

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas

**HIDRODINÂMICA COSTEIRA E QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE
LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS NÃO COESIVOS NA ZONA DE SURFE DAS
PRAIAS ADJACENTES AOS MOLHES DA BARRA DO RIO GRANDE, RS,
BRASIL.**

**(Aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste
da embocadura do estuário da Lagoa dos Patos)**

JOSÉ ANTÔNIO SCOTTI FONTOURA

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como
requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos e
Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luis Emílio de Sá Brito Almeida – UFRGS

Co-orientador: Prof. Dr. Lauro Júlio Calliari – FURG

Banca Examinadora

Prof. Dr. Elírio Toldo Jr. – CECO/UFRGS
Profª. Dra. Nara M. L. Rosauo – IPH/UFRGS
Prof. Dr. João Carlos Strauch - FURG

Porto Alegre, março de 2004

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1 Hipóteses.....	14
1.2 Objetivos.....	16
1.3 Justificativa.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Estado geral da arte.....	19
2.2 Equações empíricas de descrição do transporte (revisão histórica).....	28
2.3 Comparações e comentários.....	39
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	41
3.1 Localização.....	41
3.2 Fisiografia e Morfodinâmica.....	44
3.3 Urbanização e Obras Costeiras.....	49
3.4 Regime de Marés.....	52
3.5 Regime de Ondas.....	53
3.6 Regime de Ventos e Tempestades Costeiras.....	56
3.7 Regime de Correntes.....	59
3.8 Regime de Transporte.....	61
4. METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS.....	65
4.1 Aquisição e tratamento dos dados de campo.....	65
4.1.1 Introdução.....	65
4.1.2 Sedimentos.....	66

4.1.3 Perfis praias, profundidade de quebra, largura da arrebentação e declividade da praia.....	81
4.1.4 Correntes longitudinais.....	83
4.1.5 Ventos locais.....	85
4.1.6 Ondas.....	87
4.2. Descrição matemática da corrente longitudinal e do transporte litorâneo.....	94
4.2.1 Introdução.....	94
5. RESULTADOS.....	98
5.1 Medições de campo.....	99
5.1.1 Dados hidrodinâmicos.....	99
5.1.2 Dados sobre transporte longitudinal e características sedimentológicas das areias transportadas.....	114
5.2 Aproximações matemáticas.....	169
5.2.1 Escolha e calibração das equações empíricas.....	169
5.2.2 Aplicação das equações de transporte na região de interesse.....	176
6. DISCUSSÃO.....	170
6.1 Medições de campo.....	184
6.1.1 Dados hidrodinâmicos.....	184
6.1.2 Transporte sedimentar e caracterização sedimentológica.....	194
6.2 Aproximações matemáticas.....	207
6.2.1 Escolha e calibração das equações empíricas.....	207
6.2.2 Aplicação das equações de transporte na região de interesse.....	210
7. CONCLUSÃO.....	223
BIBLIOGRAFIA.....	226
ERRATA.....	238
ANEXOS.....	239

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada com recursos do CNPq e com o apoio do IPH/UFRGS e LOG/FURG, a quem manifesto os meus sinceros agradecimentos.

Esta é, sem dúvida, a etapa mais esperada, porém, a que envolve a maior de todas as responsabilidades, principalmente quando se trata de um trabalho com participação coletiva, onde muitos indivíduos de alguma maneira cooperaram na sua construção. A mais esperada porque normalmente coincide com o encerramento de anos de trabalho duro. A de maior responsabilidade porque, se existe momento em que não é permitido falhar, é este, quando devemos saber manifestar a nossa gratidão a todos aqueles que nos ajudaram, fazendo público o nosso reconhecimento.

Esquecimentos científicos sempre podem ser reincorporados ou simplesmente desculpados por nossas limitações individuais, entretanto, o esquecimento de nomes caudatários do nosso agradecimento raramente deixa espaço para reconsiderações. Por isso aproveito este instante para manifestar a minha sincera gratidão a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a construção desta tese, bem como para a continuidade da minha formação acadêmica e profissional. Em especial, gostaria de agradecer:

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Luis Emilio de Sá Brito Almeida, que através de sua orientação científica, sua amizade e seu posicionamento ético e profissional, tornou possível a realização deste trabalho, marcando a minha vida de forma definitiva, como profissional e como indivíduo.

Ao Prof. Dr. Lauro Julio Calliari, amigo, colega e excepcional profissional que no papel de co-orientador foi incansável na orientação firme, no apoio incondicional e no bom conselho ocupando posição decisiva no bom termo desta Tese.

Ao especial amigo Msc. Eng. José Antonio Antiqueira, por sua dedicada participação nos trabalhos de campo, quando foi um parceiro incansável de todas as horas e de todas as frentes. Sem a tua ajuda Zé, certamente esta tese não teria nascido. Obrigado cara!

Ao Prof. Dr. Carlos Hartmann pelo constante incentivo e interesse permanente no bom termo deste trabalho, bem como pela ajuda dada com aerofotografias e imagens orbitais.

Ao Prof. Dr. Nicolai Speranski pelas discordâncias respeitadas, pela crítica honesta e sugestões bem embasadas. Pelas longas discussões científicas quando com seu pensamento límpido, objetivo e lógico proporcionou-me a oportunidade de rever conceitos que imaginava definitivos. Obrigado pela oportunidade de privar da tua amizade e dos teus ensinamentos, com certeza deixaste muitos amigos e muita saudade por aqui.

Aos amigos Pedro e Milico pelo apoio dado durante a realização dos trabalhos de campo. A Cristiane pela ajuda com índices e bibliografia.

Desejo agradecer, também, a Neuza e a Glória pelo trabalho incansável e eficaz realizado no laboratório da sedimentologia no tratamento das inúmeras amostras.

A toda a turma do Laboratório de Oceanografia Geológica, que de alguma forma me influenciaram ou me ajudaram: Sergio, Griep, Salette, Renato (buscapé), Tadeu, Rivelino e Nádia (gringa). Aos amigos do IPH, especialmente: Jaime, Paulo Roberto e Sávio.

A Profa. Dra. Nísia Krusche (Meteorologia da FURG) pela gentileza em atender as nossas solicitações quanto a informações sobre dados meteorológicos, de propriedade do seu departamento, que foram de vital importância para este trabalho.

Ao meu amigo Prof. Dr. Luiz Felipe Niencheski pelas inúmeras incomodações que lhe causei ao solicitar-lhe o empréstimo de equipamentos de sua propriedade.

A minha querida irmã Maria Berenice, Flávio, Júnior e Mana pelos momentos de alegria e saudável convívio, quando praticamente mudei-me para sua casa durante a realização dos créditos obrigatórios. Bereca, sem vocês tudo certamente teria sido muito mais difícil.

À minha querida sogra Da. Lourdes pela inestimável ajuda na confecção dos ‘traps’ para captura de sedimento (corro o risco de que algum caráter mal-formado encontre neste agradecimento o ineditismo da minha tese). Obrigado sogrinha! Conto contigo no pós-doc.

Por fim, mas jamais por último, à minha amada esposa Rosa Maria e aos meus queridos filhos Bruno e Júlia pelos inúmeros desconfortos que venho lhes causando desde o mestrado, mas sem cujo amor, compreensão e incentivo nada teria sido possível.

MUITO OBRIGADO A TODOS VOCÊS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações empíricas da velocidade da corrente longitudinal, disponíveis na literatura e escolhidas para comparação com dados obtidos na região de interesse.....	96
Tabela 2 – Equações empíricas da intensidade do transporte longitudinal, disponíveis na literatura, escolhidas para comparação com dados obtidos na região de interesse.....	97
Tabela 3 – Resultados obtidos da comparação estatística entre a média dos valores medidos da velocidade da corrente longitudinal e a média dos valores calculados pelo conjunto de equações disponíveis na tabela 1. Foram utilizados os dados medidos nas 50 campanhas realizadas.....	171
Tabela 4 – Resultados obtidos da comparação estatística entre a média dos valores medidos do transporte longitudinal e a média dos valores calculados por um conjunto de equações disponíveis na literatura e apresentadas na tabela 2.....	174
Tabela 5 – Equações empíricas do transporte longitudinal, disponíveis na literatura, e recalibradas para os dados de transporte medidos na área de interesse.....	174
Tabela 6 – Resultados obtidos da comparação entre a média dos valores medidos da corrente longitudinal e a média dos valores calculados pelas equações recalibradas e apresentadas na tabela 5.....	176
Tabela 7 – Taxa anual média do transporte longitudinal, total e líquido, calculada com o auxílio das três equações calibradas para a região (Tab 5) e com base nos dados obtidos a partir das 50 campanhas de medições conduzidas na área de interesse.....	177
Tabela 8 – Taxa anual média dos transportes longitudinal, total e líquido, calculados com o auxílio das equações testadas por Miller (1999) apresentadas na tabela 2 (eq. 56 e 62) e com base nos dados de ondas de tempestades ocorridas na área de interesse e publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).....	177
Tabela 9 – Taxa anual média dos transportes longitudinal, total e líquido, calculada com o auxílio das equações apresentadas nas tabelas 2 e 5 com base nos dados de ondas de tempestades ocorridas na área de interesse e publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).....	178
Tabela 10 – Valor anual médio do transporte longitudinal, total e líquido avaliado pelas equações utilizadas para os valores apresentados nas tabelas 7 e 8 e considerando a soma do transporte, tanto em condições atmosféricas normais como durante eventos de tempestades.....	179
Tabela 11 – Valor anual médio do transporte longitudinal, total e líquido avaliado pelas equações utilizadas para os valores apresentados nas tabelas 7 e 9 e considerando a soma do transporte, tanto em condições atmosféricas normais como durante eventos de tempestades.....	179
Tabela 12 - Dados relativos à coleta de sedimentos na zona de arrebentação utilizando conjuntos trapeadores.....	181

LISTA DE FIGURAS

Figura A - Perfil praiial genérico contendo a terminologia utilizada neste trabalho (modificado de Elfrink & Baldock, 2002).....	05
Figura B – Volume de controle para determinação do balanço de sedimentos costeiros (modificado de Alfredini, 1991).....	24
Figura 1 – Localização da área de estudos.....	42
Figura 2 – Localização dos perfis na área de estudo.....	43
Figura 3 – Batimetria da região de estudo (Modificado de Coli, 2000).....	48
Figura 4 – Detalhes construtivos do suporte de ‘traps’ (modificado de Kraus, 1987).....	69
Figura 5 – Detalhes construtivos da boca do ‘trap’ (modificado de Kraus, 1987).....	70
Figura 6 – Foto de detalhe da fixação.....	70
Figura 7 – Foto de detalhe da montagem.....	70
Figura 8 – Vista geral do ‘trap’ (boca metálica e rede).....	71
Figura 9 – Vista frontal da montagem.....	71
Figura 10 – Vista lateral da montagem.....	71
Figura 11 – Montagem, preparação e etiquetagem do conjunto de ‘traps’....	74
Figura 12 – Transporte do conjunto ‘trap’ para a estação de coleta.....	75
Figura 13 – Operação de coleta.....	75
Figura 14 – Vista frontal do ‘trap’ de espraiamento.....	79
Figura 15 – Coleta de sedimento no espraiamento.....	80
Figura 16 – Levantamento de perfil com estação total Nikon DTM-330.....	82
Figura 17 – Levantamento de perfil praiial com estação Nikon DTM-330.....	83
Figura 18 – Uso de derivador para medição da corrente longitudinal.....	84
Figura 19 – Registrando a direção do vento local.....	86
Figura 20 – Registrando a velocidade do vento local.....	86
Figura 21 – Filmagem dos campos de ondas.....	93
Figura 22 – Determinação do ângulo de incidência das ondas na arrebenção.....	93
Figura 23 – Distribuição das alturas rms das ondas observadas na linha de arrebenção da área estudada.....	100
Figura 24 – Distribuição dos períodos rms das ondas observados na linha de arrebenção da área estudada.....	100

Figura 25 – Direção de incidência das ondas na linha de arrebentação da área estudada.....	101
Figura 26 – Distribuição geral das ondas segundo a sua direção de aproximação na linha de arrebentação.....	102
Figura 27 – Distribuição das ondas segundo a altura (Hrmsb) e direção de incidência na linha de arrebentação.....	103
Figura 28 – Distribuição das alturas significativas das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com o período de coleta dos dados.....	104
Figura 29 – Distribuição dos períodos de pico das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com o período de coleta dos dados.....	104
Figura 30 – Direção de incidência das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com o período de coleta dos dados.....	105
Figura 31 – Distribuição das alturas significativas das ondas medidas na profundidade de 15 metros e apresentadas por Coli (2000) para o período Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).....	105
Figura 32 – Distribuição dos períodos das ondas medidos na profundidade de 15 metros e apresentados por Coli (2000) para o intervalo Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).....	106
Figura 33 – Direção de incidência das ondas medidas na profundidade de 15 metros e apresentadas por Coli (2000) para o período Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).....	106
Figura 34 – Distribuição das ondas segundo a sua direção de aproximação em águas profundas, na profundidade de 15 metros e na linha de arrebentação.....	107
Figura 35 – Correlação entre os valores concomitantes das alturas significativas das ondas medidas em águas profundas pelo Projeto PNBóia e as alturas significativas das ondas modeladas pelo INPE para o mesmo ponto (Set-Dez /2001).....	108
Figura 36 – Correlação entre os valores concomitantes dos períodos significativos das ondas medidas em águas profundas pelo Projeto PNBóia e os períodos significativos das ondas modelados pelo INPE para o mesmo ponto (Set-Dez /2001).....	109
Figura 37 – Distribuição das correntes longitudinais segundo a direção do fluxo, medidas durante o período de observações na área de interesse.....	110
Figura 38 – Distribuição das velocidades da corrente longitudinal segundo a direção de fluxo NE-SW.....	111
Figura 39 – Distribuição das velocidades da corrente longitudinal segundo a direção de fluxo SW-NE.....	111
Figura 40 – Distribuição comparativa das velocidades da corrente longitudinal segundo as direções de fluxo NE-SW e SW-NE.....	112

Figura 41 – Diagrama de convergência entre o sentido da corrente longitudinal e o sentido da componente do vento longitudinal a costa; dados obtidos dos seis perfis observados.....	113
Figura 42 – Diagrama de convergência entre o sentido da corrente longitudinal e o sentido do vento na costa; dados obtidos dos seis perfis observados.....	113
Figura 43 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	116
Figura 44 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 5 minutos em cada estação.....	117
Figura 45 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	117
Figura 46 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	118
Figura 47 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	118
Figura 48 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	119
Figura 49 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	119
Figura 50 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.....	120
Figura 51 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	120
Figura 52 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	122
Figura 53 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002. Foi adotado um tempo de coleta de 4 minutos em cada estação.....	123
Figura 54 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	123
Figura 55 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	124
Figura 56 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	124
Figura 57 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	125

Figura 58 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 5 minutos em cada estação.....	126
Figura 59 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	126
Figura 60 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	127
Figura 61 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	127
Figura 62 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	128
Figura 63 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 5 minutos em cada estação.....	129
Figura 64 – Distribuição do transporte medido por nível do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	129
Figura 65 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	130
Figura 66 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	130
Figura 67 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	131
Figura 68 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	131
Figura 69 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.....	132
Figura 70 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	132
Figura 71 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	133
Figura 72 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	133
Figura 73 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.....	134
Figura 74 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	134

Figura 75 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	135
Figura 76 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	135
Figura 77 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.....	136
Figura 78 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação de coleta do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	136
Figura 79 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	138
Figura 80 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 3 minutos em cada estação.....	139
Figura 81 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	139
Figura 82 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	140
Figura 83 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	140
Figura 84 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	141
Figura 85 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.....	141
Figura 86 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação de coleta do perfil 3 durante a campanha de 03 Mai 2003.....	142
Figura 87 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 03. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	142
Figura 88 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	144
Figura 89 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 4 minutos em cada estação.....	145
Figura 90 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	145
Figura 91 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	146

Figura 92 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação de coleta do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	146
Figura 93 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	147
Figura 94 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	147
Figura 95 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.....	148
Figura 96 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	148
Figura 97 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	150
Figura 98 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 4 minutos em cada estação.....	151
Figura 99 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	151
Figura 100 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	152
Figura 101 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	152
Figura 102 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	153
Figura 103 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	153
Figura 104 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.....	154
Figura 105 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	154
Figura 106 – Distribuição lateral e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	156
Figura 107 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003. Foi adotado um tempo de coleta de 4 minutos em cada estação.....	157
Figura 108 – Distribuição do transporte por nível do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	157

Figura 109 – Distribuição do transporte por estação do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	158
Figura 110 – Contribuição de cada nível para o transporte medido por estação do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	158
Figura 111 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	159
Figura 112 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	159
Figura 113 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.....	160
Figura 114 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.....	160
Figura 115 – Taxas anuais e direção dos transportes longitudinais medidos em cada um dos seis perfis observados; valores positivos (NE-SW) e valores negativos (SW-NE).....	161
Figura 116 – Massas de areia amostrada na região estudada; média das massas amostradas nos seis perfis observados, por nível e por estação (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	162
Figura 117 – Distribuição da média do transporte na região estudada; média dos transportes medidos nos seis perfis e por nível amostrado (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	162
Figura 118 – Distribuição da média dos transportes na região estudada; média dos transportes medidos nos seis perfis e por estação de coleta (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	163
Figura 119 – Contribuição de cada nível para a média do transporte na região estudada; médias dos transportes medidos nos seis perfis por nível e por estação (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	163
Figura 120 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ na região estudada; média dos diâmetros ‘D50’ medidos nos seis perfis e por nível amostrado (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	164
Figura 121 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ na região estudada; média dos diâmetros ‘D50’ medidos nos seis perfis e por nível amostrado (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	164
Figura 122 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ na região estudada; média dos diâmetros medidos nos seis perfis e por estação de coleta (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	165
Figura 123 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível e sua contribuição para a composição sedimentológica na região estudada; média dos diâmetros ‘D50’ medidos nos seis perfis e por estação de coleta (tempo de coleta 5 minutos/estação).....	165

Figura 124 – Correlação entre as taxas anuais medidas de sedimentos transportados em suspensão (suspended load) e as taxas anuais medidas de sedimentos transportados junto ao fundo (bedload); dados obtidos dos seis perfis observados.....	166
Figura 125 – Taxas anuais do transporte transversal e longitudinal na zona de espriamento de cada um dos seis perfis estudados. Dados obtidos em condições atmosféricas normais; ‘Qs’ (Transporte para a praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar), ‘Ql’ (Transporte longitudinal).....	167
Figura 127 – Taxas anuais de transporte transversal e longitudinal na zona de espriamento da região estudada. Dados obtidos dos seis perfis observados e em condições atmosféricas normais; ‘Qs’ (Transporte para a praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar), ‘Ql’ (Transporte longitudinal).....	167
Figura 127 – Distribuição dos diâmetros médios dos grãos de areia segundo os tipos de transporte estudados e em cada um dos seis perfis observados; ‘Qs’ (Transporte para praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar), ‘Ql’ (Transporte longitudinal)	168
Figura 128 – Valores dos diâmetros médios dos grãos de areia na região estudada distribuídos segundo o tipo de transporte, dados obtidos dos seis perfis observados; ‘Qs’ (Transporte para praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar), ‘Ql’ (Transporte longitudinal).....	168
Figura 129 – Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na tabela 1 e os valores da velocidade longitudinal medida.....	169
Figura 130 – Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da tabela 1 e a velocidade longitudinal medida.....	170
Figura 131 – Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na tabela 2 e os valores do transporte longitudinal medido.....	172
Figura 132 – Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da tabela 2 e os valores do transporte longitudinal medido.....	173
Figura 133 – Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na tabela 5 e os valores do transporte longitudinal medido.....	175
Figura 134 – Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da tabela 5 e os valores do transporte longitudinal medido.....	175
Figura 135 – Diagrama de convergência entre as ondas na arrebentação e o sentido da componente longitudinal do vento na costa; ondas e ventos do norte da normal (+) sul (-); valor médio adotado para a normal 135° N.....	188
Figura 136 – Correlação entre a altura significativa das ondas em águas profundas e a altura significativa das ondas na arrebentação; dados obtidos dos seis perfis observados.....	189
Figura 137 – Correlação entre a altura significativa da onda e o seu ângulo de incidência na arrebentação; dados obtidos dos seis perfis observados.....	190
Figura 138 – Correlação entre as ondas medidas na arrebentação e a corrente longitudinal medida.....	193

Figura 139 – Correlação entre as ondas em águas profundas e a corrente longitudinal medida.....	193
Figura 140 – Correlação entre a altura significativa das ondas na arrebentação e o diâmetro médio dos sedimentos mobilizados.....	197
Figura 141 – Distribuição dos diâmetros médios em relação às alturas significativas das ondas na arrebentação.....	201
Figura 142 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a corrente longitudinal.....	216
Figura 143 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a altura significativa das ondas na arrebentação.....	216
Figura 144 – Correlação entre o transporte longitudinal e o transporte transversal na região de interesse.....	217
Figura 145 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a direção da componente longitudinal do vento na costa.....	217
Figura 146 – Correlação entre a taxa de transporte longitudinal e o dobro da altura significativa da onda na arrebentação (relação de Galvin).....	218
Figura 147 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e o ângulo de incidência das ondas na arrebentação.....	218
Figura 148 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e o comprimento dos perfis transversais estudados.....	219
Figura 149 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a altura direção de incidência das ondas em águas profundas.	219
Figura 150 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e o diâmetro médio dos sedimentos.....	220
Figura 151 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a área úmida da secção transversal dos perfis estudados.....	220
Figura 152 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a declividade da praia nos perfis estudados.....	221

HIDRODINÂMICA COSTEIRA E QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS NÃO COESIVOS NA ZONA DE SURFE DAS PRAIAS ADJACENTES AOS MOLHES DA BARRA DO RIO GRANDE, RS, BRASIL.

RESUMO

A ocupação do litoral por empreendimentos sócio-econômicos e a realização de obras de engenharia capazes de atender estas demandas tem despertado a necessidade de estudos detalhados do transporte litorâneo. Usando metodologia de coleta de sedimentos por 'traps' (fundo e suspensão) dentro da zona de surfe e metodologias de aquisição de imagens, topografia e sedimentologia conduzidas com o auxílio de filmadora, estação total e trabalhos em laboratório, respectivamente, determinou-se os parâmetros hidrodinâmicos e morfométricos da região. Dados de ondas em águas profundas foram obtidos a partir de modelo do CPTEC/INPE. Os trabalhos de campo foram realizados em 50 campanhas distribuídas pelo período de 1 ano. Do total, 42 foram dedicadas exclusivamente a dados hidrodinâmicos e morfométricos enquanto que as 8 restantes foram utilizadas também para coleta de sedimentos. Ao mesmo tempo foram obtidos dados sobre a velocidade dos fluxos e sobre o transporte transversal no espraiamento. Todos os dados foram obtidos em condições atmosféricas normais. Os trabalhos de campo foram conduzidos em 6 perfis transversais distribuídos entre as praias do Cassino e Mar Grosso (3 de cada lado da embocadura). Dois perfis situados na adjacência dos Molhes Leste e Oeste, 2 posicionados a 3 Km da base dos respectivos molhes e 2 distantes 10 Km destas mesmas bases. Concomitante com as medições do transporte longitudinal foram realizadas observações específicas sobre a participação dos diferentes níveis coletados na formação do transporte total. A distribuição dos sedimentos na coluna d'água e ao longo do perfil foram estudadas considerando o diâmetro médio do grão. Foi estudada também a participação do transporte de fundo (bedload) e em suspensão (suspended load) obtendo-se evidências de que o transporte de fundo representa aproximadamente 18% do transporte total.

Os resultados das medições indicaram uma vazão bidirecional de sedimentos, com baixa intensidade de transporte e resultante positiva direcionada para nordeste, conforme apresentado a seguir: Perfil-1(01/07/03) 1,92 m³/h NE-SW; Perfil-2 (19/07/02) 2,60 m³/h NE-SW, (16/01/03) 0,23 m³/h NE-SW e (20/02/03) 25,1 m³/h SW-NE; Perfil-3 (02/05/03) 4,24 m³/h SW-NE; Perfil-4 (05/09/03) 43,33 m³/h SW-NE; Perfil-5 (17/01/03) 2,54 m³/h NE-SW e Perfil-6 (21/02/03) 31,74 m³/h SW-NE. As baixas taxas de transporte total (máx. 940 e mín. 402 m³/ano/m) e líquido (máx. 574 e mín. 218 m³/ano/m) encontrados na região são consistentes com o comportamento dos estoques sedimentares acumulados no entorno dos molhes nos últimos 90 anos, embora estas taxas anuais representem apenas uma ordem de grandeza do transporte na região, já que são uma simples extrapolação dos dados horários não traduzindo, portanto os efeitos do clima de ondas local. Os dados obtidos serviram para calibrar 2 equações empíricas CERC e Kamphuis-91 que foram utilizadas para extrapolar as taxas de transporte longitudinal pelo período de 1 ano, considerando também a deriva ocasionada por ondas de tempestades. Finalmente, concluiu-se que o baixo transporte longitudinal é ocasionado pelos pequenos ângulos de incidência (em relação a normal) das ondas na arrebentação, que a direção da corrente longitudinal apresenta forte convergência com a componente longitudinal do vento na costa e que a baixa deriva litorânea (em condições atmosféricas normais) para nordeste só é magnificada pela presença das ondas de tempestades que varrem a costa vindas do quadrante sul e que representam aproximadamente 16% do ano.

COASTAL HYDRODYNAMICS AND QUANTIFICATION OF SAND LONGSHORE TRANSPORT RATES IN THE SURF ZONE OF ADJACENTE BEACHES AROUND PATOS LAGOON MOUTH JETTIES, RIO GRANDE, BRAZIL.

ABSTRACT

Using streamer-traps methodology for sediments collection (bedload and suspended load) into the surf zone and also using methodologies of images acquisition, topography and sedimentology conducted with video camera, total station and laboratory works, respectively, it was determined the hydrodynamic and morphometric parameters of study area. Deep waters wave data were obtained from WAVEWATCH-III model of Brazilian Spatial Researches National Institute (INPE). The field works were conducted in 50 research expeditions distributed by 1 year long. Among the 50 conducted raids, 42 were dedicated exclusively to hydrodynamic and morphometric data while 8 were also used for sediments collection. At the same time were obtained data about the speed of bi-directional flows and cross-shore transport in the swash zone. All acquired data were obtained in normal atmospheric conditions.

All field works were led in 6 cross-shore profiles distributed between both Cassino and Mar Grosso beaches (3 on each side of the estuary). Two profiles were located in the vicinity of East and West Jetties, 2 positioned 3 Km from the base of respective jetties and 2 distant 10 Km of same point.

Concomitant with the measurements of medium longshore transport, specific studies were conducted about participation of different sample levels on construction of total longshore transport. The distribution of sediments in water column and along of cross-shore profile was studied considering the medium diameter of the grain (D_{50}). It was also studied the participation of bedload and suspended load transport. Evidences led which bedload transport represents approximately 18% of total transport.

The measurements indicate a bi-directional flow of sediments, with low transport and positive resultant to northeast direction, like presented follow: Perfil-1(07/01/03) 1,92 m^3/h NE-SW; Perfil-2 (07/19/02) 2,60 m^3/h NE-SW, (01/16/03) 0,23 m^3/h NE-SW and (02/20/03) 25,1 m^3/h SW-NE; Perfil-3 (05/02/03) 4,24 m^3/h SW-NE; Perfil-4 (09/05/03) 43,33 m^3/h SW-NE; Perfil-5 (01/17/03) 2,54 m^3/h NE-SW and Perfil-6 (02/21/03) 31,74 m^3/h SW-NE . The low values of total transport (máx. 940 and mín. 402 $m^3/year/m$) and liquid transport to the northeast (máx. 574 and mín. 218 $m^3/year/m$) found in area are consistent with behavior of accumulated sedimentary stocks around base of jetties during the last 90 years.

Data obtained in field works were used to calibrate 2 empiric equations CERC and Kamphuis-91 that were used to extrapolate the longshore transport rates into the studied area for a period of 1 year long and also considering the littoral drift generated by storm waves. But is important to remark that annual rates are only a indicative of littoral drift magnitude, showing a simple extrapolation of hourly transport data and no linked with local waves climate

Finally, we conclude that low longshore transport is caused by small incidence angles (in relation to normal) of the waves in the break line; the direction of longshore current and longshore component of wind presents one strong convergence and the low littoral drift (in normal atmospheric conditions) to northeast direction is magnified by the storm waves that sweep the coast comings from south quadrant and that represents approximately 16 % of year.

HIDRODINÂMICA COSTEIRA E QUANTIFICAÇÃO DO TRANSPORTE
LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS NÃO COESIVOS NA ZONA DE SURFE DAS
PRAIAS ADJACENTES AOS MOLHES DA BARRA DO RIO GRANDE, RS,
BRASIL.

(Aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste da
embocadura do estuário da Lagoa dos Patos)

1. INTRODUÇÃO

O estudo do transporte de sedimentos visto de forma ampla, pode ter seu grau de importância e abrangência subdividido em seis grandes campos de estudo e aplicação, a saber: (i) a interpretação de ambientes deposicionais sobre rochas (desenvolvimento de fácies, gênese das feições de fundo, desenvolvimento dos processos estratigráficos e geometria de corpos sedimentares); (ii) a interpretação de dinâmicas de sedimentação no mapeamento de sedimentos superficiais modernos (processos dominantes e presença de eventos significativos); (iii) a determinação de impactos ambientais (análise de risco de políticas de saúde pública, estabilidade do habitat de espécies raras e gerenciamento de despejos no oceano); (iv) a determinação de riscos de engenharia (tubulações, cabos de potência e comunicações, erosão e acreção em estruturas marinhas, desenvolvimento costeiro e proteção de praias); (v) os riscos para a navegação (dragagem e estabilidade de canais, sedimentação de portos, gerenciamento de estuários); (vi) a exploração de minérios e estudos vulcanológicos e astrogeológicos (fluxos piroclásticos e transporte eólico).

Esta não é uma preocupação nova, e muito menos simples, entre os engenheiros e pesquisadores da área. A sua importância se ombreia em dificuldades às limitações impostas pelas condições inóspitas da zona de arrebentação. As restrições não se prendem somente aos recursos limitados dos equipamentos desenvolvidos com este objetivo específico, mas também as limitações em se representar adequadamente, por aproximações matemáticas, os fenômenos que ali ocorrem. Estimativas das quantidades de sedimentos transportados são importantes subsídios para o processo de gerenciamento costeiro e para o desenvolvimento de obras de engenharia.

Apesar da sua importância, muitas são as dúvidas relativas ao comportamento do movimento dos sedimentos nesta região. Na opinião de muitos autores (Castanho, 1966; Lanfredi & Framiñan, 1986; Kraus, 1987; Van Rijn, 1990; Kamphuis, 1991; Miller, 1999 e Elfrink & Baldock, 2002), pouco tem sido feito na condução de experimentos bem instrumentados, seja em ambiente natural seja em laboratório, quando comparado com a grande quantidade de estudos realizados sobre o transporte na região fora da

arrebentação. Isto explica em parte a falta de respostas para questões como: sendo o fundo nesta região normalmente liso (principalmente sobre o banco), o sedimento transportado sobre ele é realizado por processo de “sheet flow” ou por arraste de fundo típico? E ainda, como estabelecer com segurança as quantidades relativas ao transporte por arraste de fundo e ao transporte por suspensão? Questões como estas e outras de mesmo teor de dificuldade somente poderão ser respondidas quando equipamentos suficientemente fortes, precisos e de rápida respostas forem desenvolvidos, com capacidade para operar nas condições adversas da zona de arrebentação. Da mesma forma precisam ser aprofundadas as investigações nos laboratórios onde os processos de micro e meso escala podem ser investigados sob condições controladas.

Fica, portanto evidente a necessidade de maiores investimentos que permitam um aumento significativo da massa crítica de conhecimentos centrados nesta área.

Numa época, em que, cada vez mais intensas são as relações econômicas e comerciais entre os povos, em que as informações, os meios e os bens fluem com extrema velocidade e abrangência atingindo a cada instante todos os cantos do mundo e com isto modificando o ambiente e os indivíduos, nada mais importante que nos preocupemos em conhecer com detalhes o comportamento da natureza que nos cerca, não só para que possamos protegê-la de forma eficaz, mas também para que apreendamos como usufruí-la, infringindo-lhe o menor dano possível.

O equilíbrio na natureza é em geral um equilíbrio dinâmico, o fato das praias e linhas costeiras que conhecemos apresentarem durante longos períodos a mesma disposição morfológica, não significa que os sedimentos encontrem-se em repouso todo este tempo. Pelo contrário, esta morfologia é mantida pela entrada e saída constante do sistema, no mesmo período de tempo, de quantidades médias iguais de sedimentos. Esta é a noção correta do equilíbrio dinâmico de uma linha de costa.

Para que esse equilíbrio seja rompido é necessário que se componha uma nova disposição para as forças envolvidas no processo, destruindo o status anterior. Este rompimento geralmente ocorre por conta ou de fenômenos naturais, fruto de modificações intrínsecas da própria natureza, ou pela ação do homem que através de obras de engenharia costeira altera o livre caminho dos sedimentos. A erosão e a acreção

de sedimentos ao longo das linhas de praia são fenômenos oriundos deste desequilíbrio de forças.

Portanto, é fundamental que o engenheiro costeiro tenha pleno conhecimento de como estes fatos ocorrem para que possa fazer as escolhas corretas, evitando ou corrigindo os males advindos deste estado de desequilíbrio.

Para facilitar o estudo do transporte dos sedimentos marinhos é importante que se realize a sua separação em: (i) fenômenos que ocorrem fora da zona de arrebentação e (ii) fenômenos que ocorrem dentro da arrebentação e na zona do espraiamento.

Fora da zona de arrebentação o transporte fica restrito ao movimento oscilatório das partículas junto ao fundo devido as correntes geradas pela flutuação do campo de pressões da própria onda. Estes são movimentos mais estudados e conhecidos do que aqueles que ocorrem dentro da zona de arrebentação e no espraiamento, parte devido ao menor número de variáveis envolvidas e parte, principalmente, devido às condições mais favoráveis para instrumentação e coleta de dados. De qualquer forma, o transporte nesta região, embora importante, apresenta uma resultante de pequena intensidade quando comparada com o que ocorre entre a linha de arrebentação e a praia subaérea. Este tipo de transporte está aqui mencionado apenas a título de ilustração, já que o seu estudo não faz parte do escopo deste trabalho.

Dentro da zona de arrebentação e espraiamento o problema cresce em complexidade diante da grande quantidade e diversidade de variáveis envolvidas no processo hidráulico, dificuldades de medição e limitações na descrição matemática. Os sedimentos marinhos são alvo de inúmeros agentes transportadores como ventos, ondas, marés e correntes litorâneas. A complexidade individual do comportamento de cada um destes agentes magnificada por sua ação coletiva dita o grau de dificuldade no trato da hidrodinâmica nesta região, que associada às condições inóspitas durante eventos extremos, fazem com que o movimento dos fluidos permaneça ainda pouco conhecido.

Contudo, é aqui que se encontra o transporte sedimentar mais importante de toda a zona litorânea. Movimentos aluvionais extraordinariamente complexos ocorrem dentro da arrebentação e depois dela, promovendo a mobilização de grandes quantidades de areia

responsáveis por resultantes de transporte de elevada intensidade. Esta questão cresce em importância quando sabemos que é nesta zona que são edificadas as principais obras de engenharia costeira.

Para facilitar o bom entendimento dos fatos é importante que se tipifique o transporte que ocorre entre a linha de arrebenção e a face da praia. Isto pode ser feito valendo-se de uma classificação que contemple a região onde ocorre o transporte, a direção segundo a qual o mesmo se processa e a posição das partículas transportadas em relação ao fundo.

Quanto à região o transporte se divide em movimentos dentro da zona de arrebenção e movimentos dentro da zona de espraimento. Segundo Elfrink & Baldock (2002) a zona de arrebenção é compreendida entre a primeira linha de quebra proporcionada pela diminuição da profundidade da água e o “Beach step” (degrau morfológico não muito comum em praias de areia fina e baixa pendente), enquanto que a zona de espraimento tem o limite oceânico no “Beach step” e o limite continental no ponto de máximo “run-up”. Na figura A (p.05) é apresentado um perfil praial contendo a terminologia utilizada neste trabalho (desenho modificado de Elfrink & Baldock, 2002).

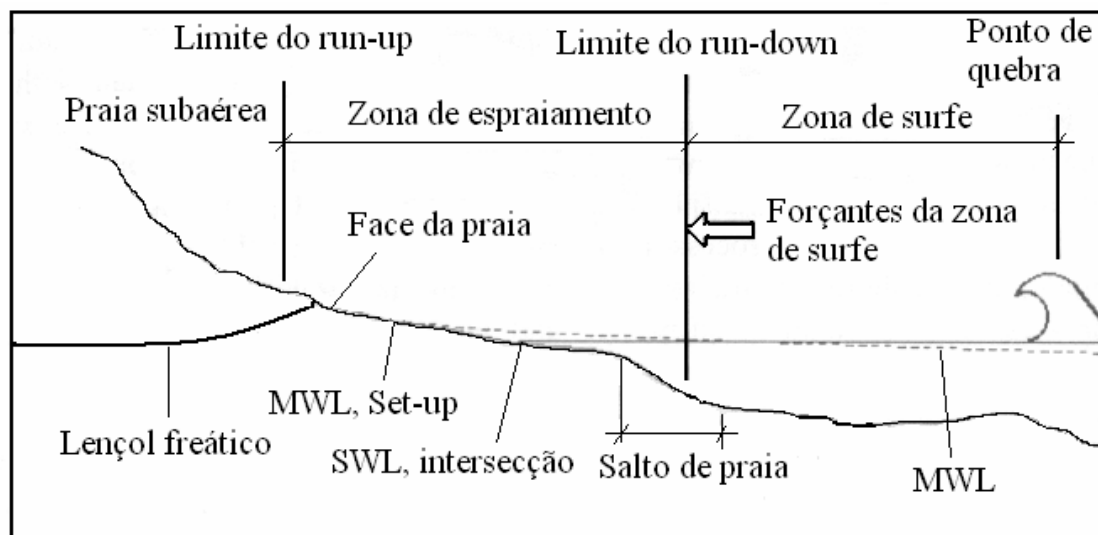


Figura A – Perfil praial genérico contendo a terminologia utilizada neste trabalho (modificado de Elfrink & Baldock, 2002).

Embora os processos ocorrentes em um e outro ambientes sejam completamente diferentes entre si, todos os dois participam com importantes parcelas do transporte total alternando sua relevância em função das condições hidrológicas, morfológicas e meteorológicas reinantes.

Quanto à direção o transporte é dividido em transversal e longitudinal. Segundo Castanho (1966), estes movimentos aluvionais são muito diferentes tanto nas suas características como nas suas conseqüências. Os primeiros são movimentos que se processam numa direção sensivelmente transversal as linhas batimétricas. São movimentos ao longo do perfil da praia ora no sentido continente-oceano ora no sentido contrário, através dos quais a morfologia tende a se adaptar a hidrodinâmica reinante. Embora as quantidades de sedimentos envolvidas neste processo sejam de surpreendente magnitude a resultante anual é praticamente nula e a praia oscila entre as condições extremas de acreção e erosão.

O segundo tipo de transporte consiste no encaminhamento longitudinal dos sedimentos costeiros por ação de ventos, ondas e correntes longitudinais. Este tipo de transporte é conhecido, também, como deriva litorânea. Trata-se de um movimento tipicamente unidirecional ou pelo menos, quando da existência de bi-direcionalidade, apresenta uma resultante de transporte com sentido predominante, perfeitamente definido. Donde se conclui que o equilíbrio verificado numa praia sujeita a transporte longitudinal será necessariamente dinâmico, e o seu rompimento (por ação antrópica ou natural) pode estar na raiz das alterações geomorfológicas costeiras.

Quanto à posição da partícula em relação ao fundo o transporte pode ser dividido em transporte por arrastamento no fundo (bedload) e transporte por suspensão (suspended load).

O transporte por arraste de fundo é caracterizado pelo movimento das partículas junto ao fundo através de rolamento, deslizamento e saltos. As definições mais conhecidas e que estabeleceram as bases desta ciência foram dadas por Einstein (1950) e Bagnold (1956).

Einstein (op.cit.) define este tipo de transporte como sendo aquele que ocorrendo

dentro de uma fina camada, com espessura igual a duas vezes o diâmetro da partícula média, próximo ao fundo e dentro da qual as partículas rolam, deslizam e saltam por distâncias correspondentes a alguns diâmetros da partícula média. Considera, também, que dentro desta fina camada os níveis de turbulência são tão pequenos que se torna praticamente impossível para as partículas entrarem em suspensão.

Bagnold (op.cit.), por sua vez, prefere definir este tipo de transporte como sendo aquele em que o contato sucessivo das partículas com o fundo é limitado estritamente pelos efeitos da gravidade.

O movimento típico que caracteriza o transporte por arraste de fundo é o movimento por saltos. Abbott & Francis (1977) detalharam experimentalmente as características desse tipo de movimento. Segundo estes autores, o transporte por saltos ocorre dentro de uma camada com espessura máxima da ordem de dez diâmetros da partícula média (D_{50}), com os movimentos das partículas totalmente dominados pelas forças gravitacionais, embora o início do movimento destas partículas possa ocorrer por conta de impulsos turbulentos instantâneos, principalmente em virtude do surgimento de forças dirigidas para cima a partir do fundo, oriundas dos efeitos de cisalhamento relacionados aos gradientes de velocidade registrados nesta região.

Toda a quantidade de movimento é transferida diretamente para a partícula a partir do fluido e através do atrito viscoso. Na fase ascendente da trajetória tanto a componente vertical da força de arraste como as forças gravitacionais ficam dirigidas para baixo, em contrapartida na etapa descendente a componente vertical da força de arraste se opõe a força gravitacional. A força de sustentação é sempre dirigida para cima, independente das relações entre as velocidades do fluido e da partícula. Ao cair, a partícula choca-se contra o fundo podendo neste instante ser absorvida por este ou simplesmente ricochetear sobre ele e saltar longe. Com isto, uma parte da quantidade de movimento é transferida para as partículas que compõe a superfície do fundo no ponto de impacto imprimindo-lhes impulsos mais ou menos horizontais responsáveis pelo início dos movimentos de deslizamento e rolamento. Logicamente, uma partícula específica alternará períodos de saltos com períodos de repouso, dependendo da probabilidade de ser alvo da transferência de quantidade de movimento por parte de outras, podendo

mesmo, em casos especiais, ser totalmente alijada do processo, como por exemplo, no caso de ser capturada por depressões profundas do terreno.

O transporte por suspensão é sem dúvida o modo mais importante de movimentação dos sedimentos dentro da zona de surfê. Nele, os sedimentos colocados em suspensão pelo cisalhamento das correntes no fundo e pela ação mecânica e turbulência geradas pela quebra das ondas são transportados pela corrente longitudinal.

O fenômeno de inclusão das partículas de sedimentos na coluna líquida por ação cisalhante das correntes, tem seu início quando a velocidade de cisalhamento junto ao fundo excede o valor da velocidade crítica para início do movimento. Inicialmente as partículas apresentam movimentos de deslizamento e rolamento. A medida em que a velocidade aumenta as partículas passam a realizar pequenos saltos, conforme descrito anteriormente quando da abordagem do transporte por arraste de fundo.

Entretanto, a partir deste ponto, com a continuidade no aumento do valor da velocidade média do fluido, rapidamente a velocidade de cisalhamento de fundo excede o valor da velocidade de queda da partícula e esta é arremetida para cima, para um nível onde as componentes verticais dos movimentos turbulentos, de valor igual ou maior que o peso próprio submerso da partícula, encarregam-se de mantê-la em suspensão.

Observações têm mostrado que os níveis de concentração decrescem com o afastamento do fundo e que as taxas de decaimento estão relacionadas com a velocidade de queda das partículas e com a velocidade de cisalhamento de fundo. Quedas na temperatura da água e a presença de importantes quantidades de sedimentos finos favorecem o fenômeno de sustentabilidade das partículas, já que proporcionam o aumento da viscosidade e densidade da mistura restringindo a velocidade de queda. Nas zonas de alta concentração como é o caso de camadas muito próximas do fundo, o valor da velocidade de queda é afetado, também, pelo fluxo de retorno do fluido deslocado pela intensa queda de partículas e pelas colisões entre estas.

A incorporação de sedimentos na coluna d'água por ação de correntes é mais importante quando o fluxo ocorre sobre fundo ondulado, já que o descolamento do fluxo, provocado pelas ondulações, dá origem ao surgimento de importantes vórtices a jusante

da crista, responsáveis pela mobilização local de grandes quantidades de sedimentos. Entretanto, como salientado anteriormente, é o processo de quebra das ondas, de longe, o mais importante fator de inclusão de sedimentos no meio fluido.

Ao quebrar a onda provoca o surgimento de uma região de intenso movimento rotacional da água, de tal forma que os turbilhões ali formados capturam as partículas do fundo lançando-as na coluna líquida. Estes sedimentos mobilizados pela quebra da onda são os responsáveis pelas elevadas taxas de concentração e transporte encontradas na zona de arrebentação, principalmente nas proximidades do ponto de quebra. Segundo Peters & Dette (1999) a zona do banco é dominada por turbilhões de larga escala e estruturas turbulentas governadas pela quebra das ondas e dependentes do tipo de quebra destas. De acordo com Van Rijn (1990) este é o motivo pelo qual, ondas que quebram tipo “mergulhante” provocam a suspensão de uma quantidade de sedimentos até dez vezes maior que aquelas que quebram tipo “deslizante”.

Segundo Kroon & Van Rijn (1993) a quebra tipo “mergulhante” ocorre quando o valor γ_s (razão entre a altura significativa da onda no ponto de quebra e a profundidade no mesmo ponto) encontra-se numa faixa entre 0.6 e 0.9, já a quebra tipo “deslizante” ocorre para valores de γ_s entre 0.4 e 0.6.

A principal característica da quebra tipo “mergulhante” é a forte propriedade de mistura decorrente dela. No instante da quebra forma-se um jato direcionado para frente e para baixo que atinge diretamente o fundo provocando o surgimento de grande número de turbilhões. Estes ao se moverem para frente e para traz sobre o fundo produzem um forte processo de mistura. A seguir, como a velocidade dos turbilhões na direção do deslocamento da onda é menor que a velocidade de deslocamento desta (após a quebra), os turbilhões acabam migrando para traz da esteira da onda, onde se expandem e dissolvem sob a ação das bolhas de ar introduzidas no instante da quebra e que agora sobem em busca da superfície (Miller, 1976).

A quebra tipo “deslizante” apresenta propriedades de mistura com menor intensidade que a anterior. Os turbilhões formados durante a ocorrência deste tipo de quebra apresentam menor tamanho e ficam mais restritos a superfície do mar, não

atingindo as camadas mais próximas do fundo, raramente se estendendo abaixo da cava da onda (Miller, 1976).

Ao longo da zona de surfe o processo de quebra arrefece e a dissipação de energia se reduz enquanto a onda progride na forma de um vagalhão. A turbulência de pequena escala que ainda persiste é responsável pela ressuspensão de pequenas quantidades de sedimentos que são normalmente direcionados para o largo pelos movimentos de ‘undertown’ (Peters & Dette, 1999).

De acordo com os mesmos autores, as concentrações de sedimentos dentro da zona de arrebentação apresentam uma distribuição uniforme ao longo da coluna d’água sobre a área do banco, onde os processos de turbulência ocorrem com mais intensidade, enquanto que na região entre o banco e a linha de praia a distribuição vertical da concentração apresenta formato exponencial devido ao acelerado processo de decaimento das partículas.

Os mesmos modos de transporte devem ser considerados para a zona do espraiamento, embora, em alguns casos na fase final do ‘run-down’, com o nível da água baixando muito rapidamente e o fluxo alcançando velocidades supercríticas associadas com a presença de elevadas taxas de concentração de sedimentos, possa ocorrer transporte por ‘sheet-flow’. Outros aspectos importantes a serem considerados para o transporte nesta região são: a inclinação da praia, o tamanho e tipo dos sedimentos e o nível do lençol freático. Segundo Elfrink & Baldock (2002) a importância do transporte no espraiamento é maior durante condições de calmaria quando pode representar até 50% do total da deriva litorânea (Kamphuis, 1991; Van Wellen et al., 2000), já que durante as tempestades a maior parte do transporte ocorre dentro da zona de surfe.

Muitas têm sido as aproximações matemáticas desenvolvidas na tentativa de encontrar formas de predição do comportamento das partículas e dos volumes de sedimentos transportados (Einstein, 1950; Watts, 1953; Caldwell, 1956; Savage, 1962; Inman & Bagnold, 1963; Castanho, 1966; Komar, 1969; Longuet-Higgins, 1973; Van Rijn, 1984; Weggel et al., 1988 e Kamphuis et al., 1986 e Kamphuis, 1991). Todas estas abordagens matemáticas foram construídas tendo como base dois métodos fundamentais:

o método local e o método integral.

O método local consiste em representar fisicamente o processo de transporte levando em consideração todos os parâmetros relevantes que compõe o fenômeno. É o mais universal dos dois métodos. Em contrapartida, a sua utilização depende de detalhado conhecimento do clima de ondas e da distribuição dos campos de velocidades dentro da zona de surfe, o que o torna de difícil aplicação. O método integral, por sua vez, relaciona o transporte longitudinal total com a componente longitudinal do fluxo de energia da onda no ponto de quebra. Embora não seja tão universal quanto o anterior, por sua facilidade de aplicação, tem sido largamente utilizado.

As primeiras tentativas de medição científica do clima de ondas e da quantificação do transporte litorâneo na costa do Rio Grande do Sul devem ser creditadas aos trabalhos de Vitor Freire Motta (1963) e Erasmo Pitombeira (1975), respectivamente. Entretanto algumas limitações de ordem tecnológica não permitiram que fossem encontrados valores líquidos de transporte condizentes com as indicações geomorfológicas. Quanto ao clima de ondas, embora as dificuldades com relação à determinação dos ângulos de incidência, em geral ficaram muito próximos dos valores atuais estabelecidos com o auxílio de ondógrafo direcional. Por muitas décadas foi o trabalho destes pioneiros a única fonte de dados disponíveis sobre o comportamento das ondas e dos sedimentos nesta região. Recentemente dados obtidos com ondógrafo direcional (Strauch, 1996; Coli, 2000) permitiram uma revisão e atualização dos dados de ondas, principalmente na região de Rio Grande, RS.

Esta pesquisa pretende cooperar na construção de mais um avanço, estudando o comportamento da hidráulica costeira entre a linha de quebra e o ponto de máximo ‘run-up’ e buscando conhecer a verdadeira grandeza da deriva litorânea total e líquida. Este trabalho será realizado através de pesquisa científica conduzida na praia do Cassino, na praia do Mar Grosso e nas imediações dos Molhes Leste e Oeste da Barra do Rio Grande, consubstanciada por dados atuais de ondas, correntes e ventos.

A hidrodinâmica e o transporte são discutidos tanto para condições de clima normal como para a ocorrência de eventos extremos. As diferenças são comparadas e discutidas. Os efeitos da intensidade e da direção dos ventos sobre a hidrodinâmica

costeira tanto para condições normais como para ocorrência de tempestades são analisados em função da sua capacidade de transferência de energia para a superfície do mar e conseqüente influencia na intensidade e direção das correntes longitudinais bem como na intensidade e direção da deriva litorânea. Os dados de ventos foram obtidos em medições locais e através de consulta ao banco de dados meteorológicos da FURG, Rio Grande, RS. A intensidade média e a direção das correntes longitudinais foram obtidas através de medições locais com uso de derivadores e bússola.

Discute-se também a influência da estrutura dos molhes da Barra do Rio Grande, RS, sobre a velocidade e direção dos ventos próximos à superfície do mar e suas conseqüências sobre o comportamento das correntes longitudinais.

A ausência de uma quantidade suficiente de dados de ondas capaz de permitir a determinação de um clima de ondas local em águas profundas, bem como, a ausência de um ondógrafo permanente capaz de fornecer dados direcionais de ondas concomitantes com o período dos trabalhos de campo forçou a utilização de dados diários de ondas gerados por modelo do CPTEC/INPE, validado por dados concomitantes, não direcionais, gerados por ondógrafo do projeto PNBóia instalado ao largo de Rio Grande, RS, em coordenadas muito próximas daquelas para as quais são gerados os dados do modelo do CPTEC/INPE. As características das ondas dentro da zona de arrebentação foram obtidas através de medições locais com o auxílio de filmagens dos campos de ondas.

O transporte sedimentar foi medido tanto na zona de surfe como no espraiamento. As medições foram realizadas com o auxílio de ‘traps’ construídos para este fim e adaptados às necessidades de uma e outra zona praial. Estas foram realizadas em seis diferentes perfis localizados estrategicamente tanto na praia do Cassino como na praia do Mar Grosso num trecho de aproximadamente 20 Km de extensão tendo no seu centro a desembocadura da Lagoa dos Patos e os molhes da Barra do Rio Grande, RS.

Foram realizadas campanhas de medições em diferentes pontos dos perfis transversais e em diferentes níveis da coluna d’água, convém salientar, entretanto, que nem sempre foi possível obter dados ao longo de toda a zona de rebentação. As difíceis condições locais de trabalho e os riscos de acidente não possibilitaram muitas vezes que se alcançasse os bancos e cavas mais distantes da praia. A seguir são relacionados os

perfis trabalhados e as condições encontradas. No Perfil-1 existiam 3 linhas de arrebenção porem só foram coletadas amostras nas duas linhas mais próximas da praia. No Perfil-2 foram feitas 3 campanhas, na primeira foram feitas amostras nas 3 linhas de arrebenção enquanto que na segunda e terceira campanhas somente coletou-se nas duas linhas mais próximas. No Perfil-3 e no Perfil-4 não houve registro da presença de cavas e bancos. No Perfil-5 e Perfil-6 existiam 3 linhas de quebra em cada um, entretanto somente foram coletadas amostras na primeira linha mais próxima. Assim foram estabelecidas, além das taxas de transporte total e líquido, as distribuições horizontais dos sedimentos dentro da zona de surfe e verticais a partir do fundo do mar. Foram realizados também estudos sedimentológicos que determinaram a distribuição dos sedimentos segundo o seu tamanho. A mesma abordagem foi dada ao comportamento dos sedimentos na zona de espraiamento. Os dados foram colhidos ao longo de um ano de campanha, em diferentes estações do ano e para condições atmosféricas normais.

Os valores do transporte medidos nos diferentes perfis estudados são apresentados no capítulo dedicado aos resultados obtidos e mostrados nas figuras 43 (pg. 116), 52 (pg. 122), 57 (pg. 125), 62 (pg. 128), 79 (pg. 138), 88 (pg. 144), 97 (pg. 150) e 106 (pg. 156). Estas figuras apresentam as distribuições verticais e horizontais do transporte medido, registrados no seu exato ponto de coleta e plotados sobre o perfil batimétrico da secção transversal estudada. A distribuição vertical mostra a comparação entre o peso seco de areia coletado em cada rede do mesmo trapeador em $\text{kg}/\text{min}/\text{m}^2$. A distribuição horizontal apresenta o percentual do transporte total que passa pela secção transversal entre cada dois trapeadores.

A impossibilidade de coletar dados durante tempestades, face às limitações do método utilizado, não permitiu a constatação direta dos efeitos deste tipo de ocorrência sobre o transporte líquido. Entretanto, observações indiretas do deslocamento lateral para nordeste, de frações pesadas de sedimentos na praia dos Concheiros (Araújo, 2002) permitem inferir a importância deste tipo de evento no transporte regional.

Uma abordagem estatística foi utilizada para escolher e calibrar as equações empíricas utilizadas na aproximação dos valores da corrente longitudinal e do transporte litorâneo. As médias medidas e preditas (das grandezas de interesse) foram comparadas

através do teste de hipótese para comparação entre as médias e considerando um nível de significância de 5%.

1.1 HIPÓTESES

A presença de uma importante obra de engenharia (Molhes da Barra do Rio Grande, RS) dividindo as praias estudadas oferece a oportunidade de se determinar os valores do transporte em pontos fora da influência da estrutura, bem como dentro da sua zona de sombra. Observações visuais indicam a existência de acúmulo de sedimentos tanto no costado do Molhe Leste como do Molhe Oeste sugerindo a existência de um transporte bi-direcional importante nos dois sentidos. Por outro lado, estudos recentes (Lélis, 2003) indicam uma situação de equilíbrio na praia do Cassino e próximo à raiz do Molhe Oeste, enquanto que na praia do Mar Grosso e nas proximidades do Molhe Leste, constata-se uma pequena perda de sedimentos.

Fica, portanto a questão: para onde segue o sedimento que chega ao Molhe Oeste vindo de sudoeste? Continua seu caminho ao longo da estrutura acumulando-se no seu costado? Tudo indica que sim.

E como se explica o acúmulo de sedimentos no costado do Molhe Leste? Será que a perda de sedimentos na praia do Mar Grosso é resultado do desequilíbrio causado pela interrupção no encaminhamento da deriva litorânea para nordeste ou pela direta ação erosiva das ondas de sudeste e sul?

E o vento, qual a sua importância sobre o comportamento da hidrodinâmica costeira e da deriva litorânea nesta região? Qual a importância da passagem de frentes frias acompanhadas de tempestades costeiras, com fortes ventos do quadrante sul, sobre o transporte longitudinal líquido?

Muito se tem especulado sobre estas questões à luz de observações morfodinâmicas, mas poucos têm sido os estudos específicos que levem em consideração o comportamento dos agentes locais sobre o movimento destes sedimentos e principalmente medições que permitam iniciar um trabalho de quantificação deste

transporte.

Quatro são as hipóteses principais envolvidas neste trabalho de pesquisa. A primeira é que **o transporte na região estudada é bi-direcional e apresenta uma resultante líquida positiva para nordeste**. Vários autores têm mencionado a evidência de um transporte líquido para nordeste (Motta, 1969; Tomazelli, 1990 e Tomazelli & Villwock, 1992; Toldo Jr. et ali., 1993) com base em observações geomorfológicas ou aplicação de modelos físicos reduzidos. Agora, pretende-se a comprovação desta hipótese através da quantificação do transporte longitudinal total e líquido utilizando valores obtidos em trabalhos de campo e cálculos matemáticos.

A segunda hipótese é de que **em condições atmosféricas normais o transporte bi-direcional dentro da área estudada apresenta resultante muito pequena, num estágio de quase equilíbrio dinâmico**. Desta forma, a importância do transporte líquido para nordeste é sustentada pela ocorrência de tempestades costeiras oriundas da passagem regular de frentes frias na região. Estas tempestades são responsáveis pela presença de ventos fortes, com pistas extensas e duração de varias horas que geralmente varrem a costa de sudoeste para nordeste.

A terceira hipótese é que **a principal responsável pela direção da corrente e do transporte longitudinal é a componente longitudinal do vento na costa**. Esta hipótese não chega a ser conflitante com a teoria da Tensão Radiante, pois localmente as ondas seguem a direção do vento, além do mais com ventos de baixa dominância a direção do transporte é governada pelo ângulo de incidência das ondas na arrebentação. Assim, a direção e intensidade do vento na costa modula a altura e direção das ondas locais influenciando no transporte litorâneo.

Finalmente a quarta hipótese é de que **mesmo considerando o transporte sob eventos extremos, o movimento de sedimentos nesta região é muito pequeno quando comparado com outros pontos da mesma costa**. Isto pode ser sustentado pela observação dos sedimentos estocados no costado dos molhes, pequenos para um período de 90 anos, bem como a relativa estabilidade das praias do entorno observado por Lélis (2003).

1.2 OBJETIVOS

1. Determinar o sentido e quantificar o transporte longitudinal total e líquido de areia na zona de surfe, nas praias do Cassino, do Mar Grosso e do entorno dos Molhes Leste e Oeste da Barra do Rio Grande. Utilizar metodologias de curto prazo, sob condições hidrodinâmicas normais com os trabalhos de campo cobrindo o período e um ano.

2. Investigar quantitativamente se o transporte longitudinal de areia na zona de surfe da região (considerado 1 ano de observações) tem comportamento bi-direcional e apresenta uma resultante positiva para nordeste.

