 (Técnica DAAT).

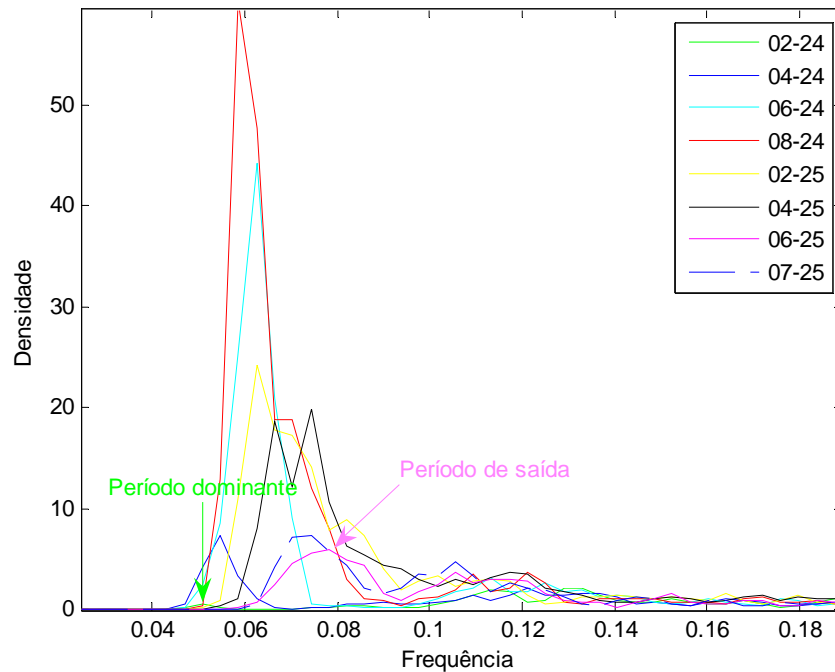


Figura 5.30: Mostra os espectros seguindo a ordem da chegada dispersiva (março 1992).



Na figura 5.30 foram plotados os registros com um intervalo de 6 horas a partir do registro com maior período até o período de saída e ainda um próximo registro mostrando o fim da chegada dispersiva. A legenda desta figura nos mostra uma seqüência de números que representam primeiramente o registro e em seguida o dia do evento. Por exemplo: 02-24, significa o segundo registro do dia 24.

Pela análise gráfica fica claro que o primeiro registro da legenda tem menos energia do que o último registro. De fato o primeiro apresenta uma altura significativa de aproximadamente 0,4 metros, já o sexto apresenta uma altura significativa de 1,5 metros. As ondulações identificadas possuem direção sudoeste com períodos maiores que 11 segundos. A ondulação com maior altura significativa, concomitante a este período, possui aproximadamente 3,38 metros que ocorreu no dia 24 de Março de 1992.

Desta maneira foi identificado que a onda com maior período ( $T_C$ ) ocorreu no dia 24 de março de 1992. A ondulação com menor período ( $T_S$ ) ocorreu no dia 25 de março de 1992 e o intervalo de tempo ( $\Delta t$ ) entre ambas foi de 36 horas. Sendo  $T_C = 18,96$  segundos e  $T_S = 11,77$  segundos. Usando as equações (5.5) e (5.6), temos que:

$$D \approx 3137 \text{ km e } t = 59 \text{ horas.}$$

Portanto, as ondulações percorreram desde a zona de geração até o ponto de observação 3137 km, sendo gerada no dia 21 de Março de 1992. Analisando as cartas de reanálise do NCEP conclui-se que distância e o tempo estimado são compatíveis, com o sistema de baixa pressão responsável por este fenômeno (Figura 5.31).

### Pressão e Vento em Superfície – 1992:3:21:12

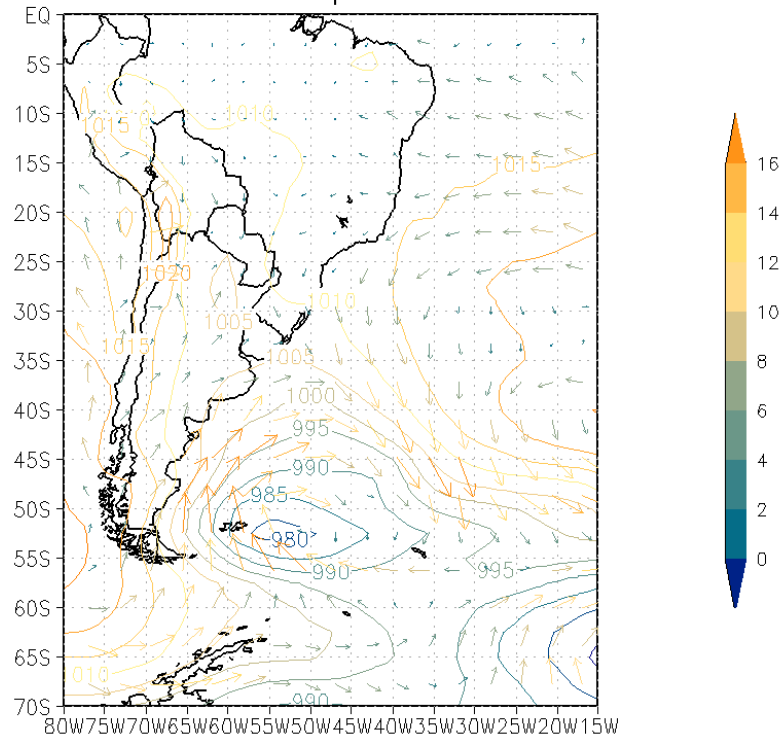


Figura 5.31: Carta de reanálise do NCEP contendo os campos de pressão e vento em superfície do dia 21 de Março de 1992.

#### 5.4.7.2 Evento 2: 8, 9 e 10 de Junho de 1992

Um evento bastante interessante foi identificado nos dias 08, 09 e 10 de Junho de 1992, onde o maior período detectado foi de 15,06 segundos no dia 8 de Junho de 1992 e no dia seguinte foi detectado o menor período de 12,8 segundos, mantendo a direção constante de sul.

Na figura a seguir foram representados todos os espectros com intervalos de 3 horas (Figura 5.32).

