

GEORGINA JACINTHO MARTINS

**DINÂMICA DA ZONA DE ARREBENTAÇÃO E SUAS POTENCIAIS
CONSEQÜÊNCIAS NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA COSTA
ADJACENTE A DESEMBOCADURA SUL DO COMPLEXO ESTUARINO DE
PARANAGUÁ – PR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia – Área de Concentração: Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia Ambiental.

Orientador: Dr. Eduardo Marone

Co-orientadores: Dr. Rodolfo José Angulo

Dr. Carlos Alberto Borzone

CURITIBA

2002

Martins, Georgina Jacintho

Dinâmica da zona de arrebentação e suas potenciais
conseqüências no transporte de sedimentos na costa adjacente a
desembocadura sul do complexo estuarino de Paranaguá / Georgina
Jacintho Martins. — Curitiba, 2002.

vii, 62 f. : il.; grafs., maps., tabs.

Orientador: Eduardo Marone

Co-orientadores: Rodolfo José Angulo, Carlos Alberto Borzone
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Ciências da Terra.

1. Costa – Sedimentos marinhos – Paranaguá (PR). 2. Correntes de
maré. 3. Estuários – Paranaguá (PR). I. Marone, Eduardo. II. Angulo,
Rodolfo José. III. Borzone, Carlos Alberto. Título.

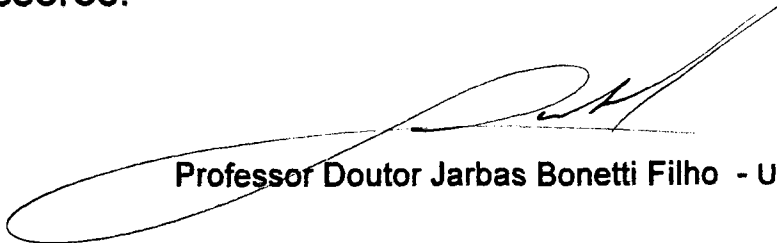
CDD 20 551.4702

TERMO DE APROVAÇÃO

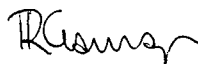
Georgina Jacintho Martins

“DINÂMICA DA ZONA DE ARREBENTAÇÃO E SUAS POTENCIAIS CONSEQÜÊNCIAS NO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA COSTA ADJACENTE A DESEMBOCADURA SUL DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ-PR”

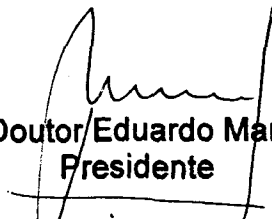
Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada pelos Professores:



Professor Doutor Jarbas Bonetti Filho - UFSC



Professor Doutor Ricardo de Camargo - USP



Professor Doutor Eduardo Marone - UFPR
Presidente

Curitiba, 8 de Novembro de 2002.

*Dedico este trabalho à
Nayara e Rafaela*

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
LISTA DE TABELAS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos	04
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	05
2.1 Localização da área	05
2.2 Clima	06
3. ESTADO DA ARTE	08
3.1 Ondas	08
3.2 Ondas e transporte de sedimentos	15
3.3 Correntes longitudinais à costa	18
3.4 Ventos locais	19
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Estação de amostragem	20
4.2 Trabalho de campo	20
4.3 Cálculo do fluxo médio, transporte médio de material particulado em suspensão (MPS) e transporte de sedimentos por tração	21
5. RESULTADOS	26
5.1 Parâmetros de ondas	26

5.2 Correntes e transporte paralelo à costa	32
5.3 Componente paralela à costa (NE – SW) e as variações da maré	36
5.4 Ventos locais	39
5.5 Ponto amostral comparativo – Ilha do Mel	44
6. DISCUSSÃO	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO	60

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Eduardo Marone pela orientação e oportunidade para o meu desenvolvimento científico.

Ao Dr Rodolfo José Angulo e Carlos Alberto Borzone pela confiança e orientação.

Ao Convênio APPA-CEM (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina – Centro de Estudos do Mar) pela concessão de bolsa de estudos e pelos suporte durante a realização deste trabalho.

Ao Clécio José Lopes de Quadros pelo estímulo e apoio em todas as coletas de campo, e em todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Nelson Novaes Jr. e Ana Cristina Novelino Penna Franco pelo imenso carinho e amor que indiretamente se espelhou nesse trabalho.

Ao Maurício Noernberg pela paciência, prestabilidade e amizade .

Ao Luiz Fernando C. Lautert, pelas contribuições e pelo convívio.

Aos colegas Vicente de Paula Prata, Murilo S. Klingenfuss pelas discussões informais.

Aos amigos do Laboratório de Oceanografia Geológica, Marcelo Lamour, Alfredo e Lydio pela paciência .

À Mariluci Zanela pela disposição nas correções das referências bibliográficas e pelo incentivo.

À Nilva pela amizade, apoio e correções.

Aos barqueiros Abrão P. de Campos e José Serafim.

Aos professores, funcionários, colegas e amigos do CEM, em especial aos Laboratórios de Física Marinha e de Oceanografia Geológica, que direta e indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À Palmira e Maneco pelo incentivo, apoio e pelos pensamentos positivos.

À Guilhermina, que sempre me apoio e me deu confiança necessária para prosseguir neste árduo caminho.

RESUMO

O presente trabalho caracterizou os parâmetros de ondas e analisou o potencial hidrodinâmico para o transporte de sedimentos por tração e de material particulado em suspensão (MPS), em decorrência do regime de ondas e das correntes de marés atuantes na costa adjacente a desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá. A área estudada apresenta uma dinâmica complexa, devida: sua localização, morfologia e interação de vários processos costeiros atuantes em seus limites. Os objetivos principais foram o de caracterizar os parâmetros de ondas; identificar as correntes paralelas à costa e compreender o potencial das correntes para o transporte de sedimentos, quantificando a provável ordem de grandeza. A caracterização dos parâmetros de ondas e das correntes paralelas foram obtidas através de fundeios nas proximidades da zona de arrebenção da praia do Balneário Atami, sendo utilizado um ondógrafo direcional InterOcean S4. Os resultados apontaram que a direção preferencial de chegada de ondas é de SE, sendo que a direção predominante de transporte médio longitudinal à costa foi de Nordeste para Sudoeste. As inversões das correntes associadas à variações da maré indicaram uma efetiva influência das correntes de marés, atuantes na desembocadura sul da Baía de Paranaguá, na direção do transporte médio. A hidrodinâmica local mostrou-se diretamente relacionada a estas condicionantes, estando ligadas ao balanço das forças das correntes de maré e da incidência dos trens de ondas. Com base nos resultados obtidos, foram apresentadas algumas sugestões visando incentivar a implementação de estratégias de monitoramento e estudo das ondas, correntes e transporte costeiro, possibilitando, desta forma, o uso adequado deste tipo de informação no manejo e gerenciamento de zonas litorâneas.

ABSTRACT

This work presents a characterization of wave parameters and climate and it analyzes the hydrodynamic potential for the transport of sediments due to traction and as suspended particulate matter (SPM), carried out both by coastal currents or due to the wave regime and the tidal circulation acting in the adjacent coast of the southern outlet of Estuarine Complex of Paranaguá. This area presents a complex dynamics, due to its location, morphology and the interaction of several coastal processes acting among its limits. The main objective was to characterize the wave parameters and climate; to identify the coastal currents, and to understand the potential of these currents for the transport of sediments, quantifying the probable order magnitude. The characterization of the waves parameters and of the coastal currents was obtained through mooring a directional wave and current gauge InterOcean S4 in the proximity of the surf zone of Atami beach, PR. The results suggested that the preferential direction of wave propagation is SW and that the predominant direction of the mean transport, parallel to the coast, was from Northeast to Southwest. The inversion of the parallel currents was associated to the tidal changes and they indicated an effective influence of the tidal currents, acting in the southern outlet of the Bay of Paranaguá, in the directional sense of the mean mass transport. The hydrodynamic complexity of the place was directly related to these constraints, being linked to the net balance of the forcings of the tidal currents and the incidence of the waves. With base in the obtained results, some suggestions were presented with the objective of suggesting strategies for the study of waves, currents and coastal transport, as a powerful tool for managing coastal zone problems.

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - ALTURA, PERÍODO E DIREÇÃO DE ONDAS ENTRE OS DIAS 21 DE AGOSTO DE 1982 E 21 DE JANEIRO DE 1983, ONDÓGRAFO INSTALADO ENTRE A PRAIA DE LESTE E A ILHA DE CURRAIS	09
TABELA 3.2 - PERÍODO MÉDIO (SEG) E ALTURA MÉDIA (M) DE ONDAS PARA O PARANÁ	11
TABELA 5.1 - DIREÇÃO PREDOMINANTE, ALTURA SIGNIFICATIVA (H_s), ALTURA MÁXIMA ($H_{máx}$) E PERÍODO DA ONDA SIGNIFICATIVA (T_s), PARA A ESTAÇÃO DE ATAMI NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2000 ATÉ JUNHO DE 2001	31
TABELA 5.2 - FLUXO MÉDIO E TRANSPORTE MÉDIO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS), NO BALNEÁRIO DE ATAMI	33
TABELA 5.3 - DIREÇÃO PREDOMINANTE, ALTURA SIGNIFICATIVA (H_s), ALTURA MÁXIMA ($H_{máx}$) E PERÍODO SIGNIFICATIVO (T_s) NA ESTAÇÃO ILHA DO MEL NO PERÍODO DE JULHO DE 2001 À JANEIRO DE 2002	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - LOCALIZAÇÃO E BATIMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO	05
FIGURA 3.1 - TREM DE ONDAS NA ISÓBATA DE 20 M ADJACENTE À DESEMBOCADURA DA BAÍA DE PARANAGUÁ	12
FIGURA 3.2 – DIAGRAMA DE REFRAÇÃO PARA ONDAS COM DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE 115°	13
FIGURA 3.3 – MODELO UTILIZANDO 90° DE DIREÇÃO E 8 SEGUNDOS DE PERÍODO PARA O LITORAL PARANAENSE	14
FIGURA 3.4 – MODELO UTILIZANDO 180° DE DIREÇÃO E 10 SEGUNDOS DE PERÍODO PARA O LITORAL PARANAENSE	14
FIGURA 3.5 – PERFIL DE VELOCIDADE DE UMA CORRENTE NUM PONTO FIXO SOBRE O FUNDO. AS SETAS INDICAM A DIREÇÃO DO FLUXO E O COMPRIMENTO DE CADA SETA É PROPORCIONAL À VELOCIDADE DE CORRENTE A AQUELA ALTURA DO FUNDO	16
FIGURA 4.1 - GRÁFICO PROPOSTO POR YALIN (1972) ONDE A CURVA EM LINHA SÓLIDA REPRESENTA O LIMIAR DE MOVIMENTAÇÃO DE GRÃO, SENDO QUE A ÁREA ACIMA DESSA LINHA REPRESENTA UMA CONDIÇÃO TEÓRICA DE MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS E A ÁREA ABAIXO REPRESENTA UMA CONDIÇÃO TEÓRICA SEM MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS (MODIFICADO DE MILLER ET AL. 1977, IN ARAÚJO, 2001)	23
FIGURA 5.1 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS - 21.01.2000	26
FIGURA 5.2 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 23.03.2000	27
FIGURA 5.3 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 27.04.2000	28

FIGURA 5.4 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 28.06.2000	28
FIGURA 5.5 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 28.07.2000	29
FIGURA 5.6 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 09.11.2000	30
FIGURA 5.7 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 05.01.2001	30
FIGURA 5.8 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 06.06.2001	31
FIGURA 5.9 - DESLOCAMENTO TEÓRICO DE UMA PARTÍCULA EM SUSPENSÃO DURANTE OS PERÍODOS DOS FUNDEIOS - VETOR PROGRESSIVO	35
FIGURA 5.10 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 21.01.2000	36
FIGURA 5.11 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 23.03.2000	37
FIGURA 5.12 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 27.04.2000	37
FIGURA 5.13 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 28.06.2000	38
FIGURA 5.14 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 28.07.2000	38

FIGURA 5.15 - VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE - SW DA CORRENTE E O LIMAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 09.11.2000	39
FIGURA 5.16 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 23.03.2000	40
FIGURA 5.17 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 27.04.2000	41
FIGURA 5.18 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 28.06.2000	42
FIGURA 5.19 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 28.07.2000	43
FIGURA 5.20 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 09.11.2000	44

1 . INTRODUÇÃO

As regiões costeiras apresentam uma dinâmica muito particular, devido a interação de diversos agentes atuantes em seus limites, tais como, ondas, marés, correntes litorâneas e processos atmosféricos, os quais conferem considerável complexidade ao entendimento dos processos atuantes nestas áreas.

A costa do Estado do Paraná estende-se por aproximadamente 100 km na direção NE-SW, entre as coordenadas 25 20' – 25 55' de latitude sul e 48 10' – 48 35' de longitude oeste, sendo, segundo ANGULO (1993), predominantemente arenosa, interrompida apenas por alguns pontais rochosos e pelas desembocaduras das baías de Guaratuba e de Paranaguá.

De acordo com a configuração geomorfológica e características da dinâmica costeira, é possível identificar no Paraná três tipos principais de costas: estuarinas ou protegidas (1316,8km), oceânicas ou de mar aberto (61,1km) e de desembocaduras (105,1km) (ANGULO et al., 1996).

As costas estuarinas ou protegidas são aquelas que ocorrem no interior dos estuários e não apresentam influência significativa da dinâmica das desembocaduras. Caracterizam-se pela dinâmica dominada pelas marés e pela presença de extensas planícies de marés recobertas principalmente por manguezais.

As costas oceânicas são aquelas voltadas para mar aberto e que não apresentam influência significativa das desembocaduras estuarinas. Estas são dominadas por ondas e correntes de deriva litorânea, estando associadas principalmente a praias arenosas, que, segundo ANGULO (1996), apresentam processos de erosão e sedimentação sazonais.

As costas associadas às desembocaduras localizam-se na área de influência das desembocaduras do mar de Ararapira, baía de Paranaguá, canal do Superagui, baía de Guaratuba e rio Saí-Guaçu. Estas costas caracterizam-se pela ocorrência de praias arenosas e, em alguns locais protegidos, por pequenas planícies de marés. Ocorrem próximas às desembocaduras tanto na parte interna dos estuários como nas áreas de mar aberto.

Morfológica e sedimentologicamente, as praias associadas a desembocaduras são semelhantes às oceânicas, sobretudo as localizadas de face ao mar aberto.

Contudo, possuem dinâmica mais complexa, dominada não apenas por ondas e correntes de deriva litorânea mas também por correntes de maré (ANGULO et al.,1996).

Neste trabalho, efetuou-se um monitoramento dos processos hidrodinâmicos (ondas, correntes e marés) em um balneário localizado nas adjacências da desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, através de fundeios com ondógrafos e correntômetros, realizados nas proximidades da zona de arrebentação (após desta na direção de mar aberto) de ondas desta praia.

As ondas oceânicas são formadas através de perturbações da superfície líquida, induzidas principalmente por ventos e tempestades, além de atividades sísmicas. Sendo assim, energia e movimento são transmitidos para a massa d'água na direção de propagação da força perturbadora.

Segundo WRIGHT e SHORT, (1984) as ondas incidentes de mar afora representam a principal entrada de energia para os sistemas praias e a variabilidade destes sistemas fica, portanto, diretamente dependente da variabilidade do próprio clima de ondas.

Para PEREIRA *et al.* (2000), ondas são as principais responsáveis pelo transporte de sedimentos em praias. O conhecimento das alturas, dos períodos e das direções das ondas na zona de arrebentação, bem como as características geomorfológicas das praias são fundamentais para o entendimento da evolução morfológica da costa, permitindo, por exemplo, prever respostas a possíveis ações antrópicas.

Para se calcular o transporte litorâneo de sedimentos são necessárias informações sobre as características hidrodinâmica do local e conhecer as ondas na zona de arrebentação, pois as mesmas, assim como as marés em alguns casos, são responsáveis pelas correntes longitudinais à costa.

O conhecimento da variação temporal e da estatística dos parâmetros de onda e a compreensão dos eventos meteorológicos que geraram os respectivos estados de mar, são alguns dos parâmetros que compõem o estudo do clima de ondas para uma determinada região. Portanto quanto maior for o conhecimento do clima de ondas melhor será a compreensão dos processos morfodinâmicos que ocorrem na costa.

A presente dissertação teve como finalidade contribuir para a compreensão dos parâmetros de ondas na costa adjacente a desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, o qual, por sua vez, possibilitou análises do potencial para o transporte de material particulado em suspensão e o transporte de sedimentos por tração neste setor da costa. Para as atividades portuárias, as análises obtidas no trabalho apresentam-se significativas, pois o Canal da Galheta, canal de acesso ao porto de Paranaguá, sofre problemas de assoreamento, sendo as correntes e o transporte de sedimentos longitudinais à costa adjacente à desembocadura sul do estuário, prováveis causas deste processo.

1.1 OBJETIVOS

Esta dissertação apresenta como objetivo geral estudar a hidrodinâmica da costa adjacente à desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, com especial ênfase na zona imediatamente atrás da arrebentação no Balneário Atami, utilizando-se os parâmetros de ondas e correntes.