3. Investigar quantitativamente se em condições atmosféricas normais o transporte litorâneo na região apresenta resultante positiva para nordeste muito pequena, sugerindo a existência de quase equilíbrio dinâmico.

4. Investigar quantitativamente se os eventos extremos são o principal fator de desequilíbrio no balanço do transporte longitudinal, forçando o crescimento da resultante líquida para nordeste.

5. Investigar as relações existentes entre a componente longitudinal do vento na costa e as direções das correntes longitudinais e das ondas na arrebentação.

6. Escolher e calibrar equações empíricas que descrevam a corrente longitudinal e a deriva litorânea respeitando as características locais. Calibrar as equações de transporte valendo-se dos dados de transporte medidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crescente utilização da zona costeira por empreendimentos sócio-econômicos e de lazer têm despertado a necessidade de investimentos em obras de engenharia capazes de atender estas demandas. A expansão dos molhes da Barra do Rio Grande, RS, o aprofundamento e alargamento do canal de acesso ao porto (interno e externo), bem como as dragagens de manutenção, são entre outros, exemplos atuais desta realidade. Nesse contexto se insere a necessidade de um estudo detalhado do transporte litorâneo

nesta área, a fim de determinar o transporte longitudinal total e líquido da areia na costa, responsável por importantes mudanças na morfologia das praias e no desempenho e longevidade das obras costeiras existentes ou planejadas para esta região.

Informações precisas sobre quantidade, direção e tipo de sedimentos envolvidos são subsídios de valor inestimável nos projetos de engenharia e no planejamento dos ambientes costeiros.

Atualmente, todo conhecimento vem de trabalhos realizados a mais de quarenta anos por pesquisadores como Motta (1964; 1969) e Pitombeira (1975), na região norte da costa do Rio Grande do Sul. Estes, embora tenham chegado a conclusões contraditórias entre si, tem se constituído até agora, nas únicas referências, sobre o assunto, existentes para a região. Embora a respeitabilidade destes trabalhos urge a necessidade de informações mais atualizadas ou mesmo mais precisas. Esta região tem sido objeto de estudos eventuais, baseados em observações geomorfológicas (Tomazelli, 1990 e Tomazelli & Willwock, 1992), cálculos utilizando equações teóricas não calibradas (Pitombeira, 1975 e Alfredini, 1999), bem como, medições diretas de correntes longitudinais (Alvarez et ali., 1981 e Toldo Jr. et ali., 1993). Entretanto, não existe registro de nenhum projeto específico de medição da deriva litorânea concomitante com dados hidrológicos, morfométricos e sedimentológicos.

Por isso, a obtenção de informações básicas como batimetria, altura e período de ondas em séries atuais e em registros progressos, dados de correntes dentro da zona de surfê, dados de intensidade e direção dos ventos em condições atmosféricas normais e em eventos extremos, trapeamento e análise dos sedimentos de fundo e em suspensão dentro da zona de surfê e na zona de espriamento, tudo isto alocado em campanha com um ano de duração, formam a base de dados necessários para a implementação do presente projeto e é a etapa basilar de todos os procedimentos. O tratamento, interpretação e discussão destes dados à luz de modernas teorias e métodos analíticos atuais, retirando destes a síntese do conhecimento, compõe o seu núcleo central.

É fundamental que os resultados obtidos, sejam disponibilizados, para serem aproveitados nos projetos engenharia costeira ou sirvam como subsídio em trabalhos científicos.

Portanto, toda a justificativa deste projeto deve estar embasada na qualidade e

quantidade dos resultados finais obtidos, bem como, nos reflexos positivos de sua capitalização pelos meios técnicos e científicos que demandam este tipo de informação.

Este trabalho estará justificado se as informações nele contidas cooperarem de alguma forma na melhoria da qualidade, durabilidade, segurança e custo das obras de engenharia na costa e se auxiliarem, minimamente, no melhor entendimento e manipulação dos fenômenos e processos que compõe o leque de variáveis envolvidas no planejamento da ocupação costeira pelas comunidades humanas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estado geral da arte

Por muitos anos as taxas de transporte dos sedimentos litorâneos tem sido importante foco de interesse para engenheiros, geólogos e cientistas oceânicos. O entendimento dos mecanismos que controlam este processo e os valores envolvidos é de fundamental importância para a pesquisa oceânica, engenharia costeira e gerenciamento ambiental litorâneo.

As bases teóricas do comportamento das partículas e do transporte sedimentar em meios hídricos creditados a Einstein (1950) e Bagnold (1956) e já abordadas com detalhe no capítulo de introdução foram ampliadas com o trabalho de pesquisadores como Watts (1953); Caldwell (1956); Savage (1962); Inman & Bagnold (1963), Bagnold (1966), Castanho (1966), Komar (1969), Longuet-Higgins (1973), Abbott & Francis (1977), Basco (1983), Van Rijn (1984, 1993, 1998), Kamphuis et ali. (1986), Kamphuis (1991), Lanfredi & Framinã (1986); Kraus (1987); Miller (1999) e Elfrink & Baldock (2002).

Diversos têm sido os métodos e equipamentos utilizados no estudo do comportamento dos sedimentos dentro da zona de surfe e no espraiamento. Segundo White (1998) se destacam os métodos de acumulação (Impoundment), traçadores radiativos e fluorescentes, 'traps', sensores óticos e acústicos submersos com medição concomitante de correntes e o sensoriamento remoto através de imagens satelitárias, aerofotográficas e de radar.

O método de acumulação utiliza estruturas naturais ou antrópicas impostas transversalmente ao fluxo dos sedimentos permitindo a avaliação das taxas de transporte através da medição dos volumes de sedimentos acumulados ou erodidos do seu costado durante um determinado período. Embora ofereça uma boa estimativa das taxas de transporte longitudinal médio para períodos longos de observação, apresenta como principal desvantagem a contaminação dos fluxos longitudinais pelo transporte transversal, com grande dificuldade de separação (Watts, 1953; Caldwell, 1956; Berek & Dean, 1983; Wang et ali., 1998).

Traçadores radiativos e fluorescentes foram largamente utilizados embora hoje o

seu uso (principalmente os radiativos) tenha diminuído muito devido aos riscos para o ambiente e a saúde. Por muito tempo este foi o único método de medição das taxas de transporte de curto prazo (horas ou poucos dias) que permitiu o cálculo da distribuição transversal do transporte longitudinal ao longo da zona de surfe, sua principal desvantagem consiste na dificuldade em oferecer reprodutibilidade dos resultados, já que é praticamente impossível obter dados consistentes monitorando o deslocamento do centróide do traçador em eventos sucessivos, junte-se a isto o alto custo e o grande volume de trabalho exigido (Arlman et ali., 1958; Inman & Chamberlain, 1959; Teleki, 1966; Ingle, 1966; Duane, 1970; Bandeira, 1972; Kraus et ali., 1983).

O desenvolvimento e uso de ‘traps’ (Kana, 1976, 1979; Inman, 1978; Thornton & Morris, 1978; Inman et ali., 1981; Kraus, 1987; Kraus & Dean, 1987; Wang et ali., 1998) para medições junto ao fundo e em suspensão, na zona de surfe e no espraiamento, é uma forma barata e segura de substituição do uso de traçadores na obtenção de resultados de curto prazo. Sua principal desvantagem está na determinação do tempo de coleta mínimo capaz de representar adequadamente o transporte desejado e a impossibilidade de sua utilização durante eventos meteorológicos extremos. Maiores detalhes sobre estes equipamentos e seu uso serão abordados no capítulo dedicado à metodologia.

Segundo Kraus (1987), Larson et ali. (1997), Peters & Dette (1999) e Miller (1999), outra forma de determinar o transporte sedimentar é utilizando equipamentos eletrônicos especialmente desenvolvidos. Os mais comuns são os sensores óticos (OBS) de medição pontual que servem para determinar os níveis de concentração de sedimentos em suspensão. Com essa finalidade também podem ser utilizados sensores acústicos de múltipla frequência (Schat-profiler), entretanto nos dois casos, as taxas de transporte somente podem ser determinadas se acompanhadas dos valores das correntes longitudinais. A desvantagem é o custo elevado e a dificuldade de calibração para responder as necessidades ambientais específicas. Entretanto são de excepcional utilidade para medições do transporte durante a ocorrência de tempestades (Miller, 1999).

Finalmente podem ser utilizados recursos de sensoriamento remoto tais como imagens de satélite, fotografias aéreas e imagens de radar de banda-X como dispositivos importantes no auxílio da determinação do encaminhamento dos sedimentos litorâneos.

Estes recursos são particularmente importantes na observação das feições

batimétricas (Bell, 1999) e na obtenção e discriminação dos níveis de concentração das partículas em suspensão no meio hídrico (Amos & Topliss, 1985; Topliss et ali., 1990; Ritchie & Cooper, 1991).

São muitas as tentativas de determinar o valor do transporte litorâneo em locais específicos no Brasil e no mundo. Estas variam desde a utilização de equações empíricas e ou semi-empíricas valendo-se do clima de ondas locais, até a medição no campo com o auxílio de algum dos métodos já citados. Mais recentemente as atenções têm se voltado, também, para o transporte dentro do espriamento e constatou-se a sua importância principalmente em condições de baixa agitação da zona de surfe. A busca incessante de uma formulação geral que aproxime matematicamente o transporte dentro da zona de rebentação tem sido o foco do trabalho de muitos pesquisadores tanto no campo como em laboratório. Uma síntese desta importante trajetória fará parte do escopo deste capítulo.

Bandeira (1972), Motta & Bandeira (1974) e Pitombeira (1975) valendo-se de registro de ondas e medições com traçadores radiativos realizados em Sergipe, Brasil, (Bandeira, 1972; Motta & Bandeira, 1974) ou apenas dos registros de onda (Pitombeira, 1975) feitos por Motta (1963) no Rio Grande do Sul, Brasil, aproximaram matematicamente a deriva litorânea no entorno das embocaduras dos Rios Sergipe e Tramandaí respectivamente, valendo-se das equações empíricas desenvolvidas por Caldwell (1956), Castanho (1966) e Bijker (1971).

Dificuldades com relação à determinação dos ângulos de incidência das ondas (o ondógrafo utilizado era não direcional) provocaram, no caso de Tramandaí, a determinação de resultantes de deriva não condizentes com as feições morfodinâmicas observadas (Pitombeira, 1975). Evidências sugerem, que ao longo da costa do Rio Grande do Sul, não apenas o clima de ondas é importante na geração de correntes e transporte longitudinal, mas também o clima de ventos e a ocorrência de tempestades costeiras.

Lanfredi & Framiñan (1986) ressaltaram a importância das componentes longitudinais do vento sobre as correntes longitudinais e deriva litorânea no caso de praias oceânicas abertas dominadas por ondas e ventos, seus estudos foram realizados na praia de Union, província de Chubut, Argentina. As mesmas observações foram feitas por Hubertz (1986) e Ciavola et ali. (1997).

Weggel et ali. (1988) representaram o transporte longitudinal em termos de seis parâmetros separando as amostras populacionais em transporte positivo e transporte negativo, sendo cada um deles ajustado por uma distribuição log-normal de probabilidades. Os seis parâmetros foram descritos em função da sua média e do desvio padrão. A distribuição log-normal mostrou ser capaz de ajustar bem os dados provenientes de uma grande variedade de praias e para um amplo espectro de características de ondas. Os autores observaram ainda, que as taxas de transporte determinadas a partir da corrente longitudinal dependem fortemente da largura da zona de surfe, uma das razões para que as taxas de transporte variem tão significativamente de uma praia para outra. Entretanto, quando se tratar de taxas líquidas anuais, parece que o melhor ajuste estatístico é encontrado através de uma distribuição normal de Gauss (Douglass, 1985).

Thieke & Harris III (1993) valendo-se de modelagem numérica reconstruíram vinte anos de dados de ondas para Júpiter Inlet, Palm Beach County, Florida, USA, e um padrão estatístico de transporte longitudinal com variabilidade sazonal e de longo prazo foi estabelecido a partir dos dados modelados. Dados de campo foram utilizados para calibrar o modelo e ajustar o transporte calculado. Os parâmetros estatísticos de transporte foram utilizados para estimar as probabilidades de excedência geral.

Os autores sugerem a abordagem estatística como ferramenta útil na promoção de informações quantitativas, particularmente quando usada em conjunto com outras técnicas de análise e sob cuidadosa atenção para com os princípios que governam a metodologia utilizada.

Ciavola et ali. (1997) estudaram as correntes e o transporte longitudinal para a praia da Culatra (refletiva, pendente 6°), Algarve, Portugal, valendo-se da marcação dos sedimentos com traçador fluorescente. Foram encontradas vazões de transporte total variando entre $0,23 \cdot 10^{-2} m^3/s$ e $1,38 \cdot 10^{-2} m^3/s$. Os resultados encontrados foram comparados com valores calculados com base no modelo energético de Bagnold (1963) e Inman & Bagnold (1963) que apresentou as melhores características de ajuste, em face da constatação da importância do vento sobre o processo.

Wang et ali. (1998) valendo-se de 'traps' portáteis desenvolvidos por Kraus (1987) realizaram medições de curto prazo em vinte e nove praias ao longo da costa

sudeste dos Estados Unidos e no Golfo da Florida, USA. Em alguns locais foram realizados experimentos com método de acumulação para fins de confrontação de dados. Os valores encontrados foram comparados com os perfis das praias, características das ondas na arrebentação e propriedades dos sedimentos. Foram comparados também, com valores encontrados através das fórmulas do CERC (1984) e Kamphuis (1991).

Os valores medidos apresentaram-se como 1/3 dos encontrados pela fórmula do CERC e muito próximos aos preditos pela fórmula de Kamphuis (1991). Embora as relações entre o transporte e o fluxo de energia tenham sido confirmadas pelos dados de campo, o valor de K para a fórmula do CERC foi de 0,08 ao invés dos 0,78 recomendados pelo SPM (CERC, 1984). Da mesma forma foram confirmadas as relações entre o transporte e o período de onda, inclinação da praia e tamanho do grão preconizadas na equação de Kamphuis (1991).

Alfredini (1999) valendo-se de dados hidrodinâmicos e morfométricos de vinte praias brasileiras do Rio Grande do Sul ao Piauí, determinou os valores totais e líquidos da deriva litorânea utilizando as fórmulas de Caldwell (1956), Castanho (1966), CERC (1984), Galvin (1984); IN: CERC (1984) e Kamphuis (1991). Os valores encontrados confirmaram a tendência de superestimação da fórmula do CERC enquanto que a fórmula de Kamphuis (1991) apresentou os melhores ajustes. A estas mesmas conclusões chegaram também Schoonees & Theron (1994) e Schoonees (1996), após analisarem a resposta de cinquenta e duas fórmulas de cálculo do transporte longitudinal disponíveis na literatura científica.

Especificamente para a praia do Cassino, RS, Brasil, Alfredini (op.cit.) encontrou um valor médio total de $2.179.960 \text{ m}^3 / \text{ano}$ e líquido de $-98.549 \text{ m}^3 / \text{ano}$, sendo, neste caso, considerado negativo o transporte líquido com direção SW-NE. A seguir é apresentado um esquema costeiro (figura B, p.24) contendo um volume de controle para determinação do balanço de sedimentos costeiros elaborado por Alfredini (1991) e modificado por este autor para atendimento dos interesses específicos desta tese.

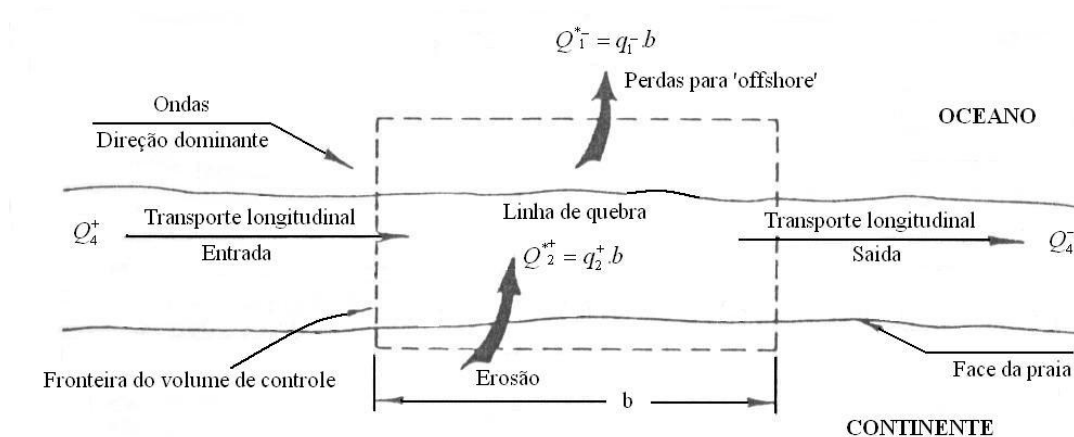


Figura B – Volume de controle para determinação do balanço de sedimentos costeiros (modificado de Alfredini, 1991).

Miller (1999) mediu as taxas de transporte longitudinal durante a ocorrência de cinco tempestades costeiras (ondas acima de 3m, velocidade do vento de 20 m/s e correntes longitudinais de 2 m/s) em Duck, NC, USA. As medições foram realizadas com o auxílio de um Sistema de Inserção de Sensores (SIS) que obteve a velocidade da corrente e a taxa de sedimentos em suspensão em nove diferentes pontos do perfil transversal, dentro da zona de surfe. Apesar das medições não terem contemplado o espreadimento, foi encontrada uma vazão máxima total de $1.780 \text{ m}^3/h$. Foram encontrados, também, dois picos de transporte um associado com o ponto de quebra e o outro próximo à praia.

O autor comparou os dados medidos com valores calculados através das fórmulas do CERC (1984) e Inman & Bagnold (1963). Na comparação com a fórmula do CERC os valores medidos apresentaram resultados por vezes maiores e por vezes menores, sugerindo a necessidade de inclusão de termos adicionais quando de predições de curto prazo durante tempestades. No que refere à formulação de Inman & Bagnold, que considera os efeitos da velocidade do vento sobre o transporte, os resultados mostraram uma melhor concordância pelo menos para uma das tempestades.

Face a escassez de dados de campo durante tempestades é interessante comentar que para três eventos extremos com a altura das ondas na arrebentação chegando a 2 metros as vazões de transporte mantiveram-se entorno de $600 \text{ m}^3/h$, enquanto que,

numa quarta tempestade, quando a altura das ondas cresceu aproximadamente 50% a vazão de transporte foi multiplicada por três (Miller, 1999).

Giosan et ali. (1999) avaliaram os estoques sedimentares e a deriva litorânea líquida para a costa do Mar Negro, Delta do Rio Danúbio, Romênia, valendo-se das variações da linha de costa registradas entre os anos 1962-1987. Os padrões de transporte encontrados apresentaram uma boa correlação com o fluxo de energia de onda medido para o período 1972-1981. Devido a orientação geral da costa o transporte apresentou uma tendência quase que unidirecional o que equivale a uma resultante líquida de valor elevado, neste caso da ordem de $2.350.000 \text{ m}^3 / \text{ano}$. Do ponto de vista específico desta tese, o trabalho de Giosan et ali. (op.cit.) se destaca por estudar o transporte litorâneo em praias governadas pela presença de importantes obras de engenharia como são o caso dos molhes paralelos de Sulina (8 Km) e Mídia (5 Km), ao norte e ao sul do delta, respectivamente.

Green & Black (1999) estudaram as concentrações de referência dos sedimentos em suspensão sob a ação das ondas. Os estudos foram conduzidos no lado externo da zona de surfe (7 a 10 m de profundidade) de Mangawhai Beach, Nova Zelândia, e contemplaram fluxos e processos resuspensivos tanto sobre fundo riplado (condição de baixa energia) como sobre dunas (condição de alta energia). Medição de ondas, correntes, sedimento em suspensão e feições de fundo foram utilizadas para comparar os resultados obtidos no cálculo da concentração de referência valendo-se da equação de Nielsen (1986) e da equação de Smith & Mclean (1977) adaptada para a hidráulica costeira por Glenn & Grant (1987).

Os autores concluíram que a equação de Nielsen (op.cit.) foi quem melhor aproximou os valores da concentração de referência para sedimentos em suspensão nos casos estudados. O conhecimento deste parâmetro tem fundamental importância para que se avalie, a partir das taxas de sedimentos em suspensão e dos campos de correntes, o comportamento dos sedimentos em meios hídricos, dentro e fora da camada limite.

Osborne & Rooker (1999) estudaram as concentrações de sedimentos em suspensão, velocidade da água e resposta morfológica na zona de espraiamento da praia de Auckland, Nova Zelândia, detentora de características dissipativas e alta energia. Os

autores observaram que concentrações acima de 50 g/l estavam associadas a grandes acelerações, turbulência e elevada velocidade do fluxo devidas à propagação dos vagalhões sobre a superfície de espraiamento. As concentrações diminuía com o aumento da altura da lâmina d'água no fim do 'uprush' voltando a crescer com a rápida perda de profundidade e aceleração do fluxo (velocidade supercrítica) no fim do 'backwash'. Observaram também que os picos de concentração tendem a ser mais significativos nos eventos de 'uprush' do que no 'backwash'. Uma análise espectral cruzada da velocidade do fluxo com a concentração de sedimentos no limite oceânico do espraiamento confirmou a dominância das frequências de infragravidade sobre o transporte das partículas nesta região.

Kumar et ali. (2000) estudaram as correntes e o transporte longitudinal ao longo da costa de Kannirajapuram, Tamilnadu, Índia. Os autores valeram-se de um ano de dados direcionais de ondas associadas com medições diárias da corrente longitudinal e da largura da zona de surfe. Foram observados dois picos de energia direcional, sugerindo a utilização das duas direções preferenciais de onda no cálculo da corrente e da deriva litorânea. As correntes longitudinais medidas foram comparadas com valores calculados através das equações de Longuet-Higgins (1970) e Galvin (1963) sendo que esta última apresentou a melhor aproximação com uma superestimação da ordem de 6,5 % enquanto que a primeira ultrapassou os valores medidos em 32 %. Os valores de transporte encontrados através da equação de Walton & Bruno (1989) foram considerados satisfatórios para a região, embora não tenham sido realizadas medições de campo com objetivo de ratificação.

Butt & Russell (2000), estudaram as altas velocidades e as concentrações dos sedimentos em suspensão no espraiamento dada a sua importância como mecanismos de alteração da linha de praia. Os estudos foram realizados com o auxílio de resistores elétricos, dispositivos de capacitância e câmeras de vídeo. Para a modelagem do fenômeno de 'run-up' as equações lineares de águas rasas tem se mostrado suficiente. O uso de modelos numéricos na investigação dos fenômenos de 'swash' tem mostrado particular desenvolvimento nos últimos anos (Archetti & Brocchini, 2002).

Segundo os autores a carência de dados de campo nesta zona prende-se a necessidade de obtenção de medições precisas próximas ao fundo e em lâminas d'água de

delgada espessura e grande variabilidade. Estudos realizados em praias dissipativas de alta energia mostraram que os fluxos na zona de espraiamento são dominados por oscilações de infragravidade e as concentrações em suspensão apresentaram valores de 3 a 9 vezes maiores para a zona de espraiamento do que para a zona de surfe. Ainda segundo os mesmos autores esta zona apresenta maior complexidade, quando comparada com a zona de surfe, em face da importância dos fluxos verticais (infiltração e exfiltração) governados pelo nível do lençol freático (Grant, 1949; Waddell, 1973; Chappell, 1979; Butt et al., 2001; Nielsen et al., 2001; Elfrink & Baldock, 2002).

Bayram et al. (2001) avaliaram o comportamento das equações de Bijker (1967), Engelund & Hansen (1967), Ackers & White (1973), Bailard & Inman (1981), Van Rijn (1984) e Watanabe (1992) com relação ao cálculo das taxas de transporte longitudinal de sedimentos dentro da zona de surfe, para condições de alta e baixa energia. Os valores encontrados foram comparados com dados de campo obtidos em campanhas realizadas na praia de Duck, NC, USA, e denominadas sucessivamente DUCK85, SUPERDUCK e SANDYDUCK. Os dois primeiros conduzidos sob condições de baixa energia de onda e o terceiro durante a ocorrência de tempestades costeiras. Segundo os autores a equação que melhor aproximou os dados ambientais, tanto para condições normais como para eventos extremos, foi Van Rijn (1984).

Puleo & Holland (2001), valendo-se de imagens de vídeo, estudaram 4500 casos de ocorrências de 'swash' em três campanhas independentes sobre duas praias separadas. Foram avaliados os coeficientes de fricção no 'uprush' e no 'backwash', fundamentais para o estudo do transporte de partículas nesta região. Inicialmente as observações mostraram que o coeficiente de fricção no 'uprush' permaneceu constante ao longo de toda a campanha, apresentando um valor médio da ordem de 0,007 e independente das variações da maré. Em contrapartida, o mesmo coeficiente no 'backwash', variou com os ciclos de maré apresentando valores entre 0,01 e 0,07. Os valores mais baixos foram encontrados na maré alta.

Posteriormente, ao levarem em consideração os efeitos da massa de fluido na fronteira oceânica do 'swash' e do gradiente de pressões sobre o espraiamento, o coeficiente no 'backwash' apresentou menor variação, com valores entre 0,01 e 0,03. No 'uprush' não houve alterações.

Os autores sugerem que a dependência entre o coeficiente de fricção no ‘backwash’ e as variações da maré são oriundas das interações entre os processos de infiltração/exfiltração e a remobilização do sedimento para a coluna d’água. Isto pode indicar que a estimativa do coeficiente de fricção baseada somente na rugosidade do grão pode não corresponder à realidade, quando se tratar de fluxos no ‘backwash’.

Não há dúvida de que muito mais poderia ser acrescentado a esta revisão, muitos autores e abordagens importantes deixaram de ser incluídas, principalmente as que tocam questões locais, entretanto, este espaço foi dedicado à construção de uma abordagem de cunho mais amplo, que ofereça ao leitor uma idéia global do desenvolvimento da pesquisa e do conhecimento acumulado sobre o assunto ao longo do tempo e em diferentes países.

Os aspectos específicos da região e das praias que compõem o escopo principal desta pesquisa deverão ser examinados e analisados em detalhe nos próximos capítulos.

2.2 Equações empíricas de descrição do transporte (revisão histórica)

Muitos autores têm trabalhado para compilar e classificar o conhecimento produzido sobre a representação matemática do transporte litorâneo visto que o empirismo de algumas fórmulas e a sua profusão acabam por dificultar o discernimento de escolha e aplicação. Alguns destes resultados podem ser encontrados em White et alii. (1975), Graaff & van Overeem (1979), Swart & Fleming (1980) e Sayao & Kamphuis (1982). A seguir é feita uma rápida revisão das fórmulas e métodos mais conhecidos, uma breve análise considerando as vantagens e desvantagens recíprocas, bem como as justificativas da metodologia escolhida. A revisão é embasada em Castanho (1966), Sayao & Kamphuis (1982) e Van Rijn (1993; 1998).

Segundo Sayao & Kamphuis (1982) a análise e o cálculo das taxas e volumes de transporte litorâneo de areias podem ser aproximados matematicamente de duas formas diferentes: (i) relacionando o transporte diretamente com os parâmetros das ondas, por exemplo, o fluxo de energia ou a força radiante; (ii) através da modificação e aplicação na zona costeira das fórmulas tradicionais utilizadas para determinar o transporte de sedimentos em calhas de rios. Esta revisão se dedicará a analisar exclusivamente o

primeiro caso.

Munch-Petersen (1938) estão entre os primeiros pesquisadores a associar o transporte litorâneo com as características das ondas incidentes apresentando a fórmula:

$$Q'_s = K.E_0.\cos \alpha_0 \quad (1)$$

onde 'Q_s' é a taxa volumétrica do transporte litorâneo, 'E₀' é a energia da onda em águas profundas, 'α₀' é a direção de incidência da onda em águas profundas e K um coeficiente empírico.

Eaton (1950) apresentou uma equação similar deduzida de trabalho anterior do Scripps Institute of Oceanography, USA (1947) em que:

$$Q'_s = K.W_0.e.\text{sen}\alpha_b.\cos \alpha_b \quad (2)$$

onde 'Q_s' é a taxa volumétrica de transporte litorâneo, 'W₀' é o trabalho total realizado pelas ondas em águas profundas (em um ano típico), 'e' é o parâmetro que relaciona a energia das ondas em águas profundas com a energia na zona de quebra, 'α_b' é o ângulo de incidência da onda na zona de quebra e K é uma constante dimensional que varia com a declividade da praia e o tamanho do grão.

Watt (1953) foi o primeiro a realizar trabalhos de campo tentando relacionar o transporte longitudinal com as características locais das ondas. Como resultado de sua medições apresentou a equação:

$$Q'_s = 11130.(P_{ls})^{0,9} \quad (3)$$

onde 'Q_s' é a taxa volumétrica de transporte litorâneo e 'P_{ls}' o fator de fluxo de energia longitudinal da onda.

$$P_{ls} = \frac{1}{16}.\rho.g.H_{bs}^2.n_b.c_b.\text{sen}2\alpha_b \quad (4)$$

'ρ' é a massa específica da água, 'g' aceleração gravitacional, 'H_{bs}' a altura significativa de quebra, 'n_b' coeficiente de fluxo de energia no ponto de quebra, 'c_b' celeridade da

onda no ponto de quebra e ' α_b ' o ângulo de incidência da onda na zona de quebra.

Saint-Marc & Vincente (1954) partindo da equação desenvolvida pelo Delft Hydraulics Laboratory durante estudos para o porto de Abidjan na costa da África, concluíram que o transporte longitudinal é também função da esbeltez da onda em águas profundas e que o transporte máximo ocorre para ângulos de incidência entre 50° e 65°. Com base nestas observações apresentaram a equação:

$$Q'_s = K' \cdot f\left(\frac{H_0}{L_0}\right) \cdot H_b^2 \cdot g \cdot T \cdot \text{sen} \frac{7\alpha_b}{4} \quad (5)$$

onde K é uma função adimensional das características do sedimento, $f(H_0/L_0)$ é uma função da esbeltez da onda. Sendo que para o intervalo $0,01 < H_0/L_0 < 0,04$ a função $f(H_0/L_0)$ pode ser aproximada para $1/H_0/L_0$.

Caldwell (1956) usando novos dados ambientais juntamente com os dados já utilizados por Watts (1953) reajustou a fórmula deste último:

$$Q'_s = 10810 \cdot (P_{ls})^{0,8} \quad (6)$$

Savage (1962) combinando dados de campo e de laboratório apresentou a equação abaixo, que foi adotada pelo US Army Corps of Engineers como a versão original da fórmula do CERC:

$$Q'_s = 4110 \cdot P_{ls} \quad (7)$$

Bagnold (1963) apresentou uma teoria em que a energia da onda é utilizada para mobilizar e manter em suspensão os sedimentos de fundo, enquanto que uma corrente unidirecional superimposta ao movimento orbital da onda encarrega-se de transportar o sedimento no sentido da corrente, produzindo o transporte longitudinal. O autor expressou a teoria através da seguinte equação:

$$I_a = K' \cdot P \cdot \frac{v_a}{u_0} \quad (8)$$

onde 'I_a' é a taxa de transporte de sedimento (peso imerso), K uma constante adimensional, 'P' a potencia disponibilizada pelo movimento da onda, 'v_a' é a velocidade da corrente unidirecional em um ângulo 'a' com a crista da onda e 'u₀' é a velocidade orbital da onda junto ao fundo.

Inmann & Bagnold (1963) excluíram do trabalho de Savage (1962) os resultados obtidos com sedimentos traçados e obtiveram um novo ajuste para equação que adquiriu a seguinte forma:

$$Q'_s = 3945.P_{ls} \quad (9)$$

Os mesmos autores baseados no trabalho de Bagnold (1963) sugeriram o uso da taxa de transporte longitudinal de sedimento (peso imerso) 'I_l' ao invés da taxa volumétrica de transporte 'Q'_s'. Estes dois valores são relacionados pela expressão:

$$I_l = \gamma_s.(1-p).Q'_s \quad (10)$$

onde 'p' é a porosidade do sedimento praiar e 'γ_s' o peso específico submerso do sedimento. Como o fator 'I_l' apresenta a mesma natureza dimensional do fluxo de energia da onda pode ser relacionado a esta pela equação:

$$I_l = K_p.P_{ls} \quad (11)$$

em que K_p é uma constante adimensional.

Bijker & Svasek (1969); IN: Sayao & Kamphuis (1982), sugeriram que a fórmula do CERC, na sua versão original, poderia ser utilizada para fornecer a distribuição do transporte longitudinal em função da profundidade dentro da zona de surfe para campos irregulares de ondas. O transporte seria calculado dentro de duas linhas de contorno e o método forneceria o transporte longitudinal total para o campo de ondas incidentes, como uma função da variação batimétrica e da distribuição estatística das alturas de ondas medidas a partir de um mesmo ponto de referencia fora da zona de surfe. Bakker (1971) aplicou este método, com algum sucesso, na determinação da deriva litorânea ao longo da costa Holandesa.

Dean (1973) descreve os mecanismos físicos do transporte de sedimentos por

ondas dentro da zona de surfe e propõe um modelo onde a deriva litorânea é causada pela advecção dos sedimentos em suspensão pela corrente longitudinal. A suspensão da areia é causada pela quebra das ondas e a quantidade de areia suspensa é considerada proporcional à quantidade de energia da onda consumida pela queda das suas partículas até o fundo. O modelo é expresso pela equação:

$$Q'_s = G.P_{ls} \quad (12)$$

onde 'G' é uma função das características da onda e do sedimento:

$$G = \frac{34,3 \cdot 10^3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{m \cdot H_b \cdot \cos \alpha_b}{cf \cdot \sqrt{g \cdot d_b} \cdot (\rho_s - \rho)} \cdot \frac{e_s}{W_s(1-p)} \quad (13)$$

onde 'e_s' é a fração da energia de onda consumida pela queda das partículas de areia, 'cf' é um fator de resistência à fricção dentro da zona de surfe e 'W_s' é a velocidade de queda das partículas.

Kamphuis et ali. (1986) e Kamphuis (1991) consideraram a inclinação da praia e o tamanho do sedimento sugerindo que as taxas de transporte crescem com a inclinação da praia, pois a maior intensidade dos processos de quebra acarreta aumento nas concentrações de sedimentos em suspensão e nas taxas de transporte. A equação foi calibrada para partículas variando entre 200 e 600 μm e inclinações de praia entre 0,05 e 0,15. O autor considera também que sendo a taxa de transporte proporcional ao quadrado da altura da onda, resulta em menores valores de predição quando da ocorrência de ondas de tempestade, contrariamente a algumas expressões que nestas circunstâncias superdimensionam o transporte. Situação semelhante ocorre com o ângulo de incidência. Muitas equações são suscetíveis a elevados ângulos de incidência tendendo a superestimar as taxas de transporte. A experiência tem demonstrado que, nestes casos, a maioria das equações empíricas provocam um distanciamento da realidade. Ao submeter o ângulo de incidência a um expoente menor que 1, o autor reduz o valor das taxas produzidas.

Kamphuis (1991), que difere de Kamphuis et ali. (1986) pela introdução nesta da influência do período de onda, é expressa por:

$$\frac{Q_t}{\rho \cdot H_{sb}^3} = 1,3 \cdot 10^{-3} \left(\frac{H_{sb}}{L_g} \right)^{-1,25} m_b^{0,75} \left(\frac{H_{sb}}{D_{50}} \right)^{0,25} (\text{sen} 2\alpha_b)^{0,6} \quad (14)$$

onde 'Q_t' é a taxa de transporte longitudinal total, 'H_{sb}' é a altura significativa da onda no ponto de quebra, 'T_p' é o período de pico, 'm_b' a inclinação da praia entre a linha de praia e o ponto de quebra, 'D₅₀' o tamanho médio do grão e 'α_b' o ângulo de incidência da onda no ponto de quebra.

Método de Castanho

Castanho (1966) propôs o cálculo do transporte litorâneo dentro da zona de surfe a partir dos seus agentes diretos ou seja a quebra das ondas e a corrente longitudinal. Este método relaciona o transporte longitudinal com o fator de fluxo de energia das ondas, calculado a partir da teoria da onda solitária e inclui a influência da esbeltez da onda, da pendente de praia e da rugosidade do fundo. A corrente longitudinal é calculada pelo teorema das quantidades de movimento de Euler e o transporte total subdividido em (i) transporte por arraste de fundo e (ii) transporte em suspensão.

O transporte por arraste de fundo é calculado pela equação:

$$Q_{sb} = s \cdot A_s \cdot P_{lt} \quad (15)$$

onde 'Q_{sb}' é o transporte longitudinal por arraste de fundo, 'P_{lt}' é o fator de fluxo da energia da onda. O fator 's' relaciona a energia dissipada pelas ondas dentro da zona de surfe e a energia disponível para transporte do sedimento e é calculado pela equação:

$$s = f(A) = f\left(\frac{m \cdot \frac{H_b}{L_b}}{cf \cdot \tan \alpha_b}\right) \quad (16)$$

onde H_b/L_b é a esbeltez da onda no ponto de quebra, 'm' a declividade da praia, 'cf' a rugosidade do fundo e 'α_b' o ângulo de incidência das ondas no ponto de quebra. Neste caso cf=f/8 onde 'f' é o fator de fricção de Darcy-Weisbach. O parâmetro 'A_s',

apresentado na equação (15) é uma função das características do sedimento praial e é calculado pela equação:

$$A_s = \frac{e_s}{\gamma_s \cdot (1 - p) \cdot \tan \theta} \quad (17)$$

onde ‘ e_s ’ é a parte da energia da onda usada no transporte dos sedimentos, ‘ p ’ é a porosidade do sedimento praial, ‘ γ_s ’ é o peso específico submerso dos grãos de areia e ‘ θ ’ o ângulo de repouso natural do material da praia. O autor usou o valor médio $\theta=35^\circ$.

O transporte em suspensão é calculado pela equação:

$$Q_{ss} = K \cdot \bar{\varepsilon} \cdot \frac{1}{\frac{H_b}{L_b}} \cdot P_{lt} \quad (18)$$

onde K é uma constante adimensional, ‘ L_b ’ o comprimento de quebra, ‘ $\bar{\varepsilon}$ ’ é uma relação adimensional de velocidades em função do parâmetro ‘s’ e calculado pela equação:

$$\bar{\varepsilon} = f(s) = \frac{V_l}{C_b \cdot \text{sen} \alpha_b} \quad (19)$$

onde ‘ V_l ’ é a velocidade média da corrente longitudinal, e ‘ C_b ’ a celeridade da onda no ponto de quebra.

O autor sugere o uso da teoria da onda solitária para a determinação dos parâmetros das ondas no ponto de quebra e propõe as seguintes simplificações: (i) toda a energia dissipada pelas ondas na zona de surfe pode ser utilizada para o cálculo do transporte de sedimentos, isto é, $e_s=1$; (ii) o transporte por arraste de fundo pode ser representado por um pacote de sedimentos de alta concentração movendo-se longitudinalmente a praia e tendo todo o esforço tangencial absorvido pelo atrito dos grãos sobre os grãos o que torna nulo o esforço tangencial do fluido sobre o fundo. Pelo mesmo motivo o coeficiente de atrito torna-se igual a ‘ $\tan \theta$ ’, sendo ‘ θ ’ o ângulo natural de repouso do sedimento, da mesma forma, a energia dissipada é transformada em movimento do sedimento ao invés de ser liberada na forma de calor, como no caso de um fundo fixo.

A partir das simplificações acima e das equações (15) e (18) a taxa de transporte longitudinal total ‘ Q'_s ’ calculada pela expressão:

$$Q'_s = \frac{s}{\gamma_s \cdot (1-p) \cdot \tan \theta} \cdot P_{lt} \quad (20)$$

em que:

$$P_{lt} = n_b \cdot E_b \cdot \frac{L_b}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (21)$$

onde a expressão da energia total da onda, considerando a teoria da onda solitária, é calculada pela equação:

$$E'_b = E_b \cdot L_b = \frac{8}{3\sqrt{3}} \cdot \rho \cdot g \cdot H_b^2 \cdot d_b^2 \quad (22)$$

onde $\gamma_b = H_b/d_b = 0,78$ é o valor limite do índice de quebra da onda segundo a teoria da onda solitária. Fazendo $n_b = 1$ e substituindo a equação (22) na equação (21) obtemos:

$$P_{lt} = 2,23 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{H_b^3}{T} \cdot \text{sen} \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (23)$$

A utilização da equação (20) fica subordinada à forma segundo a qual as ondas quebram. Para ondas quebrando progressivamente são deduzidas três relações entre os parâmetros ‘ s ’, ‘ $\bar{\varepsilon}$ ’ e ‘ A ’:

$$s = \frac{(\bar{\varepsilon})^3 \cdot \text{sen} \alpha_b}{1,78 \cdot A} \quad (24)$$

$$A = \frac{m \cdot \frac{H_b}{L_b}}{c_f \cdot \tan \alpha_b} \quad (25)$$

$$3,44 \cdot A = \frac{(\bar{\varepsilon})^2}{1,07 - \bar{\varepsilon}} \quad (26)$$

Para ondas apresentando quebra do tipo mergulhante os parâmetros ‘ A ’ e ‘ $\bar{\varepsilon}$ ’ são calculados pelas equações (25) e (26) enquanto que o parâmetro ‘ s ’ é calculado pela equação:

$$s = 0,721 \cdot \bar{\varepsilon} \cdot (1,3 - \bar{\varepsilon}) \cdot \text{sen} \alpha_b \quad (27)$$

Método de Komar

Komar & Inman (1970) testaram a equação (28) deduzida por Inman & Bagnold (1963) e Bagnold (1963), em que estes autores aplicaram o conceito energético para a zona litorânea assumindo que parte do fluxo da energia de onda liberada dentro da zona de surfe é utilizada na mobilização do sedimento de fundo, disponibilizando-o para transporte pela corrente longitudinal:

$$I_l = K' \cdot n_b \cdot E_b \cdot \cos \alpha_b \cdot \left(\frac{V_l}{\hat{u}_0} \right) \quad (28)$$

onde 'E_b' é a densidade de energia da onda no ponto de quebra, 'C_b' é a celeridade de quebra e 'V_l' é a velocidade máxima da velocidade longitudinal dentro da zona de surfe.

Os dados utilizados para o teste foram medidos concomitantemente, características de ondas e transporte longitudinal, em duas praias com características e localizações diferenciadas. Uma das praias caracterizada por forte pente (m=0,138), e tamanho médio do grão igual a 0,6 mm (D₅₀), a outra com perfil plano e larga zona de surfe, inclinação média com m=0,034 e sedimento praiado fino (D₅₀=0,18 mm) (Komar, 1969). Com estes dados medidos Komar & Inman (1970) testaram a equação (28) e chegaram a seguinte equação para o valor de 'I_l':

$$I_l = 0,28 \cdot n_b \cdot C_b \cdot E_b \cdot \cos \alpha_b \cdot \frac{V_l}{\hat{u}_0} \quad (29)$$

testaram também a equação (11) e encontraram:

$$I_l = 0,77 \cdot P_{lr} \quad (30)$$

onde 'P_{lr}' é o fator de fluxo de energia da onda calculada usando o valor médio quadrático para a altura da onda (H_{rms}). Para uma distribuição de Rayleigh a relação entre a altura significativa (H_s) da onda e o seu valor médio quadrático (H_{rms}) é dado pela equação:

$$H_s^2 = 2 \cdot H_{rms}^2 \quad (31)$$

Método do CERC

O CERC (1973) valendo-se dos dados de campo medidos por Komar & Inman (1970) reajustou a equação (7) de Savage (1962) elegendo-a definitivamente como fórmula do transporte longitudinal de areia, publicada por US Army Corps of Engineers (1977) com o seguinte formato:

$$Q'_s = 7500.P_{ls} \quad (32)$$

onde 'Q'_s' é a taxa volumétrica de transporte litorâneo, e 'P'_{ls}' é o fator de fluxo da energia da onda [equação (4)], calculado usando-se H_s.

Segundo Vitale (1980) e Bruno et ali. (1981), a partir da equação (10) a equação do CERC pode ser reescrita em função do peso submerso do sedimento:

$$I_l = 0,78.P_{lr} \quad (33)$$

onde 'P'_{lr}' é determinado a partir de H_{rms}.

Para as mesmas condições a equação (32) apresenta volumes de sedimentos transportados 83% mais elevados que os calculados pela equação (7), isso se deve ao fato de que foram utilizados unicamente dados de campo no ajuste da equação (Galvin & Vitale, 1976). Os dados de campo utilizados foram medidos por Watts (1953), Caldwell (1956) e Komar (1969). Greer & Madsen (1978) analisaram a qualidade desta base de dados e concluíram que a equação (32) deve ser utilizada com cautela, sugerindo o seu uso apenas para a estimativa da ordem de magnitude do transporte. Segundo Van Rijn (1990) os parâmetros que governam a equação são a altura da onda e o ângulo de incidência, erros da ordem de 10% nestes dois parâmetros podem provocar erros da ordem de 30% nas taxas de transporte. Kamphuis et ali. (1986), salienta os resultados razoáveis obtidos para tamanhos de partículas na faixa de 200 a 600 µm e praias com inclinações (tan β) entre 0,015 e 0,15, concluindo que a fórmula apresenta bons resultados somente para estreitas condições muito próximas das utilizadas na sua calibração.

A fórmula do CERC pode ser escrita, também, no seguinte formato:

$$Q'_s = \frac{K}{16(s-1)(1-p)} \sqrt{\frac{g}{\gamma}} H_{sb}^{5/2} \cdot \text{sen}2\alpha_b \quad (34)$$

onde ‘ Q_s ’ é a vazão total de transporte longitudinal em m^3/s , $\gamma_b=H_b/h_b$ parâmetro de quebra, ‘ H_{sb} ’ altura significativa de quebra e ‘ α_b ’ o ângulo de incidência da onda no ponto de quebra, $s=2,58$ ($s = \rho_s / \rho_a$), $p=0,4$ (porosidade) e K é o coeficiente empírico determinado a partir de dados experimentais. Komar & Inmann (1970) e Bodge & Kraus (1991) sugeriram um valor para K entre 0,2-1,6, embora Wang et ali. (1998) tenham encontrado valores para K de até 0,08.

Método de Longuet-Higgins

Longuet-Higgins (1972) apresentou uma dedução alternativa para o cálculo da taxa de transporte longitudinal baseada no conceito de impulso lateral da onda (F_H) para situações em que o fator de fluxo de energia da onda (P_{ls}) não apresenta significado físico. A taxa de transporte total (peso imerso) ‘ I_l ’ é descrita pela equação:

$$I_l = K_p \cdot F_H \cdot C \quad (35)$$

onde ‘ K_p ’ é uma constante adimensional; Komar & Inman (1970) sugerem $K_p=0,77$. Em praias planas com pequena declividade o valor de ‘ F_H ’ no meio da zona de surfe corresponde à metade do valor da tensão radiante (S_{xy}) calculada na linha de quebra pela equação:

$$F_H = \frac{1}{2} \cdot (S_{xy})_b = \frac{1}{4} \cdot E_b \cdot \text{sen}2\alpha_b \quad (36)$$

onde ‘ C ’ é a celeridade da onda em águas rasas calculada a partir da teoria das ondas de pequena amplitude [$C=(gd_b)^{1/2}$]. A tensão radiante é descrita como o gradiente da quantidade de movimento entre o ponto de quebra da onda e a linha de praia.

Bruno et ali. (1980), baseados em dados concomitantes das características das ondas e do transporte longitudinal obtidos por Bruno & Gable (1976) e Bruno et ali. (1977), encontraram um valor para $K_p=0,87$ (desvio padrão: 0,4) correlacionando a taxa de transporte de sedimento (peso imerso) ‘ I_l ’ com o fator de fluxo da energia da onda (P_{ls}) e a tensão radiante longitudinal na linha de quebra ($(S_{xy})_b$). Willis & Price (1975) e Ozasa & Brampton (1980) sugerem um valor $K_p=0,35$ para o cálculo da deriva litorânea em praias de pequena escala (por exemplo, praias estuarinas).

2.3 Comparações e comentários

Comparando os métodos de cálculo acima apresentados, observa-se que três deles utilizam constantes empíricas que associam a fórmula com características específicas do local estudado. Apenas o método de Castanho (1966) não utiliza este expediente, valendo-se unicamente de conceitos físicos, o que lhe confere status de equação geral. Comparando o método deste autor com as equações de Savage (1962) [equação (7)], que deu origem à equação do CERC [equação (32)] e a equação de Inman & Bagnold (1963) [equações (10) e (11)], que formam a base do método de Komar (1970) [equação (29)], observa-se que para um mesmo fator de fluxo de energia de onda a taxa de transporte de sedimentos calculada se mantém constante, enquanto que pelo método de Castanho (1966) ela varia em função do parâmetro de dissipação de energia [$s = f(A)$] dado pela equação (16). Longuet-Higgins (1972) ao inserir o conceito da tensão radiante na descrição da gênese das correntes na zona de surfe, aumentou a capacidade descritiva das equações de corrente, fortalecendo a associação do transporte com as características físicas dos seus agentes mais diretos (correntes e ondas) em detrimento do uso genérico do fator de fluxo de energia da onda.

Castanho (1966) parece ter sido quem melhor aproximou uma descrição matemática em bases físicas gerais, capaz de permitir a aplicação do modelo de forma universal e representar os processos costeiros livre dos empirismos tão comuns neste tipo de estudo. Entretanto, limitações científicas de sua época restringiram as potencialidades do seu método, sugerindo a necessidade da introdução de alguns conceitos atualizados. O autor inova ao utilizar a quebra da onda como fator de mobilização dos sedimentos de fundo e a corrente longitudinal como agente transportador do material em suspensão, entretanto não considera a componente longitudinal da velocidade do vento como fator importante na orientação da corrente litorânea. Determina a velocidade da corrente longitudinal usando o teorema das quantidades de movimento de Euler, pois não havia surgido ainda o conceito de tensão radiante. Inova ao dividir o cálculo do transporte total em duas etapas independentes: (i) transporte por arraste de fundo e (ii) transporte em suspensão. Credita o transporte de fundo ao arraste das partículas pela velocidade média da corrente, mas não aborda o conceito de velocidade de fricção (u^*) dentro da camada

limite. Credita o transporte das partículas suspensas à ação da corrente longitudinal e a introdução dos sedimentos de fundo na coluna d'água ao tipo de quebra da onda, considerando as quantidades mobilizadas proporcionais à quarta potência da velocidade orbital da onda junto ao fundo, entretanto desconsidera a importância da ação mecânica do jato (quebra mergulhante) e da ação mobilizadora da turbulência. Subordina o transporte total ao fluxo de energia da onda que ingressa na zona de surfe, mas modula o transporte através do parâmetro 's', uma função das características do sedimento e da morfologia da praia.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

No que se refere aos grandes limites, a área de interesse desta pesquisa compreende a embocadura do sistema lagunar Patos-Mirim e as praias oceânicas adjacentes. O ponto central da área localiza-se na embocadura da Barra do Rio Grande, nas coordenadas $32^{\circ} 9' 30''$ S e $52^{\circ} 5' 30''$ W. Ao sul, a área é limitada por um ponto na Praia do Cassino, com coordenadas $32^{\circ} 14' 56''$ S e $52^{\circ} 9' 36''$ W e distante aproximadamente 10 Km da raiz do molhe oeste da Barra, enquanto que ao norte é limitada por um ponto na Praia do Mar Grosso, distante aproximadamente 10 Km da raiz do molhe leste da mesma Barra e localizado nas coordenadas $32^{\circ} 3' 28''$ S e $51^{\circ} 55' 48''$ W (Fig 1, p.42).

A área ao norte da embocadura faz parte da restinga de São José do Norte, enquanto que o segmento ao sul pertence à restinga do Rio Grande. A linha de costa nesta região é orientada segundo o eixo nordeste-sudoeste (NE-SW), enquanto que o eixo central da embocadura da Barra do Rio Grande segue a orientação geral noroeste-sudeste (NW-SE), fazendo um ângulo de aproximadamente 73° com o prolongamento da linha de praia ao sul.

Quanto aos limites físicos dos processos estudados, as observações e medidas foram realizadas dentro e fora da região hídrica no trecho compreendido entre a face da praia e a linha de arrebentação mais externa possível de ser alcançada com segurança por um pesquisador a pé, o que significa uma profundidade máxima de aproximadamente 2 m. Estes limites ficam inscritos dentro das zonas de surfe e espraiamento.

Considerando os estudos realizados pelo DHI (Danish Hydraulic Institute), através de simulações com o modelo Mike-21 para o EIA-RIMA de ampliação dos molhes do Porto do Rio Grande, RS, FURG (1999), a linha de costa na área de interesse, foi subdividida em duas grandes zonas conceituais de observação: uma dentro da influência da sombra dos molhes da Barra e outra fora desta. A influência direta dos molhes sobre a hidrodinâmica local foi considerada importante até a distância de 3 Km a sudoeste e a nordeste da obra, respectivamente.

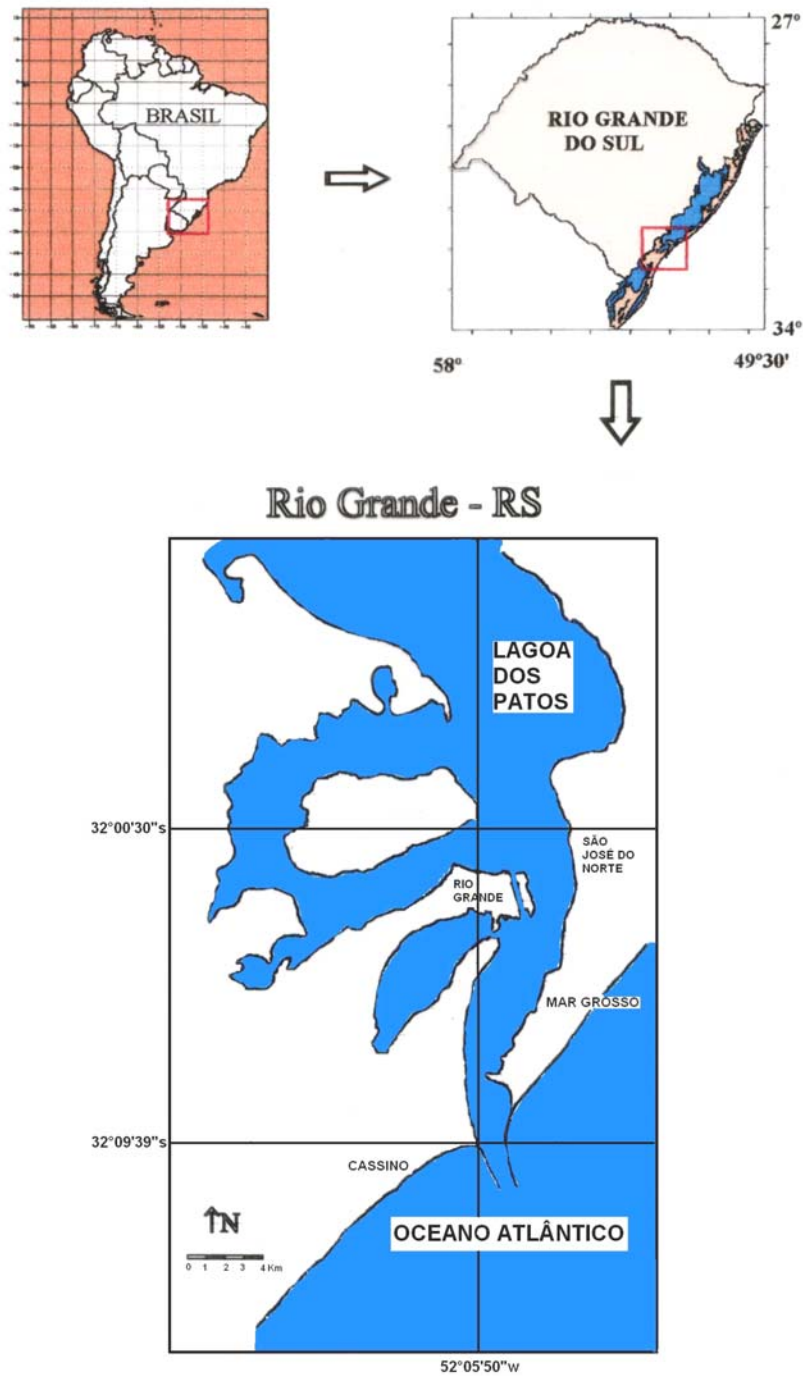


Figura 1 – Localização da área de estudos.
 Fonte: Diretoria do Serviço Geográfico – Exército Brasileiro.
 Escala original: 1/50000



Figura 2 – Localização dos perfis na área de estudo.

Para realização das medições foram planejados 6 perfis de observação, três na Praia do Cassino e três na Praia do Mar Grosso. Dois foram criados dentro da influência dos molhes, dois no limite desta zona e dois completamente fora da sua influência. Na praia do Cassino estes perfis ficaram assim distribuídas: Perfil-1 (P1) em frente a estação de maricultura da FURG (EMA), 10 Km ao sul do Molhe Oeste, nas coordenadas $32^{\circ}12'36''$ S e $52^{\circ}10'48''$ W; Perfil-2 (P2), em frente ao TERMINAL, 3 Km ao sul do Molhe Oeste, nas coordenadas $32^{\circ}10'14''$ S e $52^{\circ}7'44''$ W; Perfil-3 (P3) ao lado da raiz do

Molhe Oeste, 300 m ao sul deste, nas coordenadas 32° 9' 40" S e 52° 6' W. Na Praia do Mar Grosso os perfis ficaram assim distribuídos: Perfil-4 (P4) ao lado da raiz do Molhe Leste, 300 m ao norte deste, nas coordenadas 32° 8' 27" S e 52° 4' 30" W; Perfil-5 (P5) distante 3 Km ao norte do Molhe Leste no ponto de coordenadas 32° 7' 13" S e 52° 3' 18" W; Perfil-6 (P6) em frente ao restaurante Caramujo, 10 Km ao norte do Molhe Leste, nas coordenadas 32° 2' 20" S e 51° 59' 40" W. Tudo conforme figura 2 (p.43).

3.2 FISIOGRAFIA E MORFODINÂMICA

Segundo Calliari & Klein (1993), a área de estudo ao sul da embocadura proporciona um bom exemplo de restinga dominada por ondas oscilando entre os estágios dissipativo e intermediário com um ou mais bancos paralelos à linha de costa. Segundo os autores as praias são caracterizadas pela presença de três zonas distintas: (i) Praia do Cassino: comportamento dissipativo, sedimentos finos e muito finos, pequena pendente; (ii) Praia dos Concheiros: estágio entre intermediário e refletivo, sedimentos mais grosseiros, pendentes mais acentuados; (iii) demais praias normalmente em estados intermediários. Durante o verão foram observados perfis de acresção (novembro a março) enquanto que no outono e no inverno predominaram os perfis de erosão. A largura das praias flutuou entre 50-100 metros enquanto que a pendente permaneceu entre 1-5 graus (Calliari & Klein, op.cit.).

Estudando as praias do norte da embocadura, Tomazelli & Villwock (1992) observaram que a largura, entre as dunas frontais e a linha média de maré baixa, variou entre 30-100 m, com a média situando-se em torno de 50 m. Observaram também, que para diferentes estados morfológicos estas praias apresentaram características de baixa pendente em toda sua extensão, com valores da declividade variando entre 3-5 %. Estes valores mostraram-se condizentes com a granulometria dos sedimentos e a energia disponível. Segundo os mesmos autores, as praias do norte apresentaram comportamento tipicamente dissipativo, com perfil transversal denotando inclinação suave e zona de arrebenção bastante larga. Notaram também, a presença de 2 ou 3 linhas de arrebenção, indicando a presença de bancos múltiplos paralelos à praia, com o banco distal situado em posição relativamente constante a aproximadamente 250 m da praia

subaérea.