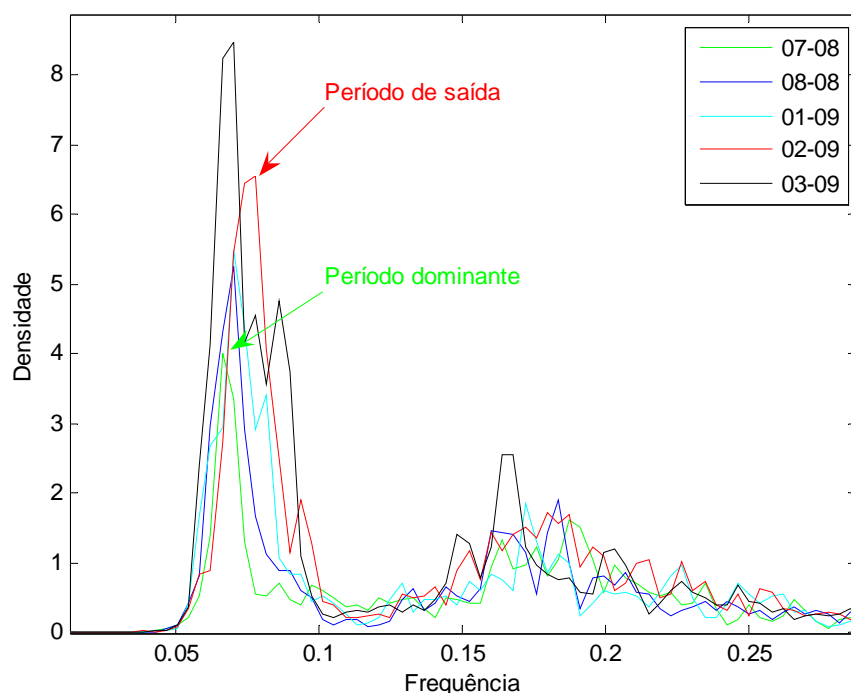


Figura 5.32: Espectros caracterizando as chegada dispersiva dos dias 08, 09 e 10 de Junho de 1992.

Acompanhando a ordem da legenda da figura 5.32, e seqüência do fenômeno, pode-se concluir que o registro do dia 8 de Junho tem menos energia do que o sétimo registro do dia 9 de Junho de 1992. De fato o segundo registro apresenta uma altura significativa de aproximadamente 1,4 metros enquanto o sexto apresenta 1 metro, sendo a maior ondulação identificada neste período igual a 1,4 metros. Acompanhando os espectros (figura 5.32) observa-se uma das características mais importantes de chegada dispersiva que é o período de chegada diminuindo com o passar do tempo.

Através das equações (5.5) e (5.6), mostram que as ondulações percorreram aproximadamente 1681km em 34 horas. Pelas cartas de reanálise observa-se que o sistema responsável pela geração das ondulações está associado ao sistema baixa pressão que se

encontra mais a leste do continente, daí conclui-se que os resultados foram satisfatórios. A figura 5.33 apresenta o sistema de baixa pressão.

Pressão e Vento em Superfície – 1992:6:7:0

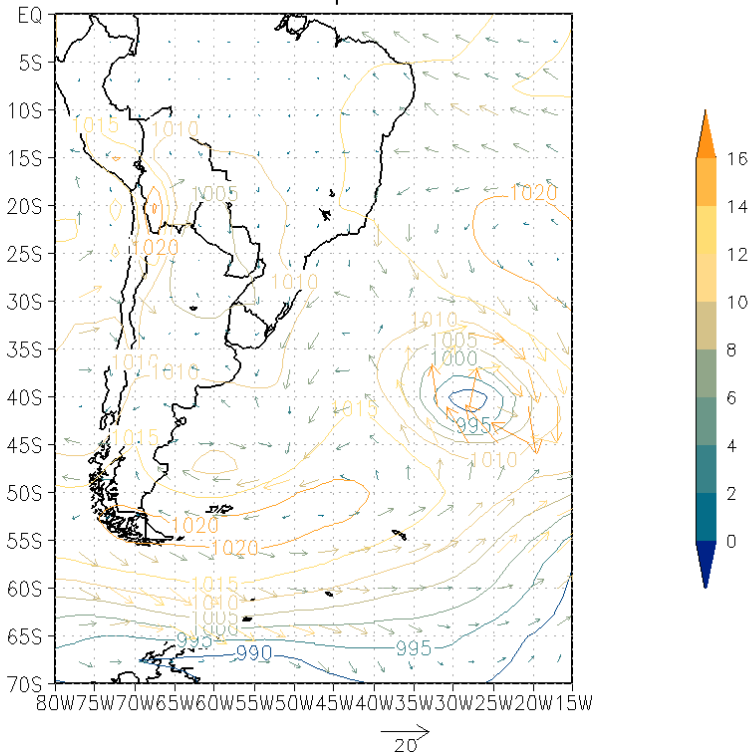


Figura 5.33: Carta de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície) do dia 21 de Março de 1992.

### 5.4.7.3 Evento 3: 24 e 25 de Outubro de 1994

Nos dias 24 e 25 de Outubro de 1994, através da técnica DAAT e da análise espectral, identifica-se a chegada dispersiva de ondulações (Figura 5.34) que foram geradas a uma distância de 3593 km, com tempo de aproximadamente 90 horas entre o ponto de origem até o ponto de observação.

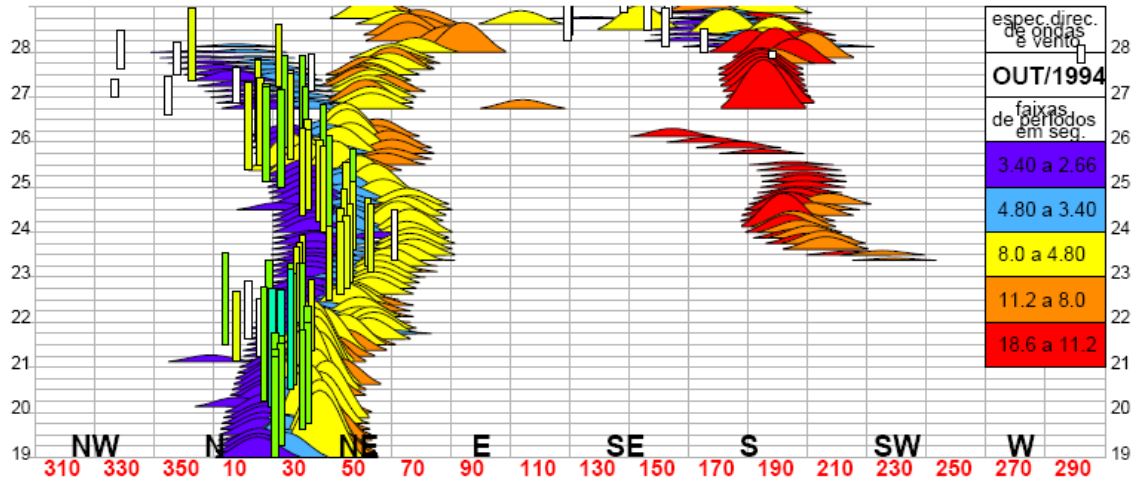


Figura 5.34: Situação de mar de bom tempo na Baía de Campos: outubro de 1994 (Técnica DAAT).

Os espectros (Figura 5.35) mostram o comportamento da chegada dispersiva da ondulação. A maior altura significativa identificada neste evento é de aproximadamente 1,5 metros.