Como objetivos específicos apresenta-se:

- Caracterizar a altura e período das ondas significativas;
- Determinar a direção predominante de incidência de ondas ao longo dos períodos das amostragens;
- Identificar e quantificar correntes paralelas à costa;
- Estimar o potencial transporte médio de material particulado em suspensão para este setor da costa durante períodos das amostragens assim como o potencial transporte por tração.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

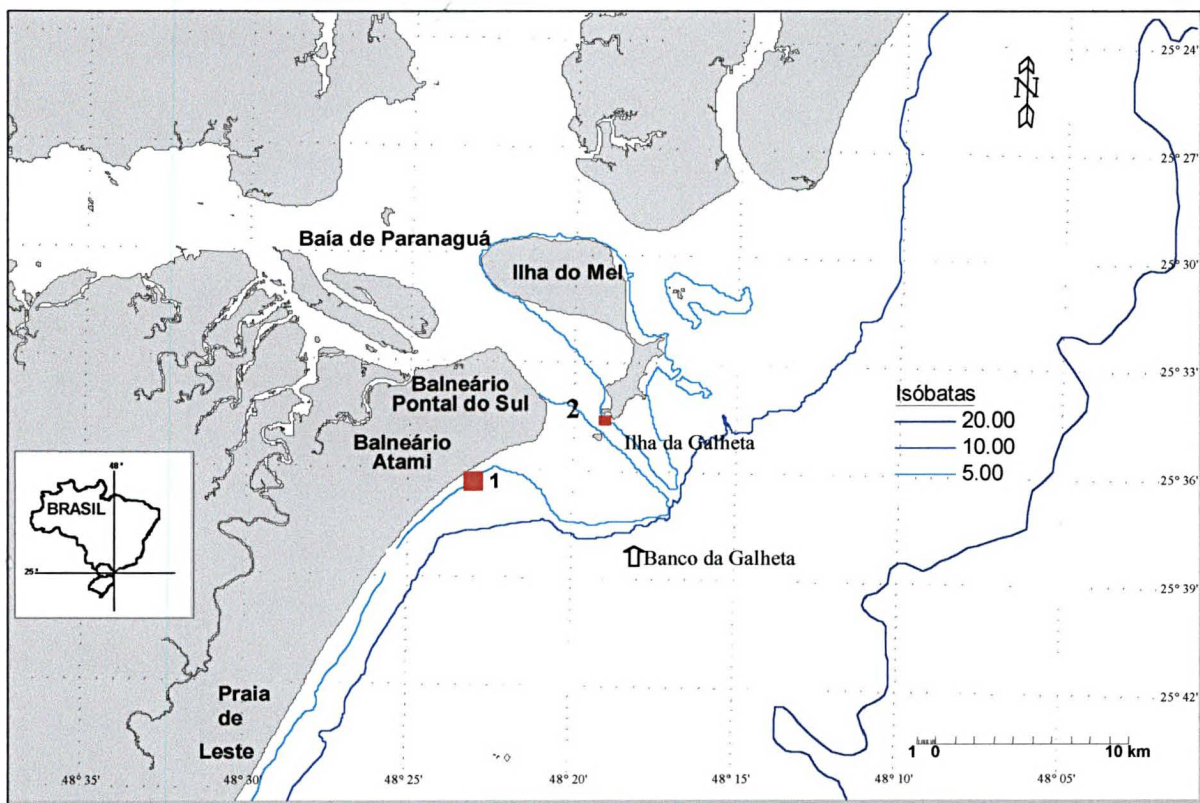
2.1 Localização da área

A área escolhida para o monitoramento está localizada no setor da costa paranaense conhecido como planície de Praia de Leste.

Os fundeios foram localizados no Balneário Atami, município de Pontal do Paraná, tendo como suas coordenadas geográficas 25°35'36" de latitude sul, e 48°22'27" de longitude oeste (fig. 2.1).

O Balneário Atami localiza-se nas adjacências da desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, estando dentro dos limites das costas associadas a desembocaduras, classificadas segundo ANGULO et al.(1996).

FIGURA 2.1 - LOCALIZAÇÃO E BATIMETRIA DA ÁREA DE ESTUDO



Os sedimentos da praia do Balneário Atami são formados por areias finas e muito finas (ϕ 3 - 4), muito bem selecionadas, compostas basicamente por quartzo (SOARES et al., 1997). Segundo BIGARELLA et al.(1978), o diâmetro médio da areia das praias aumenta de Pontal do Sul para Praia de Leste (região central da

planície), e decresce em direção a Matinhos. Entretanto, as areias em Matinhos não se apresentam tão finas como as de Pontal do Sul.

2.2 Clima

Conforme IPARDES (1989), seguindo a classificação de Köeppen, distinguem-se na região litorânea e Serra do Mar do Estado do Paraná dois tipos climáticos: Cfa e Cfb.

O tipo Cfa se define como subtropical úmido mesotérmico, com verão quente. O mês mais frio apresenta temperatura média inferior a 18°C, porém superior a -3°C, e o mais quente, temperatura média superior a 22°C.

O tipo Cfb é definido como subtropical úmido mesotérmico, com verão fresco. O mês mais frio apresenta temperatura média inferior a 18°C e o mais quente, temperatura média inferior a 22°C.

O tipo climático Cfa ocorre na parte de baixa altitude do litoral, até aproximadamente a cota de 700m, enquanto o tipo Cfb acima dessa altitude.

Devido à necessidade do entendimento dos mecanismo atmosféricos atuantes e seu fatores genéticos para a compreensão do clima de qualquer região, mostra-se relevante a descrição dos mecanismos atmosféricos atuantes no continente sul-americano responsáveis pelo clima da região sul do país, e, conseqüentemente, pelo clima regional do Estado do Paraná.

O panorama da circulação atmosférica da costa sul americana, partindo-se para um quadro mais amplo, é definido a partir dos seguintes centros de ação: os anticiclônicos, responsáveis pela individualização de massas de ar, e os depressionários.

Em se tratando diretamente da região sul, como centro de ação anticiclônica ou “centro de alta”, tem-se o Anticiclone do Atlântico, responsável pela origem da massa tropical marítima, e o Anticiclone Migratório Polar, responsável pela origem da Massa Polar.

Segundo IAPAR (1978), entre duas massas de ar ou duas “altas” existe sempre uma zona de mais baixa pressão, que se constitui numa descontinuidade para a qual convergem os ventos das duas massas de ar ou “altas”. Nessas descontinuidades, os ventos convergentes ou ciclônicos tornam o tempo instável e geralmente chuvoso, freqüentemente acompanhado de tempestades. Tais

fenômenos são móveis e, por sua estrutura de deslocamento, apresentam-se como “correntes de circulação perturbada”, conhecidas como sistemas frontais ou frentes polares.

A região sul do país é marcadamente influenciada pelas “correntes perturbadas” de noroeste e pelas “correntes perturbadas” de sul conhecidas por sistemas frontais ou frentes polares. CALLIARI e KLEIN (1993) afirmam que a dinâmica na costa sul brasileira é regulada, principalmente, pelos fenômenos associados à passagem de frentes meteorológicas ou frentes polares.

Durante o inverno, quando as condições de frontogênese são mais freqüentes, os avanços da Frente Polar são mais vigorosos, comumente atingindo latitudes bem baixas, em torno de 8° S – 10° S. Na primavera, suas incursões abrangem, via de regra, o Trópico de Capricórnio. No verão, a energia frontal é especialmente fraca, raramente se aproximando do trópico. No outono, embora se iniciem as condições de frontogênese, ela é impedida de avançar por ação dos sistemas intertropicais, que, sendo bastante ativos nesta época, fazem-na regredir (IAPAR, 1978).

3. ESTADO DA ARTE

3.1 Ondas

Trabalhos referentes a ondas no Estado do Paraná foram realizados inicialmente por BANDEIRA (1974), tendo registros de ondas no período de 23 de Abril de 1972 a 18 de Março de 1973, quando fundeou-se um ondógrafo autônomo a ultra som, a uma profundidade de 10 metros, em frente à praia de Leste.

Outros trabalhos relacionados a ondas na costa paranaense também foram desenvolvidos apresentando diversas abordagens tais como: amostragens preferenciais de ondas (PORTOBRÁS, 1983), campanha de medições de ondas realizada próximo à Ilha de Currais (INPH, 1985), caracterização morfodinâmica a partir de parâmetros de ondas no Balneário Atami (SOARES et al., 1997) características físicas do Complexo Estuarino de Paranaguá, (MARONE et al., 1997), e o mais recente trabalho de revisão bibliográfica sobre gerenciamento costeiro realizado por GOBBI (1997).

As principais conclusões do trabalho de BANDEIRA (1974), são:

- As ondas seriam relativamente mais longas de abril a agosto e relativamente mais curtas entre setembro e março (comprimento de onda). De julho a dezembro elas são relativamente mais altas e provem dos dois lados da normal à praia, tanto de sudeste como nordeste.

- Não haveria uma variação nítida no regime de ondas durante o ano que permita separá-lo em partes de características comuns, relativamente aos parâmetros ondulatórios;

- As alturas máximas e significativas mais freqüentes ao longo do ano à profundidade de 10 m foram respectivamente, $H_{m\acute{a}x} = 1,0$ m com 12,09% e $H_S = 0,8$ m com 15,34%;

- O período T_z mais freqüente ao longo do ano foi 6 segundos com 26,9% e em seguida 5 segundos com 26,35%;

- A direção de incidência mais freqüente ao longo do ano foi 120° SE com 14,48%.

A campanha realizada entre os meses de agosto e dezembro de 1982 (PORTOBRÁS, 1983), com um ondógrafo de superfície, instalado em local de profundidade de 16,5 metros, entre a praia de Leste e a Ilha de Currais mostrou dois

trens preferenciais de ondas, provenientes das direções N74° e N174° (direções ENE e SSE/SE, respectivamente), sendo que as ondas mais altas vêm do quadrante SE. A altura máxima registrada foi de 2,35 m em agosto, e 3,95 m em setembro de 1982. O período médio observado variou entre 16,53 e 10,73 segundos.

Os valores extremos observados dos parâmetros de ondas no período (tabela 3.1), referem-se a dois sistemas distintos de geração de ondas: a direção N74° é gerada pela atuação dos ventos associados ao anticiclone tropical do Atlântico Sul (centro de alta pressão), caracterizando ondas regulares e não tão altas, enquanto a direção N174° se relaciona à passagem de sistemas meteorológicos que ocasionam a formação de “ondas de tempestade” (PORTOBRÁS, 1983).

TABELA 3.1 - ALTURA, PERÍODO E DIREÇÃO DE ONDAS ENTRE OS DIAS 21 DE AGOSTO DE 1982 E 21 DE JANEIRO DE 1983, ONDÓGRAFO INSTALADO ENTRE A PRAIA DE LESTE E A ILHA DE CURRAIS

Parâmetros	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Altura máxima (m)	2,35	3,95	3,20	2,65	3,50
Altura significativa (m)	1,58	2,54	2,04	1,49	2,13
Período médio (s)	16,5	10,7	12,0	9,8	12,0
Direção		112°	133°	140°	123°

FONTE: PORTOBRÁS (1983).

A campanha realizada pelo INPH (1985), entre 01 de setembro de 1982 à 31 de agosto de 1983, próxima à Ilha de Currais ao largo da Praia de Leste, apresentou como resultados:

- As direções de ondas predominantes foram de E-SE;
- As alturas máximas de ondas de maior ocorrência situaram-se entre 1,1 e 1,6 metros;
- As alturas significativas de ondas de maior ocorrência variam de 0,5 a 1,0 metro;
- Predominam as ondas com período médio entre 6 a 9 segundos;
- As ondas mais frequentes tiveram período de crista entre 3 e 6 segundos.

Resultados de altura, período e direção de propagação das ondas para o Balneário Atami levantados por SOARES et al., (1997) apresentaram uma direção de propagação predominante de SE para NW, acompanhada, em alguns casos, por outra frente com direção para N - NE. A altura das ondas na arrebentação variou de 0,35 até 0,95 m, com períodos que variam entre 4,2 e 13 segundos.

Uma campanha realizada por MARONE et al., (1997), no período de verão (17 de janeiro de 1997 a 06 de fevereiro de 1997) e inverno (14 de agosto de 1997 a 19 de agosto de 1997), entre a Ilha da Galheta e o balneário Pontal do Sul, constatou que no verão as ondas que entram na baía, entre a Ilha da Galheta e o balneário de Pontal do Sul, apresentam alturas significativas (H_s) menores que 0,5 m, com períodos da ordem de 7 segundos. Ondas menores, com alturas de 0,25 m, apresentam períodos chegando a atingir até 12 segundos. A direção média principal de chegada de ondas é SE. Ainda segundo os mesmos autores, as ondas possuem uma característica não linear de propagação, implicando em um maior poder energético na ressuspensão e no transporte de sedimentos.

Para o período de inverno as ondas apresentaram alturas significativas (H_s) menores que 0,3 m, com períodos da ordem de 5 segundos. A direção principal de chegada de ondas é S-SE, ligeiramente diferente da situação encontrada no verão (MARONE et al., 1997). O período de levantamento dos dados foi de extrema calma, sendo que os autores recomendaram mais medições, em condições energéticas mais fortes, comuns para o inverno.

Através de um apanhado da bibliografia referente a dinâmica costeira do litoral paranaense, análise comparativa de fotografias aéreas e dados disponíveis na literatura, GOBBI (1997) implementou um modelo numérico de propagação de ondas para o litoral paranaense, sendo constatação desse autor que o clima de ondas é bem distribuído ao longo do ano e não há marcadamente ondas de uma direção preferencial, ao contrário de todos os outros autores. Constatou também que para o Estado do Paraná pode-se considerar que todas as ondas chegam de direções cuja variabilidade entre a máxima e a mínima direção é de aproximadamente 90°.

A seguir a tabela resumo para o Paraná com período médio e altura média de ondas.

TABELA 3.2 - PERÍODO MÉDIO (SEG) E ALTURA MÉDIA (M) DE ONDAS PARA O PARANÁ

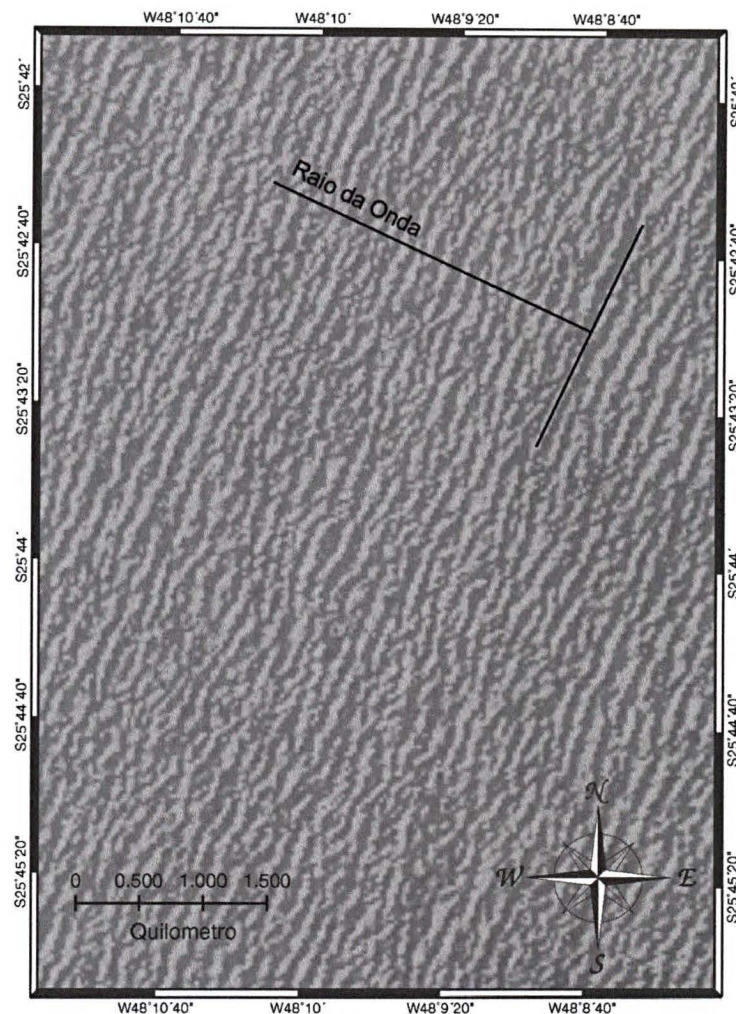
	Período Médio (segundos)	Altura Média (m)
BANDEIRA (1974)	6,0	0,80
PORTOBRÁS (1983)	12,0	1,96
INPH (1985)	7,9	0,90
SOARES et al., (1997)	4,2	0,50
MARONE et al., (1997)	7,3	0,34

NOERNBERG (2001) utilizou imagem Landsat, para caracterizar o comportamento das ondas incidentes na zona costeira adjacente às desembocaduras sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, em evento pós-frontal e na profundidade de 20 metros, no dia 26 de setembro de 1999, (fig. 3.1).

Os resultados foram:

- direção de propagação aproximada - 115 graus;
- comprimento de onda aproximado (L) - 130 m;
- período da onda (T) - 9,13 segundos;
- número de onda (K) - 0,048 ondas/metro;
- frequência angular (σ) - 0,688 ciclos/s;
- velocidade da onda (c) - 2,03 m/s.