Tomazelli & Villwock (1992) concluíram que as praias do norte são dominadas a maior parte do tempo por dois estados morfológicos distintos: (i) o primeiro, observado logo após eventos de tempestade, apresenta uma grande retirada de sedimentos da face da praia e do pós-praia que é então depositado na região submersa, dando origem a formação dos bancos paralelos. Durante estes eventos, as dunas embrionárias são normalmente destruídas por completo e, seguidamente, a própria duna frontal, submetida diretamente à ação das ondas, sofre violenta erosão passando a desenvolver uma escarpa na sua face voltada para o mar (Tomazelli, 1990). Como resposta a estes fenômenos, o perfil praial transversal torna-se caracteristicamente aplainado, destituído de configurações morfológicas menores. Não há, inclusive, diferenciação morfológica visível entre a praia supramarés e a praia intermarés (Tomazelli & Villwock, op.cit.). Dependendo da intensidade da tempestade, os efeitos sobre a costa podem ser bastante destrutivos, como observado no Farol da Conceição e no Balneário Hermenegildo (Calliari et ali., 1996; Barletta, 2000). Além da intensidade, outro fator importante, na ação das tempestades, é a sua frequência. Tempestades frequentes, mesmo que de baixa intensidade, proporcionam uma superposição de efeitos erosivos impossíveis de serem reconstituídos a tempo, pelo lento processo de acreção. Tomazelli & Villwock (1992) utilizaram-se deste argumento para explicar a quase permanente escarpa que as dunas frontais apresentam ao longo de praticamente toda a extensão das praias ao norte da embocadura. A importância da magnitude e da frequência destas tempestades sobre a linha de costa, a sul e a norte da embocadura, foi estudada com maiores detalhes por Tozzi (1999) e Calliari et ali. (1996, 1998).

(ii) O segundo estado morfológico observado por Tomazelli & Villwock (1992) ocorre após o período de acreção lenta, quando uma parte significativa dos sedimentos removidos pelas tempestades já se encontra reincorporado ao estirâncio e ao pós-praia. Segundo os autores, neste estágio é comum o surgimento de uma morfologia do tipo crista e canal de relevo reduzido, que se mantém até a ocorrência de um novo evento de alta energia ou uma sucessão de eventos de pequena e media intensidade.

Martins da Silva (1976) refere como sendo a principal fonte dos sedimentos encontrados nesta região o complexo ígneo-metamórfico do escudo sul-rio-grandense e

as rochas basálticas do planalto (Formação Serra Geral), que apresentam alta maturidade mineralógica. O sedimento na área de estudo é constituído por areias quartzosas finas e se mostra homoganeamente distribuído ao longo das praias. Segundo o mesmo autor esta homogeneidade é rompida apenas por manchas de minerais pesados com maiores concentrações no extremo sul, e às vezes por camadas de lama um pouco ao sul do Cassino (Martins & Villwock, 1974; Calliari & Fachin, 1993) e por concentrações de cascalho biodetrítico, importantes na composição dos sedimentos atuais da Praia dos Concheiros (Calliari & Fachin, op.cit.).

Tomazelli & Villwock (1992) e Siegle (1996) estudaram a caracterização granulométrica dos sedimentos da praia e do pós-praia ao norte e ao sul da embocadura e encontraram predominância das areias finas (2,25-3,0 Φ) exceto em dois trechos localizado no sul e no norte, respectivamente, que apresentaram areias médias (1,25-2,0 Φ). Segundo Siegle (op.cit.) a face praial apresentou três padrões distintos: (i) no trecho entre os quilômetros 45-90 (Praia do Cassino e Praia do Mar Grosso) sedimentos mais finos (2,5-2,9 Φ); (ii) no trecho entre os quilômetros 90-210 (praias entre Cassino e Albardão) sedimentos da ordem de 2,3-2,5 Φ ; (iii) nos trechos compreendidos entre os quilômetros 15-30 (praias entre o Farol da Conceição e a Barra do Estreito) e 230-275 (Praia dos Concheiros) a presença de sedimentos mais grosseiros (1,9-2,1 Φ). Segundo os autores, o pós-praia apresentou um comportamento semelhante embora tenham observado, em média, a presença de sedimentos mais finos (2,43 Φ) nesta região do que na face praial (2,32 Φ).

Martins da Silva (1976), verificou que entre o Farol do Albardão e o Arroio Chuí ocorre a concentração mais significativa de minerais pesados e que nas proximidades do Chuí encontram-se as maiores concentrações. Segundo Villwock et ali. (1979) estes depósitos podem ser de dois tipos: praias e eólicos. Os praias formados por ondas de tempestade que remobilizam os sedimentos concentrando os minerais pesados na região do pós-praia e os eólicos, formados pelo vento, que transporta o material acumulado na praia para os campos de dunas. O distrito de Bojuru, São José do Norte, apresenta as jazidas de maior interesse econômico e o mineral mais importante ali disponível é a Ilmenita.

Valendo-se das características fisiográficas, Seeliger (1992) identificou três

diferentes sistemas de dunas frontais para as praias ao sul da embocadura: (i) da Praia do Cassino até 33° sul, registrou a ocorrência de dunas frontais bem desenvolvidas apresentando altura média entre 3-6 m; (ii) na outra extremidade, bem ao sul, verificou a existência de planícies arenosas, dominadas por dunas móveis que se deslocam permanentemente sobre a Lagoa Mangueira e os alagados que a margeiam; (iii) por último, uma zona de transição dominada por dunas não coalescentes apresentando altura média entre 1-2 m.

Outra característica destas praias são os sangradouros, esta feição física está presente tanto ao sul como ao norte da embocadura e tem vida temporária condizente com os períodos de maior precipitação. Pereira da Silva (1995) estudou a distribuição destes cursos d'água ao sul da embocadura e relacionou a distribuição e a concentração espacial destes sangradouros com as características de cada micro-região, fisiografia das dunas frontais e morfodinâmica da praia adjacente. O autor concluiu que as maiores concentrações ocorrem em dois trechos distintos da costa: (i) entre a estação ecológica do Taim e o Farol do Albardão; (ii) entre o Balneário Hermenegildo e o Arroio Chuí. A Praia dos Concheiros foi a que apresentou o menor número de sangradouros, donde se concluiu que, esta situação se deve principalmente ao acentuado declive da face da praia e a pequena largura do pós-praia que restringe o espaço disponível para a formação de grandes depósitos de água da chuva.

Pimenta (1999) valendo-se de modelo de refração construído por Speranski (1998), estudou as conseqüências da batimetria (Fig 3, p.48) sobre a refração das ondas na costa do Rio Grande do Sul. O autor observou focalização da energia das ondas nas adjacências do Farol da Conceição e Praia do Hermenegildo, ao mesmo tempo, constatou a ocorrência de um processo de migração dos focos ao longo da costa. As concentrações de energia parecem associadas à influência dos bancos submersos adjacentes, que controlam a propagação das ondas, concentrando-as em trechos específicos da costa e levando a um balanço negativo de sedimentos nestas regiões.

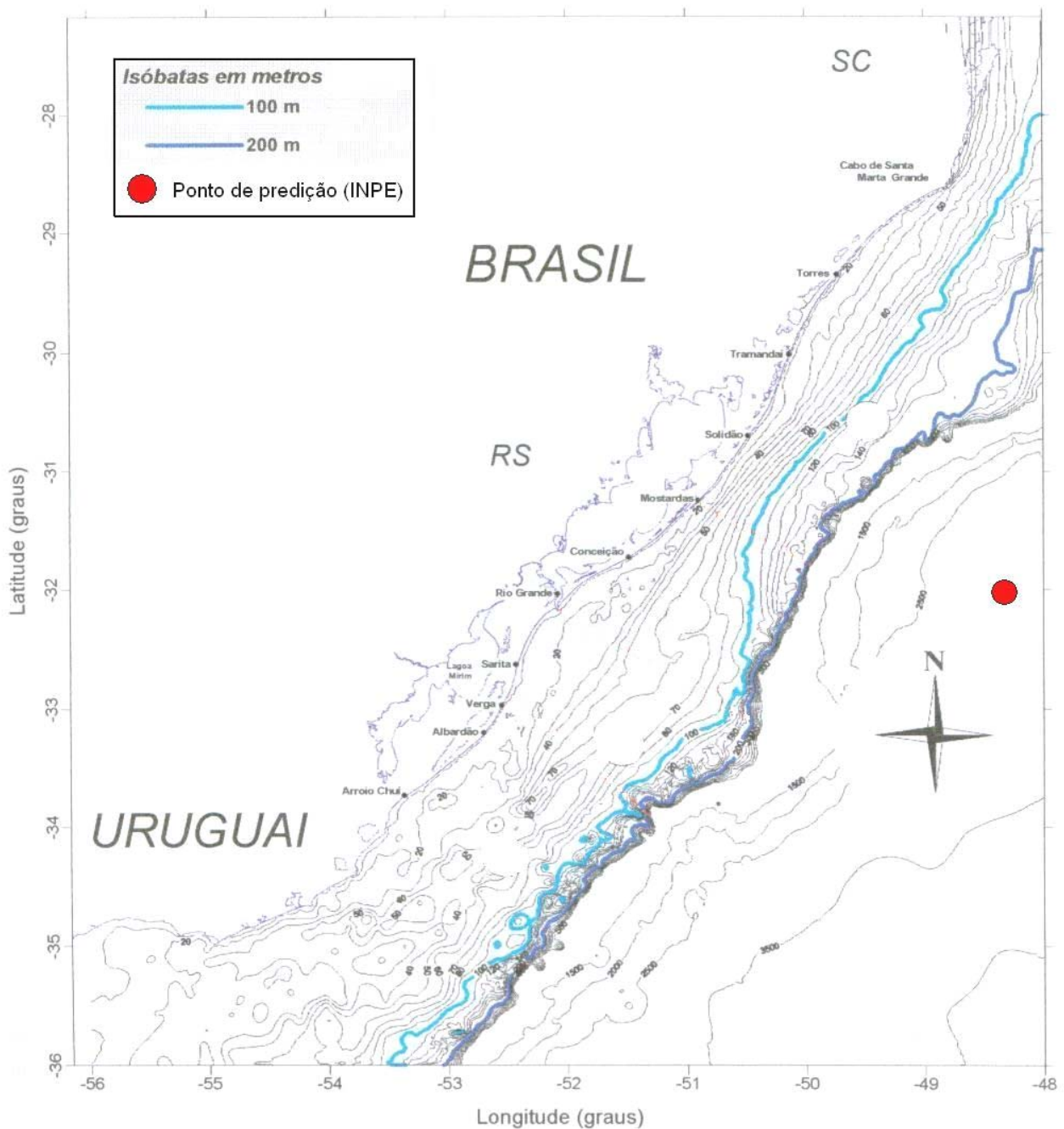


Figura 3 – Batimetria da região de estudo (Modificado de Pimenta, 1999).

Finalmente, Tomazelli & Villwock (1992) sugerem que do ponto de vista morfológico, as praias do norte apresentam um comportamento mais erosivo que acrescional, e que esta erosão não se restringe somente a elas, mas parece se estender a

toda a costa do Rio Grande do Sul, entretanto, estudando estas mesmas praias Barletta (2000) verificou que embora existam trechos com erosão permanente e recuo da linha de dunas como é o caso do Farol da Conceição e da Praia do Lagamarzinho, existem outros trechos importantes que se mostram perfeitamente estáveis, como no caso do Farol da Solidão, praias de Mostardas e Estreito e Balneário de São Simão. Da mesma forma, Lélis (2003) valendo-se de aerofotografias entre 1947 e 2000 analisou o comportamento da linha de costa no entorno dos três principais 'inlets' da costa do Rio Grande do Sul (Torres, Tramandaí e Rio Grande) e concluiu que não existe um padrão dominante de comportamento, ou seja, os locais estudados apresentaram-se variando entre estágios de erosão, acresção e estabilidade.

O entendimento destes processos de mudança em larga escala ou mesmo a determinação das causas de fenômenos localizados importantes, parece ser o grande desafio que se abre para os futuros investigadores dos processos costeiros no Rio Grande do Sul.

3.3 URBANIZAÇÃO E OBRAS COSTEIRAS

Poucas são as obras de engenharia costeira capazes de influenciar significativamente o regime hidráulico e o transporte de sedimentos ao longo da costa do Rio Grande do Sul. No norte destacam-se os molhes do Mampituba e do rio Tramandaí, enquanto que no sul encontram-se os molhes da Barra do Rio Grande e do arroio Chuí, sendo a penúltima a mais importante de todas.

A embocadura da Lagoa dos Patos permaneceu livre até 1915 e apresentou a formação permanente de uma barra móvel distante da linha de costa entre 2,8-5 Km com profundidade no topo variando entre 2,5-7 m. Diferentemente das outras embocaduras da costa do Rio Grande do Sul, esta nunca migrou significativamente, provavelmente devido à maior descarga continental. A mesma relação (deriva litorânea x descarga continental) que manteve a formação da barra numa distancia mínima de 2,8 Km da costa não permitiu a acresção de sedimentos no lado de barlar e erosão a sotamar da embocadura, processos reconhecidamente responsáveis pela migração dos demais 'inlets' da costa. Por outro lado, a instabilidade da barra esteve sempre ligada à predominância da

descarga continental sobre o regime de marés. A irregularidade das vazões fluviais, apesar do efeito regulador exercido pelos grandes reservatórios (Lagoas dos Patos e Mirim), esta na raiz deste processo. Segundo Motta (1969) é provável que se existisse um regime de marés regulares com amplitude significativa, enchendo e esvaziando prismas estáveis, a regularidade das correntes vazantes garantiriam a estabilidade da barra.

A construção dos molhes ocorreu entre 1908-1916, sendo que, entre 1908-1911 tiveram início os trabalhos de preparação com as obras principais sendo realizadas entre 1911-1916 e coroadas com o último lance do Molhe Leste entre 1922-1928. Vários foram os estudos e projetos que permearam a construção a partir da Comissão Bicalho (1883) até a obra final realizada pela Companhia Francesa (Malaval, 1922). Entre os projetos mais importantes destacam-se os trabalhos de Bicalho (1883) e Caland (1886), Hawkshaw (1886) e Graça Couto (1887); IN: Otero, (1897). A partir de 1914 a obra começou a produzir seus efeitos, dando origem à formação de uma nova barra ao largo da embocadura, sendo que em 1916 já se registrava um aprofundamento de 8,5 m no canal intermolhes e sobre a nova barra. Até 1969 as cotas na profundidade de controle sobre a nova barra, variaram entre 7-10 m, sendo que a navegação principal se fazia nos 'thalvegs' (principal deles junto ao Molhe Leste) (DPRC, 1959). Desde então a nova barra foi cortada por um canal de acesso cuja profundidade tem sido mantida em cotas definidas por dragagens sistemáticas.

Hoje, a influência antrópica sobre o ecossistema está dividida em seis segmentos: complexo industrial portuário, conglomerado urbano, navegação lacustre e costeira, atividade primária, atividade pesqueira e turismo. O complexo industrial portuário, que responde por um investimento público total da ordem de quatro bilhões de dólares, é composto na sua face portuária por uma pesada infra-estrutura (rodovias, energia elétrica, água tratada, equipamentos de dragagem, terras desapropriadas disponíveis e telecomunicações) que somadas alcançam o valor de três bilhões de dólares; terminais portuários (grãos, containeres, óleos vegetais, produtos químicos e carga geral) com investimentos aplicados na ordem de 500 milhões de dólares e, finalmente, os terminais retroportuários (grãos, containeres, óleos vegetais, produtos químicos e petroquímicos) num total de 129 milhões de dólares. A face industrial, por sua vez, é suportada por uma matriz privada, orçada em 365 milhões de dólares e segmentada em fertilizantes,

pescados e óleos vegetais. Sobre uma área de 2.580 hectares se distribuem três indústrias de óleos vegetais (1.800 mil ton/ano), uma refinaria de petróleo, quinze indústrias de pescados e quatro indústrias de fertilizantes químicos (1.500 mil ton/ano). Todo o complexo gravita entorno de 12 Km de cais aportável que tem mantido nos últimos anos um movimento médio anual de cargas da ordem de 11 milhões de toneladas (Domingues, 1995).

A embocadura é tocada ao sul pela Praia do Cassino e ao norte pela Praia do Mar Grosso. A Praia do Cassino é o balneário mais importante do sul do Estado, com forte desenvolvimento urbano, população fixa de aproximadamente 30 mil pessoas e flutuante de 150 a 200 mil, principalmente no verão. A área urbana continua sendo ampliada rapidamente gerando inúmeros problemas de saneamento, fluxo rodoviário e agressão a ambientes preservados. Reflexo de uma ocupação por vezes mal planejada. Ao norte, a Praia do Mar Grosso ainda permanece preservada, dada sua condição de difícil acesso e ausência dos atrativos da vizinha do sul. Entretanto, a conclusão da BR-101, falta menos de 80 Km para sua ligação com São José do Norte, facilitará substancialmente o acesso das populações do norte (Porto Alegre, Canoas, Novo Hamburgo, São Leopoldo) e do sul (Rio Grande, Pelotas e Bagé) do Estado às hoje praticamente intocadas praias da restinga. É quase inevitável, que nas próximas décadas, a vasta região costeira ao norte da Barra do Rio Grande torne-se alvo de intensa ocupação urbana.

Finalmente, algumas considerações sobre o futuro desta região e suas perspectivas à luz da nova ordem mundial, pois quanto maior o investimento nesta região maior será a interferência antrópica sobre a morfologia local. Com o advento dos grandes blocos (Mercosul, ALCA, Mercado Comum Europeu, Bloco Asiático, etc) e o aumento das relações comerciais entre os seus membros e destes com outros blocos já existentes ou em rápida formação, ficou patente a necessidade de substituir, em médio prazo, a atual matriz de transporte marítimo calcada em navios de 70 mil ton (tipo Panamax) por embarcações de maior deslocamento, 100 a 200 mil ton (tipo Cape Size), como forma de alcançar melhor economia de escala (Domingues, op.cit.). Ocorre, que navios deste porte exigem calados acima de 18 m.

O Porto do Rio Grande surge como forte opção na criação de uma plataforma de cargas pesadas capaz de centralizar todo o fluxo de comércio marítimo no extremo sul da

América, pois os seus dois maiores concorrentes naturais, Buenos Aires e Montevidéu, defrontam-se com uma limitação quase incontornável, que são os elevados custos requeridos para manter aberto os canais de acesso ao longo do estuário do Rio da Prata. O aumento dos molhes em um quilômetro, o aprofundamento do Canal de Acesso para 18 m e alargamento para 310 m, apontam neste sentido (FURG, 1999). Segundo Domingues (op.cit.), um empreendimento desse porte arrastará para o retroporto uma matriz industrial capaz de processar as matérias primas aportadas, projetando a região como ponto de partida de uma malha produtiva, capaz de alimentar as indústrias de segunda e terceira geração do eixo central do estado.

3.4 REGIME DE MARÉS

Nesta região as marés astronômicas não são significativas, pelo contrário, as variações importantes do nível da água dependem quase que exclusivamente das chamadas marés meteorológicas (irregulares), podendo estas, de acordo com Villwock & Tomazelli (1995) e Calliari et ali. (1996) ultrapassarem as primeiras em até 1 metro. As tábuas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) revelam marés astronômicas médias de 0,47 m, do tipo diurno, com amplitudes máximas de até 0,80 metros no outono e na primavera, estas estações denominadas de equinociais, registram as maiores variações do nível médio do mar pela coincidência das marés astronômicas com as meteorológicas (Calliari et ali., 1998).

A costa do Rio Grande do Sul é classificada como sendo do tipo micromarés, com amplitude inferior a 2 m. As baixas amplitudes devem-se a proximidade de um ponto anfidrômico e a monotonia da costa, retilínea e aberta, sem acidentes capazes de amplificar as marés seja por ressonância, seja por convergência (Villwock & Tomazelli, op.cit.). Durante as tempestades, os ventos que sopram na direção da costa ou ao longo desta de sul para norte, arrastam para a praia grandes massas d'água, que associadas com a migração dos centros de pressão tornam-se responsáveis pela elevação do nível do mar na costa. Estas elevações podem chegar rapidamente a 1 ou 2 m, provocando grandes alterações na morfologia das praias (Almeida et ali., 1997 e Calliari et ali., 1998).

3.5 REGIME DE ONDAS

As ondas no sul do Brasil são ondas de gravidade, geradas por vento na superfície e são caracterizadas pela intensidade das forças geradoras e pela distância do ponto de geração. São classificadas como ondulações (swell), vagas (sea) e ondas de tempestades (storm surges). Ondulações têm formato regular, cristas arredondadas, longos períodos e baixa esbeltez, tem centro de geração distante do ponto de observação, muitas vezes a centenas de quilômetros de distância. O centro de geração das ondulações que alcançam o sul do Brasil é o cinturão de tempestades subpolar do Atlântico Sul, situado a 60° de latitude sul. Motta (1964), Strauch (1996) e Coli (2000) demonstraram que as ondulações no sul do Brasil têm propagação a partir de sudeste, enquanto o primeiro encontrou as maiores frequências em 125° os outros encontraram entre 150°-160°.

Vagas são ondas geradas por ventos locais, tem o seu ponto de geração muito próximo do ponto de observação. Geralmente são ondas irregulares com características complexas e confusas, elevada esbeltez e cristas agudas. Normalmente ocorrem cavalgando as ondulações e são oriundas de variados sistemas de ventos locais, o que lhes confere características variáveis ao período, comprimento, altura e direção de propagação. Motta (1964), Tomazelli (1990, 1993) e Braga & Krusche (2000) demonstraram a reinância e dominância dos ventos de nordeste e leste, que faz desta a direção das vagas em águas profundas, no sul do Brasil. Strauch (1996) e Coli (2000) mostraram que as vagas nesta região provêm de 80° a 120° com concentração em 100°.

Ondas de tempestades são eventos de grande energia, que acompanham a passagem de frentes frias e assolam a costa com regularidade durante o ano, porém com maior frequência no outono e inverno. Estão associadas a estas ondas grandes elevações do nível do mar, empilhamento de água na costa e expressivos processos erosivos com mobilização e transporte de grandes quantidades de sedimentos. Britto & Saraiva (1997), Bedran et al. (2000) e Xavier (2003) estudaram a correlação entre as frentes frias e a ocorrência de tempestades costeiras, segundo Tozzi & Calliari (2000) os quadrantes com maior incidência de fortes tempestades são sudeste (48,8%) e sul (37,4%).

A primeira medição sistemática e instrumentada de ondas na costa do Rio Grande do Sul foi realizada por Vitor Freire Motta entre novembro de 1962 e outubro de 1963,

em Tramandaí (norte da embocadura), cujos dados detalhados podem ser encontrados em Pitombeira (1975). O autor utilizou um ondógrafo não direcional Houlographe, tipo Neyrpic, na isóbata de 20 m. Os registros foram de 15 min às 6 horas e de 12 min às 18 horas. A direção da onda foi determinada através de equipamento ótico instalado na praia. As direções foram observadas em concomitância com os registros do ondógrafo às 6 h e 18 h. Segundo Pitombeira (op. cit.) a observação visual prejudicou a diferenciação entre ondulações (maioria do quadrante S-SE) e vagas provenientes de NE-E, pois muitas vezes estas últimas apresentavam-se sobrepostas as primeiras dificultando a sua visualização independente. Esta foi uma das justificativas apresentadas por aquele autor para explicar a direção da resultante de deriva litorânea calculada (NE-SW), frontalmente contrária a todos os indícios geomorfológicos observados na costa e contrária também às observações em modelo reduzido, conduzidas pelo próprio Motta (1964).

Segundo Motta (1967), ondas com altura de 4 m ocorrem pelo menos uma vez por ano e a altura máxima de 7 m apresenta um período de recorrência de cerca de 30 anos. A importante incidência de ondas registradas na faixa entre 70° (44° a NE da normal) e 145° (31° a SE da normal) sinaliza um transporte litorâneo em ambos os sentidos (SW-NE e NE-SW). Ondulações de maior concentração energética e menor esbeltez são observadas de sudeste (125°), enquanto que as características das ondas mantiveram-se sem variações sensíveis durante o ano. O autor verificou ainda, que as vagas têm sua procedência do quadrante leste (entre 95°-110°) e os períodos e as alturas significativas mais correntes são de 9 s e 1,5 m, respectivamente. A altura significativa de recorrência anual foi de cerca de 3,5 m. Períodos significativos superiores a 14 s foram raramente observados.

Motta (1969) apresentou registros de ventos reinantes e dominantes de norte e nordeste com frequência anual de 45%, com intensidades nas faixas de 2-9 e 9,5-15,5 m/s e raramente inferiores a 2 m/s. Foi observada predominância dos ventos do mar sobre os ventos de terra. Apesar dos ventos reinantes e dominantes serem de nordeste, as ondas mais frequentes e com maior poder de transporte são de sudeste, o que sugere sua propagação por longas distâncias antes de atingirem a costa.

Strauch (1996) mediu as ondas em Rio Grande entre 1996-1998. Utilizou um ondógrafo direcional Datawell, tipo Mark II, fundeado em frente ao cabeço do Molhe Leste na cota de 15 m. Registros 'rotineiros' com duração de 3 horas foram em número

de 2377 enquanto que registros com altura significativa acima de 2 metros e duração não limitada formaram o subconjunto dos 'dados extremos', num total de 2041. O autor mostrou que durante tempestades a altura significativa ultrapassa os 2 m. Os valores de energia acompanham a altura da onda, o período fica entre 12-16 s e a direção de propagação fica entre 150°-169°, mantendo-se constante ao longo de todo o evento. Valores extremos de altura significativa foram observados em abril de 1998, com aproximadamente 4,20 m, direção de propagação de 140° e período em torno de 12 s. As maiores ondas ocorreram em dez/96 (6 m), jun/97 (7 m) e mar-abr/98 (6.50 m). As direções predominantes são 100° e 160°. Ambas as direções apresentam ondas com alturas médias semelhante, com tendência de maiores ondas para 160°, donde são mais freqüentes as ondulações (swell). Os períodos das ondas situam-se no entorno de 11 s. Aparece também uma segunda concentração de dados em torno dos 8 s. Finalmente, foram observadas duas direções de ondas predominantes, a primeira, com direção ao redor de 100° e períodos em torno de 8 s, correspondendo ao regime de vagas, enquanto que a segunda, com predominância de 160° e períodos de 12 s, correspondendo às ondulações.

Coli (2000) estudou os mesmos registros apresentados por Strauch (1996) e encontrou uma onda característica de altura significativa entre 1-1,5 m e 41% de freqüência e períodos entre 5-6 s e 73% de freqüência. Ondas com alturas significativas abaixo de 3 m e 14 s foram encontradas em 99% dos dados, sendo que para ondas abaixo de 2 m e períodos abaixo de 12 s a freqüência foi 86%. As estações do ano não geraram diferenças significativas entre as maiores freqüências anuais de altura significativa, pois estas permaneceram entre 1-1,5 m com período médio entre 5-6 s, ao longo do estudo. Durante o ano, 58% das ondas vieram de sudeste, entretanto durante a primavera e o verão a direção leste (27%) se sobrepôs à direção sul (15%), esta situação inverteu-se durante o outono e o inverno, quando as ondas de leste representaram 10% do total, enquanto as do sul chegavam a 30%. O espectro médio mensal apresentou no verão, um pico deslocado para o regime de vagas, com períodos entre 8-10 s, enquanto que no inverno o pico migrou para o regime de ondulações com períodos entre 10-14 s, o outono e a primavera comportam-se como épocas de transição.

O mesmo autor identificou 33 eventos extremos, que corresponderam a 16% dos

10 meses de observações durante os quais a altura significativa ficou acima de 2m e apresentou, em média, 2 dias de duração. Destes, apenas 3 tiveram duração acima de 4 dias, um em maio, outro em junho e o maior entre 27 de fevereiro e 3 de março de 1997, com duração de 4 dias e meio. A média da altura significativa destes eventos foi de 2,3 m e, para ondas com altura significativa entre 2-2,5 m e período médio de zero ascendente entre 5-6 s, a frequência foi de 57%. Ondas de sudeste representaram 64% das ocorrências enquanto que as do sul participaram com 28% das estatísticas, sendo que desta mesma direção e com períodos entre 7-8 s ingressaram 37% das ondas.

Segundo Coli (op.cit.) de todos os eventos extremos apenas três registros continham ondas acima de 5,5 m em dois eventos distintos, tendo o maior ocorrido em 8 de junho de 1997, apresentando típicas ondulações de inverno, com altura máxima de 7 m e período de 11,8 s, o segundo, de menor magnitude, ocorreu em 11 de dezembro de 1996, registrando vagas com altura máxima de 6 m e período relativo de 8,1 s. Ajustando uma distribuição de Gumbel aos dados coletados, o autor, estimou para períodos de retorno de 10, 30 e 50 anos alturas máximas de 8, 8,7 e 9,1 m, respectivamente.

3.6 REGIME DE VENTOS E TEMPESTADES COSTEIRAS

O Estado do Rio Grande do Sul tem o seu centro regional posicionado sobre o paralelo 30° S, linha de transição entre a zona tropical e a temperada. Os ventos estão vinculados aos sistemas de altas pressões tropicais e polares do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e do Anticiclone Polar Migratório (ATM). A alternância destes sistemas hemisféricos induz a reinância dos ventos de nordeste entre os meses de setembro e março enquanto que de abril a agosto reinam os ventos de sudoeste (Nimer, 1977).

Calliari (1980) constatou que os ventos de nordeste, norte-nordeste e leste-nordeste são reinantes na região, sendo que o vento de nordeste é reinante e dominante. Entre os ventos do quadrante leste-sul, o vento de sudeste é reinante. Os ventos de sul-sudoeste, sudoeste e oeste-sudoeste estão associados às tempestades e juntamente com os ventos de sudeste e sul são responsáveis pela elevação do nível da água na costa, principalmente no inverno, quando tem maior intensidade.

Tomazelli (1993) apresentou 13 anos de dados (jan/70- dez/82) em que foram analisadas a velocidade e direção dos ventos de superfície (10 m) em Torres, Imbé e Rio Grande. O vento de nordeste mostrou-se reinante e dominante nos três locais estudados com freqüências de 24,1% em Torres, Imbé 41,4% e Rio Grande 22,3%. Foram analisados ventos com velocidades até 14 m/s. Os ventos dos setores norte-nordeste-leste e sul-sudoeste-oeste são os principais geradores das componentes paralelas à costa influenciando na direção das correntes longitudinais. Analisando estes ventos verifica-se a dominância do primeiro setor nos três locais. Em Torres ocorre uma dominância de 28% do primeiro sobre o segundo setor, em Imbé 93% e Rio Grande 32%. Segundo o mesmo autor e com base na classificação de Fryberger (1979) o regime de ventos na costa do Rio Grande do Sul caracteriza-se como um regime de alta energia com padrão de distribuição bimodal obtuso.

Braga & Krusche (2000) analisaram as distribuições de velocidade do vento em relação as suas direções e caracterizaram o padrão de ventos na região de Rio Grande para um período de 3 anos (jan/92-abr/95). Foram utilizados dados de direção e velocidade registrados a cada 10 minutos (medidos a 10 m), com precisão de 0,5 m/s para a velocidade e 5 graus para a direção. As maiores intensidades ocorreram para as direções sul, oeste e sudoeste, enquanto que o vento de nordeste reinou a maior parte do ano com exceção do outono. Observou-se que a brisa marítima penetra o continente por volta das 12 horas, embora no outono esta entrada atrase até às 13:30 horas. As direções norte e nordeste foram as mais freqüentes com velocidades entre 2-6 m/s, sudeste e noroeste apresentaram freqüência menor para esta faixa de velocidade já que estão relacionadas às brisas, de menor intensidade. Ventos de sudeste (relacionados à brisa marítima) foram mais freqüentes para velocidades entre 2-4 m/s, o que não ocorre para ventos de noroeste (associados a brisas terrestres) onde as maiores freqüências se reportam a velocidades de no máximo 2 m/s. Isto evidencia a preponderância da intensidade da brisa marítima sobre a terrestre. Ventos associados à passagem de frentes frias (sul, oeste e sudoeste) foram os que apresentaram as maiores velocidades (acima de 8 m/s).

Os autores observaram também, que no verão os ventos de nordeste ocorrem com maior freqüência (33,8%) e alta intensidade (5-10,5 m/s), o segundo em importância é o vento leste (17,8%) embora, com intensidade bem menor (0-5 m/s). A componente sul foi

uma das menos freqüentes (9 %) embora relativamente mais intensa (5-10,5 m/s). No outono a direção mais freqüente foi norte (25,6%), seguido de nordeste (20%), sudoeste (13%) e oeste (12%). As maiores velocidades estiveram associadas à direção sudoeste (5-10,5 m/s). Durante o inverno os ventos de nordeste (21,9%), norte (15,5%) e sudoeste (17,2%) tiveram aproximadamente a mesma freqüência, ventos sul (13,2%) e sudoeste (17,2%) apresentaram forte intensidade (5-10,5 m/s) provavelmente devido a maior freqüência de frentes frias. O vento de sudoeste apresentou grande intensidade (entre 16,5-23,8 m/s) embora uma freqüência muito pequena (3,2%). Na primavera a direção nordeste apresentou as maiores freqüências (30,3%) e intensidade (5-10,5 m/s) seguida de sudeste (15,6%), leste (13,2%) e norte (13,5%). O vento sul embora com pequena freqüência (8,9%), apresentou intensidade alta (até 16,5 m/s).

Segundo Oliveira (1986), a costa sul do Brasil está sujeita a ocorrência média de seis ou sete sistemas frontais por mês sendo que o número de frentes é maior no inverno (6 a 7 frentes frias) diminuindo durante o período que vai de março a abril (5 a 6 frentes frias). Britto & Krusche (1996) e Britto & Saraiva (1997) analisando a ocorrência de sistemas frontais em Rio Grande no período compreendido entre os anos 1993-1995 constataram que o número médio de frentes frias que ingressaram durante o período acima citado foi de 16 por estação, sendo que no inverno e na primavera foram registradas as maiores freqüências.

Bedran et ali. (2000) estudaram as tempestades costeiras e as marés meteorológicas na Praia do Cassino geradas por frentes frias no período de abril/97 a jul/99. Identificaram 20 eventos dos quais 65% no outono, 15% na primavera, 15% no verão e 5% no inverno. Os ventos mais intensos variaram entre 16-24 m/s para as direções sudoeste, sul e sudeste, sendo em 85% dos casos vento de sudoeste. Observaram também que antes e durante os eventos a componente de maior influência foi a meridional do vento, com valores superiores a zonal. Os comprimentos das pistas de vento variaram entre 1.665-3.333 Km. Os efeitos sobre a costa foram sentidos em média 24 a 48 horas após a ciclogênese, tempo necessário para que o mar atingisse um estado de completo desenvolvimento. Para este período foi registrada uma altura significativa de onda entre 1,75-5,5 m.

Xavier (2003) estudou a correlação entre as variáveis atmosféricas (direção,

velocidade e duração do vento, componentes meridional e zonal, pista do vento, pressão atmosférica e vorticidade) e a variação do nível do mar em Rio Grande durante a ocorrência de tempestades costeiras geradas por passagem de frentes frias entre agosto de 1999 e dezembro de 2000. O autor observou que os aumentos de nível ocorreram com uma defasagem de 12 horas para ventos de sudoeste com velocidades entre 20-24 m/s. A componente meridional foi a que apresentou o maior grau de correlação com o aumento do nível da água na costa. A componente zonal, a pressão e a vorticidade, não apresentaram a mesma importância. Em contrapartida, o autor observou que, o tamanho da pista de vento e a sua duração são por vezes mais importantes do que a própria velocidade. Estas observações finais são corroboradas por Tozzi (1999), segundo o qual, a evolução de tempestade costeira para tempestades do meio do Atlântico acarreta em um aumento da amplitude da maré meteorológica acarretando no aumento e distribuição do impacto por grandes extensões litorâneas.

Segundo Calliari et ali. (1996 e 1998) estes fenômenos de escala inferior à escala sinótica podem proporcionar tempestades de grande intensidade ao longo da costa. Os mesmos autores registraram eventos de grande intensidade no inverno de 1993 e outono de 1995 proporcionando erosões costeiras entre Rio Grande e Chuí da ordem de 80 m³/m e 46 m³/m, respectivamente. Durante o ano de 1996, devido às tempestades, registrou-se um balanço sedimentar negativo da ordem de 20 m³/m, aumentando para 40 e 80 m³/m nos eventos de maior intensidade. De abril a julho registrou-se uma variação sedimentar negativa de aproximadamente 200 m³/m no estoque da barreira entre a Lagoa dos Patos e Chuí. Este estoque foi parcialmente recuperado (150 m³/m) no final da primavera e no decorrer do verão (Tozzi, 1999).

3.7 REGIME DE CORRENTES

Dentre os fluxos costeiros, são às correntes longitudinais geradas na zona de surfe por ventos e arrebentação de ondas, o principal agente de transporte lateral de sedimentos e por consequência o concorrente mais importante para as transformações morfológicas das praias e dos ambientes litorâneos nesta região (Tomazelli & Villwock, 1992).

Alvarez et ali. (1981) estudaram as correntes longitudinais na praia do Mar

Grosso, ao norte da embocadura da Barra do Rio Grande. Durante o inverno foram observadas correntes para nordeste, com valores entre 0,2-0,6 m/s, atingindo uma velocidade máxima de 1 m/s, enquanto que os ventos reinantes eram de sudeste com velocidades entre 5,5-7,0 m/s e um máximo de 16 m/s. No verão, os ventos reinantes foram de nordeste com valores entre 3,5-10 m/s, enquanto que as correntes apresentaram velocidades entre 0,2-0,6 m/s, com sentido sudoeste.

Toldo Jr. et ali. (1993), realizaram medições da corrente litorânea na praia de Tramandaí, constatando elevada variabilidade na direção das correntes. Foram realizadas 6 medições (cobrindo as 4 estações do ano), as velocidades ficaram entre 0,07-0,87 m/s e em 83% dos casos reinou a direção nordeste. Observa-se que em 66% dos casos estudados ocorreu convergência entre a componente do vento e a direção da corrente longitudinal. Os autores utilizaram os dados para ajustar a equação de Longuet-Higgins (1970) modificada pelo CERC (1973) e o ajuste apresentou um elevado coeficiente de correlação (0,925) com pequeno desvio padrão (0,134).

Calliari & Fachin (1993), estudando a zona antes da arrebentação nas praias do sul da embocadura, observaram que nesta zona as correntes litorâneas superficiais respondem prontamente às mudanças de direção do vento. Estes autores sugerem que as correntes geradas por ventos, principalmente de nordeste, seriam responsáveis pelo transporte de sedimentos finos em suspensão em direção ao sul, devido a sua maior frequência e menor energia, enquanto que as correntes induzidas pela incidência oblíqua de ondas na costa, seriam mais eficientes no transporte de fundo, em direção ao norte.

Tozzi (1999) baseado em dados obtidos em 5 anos de observações visuais diárias do estado do mar ao largo da Praia do Cassino, mostrou que as correntes para sudoeste são predominantes em todas as épocas do ano, muito embora, as correntes mais intensas tenham sido observadas seguindo para nordeste. O mesmo autor observou também, que o transporte de sedimentos para sudoeste apresentou baixa intensidade e alta frequência, enquanto que o transporte preferencial para nordeste, correspondeu às fortes correntes litorâneas para nordeste geradas por ondas de maior energia e marés meteorológicas decorrentes das tempestades de Sul e Sudeste.

Tozzi & Calliari (2000) associam a intensidade e direção das correntes litorâneas na área de estudo à frequência e intensidade dos eventos atmosféricos de sul e leste.

Correntes fracas e constantes para sudoeste foram geralmente observadas na primavera-verão enquanto que para nordeste predominaram as observações de outono-inverno. Os autores observaram também que, eventos marcados por incidência de vagas de sul ou oeste, geradas por ventos locais provocam correntes para nordeste, enquanto que eventos com ventos locais e vagas de nordeste ou leste promovem correntes para sudoeste. A intensidade da corrente esteve sempre subordinada a energia das ondas e dos ventos locais.

3.8 REGIME DE TRANSPORTE

Vários são os indicadores geomorfológicos e morfodinâmicos que apontam o sentido da deriva litorânea resultante. Dentre estes indicadores destaca-se a migração das embocaduras livres dos ‘inlets’ costeiros acompanhando o sentido do transporte líquido. Outra forma de se fazer esta importante observação qualitativa é através de considerações genéricas do clima de ondas. A observação do deslocamento cíclico destas embocaduras e o estudo da morfodinâmica em modelos costeiros reduzidos foram algumas das formas encontradas pelos pesquisadores para inferir que na costa do Rio Grande do Sul existe um transporte resultante para nordeste. Vale destacar que a eficácia do transporte não é maior devido às características morfológicas da plataforma continental. A configuração ampla e rasa da plataforma promove uma acentuada refração nas ondulações de sudeste de forma que a sua incidência, na maioria das vezes, se dá em ângulos muito baixos o que diminui sensivelmente o processo de deriva litorânea. Lamentavelmente, até agora não foi conduzida nenhuma pesquisa capaz de estabelecer com dados de campo os verdadeiros números da deriva litorânea de sedimentos na costa do Rio Grande do Sul.

Motta (1964, 1967, 1969), após ter conduzido uma campanha de medição das ondas em Tramandaí (ondógrafo não direcional, 1962-1963), utilizou um modelo costeiro reduzido e valendo-se dos dados de ondas medidos simulou, qualitativamente, as direções e os sentidos das correntes longitudinais e da deriva litorânea e concluiu que a deriva ocorre nos dois sentidos com resultante para nordeste. Pitombeira (1975) valendo-se dos dados de ondas de Motta (op.cit.) e de modelos matemáticos simples (Caldwell, 1956; Castanho, 1966; Bijker, 1971) foi o primeiro a estimar o transporte total e líquido de areia

para a mesma região onde foram medidas as ondas. Entretanto, como já foi dito antes, encontrou a resultante para sudoeste, em franca oposição às observações qualitativas de todos os pesquisadores, que antes e depois dele, concluíram que a deriva líquida ocorre para nordeste.

Alvarez et ali. (1981) estudaram as correntes longitudinais na Praia do Mar Grosso, medindo em três perfis diferentes localizados sucessivamente, o primeiro no costado do Molhe Leste, o segundo a 5 Km e o terceiro a 10 Km do primeiro. As medições (7 na primeira estação, 8 na segunda e 7 na terceira) foram realizadas no inverno de 1979 e no verão de 1980, os dados encontrados corroboram a idéia de uma deriva bi-direcional ao mesmo tempo chamam a atenção para uma pequena variação lateral na velocidade no caso das estações serem consideradas separadamente.

Segundo Calliari (1980), Tomazelli (1990) e Tomazelli & Villwock (1992) as características das praias adjacentes aos quatro principais 'inlets' ocorrentes na costa do Rio Grande do Sul (Chuí, Rio Grande, Tramandaí e Torres), bem como a orientação geral das embocaduras corrobora a idéia de um transporte bi-direcional com predominância para nordeste. Levantamentos efetuados pela antiga diretoria de obras do porto e barra do Rio Grande, em março de 1941, indicam que a linha de praia a partir do pontal sul da embocadura (base do Molhe Oeste), entre 1885 e 1922, aumentou 1.040 m, com uma média de 28 m/ano (Calliari, 1980). Por outro lado, a praia ao norte da embocadura, experimentou uma erosão regular de 400 m, ou seja, aproximadamente 5 m/ano (Long & Paim, 1987). Tais levantamentos parecem indicar que a potencia hidráulica do canal, mesmo antes da fixação dos molhes, atuou como uma barreira natural ao transporte de sedimentos causando um desequilíbrio no balanço sedimentar litorâneo (Calliari & Klein, 1993). A embocadura da Lagoa de Tramandaí situada na parte central do trecho ao norte do canal, sempre apresentou um deslocamento para nordeste que somente foi bloqueado a partir de 1960/61 pela construção pelo DEPREC do guia correntes ao longo das margens. Antes da fixação a embocadura migrava em média 200 m por ano. Assim, a migração para nordeste do arroio Chuí ocasionou vários problemas de fronteira com o Uruguai. A embocadura livre da Lagoa do Peixe, próximo a Mostardas, migra constantemente para nordeste, inclusive fechando a barra em períodos de estiagem. O rio Mampituba também ilustra claramente esta migração para nordeste (Tomazelli & Villwock, 1992).

Calliari & Klein (1995) estudaram o movimento dos sedimentos durante a ocorrência de ondas de tempestades para a Praia dos Concheiros e observaram a formação de escarpas com alturas entre 0,5-1,20 m a aproximadamente 50 m da linha d'água, com perda de sedimento na porção subaérea, da ordem de 34,83 m³/m.

Alfredini (1999), utilizou um pacote de equações empíricas para determinar a deriva litorânea ao longo de toda a costa brasileira, desde a Praia do Cassino (RS) até a Praia de Atalaia (PI), chegando, no caso do Cassino a valores médios da ordem de 2 milhões de metros cúbicos por ano de transporte total e cem mil metros cúbicos por ano de transporte líquido na direção nordeste.

Segundo Tozzi (1999) e Tozzi & Calliari (2000) é durante o ciclo de tempestades que inicia em abril e se estende por todo o outono e inverno, que se registram os maiores movimentos de sedimentos. Os perfis intermediários (Hermenegildo, Albardão, Sarita e Verga) são os mais susceptíveis de erosão por ondas de tempestades com o volume subaéreo variando muito em curtos intervalos de tempo, o que denota uma elevada susceptibilidade à erosão. Na Praia dos Concheiros o autor encontrou variações do volume subaéreo da ordem de 20 m³ e 10 m de recuo na linha de praia devido à ocorrência de tempestades frequentes. Os autores verificaram também uma boa correlação entre elevados valores do parâmetro ômega ($\Omega = H_b / T_p W_s$, onde 'H_b' é a altura da onda no ponto de quebra, 'T_p' o período de pico e 'W_s' a velocidade de sedimentação) e a passagem de tempestades costeiras face a coincidência entre a ocorrência de ondas tempestuosas e a grande variação do volume sedimentar.

Araújo (2002) estudou a caracterização sedimentar da Praia dos Concheiros. Segundo o autor, observações morfo-sedimentológicas conduzidas por diversos pesquisadores nos últimos dez anos apontam para uma migração deste corpo biodetrítico em direção a nordeste. A região é marcada pela predominância de areias médias. O autor observou também que lateralmente as areias quartzosas apresentam um gradiente suave decrescendo para nordeste enquanto que para sudoeste o gradiente é abrupto. Esta disposição sugere a importância das tempestades costeiras de sul e sudoeste sobre o transporte sedimentar litorâneo na costa do Rio Grande do Sul, já que somente eventos de alta energia seriam capazes de assegurar o transporte de sedimentos terrígenos tão grosseiros.

Lélis (2003) estudou as praias adjacentes aos três principais 'inlets' da costa do Rio Grande do Sul (Cassino-Mar Grosso, Tramandaí-Imbé e Paia Grande-Passo de Torres). O autor valeu-se de aerofotografias entre os anos de 1947 e 2000 para avaliar os estágios sedimentares de cada uma destas praias (acrescivo, erosivo ou estável). A Praia do Cassino, entre os anos de 1947-1975 apresentou acresção intensa com crescimento médio de 114,83 m; entre os anos de 1975-2000 apresentou acresção reduzida com crescimento médio de 36,67 m. Em 53 anos esta praia apresentou uma taxa média de acresção da ordem de 4,10 m/ano. Foram estudados 12 Km de praia a partir da raiz do Molhe Oeste em direção ao sul. O autor verificou que os primeiros 0,65 Km apresentaram comportamento acrescivo com crescimento médio de 49,6 m; os 1,14 Km seguintes apresentaram comportamento estável; e os 10,2 Km restantes apresentaram comportamento acrescivo com crescimento médio de 239,8 m. Do outro lado da embocadura, a Praia do Mar Grosso, entre os anos de 1974-2000 (não houve aerofotos anteriores disponíveis) apresentou um comportamento erosivo com regressão média de -37,60 m. Foram estudados 14 Km de praia a partir do Molhe Leste em direção ao norte. O autor observou que os primeiros 0,80 Km apresentaram comportamento acrescivo com crescimento médio de 24 m; os 5,6 Km seguintes apresentaram comportamento erosivo com regressão média de -73,7 m; os 4,4 Km seguintes apresentaram comportamento estável; e os últimos 3,2 Km apresentaram comportamento erosivo com regressão média de -64,6 m.

4. METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Aquisição e tratamento dos dados de campo

4.1.1 Introdução

Foram realizadas medições do transporte longitudinal de sedimentos dentro da zona de surfe, medições do transporte transversal bidirecional dentro da zona de espraiamento, medições da morfometria praial, hidrodinâmica costeira e ventos locais.

Alguns equipamentos foram construídos a partir de informações da literatura especializada. As metodologias de aquisição e tratamento dos dados são clássicas e também estão disponíveis na literatura. A distribuição local das ondas na cota de 15 m foi obtida a partir de trabalhos anteriores, que se valeram dos dados adquiridos por um ondógrafo 'Datawell Mark II' fundeado por três anos próximo à costa. As características atuais das ondas em águas profundas foram obtidas a partir de modelo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) rodado para a região. Os dados modelados foram validados por comparação com dados reais concomitantes obtidos para o mesmo ponto por ondógrafo não direcional pertencente ao projeto PNBóia e ratificados por trabalhos idênticos de autores diversos com aplicações do mesmo modelo. Medições instantâneas dos ventos locais realizadas durante os trabalhos de campo foram apoiadas por seqüências diárias de medições feitas pela estação meteorológica da FURG.

A aproximação matemática do processo de transporte litorâneo é feita pela utilização de equações empíricas escolhidas entre as várias existentes na literatura. Estas equações foram calibradas para as condições locais pelos dados medidos.

Todos os dados adquiridos na zona de arrebentação se referem estritamente a condições atmosféricas normais, pois durante a ocorrência de eventos de alta energia as metodologias escolhidas não são aplicáveis. Entretanto, estas limitações não impedem que os importantes efeitos da passagem de tempestades costeiras sobre o transporte litorâneo sejam avaliados de forma aproximada.

4.1.2 Sedimentos

Composição sedimentológica do fundo

As propriedades dos sedimentos apresentam variações importantes mesmo entre pontos diferentes da mesma praia. Com o objetivo de determinar a composição sedimentológica da praia submersa foram recolhidas amostras de sedimentos nos pontos escolhidos para as estações de medição do transporte. O material coletado manualmente ao longo do perfil transversal serviu para determinação do tamanho médio do grão (D_{50}).

Foi coletado material da superfície do fundo até uma profundidade de 8cm com o auxílio de uma pequena pá conforme Kraus (1987). Em cada ponto foi coletada uma única amostra e o resultado final representou a média dos valores das amostras do perfil. O número de pontos de amostragem variou de um perfil para outro de acordo com a morfologia local. Foram recolhidos 500 g de sedimentos em cada ponto e armazenados em sacos plásticos. No laboratório as amostras foram lavadas para remoção dos sais e posteriormente secadas em estufa com temperatura abaixo de 80° C. Para separação aleatória das amostras foi utilizado um quarteador 'Jones'. De cada amostra foram separadas duas frações entre 30 e 70 g para peneiragem. A análise granulométrica foi feita por peneiragem mecânica utilizando-se um intervalo entre peneiras de $\frac{1}{4} \phi$ na escala de Wentworth (1922) para maior detalhamento da variação granulométrica. Na peneiragem foi utilizado um agitador 'Ro-Tap', e cada amostra foi peneirada durante 10 min. A metodologia seguiu o esquema clássico apresentado por Martins et al. (1978).

O material retido nas peneiras foi pesado e analisado segundo a metodologia de Folk & Ward (1957).

Sedimentos transportados dentro da zona de surfe

Dentre os desafios enfrentados por pesquisadores e engenheiros costeiros interessados em estudar o transporte de sedimentos dentro da zona de surfe encontra-se a dificuldade de obtenção de dados fidedignos em virtude das difíceis condições de trabalho nesta região. Vários métodos e equipamentos foram desenvolvidos com esse

objetivo. Destacam-se as medições com traçadores fluorescentes, traçadores radiativos, métodos de acumulação e o uso de equipamentos de medição pontual ou linear de alta tecnologia como sensores óticos (OBS) e acústicos (Schat profiler). Todos estes métodos apresentam virtudes e deficiências. Muitos são caros, outros de difícil utilização e alguns não atendem a necessidades específicas. Um balanço destas variáveis indicou a opção pelo método dos ‘traps’ portáteis. O método de medição pontual do transporte de sedimentos através de ‘traps’ portáteis foi utilizado durante muito tempo por geólogos para a medição do transporte de fundo em rios, conhecido como ‘Helley-Smith trap’ (Helley & Smith, 1971; IN: Kraus, 1987). Entretanto, foi a partir de Kraus (1987) que este equipamento passou a ser utilizado também na coleta de sedimentos costeiros, principalmente após a arrebentação.

Segundo Kraus (op.cit.) as principais vantagens oferecidas pelos ‘traps’ são:

1. Medições de valor absoluto, com os sedimentos sendo capturados, pesados e analisados.
2. Taxas de transporte estabelecidas para intervalos de minutos, podendo ser diretamente relacionadas às ondas e correntes responsáveis pelo seu movimento.
3. Medição da distribuição vertical da taxa de transporte, permitindo distinguir entre o transporte por arraste de fundo e o transporte em suspensão.
4. Uso simultâneo em diferentes pontos do perfil praiado estudado, permitindo a determinação da distribuição lateral da taxa de transporte longitudinal.
5. Baixo custo, fácil construção e manutenção simples.
6. Rústicos e portáteis, podem ser utilizados em ambientes agressivos e transportados e instalados com facilidade.
7. Permitem elevado número de medições por unidade de tempo, principalmente quando comparado com métodos tradicionais como: traçadores e métodos acumulativos.
8. Amostras com peso acima de 5 g podem ser pesadas no campo, permitindo um rápido cálculo e interpretação dos resultados.

As principais desvantagens conhecidas são:

1. Erosão do fundo nas proximidades do 'trap' mais baixo, produzindo alterações artificiais no fluxo de sedimentos junto ao fundo.
2. Alteração na velocidade local do fluxo pela interferência física do equipamento alterando as taxas de transporte medidas. As questões acima reportadas (Itens 1 e 2) estão relacionadas com a eficiência dos 'traps' portáteis.
3. Necessidade de um tempo de coleta muito pequeno que em dadas circunstâncias pode comprometer a representatividade da amostra.
4. Utilização apenas em condições atmosféricas normais, não sendo possível o seu uso durante a ocorrência de eventos extremos. Esta limitação acarreta perda significativa de informação, já que as principais taxas de transporte ocorrem exatamente durante as tempestades.

O conjunto de medição é formado pela associação de um grupo de redes de captura e um suporte metálico capaz de suportá-las. O suporte é construído em aço carbono e as soldas esmerilhadas para evitar acidentes com os operadores e com o tecido das redes. A estrutura metálica é coberta com tinta a base de oxido de zinco. As redes são afixadas ao suporte por pinos de guia e tiras de 'Tac-tel' (inicialmente eram utilizados parafusos). As redes são fixadas a quadros metálicos construídos em aço carbono, que atuam como bocas de captura das próprias redes. As redes são montadas de forma que suas bocas ficam afastadas 4 cm do corpo do suporte diminuindo a interferência com o fluxo perturbado e a erosão que ocorre próximo às pernas do suporte. O suporte utilizado prevê a instalação de 10 redes simultaneamente. As redes são numeradas em seqüência vertical de 1-10, de baixo para cima. As redes de 1-6 têm comprimento de 60 cm. As redes 7 e 8 têm comprimento de 70 cm e as redes 9 e 10 tem comprimento de 110 cm. Estes valores foram estabelecidos com base nas experiências realizadas por Kraus (1987). As redes são construídas com tela de poliamida, 100% nylon, M-250 (0,063 x 0,063 mm) e diâmetro do fio de 0,62 mm. Este é um produto comercial vendido em peças de 1 m de largura e comprimento desejado. A abertura da malha coincide com o limite inferior do tamanho dos sedimentos não coesivos (areia muito fina). Detalhes nas figuras 4 (p.69) a 10 (p.71).

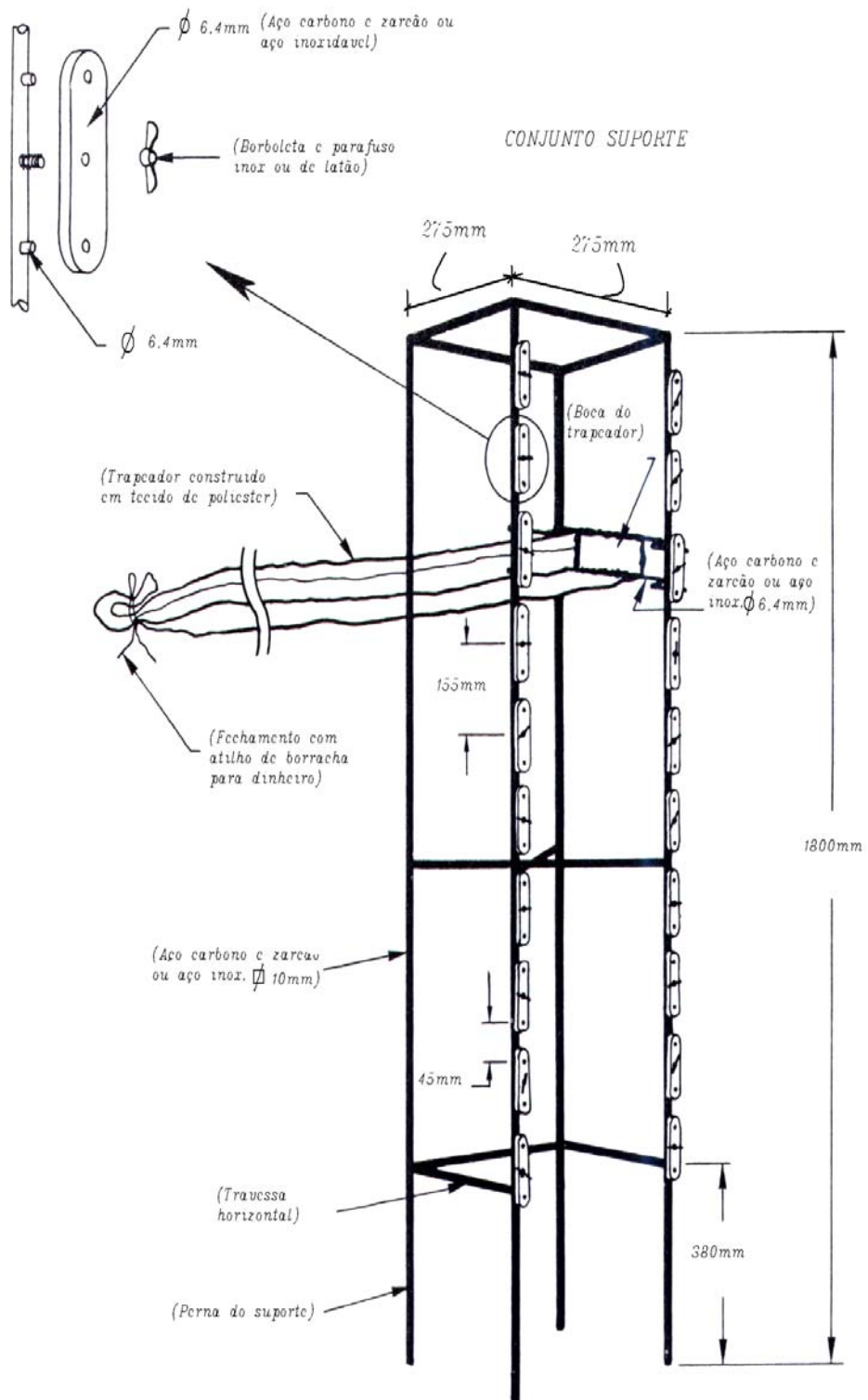


Figura 4 – Detalhes construtivos do suporte de 'traps' (modificado de Kraus, 1987).