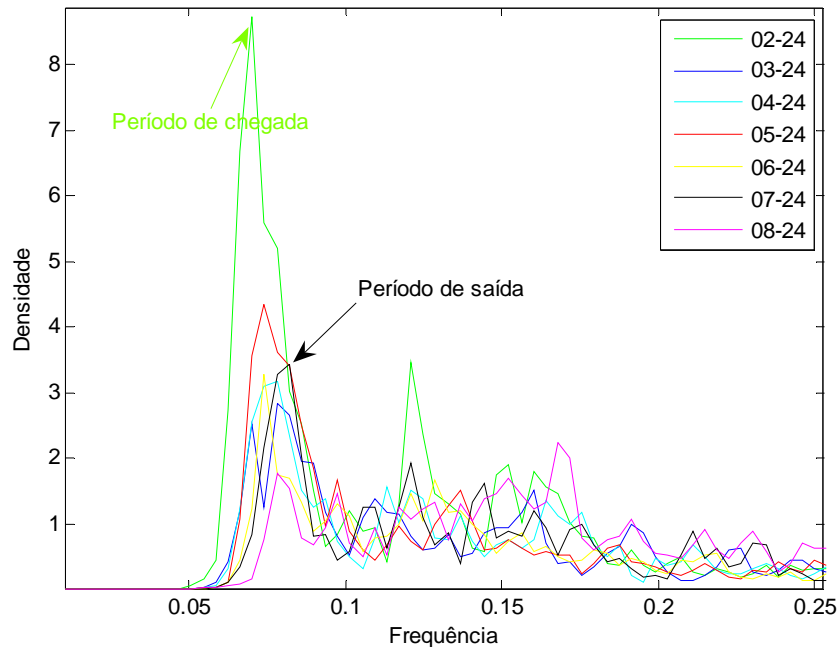


Figura 5.35: Espectros caracterizando as chegada dispersiva dos dias 24 e 25 de Outubro de 1994.

Pressão e Vento em Superfície – 1994:10:20:18

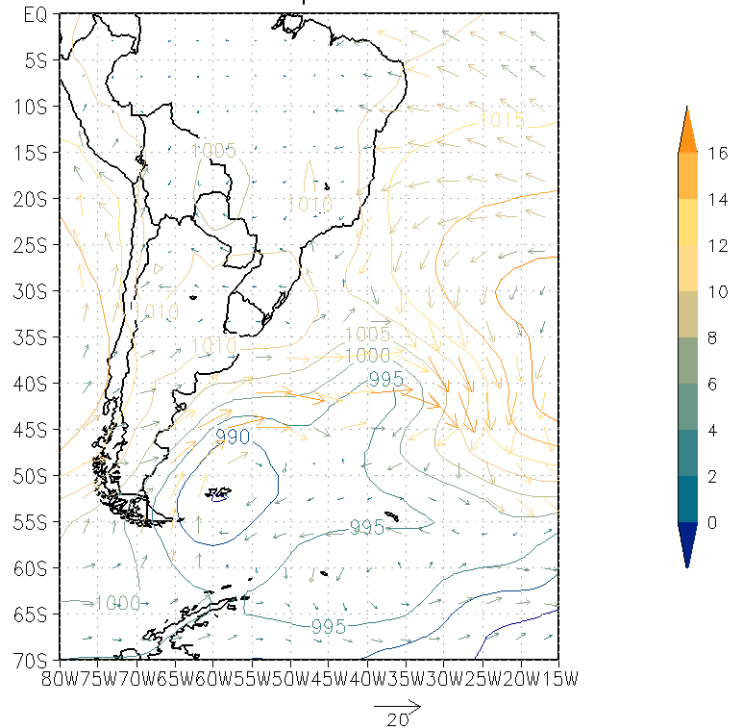


Figura 5.36: Carta de reanálise do NCEP (campos de pressão e vento em superfície) do dia 21 de Março de 1992.

Os resultados se mostraram compatíveis em relação às análises com as cartas de reanálise do NCEP (Figura 5.36). Portanto, a situação observada nos dias 24 e 25 de Outubro de 1994 foram geradas por um sistema de baixa pressão, localizado no sul da Argentina.

O desenvolvimento de todos os eventos citados (Tabela 5.1) é semelhante, então não havia necessidade de fazer este procedimento para todos os eventos.

## 5.5 Resumo das chegadas de ondulações

A tabela 5.4 mostra os resultados que foram identificados com a presença de chegadas de ondulações; contendo o ano, mês, dia, período de pico (T), altura significativa

(Hs), direção e associação ao sistema meteorológico. Nesta tabela foi apresentado apenas um registro por dia, aquele que representasse a maior energia.

Tabela 5.4: Resumo dos resultados de chegadas de ondulações.

Ano	Mês	Dia	T (s)	Hs (m)	Direção	Associado
1991	Abril	14	11,64	0,61	sudeste/sul	ciclone
1991	Abril	15	11,64	0,73	sudeste/sul	ciclone
1991	Abril	16	11,13	0,72	sudeste/sul	ciclone
1991	Abril	17	11,64	0,60	sudeste	ciclone
1991	Abril	18	11,13	0,57	leste/sudeste	ciclone
1991	Abril	19	11,13	0,52	sudeste	ciclone
1991	Junho	2	11,64	1,16	sudeste	ciclone
1991	Junho	3	11,13	0,85	leste/sudeste	ciclone
1991	Junho	4	14,22	1,16	sul	ciclone
1991	Junho	5	12,80	0,98	sul	anticiclone
1991	Agosto	10	14,22	1,80	sul	ciclone
1991	Agosto	11	13,47	2,07	sul	ciclone
1991	Agosto	23	15,06	0,81	sudeste	anticiclone
1991	Agosto	24	13,47	1,12	sudeste/sul	anticiclone
1991	Agosto	30	13,47	0,45	leste/sudeste	ciclone
1991	Agosto	31	16,00	0,62	leste/sudeste	ciclone
1991	Outubro	23	12,19	1,16	sul	ciclone
1991	Novembro	8	15,06	0,75	sudeste/sul	ciclone
1991	Novembro	9	16,00	0,72	sudeste/sul	ciclone
1991	Dezembro	1	11,13	0,62	sudeste	anticiclone
1991	Dezembro	9	16,00	0,67	sul	ciclone
1991	Dezembro	10	13,47	1,11	sul/sudoeste	ciclone
1991	Dezembro	11	12,19	0,92	sul	ciclone
1991	Dezembro	12	11,64	0,64	sul	ciclone
1991	Dezembro	17	11,63	0,57	sul/sudoeste	ciclone
1991	Dezembro	26	12,80	0,59	sudeste	ciclone
1992	Fevereiro	13	12,80	0,65	sul	ciclone
1992	Fevereiro	14	11,63	0,85	sul	ciclone
1992	Fevereiro	15	11,64	0,72	sul	ciclone
1992	Fevereiro	18	13,47	0,75	sul	ciclone
1992	Fevereiro	19	13,47	0,67	sul/sudoeste	ciclone
1992	Fevereiro	20	12,80	0,77	sul	ciclone
1992	Fevereiro	25	12,19	1,06	sul/sudoeste	ciclone