FIGURA 3.1 - TREM DE ONDAS NA ISÓBATA DE 20 M ADJACENTE À DESEMBOCADURA DA BAÍA DE PARANAGUÁ

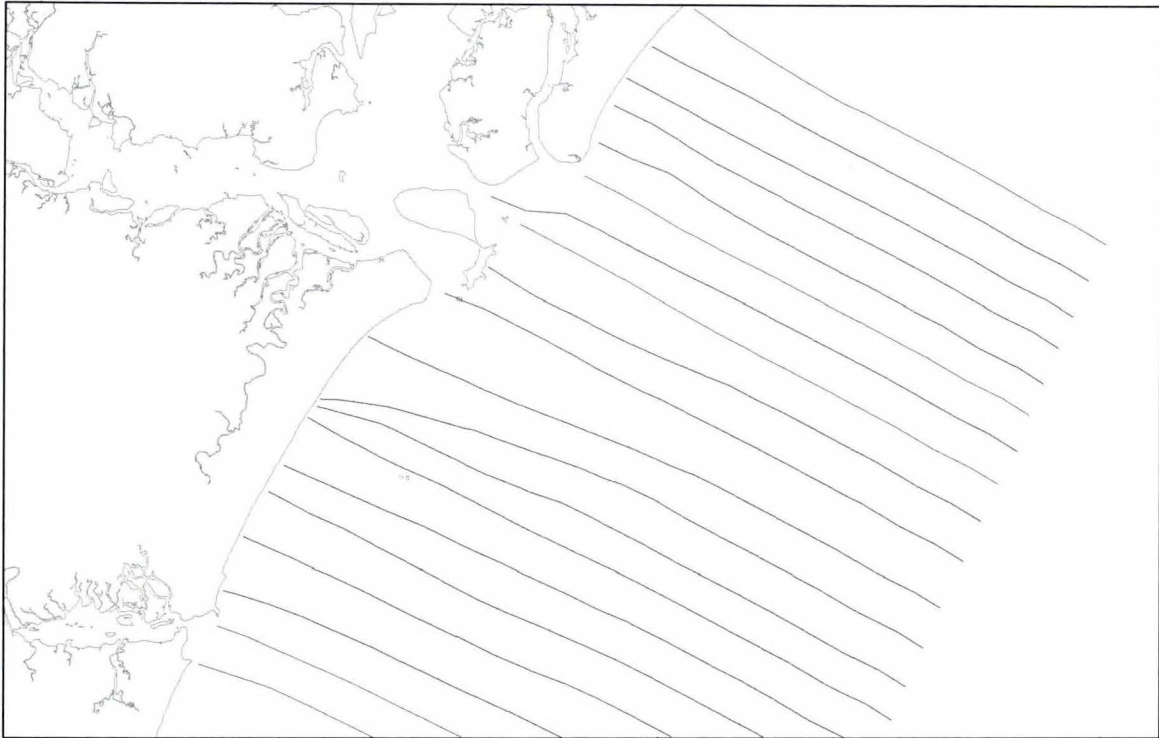


FONTE: IMAGEM LANDSAT7-ETM+ DE 26 DE SETEMBRO DE 1999 (In: NOERNBERG, 2001)

NOERNBERG (2001), também elaborou um diagrama de refração de ondas para a região (fig. 3.2). Constatou que na margem Sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, as ondas refratam no Banco da Galheta (localizado entre a Ilha da Galheta e Pontal do Sul), causando uma incidência oblíqua das ondas no Balneário de Pontal do Sul e Atami. Esta incidência oblíqua favorece a formação de uma corrente de deriva no sentido Pontal do Sul – Praia de Leste, a qual fica evidenciada pela inexistência de correntes de retorno entre os Balneários de Pontal do Sul e Atami, e, também, pela inclinação das correntes de retorno nos outros locais. Já na

altura do Balneário Praia de Leste ocorre uma convergência dos raios de onda, causando concentração de energia.

FIGURA 3.2 – DIAGRAMA DE REFRAÇÃO PARA ONDAS COM DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE 115° DO LITORAL PARANAENSE

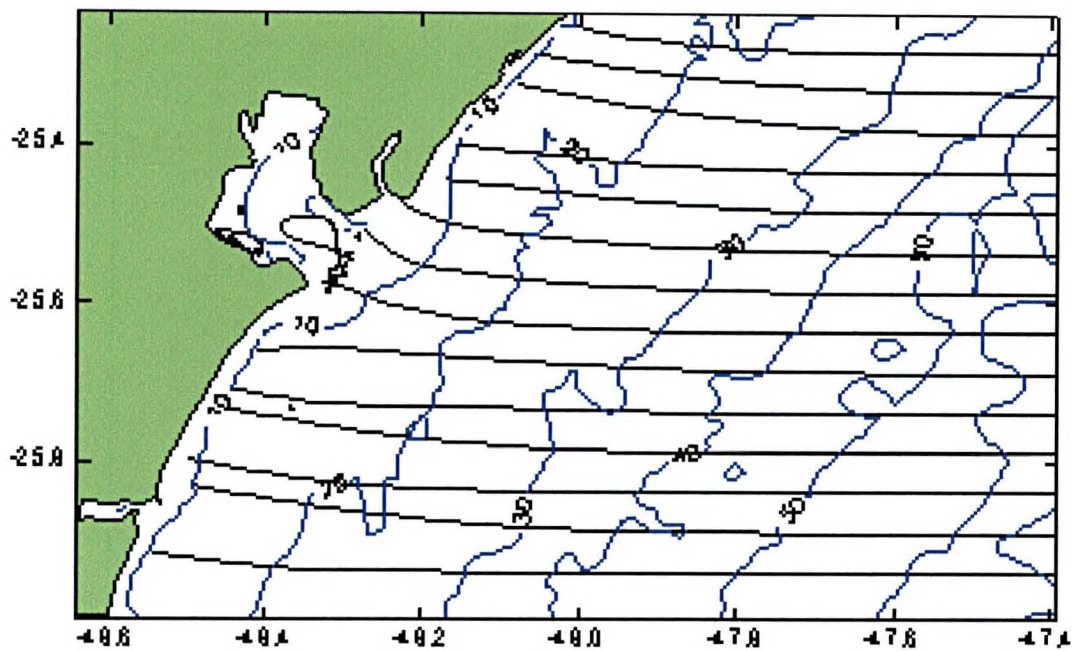


FONTE: IMAGEM LANDSAT7-ETM+ DE 26 DE SETEMBRO DE 1999, (In: NOERNBERG, 2001).

SPERANSKI (2001), modelou para a costa do Paraná o comportamento de dois exemplos de incidência de ondas, utilizando ângulos e períodos de ondas distintos, tendo como base a batimetria (figs. 3.3 e 3.4).

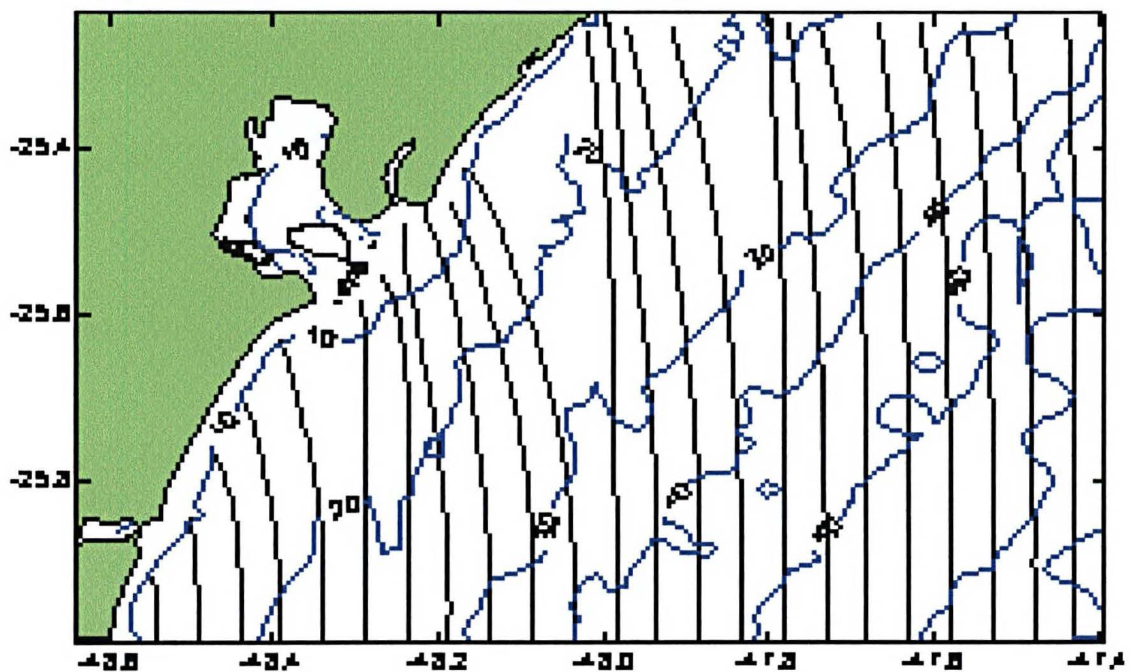
O modelo de refração mostra a propagação da onda na sua passagem por parte da plataforma caracterizando o comportamento do ângulo de incidência. A região próxima a desembocadura sul do estuário demonstrou uma tendência a estabilidade da divergência dos raios de onda, caracterizando um regime de dispersão de energia das ondas devido à barra que se localiza entre Pontal do Sul e a Ilha da Galheta. Para as praias localizadas ao sul, a declividade homogênea condicionou os raios de ondas a serem paralelos entre si nos diagramas de refração.

FIGURA 3.3 - MODELO DE REFRAÇÃO DE ONDAS DE PROVENIÊNCIA DE 90° DE DIREÇÃO E 8 SEGUNDOS DE PERÍODO PARA O LITORAL PARANAENSE



FONTE: SPERANSKI 2002 (dados inéditos - com. pessoal)

FIGURA 3.4 – MODELO DE REFRAÇÃO DE ONDAS PROVENIENTES DE 180° DE DIREÇÃO E 10 SEGUNDOS DE PERÍODO PARA O LITORAL PARANAENSE



FONTE: SPERANSKI 2002 (dados inéditos - com. pessoal)

3.2. Ondas e transporte de sedimentos

O processo de transporte de sedimentos é o mecanismo pelo qual os sedimentos são distribuídos. Este processo depende de uma série de fatores variáveis no tempo e no espaço, tais como: variações no regime de correntes, fontes potenciais de fluxo de sedimentos, rugosidade do fundo, tamanho do grão e ação das ondas sobre o fundo (TRENHAILE, 1997).

A costa sofre o impacto do movimento das ondas, quando estão próximas de arrebentarem, as ondas, que inicialmente induzem um movimento circular nas partículas abaixo de onde passam, começam a mostrar uma assimetria no seu campo interno de velocidades e esta assimetria aponta para onde a onda se desloca.

Com a progressão da onda em direção a praia e a diminuição da lâmina d'água, uma grande quantidade de energia é dissipada no contato com o fundo situado entre a zona de arrebentação e a praia. Em consequência, grandes volumes de areia são colocados em movimento nesta faixa, pela turbulência da quebra das ondas, colocando os grãos em suspensão ou arrastando-os. Correntes litorâneas se estabelecem quando as ondas incidem em ângulo com a praia, transportando sedimento lateralmente.

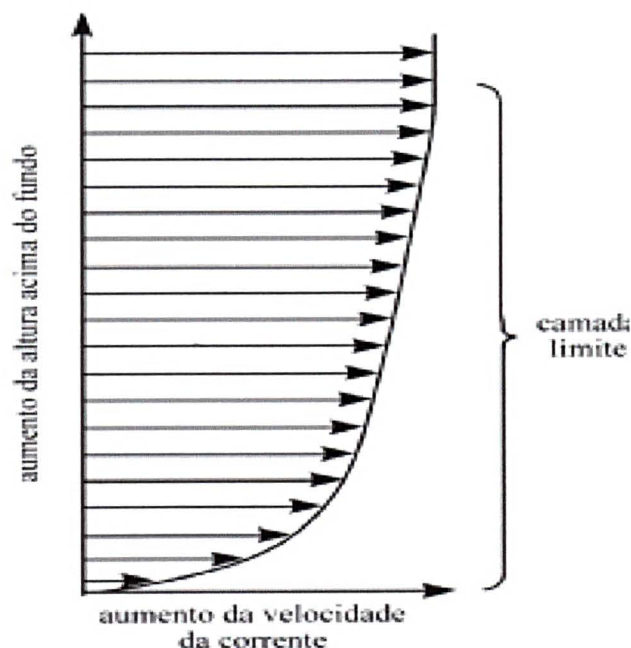
Os gradientes no transporte que causam alterações morfológicas na costa ocorrem em uma hierarquia de escalas de tempo e espaço. As escalas de tempo das alterações morfológicas podem ser classificadas, segundo WRIGHT (1995), em "instantânea" (*instantaneous*), "evento" (*event*), "médio-prazo" (*medium-term*) e "geológica" (*geological*). A resposta "instantânea" envolve deposição ou erosão, ocorrendo em função da escala de tempo das forçantes (ciclo de onda, ciclo de maré), enquanto que a resposta da escala "evento" compreende a duração de uma tempestade, estação ou inundação (dias a meses). As respostas de "médio-prazo" são, tipicamente, escalas de anos e décadas e envolvem a integração de múltiplos eventos. Na escala "geológica", o regime dos processos e o nível médio do mar devem ser considerados não estacionários, e sua modelagem envolve alto grau de incerteza.

O movimento do sedimento ocorre quando a força do fluxo da água sobre o sedimento é capaz de superar a força de gravidade agindo nos grãos de sedimento e o atrito entre os grãos e a superfície sobre a qual estão posicionados. Uma vez

que o grão de sedimento entrou em movimento, a influência da componente de empuxo cai rapidamente e a influência da força de atrito no movimento do grão aumenta (OPEN UNIVERSITY, 1994).

O atrito entre o fluxo de água e o fundo do mar produz uma tensão de cisalhamento junto ao fundo. Com isto ocorre um retardamento do fluxo da água devido ao atrito produzido no fundo, gerando uma camada limite (fig. 3.5). Em mar aberto a camada limite normalmente se estende entre 1 m e 10 m acima do fundo, mas em águas rasas ela pode ocupar toda a coluna d'água. A tensão de cisalhamento formada é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade da camada limite e à viscosidade da água (OPEN UNIVERSITY, 1994).

FIGURA 3.5 - PERFIL DE VELOCIDADE DE UMA CORRENTE NUM PONTO FIXO SOBRE O FUNDO. AS SETAS INDICAM A DIREÇÃO DO FLUXO E O COMPRIMENTO DE CADA SETA É PROPORCIONAL À VELOCIDADE DA CORRENTE ÀQUELA ALTURA DO FUNDO.



FONTE: ADAPTADO DE OPEN UNIVERSITY (1994).

ARAÚJO (2001) calculou o limiar de movimento de sedimentos por tração no Saco do Limoeiro (Ilha do Mel) utilizando o método proposto por YALIN (1972), evidenciando que os sedimentos iniciam sua movimentação quando as velocidades

de correntes atingem o valor de 15,8 cm/s medido a 50 cm do fundo. Considerou a densidade de grãos de quartzo (ρ) como sendo 2,65 g/cm³; a densidade da água (ρ) sendo 1 g/cm³; a viscosidade cinemática da água (ν) 0,01 cm²/s; a aceleração da gravidade (g) 980 cm/s² e o diâmetro médio dos grãos (D) 0,016 cm; obtendo um valor de 8,14 para o Parâmetro de YALIN (Ξ). Obteve o valor de 1,19 cm/s para a velocidade de cisalhamento (u).

ALFREDINI (1999) selecionou metodologias para estimativa do transporte de sedimentos longitudinal a praia, em vinte e uma praias brasileiras, do Estado do Rio Grande do Sul (RS) ao Estado do Piauí (PI). Para o Paraná, utilizou a campanha feita por BANDEIRA (1974) em Praia de Leste. A fórmula utilizada pelo autor para calcular o transporte de sedimentos por correntes longitudinais à praia, foi a equação de Caldwell (eq. 3.1), onde o resultado para o canal de acesso ao porto de Paranaguá foi de 650.000 m³/ano.

Fórmula de Caldwell:

$$Q_S = 5.006 \left(P_{Ib} \cdot 10^{-6} \right)^{0.8} \quad (\text{eq.3.1}).$$

P_{Ib} corresponde a energia do fluxo transmitida paralela à costa.

Segundo KOKOT (1997 in: ALFAYA FILHO, 1998), o fluxo depende da energia e direção das ondas que aproximam-se de algum lugar da costa. Ele considera que para uma energia constante, a quantidade máxima de material transportado depende do ângulo com que a onda incide na linha de costa.

GOBBI (1997) utilizou a fórmula de KAMPHUIS (1991) para estimativa da taxa de transporte litorâneo de sedimentos na costa paranaense, situando-se na faixa de 100 a 300 mil m³/ano, sendo o transporte residual de sul para norte com uma magnitude de cerca de 50 a 100 mil m³/ano.

A equação pode ser assim escrita (GOBBI, 1997).

$$Q \left(m^3 / \text{ano} \right) = 6,4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1,5} m_b^{0,75} D_{50}^{-0,25} \text{sen}^{0,6} \left(2 \Theta_b \right) \quad (\text{eq.3.2}).$$

onde H_{sb} é a altura da onda significativa na arrebentação, T_p é o período de pico, m_b é a declividade da praia, D_{50} é o diâmetro médio, e θ_b o ângulo de incidência na arrebentação.

Em ALFREDINI (1997) o valor para o transporte total na região da praia de Brejatuba foi de 2,2 milhões de m^3 /ano, entretanto, são valores muito altos para uma costa com as características da costa paranaense (GOBBI, 1997).

3.3 Correntes longitudinais à costa

Dois mecanismos básicos explicam a formação de correntes longitudinais à costa: incidência oblíqua de ondas sobre a praia e variação longitudinal da altura da arrebentação.

As variações longitudinais na altura da arrebentação podem ser causadas por diversos fatores que incluem batimetria da costa e morfologia da praia. Normalmente, espera-se encontrar em uma praia tanto incidência oblíqua de ondas como variação longitudinal da altura da arrebentação (HOEFEL, 1998).

As correntes longitudinais à costa atuantes no litoral paranaense, segundo ANGULO (1992,1993,1996) e SOARES et al., (1994,1997), possuem sentido dominante S – N. NOERNBERG (2001) concluiu que o transporte longitudinal à linha de costa do Paraná está associado ao aumento da energia das ondas, e ocorre preferencialmente para Norte.

O predomínio de ondas do quadrante S-SE gera uma deriva litorânea orientada para norte e, segundo ANGULO (1992), a ocorrência de deriva litorânea para norte pode ser observada na orientação das desembocaduras fluviais e morfologia dos deltas de vazante dos estuários de Paranaguá e Guaratuba.

O lançamento de 460 garrafas de deriva nos canais Norte do estuário da Baía de Paranaguá e no Canal da Galheta, confirmou que as correntes predominantes na zona costeira adjacente ao Complexo Estuarino de Paranaguá são preferencialmente para Norte (MARONE et al., 1995).

GOBBI (1997) concluiu que o transporte residual de sedimentos no Paraná é de sul para norte e o transporte residual no centro-sul de São Paulo é de norte para sul. Isso leva a conclusão de que o litoral paranaense e o litoral sul de São Paulo são regiões de concentração cada vez maior de sedimentos.

3.4 Ventos locais

O vento soprando sobre a superfície da água exerce uma tensão friccional na direção em que o mesmo está soprando e gerando ondas. A magnitude da tensão que o vento exerce é proporcional ao quadrado da velocidade do vento e muito depende da rugosidade da superfície da água e das condições atmosféricas.

Em qualquer profundidade, a água está sujeita a três forças:

- a) a tensão da camada superior (no caso da superfície, o vento);
- b) a tensão na camada inferior;
- c) a força de Coriolis.