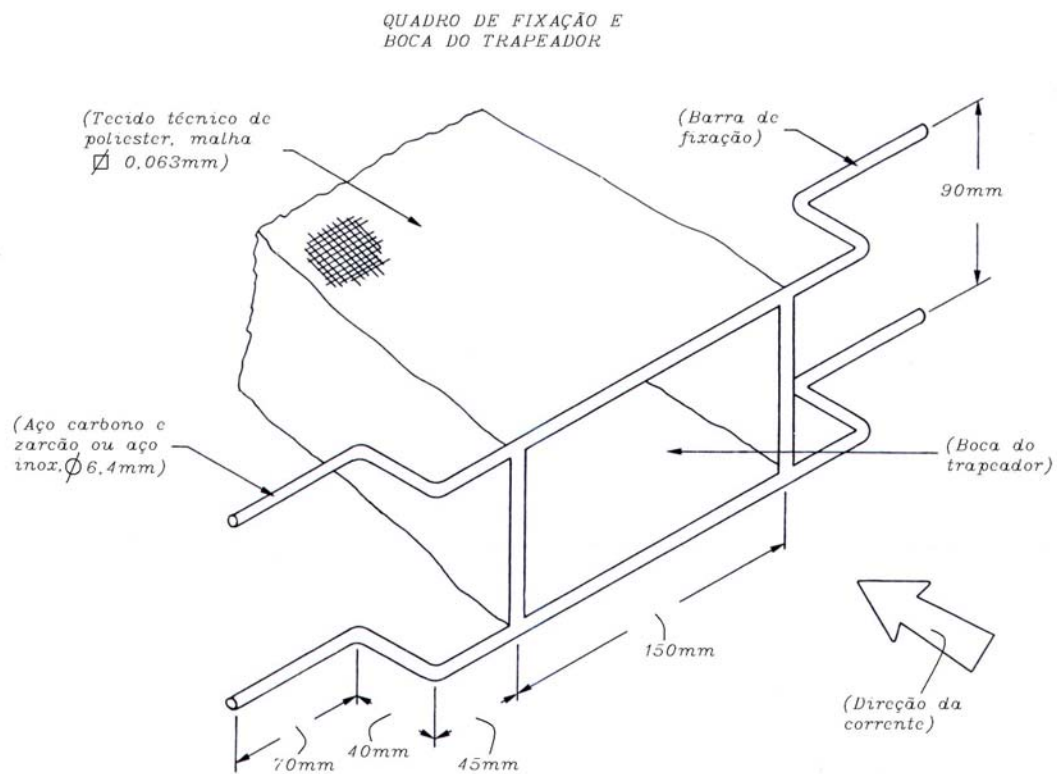


Figura 5 – Detalhes construtivos da boca do ‘trap’ (modificado de Kraus, 1987).



Figura 6 – Foto de detalhe da fixação



Figura 7 – Foto de detalhe da montagem.

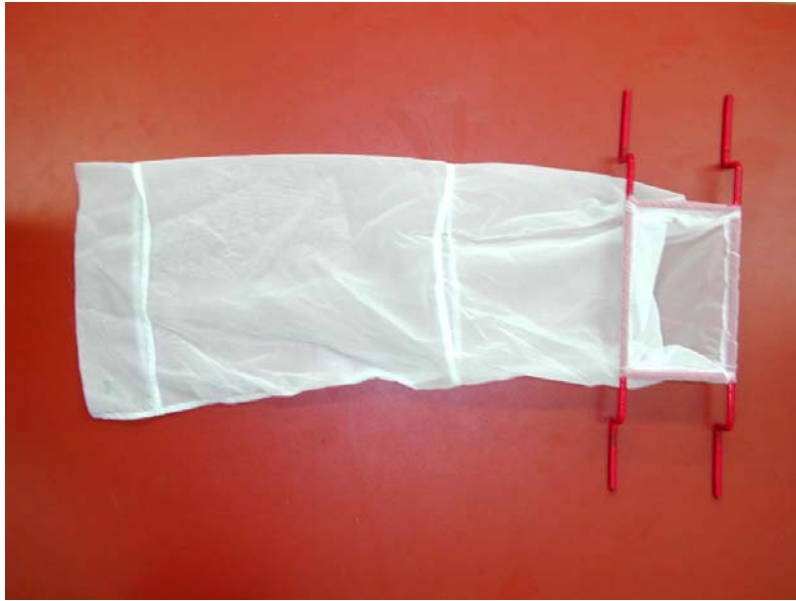


Figura 8 – Vista geral do ‘trap’ (boca metálica e rede).



Figura 9 – Vista frontal da montagem.



Figura 10 – Vista lateral da montagem.

A extremidade do 'trap' é dobrada duas vezes e fechada com borracha de atilho para dinheiro. O 'trap' tem um comprimento mínimo que permite operacionalidade sem perda de eficiência. Este comprimento varia em função das velocidades de fluxo esperadas para cada profundidade de coleta. Como após a arrebentação os maiores fluxos são observados próximo a superfície, Kraus (1987) optou por escalonar os 'traps' instalando os de maior comprimento junto a superfície e diminuindo em direção ao fundo.

A maior parte dos sedimentos coletados fica acumulada na parte final do saco, embora uma parte menor se acumule na entrada e nas paredes da rede. Se o 'trap' for muito curto ocorrerão perdas do material coletado durante a operação, removido pelas correntes e pela turbulência gerada dentro do 'trap'. O comprimento é importante, pois torna a área lateral suficientemente ampla possibilitando a saída normal da água em fluxo contínuo, evitando excessiva turbulência interna e conseqüente expulsão do sedimento aprisionado. Em contrapartida, se os 'traps' forem muito compridos a ação das ondas e correntes dificultará o manuseio enredando e rasgando as redes, exigindo maior treinamento e atenção por parte do operador. Optou-se por quatro estações de coleta em cada perfil praiado estudado e para facilitar e agilizar a operação foram construídos quatro conjuntos de 'traps' projetados para trabalhar em cada ponto específico do perfil. Foram construídos dois conjuntos com dez unidades cada para operar na primeira linha de arrebentação e na primeira cava, um conjunto com oito 'traps' para operar na segunda linha de arrebentação e um conjunto com seis 'traps' para operar na segunda cava. Isso, obviamente, para o caso da ocorrência de duas linhas de arrebentação. Quando ocorrem mais de duas linhas de arrebentação as linhas mais distantes são inacessíveis para o trabalho com 'traps'. Estes conjuntos específicos são importantes para agilizar as operações de coleta principalmente no inverno, quando as temperaturas baixas não permitem jornadas de trabalho maiores que 4 horas, mesmo com equipamentos adequados (roupas de neoprene, etc.), pois a perda de calor é muito intensa provocando hipotermia.

As coletas seguem um comportamento padrão para que os dados sejam coletados sempre da mesma maneira, em todos experimentos. Inicialmente é levantado a batimetria do perfil transversal com o auxílio de uma estação total conforme descrito a seguir. O

perfil é então plotado em uma tela de computador e a seguir escolhidos os quatro pontos onde serão feitas as coletas dos sedimentos. Os pontos escolhidos são sinalizados através de balizas coloridas.

A seguir, os 'traps' são afixados ao suporte e levados para o ponto de coleta escolhido. A um sinal combinado o conjunto é posicionado com as bocas dos 'traps' contrapostas ao sentido da corrente longitudinal e os pés do suporte são completamente enterrados no fundo até que a boca do primeiro 'trap' toque o solo, no fundo do mar. O operador fica posicionado na parte traseira do conjunto para que o fluxo não seja contaminado pela sua presença e entre este e a praia, para evitar que as ondas possam jogá-lo sobre o equipamento. Se as correntes forem fracas os 'traps' se manterão vazios e ficarão abanando e enredando nas pernas do suporte. Entretanto, para velocidades de corrente acima de 0,30 m/s os 'traps' permanecem cheios e na horizontal, facilitando a coleta. As operações praticamente se restringem a regiões onde a profundidade não ultrapasse a altura do operador, pois a ação das ondas em áreas mais profundas impede o posicionamento correto do equipamento. Quanto maior for a energia das ondas menor é a possibilidade de trabalho nos pontos mais distantes da linha de praia.

O 'trap' número um, próximo ao fundo do mar, é o responsável por coletar a parte do sedimento transportado junto ao fundo (bedload), embora parte deste sedimento pertença ao transporte em suspensão, já que a boca do 'trap' tem altura (9 cm) maior que a altura teórica da camada de transporte de fundo (aproximadamente 2 cm, neste caso). Entretanto, Komar (1978) e Wang et ali. (1998) consideram como transporte de fundo todo o sedimento transportado na camada que vai do fundo até a cota de 0,10 m acima dele. Neste caso, para fins práticos, pode ser considerado como transporte de fundo todo o sedimento coletado pelo primeiro 'trap'.

Os demais 'traps' são responsáveis pela coleta dos sedimentos em suspensão (suspended load). Após algum tempo de operação (aproximadamente 5 minutos) tem início junto às partes do suporte e do 'trap' número um em contato com o fundo um processo erosivo intenso que compromete a fidelidade das medições próximas do fundo. Para evitar o comprometimento das medições o tempo de coleta por estação deve ficar limitado a um mínimo de 3 e um máximo de 5 minutos.

Após a coleta o conjunto é levado até a praia, os ‘traps’ são marcados com etiquetas plásticas assinaladas de 1-10 com caneta própria para plástico, afim de que não se percam os registros. Os ‘traps’ são removidos, enrolados e guardados em saco plástico próprio onde são registrados o nome do perfil praial e o número e posição da estação de coleta. Um novo conjunto de ‘traps’ é instalado no suporte liberando-o para nova coleta. Detalhes da operação de coleta são apresentados nas figuras 11 (p.74) a 13 (p.75).



Figura 11 – Montagem, preparação e etiquetagem do conjunto de ‘traps’.



Figura 12 – Transporte do conjunto de ‘traps’ para a estação de coleta.



Figura 13 – Operação de coleta.

Como os ‘traps’ são guardados junto com os sedimentos coletados para posterior esvaziamento no laboratório, os quatro conjuntos disponíveis permitem que seja coletado apenas um perfil praiial a cada saída de campo.

No laboratório os ‘traps’ são lavados em água corrente, os sedimentos são acumulados junto ao fundo da rede e a seguir transferidos juntamente com a etiqueta para um saco plástico próprio para amostras. As amostras são então fechadas com atilho de borracha. Logo após são colocadas em sacos plásticos grandes devidamente etiquetados com o nome do perfil, a posição da estação e a data da coleta. Os ‘traps’ sofrem lavagem final, são colocados ao sol e finalmente guardados para nova saída de campo.

O trabalho no laboratório é iniciado com a lavagem das amostras em água doce e secagem em estufa com temperatura abaixo de 80° C. Os biodetritos são então removidos com auxílio de ácido clorídrico e a amostra quarteada. Logo após um dos quartos da amostra é peneirado em etapas de $\frac{1}{4}$ de Phi. Posteriormente as quantidades peneiradas são pesadas individualmente em balança eletrônica.

Foram realizadas oito campanhas com o objetivo de coletar sedimentos através de ‘traps’ portáteis. Estas saídas foram distribuídas ao longo do ano, cobrindo as quatro estações, foram distribuídas também pelos seis perfis praiiais escolhidos e descritos anteriormente. Foram colhidas em média 34 amostras por saída de campo totalizando 272 amostras num ano de trabalho. Este método permite medir a taxa média de transporte dentro da zona de surfe, bem como a distribuição vertical das taxas de transporte em cada nível e a distribuição vertical dos sedimentos transportados juntamente com suas características sedimentológicas.

A vazão média de transporte dentro da zona de surfe é obtida pela integração do fluxo de sedimentos medido, tanto vertical como horizontalmente (Wang et ali., 1998). O fluxo (neste trabalho a palavra fluxo, do Inglês ‘flux’, é interpretada como sendo “Massa ou Volume/Tempo/Área”) de sedimentos entre dois ‘traps’ adjacentes é dado pela integração linear dos seus valores, para tanto deve ser utilizada a equação abaixo:

$$\Delta F_i = \frac{\left(\frac{F_{i+1}}{Z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{Z_{i-1}} \right) \Delta Z_i}{2} \quad (37)$$

Onde ΔF_i é a quantidade de sedimentos que flui no espaço entre dois ‘traps’ adjacentes, F_{i+1} e F_{i-1} são as quantidades medidas pelos dois ‘traps’ em questão (superior e inferior), enquanto que Z_{i+1} e Z_{i-1} representam a dimensão vertical da boca do ‘trap’ superior e inferior respectivamente, que neste trabalho é constante e igual a 9 cm. A distância ΔZ_i , é a medida vertical entre dois ‘traps’ adjacentes que neste trabalho também é constante e igual a 6 cm.

O fluxo total de sedimentos que passa através de um conjunto de medição em uma estação de medição é dado pela soma dos fluxos individuais (F_i) que passam por cada ‘trap’ somados aos fluxos intermediários que se deslocam no espaço entre cada dois ‘traps’ adjacentes (ΔF_i). O fluxo total é calculado pela equação:

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (\text{Kg/h/m}^2) \quad (38)$$

onde N é o número de ‘traps’ montados no conjunto de medição.

Portanto ‘ I ’ representa o fluxo total de sedimentos que passa por uma estação de medição instalada em um ponto escolhido do perfil praiial e considerada toda a altura da coluna d’água desde o fundo até a superfície. A vazão de transporte longitudinal é expressa pelas quantidades de sedimentos que passam através da área úmida da secção transversal da zona de surfe na unidade de tempo. A área úmida da secção transversal da zona de surfe é calculada com base nas áreas úmidas parciais correspondentes às secções transversais dos segmentos compreendidos entre cada uma das quatro estações, tendo como limite inferior o fundo do mar e superior a posição média da linha d’água. Assume-se, portanto que a vazão de transporte entre duas estações de medição adjacentes é a média dos transportes totais registrados pelas duas estações.

O valor do transporte longitudinal total é calculado utilizando-se a expressão:

$$Q_i = \sum \frac{I_i + I_{i+1}}{2} A_i \quad (\text{Kg/h}) \quad (39)$$

Onde I_i e I_{i+1} representam o valor do fluxo de sedimentos que passam através das estações 'i' e 'i+1' respectivamente. Enquanto que A_i é a área úmida da secção transversal do segmento compreendido entre as estações 'i' e 'i+1'.

Sedimentos transportados dentro da zona de espraiamento

Se poucos são os estudos conduzidos na zona de surfe menos ainda tem sido feito no espraiamento. O estudo da hidrodinâmica nesta zona pode recorrer a dois tipos de abordagem. A primeira, associada a processos de macro e meso-escala, discute os limites da zona de surfe, as características do espraiamento, os mecanismos forçantes e as oscilações da linha de praia. A segunda, atendendo a micro-escala, analisa a cinemática interna do fluxo, a turbulência, a camada limite de fundo e a infiltração e exfiltração através de solos permeáveis. Este trabalho se resume à análise de alguns aspectos de macro e meso-escala, passíveis de serem medidos com os equipamentos disponíveis e úteis no entendimento da deriva litorânea na região.

Foram feitas medições do transporte sedimentar transversal utilizando um 'trap' (Fig 14, p.79), com desenho alterando projeto original de Katori (1983) e projetado especificamente para utilização nesta faixa de mar caracterizada pela permanente oscilação dos fluxos (flúidos e partículas).



Figura 14 – Vista frontal do ‘trap’ de espraçamento.

As vantagens e desvantagens referentes ao uso de ‘traps’ no espraçamento são as mesmas já citadas anteriormente quando da abordagem do transporte dentro da zona de surfe.

O ‘trap’ de espraçamento é composto por uma boca retangular de 12,5 x 6 cm (75 cm² de área) confeccionada em alumínio, uma rede de captura longa afixada à boca metálica, fechada na sua extremidade por amarra de barbante, e uma chapa de suporte do conjunto capaz de ser afixada ao fundo arenoso. A boca metálica possui uma portinhola de alumínio que se abre quando o ‘trap’ é colocado em contraposição ao fluxo, permitindo a captura dos sedimentos e fechando-se com a inversão do fluxo, não permitindo a saída dos sedimentos aprisionados.

O sedimento foi coletado com o objetivo de avaliar o volume de sedimentos trazidos à face da praia durante o ‘run-up’, compará-lo com as quantidades removidas no ‘run-down’ e determinar o saldo resultante. Em todos os casos adotou-se tempo fixo de coleta de 5 minutos. Elfrink & Baldock (2002) definem os limites do espraçamento como sendo, no lado do mar, o ponto de formação do salto de praia (beach step) e no lado do continente o ponto atingido pelo máximo ‘run-up’. O salto de praia é a resposta

morfoodinâmica à presença do vórtice de ‘backwash’ típico em praias com sedimentos grosseiros. No caso de sedimentos finos e muito finos, a ocorrência do salto de praia é remota apesar da existência do vórtice. Como as praias estudadas se enquadram no segundo caso optou-se por adotar como limite oceânico do espraiamento a posição média de ocorrência dos vórtices de ‘backwash’. O espraiamento foi dividido em três partes e as medições da dinâmica sedimentar foram realizadas no fim do primeiro terço a partir do vórtice de ‘backwash’. A existência quase permanente de lamina d’água definiu a escolha deste ponto.

A operação de coleta é realizada instalando o ‘trap’ com a boca voltada para o oceano quando se quer coletar material que chega a praia e voltada para o continente para coletar o material retirado da mesma (ortogonal à linha de praia). As demais operações e trabalhos de laboratório são idênticos aos descritos para a zona de surfe. Os detalhes operacionais podem ser vistos na figura 15 (p.80).



Figura 15 – Coleta de sedimento no espraiamento

4.1.3 Perfis praias, profundidade de quebra, largura da arrebentação e declividade da praia.

As atividades de campo se iniciam pela determinação do perfil batimétrico transversal da praia no local do experimento. Este levantamento topográfico do fundo tem como objetivo determinar a sua morfologia ajudando na escolha dos pontos ideais de instalação das estações de medição, bem como, auxiliar na determinação da profundidade da água no ponto de quebra, largura da zona de arrebentação, declividade da praia na zona de surfe e considerando a posição média da linha d'água obter a área úmida da secção transversal do perfil entre as estações.

A batimetria dos perfis foi obtida com o auxílio de uma estação total marca Nikon, modelo DTM-330 e uma baliza regulável equipada com um prisma refletor. As medições têm seu início sobre as dunas frontais e as cotas são registradas a cada 10 m até a profundidade máxima permitida pela segurança do operador. Normalmente estas medições foram realizadas com segurança até a crista do segundo banco, contado a partir da face da praia. No total foram realizadas medições de perfil em seis diferentes pontos, três na Praia do Cassino e três na Praia do Mar Grosso, conforme descrição prévia. Para registro e apresentação dos dados foi utilizado o esquema metodológico apresentado por Birkemeier (1985).

A profundidade da água (h_b) no ponto de quebra das ondas é obtida diretamente do perfil transversal. É a distância vertical entre o fundo e a linha d'água medida no ponto de quebra. A posição média da linha d'água é definida em função da posição média entre o ponto de máximo e mínimo 'swash' registrados na face da praia durante os trabalhos de campo.

A largura média da zona de arrebentação (L_b) é estimada a partir de informações visuais obtidas de fontes aerofotográficas. Durante condições atmosféricas normais os dados foram obtidos de aerofotografias georeferenciadas obtidas com o auxílio do sistema digital ADAR-1000 (Fontoura & Hartmann, 2001). Durante a ocorrência de tempestades foram utilizadas aerofotos, obtidas com o auxílio do mesmo sistema, logo após a passagem da tempestade. Em algumas oportunidades, quando a largura da arrebentação era pequena, foi possível medi-la a partir da posição da estação total, isso

ocorreu em quase todas as campanhas de coleta de sedimento. Para este estudo a largura da zona de arrebentação é definida como sendo a distância horizontal entre a linha úmida na face praial e a posição da linha de quebra mais distante em direção ao oceano.

A inclinação da praia na zona de arrebentação é obtida diretamente do perfil transversal. A tangente do ângulo de inclinação ($\text{tg}\beta$) é determinada pela relação entre a profundidade da água no ponto de quebra (h_b) e a distância entre este e a linha úmida da face praial (L_b). A inclinação da praia é dada pela equação:

$$t_g\beta = \frac{h_b}{L_b} \quad (41)$$

Nas oportunidades em que o perfil não foi realizado a pendente da praia foi obtida com o auxílio do inclinômetro da bússola.

As figuras 16 (p.82) e 17 (p.83) ajudam a explicar estas operações.



Figura 16 – Levantamento de perfil com estação total Nikon DTM-330.



Figura 17 – Levantamento de perfil praiial com estação Nikon DTM-330.

4.1.4 Correntes longitudinais

Dentre a diversificada hidrodinâmica observada na zona de arrebentação tem especial interesse para este trabalho a intensidade e direção das correntes longitudinais. São estas o principal forçante do transporte lateral das partículas na região. A intensidade e direção das correntes são o resultado conjunto da quebra das ondas e do cisalhamento do vento. Os valores medidos são médios e foram feitos com o auxílio de bóia de deriva, cronômetro e trena. A região estudada é composta por praias oceânicas abertas sujeitas à ação constante dos ventos locais, cuidados especiais se impõem para evitar que o deslocamento do derivador represente mais a ação superficial do vento do que propriamente a velocidade do fluxo. O risco pode ser minimizado utilizando-se derivador lastreado, área restrita de exposição ao vento e ‘cross-vane’ submerso para facilitar o arraste pela corrente.

O derivador foi construído com garrafas vazias de refrigerantes de 2 litros, tipo ‘Pet’, recortadas e montadas com rebites de alumínio e lastreadas com areia fina. A

medição foi feita dentro da zona de arrebentação entre o ponto de quebra e a linha de praia. O ponto de liberação do derivador é marcado com uma baliza ao mesmo tempo em que é acionado o cronômetro (Fig 18, p.84). A garrafa é acompanhada durante um período de 3 a 5 minutos, dependendo da velocidade da corrente. Ao final do período escolhido o cronômetro é paralisado e o ponto sinalizado com outra baliza. A distância entre as balizas é medida com uma trena mantendo-se a medição sempre em linha reta e paralela a linha de praia. São feitas no mínimo três medição por perfil e então determinada a média. O valor médio é encontrado a partir da equação (40).

Os dados relativos a corrente longitudinal são comparados com a direção e velocidade do vento na superfície (valores pontuais concomitantes e registros médios), é avaliada a influência do vento na intensidade e direção da corrente, bem como a sua importância no transporte longitudinal de sedimentos. A influência do vento sobre as características da corrente é apresentada através de um diagrama de convergência entre a direção da corrente litorânea e a direção da componente do vento longitudinal a costa.



Figura 18 – Uso de derivador para medição da corrente longitudinal.

4.1.5 Ventos locais

A observação do vento é fundamental, dada sua importância na dinâmica costeira local. A ação do vento se manifesta de duas formas: (i) alterando as características das ondas locais (altura e direção) e (ii) governando a direção das correntes litorâneas. Os ventos, quanto a sua dominância, foram classificados em ventos normais (até 10 m/s) e ventos de tempestade (acima de 10 m/s). Os ventos normais foram medidos em concomitância com os dados de corrente, características das ondas na arrebentação e transporte sedimentar. Para complementar os valores medidos foram utilizados os dados de intensidade e direção registrados (três vezes ao dia) no banco de dados do Departamento de Meteorologia da FURG. Durante tempestades não ocorreram medições de campo, portanto, os dados se restringiram a consultas no banco acima referido ou a publicações atuais.

Os equipamentos utilizados nas medições de campo foram: um anemômetro portátil marca 'Davis Windmeter', para medir a velocidade do vento (valor médio e rajadas) e uma bússola para medir a direção. A direção do vento foi obtida instalando-se uma baliza na face da praia e afixando-se a ela uma biruta (2m acima do solo), a direção foi medida em relação ao norte, observando-se a direção da biruta. A velocidade do vento foi medida no mesmo ponto e na mesma cota com o auxílio do anemômetro. Os valores de direção e intensidade foram decompostos em componentes longitudinais e transversais à linha de praia para posterior correlação com os dados de correntes e ondas locais. As operações acima citadas podem ser vistas nas figuras 19 (p.86) e 20 (p.86).



Figura 19 – Registrando a direção do vento local.



Figura 20 – Registrando a velocidade do vento local.

4.1.6 Ondas

As ondas são as principais responsáveis por fluxos de fluido e sedimento dentro da zona de arrebentação. Estes fluxos são governados pelas quantidades de movimento introduzidas na zona de surfe após o processo de quebra da onda. A determinação do clima local de ondas é um trabalho de registro e avaliação estatística de longo prazo. O tamanho e a qualidade da amostra creditam ao processo estocástico características estacionárias e ergódicas, permitindo a aceitação do registro amostral como representativo da população estudada. Neste trabalho as ondas foram observadas e estudadas a partir de três fontes básicas: (i) o conhecimento dos registros e estudos realizados por Motta (1964), Strauch (1996) e Coli (2000), para dados pregressos em águas entre 15-20 m e já citados anteriormente; (ii) a obtenção de características atuais das ondas em águas profundas valendo-se de dados modelados pelo INPE; (iii) a obtenção das características atuais das ondas na zona de quebra determinadas através de medições de campo.

Todos os dados atuais, tanto em águas profundas como no ponto de quebra foram sempre adquiridos de forma concomitante, de tal forma que o conjunto de registros que compõe uma determinada campanha são o resultado de cálculos e medições realizadas para os mesmos instantes e intervalos de tempo.

Ondas em águas profundas

A impossibilidade técnica e financeira de se dispor de um ondógrafo direcional para informar as características das ondas em águas profundas (altura, período e direção) durante a elaboração dos trabalhos de campo obrigou a utilização de dados modelados pelo CPTEC/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil), para a costa do Rio Grande do Sul através do modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1997, 1999a) desenvolvido pelo NCEP (National Center of Environmental Prediction, USA) e utilizado pelo INPE em substituição ao modelo WAM-4 (WAMDIG, 1988; Komen et al., 1994). Os dados foram disponibilizados diariamente pela equipe do Dr. Valdir Inocentini em 'site' de acesso restrito da própria instituição.

O WAVEWATCH III é um modelo de ondas de terceira geração desenvolvido

pela NOAA/NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) dentro da concepção original do modelo WAM-4. É uma aprimoração do modelo WAVEWATCH I desenvolvido pela Delft University of Technology (Tolman, 1989, 1991) e do modelo WAVEWATCH II desenvolvido pela NASA, através do Goddard Space Flight Center (Tolman, 1992). Entretanto ele difere destes dois predecessores em importantes pontos, tais como: equações governantes, estrutura do modelo, método numérico e parametrização física. As equações governantes incluem refração e deformação do campo de ondas devido a variações espaciais e temporais da profundidade média da água e da corrente média, bem como o crescimento e decaimento das ondas devido à ação do vento, interações de ressonância não-linear, dissipação e fricção com o fundo. Os principais processos modelados são as interações vento-onda, onda-onda e a dissipação de ondas. O programa escrito em FORTRAN-90 e subdividido em vários módulos é rodado nos supercomputadores do CPTEC/INPE. Vale-se de uma grade com coordenadas de latitude e longitude regularmente espaçadas e é alimentado com dados de vento na superfície gerados pelo modelo atmosférico global do CPTEC (MCGA). Cada rodada do modelo gera previsões de altura significativa, direção, frequência e espectros direcionais para as regiões selecionadas e para períodos de 6 dias. Para o caso deste trabalho o modelo foi rodado para uma posição da costa ao largo da desembocadura da Lagoa dos Patos de coordenadas: 32°0'0"S e 48°45'0"W.

Tolman et ali. (2002) utilizando dados fornecidos por extensa rede de bóias e por dados de altimetria do ERS-2 (European Remote Sensing Satellite-2) mostraram que o WAVEWATCH III descreve a altura das ondas mais realisticamente, com melhor coeficiente de correlação e apresenta um erro padrão igual ou menor do que o modelo WAM-4, excedendo em desempenho a este, principalmente nas regiões tropicais e no hemisfério sul. Nas elevadas latitudes do hemisfério norte os dois apresentaram comportamento similar. Os autores salientam o fato de que a qualidade na previsão dos ventos é crítica para a previsão das ondas, isso implica em que as instituições capazes das melhores previsões de vento apresentem também as melhores previsões de ondas. Ainda segundo os autores, em regiões onde as ondulações (swell) representam a parte mais importante da base de dados, é suficiente validar o modelo para a altura das ondas. Isto se explica por que a predição exata das alturas das ondulações é criticamente dependente da

predição precisa dos períodos e dos espectros na área de geração dominante. Para maiores informações sobre o uso detalhado de dados espectrais na validação do WAVEWATCH III sugere-se Wingert et ali. (2001).

Bidlot et ali. (2002) compararam dados mensais de ondas obtidos durante três anos de observações em bóias e plataformas com predições de ondas feitas por um conjunto de modelos, dentre os quais o WAVEWATCH III. Os dados foram recolhidos e tratados por um grupo de cinco centros de estudos de predição de ventos e ondas (European Center for Medium-Range Weather Forecasts, United Kingdom Met Office, U. S. Navy's Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center, Meteorological Service of Canadá e National Centers for Environmental Prediction). Foram analisadas as eficiências global e regional dos modelos, bem como, as vantagens e desvantagens de cada um. Os autores observaram que o benefício incorporado pelo uso de modelo de terceira geração como o WAVEWATCH III se prende muito mais a predição do período de pico do que propriamente a altura das ondas. A predição destas acaba se beneficiando de forma indireta. Observaram também que os centros de estudo detentores da melhor qualidade na predição dos campos de ventos foram os que apresentaram os melhores resultados na predição das características das ondas.

Dados mensais de validação obtidos de bóias, altimetria e plataformas estão disponibilizados pela NOAA e NCEP a partir de março de 1997 até novembro de 2002. O desempenho do WAVEWATCH III é avaliado mensalmente pelo CPTEC/INPE comparando as previsões do modelo com dados observados. Para avaliar o desempenho do modelo são calculados 'rms' e 'bias' obtidos a partir das equações abaixo:

$$rms = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (42)$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (43)$$

$$IC = (P_i - O_i) \text{ para } -1,5hPa \leq (P_i - O_i) \leq 1,5hPa \quad (44)$$

onde IC= Índice de acerto da variável pressão ao nível do mar (PNMM) em

relação aos dados observados.

PI= Previsões do modelo interpolados no ponto de observação.

Oi= Dados observados.

n= número de observações.

Especificamente para este trabalho, dados diários de altura significativa de onda e períodos médios determinados pelo modelo WAVEWATCH III a partir dos campos de vento preditos pelo modelo atmosférico global (MCGA) para as coordenadas 32°0'0"S e 48°45'0"W, foram comparados com medições concomitantes realizadas para a mesma região por ondógrafo não direcional pertencente ao projeto PNBóia e fundeado nas coordenadas 32°54'40"S e 50°43'13"W. Dentre os dados obtidos foram selecionados 101 registros diários de altura significativa de onda e 75 registros diários de período de pico correspondentes aos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2001. A comparação entre os dados foi feita através de análise de correlação, determinando-se o coeficiente de determinação não tendencioso. A validação das características de altura significativa e período médio permitiram inferir a validade da direção de aproximação modelada apesar de não existirem dados medidos para validar esta característica.

Portanto, concluiu-se que adoção do modelo WAVEWATCH III como fonte de dados atuais das características das ondas em águas profundas é suficiente, pois os resultados gerados atendem perfeitamente as necessidades da presente pesquisa.

Ondas na zona de quebra

Optou-se também pela medição das características das ondas no ponto de quebra (altura, período e direção). Tanto quanto o transporte sedimentar, as características das ondas na arrebentação foram registradas somente em condições atmosféricas consideradas normais. Os registros foram feitos no campo resguardando-se as características visuais do dado através de filmagem em VHS. A extração e análise do dado (altura de quebra e período) foram realizadas posteriormente em ambiente controlado de laboratório. As principais vantagens observadas na utilização de filmadora para registro de campos de ondas na arrebentação são:

1. Registro e armazenamento cinemático do dado garantindo a sua

- disponibilidade futura.
2. Recuperação posterior do dado para análise em ambiente controlado de laboratório.
 3. Possibilidade de análise de detalhes através da observação repetida do mesmo dado.
 4. Possibilidade de obtenção do dado no campo mesmo durante a ocorrência de eventos de alta energia.
 5. Disponibilidade de equipamentos funcionais com baixo investimento.

Enquanto que as principais desvantagens são:

1. Registro apenas dos aspectos visuais do dado, de forma que as grandezas não geométricas são perdidas.
2. Perda de precisão na medida devido à impossibilidade de usar uma régua com escala métrica que permita a comparação visual entre o dado e a grandeza.
3. Perda da exatidão da medida face o uso de escala virtual de referência e erros acumulados durante as medições realizadas sobre tela de vídeo durante o trabalho de laboratório.

A filmagem dos campos de ondas foi feita com uma filmadora Panasonic PV-908 VHS ('zoom': 12 vezes), firmemente afixada a face da praia por um tripé reforçado capaz de evitar movimentos indesejados causados pelo vento (Fig 21, p.93). Uma baliza, marcada com segmentos coloridos de meio metro (preferencialmente branco e vermelho intercalados), é afixada na linha de quebra, no ponto mais distante possível de ser alcançado por um homem a pé (geralmente segundo banco). A filmadora é colocada no modo automático e o quadro de filmagem fixado colocando a baliza no seu ponto central. A filmadora é ligada durante 10 minutos, tempo suficiente para obter um registro de pelo menos 30 ondas com potencial de aproveitamento. A posição da filmadora deve permitir imagens que permitam visualizar com clareza a cava e a crista da onda no ponto balizado.

No laboratório o filme é reproduzido num vídeo-cassete marca Toshiba e as alturas e os períodos das ondas medidos na tela da televisão. Inicialmente é estabelecida a escala da imagem calculando a razão entre o comprimento do segmento colorido da

baliza (branco ou vermelho) medido sobre a imagem parada e o seu comprimento real (meio metro). A seguir enquanto o filme é reproduzido em velocidade normal o operador deve observar o momento em que a onda, próxima a baliza, empola e começa a quebrar. O quadro deve ser parado no instante em que a crista do vagalhão alcança o seu ponto mais alto. Com o auxílio de um compasso de pontas secas é obtida a distância vertical entre a crista do vagalhão e a sua base. O valor da medida é tomado sobre uma régua com escala métrica. Os valores adquiridos são posteriormente corrigidos pela escala da imagem. São obtidas as alturas de quebra de pelo menos 30 ondas a partir das quais é calculado o valor médio (rms) do registro com o auxílio da equação:

$$H_{rmsb} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{b(i)}^2} \quad (45)$$

onde $H_{b(i)}$ é a altura de quebra da onda 'i' e N o número de medições realizadas.

O período médio também é extraído dos registros em VHS mediante análise em laboratório. Conta-se o número de ondas que passam pela baliza (foram usados um mínimo de 30 ondas) dentro de um determinado intervalo de tempo, registrado com o auxílio de um cronômetro a partir da passagem da primeira onda. O valor médio é expresso pela razão entre o intervalo de tempo e número de ondas contadas.

$$\bar{T} = \frac{t}{N} \quad (46)$$

onde 't' é o intervalo de tempo em segundos e N o número de ondas que passam pela baliza neste mesmo intervalo.

O ângulo de incidência da onda no ponto de quebra é determinado visualmente, com o auxílio de uma bússola de mão, com o observador localizado sobre a linha de quebra e a mira da bússola alinhada segundo a frente de onda (Fig 22, p.93). Para este trabalho foi utilizada uma bússola marca Silva, tipo 15TDCL, construída em material plástico, com inclinômetro e específica para utilização em condições oceânicas. É medido o ângulo entre a frente da onda e norte magnético. Posteriormente este ângulo é corrigido da declinação magnética e determinado o ângulo de incidência da onda em relação a normal a linha de praia.



Figura 21 – Filmagem dos campos de ondas.



Figura 22 – Determinação do ângulo de incidência das ondas na arrebentação.

4.2 Descrição matemática da corrente longitudinal e do transporte litorâneo

4.2.1 Introdução

Para descrição matemática da corrente são testadas oito equações empíricas disponíveis na literatura e constantes da tabela 1 (p.96). Os valores encontrados são comparados estatisticamente com os dados medidos. Para tanto é utilizado um teste de estatístico de hipótese com nível de significância de 5%, estabelecendo, com isto, um critério quantitativo de escolha da melhor equação. Especificamente neste caso foi utilizado o teste de significância para a igualdade de duas médias conforme Fonseca & Martins (1993).

As equações de transporte apresentadas na tabela 2 (p.97) também são testadas para os valores medidos considerado um nível de significância de 5%. Dentre as equações testadas duas foram selecionadas para extrapolar os dados de transporte para o período de 1 ano. As duas equações escolhidas foram calibradas para as condições locais valendo-se dos dados medidos em condições atmosféricas normais.

As equações escolhidas são: CERC e KAMPHUIS-91. Estas equações depois de calibradas receberam a extensão 'Cassino' (.cas). A equação do CERC foi escolhida por ser uma das mais conhecidas e utilizadas e por se adequar a praias oceânicas retas, sem correntes de maré, $D_{50} \approx 0,2$ mm e baixa declividade. A equação de Kamphuis-91 (K-91) foi escolhida por introduzir no cálculo aspectos morfométricos e sedimentológicos importantes como a declividade da praia e o diâmetro do sedimento. Estas duas equações também foram utilizadas para aproximar o transporte durante eventos extremos.

Devido à ausência de dados de transporte medidos durante tempestades (limitação da metodologia utilizada) não foi possível calibrar as equações de transporte para estas condições, portanto serão utilizadas, neste caso, as equações CERC (1973) [Equação (56)] e Inmam & Bagnold (1963) [Equação (62)] testadas e preconizadas por Miller (1999). Como a equação (62) necessita dos valores da corrente longitudinal para sua avaliação e estes valores não estão disponíveis para situações de eventos extremos, foi utilizada para seu cálculo a equação (48) estudada e preconizada por Lanfredi &

Framiñan (1986) para condições atmosféricas severas (outono e inverno) em praia do sul da Argentina (praia Union, Chubut) e por Toldo Jr. et ali. (1993) para a praia de Tramandaí.

Calibração das equações de transporte

As equações (56) e (64) são calibradas para as condições locais de transporte longitudinal valendo-se das oito medições realizadas com ‘traps’ ao longo dos seis perfis estudados. A partir destes conjuntos de dados, adquiridos sob condições atmosféricas normais, os coeficientes empíricos (K) das equações são redimensionados através de aproximações sucessivas, até que as novas equações aproximem em ordem de grandeza os valores do transporte encontrados no ambiente.

O fluxo de energia da onda ao longo da praia foi avaliado pela equação (47) abaixo descrita:

$$E = \frac{1}{16} \cdot \rho \cdot g \cdot H_{sb}^2 \cdot \frac{L_b}{T} \cdot \text{sen}2\alpha_b \quad (47)$$

Tabela 1 - Equações empíricas da velocidade da corrente longitudinal, disponíveis na literatura e escolhidas para comparação com dados obtidos na região de interesse.

V(velocidade da corrente) (m/s); m(declividade do fundo); g(constante gravitacional); H_b (altura da onda no ponto de quebra); α_b (ângulo de incidência da onda no ponto de quebra);K(coeficiente empírico); T(período da onda); β (arc tg m); Cf(coeficiente de fricção).

Item	Autor	Equação
1	Longuet-Higgins Modif.CERC (1973)	$V = 20,7.m.(g.H_b)^{1/2} \text{sen}2\alpha_b$ (48)
2	Komar (1975)	$V = 2,7.Um.\text{sen}\alpha_b.\text{cos}\alpha_b$ $Um = 0,4416(g.H_b)^{1/2}$ (49)
3	Komar& Inman (1970)	$V = 2,7.Um.\text{sen}\alpha_b$ $Um = 0,4416(g.H_b)^{1/2}$ (50)
4	Galvin & Eagleson (1965)	$V = K.g.m.T.\text{sen}2\alpha_b$ (51)
5	Harrison (1968)	$V = -0,1705 + 0,0374\alpha_b + 0,0318T + 0,2412H_b + 0,0309\beta$ (52)
6	Per Bruun (1963)	$V = Cf \left[\frac{H_b^{3/2}.m.\text{sen}2\alpha_b}{T.g^{1/2}} \right]^{1/2}$ (53)
7	Putnam et ali. (1949)	$V = \frac{a}{2} \left[\left(1 + \frac{4.c_b.\text{sen}\alpha_b}{a} \right)^{1/2} - 1 \right]$ $a = 2,61.m.H_b.\text{cos} \frac{\alpha_b}{K.T}$ $c_b = (2,28.H_b)^{1/2}$ (54)
8	Inman & Quinn (1952)	$V = \left[\left(\frac{1}{4.\varepsilon^2} + c_b.\text{sen}\alpha_b \right)^{1/2} - \frac{1}{2.\varepsilon} \right]^2$ $\varepsilon = 108 \left(\frac{H_b}{T} \right) m.\text{cos}\alpha_b$ $c_b = (2,28.H_b)^{1/2}$ (55)

Tabela 2 - Equações empíricas da intensidade do transporte longitudinal, disponíveis na literatura, escolhidas para comparação com dados obtidos na região de interesse.

Q(vazão de transporte); E(equação do fluxo de energia da onda ao longo da praia) [equação (47)]; ρ (massa específica da água); g(constante gravitacional); H_b (altura da onda no ponto de quebra); C_b (celeridade da onda no ponto de quebra); α_b (ângulo de incidência da onda no ponto de quebra); m_b (declividade da praia na zona de surfe); D_{50} (diâmetro mediano do grão); T(período da onda); L_0 (comprimento da onda em águas profundas); γ (coeficiente de quebra); p (porosidade); s (ρ_s/ρ); K (coeficiente empírico).

Item	Autor	Equação
1	CERC (1973)	$Q_s = \frac{K}{16(s-1)(1-p)} \sqrt{\frac{g}{\gamma}} H_{sb}^{5/2} \cdot \text{sen}2\alpha_b (m^3 / s)$ $K = 0,77$ $s = 2,58$ $p = 0,4$ $K = 0,39(\text{Miller}, 1999)$ (56)
2	Watts (1953)	$Q_s = 11130.E^{0,9} (m^3 / ano)$ (57)
3	Komar (1969)	$Q_s = 7325.E (m^3 / ano)$ (58)
4	Caldwell (1956)	$Q_s = 10810.E^{0,8} (m^3 / ano)$ (59)
5	Savage (1962)	$Q_s = 4110.E (m^3 / ano)$ (60)
6	Inman & Bagnold (1963)	$Q_s = 3945.E (m^3 / ano)$ $I_l = 0,044 \cdot \rho \cdot g \cdot H_{sb}^2 \cdot V (m^3 / h)$ <p>V= corrente longitudinal (m/s)</p> (61) e (62)
7	Kamphuis et ali. (1986)	$Q_s = 1,28 \frac{m_b \cdot H_b^{7/2}}{D_{50}} \cdot \text{sen}2\alpha_b (Kg / s)$ (63)
8	Kamphuis (1991)	$Q = 1,3 \cdot 10^{-3} \frac{\rho H_{sb}^3}{T_p} \left(\frac{H_{sb}}{L_0} \right)^{-1,25} m_b^{0,75} \left(\frac{H_{sb}}{D_{50}} \right)^{0,25} (\text{sen}2\alpha_b)^{0,6} (Kg/s)$ (64) <p>T_p= período de pico L_0= comprimento em águas profundas</p>

5. RESULTADOS

Introdução

Este capítulo foi dividido em duas partes, a primeira dedicada à apresentação dos resultados obtidos nas medições de campo e a segunda dedicada à calibração e aplicação das equações empíricas a fim de aproximar matematicamente os resultados obtidos nas medições de campo.

Os resultados medidos são apresentados em duas partes distintas: a primeira dedicada às grandezas hidrodinâmicas (ondas e correntes longitudinais) e a segunda abordando especificamente o transporte de areia, com ênfase no transporte longitudinal (objeto da pesquisa de tese). São apresentados também alguns resultados obtidos da medição do transporte no espraiamento. Todos os dados medidos foram organizados e tratados com o auxílio de ferramentas computacionais e recursos gráficos para oferecer uma visão didática do comportamento dos fenômenos locais.

No total foram realizadas 50 campanhas de medições distribuídas pelos 6 perfis observados durante as quatro estações do ano. Do total, 42 campanhas foram dedicadas exclusivamente a medições hidrodinâmicas (ondas na arrebentação, correntes longitudinais e ventos) enquanto que 8 campanhas foram dedicadas concomitantemente a medições hidrodinâmicas e transporte de areia. Estes serviram para ajustar as equações empíricas ao comportamento local dos fenômenos costeiros.

São utilizados dados locais para validar as características das ondas previstas pelo INPE e para construir um diagrama de convergência entre a corrente longitudinal e a direção dos ventos na costa. São apresentadas, também, as taxas de transporte por arraste de fundo (bedload) e transporte em suspensão (suspended load).

A seguir são calibradas com os dados locais as duas equações de transporte retiradas da literatura especializada (CERC e K-91) e escolhidas por critérios de testes estatísticos dentre um conjunto de equações listadas.

As equações depois de calibradas têm seus resultados comparados estatisticamente (testes de hipóteses) com os dados medidos e posteriormente são utilizadas para extrapolar o comportamento médio da taxa de transporte longitudinal

predizendo as taxas de transporte total e líquido na área de interesse considerando condições atmosféricas normais e ocorrência de tempestades costeiras.

Para ajuste das equações empíricas e extrapolação dos dados visando a obtenção de uma taxa média anual para a área de interesse sob condições atmosféricas normais, foram utilizados os dados de transporte medidos nas 8 campanhas anteriormente referidas, enquanto que para o transporte em condições extremas foram utilizados dados retirados de Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).

5.1 Medições de campo

5.1.1 Dados hidrodinâmicos

Ondas

A seguir são apresentados os resultados das medições de ondas na linha de arrebentação da área de interesse (Fig 23, p.100 a 37, p.110). Também são apresentados dados referentes às características das ondas em águas profundas, resultantes da modelagem do INPE para a mesma região. Estes dados foram modelados para as mesmas condições atmosféricas reinantes nas datas de realização dos trabalhos de campo e os resultados obtidos comparados com dados locais através de correlação estatística.

A fim de mostrar as alterações ocorridas na direção de incidência das ondas durante seu deslocamento sobre a plataforma são apresentados os resultados obtidos por Coli (2000) para ondas medidas na profundidade de 15 metros.

Os dados coletados são tratados com ferramentas computacionais gráficas e organizados por suas grandezas características simples ou através de composições entre elas.

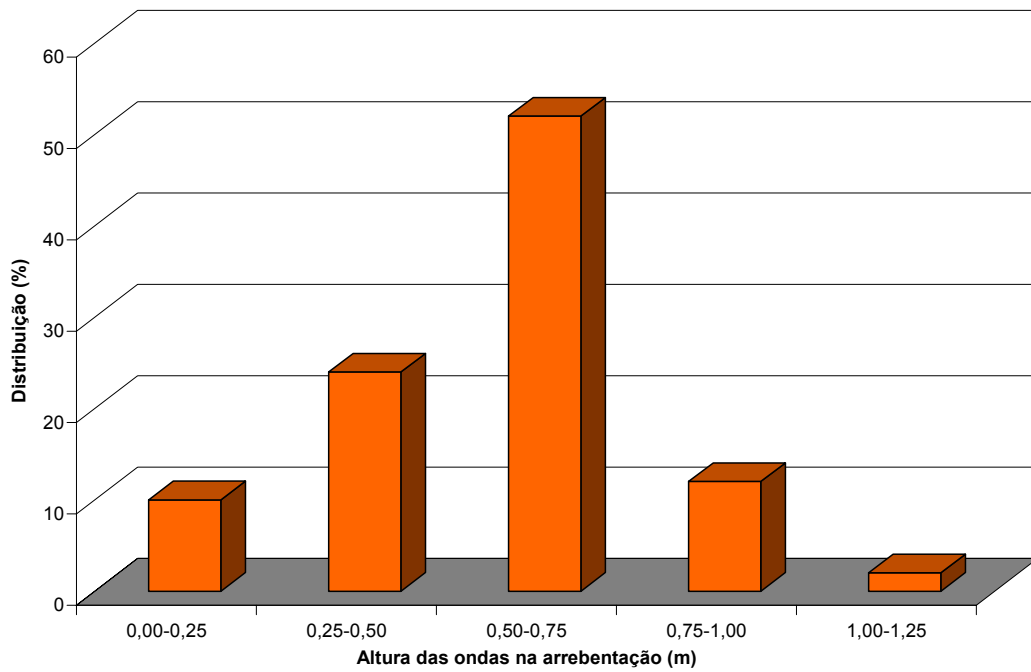


Figura 23 - Distribuição das alturas 'rms' das ondas observadas na linha de arrebentação da área de interesse.

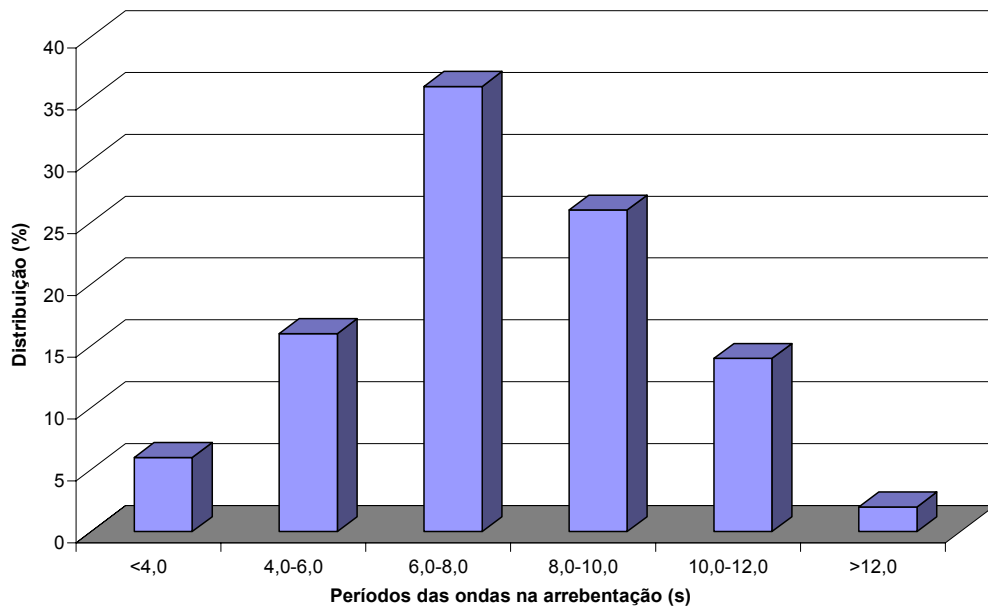


Figura 24 - Distribuição dos períodos 'rms' das ondas observados na linha de arrebentação da área de interesse.

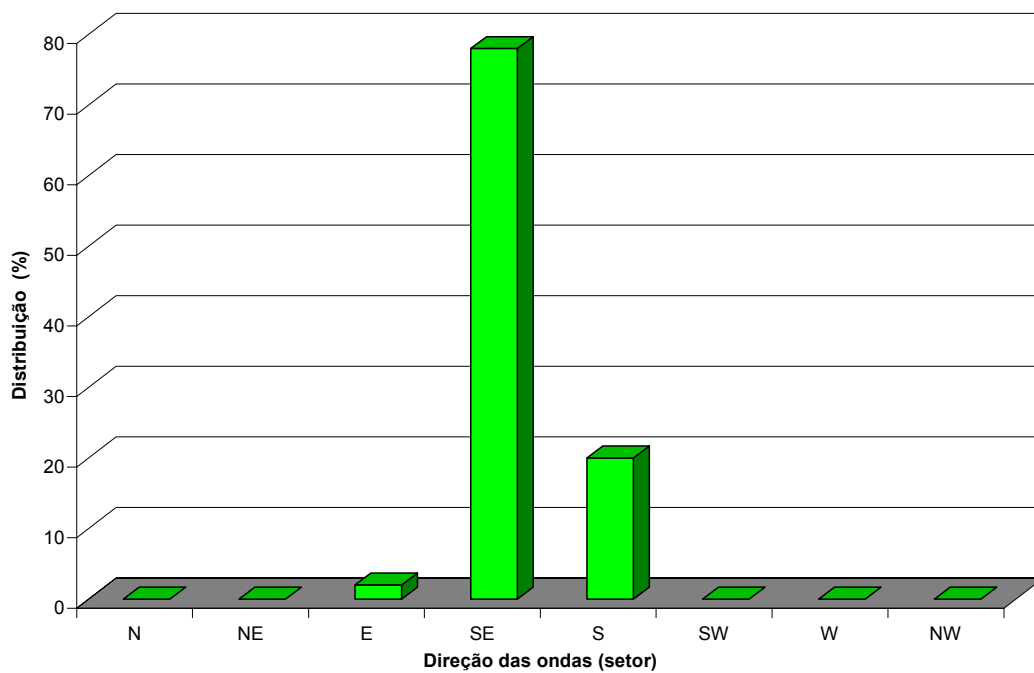


Figura 25 - Direção de incidência das ondas na linha de arrebenção da área de interesse.

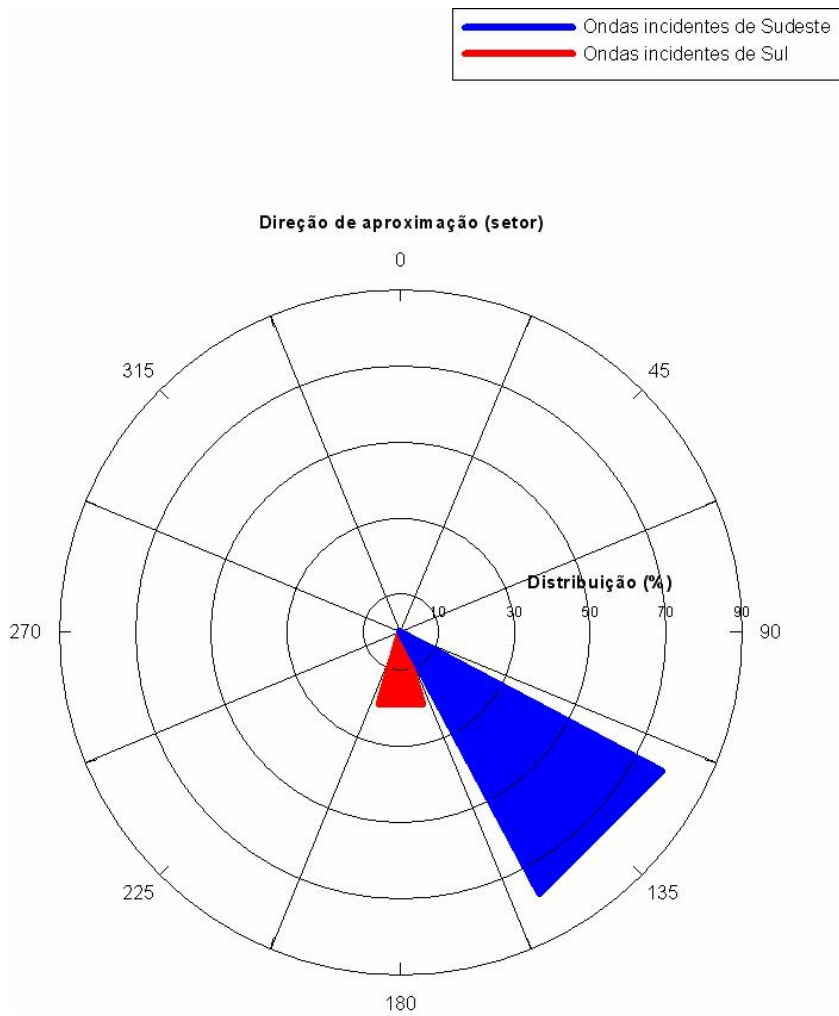


Figura 26 - Distribuição geral das ondas segundo a sua direção de aproximação na linha de arrebenção.

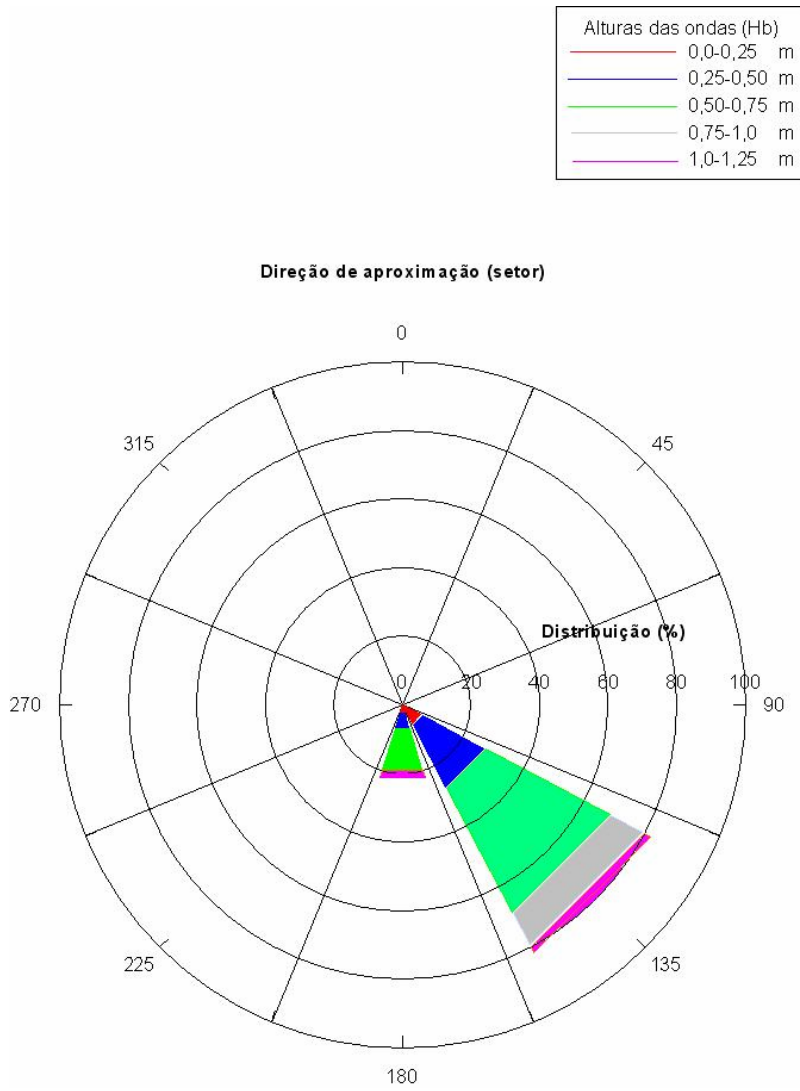


Figura 27 - Distribuição das ondas segundo a altura (H_{rmsb}) e direção de incidência na linha de arrebentação.

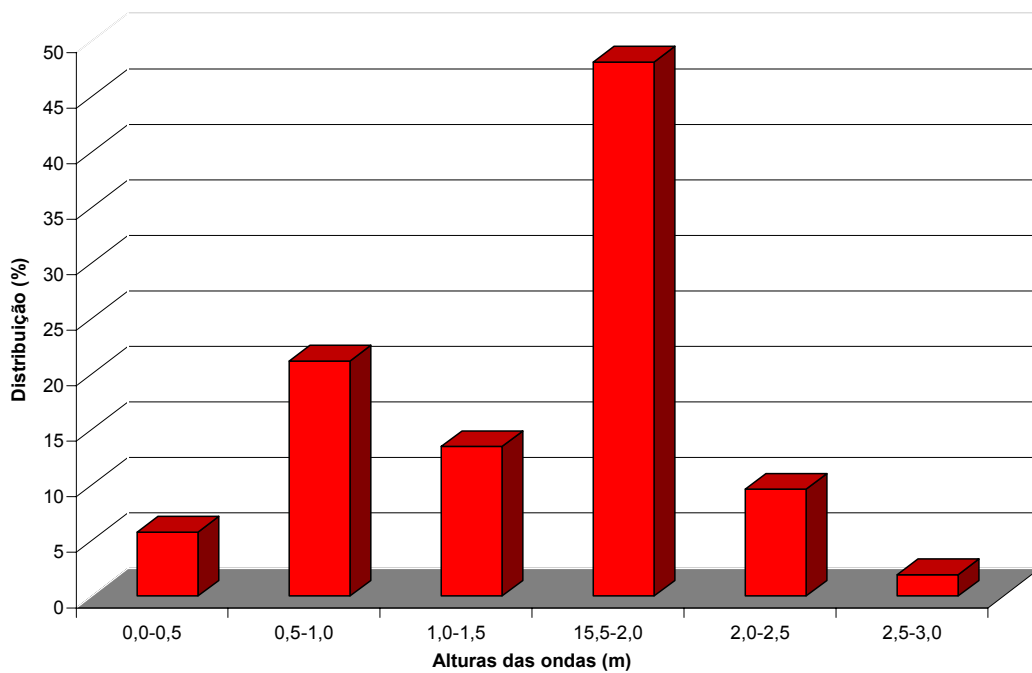


Figura 28 - Distribuição das alturas significativas das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com as datas de coleta dos dados de campo.