1992	Fevereiro	26	12,19	0,73	sul/sudoeste	ciclone
1992	Fevereiro	28	12,18	1,53	sul/sudoeste	ciclone
1992	Março	7	15,06	1,17	sudeste	ciclone
1992	Março	8	13,47	1,32	sudeste	ciclone
1992	Março	9	15,06	1,51	leste/sudeste	ciclone
1992	Março	15	12,80	1,02	sul	ciclone
1992	Março	16	12,80	0,84	sul	ciclone
1992	Março	21	12,19	0,73	sul/sudoeste	ciclone
1992	Março	22	12,80	1,87	sul	ciclone
1992	Março	23	12,80	0,74	sul	ciclone
1992	Março	24	17,07	3,38	sudoeste	ciclone
1992	Março	25	16,00	2,66	sudoeste	ciclone
1992	Março	26	13,47	1,12	sudoeste	ciclone
1992	Março	27	11,64	0,42	sudoeste	ciclone
1992	Março	30	14,22	0,50	sul/sudoeste	anticiclone
1992	Março	31	12,80	0,51	sul/sudoeste	ciclone
1992	Abril	14	11,64	0,78	leste/sudeste	ciclone
1992	Junho	4	13,47	1,13	sudeste/sul	ciclone
1992	Junho	5	13,47	1,23	sul	ciclone
1992	Junho	6	12,19	1,28	sul	ciclone
1992	Junho	7	12,80	0,76	sul	ciclone
1992	Junho	8	14,22	1,15	sul	ciclone
1992	Junho	9	14,22	1,67	sudeste/sul	ciclone
1992	Junho	10	17,07	2,08	sudeste/sul	ciclone
1992	Junho	21	11,64	1,18	leste/sudeste	ciclone
1992	Junho	22	11,13	0,52	leste/sudeste	ciclone
1992	Junho	23	12,80	0,51	leste/sudeste	ciclone
1992	Julho	1	13,47	1,36	sul	anticiclone
1992	Julho	2	14,22	1,73	sul	anticiclone
1992	Julho	20	12,80	2,63	sul/sudoeste	ciclone
1992	Julho	21	16,00	3,07	sul/sudoeste	ciclone
1992	Julho	22	12,80	1,88	sul/sudoeste	ciclone
1992	Agosto	9	11,13	0,63	sul	anticiclone
1992	Setembro	2	15,06	2,07	sul/sudoeste	ciclone
1992	Setembro	3	14,22	1,93	sul/sudoeste	ciclone
1992	Setembro	4	11,64	1,67	sul/sudoeste	ciclone
1992	Setembro	17	11,13	0,60	leste/sudeste	anticiclone
1992	Setembro	18	11,13	0,53	leste/sudeste	anticiclone
1992	Outubro	17	13,47	0,79	sul	ciclone



1992	Outubro	18	11,64	0,54	sudeste/sul	ciclone
1992	Outubro	19	11,13	0,61	sul	ciclone
1992	Outubro	20	13,47	0,63	sul	ciclone
1992	Outubro	25	16,00	0,82	sudeste/sul	ciclone
1992	Outubro	26	16,00	0,88	sul	ciclone
1992	Outubro	30	11,64	1,58	sul/sudoeste	ciclone
1992	Outubro	31	12,19	2,36	sul/sudoeste	ciclone
1992	Novembro	2	14,22	2,04	sul	ciclone
1992	Novembro	3	14,22	1,42	sul/sudoeste	ciclone
1992	Novembro	8	12,19	0,81	leste/sudeste	anticiclone
1992	Novembro	9	11,13	0,79	leste/sudeste	anticiclone
1992	Novembro	10	11,13	0,57	leste/sudeste	anticiclone
1992	Dezembro	18	12,19	0,93	sul	anticiclone
1993	Janeiro	2	12,80	1,08	sul	anticiclone/ciclone
1993	Janeiro	3	12,80	1,78	sul	anticiclone/ciclone
1993	Janeiro	15	15,06	0,86	sul	ciclone
1993	Janeiro	16	15,06	1,15	sul	ciclone
1994	Janeiro	28	12,19	1,79	sul/sudoeste	ciclone
1994	Janeiro	29	12,19	1,42	sul/sudoeste	ciclone
1994	Janeiro	30	11,64	0,60	sul	ciclone
1994	Fevereiro	15	12,80	0,77	sul	ciclone
1994	Fevereiro	16	12,80	0,89	sul	ciclone
1994	Fevereiro	22	13,47	1,02	sul	ciclone
1994	Fevereiro	23	12,19	1,02	sul	ciclone
1994	Fevereiro	24	15,06	0,69	sul	ciclone
1994	Fevereiro	25	14,22	0,76	sudeste/sul	ciclone
1994	Fevereiro	26	13,47	0,80	sul	ciclone
1994	Fevereiro	27	13,47	0,90	sudeste/sul	ciclone
1994	Fevereiro	28	14,22	0,90	sudeste/sul	ciclone
1994	Março	2	11,13	0,66	sul	ciclone
1994	Março	19	15,06	2,09	sul	ciclone
1994	Março	20	15,06	2,35	sul	ciclone
1994	Março	21	12,19	1,15	sul/sudoeste	ciclone
1994	Março	23	11,13	0,88	sul	ciclone
1994	Março	24	12,19	1,07	sudeste/sul	ciclone
1994	Abril	1	13,47	1,86	sul/sudoeste	ciclone
1994	Abril	18	13,47	1,10	sul	ciclone
1994	Abril	19	12,19	0,91	sul	ciclone
1994	Abril	30	12,80	1,18	sul/sudoeste	ciclone