A consequência disto é a corrente se desviar cada vez mais anticiclonicamente à medida que a profundidade aumenta.

EKMAN (in: OPEN UNIVERSITY, 1994), que explicou este ponto teoricamente, mostrou que a corrente superficial se desvia 45° da direção do vento em sentido anticiclônico, e que a velocidade da corrente decresce exponencialmente com a profundidade à medida que gira mais até uma profundidade D . Nesta profundidade, a corrente possui cerca de 4% da intensidade superficial com direção oposta. Esta estrutura de correntes é dita Espiral de EKMAN, e a profundidade de influência D , que varia com a viscosidade turbulenta e com a latitude, e chamada de profundidade de influência friccional.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estações de amostragens

O ponto de amostragem 1 foi localizado adjacente a desembocadura sul do Estuário de Paranaguá, mais precisamente no Balneário Atami (fig.2.1). Este balneário possui praias arenosas orientadas no sentido SW – NE, e está dentro dos limites das costas associadas a desembocaduras classificadas por ANGULO et al.(1996).

Como informações comparativas, em algumas análises utilizou-se dados referentes a parâmetros de onda da estação oceanográfica da Ilha do Mel (ponto 2, fig.2.1), estação esta instalada no mês de Julho de 2001. Localizada nas proximidades de uma rocha na Ilha do Mel, à aproximadamente 5 Km do Balneário Atami, está separada da Ilha da Galheta pelo canal de acesso ao Porto de Paranaguá (Canal da Galheta), o qual apresenta profundidades superiores a 30 metros.

Para os dados referentes a ventos foram utilizados os parâmetros de intensidade e direção os quais foram obtidos na estação meteorológica localizada no Centro de Estudos do Mar – UFPR, através de uma estação campbell.

Empregou-se a Escala de BEAFORT para descrever o efeito do vento no mar, onde a análise da relação entre a direção e intensidade do vento com a direção das correntes paralelas à costa caracterizou a influência do mesmo.

4.2 Trabalhos de campo

No Balneário Atami (ponto 1), as amostragens foram efetuadas através de fundeios, em períodos que variaram de 10 à 12 horas, com um Ondógrafo S4 InterOcean. O equipamento ficou fixo em uma moldura que foi transportada através de embarcação (canoa de pescadores) e lançada na parte imediatamente atrás da zona de arrebentação de ondas.

O Ondógrafo S4 InterOcean registra dados referentes ao espectro, velocidade e direção de propagação de ondas, à direção e intensidade das correntes, além de profundidade, temperatura e salinidade, sendo que estes três últimos parâmetros não foram utilizados nas análises deste trabalho.

Das doze amostragens apenas oito obtiveram registros relativos a parâmetros de ondas, e em apenas seis, em decorrência de falha nos sensores²⁰, obteve-se registros referentes à parâmetros de correntes. Em quatro amostragens o equipamento não funcionou, devido a problemas com a programação.

Os dados eram registrados pelo equipamento a cada 30 minutos, durante 18 minutos de amostragem contínua numa taxa de 2 Hz, com um total de 9 a 12 registros diários.

Vale ressaltar que as campanhas foram realizadas em dias de mar calmo, com pouca incidência de ondas. Isto foi necessário pois há considerável risco da embarcação transpor a zona de arrebentação de ondas em dias de mar agitado, pondo em risco a segurança do instrumento e do condutor do barco. Assim, a metodologia não inclui amostragens em período de alta energia, o que implica em subestimativas de alguns efeitos caso os resultados sejam generalizados descuidadamente.

Como complemento deste estudo utilizou-se dados da estação oceanográfica da Ilha do Mel no ponto 2 (fig.2.1), a qual foi instalada no mês de Julho de 2001. Nesta estação, os dados são obtidos durante 15 min a cada hora, numa taxa de 4 Hz por ondógrafo/correntômetro de efeito Doppler marca Falmouth modelo 3DW.

Os dados referentes à maré foram obtidos através dos registros do marégrafo da Ponta do Caraguatá, Ilha do Mel, apenas para os períodos de amostragem. Estes dados são registrados analogicamente num marégrafo Hidrológica e digitalizados a intervalos de 30 minutos.

4.3. Cálculo do fluxo médio, transporte médio de material particulado em suspensão (MPS) e transporte de sedimentos.

As correntes observadas foram decompostas em componentes perpendicular (NW/SE) e componente paralela (NE/SW) , sendo os ângulos de inclinação da costa no local de amostragem de 45° no primeiro quadrante e 225° no terceiro quadrante.

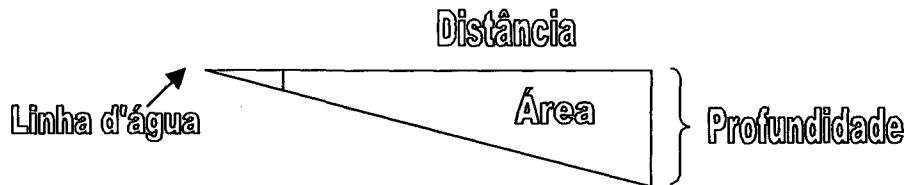
Aplicou-se a fórmula:

$$\bar{F} = \bar{V} \cdot \frac{b \cdot h}{2} \quad (\text{eq.4.1})$$

onde \bar{F} é o fluxo médio, \bar{V} é a velocidade média da corrente paralela à costa (componente paralela), e o restante da fórmula corresponde a área;

$$A = \frac{b \cdot h}{2} \quad (\text{eq.4.2})$$

onde b corresponde a profundidade, e h para distância.



A tabela 5.2 do item resultados corresponde a direção média e velocidade média da corrente, ângulo de inclinação da praia (perfil).

MACHADO et al. (1997) investigou as variações sazonais de material particulado em suspensão (MPS) de superfície e fundo próximo à Ilha da Galheta no período de Julho de 1994 até julho de 1995, tendo obtido valores médios de 32 g/m³. No presente trabalho foi considerado que esse valor de material particulado em suspensão (MPS), de 32 g/m³, é suficientemente representativo para a área e que, portanto, permite calcular, como resultado final, uma primeira estimativa do Fluxo médio e, mesmo que grosseira, do transporte médio de material particulado em suspensão (MPS) para cada data de coleta.

O cálculo de transporte de sedimento (volume) longitudinal à costa foi obtido através da fórmula de KAMPHUIS (1991) utilizada por GOBBI (1997) e ALFREDINI (1999):

$$Q \left(m^3 / ano \right) = 6,4 \times 10^{-4} H_{sb}^2 T_p^{1,5} m_b^{0,75} D_{50}^{-0,25} \text{sen}^{0,6} (2 \Theta_b) \quad (\text{eq.4.3})$$

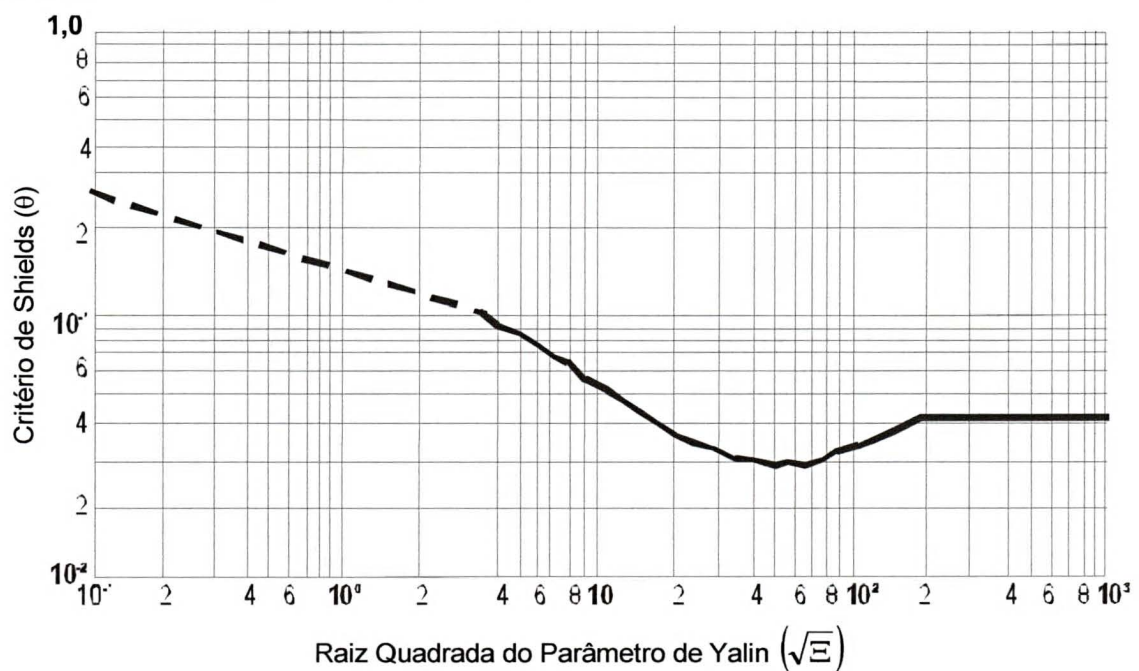
onde H_{sb} é a altura da onda significativa na arrebentação, T_p é o período de pico, m_b é a declividade da praia, D_{50} é o diâmetro médio, e Θ_b o ângulo de incidência na arrebentação.

Segundo BORZONE et al. (1998) o tamanho do grão de sedimento é de 2.89 ϕ (areia fina) para o Balneário Atami sendo considerado constante para todas as amostragens.

Para avaliar o transporte de sedimentos por tração em condições oceanográficas habituais (mar calmo), assumiu-se os valores apresentados por ARAÚJO (2001), o qual calculou para características e condições do fluido e do sedimento similares ao do Balneário Atami, o limiar de movimentação de sedimentos, determinando assim qual a velocidade de fluxo necessária para iniciar o movimento de sedimentos não-coesivos.

Para esta estimativa, ARAÚJO (2001) utilizou o método gráfico proposto por YALIN (1972), (fig. 4.1).

FIGURA 4.1 - GRÁFICO PROPOSTO POR YALIN (1972) ONDE A CURVA EM LINHA SÓLIDA REPRESENTA O LIMIAR DE MOVIMENTAÇÃO DE GRÃO, SENDO QUE A ÁREA ACIMA DESSA LINHA REPRESENTA UMA CONDIÇÃO TEÓRICA DE MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS E A ÁREA ABAIXO REPRESENTA UMA CONDIÇÃO TEÓRICA SEM MOVIMENTAÇÃO DE GRÃOS (MODIFICADO DE MILLER ET AL. 1977, IN ARAÚJO, 2001).



No eixo das abcissas do gráfico, consta a raiz quadrada do Parâmetro de YALIN (1972) (Ξ) expresso por:

$$\Xi = \frac{(\rho_s - \rho)gD^3}{\rho v^2} \quad (\text{eq.4.4})$$

onde ρ_s é a densidade do sedimento em g/cm³, ρ é a densidade do fluido em g/cm³, ν é a viscosidade cinemática do fluido em cm²/s, g é a aceleração da gravidade em cm/s², e o D é o diâmetro médio do sedimento em cm.

No eixo das ordenadas consta o valor do limiar de movimentação segundo o Critério de Shields (θ) expresso por:

$$\Theta = \frac{\rho u_*^2}{(\rho_s - \rho)gD} \quad (\text{eq.4.5})$$

onde ρ_s é a densidade do sedimento em g/cm³, ρ é a densidade do fluido em g/cm³, g é a aceleração da gravidade em cm/s², e D é o diâmetro médio do sedimento em cm e u_* é a velocidade de cisalhamento (*shear velocity* ou *friction velocity*) em cm/s.

A velocidade de cisalhamento é a velocidade junto aos grãos (distância tendendo a zero) calculada através da equação logarítmica de Barman – Prandtl,

$$u_{(z)} = \left(\frac{u_*}{K} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (\text{eq.4.6})$$

onde u_z é a velocidade da corrente em cm/s a uma profundidade Z dada em cm, k é a constante de Von Karman (k=0,4), Z_0 é um fator adimensional de rugosidade do fundo (YANG, 1986).

Segundo ARAÚJO (2001), considerou-se a densidade de grãos de quartzo (ρ_s) como sendo 2,65 g/cm³; a densidade da água (ρ) sendo 1 g/cm³; a viscosidade cinemática da água (ν) 0,01 cm²/s; a aceleração da gravidade (g) 980 cm/s² e o diâmetro médio dos grãos (D) 0,016 cm; obtém-se assim o valor de 8,14 para o Parâmetro de YALIN (Ξ).

A plotagem desse valor no gráfico de limiar de movimentação dos grãos (fig.4.1), indica que o limiar de movimentação ocorre para um valor de 0.055 do Critério de Shields (θ). De acordo com a eq. 4.5, o valor de 1,19 cm/s para a velocidade de cisalhamento (u_*) é obtido.

Para relacionar a velocidade de cisalhamento aos valores de velocidade de corrente medidos pelo correntômetro a 50 cm do fundo, foram consideradas medições do comprimento (λ) e da altura (h) das formas de fundo (ripples com 10,7 cm e 2,3 cm respectivamente), o que conduz ao valor de 0,25 para (Z_0). Desta

forma a eq. 4.6 fornece o valor de 15,8 cm/s para uma velocidade de corrente (u_{50}) medida a 50 cm do fundo. Isso significa que os sedimentos iniciam sua movimentação quando as velocidades de correntes atingem o valor de 15,8 cm/s medido a 50 cm do fundo ARAÚJO (2001).

Para as análises apresentadas neste trabalho, foram desconsiderados transporte de sedimentos relacionados à ressuspensão em decorrência ao movimento orbital das ondas.

5. RESULTADOS

5.1 Parâmetros de Ondas

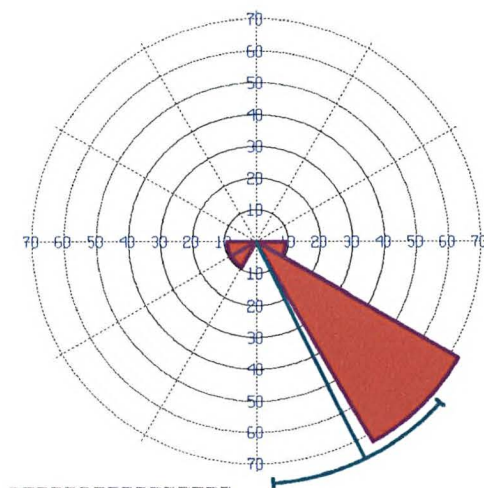
A variabilidade da direção de incidência de ondas para o setor da costa do Balneário Atami, apresentou como direção preferencial ondas vindas de S e SE. As maiores alturas significativas coincidiram com ondas vindas destes quadrantes e a maior altura máxima registrada (1,48 m) foi decorrente de ondas vindas de SE. O maior período significativo observado (7,3 seg) foi para ondulações provenientes de S (tabela 5.1).

A seguir estão representados os parâmetros de ondas para cada período amostral:

21 de Janeiro 2000

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de SE, sendo que 73% da ondulação durante o período, apresentou um direcionamento de 120° a 150° (fig. 5.1).

FIGURA 5.1 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS - 21.01.2000

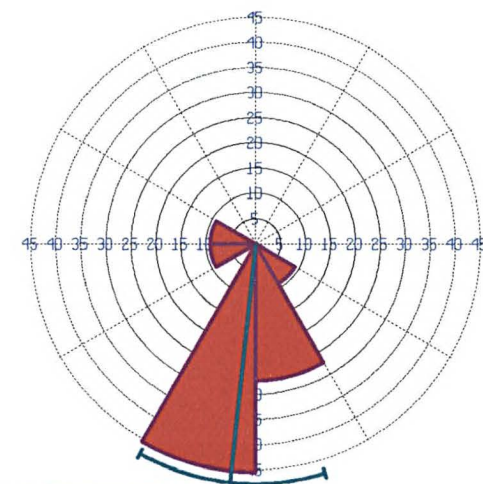


A altura significativa (H_s) foi de 0,75 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 1,35 m. O período significativo obtido foi de 5,5 segundos (tabela 5.1).

23 de Março 2000

A direção de incidência mais freqüente para esta amostragem é de ondas provenientes de SSW, sendo que 45% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 180° a 210° (fig. 5.2).

FIGURA 5.2 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 23.03.2000



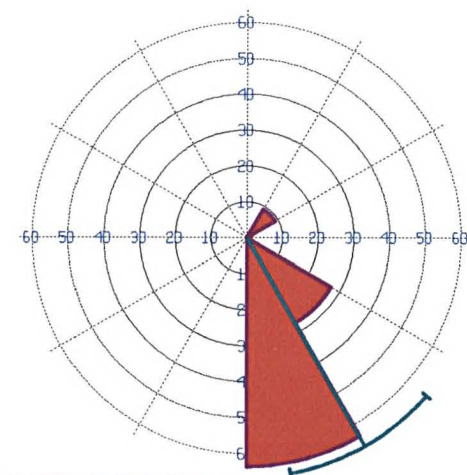
A altura significativa (H_s) foi de 0,74 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 1,15 m. O período significativo obtido foi de 5,7 segundos (tabela 5.1).

27 de Abril 2000

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de S e SE, sendo que 60% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 150° a 180° (fig. 5.3).

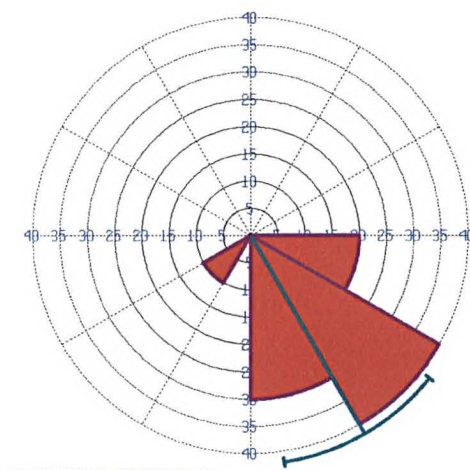
A altura significativa (H_s) foi de 0,83 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 1,35 m. O período significativo obtido foi de 6,3 segundos (tabela 5.1).

FIGURA 5.3 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 27.04.2000

**28 de Junho 2000**

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de S e SE, sendo que 40% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 130° a 160° (fig. 5.4).