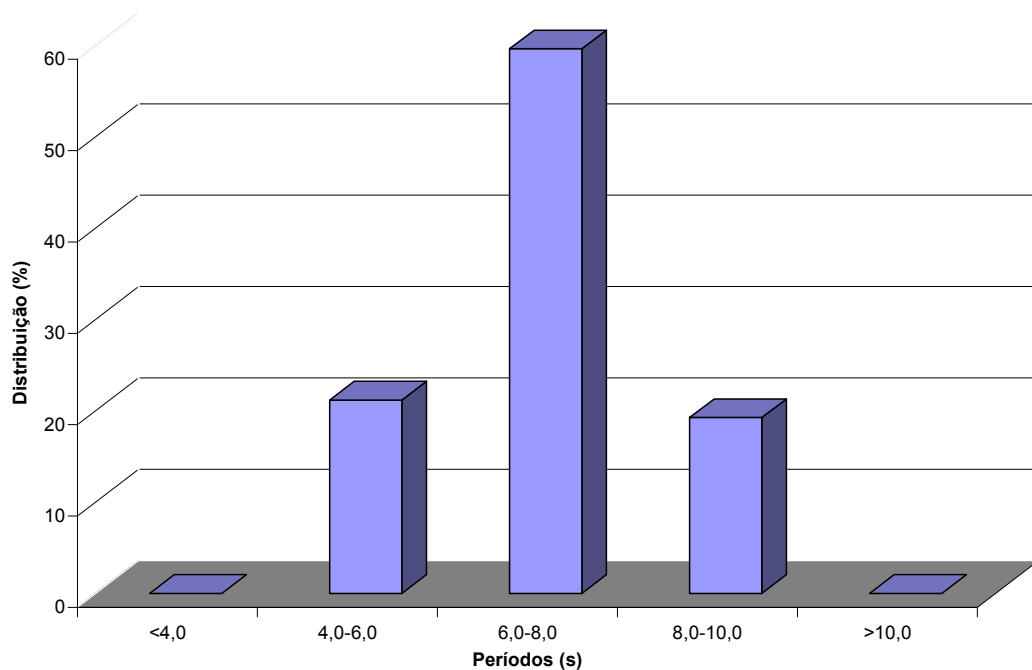


Figura 29 - Distribuição dos períodos de pico das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com as datas de coleta dos dados de campo.

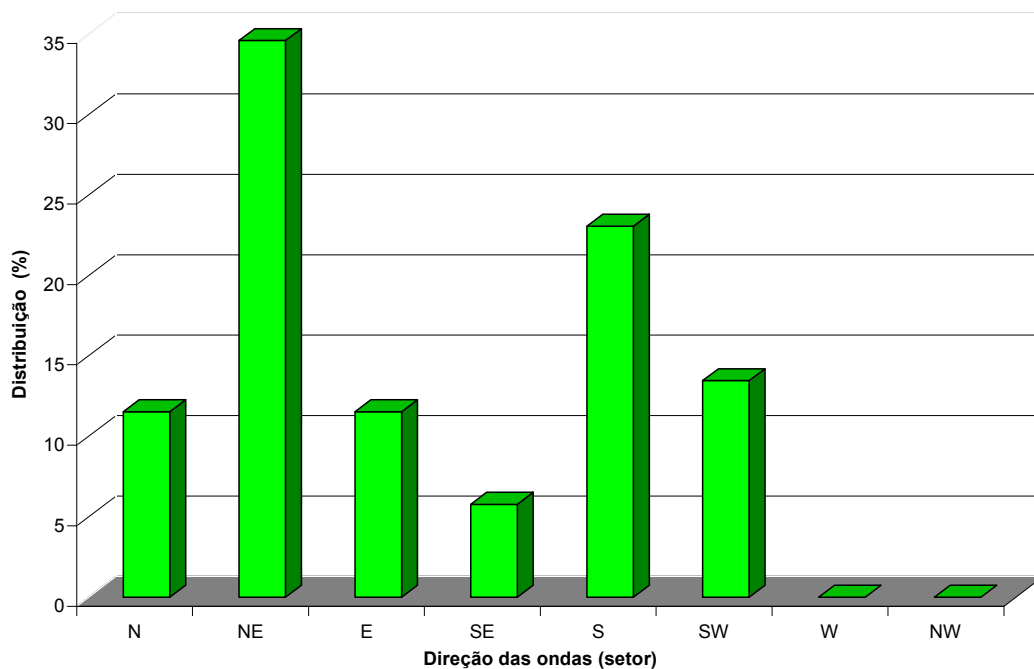


Figura 30 - Direção de incidência das ondas em águas profundas modeladas pelo INPE em concomitância com as datas de coleta dos dados de campo.

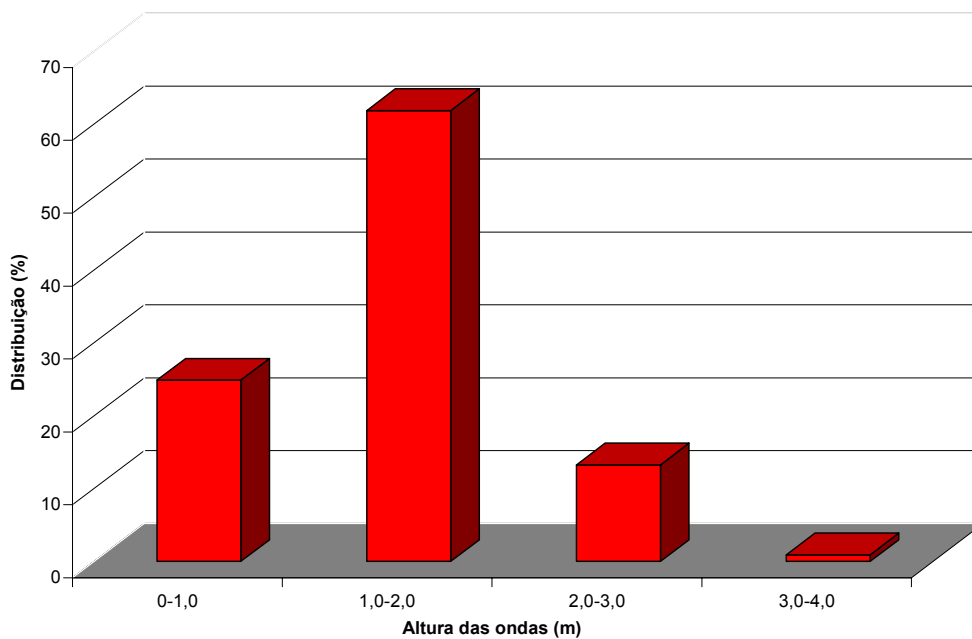


Figura 31 - Distribuição das alturas significativas das ondas medidas na profundidade de 15 metros e apresentadas por Coli (2000) para o período Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).

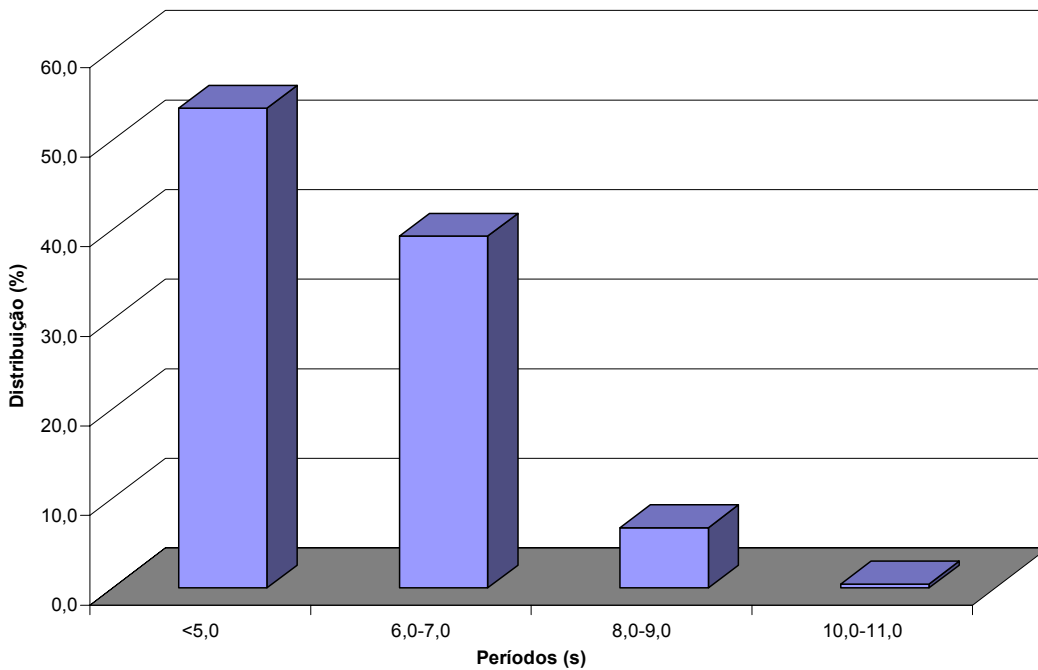


Figura 32 - Distribuição dos períodos das ondas medidos na profundidade de 15 metros e apresentados por Coli (2000) para o intervalo Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).

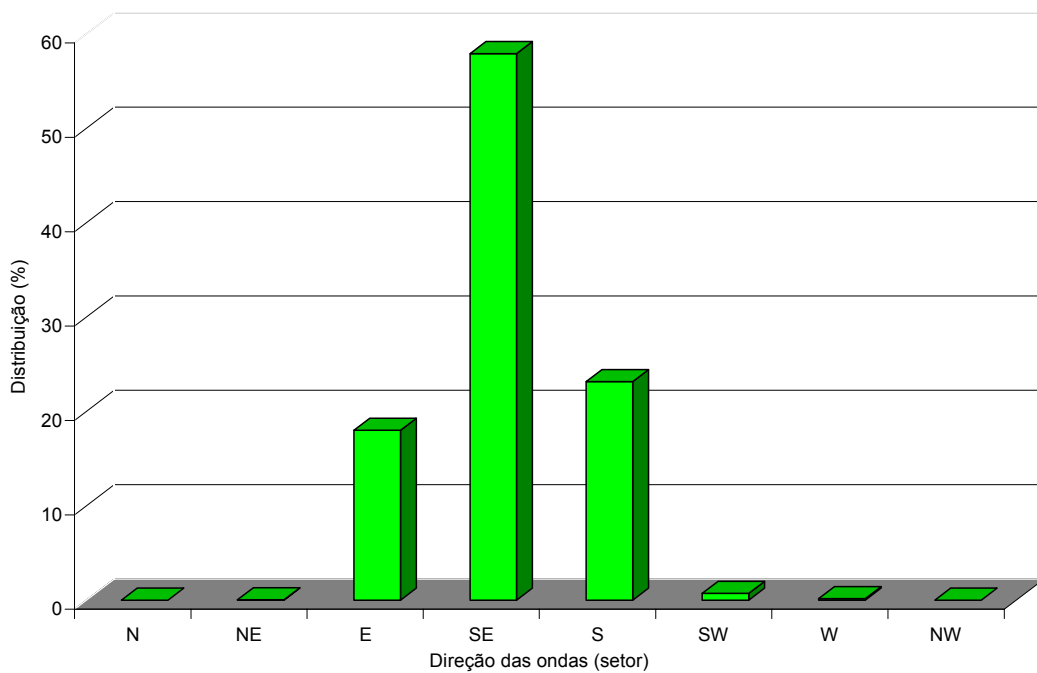


Figura 33 - Direção de incidência das ondas medidas na profundidade de 15 metros e apresentadas por Coli (2000) para o período Out/96 - Ago/97 (figura construída pelo autor valendo-se dos dados publicados por Coli, 2000).

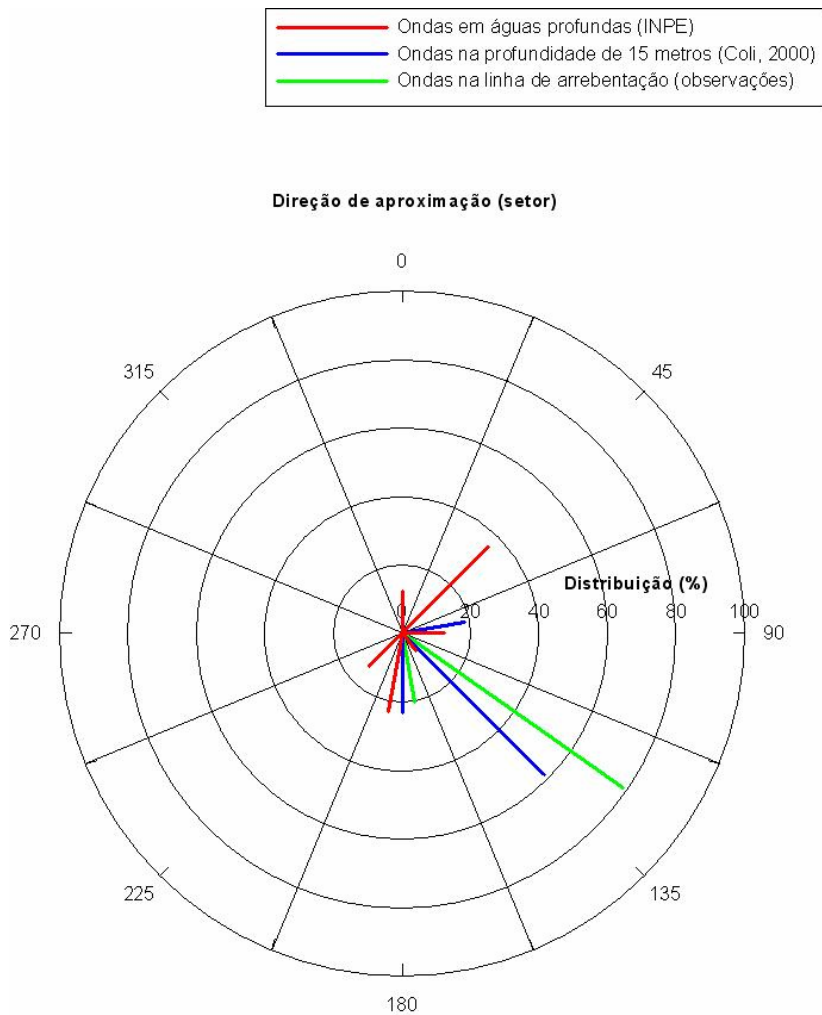


Figura 34 - Distribuição das ondas segundo a sua direção de aproximação em águas profundas, na profundidade de 15 metros e na linha de arrebitação, respectivamente.

Ondas em águas profundas

Validação do WAVEWATCH III para dados locais

A seguir 101 registros diários de alturas significativas de ondas e 75 registros diários de períodos de pico das ondas modelados pelo INPE para a profundidade de 3000 m são comparados estatisticamente com o mesmo número de valores diários de alturas significativas e períodos de pico medidos concomitantemente por ondógrafo não direcional fundeado em frente à desembocadura da Lagoa dos Patos nas coordenadas 32°54'40"S e 50°43'13"W e gerenciado pelo projeto PNBóia (100 m de profundidade).

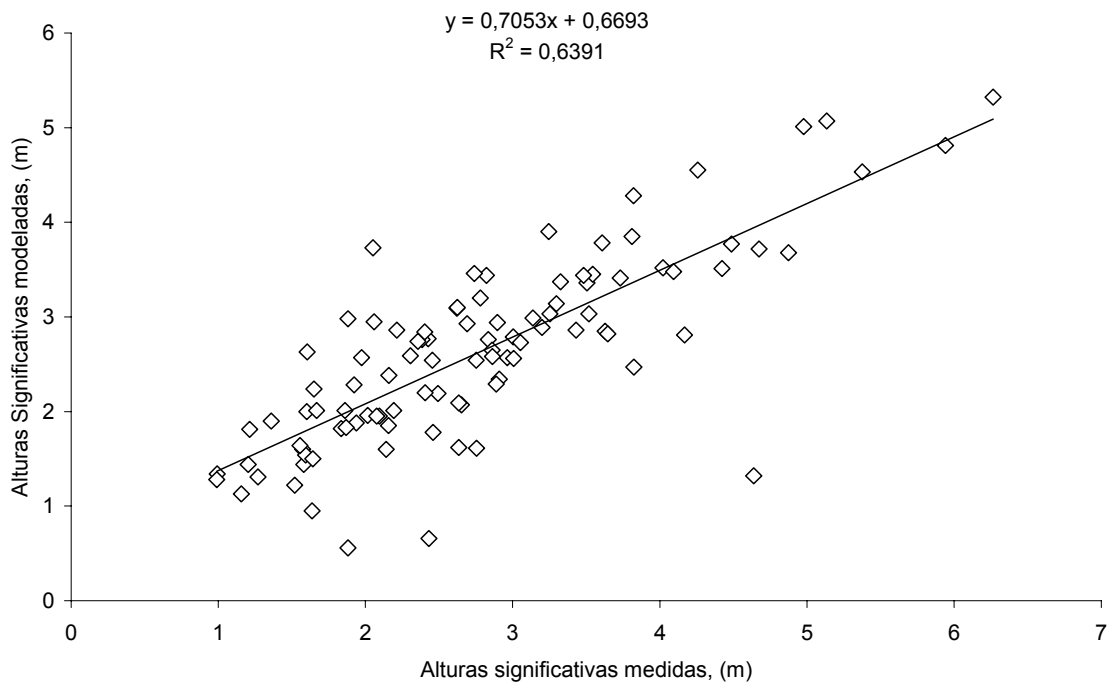


Figura 35 – Correlação entre os valores das alturas significativas das ondas medidas em águas profundas pelo Projeto PNBóia e as alturas significativas das ondas modeladas pelo INPE para a mesma região e nas mesmas datas (Set-Dez /2001).

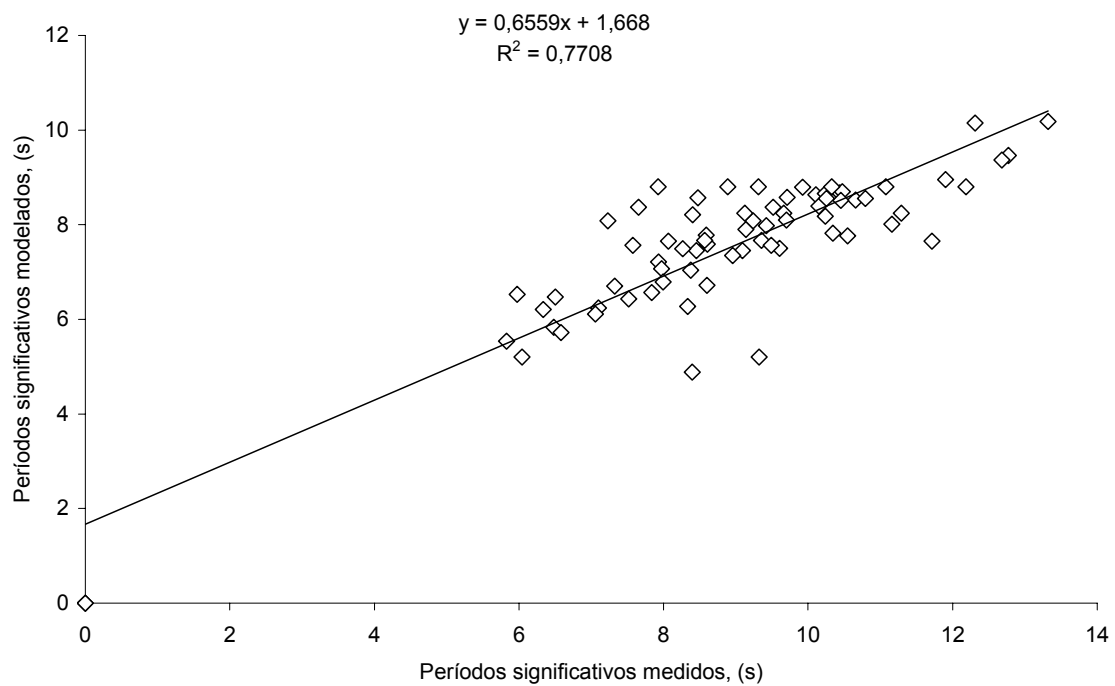


Figura 36 – Correlação entre os valores dos períodos significativos das ondas medidas em águas profundas pelo Projeto PNBóia e os períodos significativos das ondas modelados pelo INPE para a mesma região e nas mesmas datas (Set-Dez /2001)

Correntes longitudinais

Os dados referentes à intensidade e direção das correntes longitudinais foram trabalhados com o auxílio de ferramentas computacionais gráficas e são apresentados a seguir. São mostrados os percentuais do fluxo para NE e SW e a distribuição destes fluxos segundo suas diferentes intensidades, bem como, a participação individual de cada um deles na dinâmica total. São avaliadas também as convergências entre a direção da componente longitudinal do vento na costa e o sentido da corrente longitudinal. Os resultados são apresentados abaixo nas figuras 37 (p.110) a 42 (p.113).

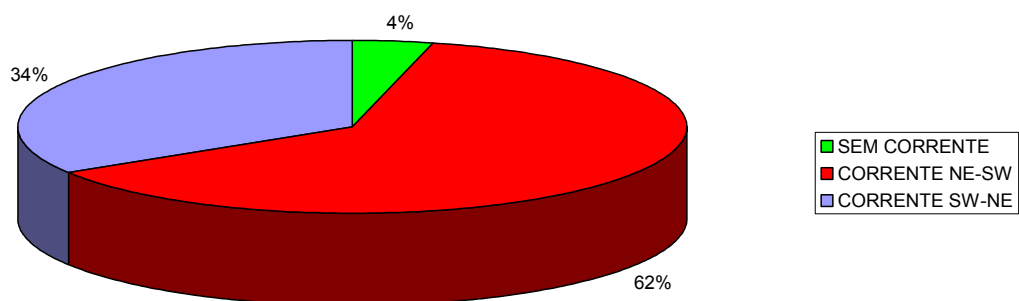


Figura 37 - Distribuição das correntes longitudinais segundo a direção do fluxo, medidas durante o período de observações na área de interesse.

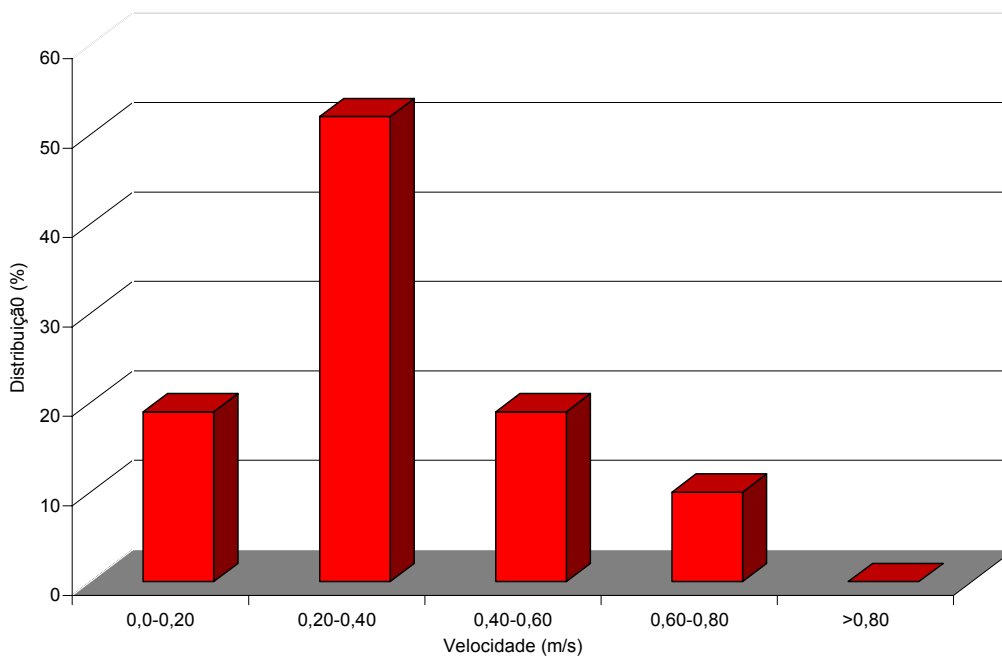


Figura 38 - Distribuição das velocidades da corrente longitudinal segundo a direção de fluxo NE-SW.

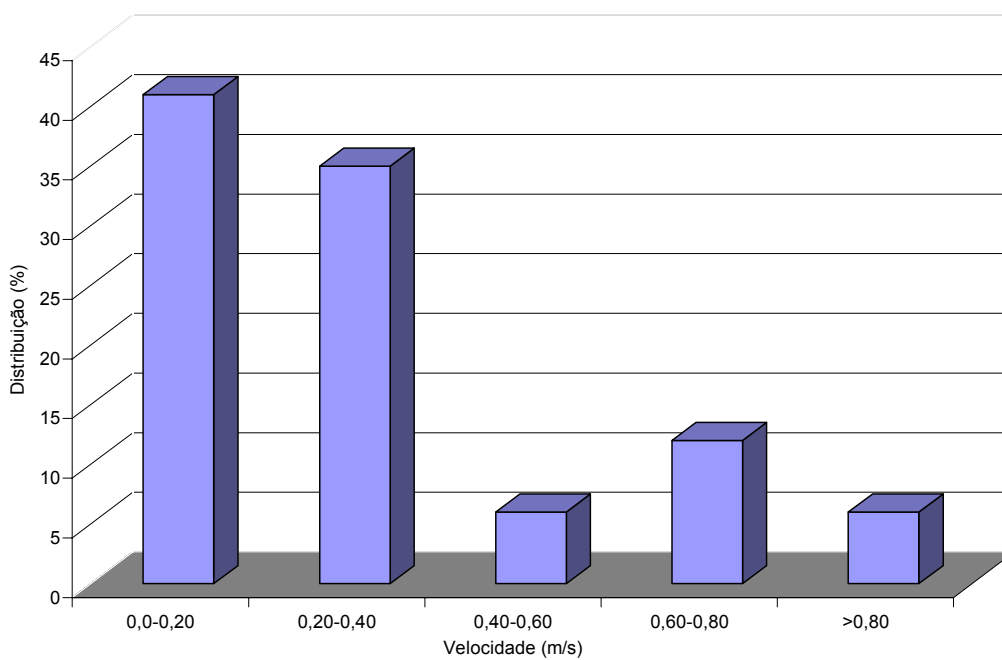


Figura 39 - Distribuição das velocidades da corrente longitudinal segundo a direção de fluxo SW-NE.

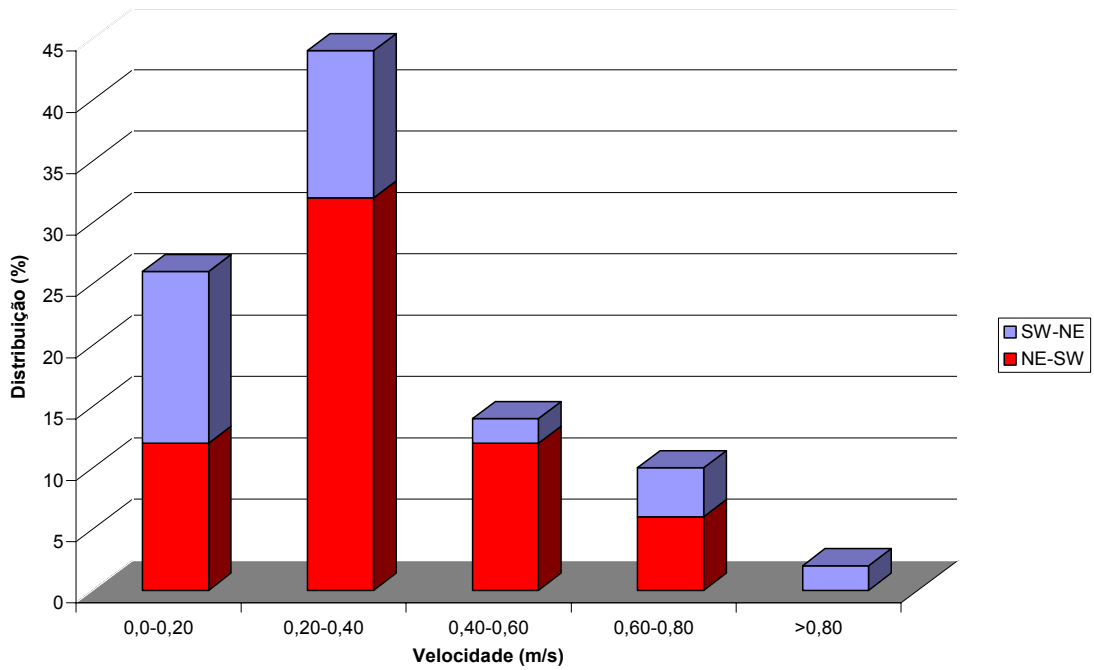


Figura 40 - Distribuição comparativa das velocidades da corrente longitudinal segundo as direções de fluxo NE-SW e SW-NE

Influência do vento na direção das correntes

(Diagrama de convergência entre ventos e correntes)

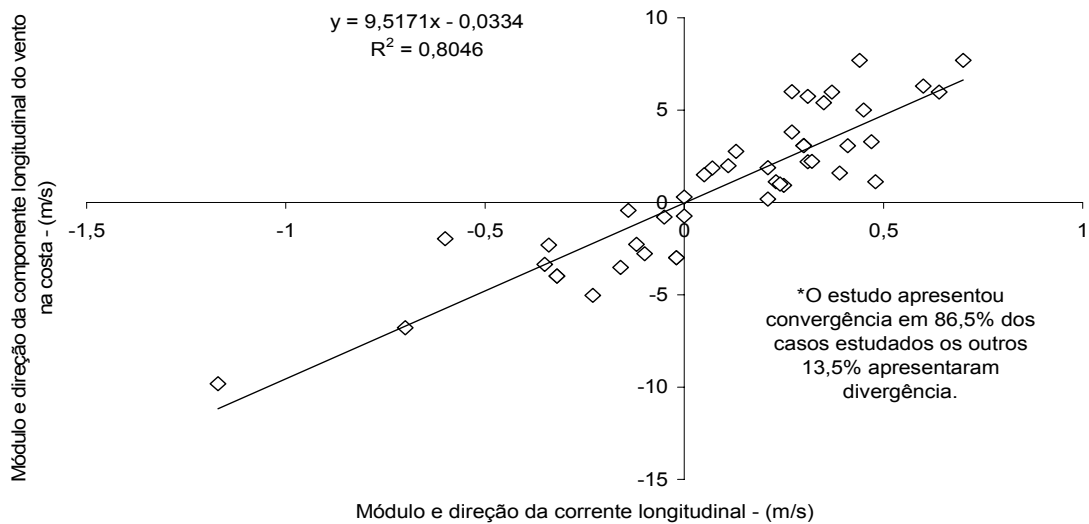


Figura 41 – Diagrama de convergência entre a direção da corrente longitudinal e a direção da componente do vento longitudinal a costa; dados obtidos nos seis perfis observados; NE-SW (+) e SW-NE (-).

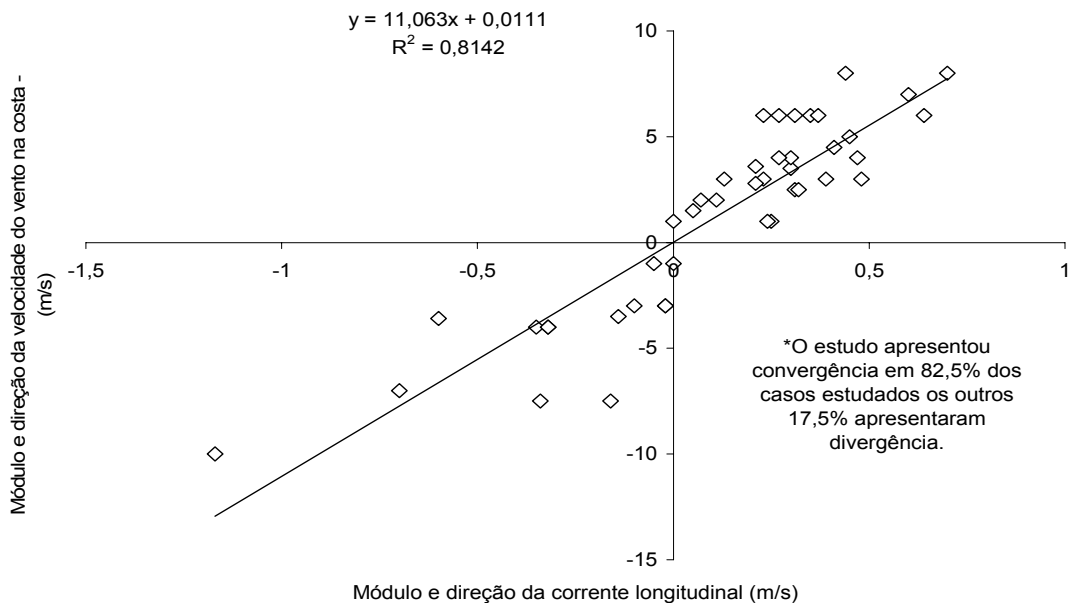


Figura 42 – Diagrama de convergência entre a direção da corrente longitudinal e a direção do vento na costa; dados obtidos nos seis perfis observados; NE-SW (+) e SW-NE (-).

5.1.2 Dados sobre transporte longitudinal e características sedimentológicas das areias transportadas.

Os resultados referentes à deriva litorânea de areia na área de interesse, objeto principal desta pesquisa de tese, estão totalmente voltados para dentro da zona de surfe definida neste trabalho como sendo o espaço compreendido entre a linha de quebra das ondas e o ponto de máximo 'swash' sobre a face praial (incorporando, portanto, a zona de espraiamento). As medições foram realizadas de forma sistemática e padronizada nos seis perfis, seguindo estritamente a metodologia escolhida. As medições estão listadas por perfil observado e no final são apresentados alguns valores médios para a área de interesse. São apresentados também, a título de ilustração, alguns valores de transporte medidos no espraiamento.

Da mesma forma são mostrados dados referentes à composição sedimentológica das areias transportadas em cada um dos perfis estudados. São mostrados os valores dos diâmetros dos sedimentos em cada um dos níveis e estações de coleta, bem como a contribuição de cada nível para a formação do valor médio do perfil. No final são apresentados os valores médios da região de interesse. As características sedimentológicas das areias transportadas no espraiamento são apresentadas unicamente para valores médios da região de interesse.

São medidas e comparadas as taxas de sedimentos transportados por arraste de fundo e em suspensão.

Os dados foram tratados e organizados com auxílio de ferramentas computacionais e são apresentados considerando os diferentes níveis de coleta e estações. Os resultados são apresentados a seguir nas figuras 43 (p.116) a 128 (p.168).

PERFIL-1 (P1)

Localizado 10 Km ao sul do Molhe Oeste, na praia do Cassino, em frente à Estação de Maricultura da FURG (EMA), no ponto de coordenadas $32^{\circ}12'36''\text{S}$ e $52^{\circ}10'48''\text{W}$, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Neste perfil foram observadas 3 linhas de arrebentação, entretanto somente foi possível coletar amostras nas duas linhas mais próximas da praia.

Transporte longitudinal

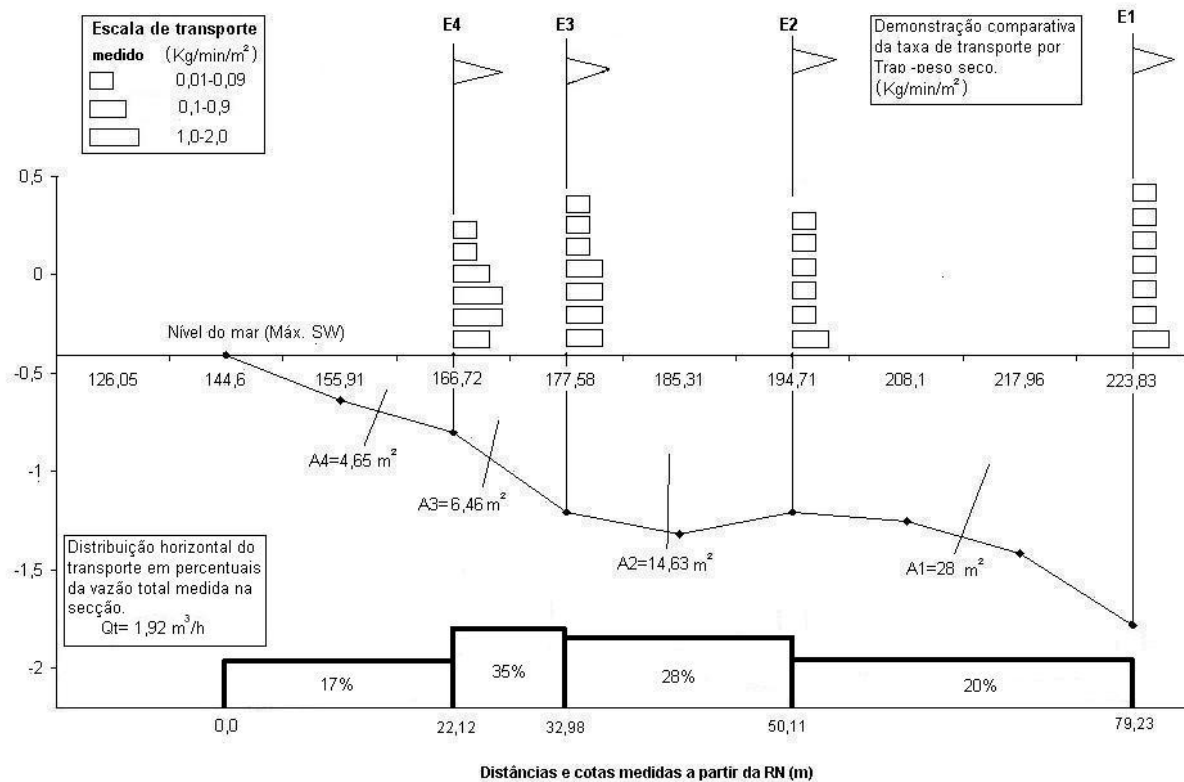


Figura 43 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

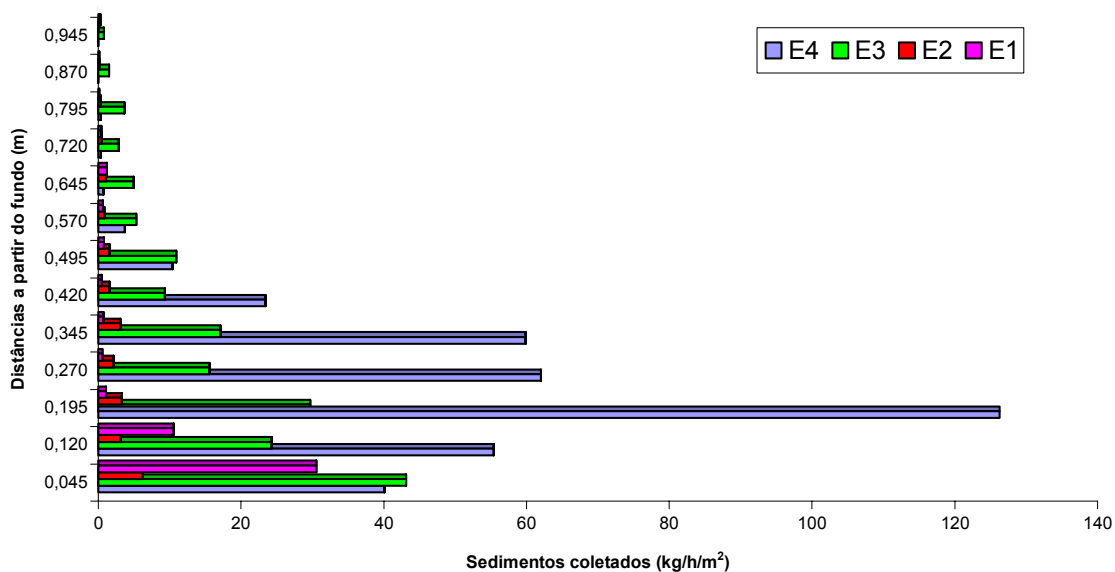


Figura 44 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

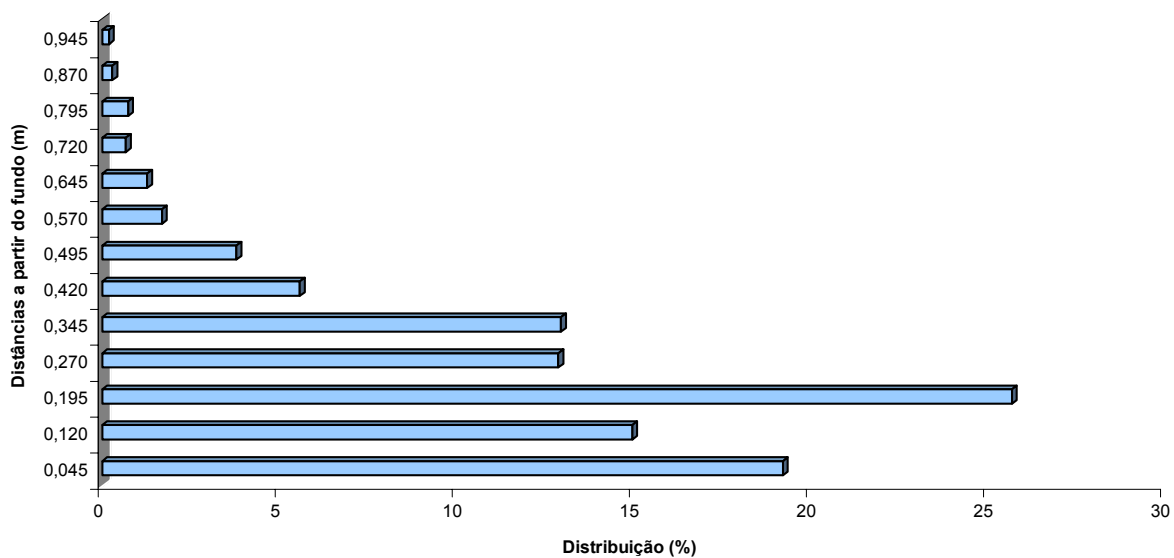


Figura 45 – Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

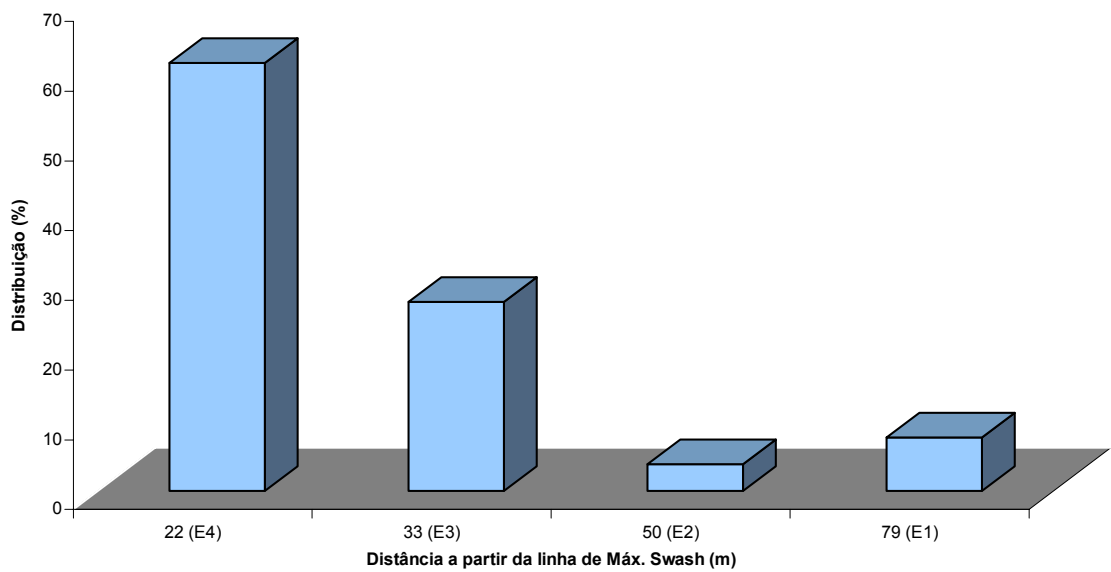


Figura 46 – Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

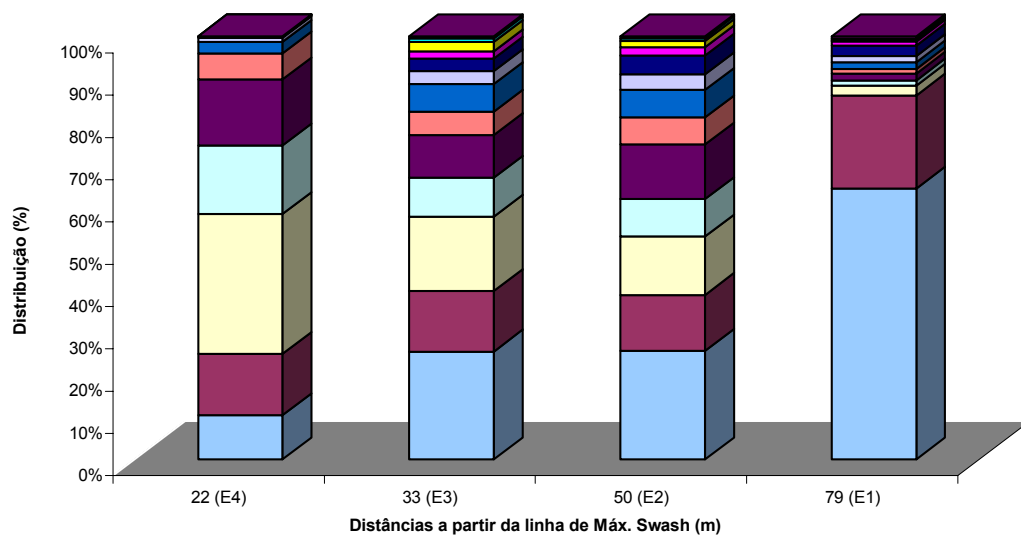


Figura 47 – Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

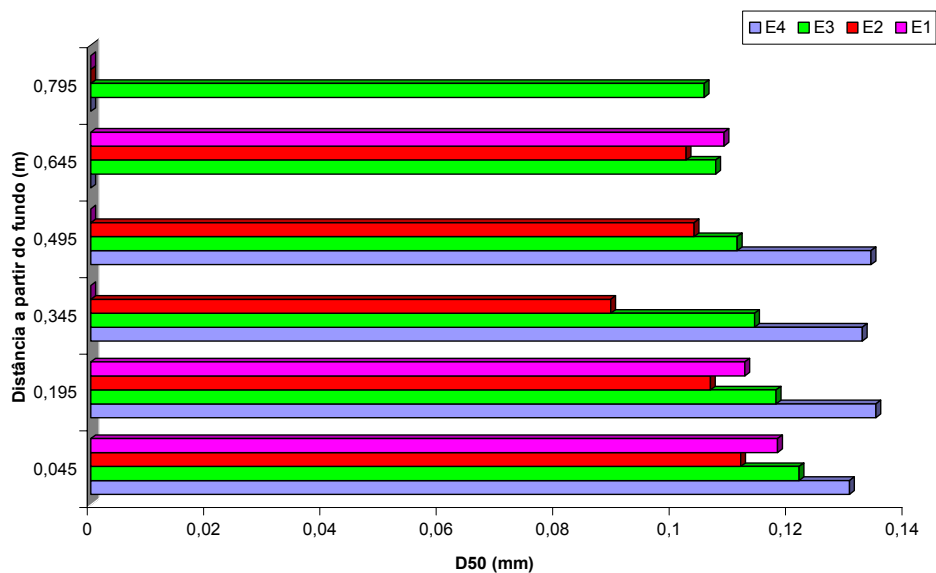


Figura 48 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

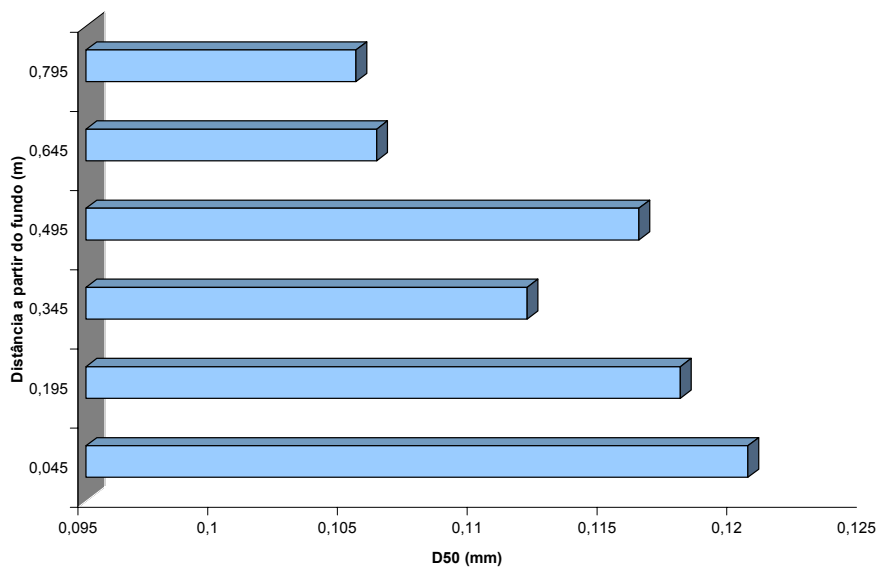


Figura 49 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

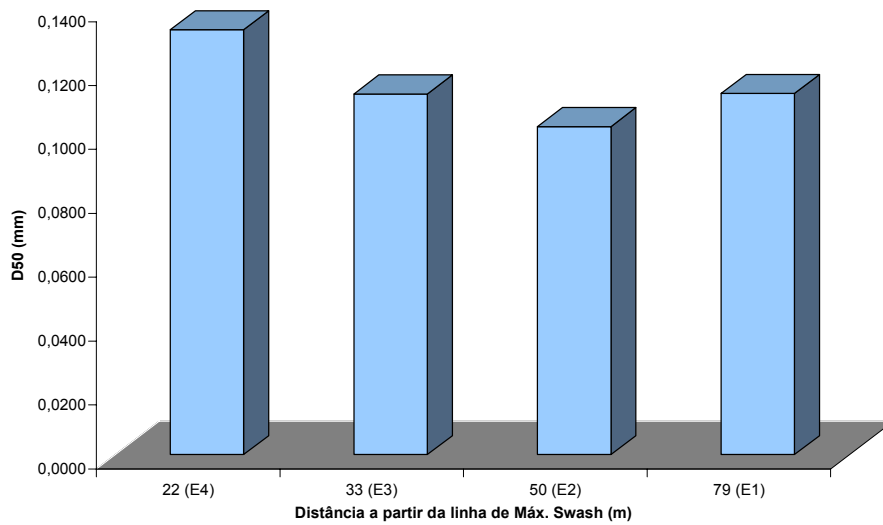


Figura 50 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003.

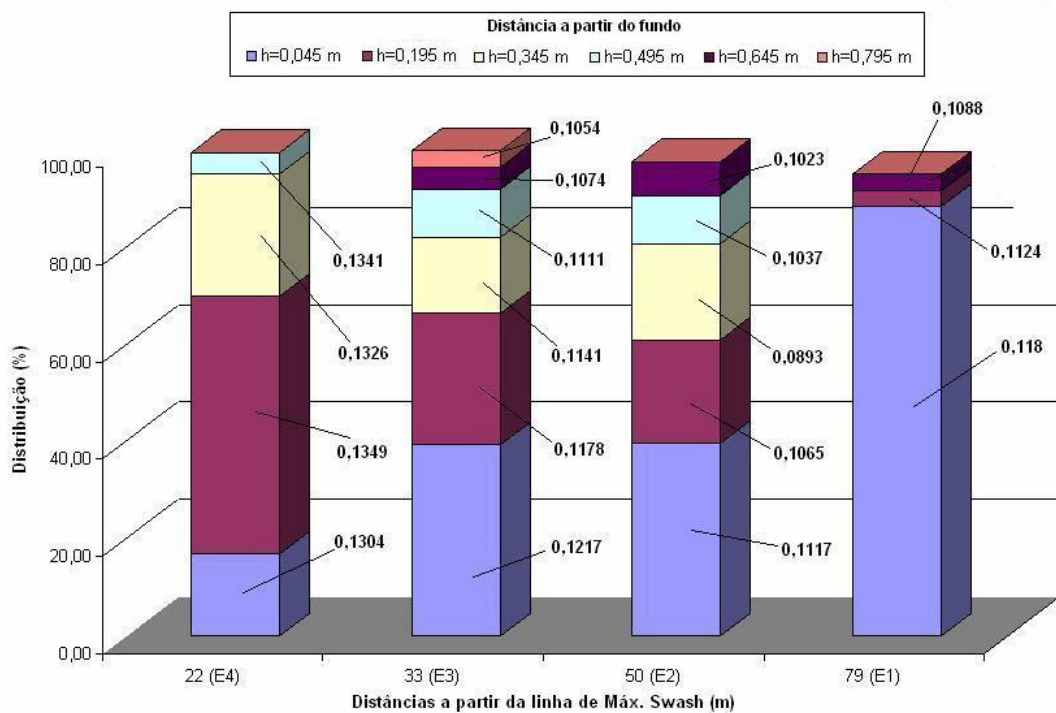


Figura 51 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do Perfil 1 durante a campanha de 01 Jul 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

PERFIL-2 (P2)

Localizado a 3 Km ao sul do Molhe Oeste, na praia do Cassino, em frente ao TERMINAL, no ponto de coordenadas $32^{\circ}09'54''S$ e $52^{\circ}07'24''W$, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Neste perfil foram realizadas 3 campanhas de amostragem e em todas elas foram observadas 3 linhas de arrebentação, sendo que na primeira campanha foram coletadas amostras nas 3 linhas enquanto que nas duas seguintes somente foi possível coletar nas duas linhas mais próximas da praia.