1994	Maio	4	11,13	0,48	leste/sudeste	ciclone
1994	Maio	5	12,80	0,77	sul/sudoeste	ciclone
1994	Maio	18	12,80	0,43	sudeste/sul	ciclone
1994	Julho	1	14,22	1,84	sul/sudoeste	ciclone
1994	Julho	19	13,47	0,55	sul	ciclone
1994	Julho	20	12,80	0,94	sul	ciclone
1994	Julho	30	12,19	0,94	sudeste/sul	ciclone
1994	Setembro	15	13,47	1,95	sudeste	ciclone
1994	Setembro	16	12,19	1,16	leste/sudeste	ciclone
1994	Outubro	3	15,06	1,01	sul	ciclone
1994	Outubro	14	15,06	1,23	sudeste/sul	ciclone
1994	Outubro	15	15,06	1,53	sudeste	ciclone
1994	Outubro	16	12,80	0,77	sudeste/sul	ciclone
1994	Outubro	17	15,06	0,53	sudoeste	ciclone
1994	Outubro	18	14,22	0,73	sudeste	ciclone
1994	Outubro	24	14,22	1,51	sul	ciclone
1994	Outubro	25	11,64	0,74	sul	ciclone
1994	Outubro	26	12,19	0,94	sudeste	ciclone
1994	Outubro	27	12,80	1,42	sudeste/sul	ciclone
1994	Outubro	28	12,19	1,21	sul	ciclone
1994	Novembro	1	14,22	1,85	sul	ciclone
1994	Novembro	2	12,19	0,87	sul	ciclone
1994	Novembro	13	13,47	0,94	sul	anticiclone/ciclone
1994	Novembro	14	14,22	0,86	leste/sudeste	anticiclone/ciclone
1994	Novembro	15	13,47	0,85	leste/sudeste	anticiclone/ciclone
1994	Novembro	29	11,13	0,64	sul	anticiclone
1994	Dezembro	1	12,19	1,15	sul	anticiclone
1994	Dezembro	3	14,22	0,77	sul/sudeste	ciclone
1994	Dezembro	4	13,47	1,14	sul/sudeste	ciclone
1994	Dezembro	6	12,19	1,97	sul/sudoeste	ciclone
1994	Dezembro	7	12,80	1,58	sudoeste	ciclone
1995	Janeiro	9	14,22	1,68	sul	ciclone
1995	Janeiro	10	12,80	0,95	sul	ciclone
1995	Janeiro	27	12,19	1,49	sul/sudoeste	ciclone
1995	Fevereiro	20	17,07	2,83	sul/sudoeste	ciclone
1995	Fevereiro	21	16,00	3,29	sul/sudoeste	ciclone
1995	Fevereiro	22	13,47	1,71	sul/sudoeste	ciclone
1995	Março	3	12,80	1,04	sul	anticiclone
1995	Março	4	12,80	0,85	sul	ciclone

1995	Março	6	16,00	0,99	sul	ciclone
1995	Março	7	12,80	1,63	sul/sudoeste	ciclone
1995	Março	8	14,22	1,17	sul	ciclone
1995	Março	15	14,22	0,85	sul	anticiclone/ciclone
1995	Março	16	12,80	0,84	sul	anticiclone/ciclone
1995	Março	30	13,47	0,94	sudeste/sul	ciclone

Pelos resultados apresentados pode se observar que as ondulações com maiores energias estão oscilando na direção sul, sendo as localizadas na direção sul/sudoeste as mais energéticas.

A associação das chegadas de ondulações aos sistemas meteorológicos foi realizada através das cartas de reanálise do NCEP. Para cada chegada de ondulação foi investigada a zona de geração, só que muitas vezes não foi possível detectar as chegadas dispersivas. Assim, foram realizadas análises para investigar qual era sistema meteorológico que estava presente antes das chegadas das ondulações e desta maneira foram feitas essas associações. Por estas análises os resultados mostram que a maioria das chegadas de ondulações estão associadas aos ciclones.

## **5.6 Análise de valores extremos**

### **5.6.1 Conjunto de dados**

O conjunto de dados selecionados constitui uma amostra de 156 eventos considerados estatisticamente independentes e identicamente distribuídos, de acordo com a metodologia. O valor máximo selecionado foi de 3,38 metros, ocorrido em março de 1992. A figura 5.37 mostra o gráfico do conjunto de dados selecionados em ordem crescente. Os dados selecionados serão usados nas análises de valores extremos.

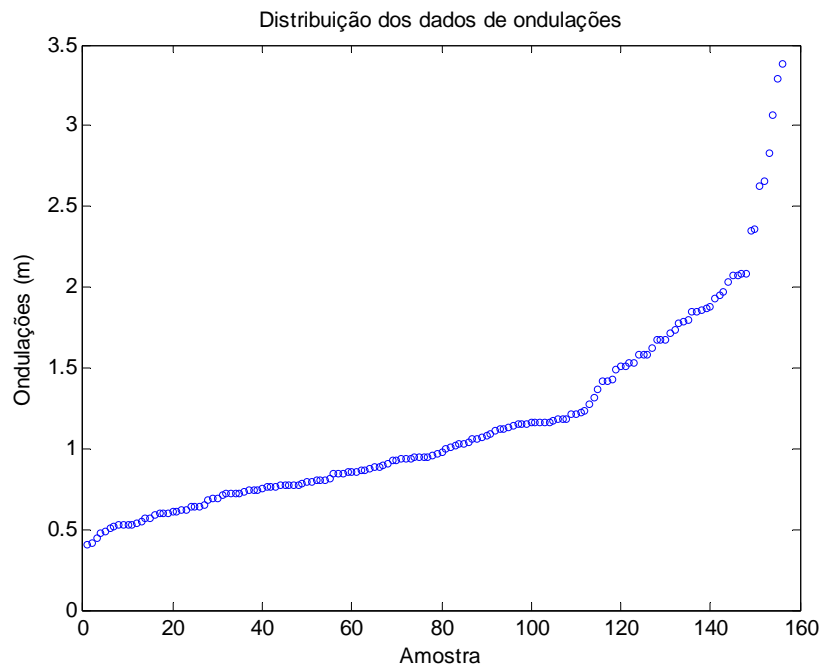


Figura 5.37: Conjunto de dados de ondulações.

### 5.6.2 Determinação do limiar

A determinação do limiar foi realizada a partir do cálculo da Mean Excess Function (Figura 5.38). Através do gráfico de Mean Excess Plot, observa-se um comportamento com características lineares acima de 2 metros, então daí foi selecionado o valor 2,07 metros como o limiar para a análise de extremo de ondulação. Para este limiar são determinados 10 valores acima, correspondendo a aproximadamente 6,5% do conjunto de dados. Aos dados acima do limiar, situados na cauda, será ajustado a uma distribuição do tipo GPD (Distribuição Generalizada de Pareto).

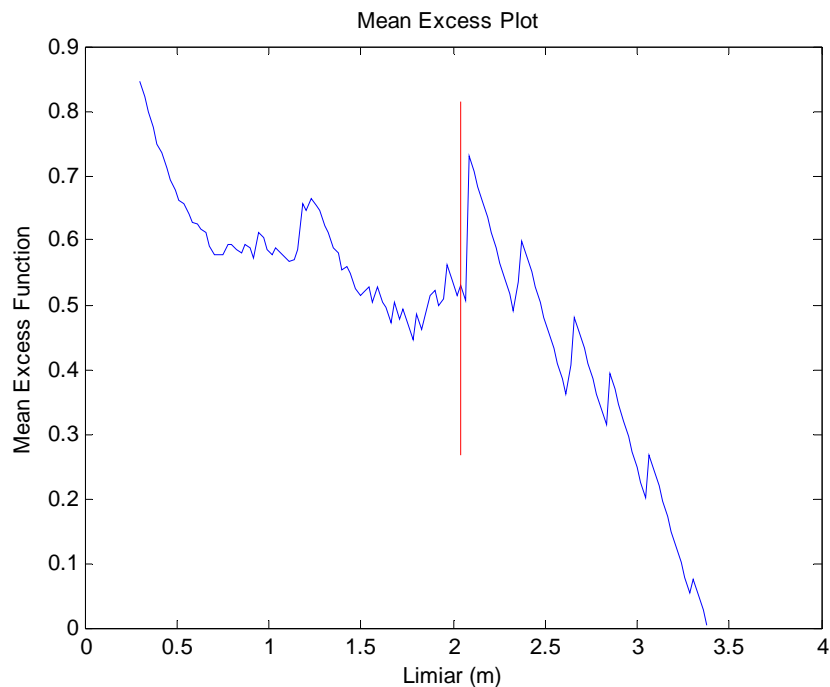


Figura 5.38: Gráfico de Mean Excess Plot.