FIGURA 5.4 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 28.06.2000

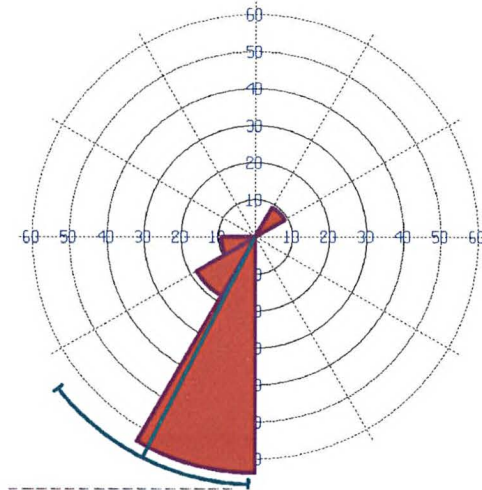


A altura significativa (H_s) foi de 0,75 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 1,27 m. O período significativo obtido foi 5,8 segundos (tabela 5.1).

28 de Julho de 2000

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de S e SW , sendo que 60% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 180° a 210° (fig. 5.5).

FIGURA 5.5 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 28.07.2000



A altura significativa (H_s) foi de 0,64 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 0,78 m. O período significativo obtido foi de 5,83 segundos (tabela 5.1).

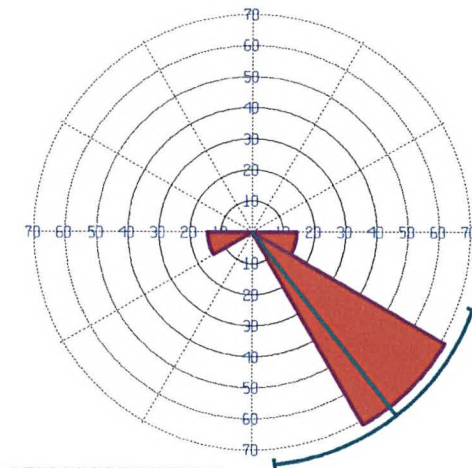
09 de Novembro 2000

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes do quadrante SE, sendo que 70% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 120° a 150° (fig. 5.6).

A altura significativa (H_s) foi de 0,9 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) de 1,48 m. O período significativo obtido foi 5,5 segundos (tabela 5.1).

Correspondendo com a maior altura significativa (H_s) em relação as demais amostragens, proveniente de SE.

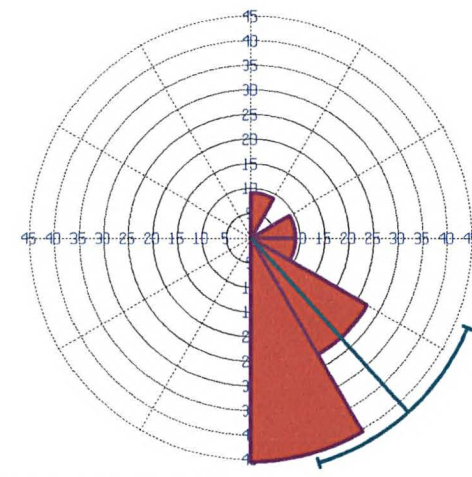
FIGURA 5.6 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 09.11.2000



05 de Janeiro 2001

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de S e SE, sendo que 45% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 150° a 180° (fig. 5.7).

FIGURA 5.7 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 05.01.2001

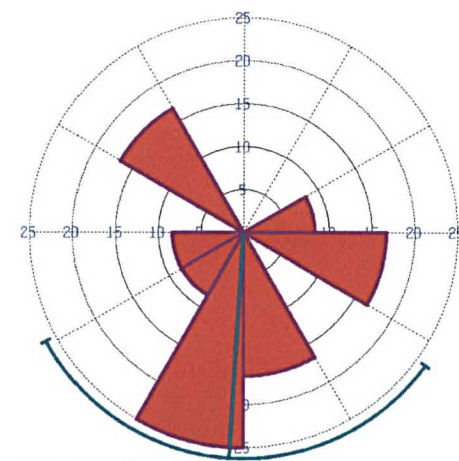


A altura significativa (H_s) foi de 0,59 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 0,94 m. O período significativo obtido foi de 5,36 segundos (tabela 5.1).

06 de Junho 2001

A direção de incidência mais freqüente durante esta amostragem foi de ondas provenientes de S e SW, sendo que 25% da ondulação que incidiu durante o período apresentou um direcionamento de 180° a 210° (fig. 5.8).

FIGURA 5.8 – DIREÇÃO DE INCIDÊNCIA DE ONDAS – 06.06.2001



A altura significativa (H_s) foi de 0,72 m sendo que a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) foi de 1,44 m. O período significativo obtido foi de 7,3 segundos (tabela 5.1).

TABELA 5.1 - DIREÇÃO PREDOMINANTE, ALTURA SIGNIFICATIVA (H_s), ALTURA MÁXIMA ($H_{m\acute{a}x}$) E PERÍODO (T_s) DE ONDAS, PARA A ESTAÇÃO DE ATAMI NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2000 ATÉ JUNHO DE 2001

Data de Amostragem	Direção	H_s	$H_{m\acute{a}x}$	T_s
21.01.2000	SE	0,75	1,35	5,5
23.03.2000	SSW	0,74	1,15	5,7
27.04.2000	SSE	0,83	1,35	6,3
28.06.2000	SE	0,75	1,27	5,8
28.07.2000	SSW	0,64	0,78	5,8
09.11.2000	SE	0,9	1,48	5,5
05.01.2001	S	0,59	0,94	5,3
06.06.2001	SSW	0,76	1,20	7,3

5.2 Correntes e transporte paralelo à costa

Analisando os dados, a amostragem que apresentou o maior potencial de transporte de material particulado em suspensão (MPS), foi a de 28 de Julho de 2000, onde observa-se valor de 146.211 g/seg e fluxo líquido em torno de 4.569 m³/seg (tabela 5.2).

O menor valor para o potencial do transporte de MPS foi observado na amostragem do dia 27 de Abril de 2000 (53.668 g/seg), e o fluxo líquido obtido para esta ocasião foi de 1.677 m³/seg (tabela 5.2).

Todas as direções resultantes do transporte de MPS calculado coincidiram com as direções resultantes das correntes paralelas, sendo que o deslocamento teórico de uma partícula em suspensão durante os períodos, para cada fundeio, sugeridos pela análise dos vetores progressivos, também coincidiram com as direções resultantes da corrente paralela e do transporte médio calculado (tabela 5.2 e fig. 5.9).

Os potenciais transportes de volume de sedimento para cada amostragem mostraram o maior valor para 28 de Julho de 2000 com 740.172 m³/ano, e o menor valor encontrado correspondeu com a amostragem de 27 de Abril de 2000 com 207.204 m³/ano (tabela 5.2). Estes valores são compatíveis com estimativas de outros autores, que situam o mesmo na ordem de 121.888 m³/ano, obtidos por GOBBI (1997) para o Balneário Atami, apresentando um transporte litorâneo de sedimento para a costa paranaense na ordem de 100 a 300 mil m³/ano.

Para os gráficos de vetor progressivo é necessário considerar a direção da costa no local de amostragem em relação ao Norte é de 45°.

Na amostragem de 21 de Janeiro de 2000 o deslocamento da partícula apresentou uma tendência direcional para Nordeste (paralelo) perfazendo (deslocamento) em média 2000 m no ciclo amostrado (fig. 5.9 a).

Em 23 de Março de 2000, o deslocamento da partícula inicialmente foi para nordeste 3.200 m (paralelo), invertendo o sentido para sudoeste perfazendo 5.600 m (fig. 5.9 b).

O sentido preferencial da partícula para 27 de Abril de 2000, foi para nordeste (paralelo) e a resultante transversal para noroeste correspondendo a 5.600 m de deslocamento (fig. 5.9 c).

TABELA 5.2 – ESTIMATIVAS DO FLUXO MÉDIO E TRANSPORTE LÍQUIDO DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS), NO BALNEÁRIO DE ATAMI, NO PERÍODO DE JANEIRO A NOVEMBRO DE 2000

MÊS	ANGULO DE INCLINAÇÃO DA PRAIA (graus)	ONDAS			DIREÇÃO DA CORRENTE EM RELAÇÃO À COSTA		FLUXO MÉDIO \bar{F} (m³/seg)	TRANSPORTE LÍQUIDO MÉDIO \bar{T} (g/seg)	TRANSPORTE DE SEDIMENTO (m³/ano)
		Ts (seg)	Hs (m)	Direção	Transversal NW / SE	Paralela NE / SW			
Janeiro	1,9°	5,5	0,75	SE	3.978	9.111	3.416	109.332	264.885
Março	1,8°	5,7	0,74	SSW	-9.78682*	-4.14139*	1.706	54.600 p/sul	290.098 p/sul
Abril	1,8°	6,3	0,83	SSE	-19.5303*	4.224542	1.677	53.668	207.204
Junho	1,4°	5,8	0,75	SE	-4.464832*	3.59743	1.859	59.515	614.912
Julho	1,6°	5,8	0,64	SSW	-17.1089*	-10.1536*	4.569	146.211 p/sul	740.172 p/sul
Novembro	1,5°	5,5	0,9	SE	12.42419	7.378883	3.519	112.631	670.237
Méd. Total							2.791	89.326	

* corrente com direção NW para SE (transversal); corrente com direção NE para SW (paralela).

Em 28 de Junho de 2000, a partícula direcionou para nordeste (paralelo) havendo para essa amostragem um deslocamento transversal significativo, onde inicialmente o sentido era para sudeste com 2 000 m onde ocorreu a inversão do sentido para noroeste perfazendo em média 1.400 m (fig. 5.9 d).

Na amostragem de 28 de Julho de 2000 prevaleceu o sentido direcional de sudoeste (paralelo) e o deslocamento transversal para noroeste, em média 4.900 m de deslocamento (fig. 5.9 e).

Para 09 de Novembro de 2000 a partícula deslocou no sentido nordeste (paralelo) e transversalmente para sudeste, em média perfazendo 1.200 m (fig. 5.9 f).

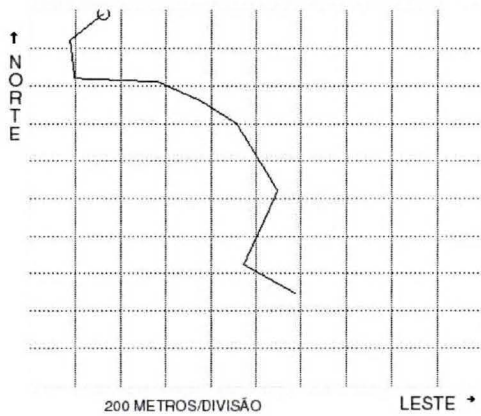
Relacionando as intensidades das correntes no Balneário Atami com o limiar de movimentação dos grãos por tração, nota-se que nas amostragens de 21 de Janeiro, 23 de março e 27 de abril de 2000, houve períodos em que a velocidade das correntes ultrapassaram o limiar de movimentação dos grãos (figs. 5.10, 11 e 12). Nas amostragens de 28 de Junho, 28 de Julho e 09 de Novembro de 2000, não foram observadas correntes com intensidades que ultrapassassem o limiar de transporte (figs. 5.13, 14 e 15).

Apenas na amostragem de março de 2000, observa-se correntes com intensidades que ultrapassaram o limiar de transporte orientadas no sentido direcional de NE para SW, sendo que nos outros casos que apresentaram as mesmas condições os sentidos direcionais apresentaram-se de SW para NE.

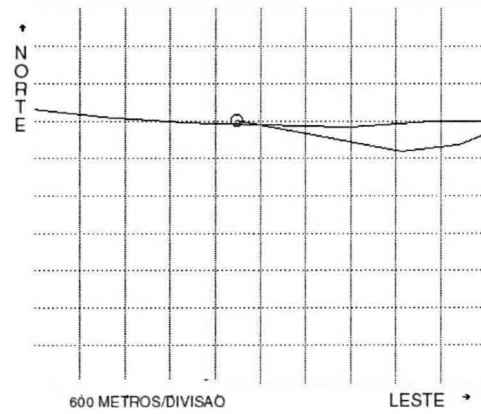
Em relação as máximas intensidades de correntes obtidas, pode-se notar que estas não apresentaram-se muito acima do valor limiar do transporte por tração, sendo prudente observar que as amostragens foram realizadas em dias de mar calmo.

FIGURA 5.9: DESLOCAMENTO TEÓRICO DE UMA PARTÍCULA EM SUSPENSÃO DURANTE OS PERÍODOS DOS FUNDEIOS - VETOR PROGRESSIVO (símbolo que representa o início do movimento “O”)

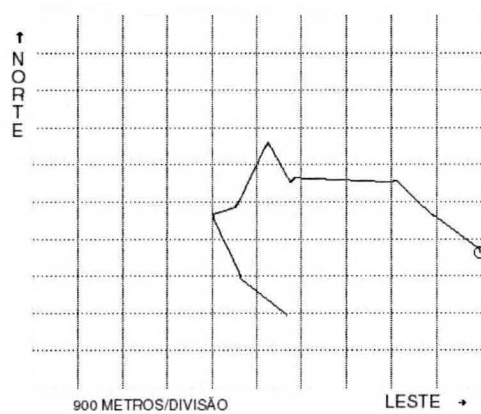
a) 21 de Janeiro de 2000



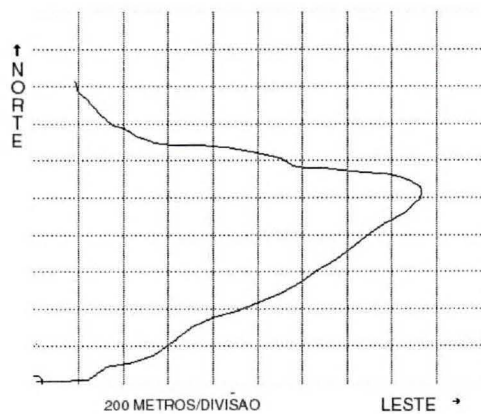
b) 23 de Março de 2000



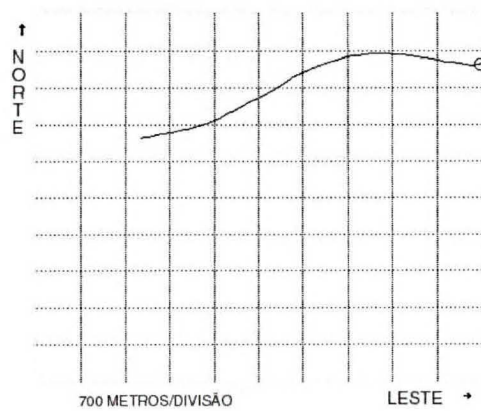
c) 27 de Abril de 2000



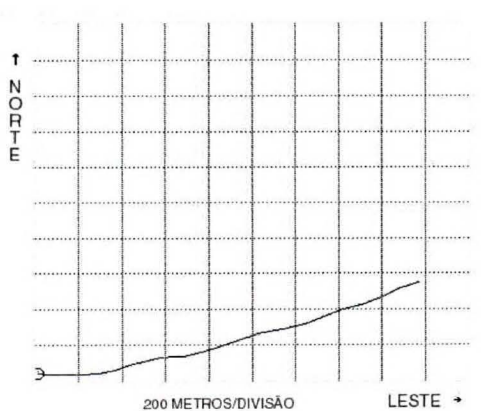
d) 28 de Junho de 2000



e) 28 de Julho de 2000



f) 09 de Novembro de 2000



5.3 Componente paralela à costa (NE-SW) e as variações da maré

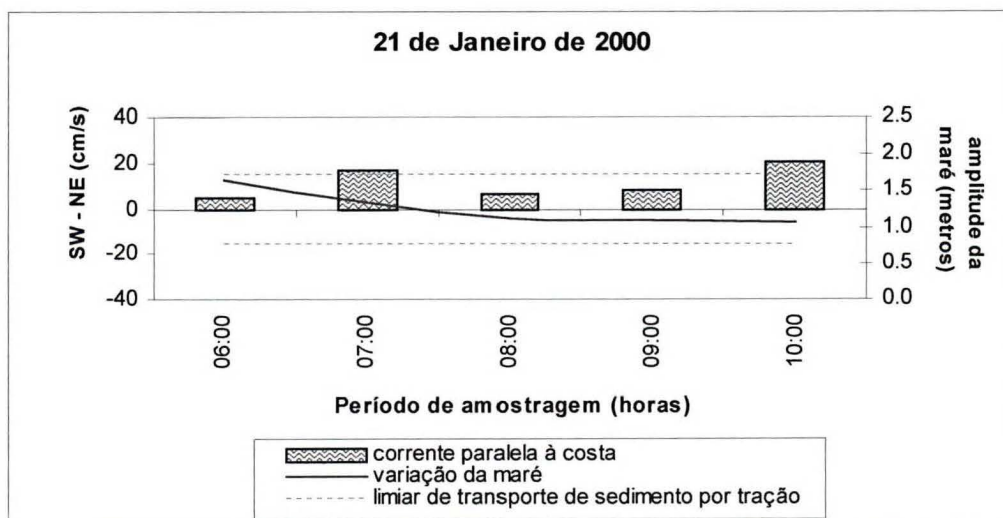
Devido à proximidade entre o local das amostragens e a desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, e à possibilidade das correntes paralelas à costa neste setor sofrerem influência das correntes de marés atuantes na desembocadura do estuário, tornou-se necessária a análise das amplitudes de maré durante os períodos das amostragens.

As amplitudes de maré apresentadas correspondem apenas aos períodos em que os fundeios estavam em funcionamento, esclarecendo assim a não padronização dos horários encontrados nas mesmas.

Apenas uma amostragem coincidiu com um dia do período de maré de sizígia (21/01/00). A amostragem do dia 06/06/01 foi efetuada um dia após uma maré desta natureza e a do dia 23/03/00 três dias após. As amostragens dos dias 28/07/00 e 09/11/00 foram realizadas dois dias antes de maré de sizígia e a do dia 28/06/00, três dias antes. As amostragens dos dias 27/04/00 e 05/01/01 foram efetuadas à um e três dias respectivamente de uma maré de quadratura.