Transporte longitudinal

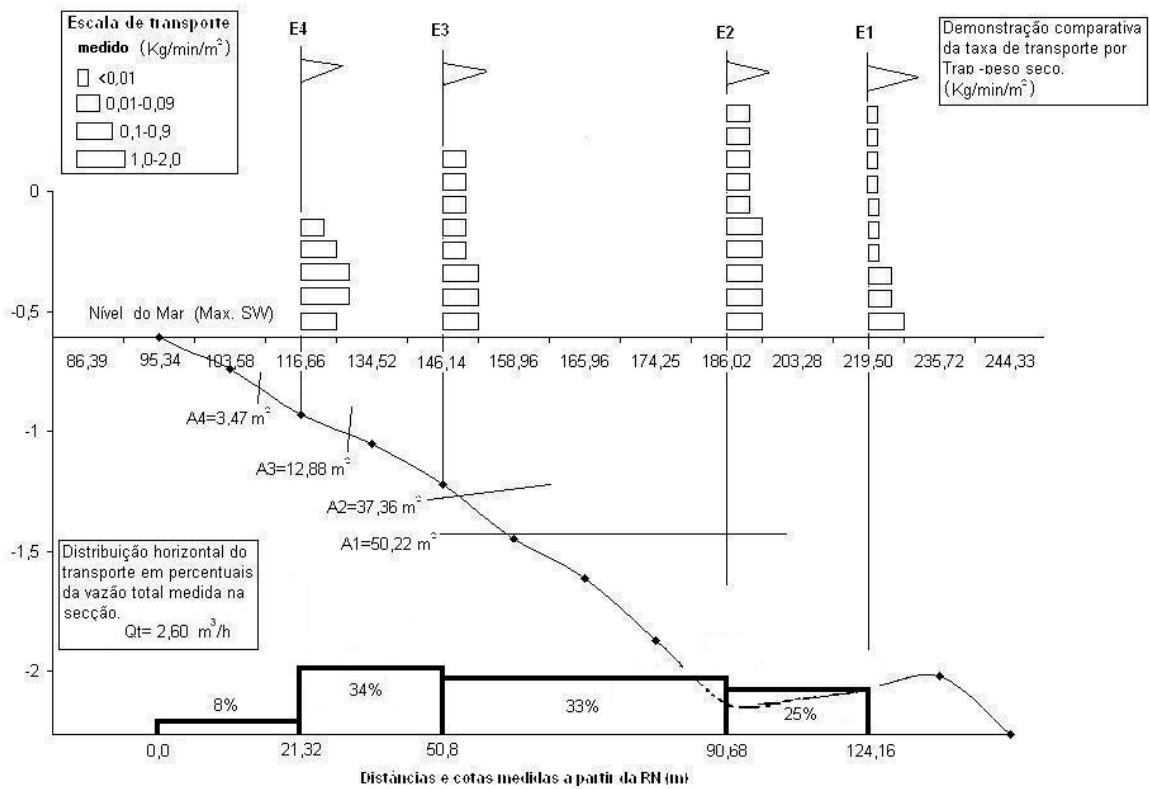


Figura 52 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

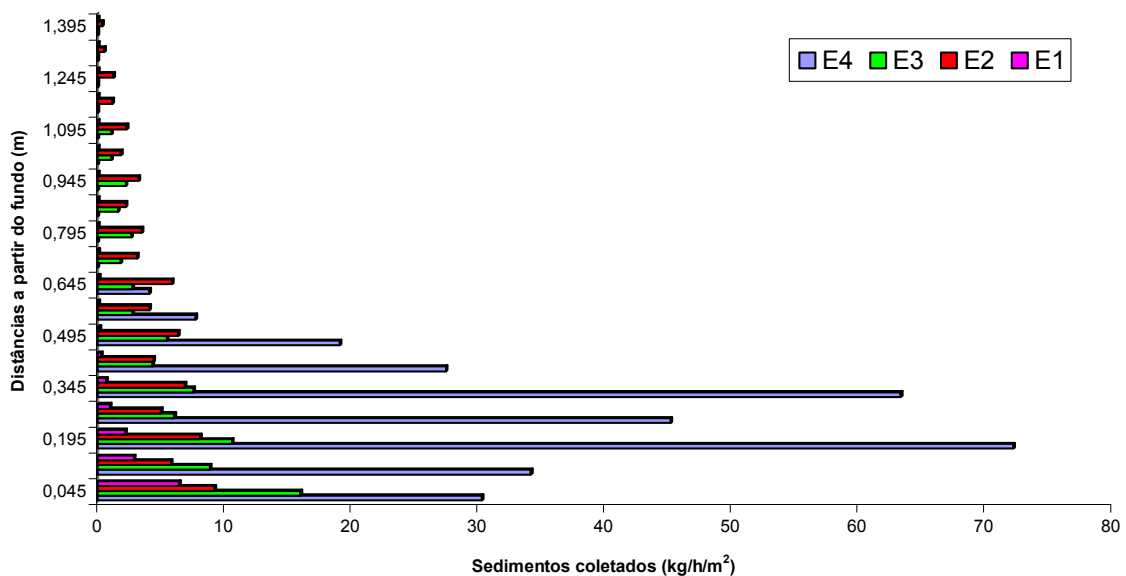


Figura 53 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

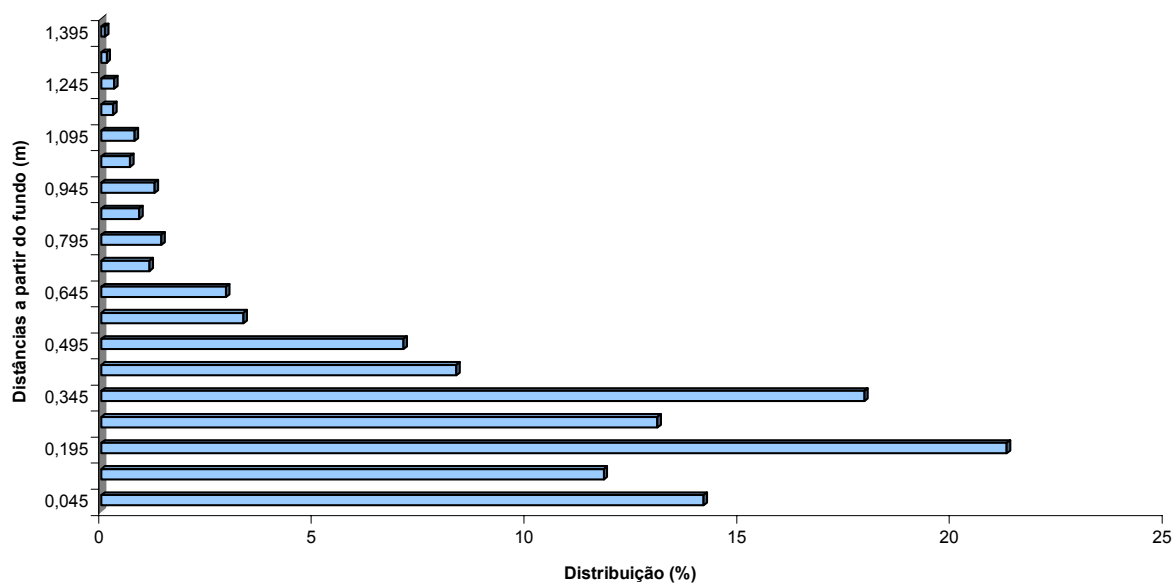


Figura 54 – Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

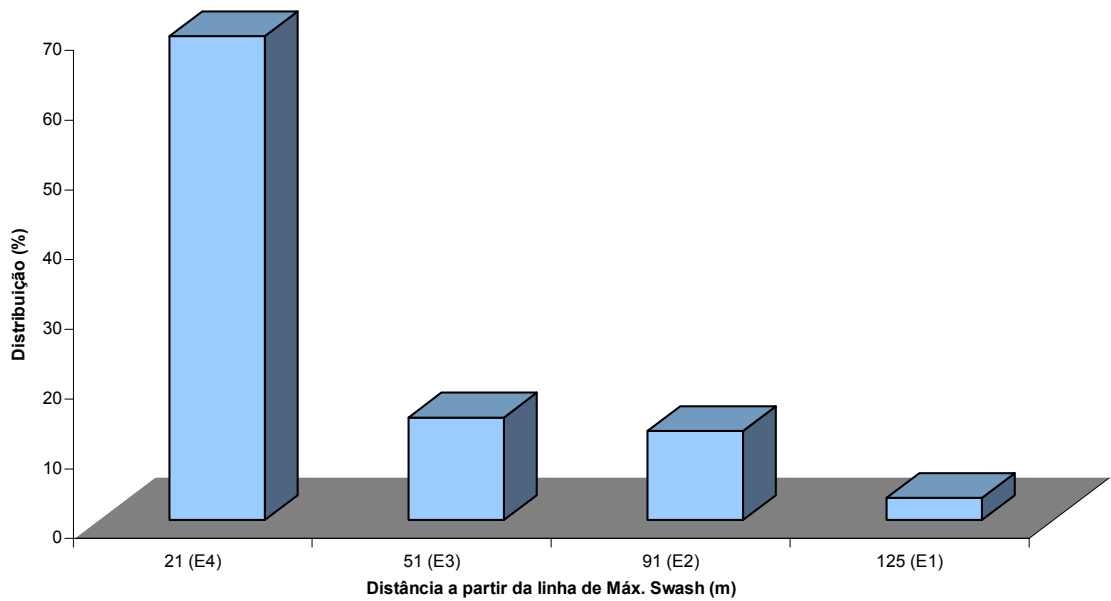


Figura 55 – Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

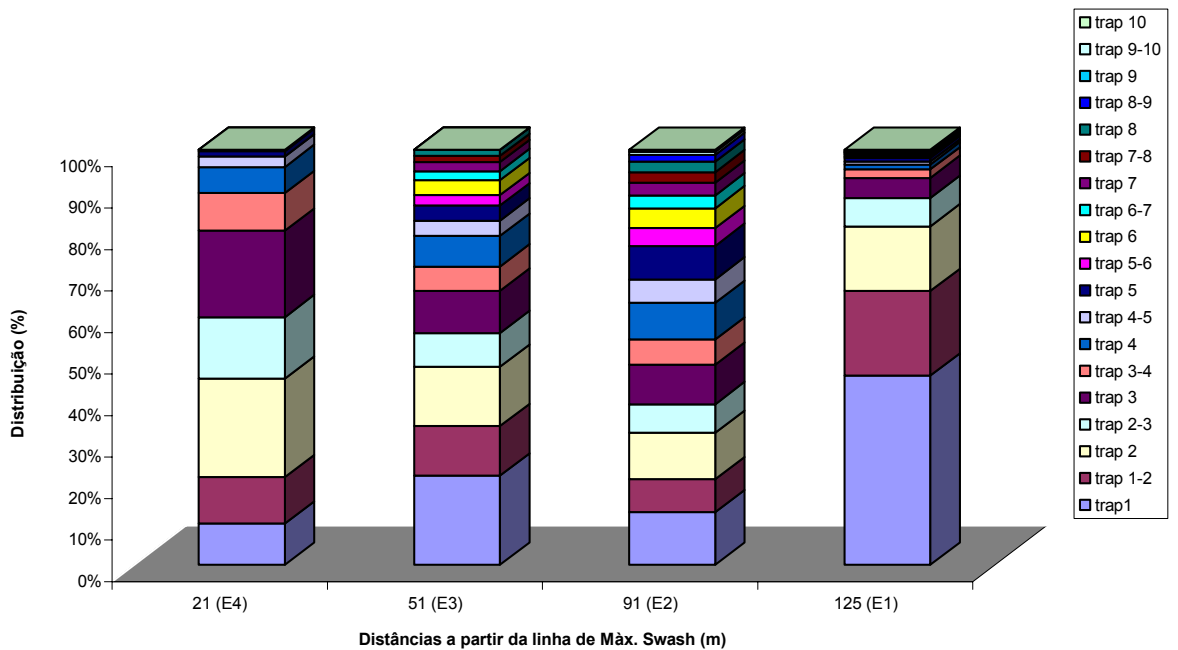


Figura 56 – Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

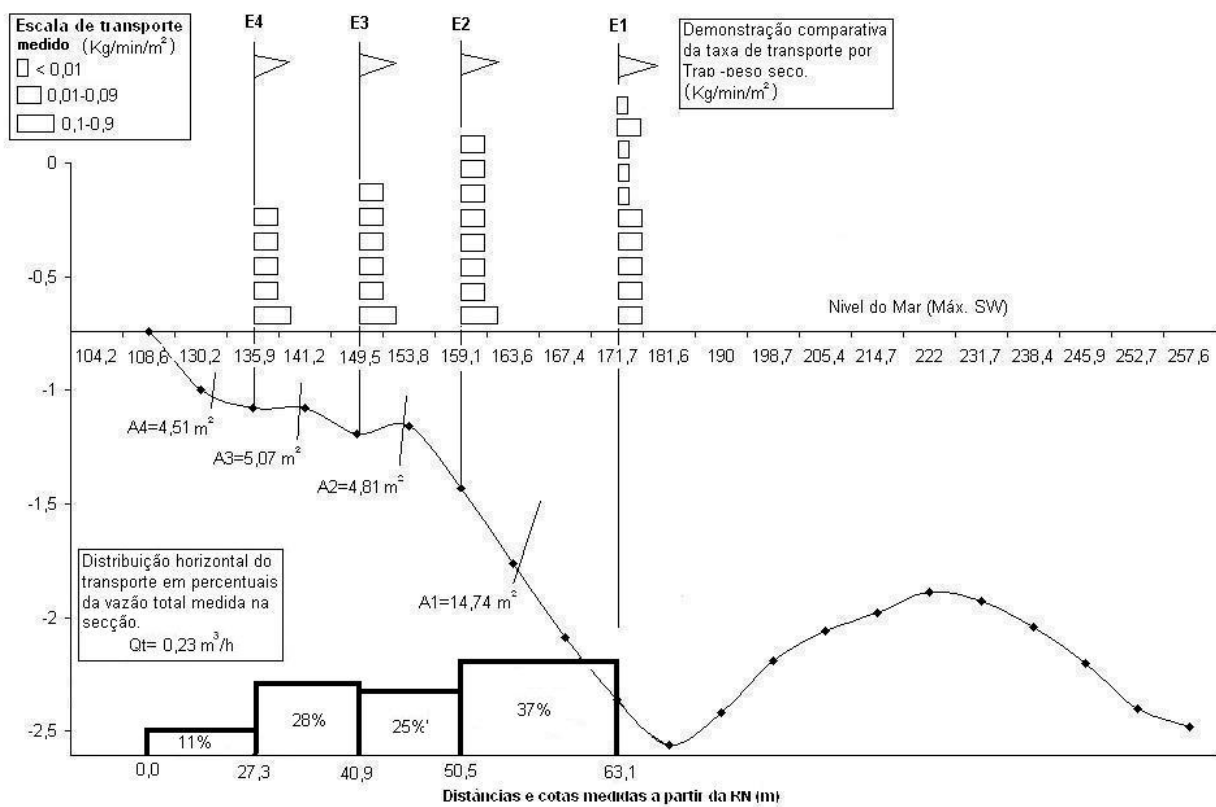


Figura 57 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

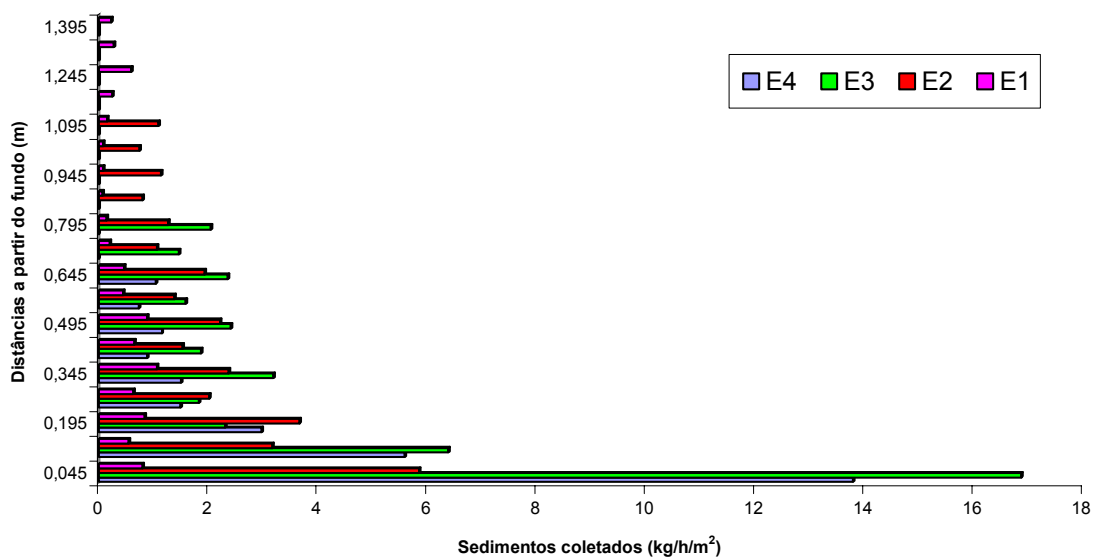


Figura 58 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

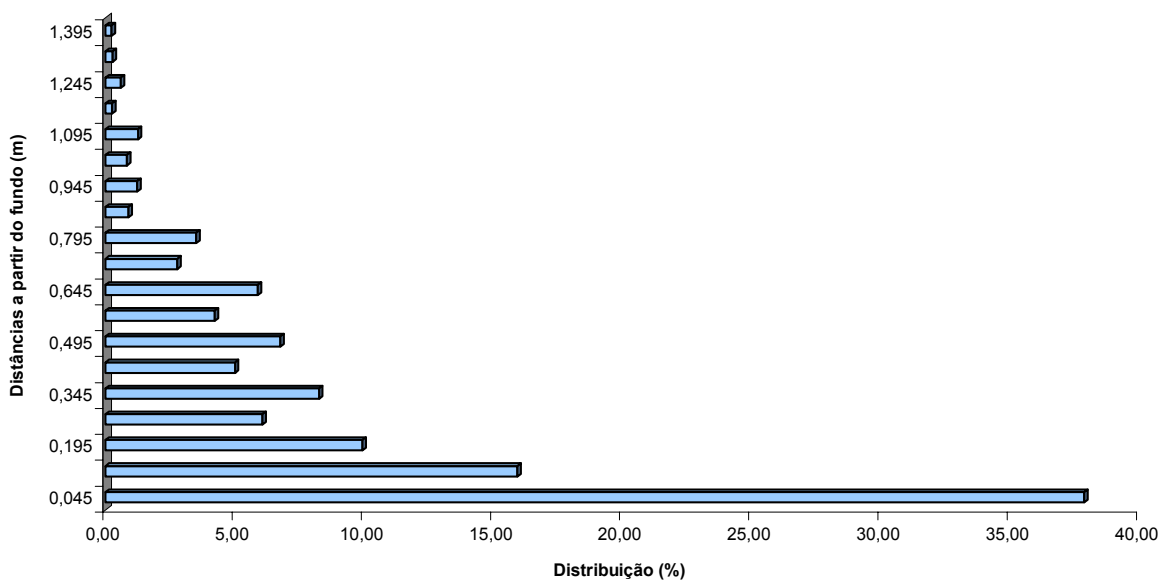


Figura 59 – Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

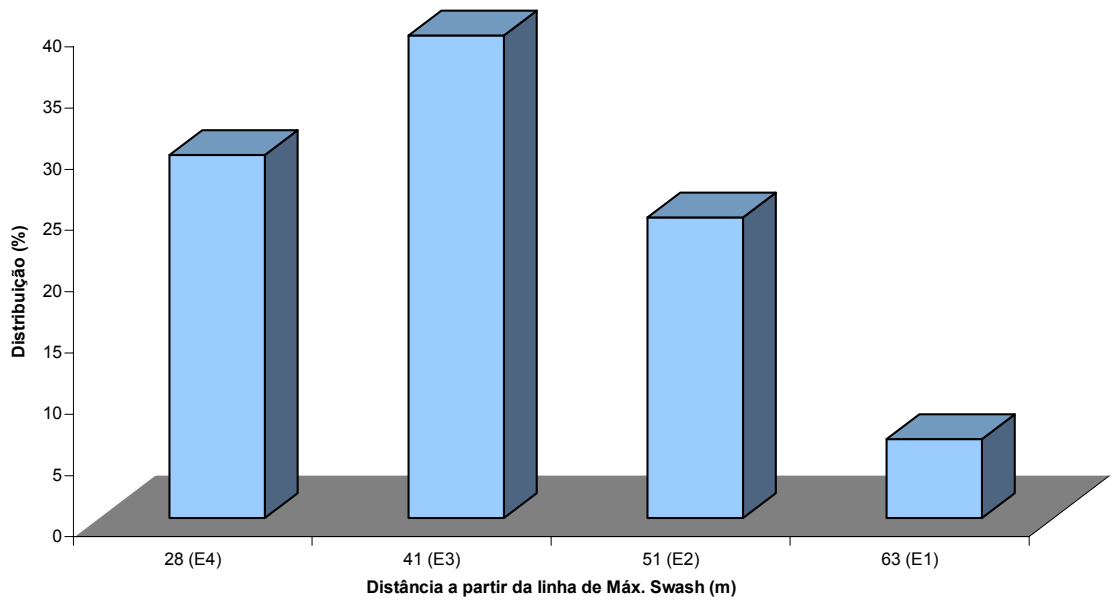


Figura 60 – Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

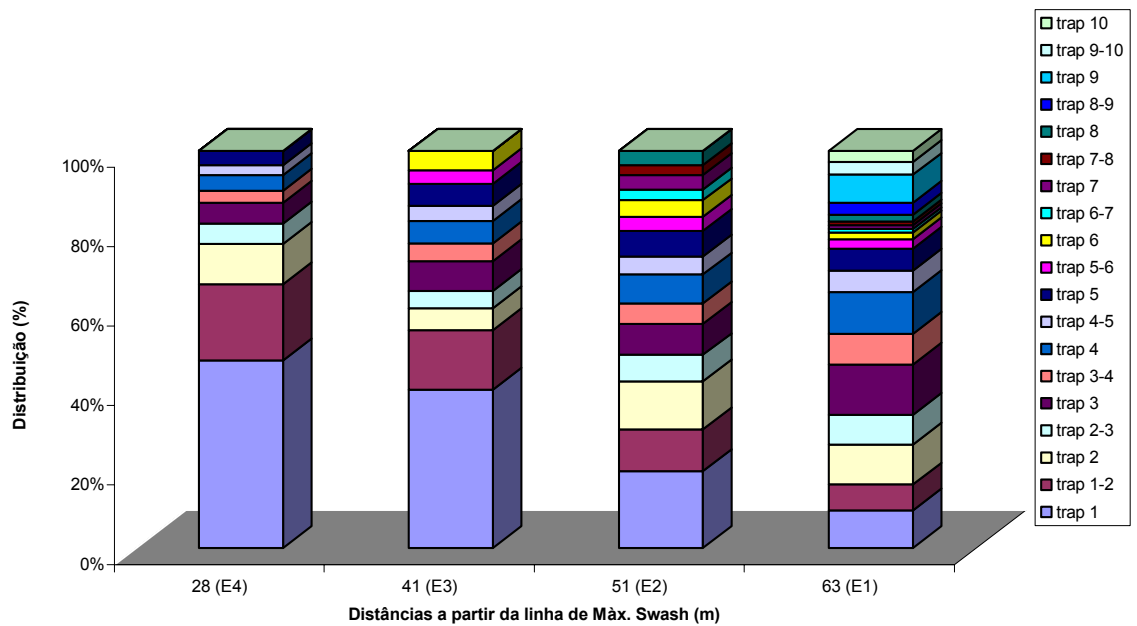


Figura 61 – Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

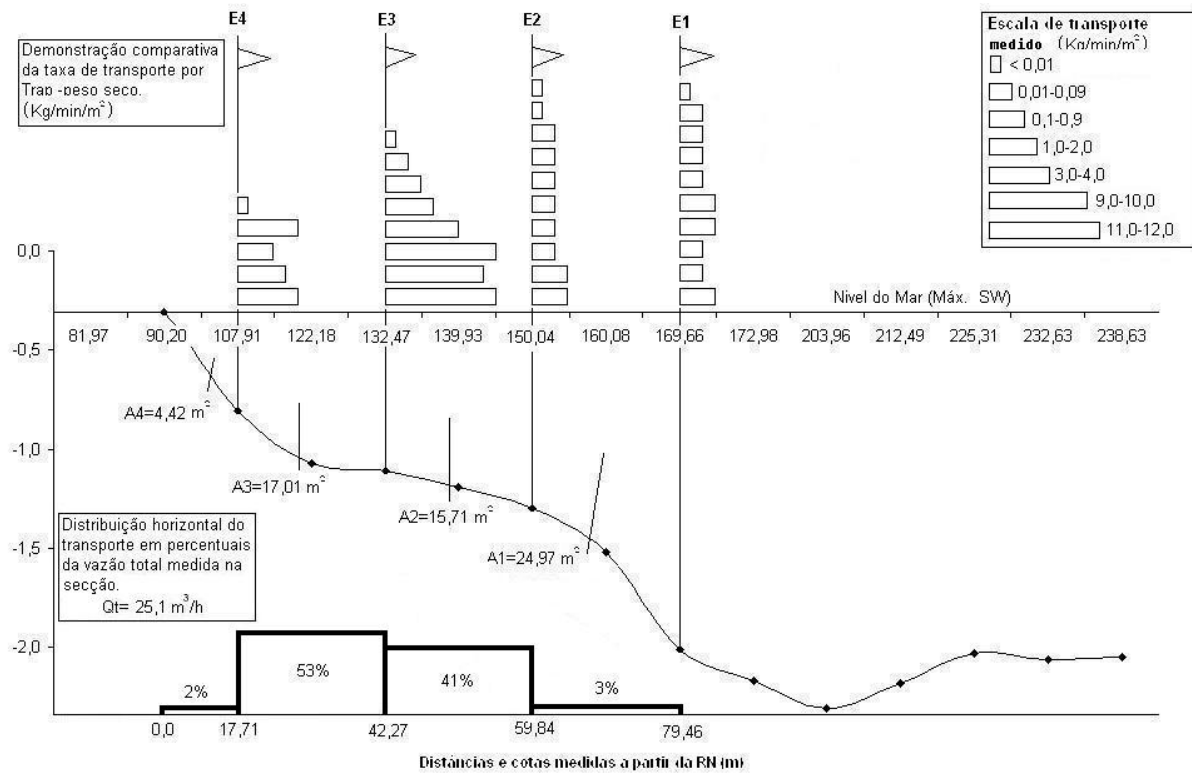


Figura 62 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-2 durante a campanha de 20 Feb 2003.

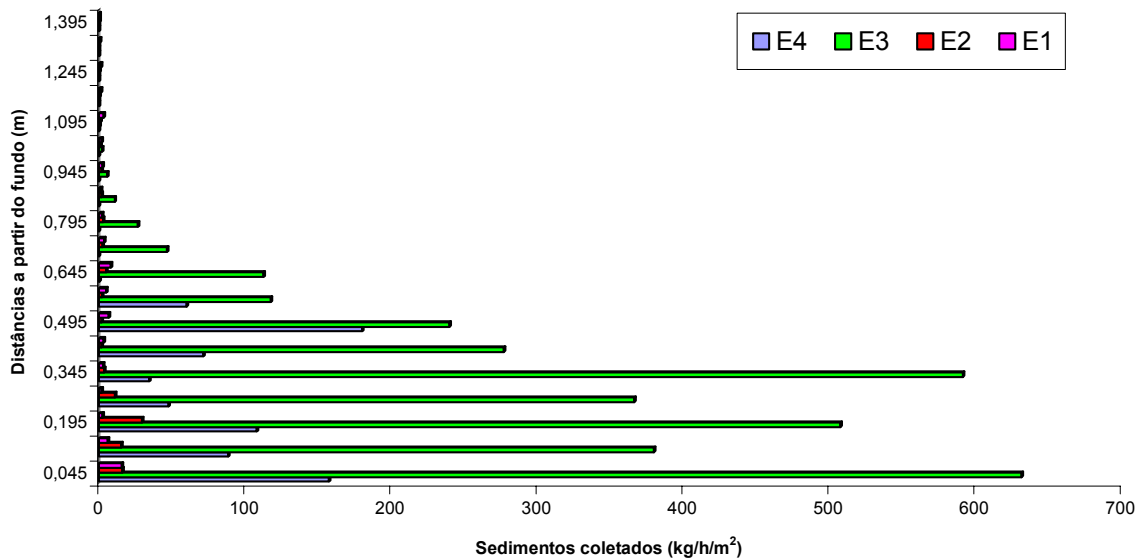


Figura 63 – Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

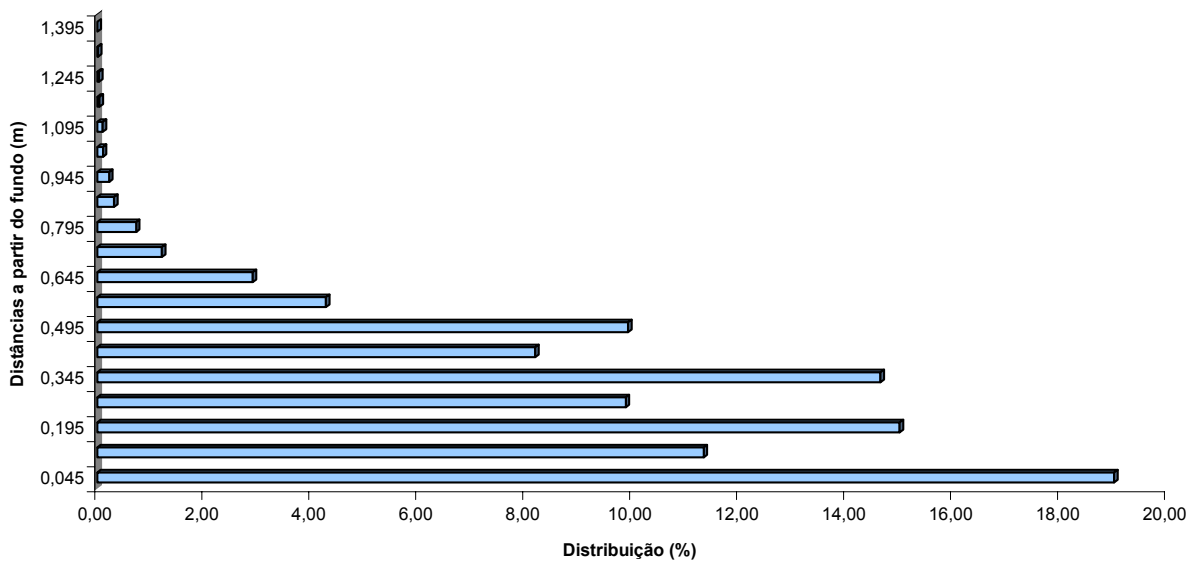


Figura 64 – Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

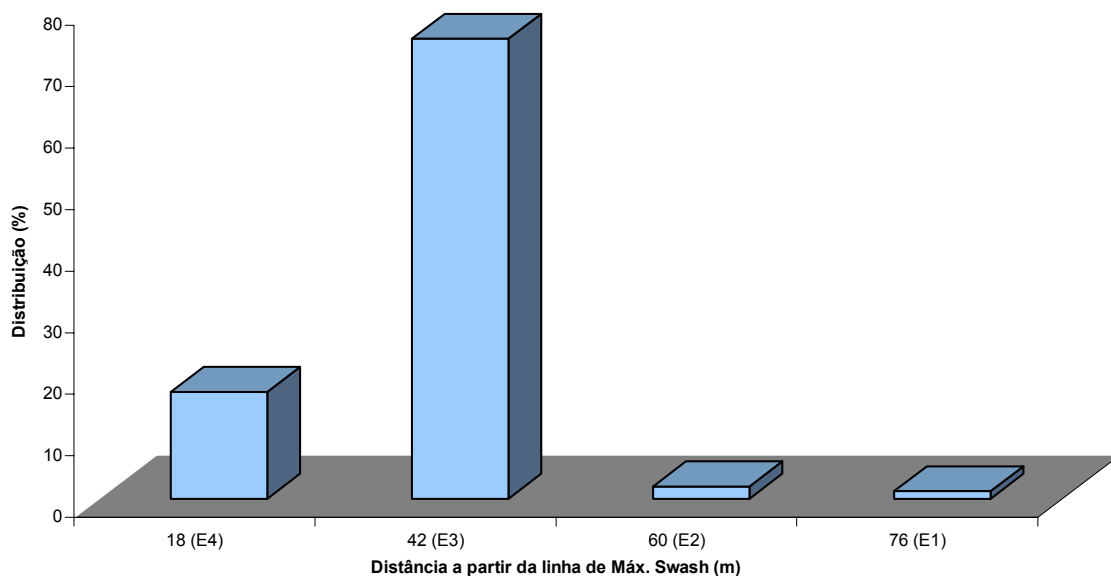


Figura 65 – Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

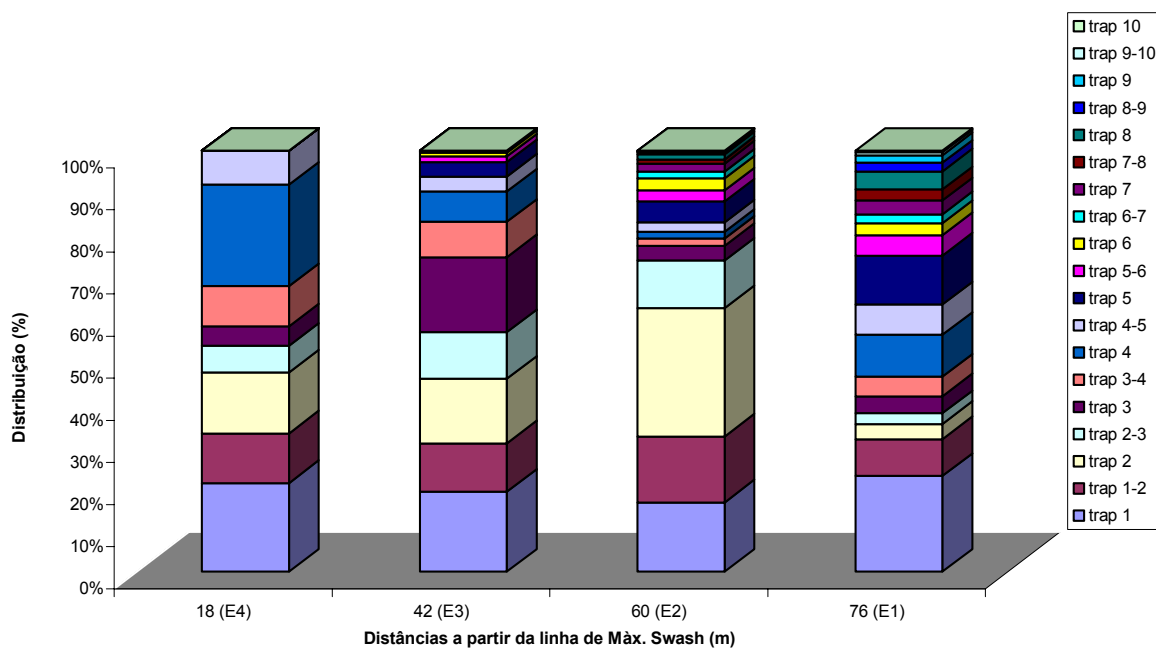


Figura 66- – Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

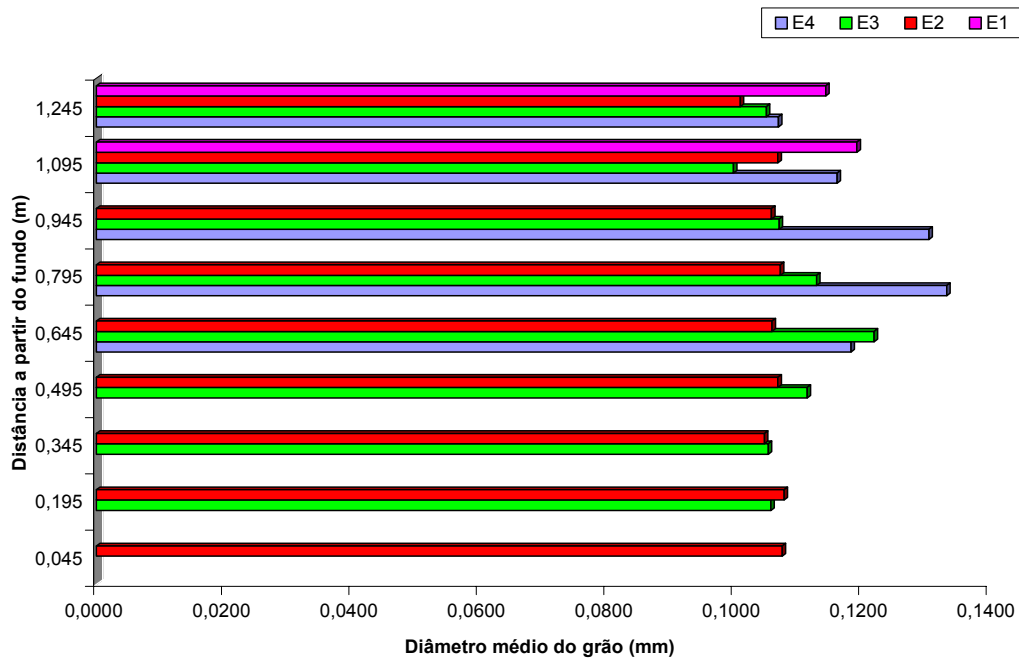


Figura 67 – Distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

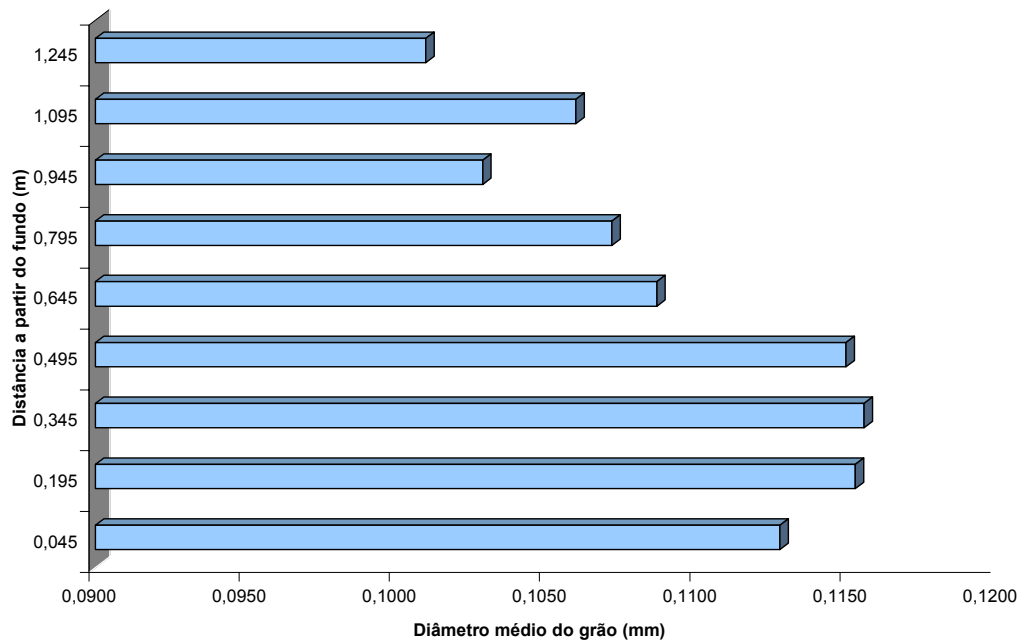


Figura 68 – Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por nível do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

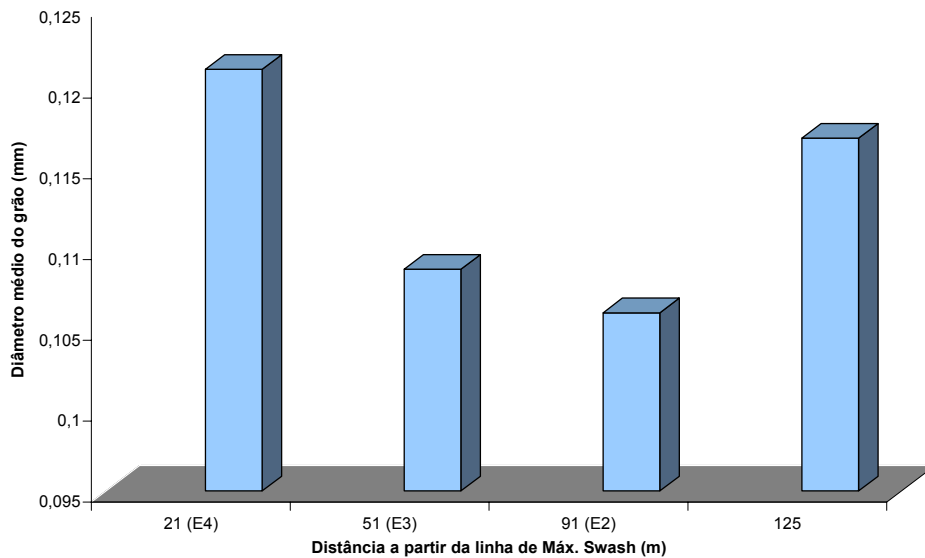


Figura 69 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002.

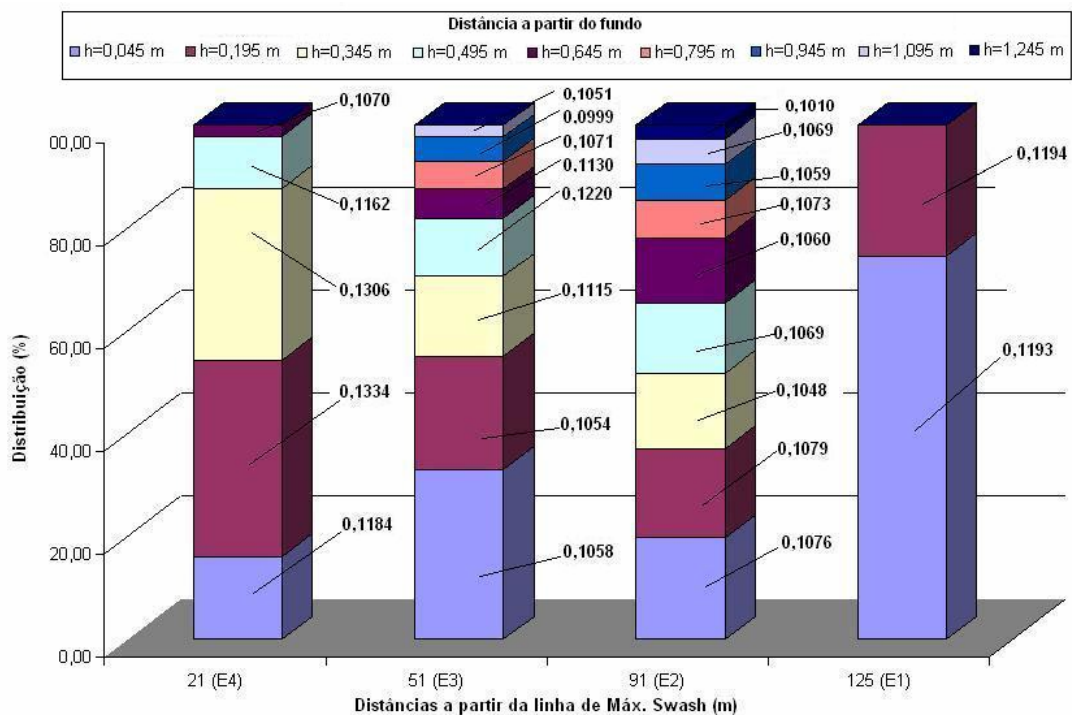


Figura 70 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 2 durante a campanha de 19 Jul 2002. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

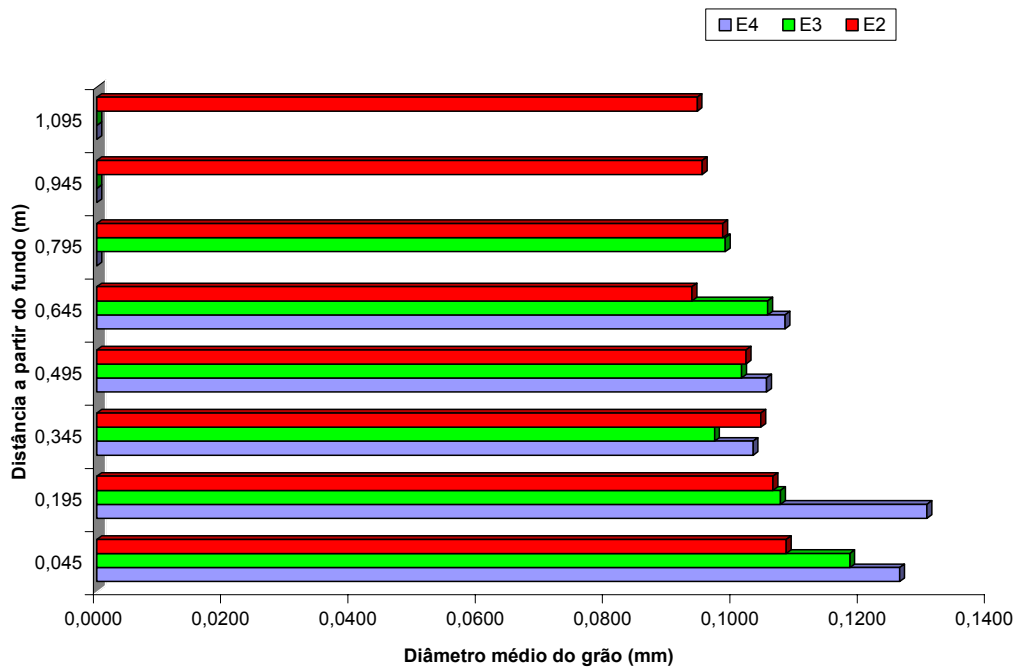


Figura 71 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

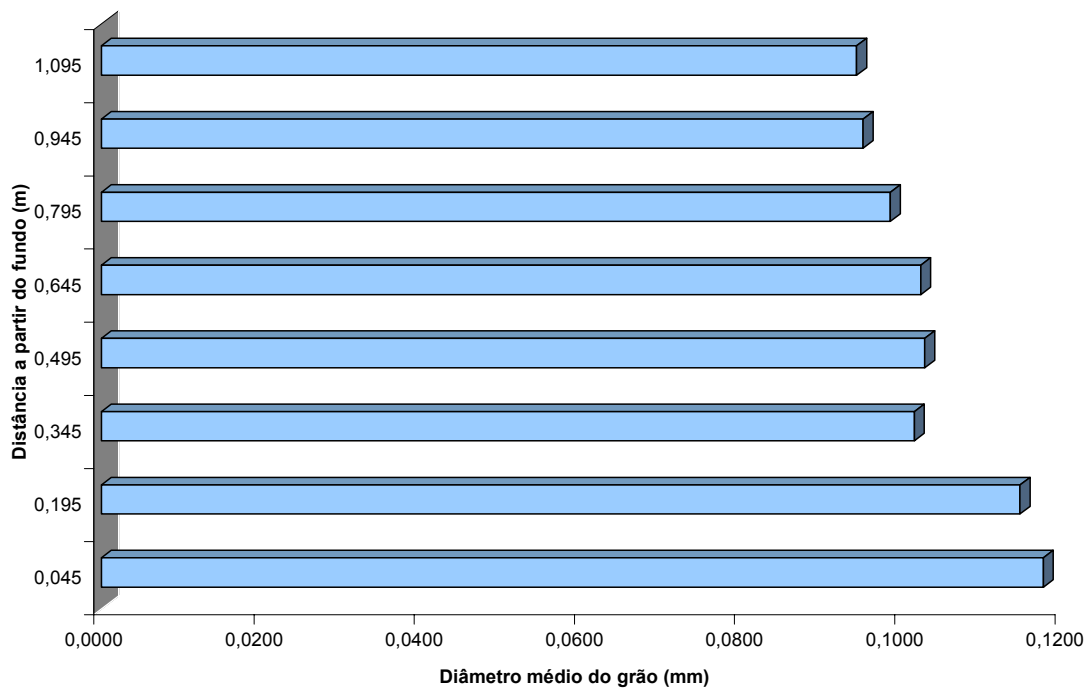


Figura 72 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

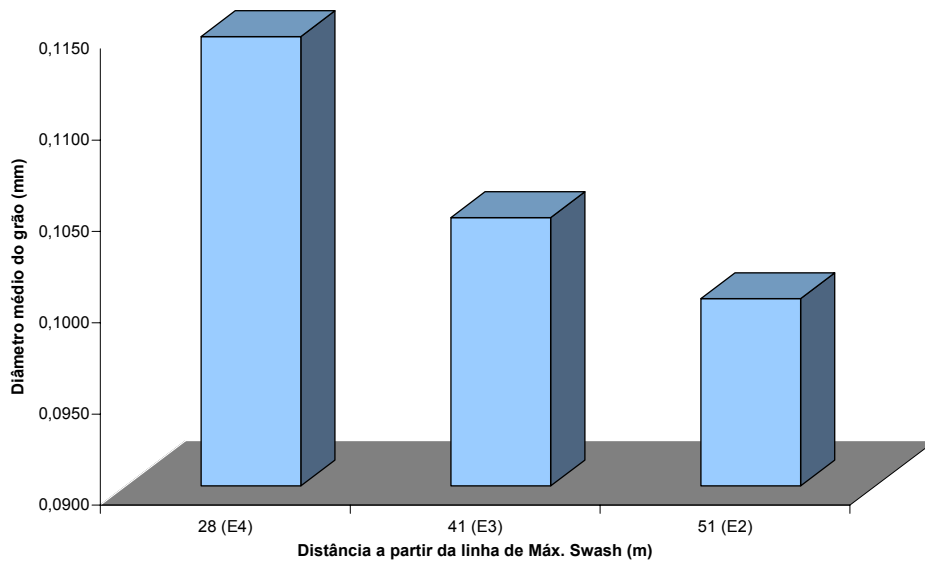


Figura 73 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003.

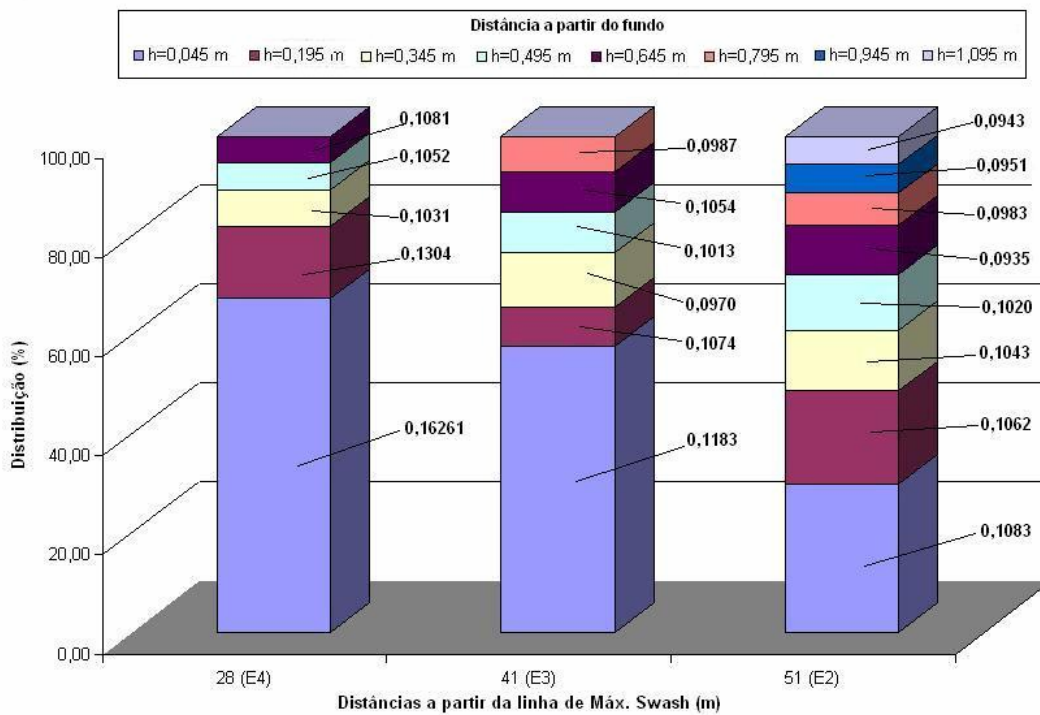


Figura 74 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 2 durante a campanha de 16 Jan 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

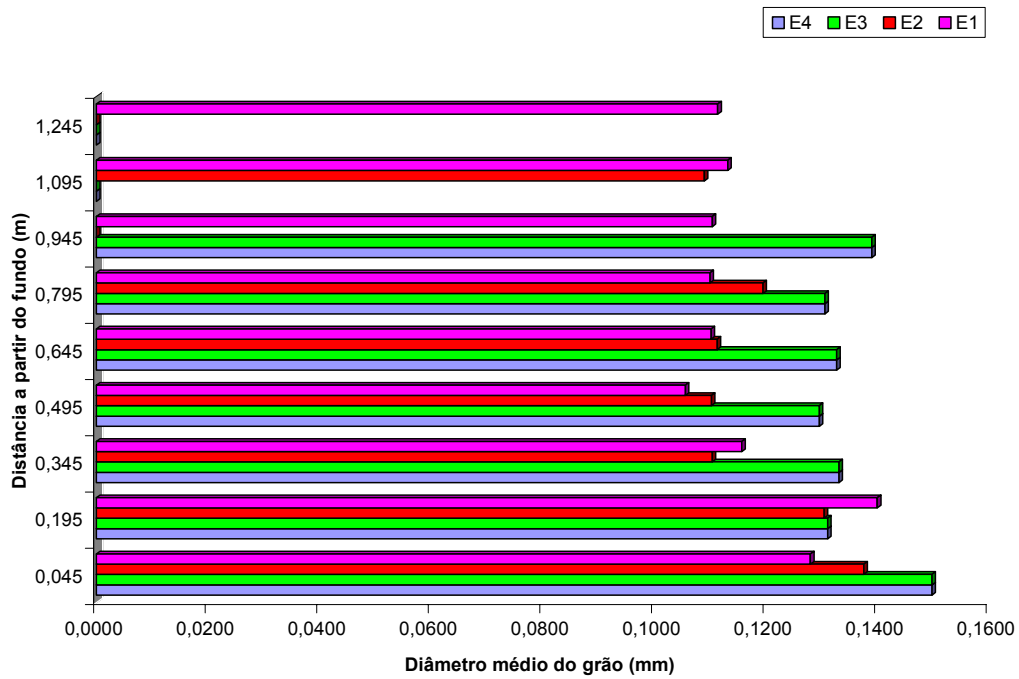


Figura 75 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ por nível e por estação do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

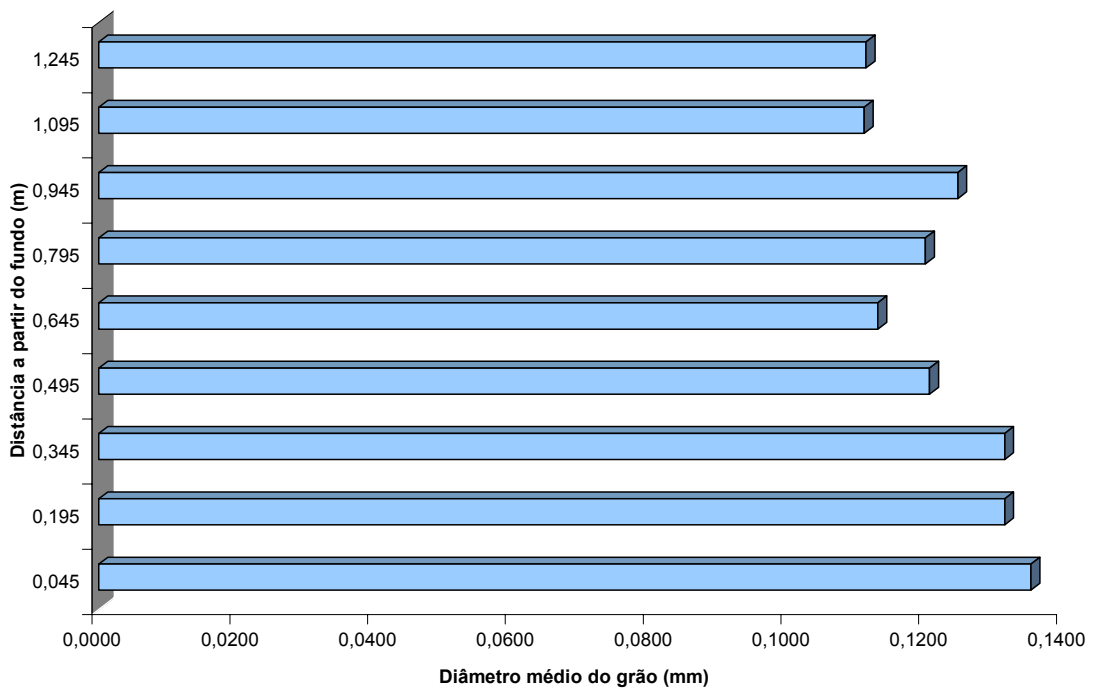


Figura 76 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por nível do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

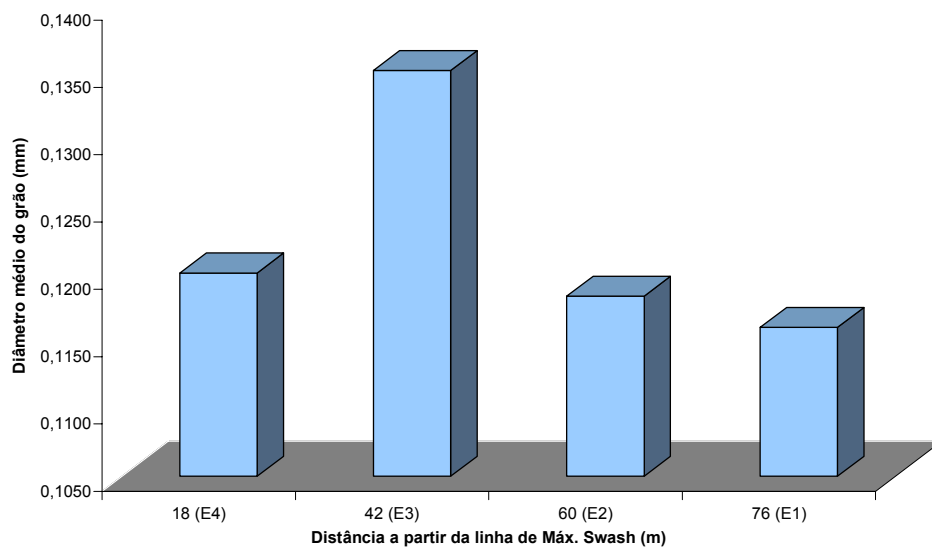


Figura 77 – Distribuição da média dos diâmetros ‘D50’ por estação do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003.

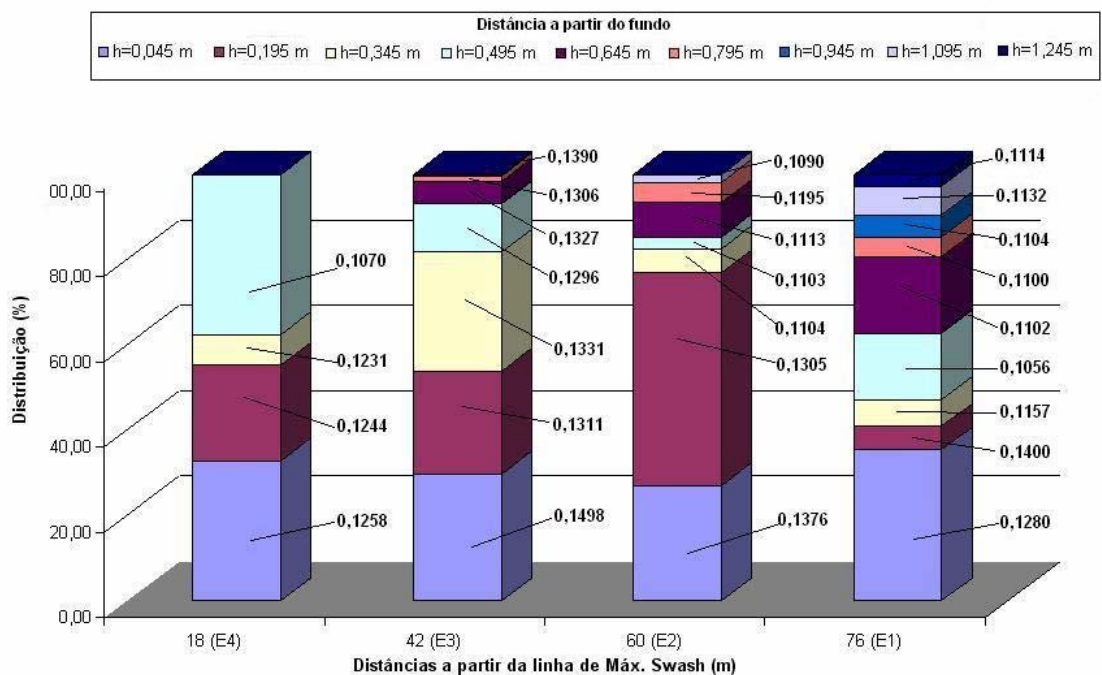


Figura 78 – Distribuição dos diâmetros ‘D50’ de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação de coleta do perfil 2 durante a campanha de 20 Fev 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

PERFIL-3 (P3)

Localizado no pontal oeste da barra do Rio Grande, 300 metros ao sul da base do Molhe Oeste, no ponto de coordenadas $32^{\circ}09'29''\text{S}$ e $52^{\circ}06'53''\text{W}$, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Neste perfil foi observado um processo de arrebentação sucessiva não ocorrendo linhas definidas de arrebentação que caracterizam a presença de bancos e cavas. O fundo apresentou-se como um plano inclinado e liso. As amostras foram colhidas até a profundidade em que a altura das ondas permitiu trabalhar.