### 5.6.3 Estimação de parâmetros e ajuste do modelo GPD

Os parâmetros,  $\xi$  (forma) e  $\beta$  (escala) do modelo de ajuste, foram determinados com o auxílio do método de Momentos Probabilísticos Ponderados ou Probability Weigh Moment (PWM). Os parâmetros estimados com os excessos acima do limiar encontram-se na tabela 5.5.

Tabela 5.5 : Estimadores GPD para os dados de ondulação (altura significativa).

Altura significativa	Estimador $\xi$	Estimador $\beta$
Hs	- 0,21164	0,72367

A distribuição dos dados acima do limiar (cauda) é dada pela equação (5.9). O ajuste da distribuição com os parâmetros estimados pode ser observado na figura 5.39, conclui-se que a distribuição se ajusta muito bem, com coeficiente de correlação de 0,9889.

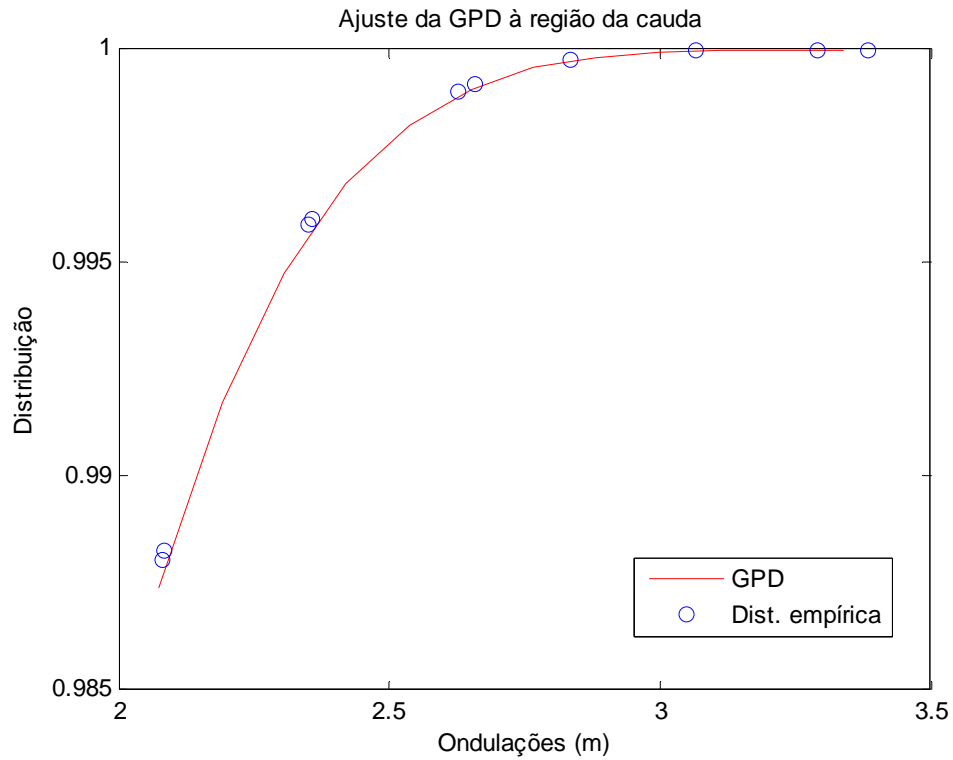


Figura 5.39: Ajuste da GPD aos dados de ondulações.

Outra análise interessante pode ser observada pela reta gerada a partir do desenvolvimento da equação (5.9) de acordo com CARDOSO JUNIOR (2004).

$$\left( \frac{n\bar{F}(u+y)}{N_u} \right)^{-\xi} = 1 + \frac{\xi}{\beta} y, \quad (5.11)$$

Onde:

$\beta$  = Estimador beta (escala);

$\xi$  = Estimador qsi (forma);

$u$  = Limiar (threshold);

$y$  = Excessos acima do limiar;

$N_u$  = Número de excedentes acima do limiar.

Em seguida a reta da equação (5.11) é comparada com os dados, e verifica-se (Figura 5.40) a boa qualidade do ajuste, com coeficiente de correlação de 0,9910.

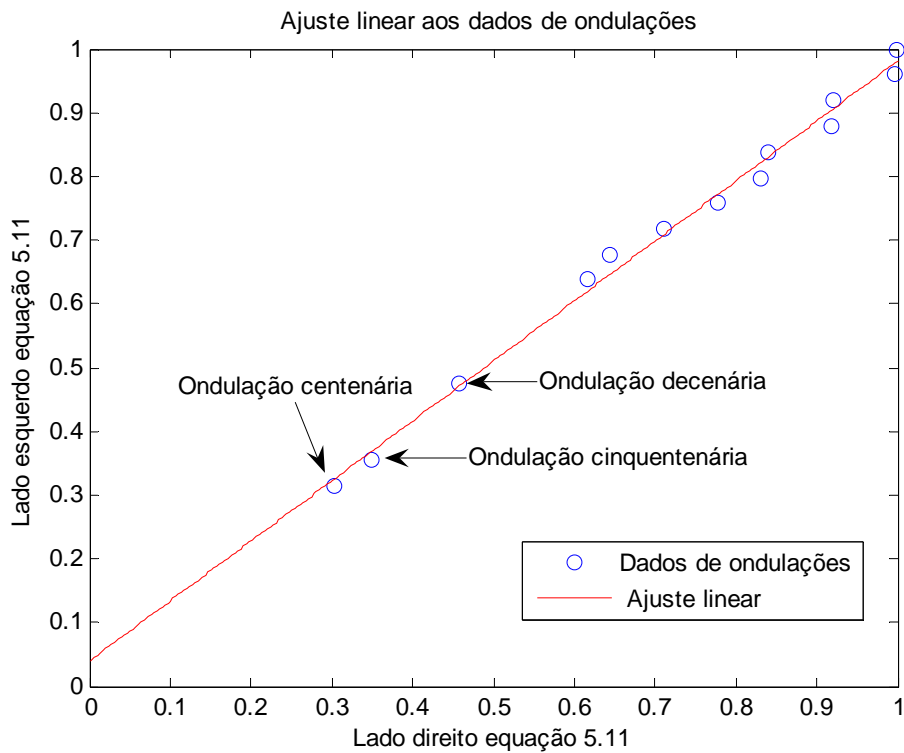


Figura 5.40: Ajuste linear aos dados de ondulações.