Para o período da amostragem de 21 de Janeiro de 2000 não foi observada variação direcional da componente da corrente paralela à costa, ficando esta orientada para NE durante todo período. Devido ao curto período de amostragem, não foi possível observar uma maior variação da amplitude da maré, ficando evidenciado apenas o pico da maré vazante (fig. 5.10).

FIGURA 5.10 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE– SW DA CORRENTE E O LIMIAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 21.01.2000



Em 23 de Março e 27 de Abril 2000 a componente paralela à costa (NE-SW) da corrente indica uma inversão em relação a variação da maré, sendo que no período da maré vazante o sentido da corrente é para nordeste e no período de maré enchente o sentido é para sudoeste, sendo possível notar um pequeno atraso da inversão da componente em relação ao pico da maré vazante e enchente (figs. 5.11 e 5.12).

FIGURA 5.11 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 23.03.2000

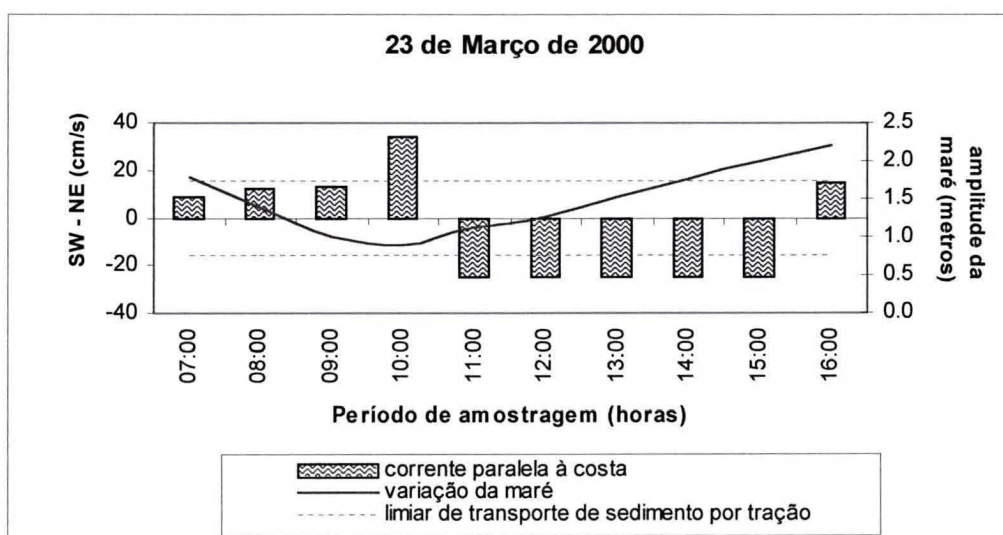
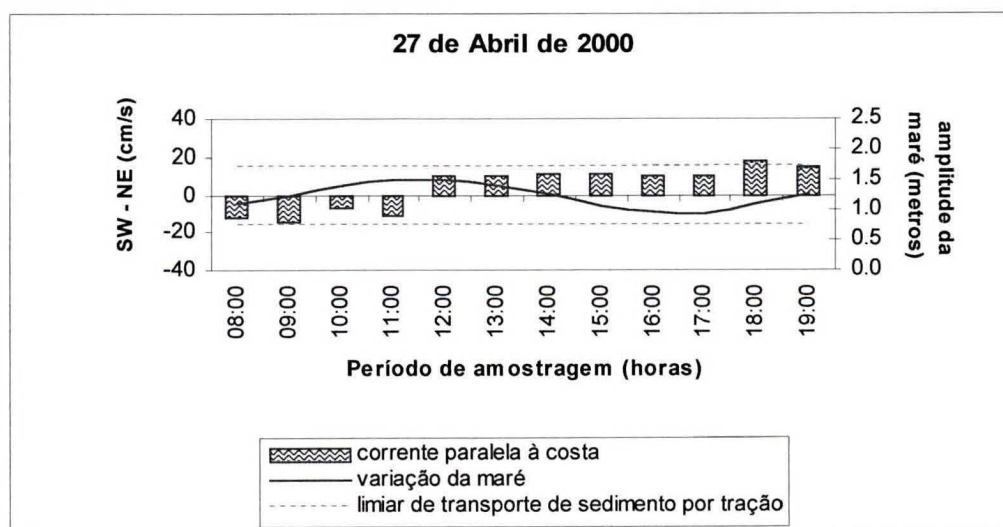


FIGURA 5.12 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 27.04.2000



Para 28 de Junho de 2000, a componente da corrente apresentou uma inversão exatamente no momento da inversão da maré, sendo que na maré enchente a componente da corrente estava direcionada para NE e com menor intensidade; e na maré vazante, observou-se direcionamento SW com considerável aumento de intensidade.

FIGURA 5.13 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 28.06.2000

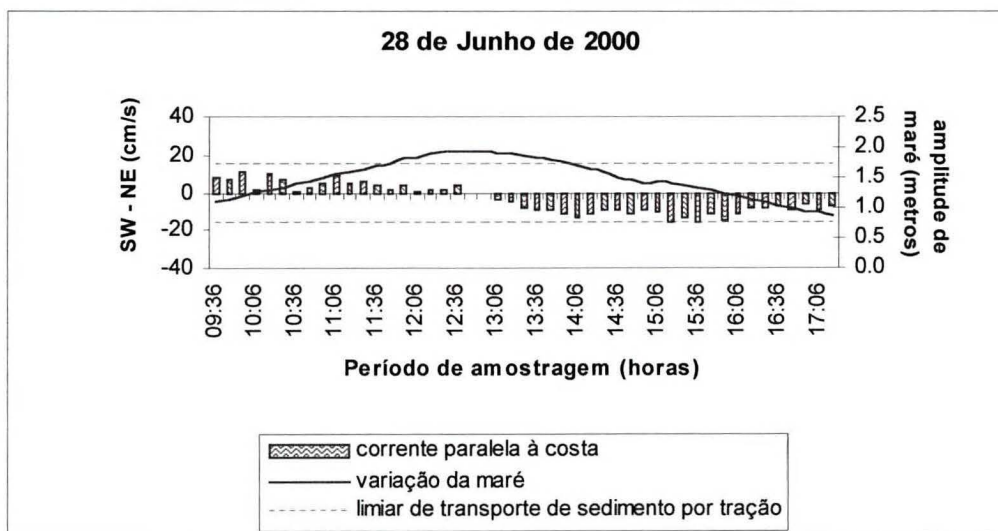
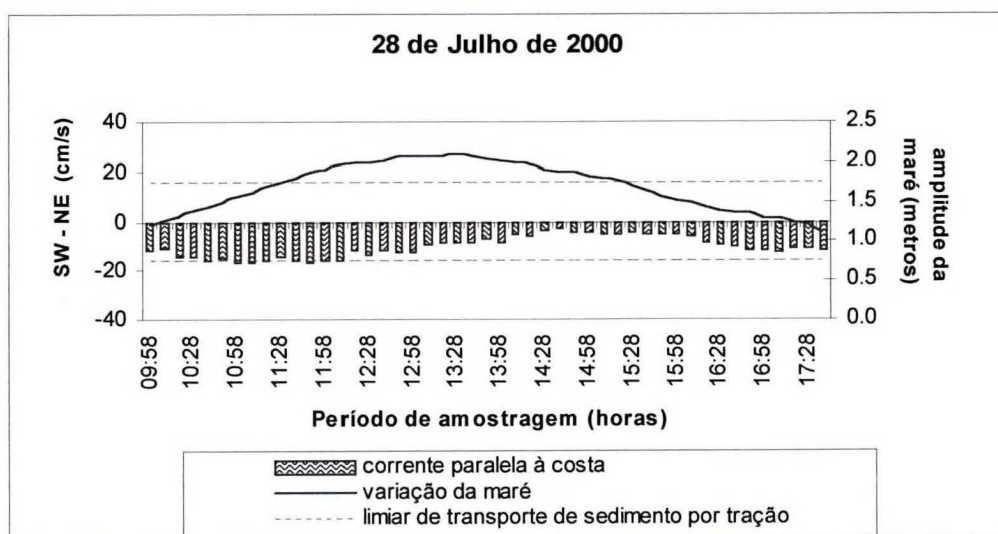


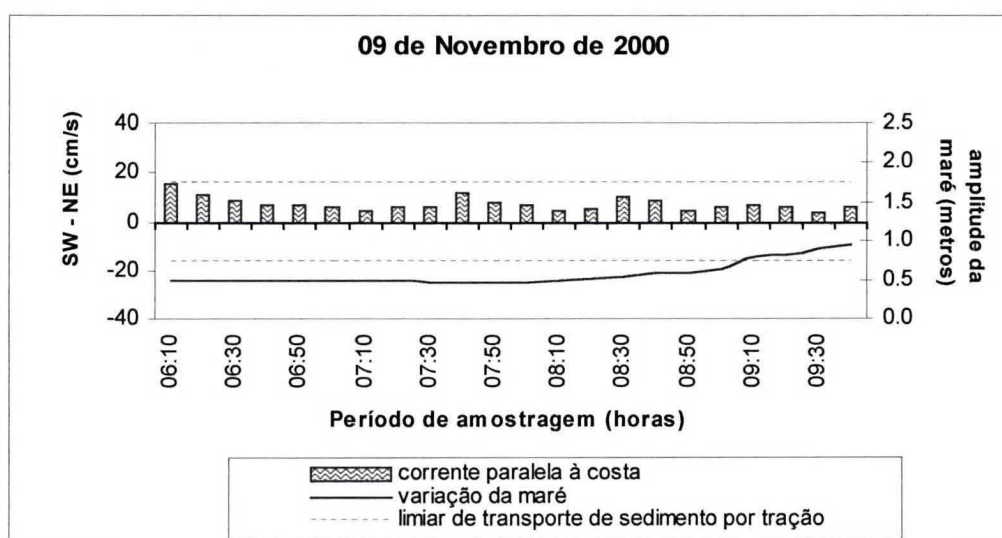
FIGURA 5.14 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 28.07.2000



Para 28 de Julho de 2000, a componente da corrente apresentou maior intensidade durante a maré enchente do que na maré vazante, não sendo observado inversão no sentido da mesma.

Na amostragem de 09 de Novembro de 2000 não houve uma variação direcional da componente paralela à costa, sendo que, em função do curto espaço de tempo da amostragem, não foi possível evidenciar para o período uma significativa variação da maré, caracterizando um momento de pico de maré vazante.

FIGURA 5.15 – VARIAÇÃO DA MARÉ, VARIAÇÃO DIRECIONAL DA COMPONENTE NE – SW DA CORRENTE E O LIMIAR DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR TRAÇÃO - 09.11.2000



5.4 Ventos locais

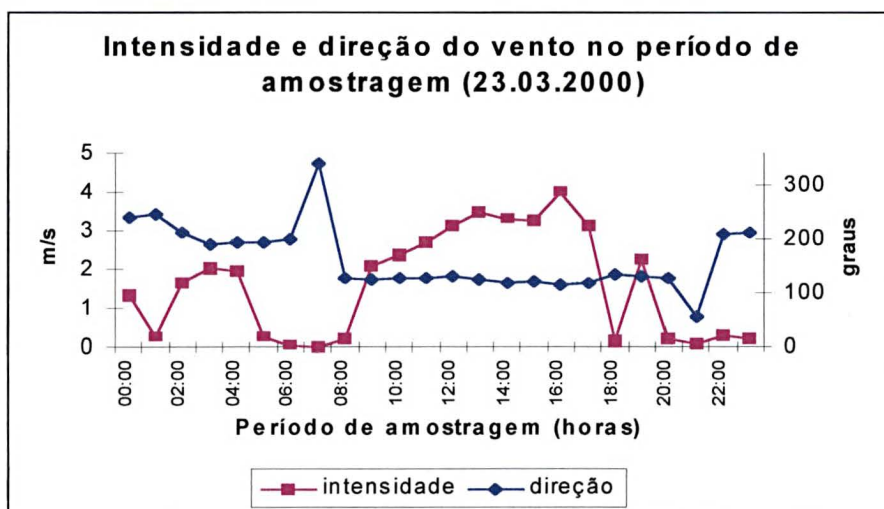
O vento soprando sobre a superfície da água exerce uma tensão friccional na direção em que o mesmo está soprando o qual influencia em alguns momentos a direção das correntes, dependendo da intensidade, tempo e direção do mesmo. Portanto a análise de dados de vento possibilitou identificar essa relação.

Abaixo estão os gráficos de intensidade e direção do vento para cada período de amostragem:

Para o período amostral de 23 de Março de 2000 a direção do vento não variou significativamente permanecendo no segundo quadrante (SE), apenas houve uma variação na primeira hora onde a direção ficou em 350° (quarto quadrante- NE), a intensidade se caracterizou por uma variação crescente de 2m/s à 4m/s, segundo a Escala BEAUFORT variou de calma a brisa fraca (fig. 5.16).

Em relação à Espiral de EKMAN a direção do vento na amostragem de 23 de Março de 2000 poderia induzir uma corrente no mesmo sentido (NE–SW) a partir das 10:30 hs sendo que neste momento houve um aumento da intensidade do vento (analisar às fig.5.11 e 5.16). No entanto, é prudente observar que no mesmo momento houve a inversão da maré, o que também propiciaria uma corrente no mesmo sentido de NE para SW.

FIGURA 5.16 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 23.03.2000

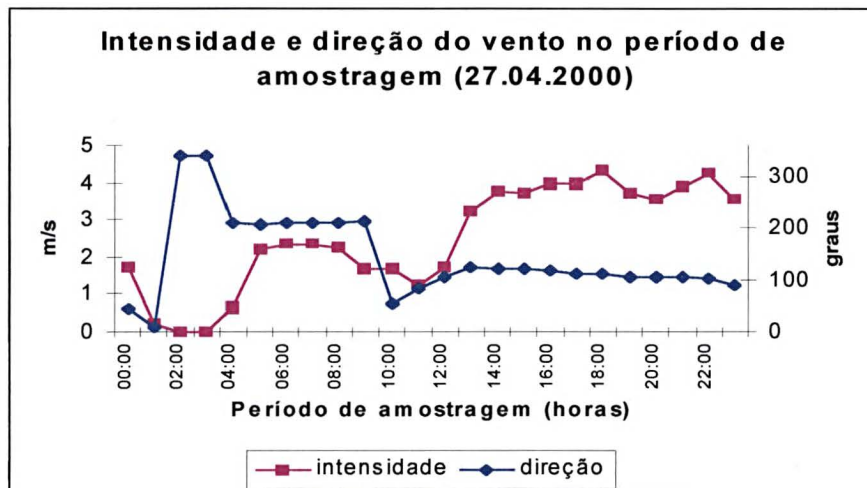


Para a amostragem de 27 de Abril de 2000 o vento variou entre o segundo e terceiro quadrante, e a intensidade variou de 2 m/s à 4,5 m/s, segundo a Escala de BEAUFORT variou de calma a brisa fraca (fig.5.17).

Em relação à Espiral de EKMAN a direção do vento na amostragem de 24 de Abril de 2000 poderia induzir uma corrente no mesmo sentido (NE-SW) a partir das 10:30 hs sendo que neste momento houve um aumento da intensidade do vento (analisar às fig.5.12 e 5.17). No entanto, é prudente observar que no mesmo

momento houve a inversão da maré, o que também propiciaria uma corrente no mesmo sentido de NE para SW.

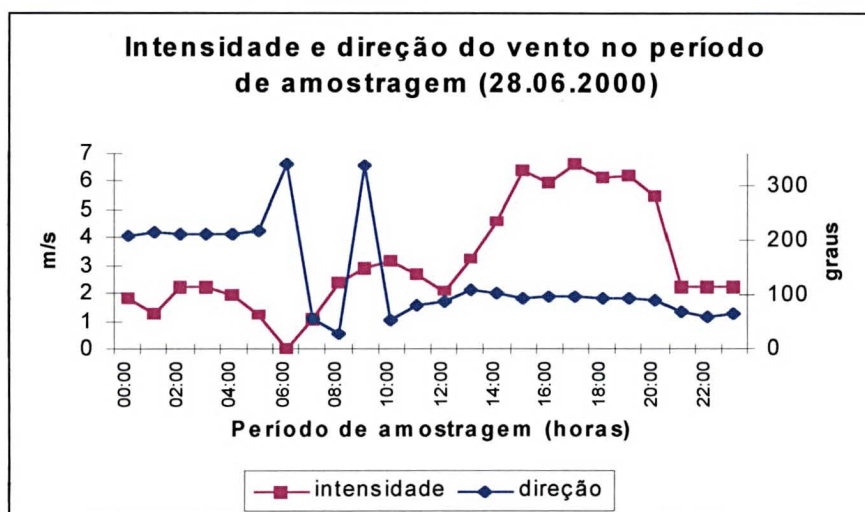
FIGURA 5.17 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 27.04.2000



Na amostragem do dia 28 de Junho de 2000 a direção do vento ficou no segundo quadrante e a intensidade do vento caracterizou por uma variação crescente onde variou de 2 m/s à 7 m/s, na Escala BEAUFORT variou de calma a brisa moderada (fig.5.18).

Em relação à Espiral de EKMAN a direção do vento na amostragem de 28 de Junho de 2000 poderia induzir uma corrente no mesmo sentido a partir das 13:00 hs sendo que neste momento houve um aumento da intensidade do vento (analisar às fig.5.13 e 5.18). No entanto, é prudente observar que no mesmo momento houve a inversão da maré, o que também propiciaria uma corrente no mesmo sentido de NE para SW.