Transporte longitudinal

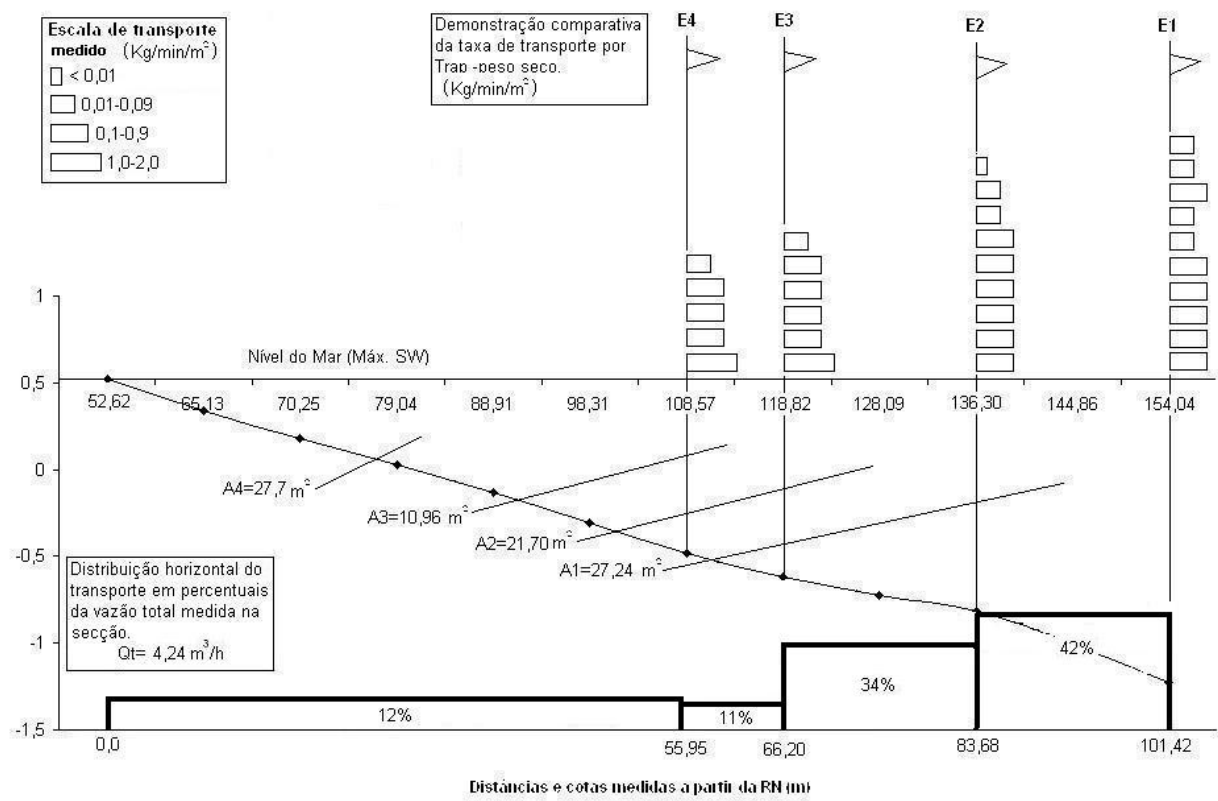


Figura 79 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

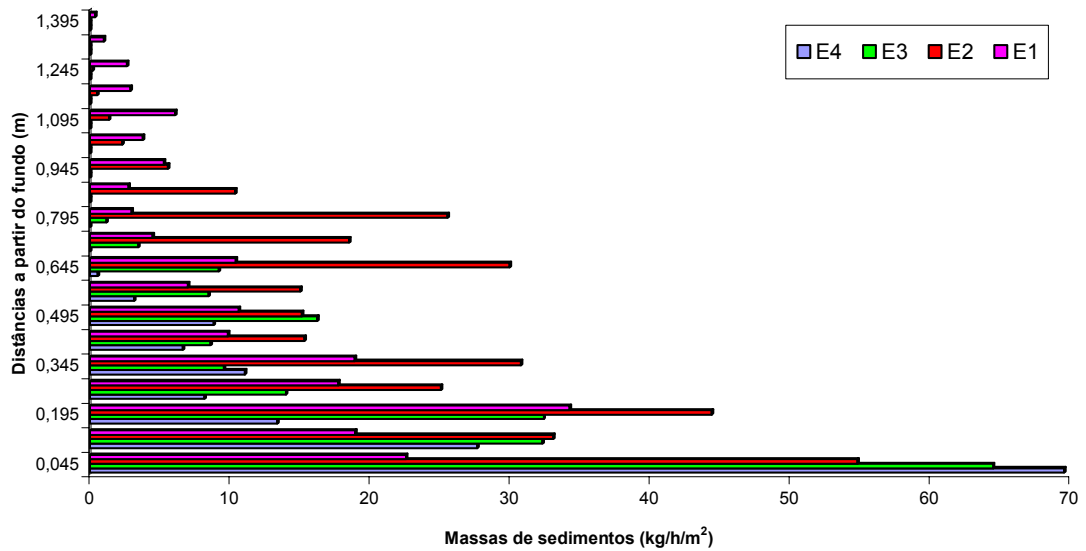


Figura 80 - Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

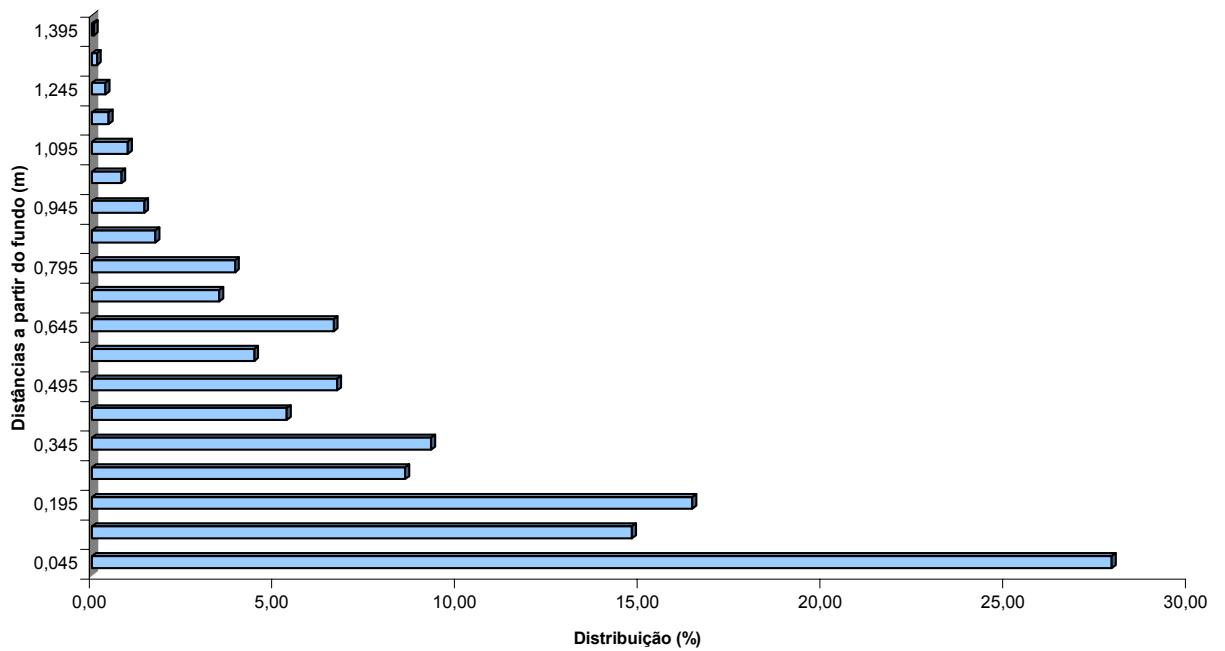


Figura 81 - Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

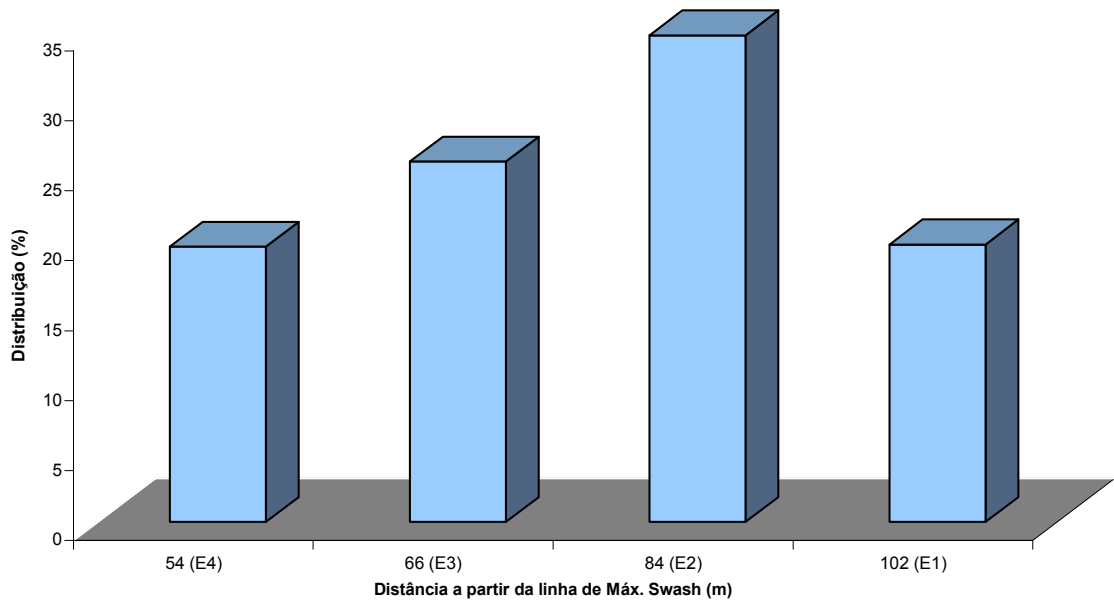


Figura 82 - Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

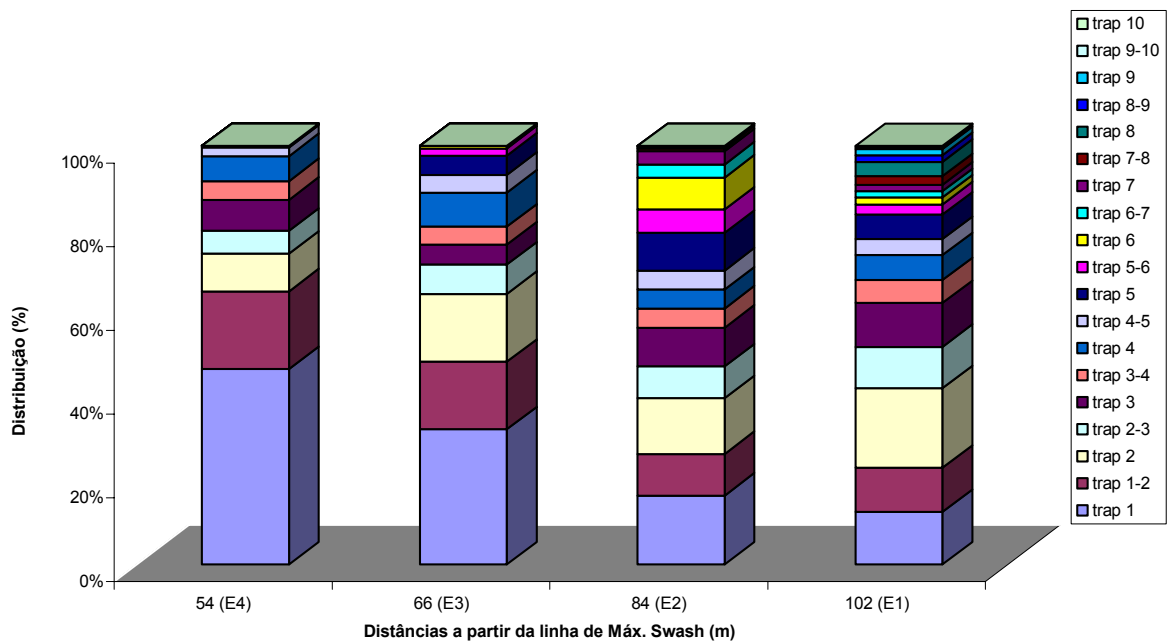


Figura 83 - Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

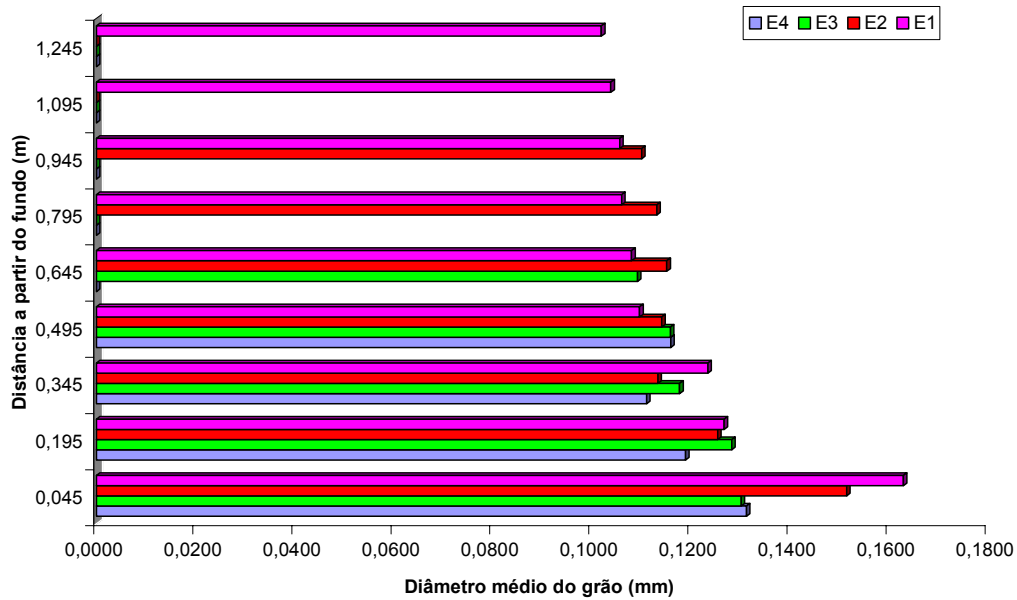


Figura 84 - Distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

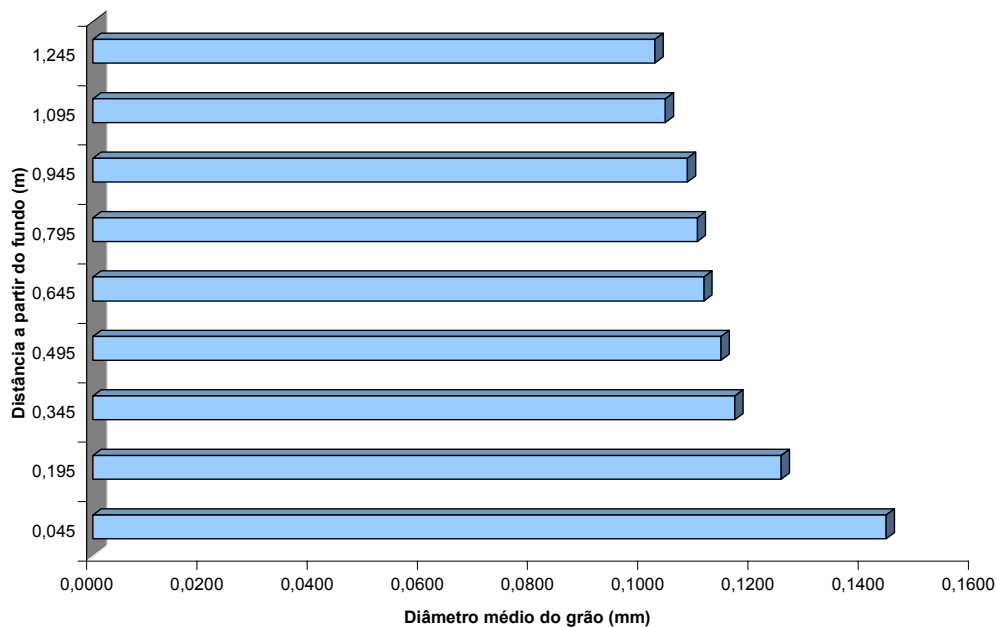


Figura 85 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por nível do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 2003.

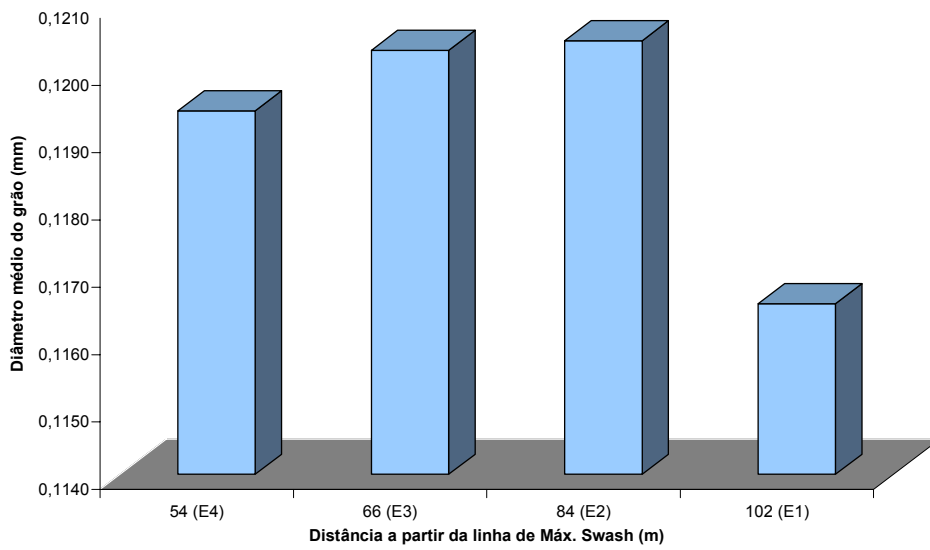


Figura 86 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por estação de coleta do perfil 3 durante a campanha de 03 Mai 2003.

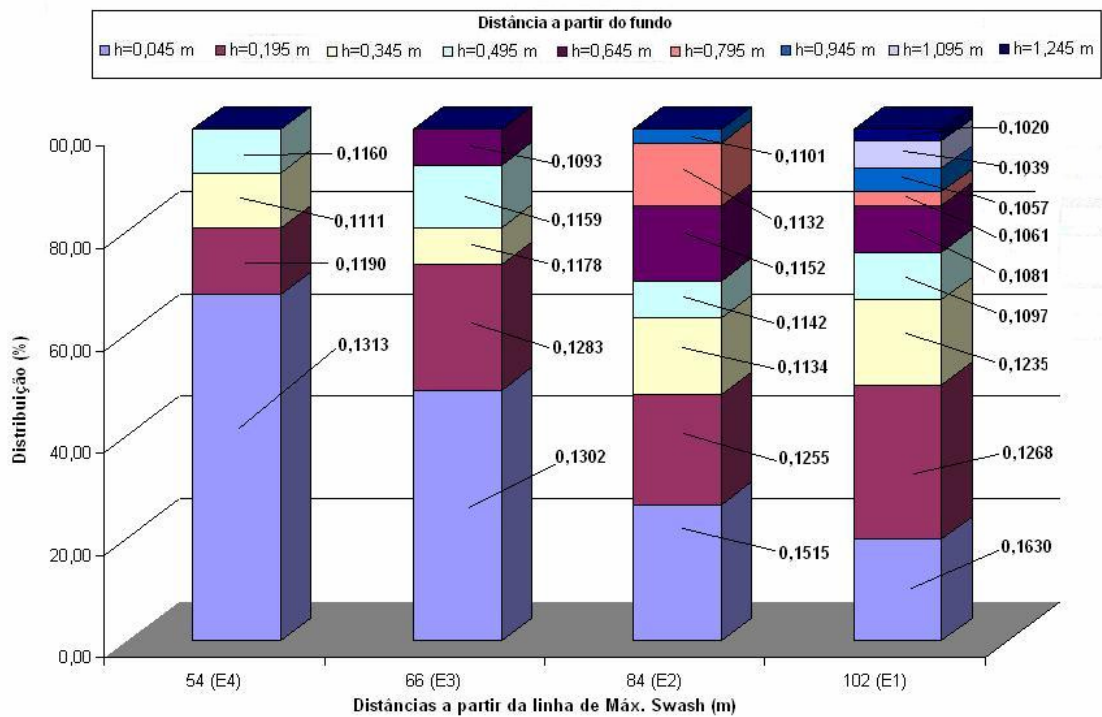


Figura 87 – Distribuição dos diâmetros 'D50' de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 3 durante a campanha de 02 Mai 03. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

PERFIL-4 (P4)

Localizado no pontal leste da barra do Rio Grande, 300 metros ao norte da base do Molhe Leste, no ponto de coordenadas $32^{\circ}08'08''\text{S}$ e $52^{\circ}04'14''\text{W}$, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Da mesma forma que no perfil-3, também neste perfil foi observado um processo de arrebentação sucessiva não ocorrendo linhas definidas de arrebentação que caracterizam a presença de bancos e cavas. O fundo apresentou-se como um plano inclinado e liso. As amostras foram colhidas até a profundidade em que a altura das ondas permitiu trabalhar.

Transporte longitudinal

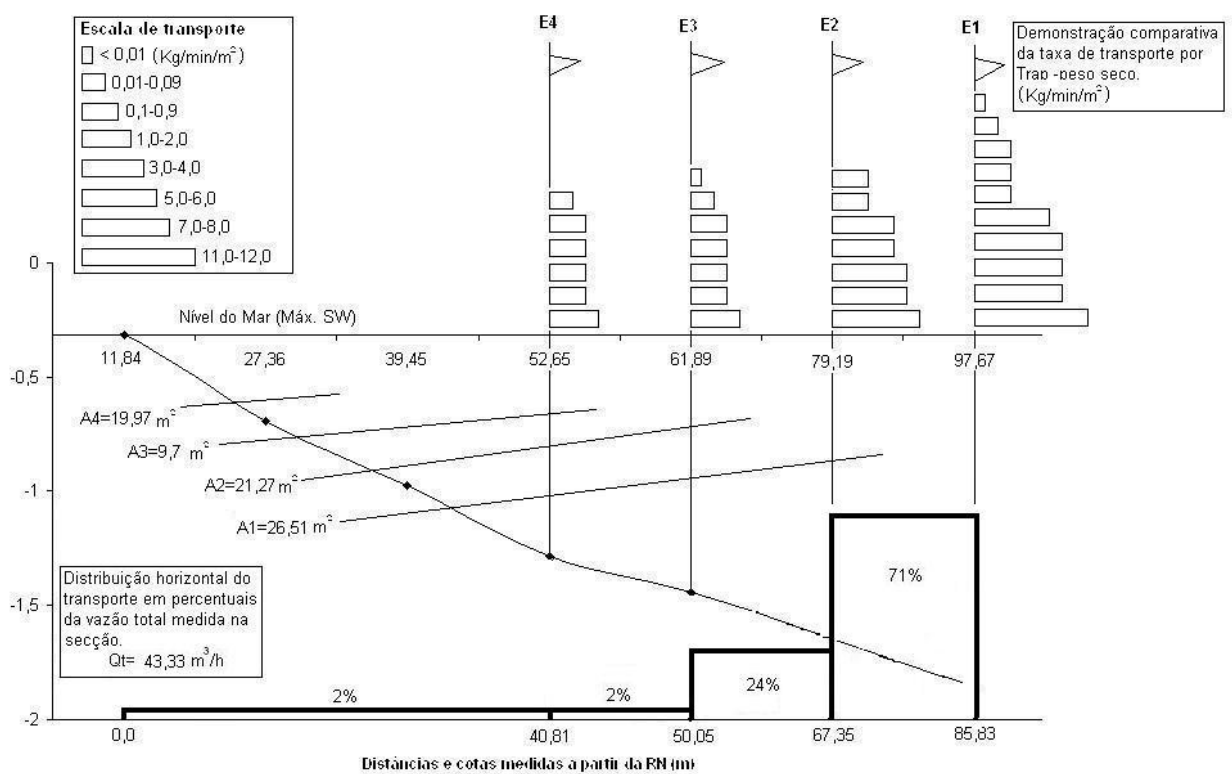


Figura 88 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-4 durante a campanha de 05 Set 2003.

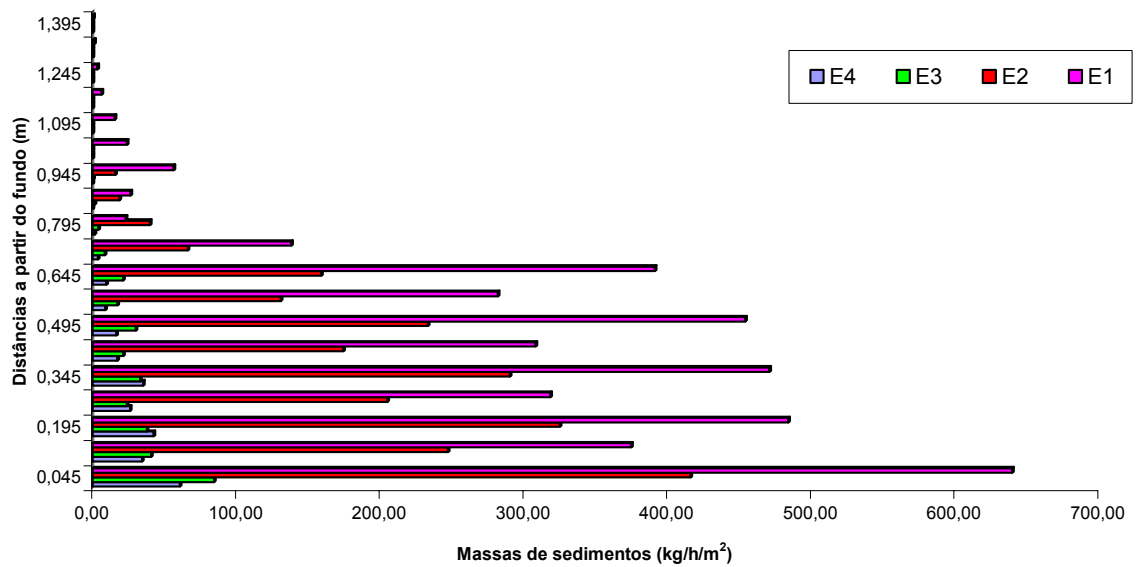


Figura 89 - Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

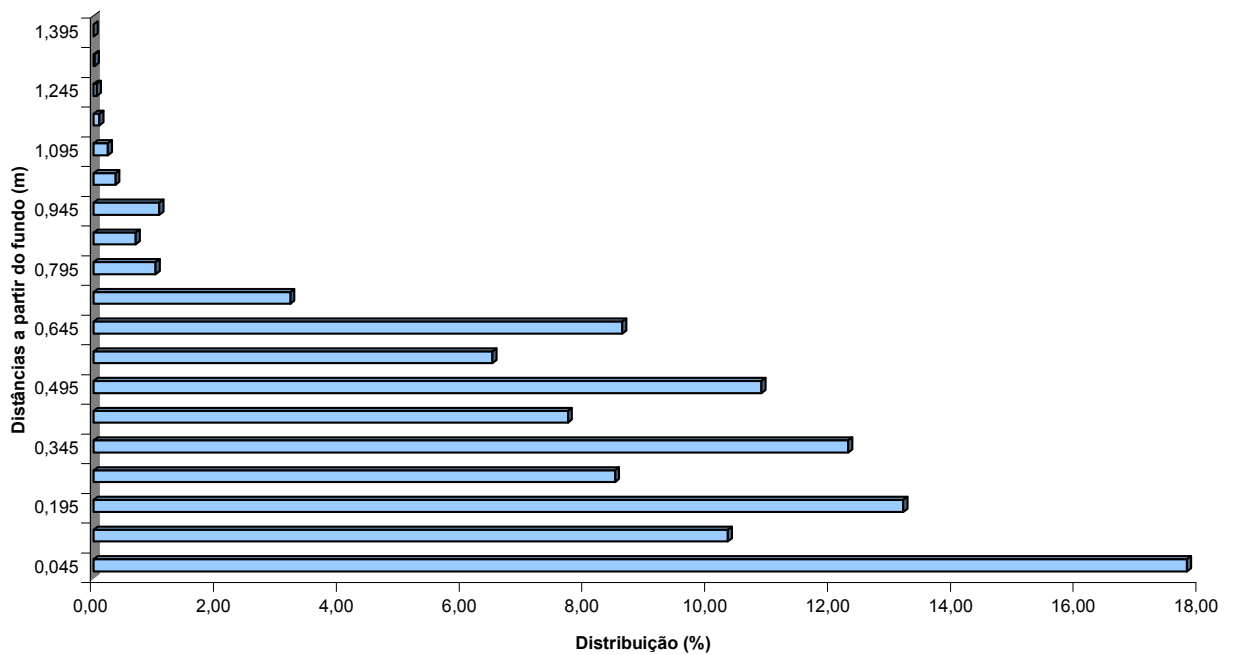


Figura 90 - Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

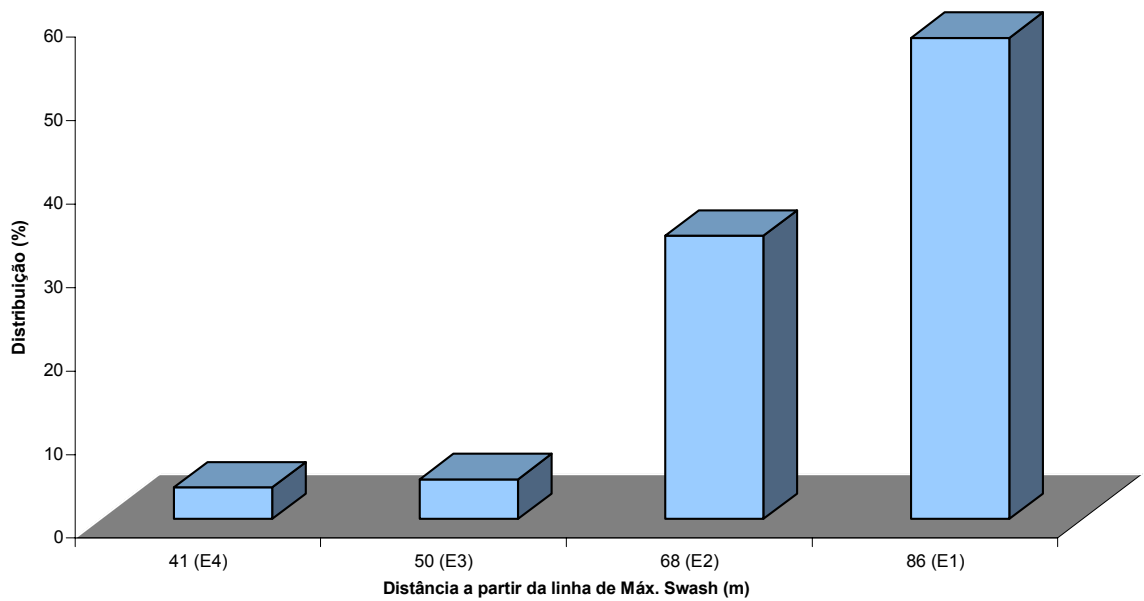


Figura 91 - Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

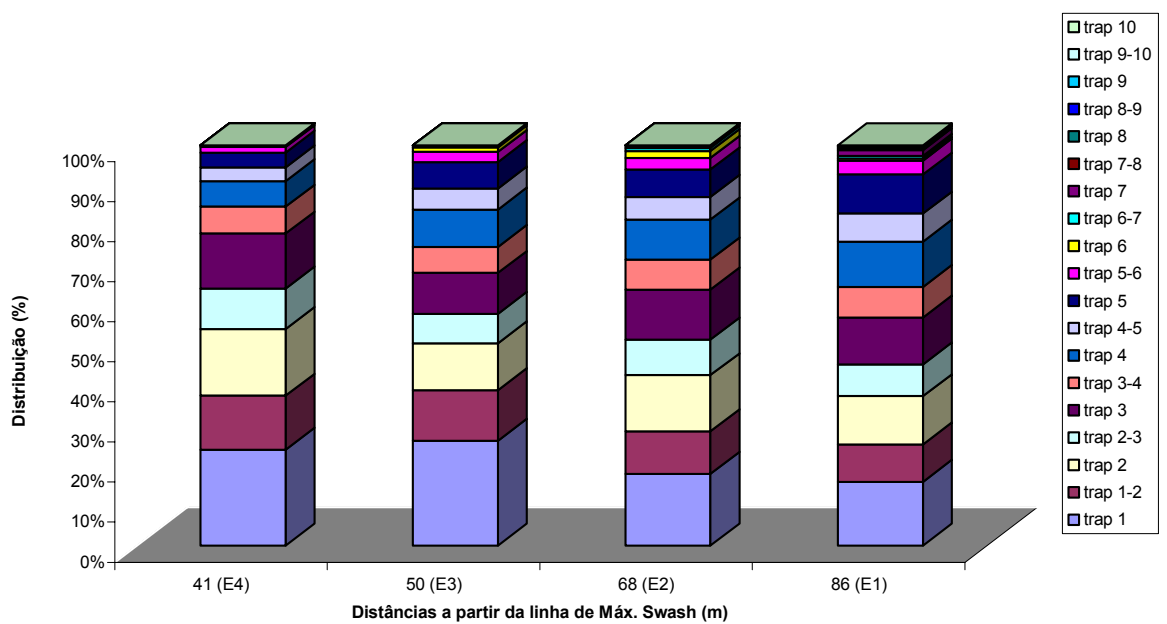


Figura 92 - Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação de coleta do Perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

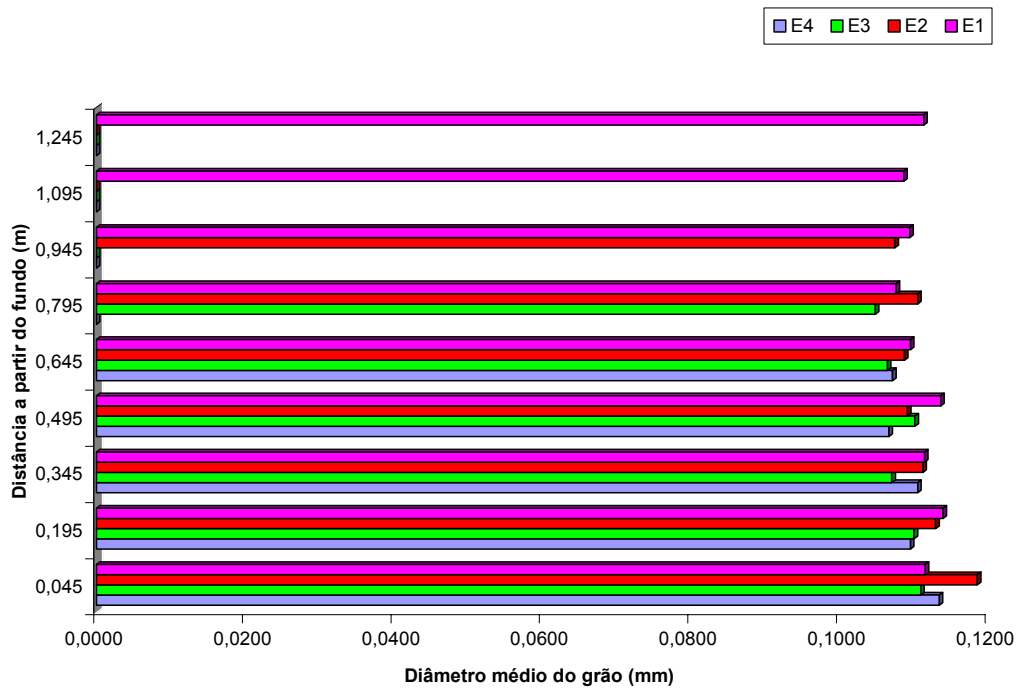


Figura 93 - Distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

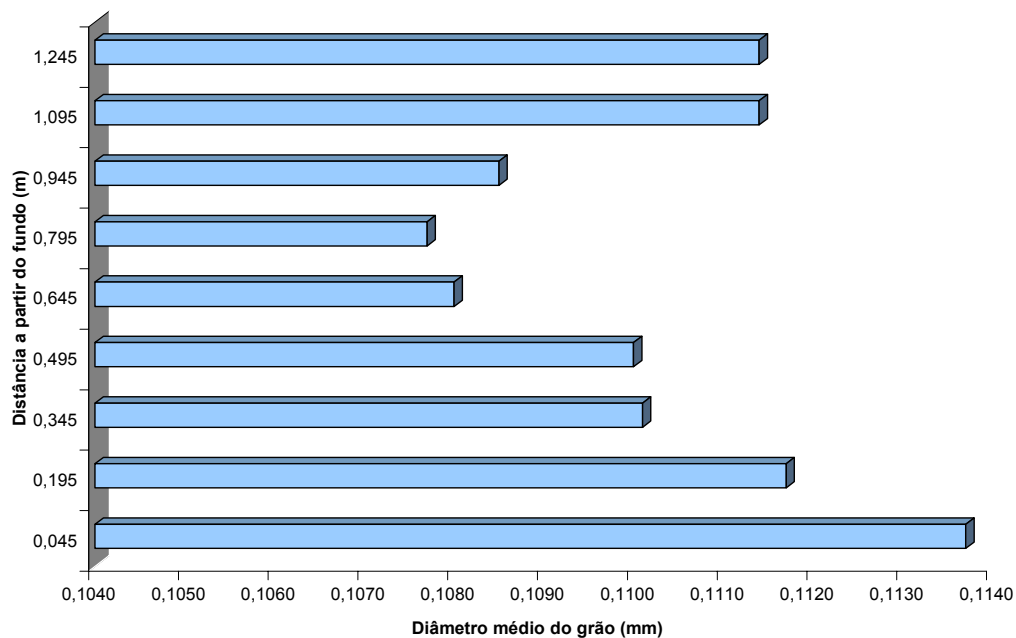


Figura 94 – Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por nível do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

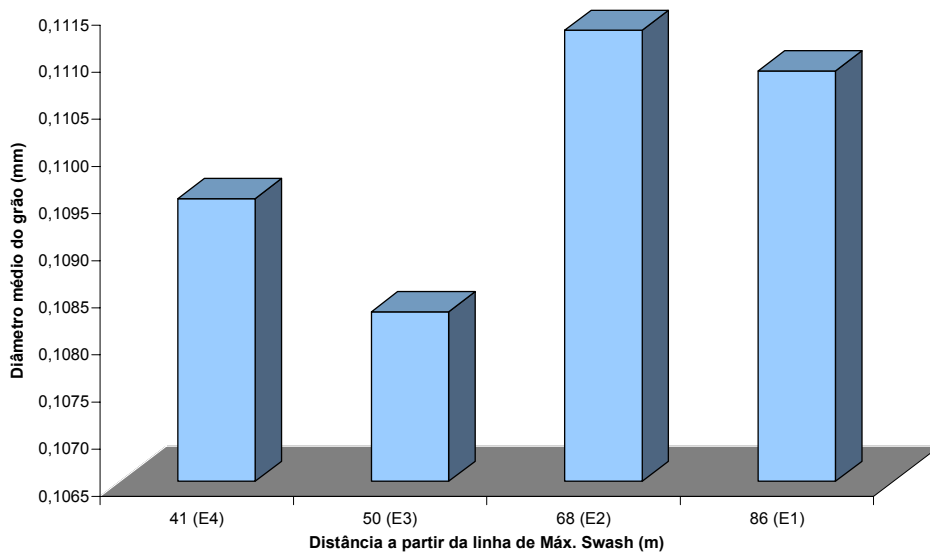


Figura 95 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003.

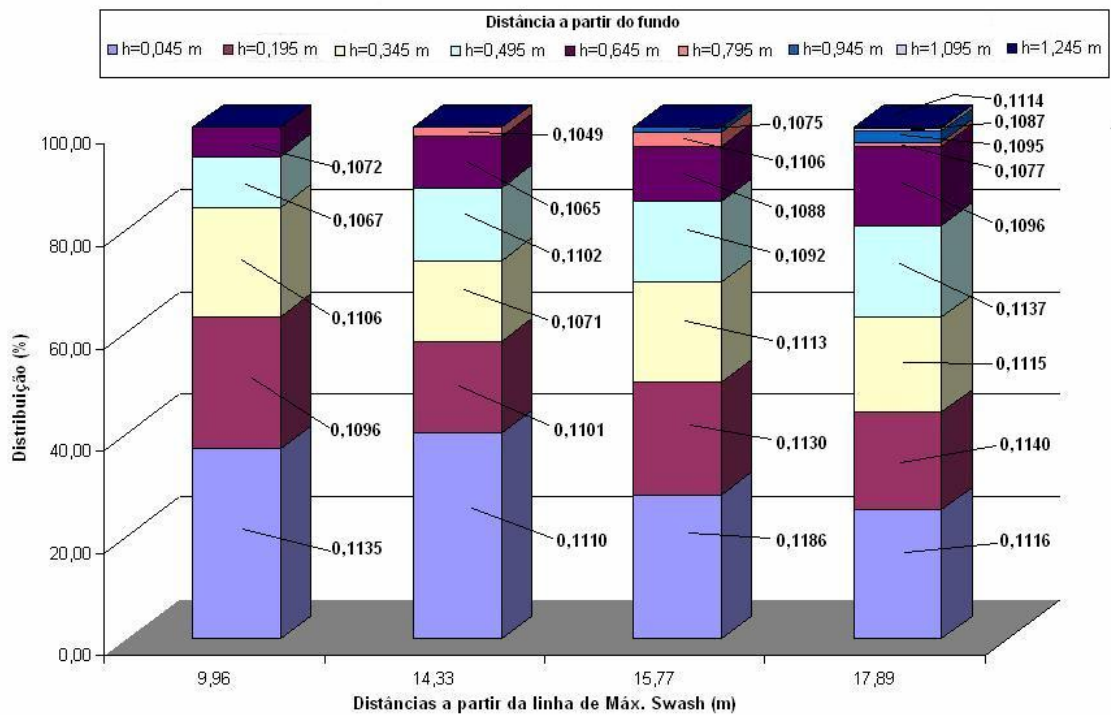


Figura 96 – Distribuição dos diâmetros 'D50' de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 4 durante a campanha de 05 Set 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

PERFIL-5 (P5)

Localizado 3 Km ao norte do Molhe Leste, na praia do Mar Grosso, no ponto de coordenadas $32^{\circ}07'15''\text{S}$ e $52^{\circ}03'14''\text{W}$, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Neste perfil foi observada a ocorrência de 3 linhas de arrebentação, entretanto somente foi possível realizar coleta de sedimentos até a primeira linha mais próxima da praia.

Transporte longitudinal

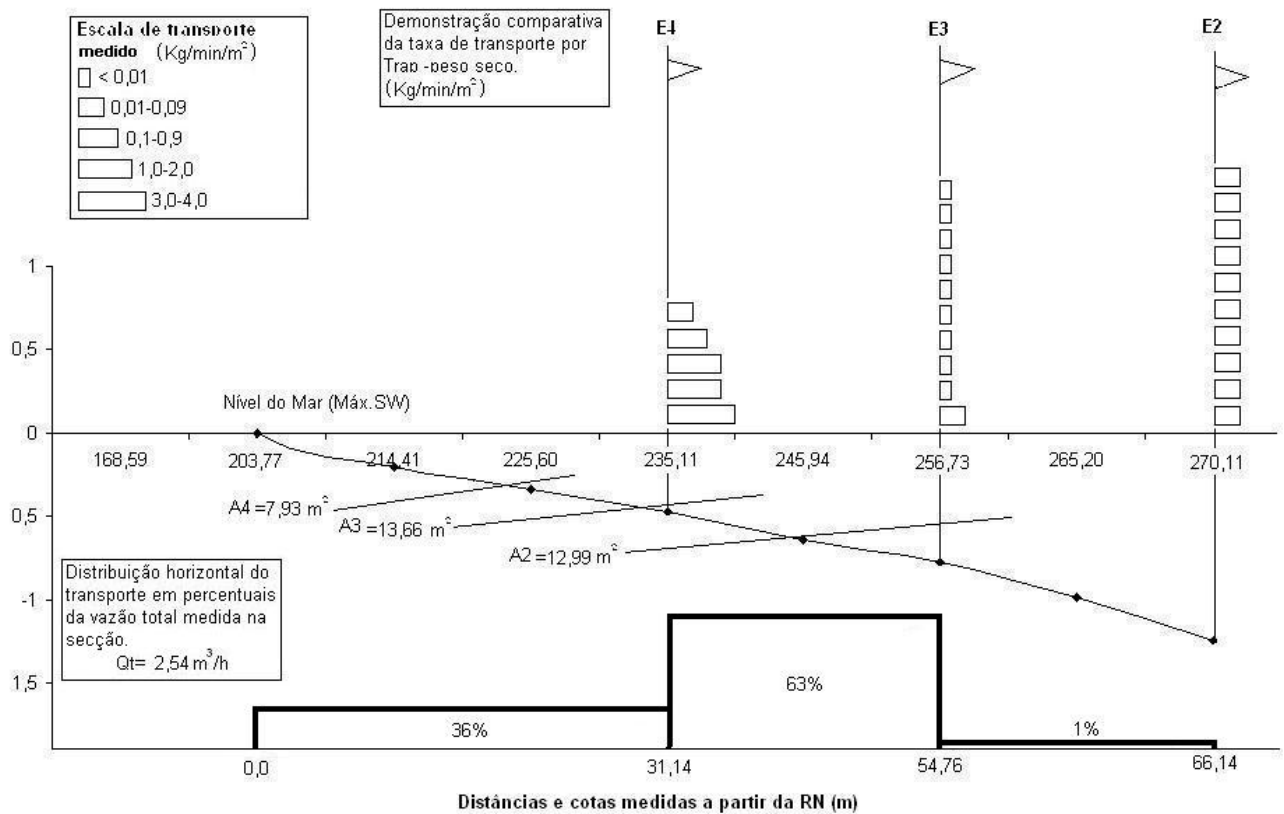


Figura 97 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

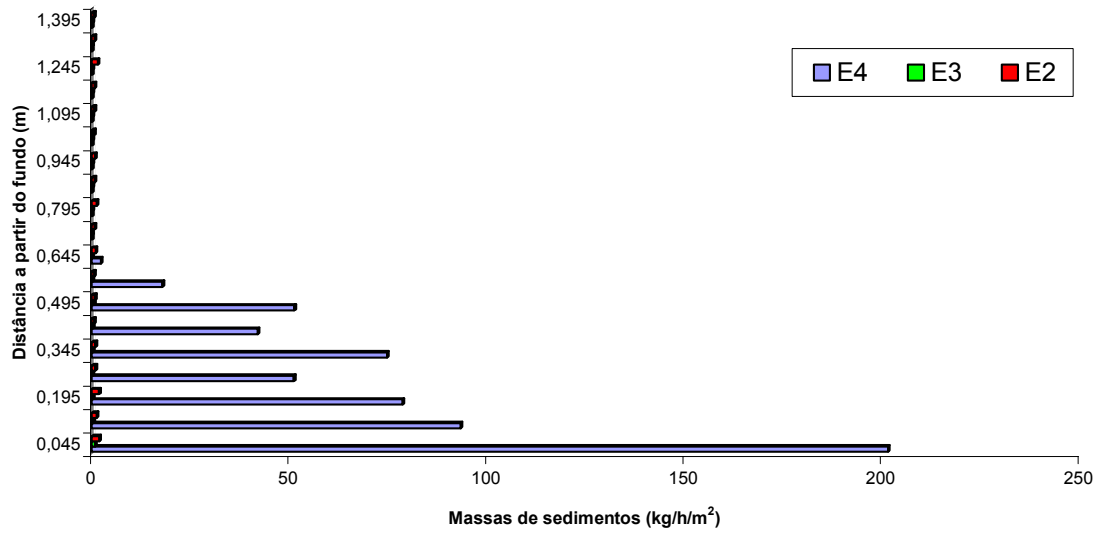


Figura 98 - Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

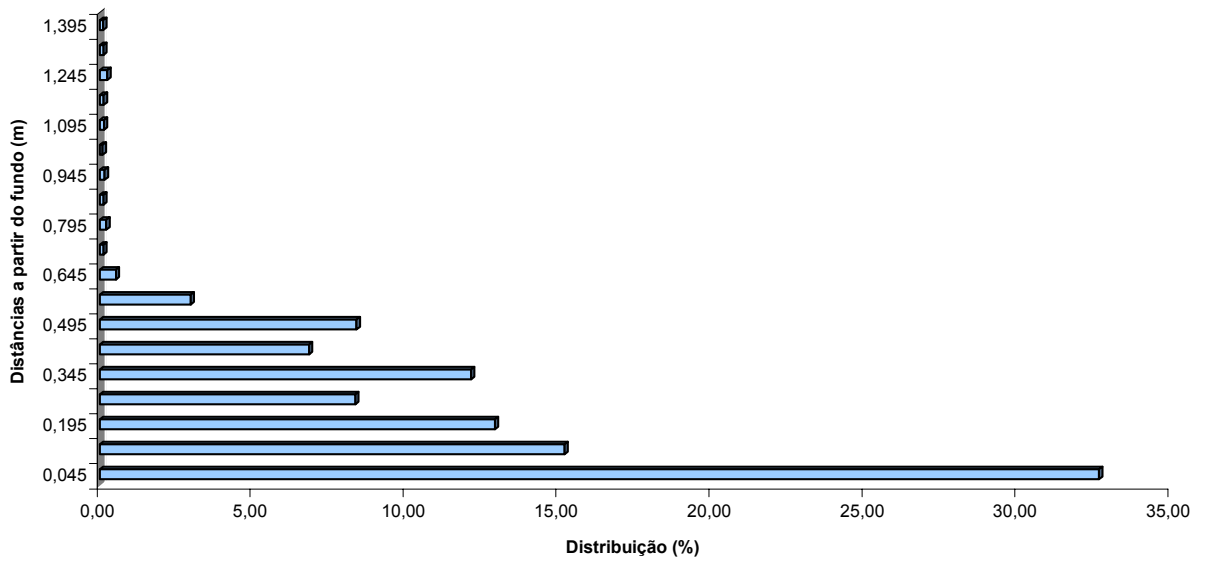


Figura 99 - Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

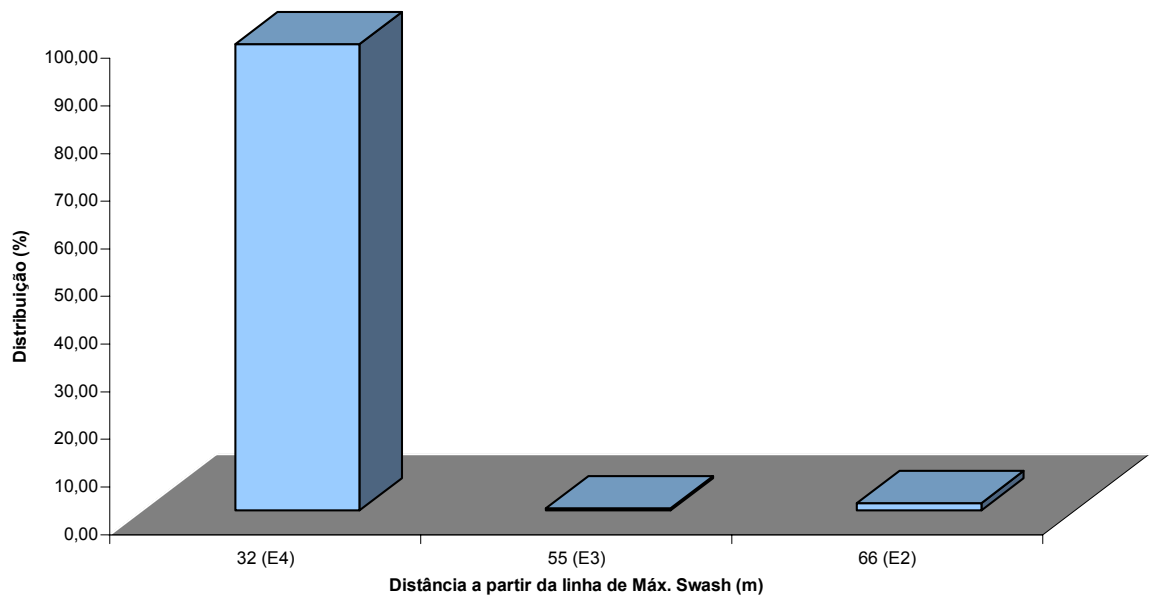


Figura 100 - Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

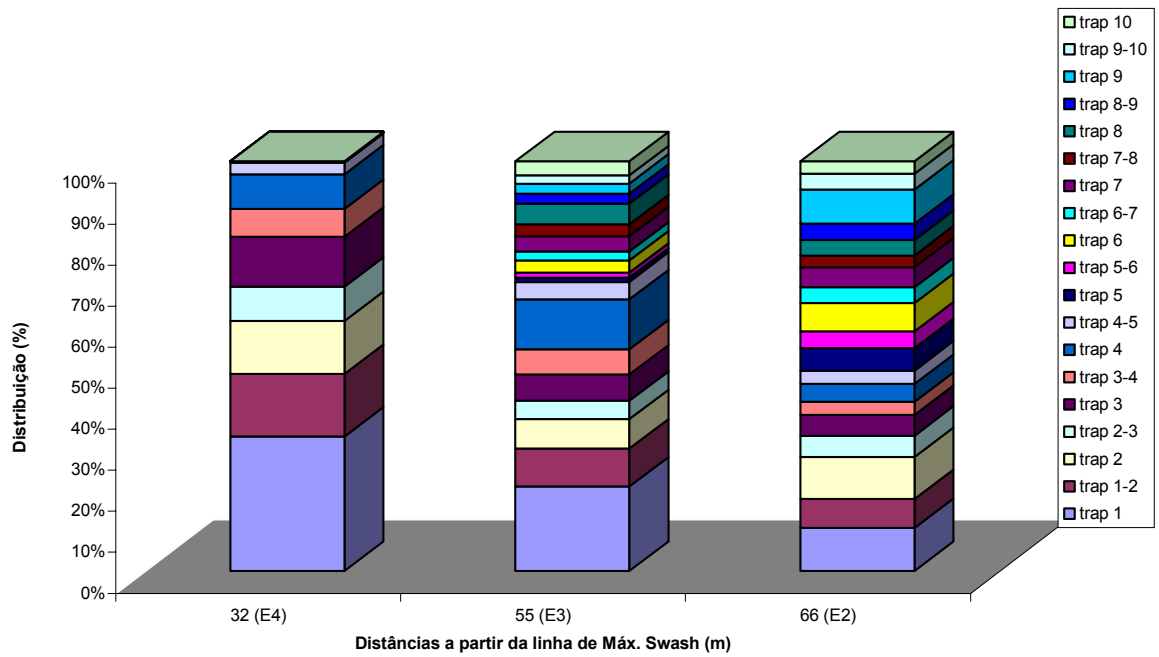


Figura 101 - Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

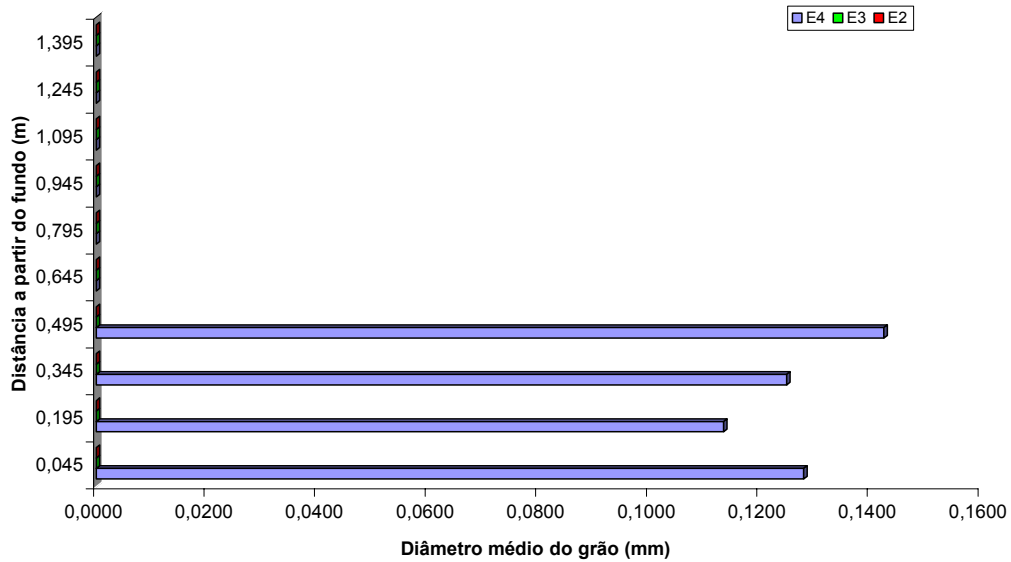


Figura 102 - Distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

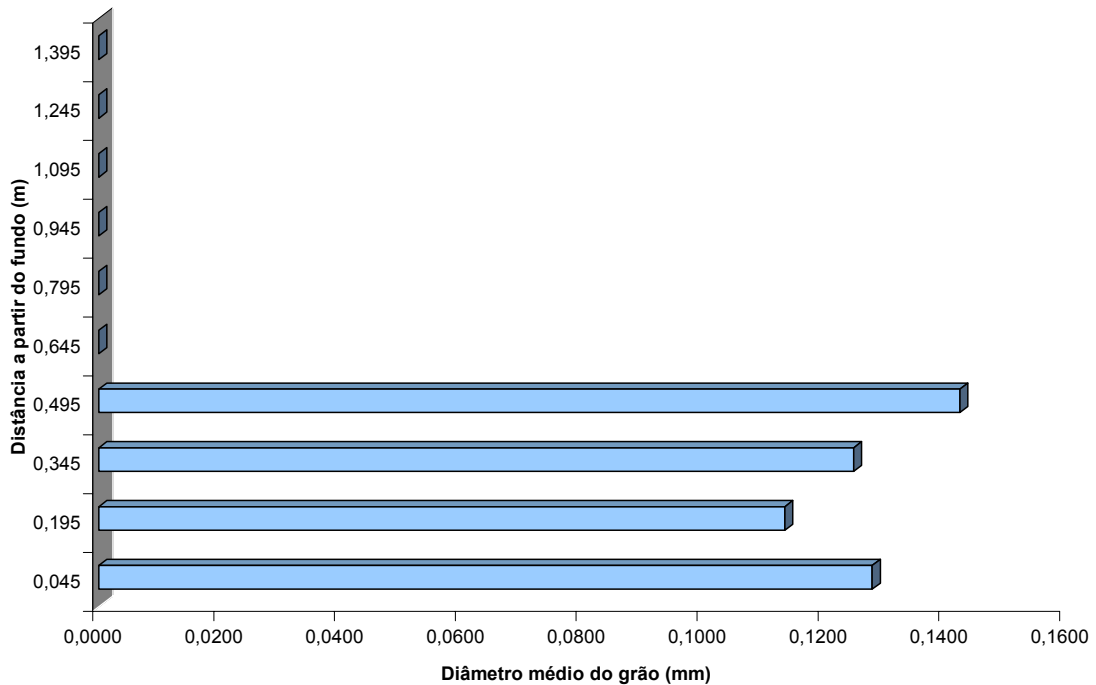


Figura 103 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por nível do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

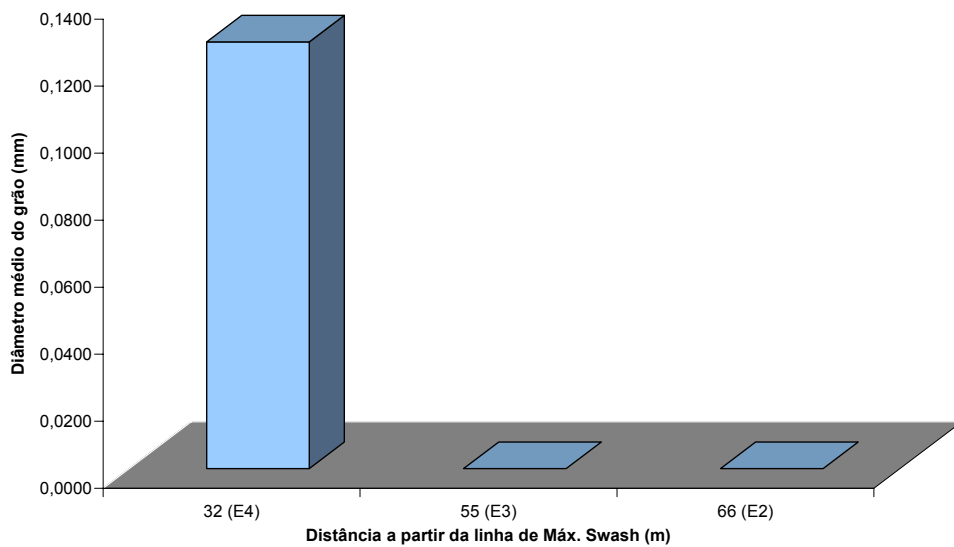


Figura 104 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003.

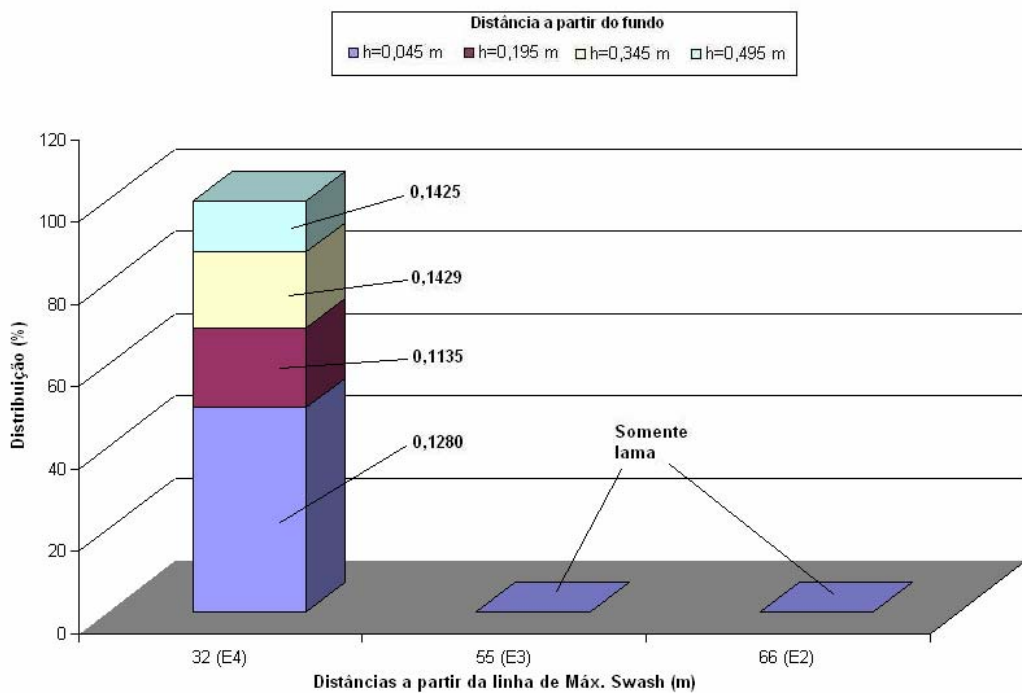


Figura 105 – Distribuição dos diâmetros 'D50' de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 5 durante a campanha de 17 Jan 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

PERFIL-6 (P6)

Localizado 12 Km ao norte do Molhe Leste, na praia do Mar Grosso, em frente ao restaurante CARAMUJO, no ponto de coordenadas 32°03'30''S e 51°59'30''W, conforme mapa de localização apresentado nas figuras 1 (p.42) e 2 (p.43). Neste perfil foi observada a ocorrência de 3 linhas de arrebentação, entretanto, da mesma forma que no perfil-5 somente foi possível realizar coleta de sedimentos até a primeira linha mais próxima da praia.