Pelos resultados apresentados, conclui-se que apesar de um conjunto limitado de dados acima do limiar é possível modelar a cauda da distribuição de ondulações por uma distribuição GPD acima do limiar determinado.

#### 5.6.4 Valores extremos

Pela equação (5.9), foram determinados os valores extremos de altura significativa de ondulações para o período de recorrência de 10, 50 e 100 anos:

- Ondulação Decenária (10 anos): 3,93 metros;
- Ondulação Cinquentenária (50 anos): 4,30 metros;
- Ondulação Centenária (100 anos): 4,46 metros.

Pela equação (5.10), verifica-se que quando o termo de  $(1-p)$  é igual a zero a equação tem-se o valor máximo da distribuição dado por

$$x_p = u - \frac{\beta}{\xi} \quad (5.12)$$

O ponto extremo da distribuição de ondulações é de 5,40 metros.



# Capítulo 6

## 6 Conclusões e Recomendações

A caracterização da chegada de ondulações na Bacia de Campos, em situações de bom tempo, é de grande importância para as operações de estruturas flutuantes. Neste trabalho foram apresentadas as principais características da chegada dessas ondulações. Resume-se a seguir os principais resultados obtidos.

Nos dados analisados, a chegada de ondulações representa um total de 12% do período de dados analisado, sendo o verão a estação do ano com maior ocorrência e o inverno a de menor incidência. Este resultado é coerente, uma vez que o estudo foi realizado para a situação de bom tempo, que é climatologicamente típica de verão. Já no inverno, as entradas de frentes frias desclassificam as situações como de bom tempo.

A maior ocorrência de chegada de ondulações, observada no conjunto de dados, ocorreu em 1994, na primavera. Aproximadamente 14% das chegadas de ondulações, sendo o mês de outubro responsável por 7%.

A direção sul é uma característica importante e predominante das ondulações. Essas possuem as maiores energias oscilando na direção sul, sendo a direção sul/sudoeste a mais energética. Outra característica importante, é que apenas 30% dos dados de altura significativa das ondulações são superiores a 1 metro e menos de 10% possuem alturas superiores a 2 metros. Os períodos com maior ocorrência de probabilidade estão entre 12 e 13 segundos, aproximadamente 34%, as ondulações com períodos superiores a 15 segundos somam aproximadamente 20%.

Pela análise das cartas de reanálise do NCEP (campos de ventos e pressão em superfície) e pelos resultados gerados pela técnica DAAT, pode-se concluir que a direção predominante de chegadas dispersivas na Bacia de Campos é de sul e que a zona de geração, na maioria das situações, está abaixo de 40<sup>o</sup> sul, reforçando o resultado de CANDELA (1997).

Pode-se concluir que maior parte das chegadas dispersivas de ondulações demoram mais de 2 dias para atingir à Bacia de Campos e a maioria percorre mais de 2500km desde a geração. Aproximadamente 35% das chegadas permanecem por pelo menos 24 horas.

Nos dias 24, 25 e 26 de Março de 1992 identificou-se a chegada dispersiva com maior energia, percorrendo uma distância de 3137km em um tempo de 59 horas e permanecendo na Bacia de Campos por aproximadamente 36 horas. Nesta situação identificou-se uma altura significativa de 3,38 metros.

A parte crítica da análise de valores extremos está relacionada com a etapa de seleção dos dados, pois as amostras de eventos precisam ser independentes e identicamente distribuídas. O conjunto de dados selecionados para análise de extremos neste trabalho é pequeno se comparado a outros conjuntos, mas não impediu uma boa avaliação, demonstrados pelos resultados obtidos.

O ajuste da GPD e a escolha do limiar foram consistentes confirmando a qualidade da seleção dos dados, e contribuindo para um bom desempenho na previsão do comportamento extremo dos dados. Os valores extrapolados, a seguir, são coerentes com a situação que se observa na Bacia de Campos. Os valores extremos de altura significativa das ondulações são os seguintes:

- Ondulação Decenária (10 anos): 3,93 metros;

- Ondulação Cinqüentenária (50 anos): 4,30 metros;
- Ondulação Centenária (100 anos): 4,46 metros.

## **6.1 Sugestões para Trabalhos Futuros**

Durante este trabalho, surgiu a idéia de se implementar um modelo de propagação de ondulações específico para a Bacia de Campos. As características obtidas neste trabalho podem ser utilizadas para calibrar o modelo.

Outro estudo bem interessante poderia ser também investigar, mais detalhadamente, o comportamento das fontes geradoras dessas ondulações, que variam sua posição no oceano Atlântico Sul.

## Referências Bibliográficas

- ALVES, J. H. G. M., 2006, *Numerical Modeling of Ocean Swell Contributions to the Global Wind-Wave Climate*. Ocean Modelling 11, 98-122.
- BEU, C. M. L., 2003, *Propagação Intersazonal de Ciclones e Anticiclones na América do Sul e o Deslocamento de Massas de Ar Frio durante as Estações de Transição*. Tese M. Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil.
- CANDELA, R. N., 1997, *Estudos de Casos de Ondas no Atlântico Sul através de Modelagem Numérica*. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CARDOSO JÚNIOR, H. G., 2004, *Análise Bivariada de Extremos de Onda e Vento na Bacia de Campos*. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- CASTRO, R. D., MOHRIAK, W. U., MEDEIROS, F., MANSUR, K. Disponível em <<http://www.drm.rj.gov.br/item.asp?chave=134>>. Acesso em: 20 de Novembro 2006.
- DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A., 1984, *Water wave mechanics for engineers and scientists*. Prentice Hall. 353 p.
- DERECZYNSKI, C. P., 1992, *Climatologia da Bacia de Campos*. Relatório Técnico SEPRON/CENPES/PETROBRAS 024/92.
- EMBRECHTS, P., KLUPPELBERG, C., MIKOSCH, T., 1997, *Modeling Extremal Events*. Statistical Methods for Extremal Events, chapter 6. Berlin, Springer Press.
- GUMBEL, E. J., 1958, *Statistics of Extremes*. New York, Columbia University Press.
- HAMILTON, G. D., 1992, *Measurement of Long-Period, Low-Amplitude Swell in the Western North Atlantic Ocean*. American Meteorological Society, vol. 9, p.645-658.