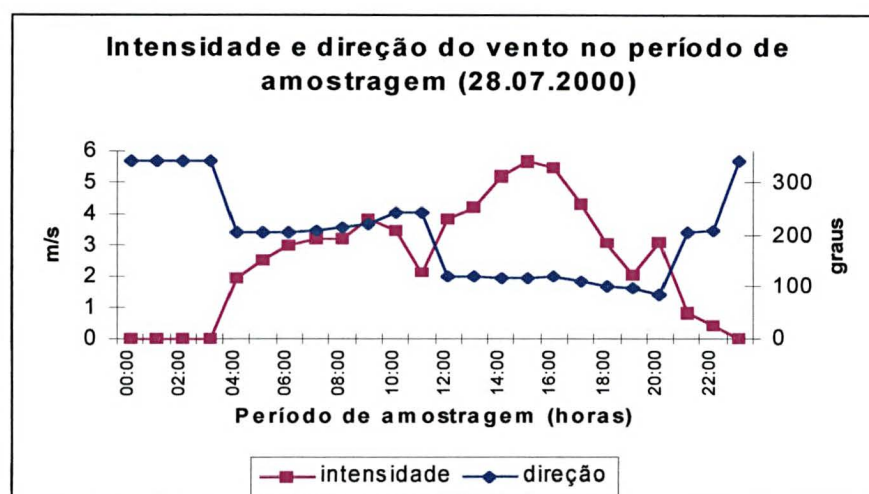
FIGURA 5.18 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 28.06.2000



A direção do vento na amostragem do dia 28 de Julho de 2000, nas primeiras horas da amostragem ficou no terceiro quadrante e permaneceu o restante do tempo no segundo quadrante com intensidades que variaram de 2 m/s à 6 m/s, na Escala BEAUFORT variou de calma à brisa moderada (fig.5.19).

Em relação à Espiral de EKMAN a direção do vento na amostragem de 28 de Julho de 2000 poderia induzir uma corrente no mesmo sentido a partir das 11:00 hs sendo que neste momento houve um aumento da intensidade do vento (analisar às fig.5.14 e 5.19). No entanto, é prudente observar que no mesmo momento houve a inversão da maré, o que também propiciaria uma corrente no mesmo sentido de NE para SW, e a direção da corrente para todo o período da amostragem foi no sentido NE para SW.

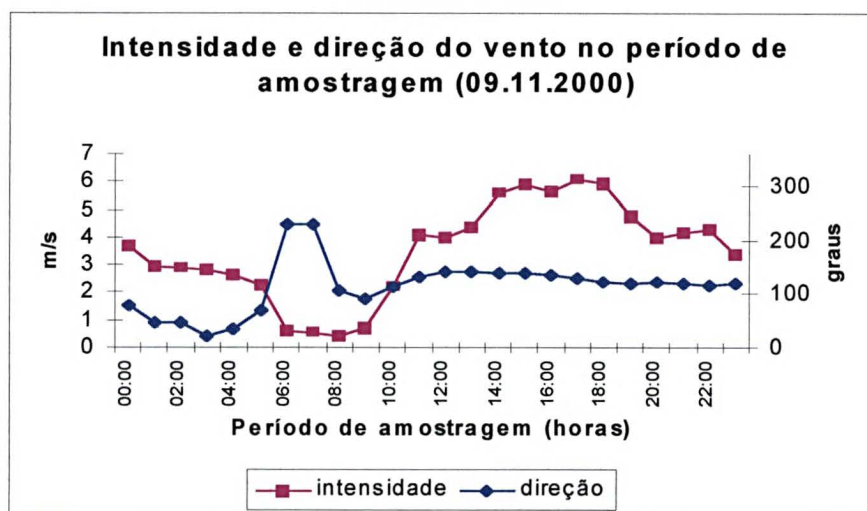
FIGURA 5.19 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 28.07.2000



Para a amostragem de 09 de Novembro de 2000 a direção do vento predominou no segundo quadrante e a intensidade variou de 1 m/s à 4m/s. Na Escala de BEAUFORT variou de calma à brisa fraca (fig.5.20).

Em relação à Espiral de EKMAN a direção do vento na amostragem de 09 de Novembro de 2000 poderia induzir uma corrente no sentido NE – SW a partir das 10:00 hs sendo que neste momento houve um aumento da intensidade do vento (analisar às figs.5.15 e 5.20). No entanto, é prudente observar que no mesmo momento houve a inversão da maré, o que também propiciaria uma corrente no mesmo sentido de NE para SW, e a direção da corrente foi inversa aos dados de vento e maré, no sentido SW para NE, a análise desta amostragem ficou falha devido ao curto tempo amostral.

FIGURA 5.20 - INTENSIDADE E DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DE AMOSTRAGEM 09.11.2000



5.5 Ponto amostral comparativo na Ilha do Mel

Analisando os dados referentes à estação oceanográfica localizada na Ponta do Caraguatá, na Ilha do Mel, a aproximadamente seis quilômetros do Balneário Atami, a variabilidade da direção de incidência de ondas apresentou como direção preferencial ondas vindas de NE e SE. A maior altura significativa (0,30 m) foi decorrente de ondas vindas de NE e a maior altura máxima registrada (0,38 m) coincidiu com ondas deste quadrante. O maior período significativo observado (9,8 seg) foi para ondulações provenientes de SE (tabela 5.3).

As pequenas alturas de onda registradas para esta estação em relação ao ponto amostral localizado no Balneário Atami, são explicadas pela maior profundidade em que está localizada esta estação (12 m de profundidade), sendo que no Atami os fundeios eram colocados nas proximidades da zona de arrebenção de ondas numa profundidade média de 5 m.

Para a estação da Ilha do Mel não foi possível obter dados de intensidade e direção das correntes, limitando a correlação com os demais parâmetros, como deslocamento teórico de uma partícula (vetor progressivo) e transporte de material particulado em suspensão.

Gráficos referentes a parâmetros de ondas para esta estação estão incluídos nos anexos.

TABELA 5.3 - DIREÇÃO PREDOMINANTE, ALTURA SIGNIFICATIVA (Hs), ALTURA MÁXIMA (Hmáx) E PERÍODO SIGNIFICATIVO (Ts) NA ESTAÇÃO ILHA DO MEL NO PERÍODO DE JULHO DE 2001 À JANEIRO DE 2002

Mês	Direção	Hs	Hmáx	Ts
Julho 2001	NE	0,30	0,38	9,6
Agosto 2001	NE	0,23	0,29	8,9
Setembro 2001	NE	0,17	0,32	9,6
Outubro 2001	SE	0,14	0,18	7,8
Novembro 2001	SE	0,15	0,24	9
Dezembro 2001	SE	0,23	0,29	9
Janeiro 2002	SE	0,27	0,35	9,8

6. DISCUSSÃO

No balneário Atami a direção de incidência do trem de ondas variou significativamente durante o período monitorado, mas foi possível evidenciar uma maior incidência de ondas vindas de S e SE, sendo que em algumas amostragens houve o predomínio de ondas de SSW.

As direções de entradas de ondas de SW foram interpretadas como sendo resultado da refração que as ondas sofrem em decorrência da interferência com as feições de fundo, cujo efeito é tornar a propagação perpendicular à costa.

Segundo a classificação de ondas proposta por WILLIAMS (1962), as ondas incidentes na região foram classificadas como ondas de gravidade, pois o período significativo (T_s) variou entre 4 e 7 segundos, sendo portanto ondas de ventos que possuem seus fatores genéticos distantes da costa (swell).

Neste estudo não foi observada variação nítida no regime de ondas no decorrer do ano que permitisse separar variações sazonais de características comuns, o que deve estar relacionado, pelo menos em parte, ao fato das amostragens terem sido possíveis somente em períodos de bom tempo e calmaria ao longo do ano. Os valores típicos obtidos para altura significativa (H_s) 0,75 m, altura máxima ($H_{máx}$) 1,23 m e período significativo (T_s) de 5,7 segundos, resultados semelhantes ao obtido por BANDEIRA (1974). O mesmo aconteceu com as amostragem realizadas por SOARES et. al.(1997), quando a altura das ondas na arrebentação variou de 0,35 até 0,95 m, com períodos entre 4,2 e 13 segundos, demonstrado uma grande semelhança com este estudo, em que os valores variaram de 0,64 até 0,90 m para altura significativa e 5,5 a 6,3 segundos para o período T_s . Em ambos os trabalhos houve um predomínio de ondas SE.

Da mesma forma, o relatório PORTOBRÁS (1983) demonstrou que a direção de incidência predominante de ondas é de SE, semelhante ao padrão encontrado neste trabalho. No entanto, para período médio, altura significativa e altura máxima, os valores encontrados foram mais elevados do que os observados neste trabalho, o que deve estar provavelmente associado à localização das amostragens, que foi próximo a zona de arrebentação, onde os valores se apresentaram menores já que boa parte da energia das ondas é perdida por atrito antes de atingir a zona de arrebentação.

De acordo com MARONE et al. (1997), estudos realizados entre a Ilha da Galheta e o balneário Pontal do sul, evidenciaram direção preferencial de ondas vindas de SE, alturas significativa de 0,40 m e períodos entre 5 e 12 segundos. Estes valores diferentes estariam relacionados ao local de amostragem que tem como proteção natural o Banco da Galheta, o qual serve como anteparo natural da ação das ondas o que justificaria o menor valor de altura significativa em relação aos demais estudos citados neste trabalho.

Na estação Ilha do Mel, onde se tem em média vinte e quatro registros diários, houve uma melhor possibilidade de interpretação dos dados. Estes evidenciaram ondas predominantes de NE nos meses de Julho, Agosto e Setembro de 2001. Enquanto ondas predominantes de SE foram observadas nos meses de Outubro, Novembro, Dezembro de 2001 e Janeiro de 2002. Neste local, sob influência da desembocadura da Baía de Paranaguá e dos bancos costeiros a esta relacionados, e apesar desta complexidade, ficou evidente a variação sazonal do trem de ondas. Com isto, fica claro que o estudo de ondas durante um ciclo de maré realizado na praia de Atami é insuficiente para capturar estas variações na medida em que só foi possível realizar as amostragens em condições de bom tempo e calmaria, que seriam equivalentes em qualquer época do ano.

Da mesma forma, a altura significativa (H_s) de 0,30 m em média, e altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) de 0,38 m. O período máximo ($T_{m\acute{a}x}$) variou de 10 a 11 segundos e o período significativo (T_s) foi de 9 segundos.

Analisando estes valores, obtidos na estação Ilha do Mel e os do Balneário Atami, a direção de propagação predominante de ondas foi de NE e SE respectivamente, e os valores de altura significativa foram relativamente menores para a Ilha do Mel porém apresentando maior período significativo (T_s). Essas variações estão provavelmente relacionadas com o local das amostragens e pela metodologia amostrai e instrumental diferente em cada local.

A estação da Ilha do Mel permaneceu instalada permanente na profundidade de 12 metros obtendo 24 registros diários em média, localizada próxima ao canal de acesso ao Porto de Paranaguá. Na estação do Balneário Atami os registros foram obtidos em profundidade aproximada de cinco metros próximo a zona de arrebentação de ondas, em média durante um ciclo de maré, a cada uma hora sendo que o aparelho registrava 18 minutos.

Ao relacionar os parâmetros de ondas com os parâmetros calculados para as correntes e o transporte de material particulado em suspensão paralelo à costa, obtidos para cada período amostrai, observa-se que em alguns casos as correntes paralelas, e conseqüentemente o transporte, apresentaram direcionamento inverso às direções preferenciais de incidência dos trens de ondas.

Em quatro amostragens houve coincidência entre a direção de incidência de onda, a direção da componente da corrente paralela (SW - NE) e a direção do transporte de material particulado em suspensão (21 de Janeiro, 27 de Abril, 28 de Junho e 09 de Novembro de 2000). Nestes períodos foram observadas ondulações incidentes que possuíam sentido predominante S e SE de 135°, 165°, 145° e 135°, propiciando uma direção do transporte paralelo de Sudoeste para Nordeste.

Em duas amostragens (23 de Março e 28 de Julho de 2000), as ondulações incidentes possuíam sentido predominante SSW, com ângulo de incidência de 195°. Nestas ocasiões as correntes paralelas, e conseqüentemente o transporte, apresentaram sentido de nordeste para sudoeste, contrariando as direções das incidência das ondas.

Os valores de altura significativa (H_s) e período significativo (T_s) apresentaram-se semelhantes para ambas as amostragens durante estes períodos.

As correntes induzidas por ondas incidentes dos quadrantes SSW somente poderiam induzir trajetória inversa à observada (Nordeste/Sudoeste), sendo portanto possível afirmar que as correntes registradas não possuem seus fatores genéticos atribuídos a incidência de ondas. Nestes casos, a situação das correntes de maré, a proximidade à desembocadura da baía e outros fatores devem predominar sobre a ação das ondas na geração das correntes litorâneas.

Além do transporte por correntes paralelo à costa, evidenciou-se um transporte transversal, o qual em duas amostragens possuiu sentido de Noroeste para Sudeste (21 de Janeiro e 09 de Novembro de 2000). Nas demais amostragens o sentido foi de Sudeste para Noroeste (23 de Março, 27 de Abril, 28 de Junho e 28 de Julho de 2000). Nestes casos, correntes de retorno (*rip currents*) podem ter ocorrido na área de amostragem, tendo sido registradas pelo correntômetro. Correntes de retorno e de convergência são fatores freqüentemente observados e relatados para a região, (NOERNBERG, 2001).

No transporte transversal à costa, em cinco amostragens, a intensidade da corrente transversal (NW/SE) supera a intensidade da corrente paralela à costa e apenas num caso ocorre o inverso. Esse transporte mostrou-se dependente da variação da maré, sendo representado esse movimento nos vetores progressivos (fig.5.9), quando ocorre a inversão do sentido das correntes no momento da inversão da maré.

A análise dos processos que podem provocar o transporte de material particulado em suspensão próximo a zona de arrebentação, destaca que as correntes paralelas à costa no Balneário Atami são reguladas pelas ação das ondas e em alguns momentos pelas correntes de marés atuantes na desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá. Não foi possível determinar uma influência do vento na direção das correntes, provavelmente pela baixa intensidade a qual apresentou nas amostragens, sendo que estes valores variaram de 0 à 7,4 m/s.

O resultado obtido para o transporte líquido de MPS foi de 20.774 g/s ou 655.128 ton/ano, determinando um transporte médio preferencial no sentido Nordeste-Sudoeste durante o período de amostragem deste trabalho. Destaca-se que este transporte é inverso àquele relatado em diversos trabalhos que utilizam de feições geológicas e métodos indiretos para a estimativa de fluxo paralelo à costa no litoral do Estado do Paraná, sendo que segundo TESSLER (1988); ANGULO (1992); MARONE et al. (1995); GOBBI (1997) e NOERNBERG (2001); LAMOUR (2000), as correntes paralelas à costa do Paraná possuem sentido preferencial de Sul/Norte. Muito provavelmente esta discrepância deve-se à escala espacial (pontual) e temporal (ciclo de maré) da amostragem e à complexidade do campo de correntes na plataforma rasa do estado, a que tem mostrado evidências de um grau de heterogeneidade espacial e temporal muito grande.

No entanto, o transporte num sentido ou no outro indica que o valor potencial de material particulado em suspensão proveniente de nordeste para sudoeste seria de 125.507 g/seg, referente as amostragens de Março e Julho de 2000, e o proveniente de sudoeste para nordeste, referente as demais amostragens, de 104.733 g/seg. Isso evidenciou que os valores observados para o potencial transporte de nordeste para sudoeste foram maiores do que o apurado para o transporte predominante (sudoeste/nordeste), considerando que a amostragem de

23 de Março de 2000 ocorreu 3 dias após uma maré de sizígia e a de 28 de Julho e 09 de Novembro de 2000, dois dias antes.

Segundo NOERNBERG (2001), as correntes de maré enchente e vazante de sizígia possuem alta energia e com menor intensidades nas marés de quadratura. Contudo, em situações de intensa energia de ondas, o transporte de sedimentos em direção à costa, e, para dentro do canal de acesso marítimo ao Complexo Estuarino de Paranaguá, é intensificado.

Durante condições de mar calmo, o sentido das correntes de maré capazes de transportar sedimentos indica que o transporte de sedimentos ocorre segundo orientações de vazante, no Saco do Limoeiro, próximo ao Canal da Galheta ARAÚJO (2000).

Utilizando a fórmula de KAMPHUIS (1991), os valores obtidos para transporte líquido de sedimento para cada amostragem, indicaram que os maiores valores foram para as campanhas dos dias 28 de Junho (614.912 m³/ano), 28 de Julho (740.172 m³/ano) e 09 de Novembro de 2000 (670.237 m³/ano).

Os menores valores corresponderam com as amostragens de 21 de Janeiro (264.885 m³/ano), 23 de Março (290.098 m³/ano) e 27 de Abril de 2000 (207.204 m³/ano).

Os valores calculados para cada amostragem traduzem um transporte de sedimentos a partir dos parâmetros observados em cada dia, sendo os resultados extrapolados para um ano de transporte em mesmas condições. Não foi possível relacionar um valor total para todas as amostragens pois cada uma apresenta características próprias.

Comparando os valores de transporte de sedimentos obtidos por GOBBI (1997) para o Balneário Atami, com os deste trabalho, os valores obtidos pelo autor foram menores, cerca de 121.888 m³/ano, apresentando um transporte litorâneo de sedimento para a costa paranaense na ordem de 100 a 300 mil m³/ano.

ALFREDINI (1997), obteve valores na ordem de 2,2 milhões de m³/ano para o transporte total na região da praia de Brejatuba, litoral sul do Estado do Paraná. SOARES e ALFREDINI (1997), estimaram para praias do Sul de São Paulo valor de transporte total na ordem de 2 a 3 milhões de m³/ano. Percebe-se uma grande diferenciação nos valores apresentado pelos autores se comparados com os deste trabalho. Considerando a proximidade das três regiões, observa-se uma grande

discrepância entre os valores acentuadamente mais baixos obtidos para o transporte de sedimentos da praia do Atami e os levantados pelos autores.

Por outro lado, os sedimentos transportados em suspensão tendem a se intensificarem em escalas temporais curtas, principalmente em “eventos episódicos”, como maré meteorológicas e agitação marítima acentuada, o que por razões logística resultou impossível de amostrar neste trabalho já que, os períodos de amostragens eram efetuados em dias de mar calmo, sem muita agitação, caracterizando um período de baixa energia .

Utilizando valores próprios de granulometria do local, foi possível estimar o potencial de transporte por tração, na medida que as correntes observadas tiveram valores equivalentes aos relatados por ARAÚJO (2001), usando o critério de YALIN (1972). Estes valores indicaram que podem ser capazes de transportar por tração sedimentos, como por exemplo, diâmetro médio $D = 0,16$ mm, a partir de correntes com mais de 15,8 cm/s.