- MELO, E. F., ALVES, J. H. G. M., 1993, *A Note the Arrival of Long Traveled Swell to the Brazilian Coast*. Anais X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, vol.5, p.362-369.
- MELO, E. F.; ALVES, J.H.G.M. 1995, “*Intrumental confirmation of the arrival of North Atlantic swell to the Ceará coast*”. 4<sup>th</sup> International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Rio de Janeiro, RJ, COPEDEC IV: 1984-1996.
- MENDES, A. L. T., 2005, *Investigação Sobre a Dispersão de Ondas de Gravidade na Bacia de Campos*. Tese M.Sc. , COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MENDES, B. V. C., 2004, *Introdução à Análise de Eventos Extremos*. E-papers serviços editoriais, 232 p..
- MENDES, D., 2006, *Regimes de Circulação no Atlântico Sul e sua Relação com a Localização e Intensidade de Sistemas Activos e com Balanço de Vapor na Região*. Tese D.Sc., Universidade de Lisboa, Portugal.
- MUNK, W.H., MILLER, G.R., SNODGRASS, F.E., BARBER, N.F. 1963. “*Directional Recording of swell from distant storms*”. Phil. Trans. Royal Soc. London, A 255: 505-584.
- PINHO, U. F., 2003, *Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos*. Tese M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PARENTE, C. E., 1999, *Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil;
- PARENTE, C. E., LIMA, J. A., VIOLANTE-CARVALHO, N., ASSUNÇÃO, C. B. , 2001, *Wave and Wind Extreme Values in Good Weather Situations in the Campos*

*Basin, off Rio de Janeiro*. International Conference on Offshore Mechanics and Artic Engineering, June.

SILVA, V. R., 2006, *Modelagem Condicional de Valores Extremos Multivariados*. Tese de M. Sc, IM/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SOUZA, M. H. S., 1988, *Clima de Ondas ao Norte do Estado do Rio de Janeiro*. Tese de M. Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SPHAIER, S. H., GOULART, M. P., SALES, J. S., SILVA, S. H. S. C., 2005, *Uso Prático de Modelos Matemáticos em Operações com Sistemas Flutuantes de Armazenamento de Óleo*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, julho de 2005.

PEZZA, A. B., 2003, *Ondas de Frio de na América do Sul e as Trajetórias dos ciclones e Anticiclones Extratropicais: Climatologia Sinótica*. Tese D. Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil.

VIOLANTE-CARVALHO, N., 1998, *Investigações sobre o Clima de Ondas na Bacia de Campos e Correlação com Situações Meteorológicas Associadas*. Tese de M. Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

# Apêndice A

## A Dedução de Equações

### A.1 Equação do método Ridge Line

O desenvolvimento da equação para estimar a distância entre a zona de geração até o ponto de observação consiste primeiramente em considerar que as ondas foram geradas em um mesmo instante. Pela teoria linear as ondas com maiores períodos se propagam com maiores velocidades do que aquelas com menores períodos. Usando a hipótese de que as ondas foram geradas em um mesmo instante, chega-se às seguintes equações:

$$D = c_g t = \frac{g}{4\pi} T_s t \quad (\text{A.1})$$

$$D = c_g (t - \Delta t) = \frac{g}{4\pi} T_c (t - \Delta t) \quad (\text{A.2})$$

Onde:

$D$  = distância percorrida;

$c_g$  = velocidade de propagação;

$t$  = tempo percorrido pela ondulação;

$\Delta t$  = intervalo de tempo entre o período de chegada e de saída;

$T_s$  = período de saída ou menor período;

$T_c$  = período de chegada ou maior período.

As equações (A.1) e (A.2) mostram, respectivamente, a distância percorrida pelas ondulações com menores e maiores períodos.

Igualando as equações (A.1) e (A.2), tem-se:

$$\begin{aligned}\frac{g}{4\pi} T_s t &= \frac{g}{4\pi} T_c (t - \Delta t) \\ T_s t &= T_c (t - \Delta t) \\ t &= \frac{T_c \Delta t}{(T_c - T_s)}\end{aligned}\tag{A.3}$$

Desta forma é possível estimar a distância percorrida pela ondulação de maior período. Substituindo o resultado obtido em (A.3) na equação (A.2), obtêm-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned}D &= \frac{g}{4\pi} T_c \left[ \frac{T_c \Delta t}{(T_c - T_s)} - \Delta t \right] \\ D &= \frac{g}{4\pi} T_c \left[ \frac{T_c \Delta t - \Delta t (T_c - T_s)}{(T_c - T_s)} \right] \\ D &= \frac{g}{4\pi} T_c \left[ \frac{T_s \Delta t}{(T_c - T_s)} \right] \\ D &= \frac{g}{4\pi} \left( \frac{T_c T_s}{T_c - T_s} \right) \Delta t\end{aligned}\tag{A.4}$$

Para estimar a distância percorrida pelas ondulações foi utilizada a equação (A.4) e em seguida calculado o tempo gasto desde a zona de geração até o ponto de observação.



## A.2 Equação da distribuição de excessos acima do limiar através da GPD

A distribuição condicional do excesso  $Y = X - u$  denotada por  $F_u$ , é dada por:

$$\begin{aligned} F_u(y) &= P(Y \leq y | X > u) & (A.2.1) \\ &= P(X - u \leq y | X > u) \\ &= \frac{F_X(u+y) - F_X(u)}{\bar{F}_X(u)}, & y \geq 0. \end{aligned}$$

Temos que,

$$\bar{F}_u(y) = P(X - u > y | X > u) = \frac{\bar{F}_X(u+y)}{\bar{F}_X(u)} \quad (A.2.2)$$

Logo,

$$\bar{F}_X(u+y) = \bar{F}_u(y)\bar{F}_X(u) \quad (A.2.3)$$

De acordo com MENDES (2004), o limite de  $\bar{F}_u(y)$  converge para  $\bar{G}_{\xi,\beta}(x)$  e  $\bar{F}_X(u)$  converge para  $\frac{N_u}{n}$ . Onde  $\bar{G}_{\xi,\beta}(x)$  é aproximação para distribuição dos excessos acima do limiar  $u$ , é dada por:

$$\bar{G}_{\xi,\beta}(x) = \left(1 + \xi \frac{x}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (A.2.4)$$

Portanto,

$$\bar{F}_X(u+y) = \frac{N_u}{n} \left( 1 + \xi \frac{y}{\beta} \right)^{\frac{1}{\xi}} \quad (\text{A.2.5})$$

$p$  = Probabilidade de não-excedência,  $p = 1 - \bar{F}(x) = \left( 1 - \frac{1}{N} \right)$ .

Para determinar os valores extremos  $(x_p)$  tem-se que a probabilidade de não-excedência é dada por  $p = 1 - \bar{F}(x)$ , logo  $\bar{F}(x) = 1 - p$  e como  $x_p = y + u$ :

$$x_p = u + \frac{\beta}{\xi} \left[ \left( \frac{n}{N_u} (1-p) \right)^{-\xi} - 1 \right] \quad (\text{A.2.6})$$

Através do desenvolvimento da equação (A.2.5), chega-se à reta:

$$\left( \frac{n\bar{F}(u+y)}{N_u} \right)^{-\xi} = 1 + \frac{\xi}{\beta} y, \quad (\text{A.2.7})$$