Como as coletas no Balneário Atami foram realizadas em tempo bom, tudo que leva a crer que, em situações de tempestades, os fenômenos de transporte de sedimento devem ser potencializados, reforçando a hipótese de serem fenômenos intensos que se apresentam como eventos de curta duração os que possuem maior potencial de modificar as feições sedimentares por forte intensificação dos fenômenos de transporte.

Os fatores regionais tais como a proximidade entre a área amostral de estudo e a desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá e também ao Banco da Galheta confere particularidades ao comportamento da energia de ondas incidentes neste setor da costa. Por outro lado, a extensão e suavidade da plataforma continental influência o comportamento das alturas das ondas de maneira diversa segundo o local do litoral do estado.

As correlações entre as direções predominantes de ondas e a intensidade das correntes e as variações de marés, evidenciaram uma efetiva influência das correntes de marés atuantes na desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá nas correntes paralelas e transversais atuantes no Balneário Atami.

Contudo, não se estabeleceu um padrão de variação comum entre as marés enchentes e as vazantes e as inversões das componentes paralelas, sendo observadas direções das componentes para ambos os lados para condições da

maré enchente e também direções para ambos os lados para condições da maré vazante, o que leva a crer que ora as correntes neste ponto são regidas pela direção predominante da incidência de ondas, ora pelas correntes de marés atuantes na desembocadura sul do estuário da Baía de Paranaguá e, em outros casos, pela ação combinada destes e outros fatores, não sendo possível estabelecer claras relações causa-efeito.

O relativamente curto período do monitoramento e o fato das amostragens terem sido realizadas de forma pontual, somando-se a complexidade que envolvem setores costeiros como este, tornam difíceis obter respostas conclusivas a respeito destes processos.

Provavelmente, condições de elevada energia das ondas incidentes comandem o sentido das correntes, principalmente em dias de marés de quadratura, onde a energia das marés se demonstram menores, ficando as variações do direcionamento das correntes diretamente relacionado ao balanço entre as intensidades das ondas incidentes e as intensidades das marés. Já em situações não tão simples, onde as forças de maré e das devidas à ação das ondas sejam comparáveis, os resultados podem ser dos mais diversos, como foi aqui verificado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, com base em estudos de ondas e correntes nas proximidades da zona de arrebentação, analisou o potencial hidrodinâmico para o transporte de sedimentos por correntes paralelas à costa em decorrência do regime de ondas e das correntes de marés atuantes na costa adjacente a desembocadura sul do Complexo Estuarino de Paranaguá, o qual apresentou uma dinâmica complexa devido a interação de vários processos costeiros atuantes na dinâmica local.

A complexa dinâmica evidenciada aponta para a necessidade da ampliação de estratégias amostrais, como monitoramento permanente de dados oceanográficos e principalmente análises dos parâmetros em casos de “eventos de alta energia”, os quais apresentam maior intensidade dos processos referentes a incidência de ondas e, como consequência, a intensificação do transporte de sedimentos por correntes longitudinais à costa.

Entretanto, a maior limitação foi o período amostrai utilizado, nem tanto porque possibilitou apenas amostragens diárias num único local, dificultando uma análise mais detalhada da variabilidade espaço-temporal dos processos, mas porque por questões logísticas só foi possível instalar o instrumento em períodos de bom tempo e calmaria, quando a embarcação podia operar em segurança.

As análises do transporte médio de material particulado em suspensão indicaram um sentido preferencial de deslocamento Sudoeste para Nordeste em alguns casos e, principalmente, de Nordeste para Sudoeste, o qual não foi identificado nas demais referências que abordam o assunto para o local de amostragem.

Estas variações direcionais estão relacionadas principalmente com dois fatores hidrodinâmicos característicos do local, sendo eles: as correntes formadas em decorrência da incidência das ondas e as correntes de maré atuantes na desembocadura sul do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá. Além dos resultados objetivos sobre o clima de ondas, as correntes e o potencial hidrodinâmico para o transporte de sedimentos, este estudo sugere que uma estratégia amostral mais adequada deve permitir o registro do clima de ondas em pelo menos um ciclo de maré em todas as condições naturais possíveis, já que o

registro em períodos de calmaria faz perder a amostragem durante eventos extremos, maiores responsáveis pela dinâmica sedimentar, assim como o estudo das variações sazonais, como comprovado ao comparar os dados de Atami com os da Ilha do Mel. A implementação de estratégias de monitoramento e estudo das ondas, correntes e transporte costeiro, pode ser utilizada como potente mecanismo de planejamento e gerenciamento de zonas litorâneas.

Estudos aprofundados de dinâmica costeira podem trazer inúmeros benefícios, tais como a otimização de propostas aplicadas a problemas sócio-econômicos e ambientais, gerando subsídios técnico-científicos ao manejo de áreas costeiras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAYA FILHO, J. S., CUNHA, F. L. B., BITTENCOURT, A.C.S.P. (1998). Clima de ondas e transporte de sedimentos: Estudo de caso na costa leste da Ilha de Itaparica, Bahia. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 11, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande.444p.

ALFREDINI, P.. (1999). A estimativa do transporte de sedimentos litorâneos como ferramenta para o conhecimento relativo à erosão costeira In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA) E REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL, 6., Curitiba. **Anais...** Curitiba. 125 p.

ALFREDINI, P.. (1999). Estimativa do transporte de sedimentos longitudinal à praia em local selecionados ao longo da costa brasileira. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, v. 47, p. 9-18.

ANGULO, R.J.(1992). **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ANGULO, R. J. (1993). Variações na linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, v. 41, p. 52 – 72.

ANGULO, R. J. (1996). Problemas na terminologia de ambiente e sbambientes litorâneos clásticos dominados por ondas. **Bol. Parana. Geocienc.**,Curitiba. 44:51-57.

ANGULO, R.J., ARAÚJO, AD.(1996). Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, v. 44, p. 7-17.

ARAÚJO, A. D. (2001). **Dinâmica sedimentar e evolução paleogeográfica do saco do limoeiro na Ilha do Mel, e sua relação com o canal de acesso ao Porto de Paranaguá.** Curitiba. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

BANDEIRA, J.V.(1974). **Estudo estatístico das ondas ao Largo da Baía de Paranaguá.** Porto Alegre. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; MATOS, D.J., WERNER, A. (Ed.) (1978). **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná...um problema de segurança ambiental e nacional.** Curitiba: Secretaria de Estado de Planejamento/ ADEA, 249 p.

BORZONE, C. A., Y. A. G. TAVARES, F. C. R. BARROS Jr 1998. **Beach morphodynamics and distribution of Mellita quinquiesperforata (Leske, 1778) on sandy beaches of southern Brazil.** Echinoderms: San Francisco, Mooi & Telford (eds). Balkema, Rotterdam, ISBN. 90:581-586.

CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H.(1993). **Característica morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS.** Pesquisas, 20(1):48-56.

GOBBI, E. F. (1997). **Gerenciamento costeiro: análise de caso do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ESCALA BEAUFORT (2000). Disponível em:
<http://atlasul.inpe.br/ingrid/escala_beaufort.htm> Acesso em: 25 jul.

HOEFEL, F. G. (1998). **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas.** Itajaí: Ed. da Univali. 91p.

IAPAR. (1978). **Manual agropecuário para o Paraná**. IAPAR – Fundação Instituto Agrônômico do Paraná.

INPH. (1985). **Medições de ondas em Paranaguá/Pr – 01/09/82 a 31/08/83**.

IPARDES, (1989). **Zoneamento do litoral paranaense**. Curitiba, 174p.

LAMOUR, M. R. (2000). **Dinâmica sedimentar do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá – Pr**. Curitiba. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

MACHADO, E.C; DANIEL, C. B.; BRANDINI, N.;QUEIROZ, R. L. V. (1997). Temporal and spatial dynamics of nutrients and particulate matter in Paranaguá Bay, PR, Brazil. **Nerítica**, Curitiba, v. 11, n. 1-2, p.17-36.

MARONE, E; GUIMARÃES, M. R. F.;CAMARGO, R.; PRATA JUNIO,V. P.; KLINGEFUSS, M. S. (1995). Caracterização física das condições oceanográficas, meteorológicas e costeiras das zonas estuarinas da Baía de Paranaguá. In: CONGRESSO LATINO – AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 6., Mar del Plata, Argentina. **Resumos**. p. 129.

MARONE, E.;MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M.A.; KLINGENFUSS, M.S.; LAUTERT, L.F.C.; PRATA JUNIOR, V.P. (1997). **Caracterização Física do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá**. Pontal do Sul: UFPR. v.2. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM.

NOERNBERG, M. A. (2001). **Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranguá – Paraná – Brasil: Um Estudo a Partir de Dados In Situ e Landsat – Tm**. Curitiba. 180 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná .

NOERNBERG, M. A.; MARONE, E.(2002). **Coastal cell circulation driven by tidal and longshore wave-generated currents detected by Landsat – 7**. Trabalho apresentado no 11. Proceedings International Biennial Conference on Physics of Estuaries and Coastal Seas, Hamburgo, Alemanha.

OPEN UNIVERSITY. (1994). **Waves, Tides and Shallow-water Processes**. [S.l.]; Pergamon.168p.

PEREIRA, J.; CANDELLA, R.N. & CARVALHO, J.L.B. (2000). O clima de ondas na costa sul de Arraial do Cabo, Rj: distribuição de parâmetros de onda. **Notas Técnicas Facimar**. Itajaí, v. 4, p.1-9.

PORTOBRAS. (1983). **Campanha de medições de ondas em Paranaguá – PR, período 21.08.1982 a 21.01.1983**. Rio de Janeiro, Inst. Psq. Hidrog. (INPH), Div. Lev. (DIDELE), 23p.

SOARES, C. R.; PARANHOS FILHO, A. C.; SOUZA, M.C.; BRANCO, J.C.;FABIANOVICZ, R.; PRAZERES FILHO, H.J.; KOGUT, J.S. (1994). Variações da linha de costa no Balneário Pontal do Sul (PR) no período 1953 – 1993: um balanço sedimentar. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, n. 42, p. 161 – 171.

SOARES, C. R.; ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. (1997). Roteiro da excursão ao litoral do Estado do Paraná: morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o quaternário e problemas de erosão costeira. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA) E REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL, 6., Curitiba. **Anais...** Curitiba. 125 p.

SPERANSKI 2002 (dados inéditos - com. pessoal)

TESSLER, M. 1988. **Dinâmica Sedimentar Quaternária no Litoral Sul Paulista**. São Paulo. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo.

TRENHAILE, A. S. (1997). **Coastal dynamics and landforms**. New York: Oxford. 366p.

WILLIMS, J. (1962). **Oceanography**: na introduction to the marine sciences. Boston: Little, Brown.p 163.

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Mar. Geol.**, Amsterdam, v. 56, p. 93-118.

WRIGHT, L. D. (1995). **Morphodynamics of inner continental shelves**. Boca Raton: CRC Press. 241 p.

ANEXO 1

Representação Gráfica das informações de ondas da estação Ilha do Mel no período de 06.Julho 2001 à 20.Janeiro.2002

FIGURA 1 – PERÍODO SIGNIFICATIVO (Ts) NO PERÍODO DE 06.07.01 À 20.01.02
 – ESTAÇÃO ILHA DO MEL

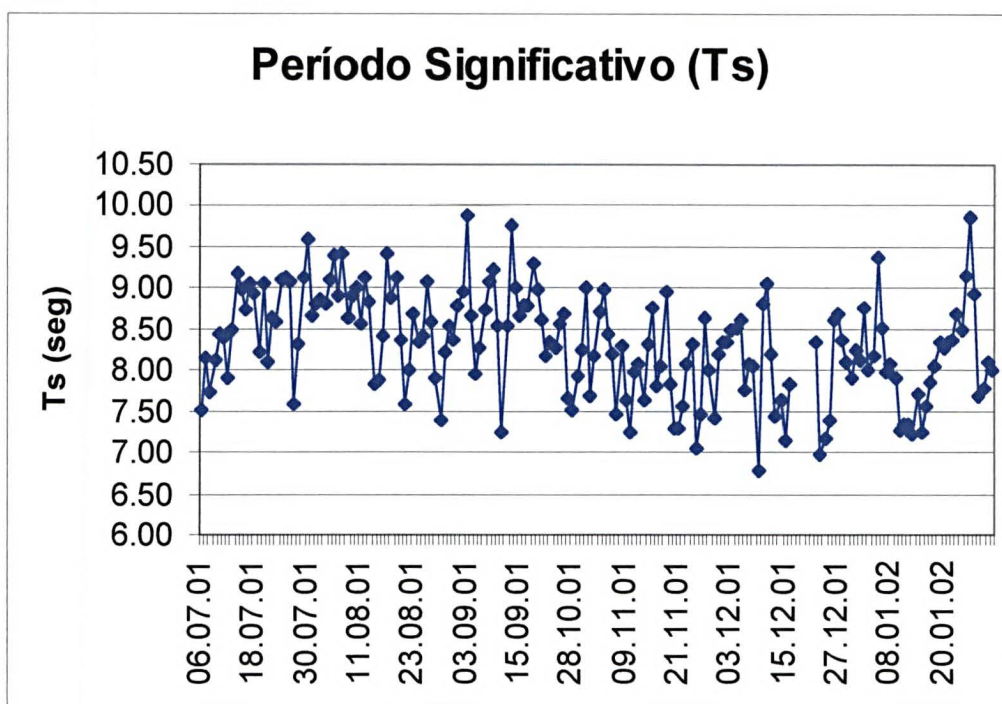


FIGURA 2 – ALTURA SIGNIFICATIVA (Hs) NO PERÍODO DE 06.07.01 À 20.01.02
 – ESTAÇÃO ILHA DO MEL

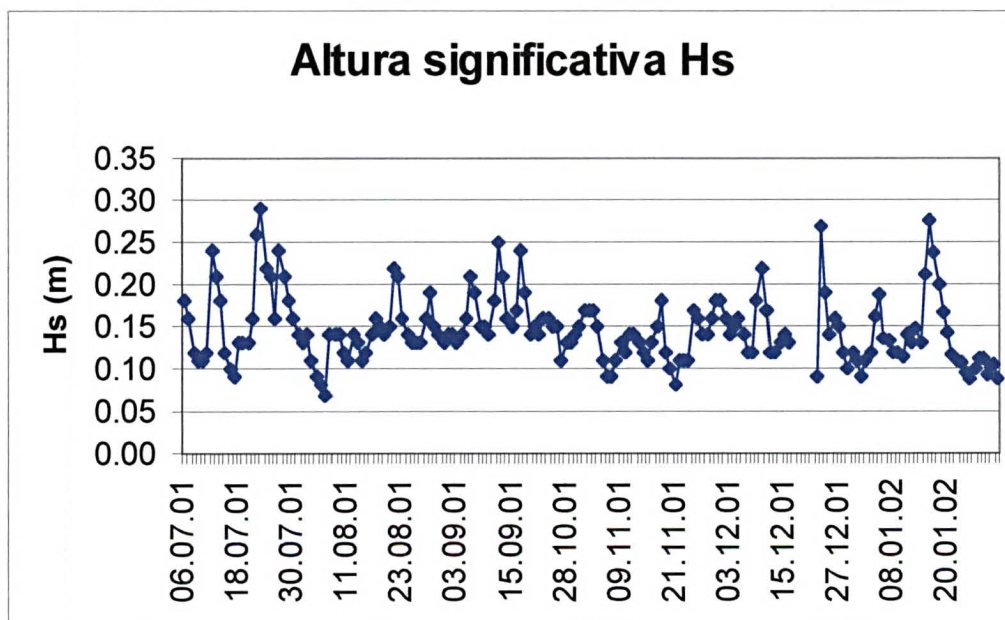


FIGURA 3 – ALTURA MÁXIMA (HMÁX) NO PERÍODO DE 06.07.01 À 20.01.02 – ESTAÇÃO ILHA DO MEL

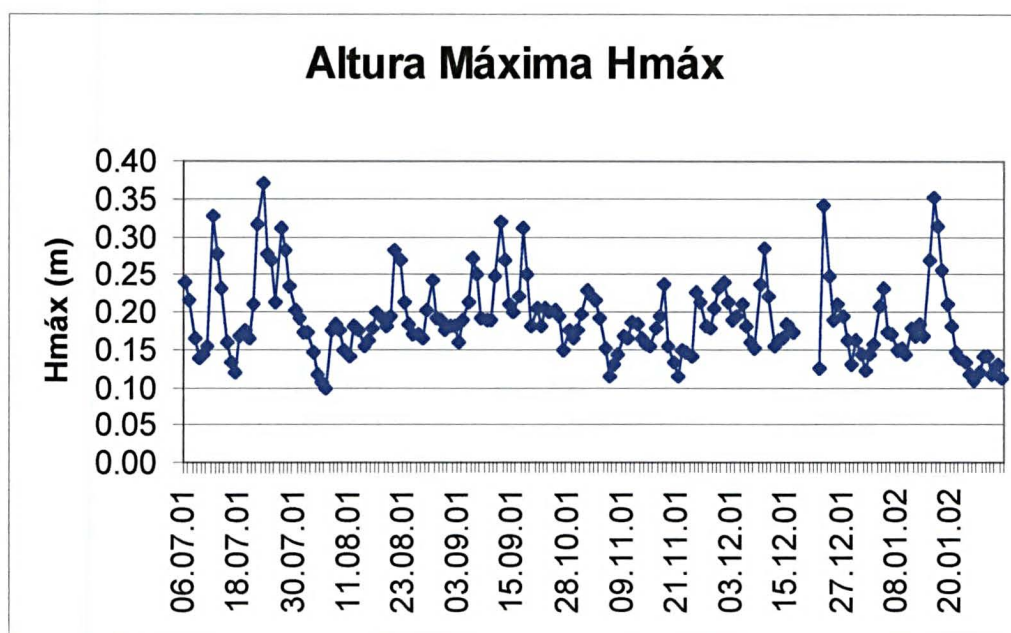


FIGURA 4 – PERÍODO MÁXIMO (TMÁX) NO PERÍODO DE 06.07.01 À 20.01.02 – ESTAÇÃO ILHA DO MEL