Transporte longitudinal

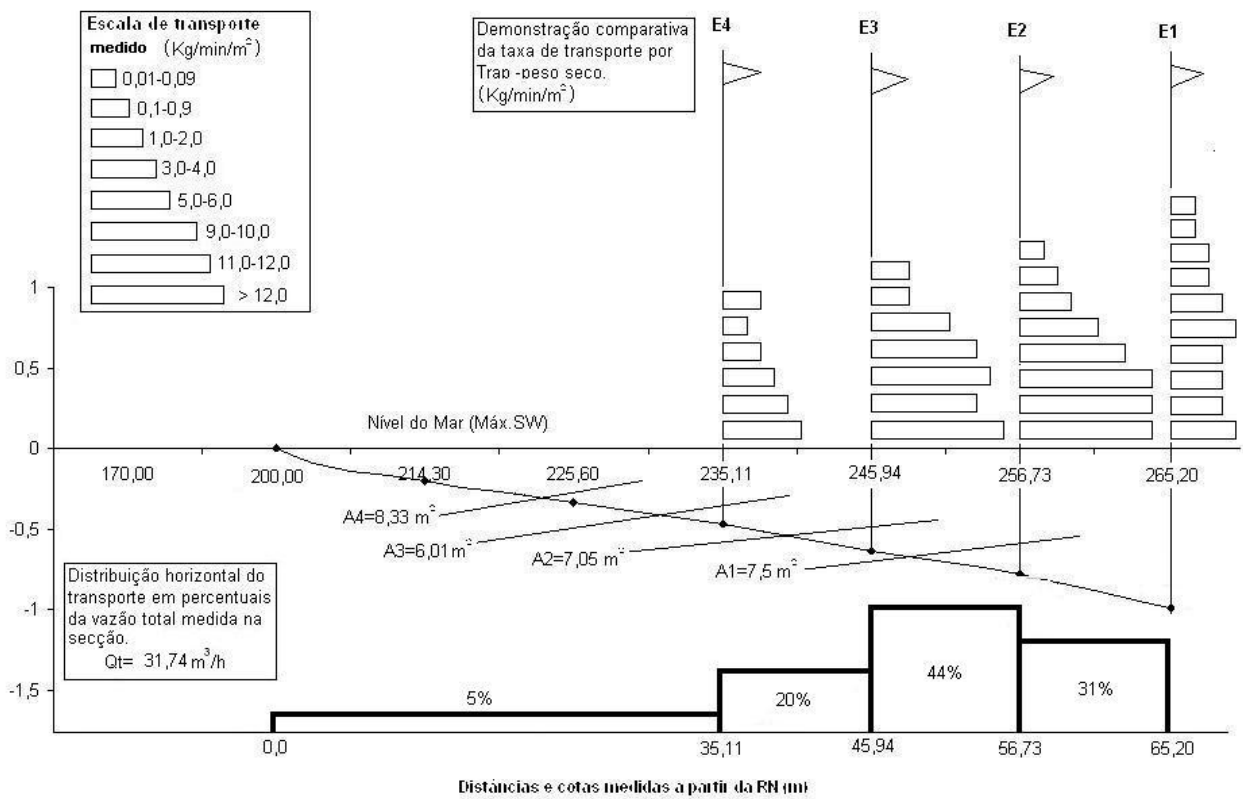


Figura 106 – Distribuição horizontal e vertical da taxa de transporte longitudinal de areia medida no Perfil-6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

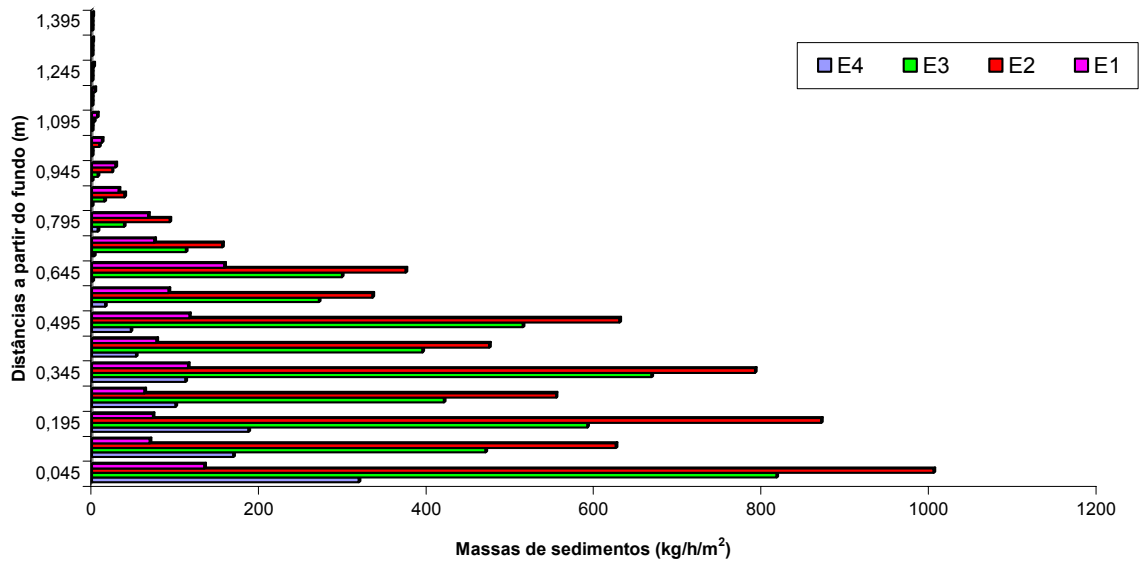


Figura 107 - Massas de sedimentos amostrados por nível e por estação do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

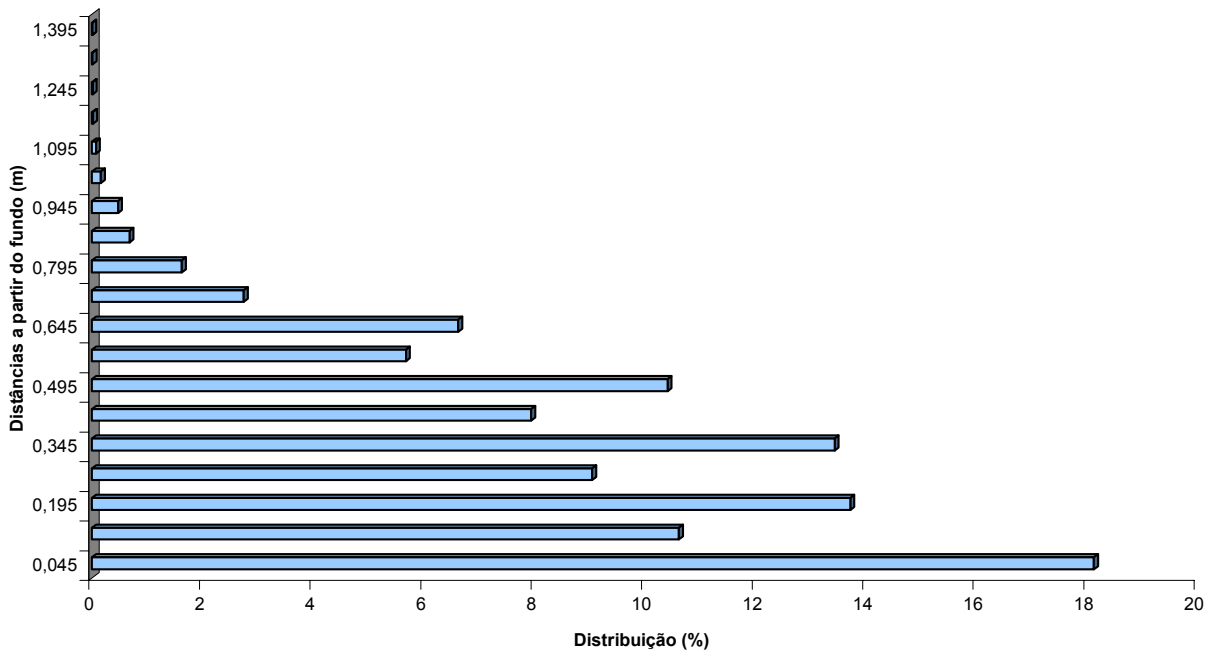


Figura 108 - Distribuição do transporte total por cada um dos níveis do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

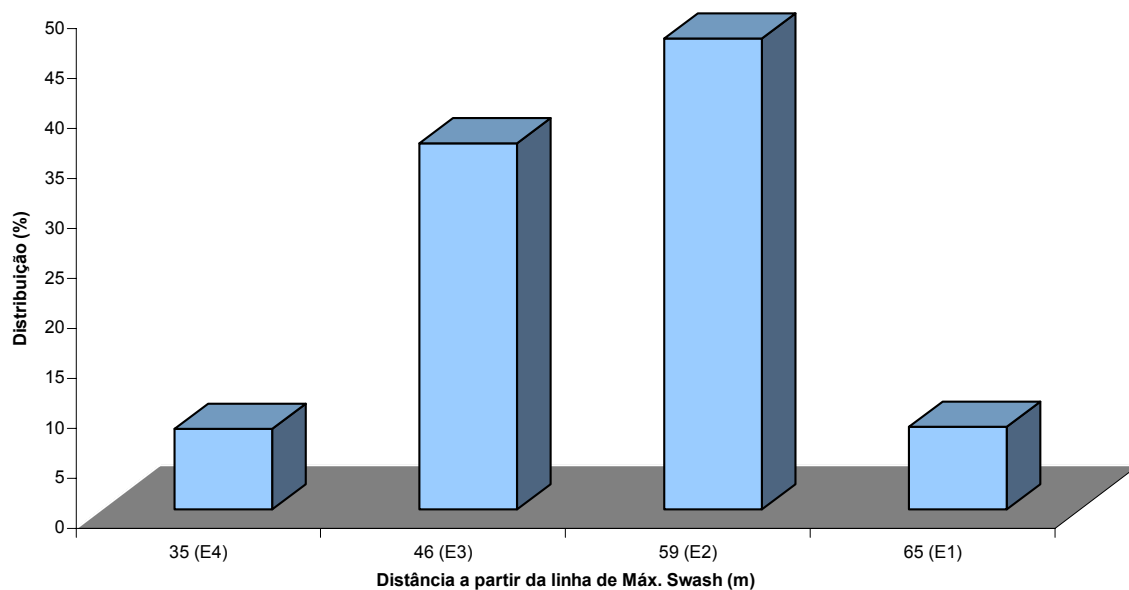


Figura 109 - Distribuição do transporte total por cada uma das estações do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

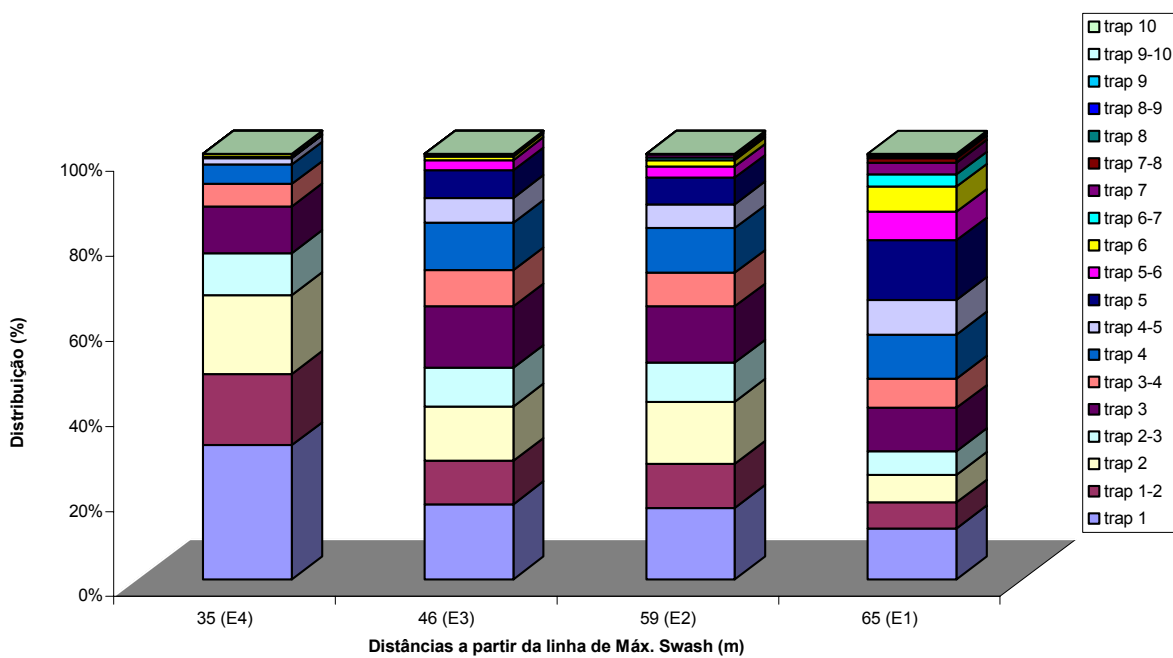


Figura 110 - Contribuição de cada nível para o transporte total medido por estação do Perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

Caracterização sedimentológica das areias transportadas

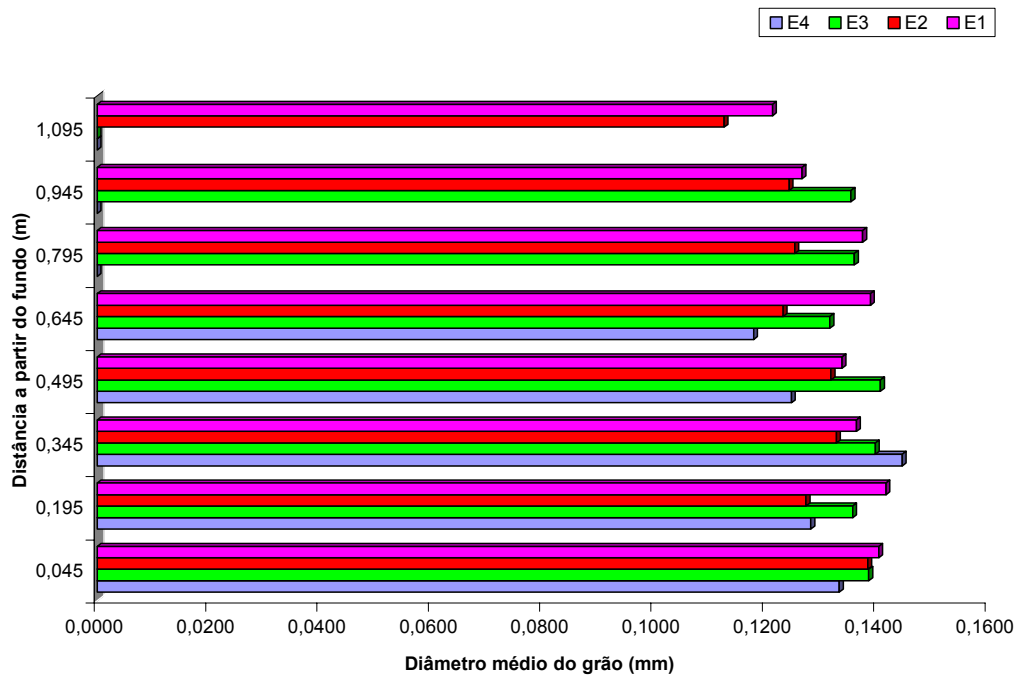


Figura 111 - Distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Feb 2003.

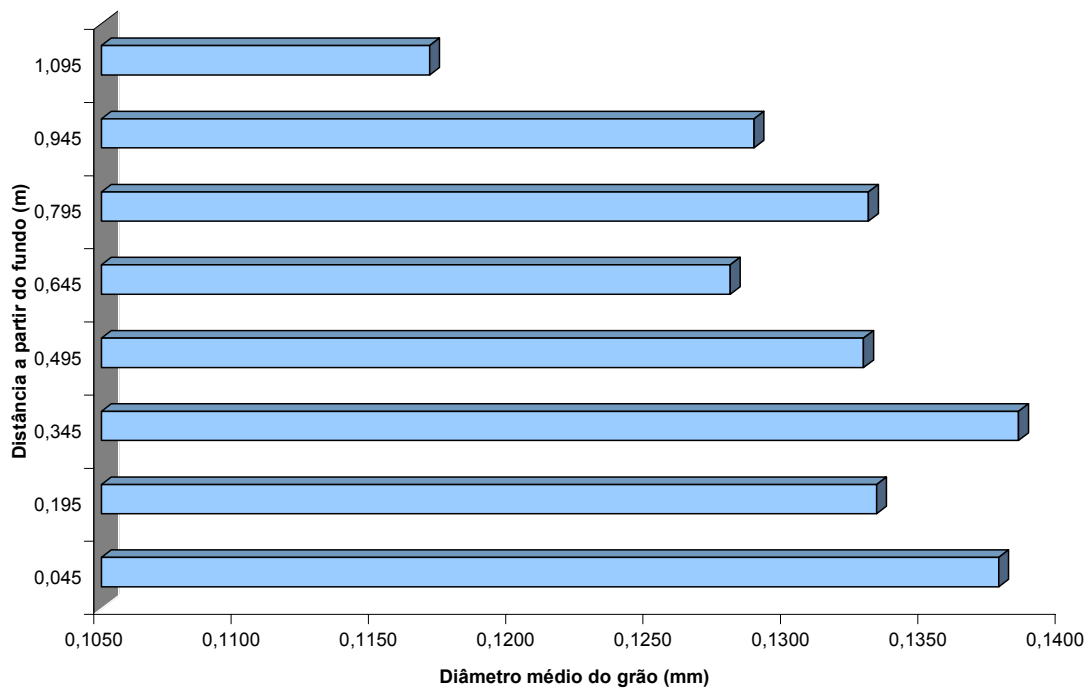


Figura 112 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por nível do perfil 6 durante a campanha de 21 Feb 2003.

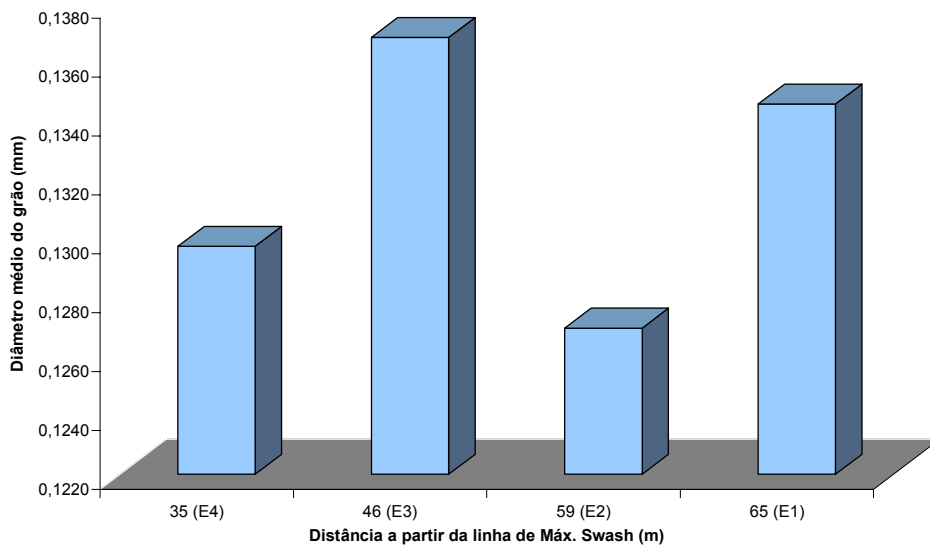


Figura 113 - Distribuição da média dos diâmetros 'D50' por estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003.

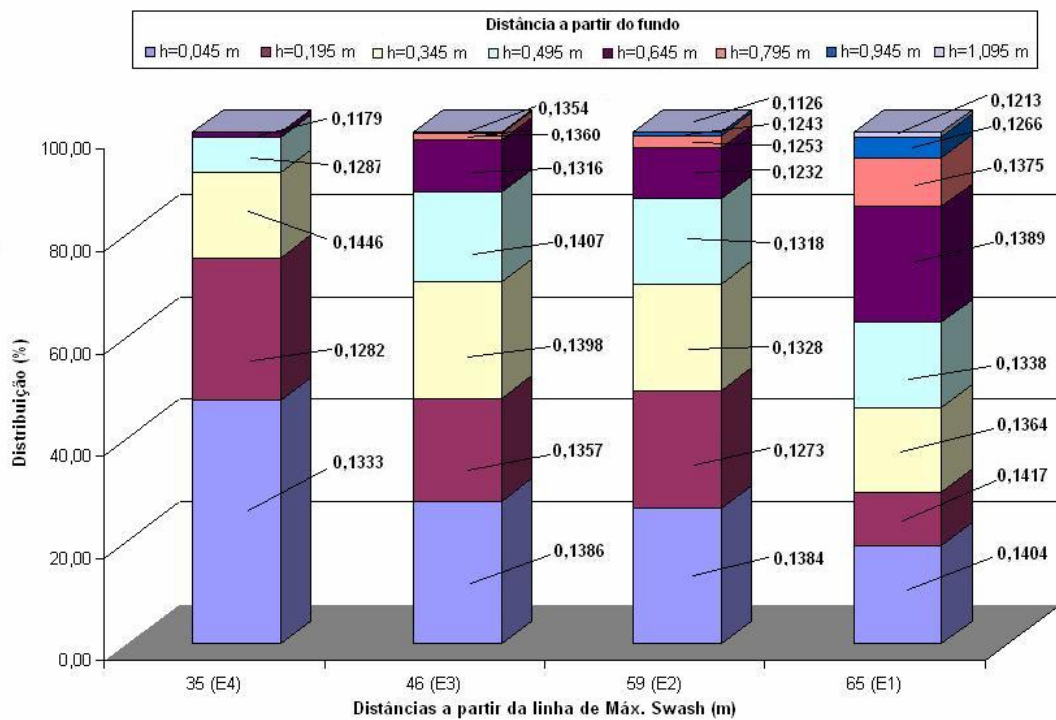


Figura 114 – Distribuição dos diâmetros 'D50' de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica de cada estação do perfil 6 durante a campanha de 21 Fev 2003. Os diâmetros dos grãos estão apresentados em milímetros.

Valores medidos na região de interesse (pontuais e médios)

Transporte longitudinal

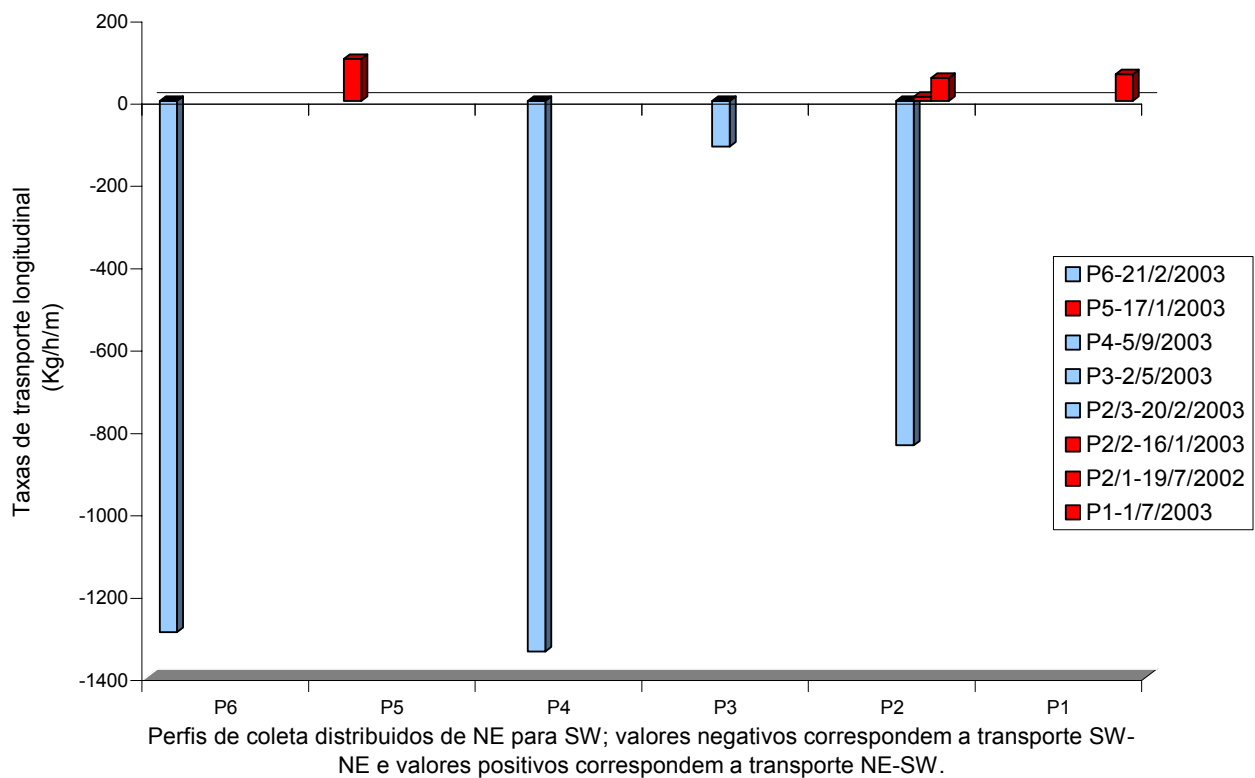


Figura 115 – Gráfico apresentando o valor das taxas horárias de vazão sólida e direções dos transportes longitudinais medidos sobre os perfis de controle em cada uma das campanhas de coleta realizadas.

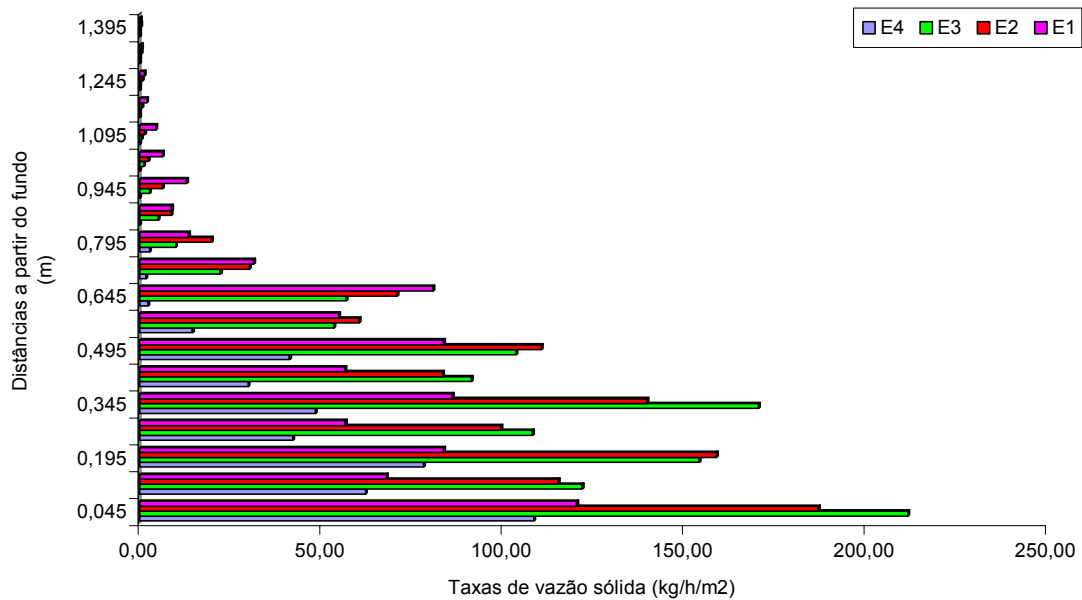


Figura 116 – Gráfico apresentando o valor médio das taxas horárias de vazão sólida por nível da coluna d'água e por estação de coleta. Média dos seis perfis de controle.

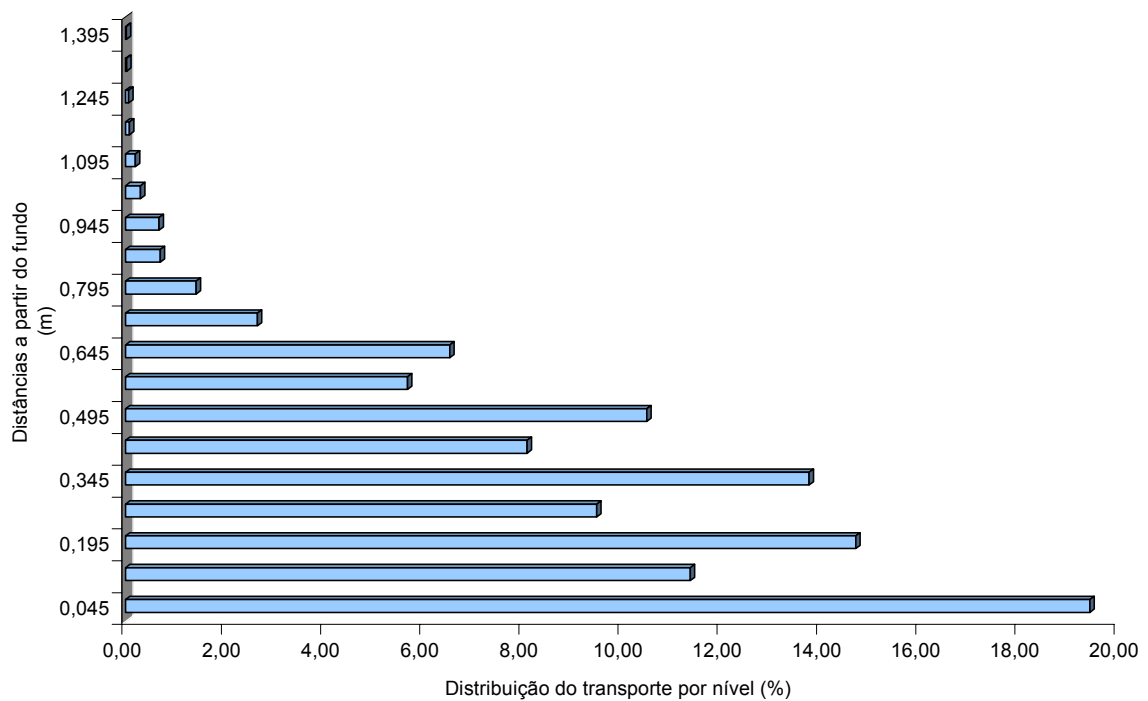


Figura 117 – Gráfico apresentando a distribuição do transporte total por cada um dos níveis coletados. Média dos seis perfis de controle.

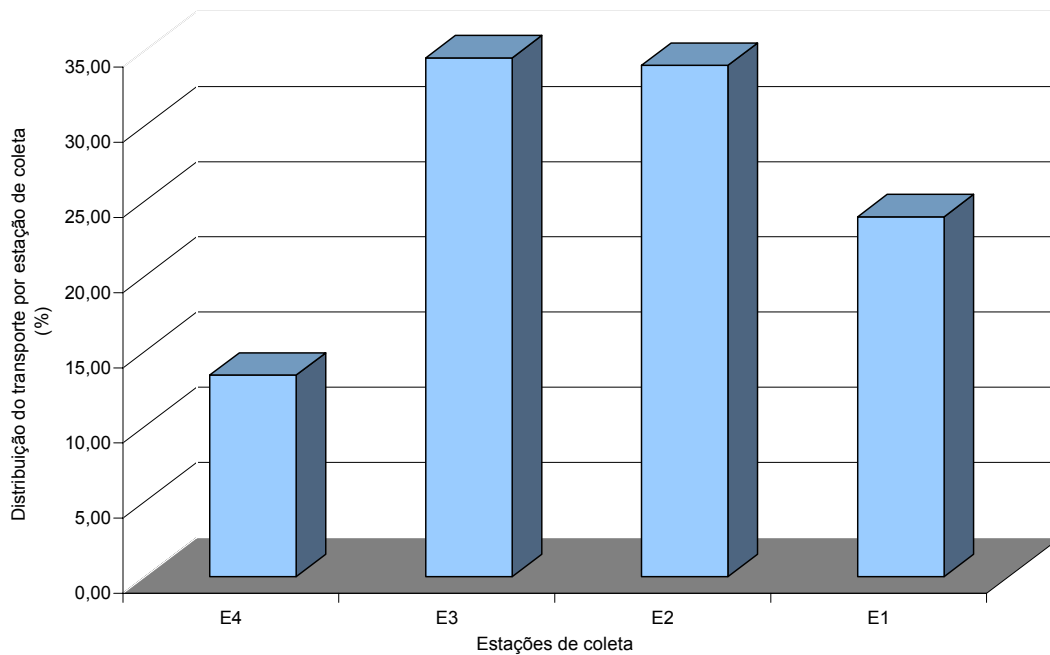


Figura 118 – Gráfico apresentando a distribuição do transporte total por cada uma das estações de coleta. Média dos seis perfis de controle.

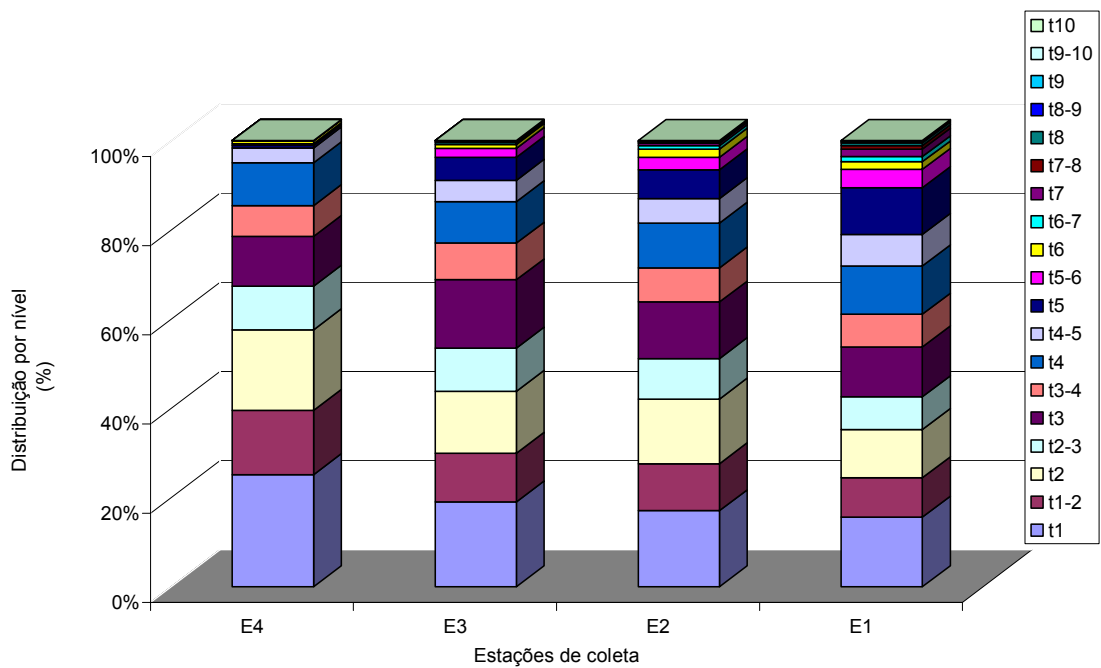


Figura 119 – Gráfico apresentando a contribuição de cada nível para o transporte total. Média dos seis perfis de controle.

Caracterização sedimentológica do transporte longitudinal

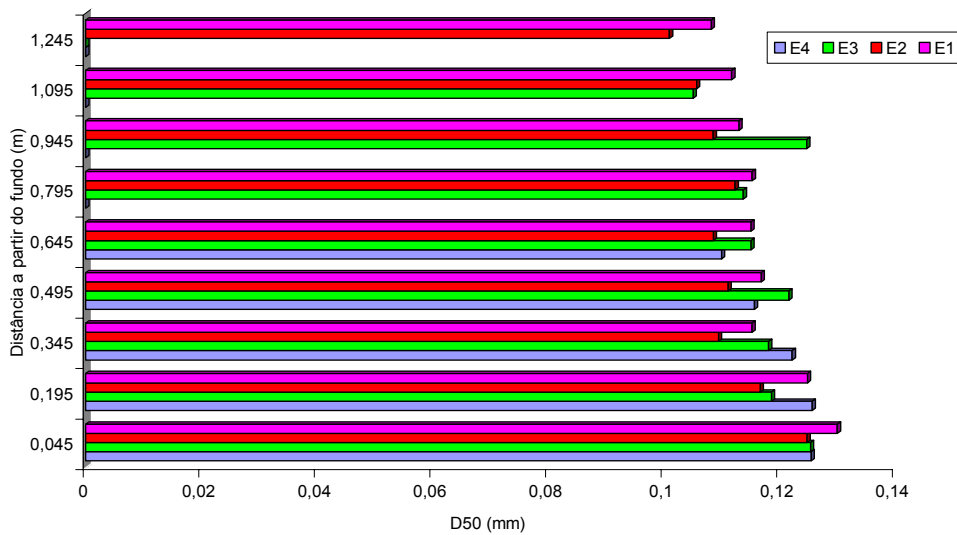


Figura 120 – Gráfico apresentando os valores médios da distribuição dos diâmetros 'D50' por nível e por estação de coleta, abrangendo toda a região de interesse; Média dos seis perfis estudados.

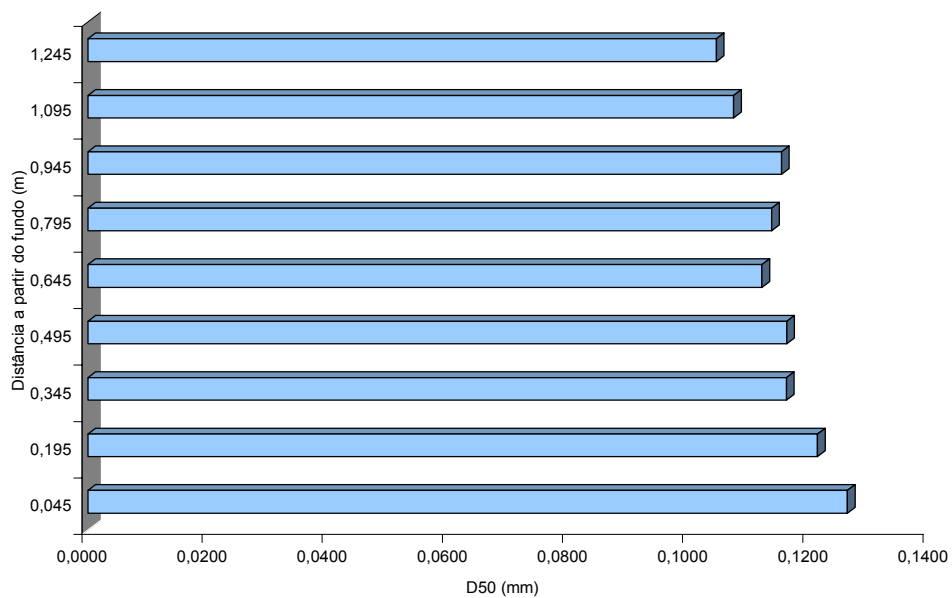


Figura 121 – Gráfico apresentando os valores médios da distribuição dos diâmetros 'D50' por cada um dos níveis de coleta, abrangendo toda a região de interesse; Média dos seis perfis estudados.

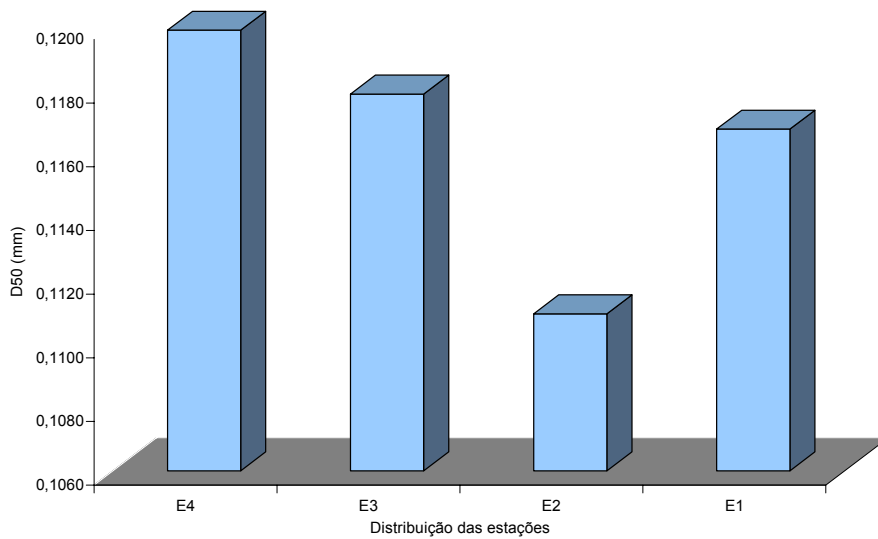


Figura 122 – Gráfico apresentando os valores médios da distribuição dos diâmetros ‘D50’ por cada uma das estações de coleta, abrangendo toda a região de interesse; Média dos seis perfis estudados.

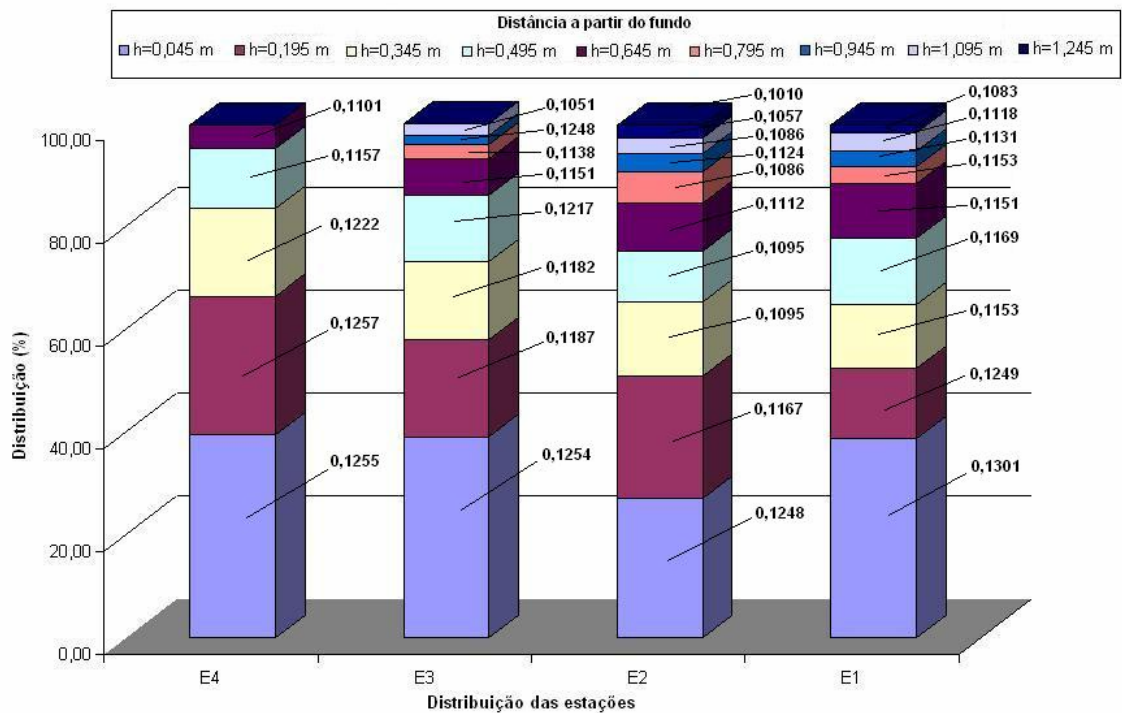


Figura 123 – Gráfico apresentando o valor médio da distribuição dos diâmetros ‘D50’ de cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica média da área de interesse; Média dos seis perfis estudados.

Transporte de fundo e suspensão ('bedload' e 'suspended load')

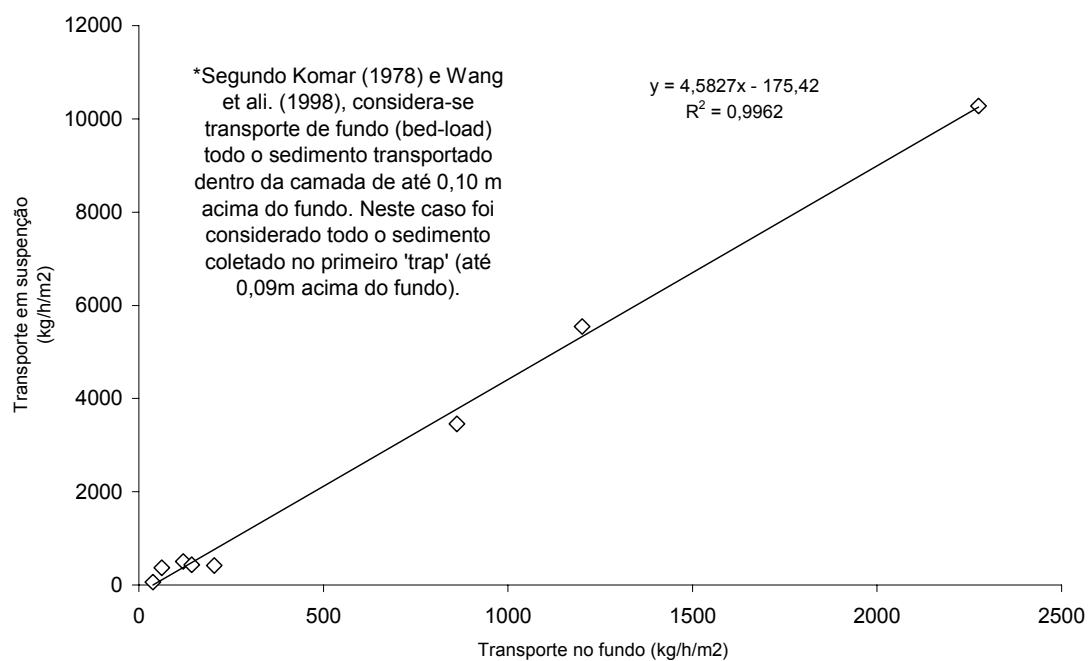


Figura 124 – Correlação entre as taxas medidas de sedimentos transportados em suspensão (suspended load) e as taxas medidas de sedimentos transportados junto ao fundo (bedload); dados obtidos dos seis perfis observados.

Transporte no espraimento

Valores médios da área de interesse

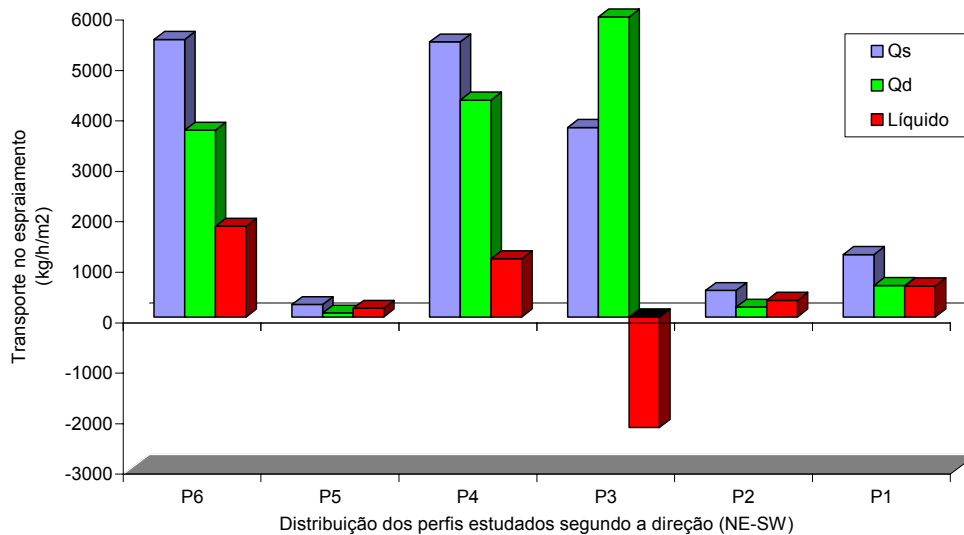


Figura 125 - Taxas de vazão do transporte sólido por unidade de área da secção do transversal do fluxo no ponto de coleta. Valores considerando o sentido de transporte em cada um dos perfis sob condições atmosféricas normais; 'Qs' (Transporte para a praia), 'Qd' (Transporte para o mar).

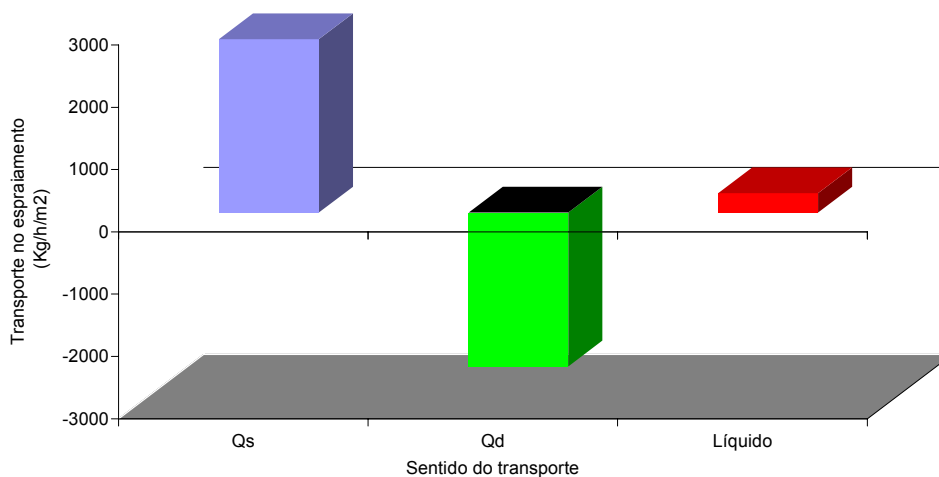


Figura 126 – Taxas médias de vazão de transporte sólido por unidade de área da secção do transversal do fluxo no ponto de coleta. Média dos seis perfis sob condições atmosféricas normais; 'Qs' (Transporte para a praia), 'Qd' (Transporte para o mar).

Caracterização sedimentológica do transporte no espriamento

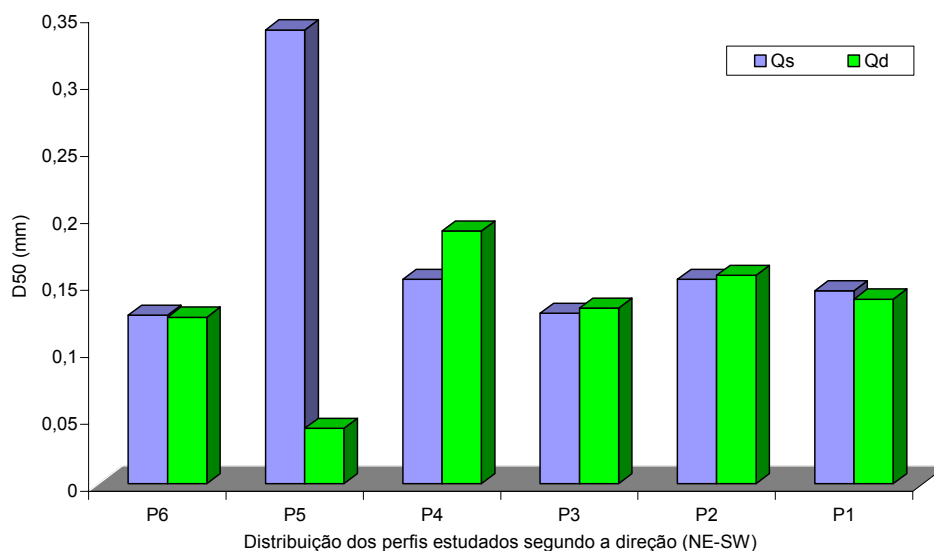


Figura 127 – Gráfico apresentando a distribuição do valor médio dos D50 em cada perfil estudado e considerando o sentido do transporte; ‘Qs’ (Transporte para praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar).

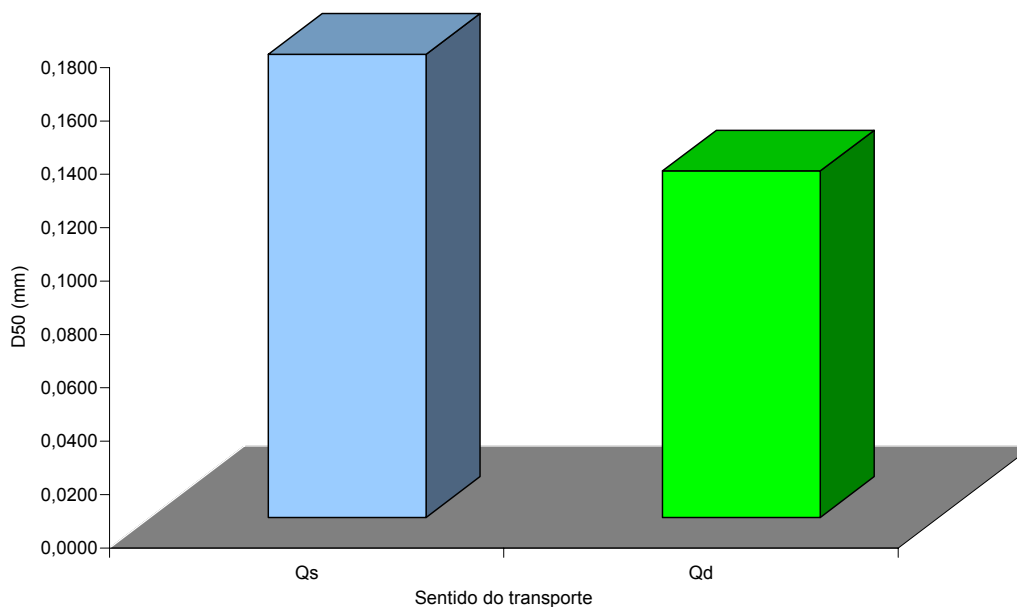


Figura 128 – Gráfico apresentando o valor médio dos D50 distribuídos segundo o sentido do transporte; Média dos seis perfis estudados; ‘Qs’ (Transporte para praia), ‘Qd’ (Transporte para o mar).

5.2 Aproximações matemáticas

5.2.1 Escolha e calibração das equações empíricas

Corrente longitudinal

As equações listadas na Tabela 1 (p.96) foram utilizadas para aproximar os valores da velocidade da corrente longitudinal a partir dos dados hidrodinâmicos e morfométricos medidos na área de interesse. A seguir, os resultados calculados pelas equações da Tabela 1 (p.96) e as suas respectivas curvas são primeiro apresentados em conjunto na figura 129 (p.169) e a seguir individualmente na figura 130 (p.170). As médias dos valores avaliados por estas equações são comparados estatisticamente (testes de hipóteses) com a média dos valores medidos e estão relacionados na Tabela 3 (p.171):

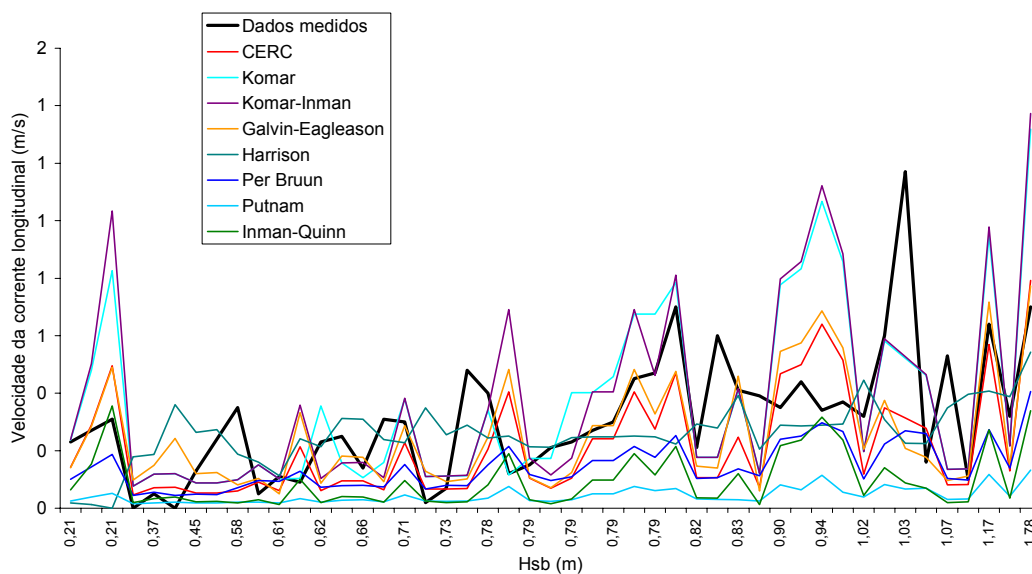


Figura 129 – Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na Tabela 1 (p.96) e os valores da velocidade longitudinal medida durante os trabalhos de campo. Os valores da velocidade da corrente longitudinal estão plotados contra a altura significativa das ondas na arrebatção medidas concomitantemente.

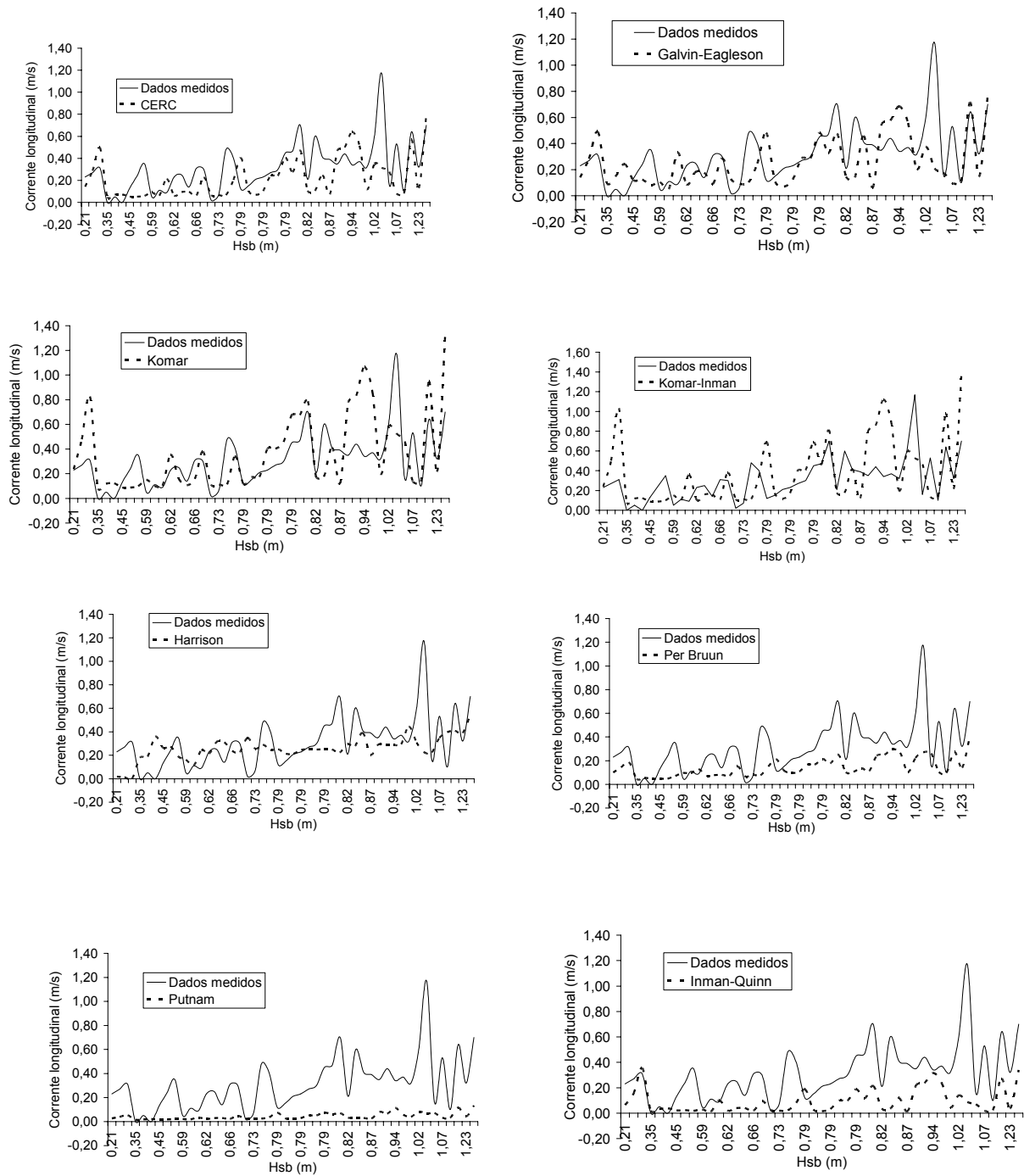


Figura 130 – Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da Tabela 1 (p.96) e a velocidade longitudinal medida durante os trabalhos de campo. Os valores da velocidade da corrente longitudinal estão plotados contra a altura significativa das ondas na arrebanção medidas concomitantemente.

Tabela 3 - Resultado obtido da comparação estatística entre a média dos valores medidos e a média dos valores calculados pelo conjunto de equações disponíveis na Tabela 1 (p.96), para a velocidade da corrente longitudinal. Foi utilizado para comparação o teste estatístico de hipóteses considerando a diferença entre as médias para um nível de significância de 5%. Foram utilizados dados medidos em 47 das 50 campanhas realizadas.

Item	Equação testada	Hipótese nula e Hip. alternativa	t cal.	t tab t ₉₂ - 5%	Resultado	R ²
1	Cerc (48)	$\mu_{Ce} = \mu_{Med}$ $\mu_{Ce} \neq \mu_{Med}$	2,15	1,99	Rejeitada	0,25
2	Komar (49)	$\mu_{Ko} = \mu_{Med}$ $\mu_{Ko} \neq \mu_{Med}$	0,96	1,99	Não Rejeitada	0,16
3	Komar-Inman (50)	$\mu_{K-I} = \mu_{Med}$ $\mu_{K-I} \neq \mu_{Med}$	1,12	1,99	Não Rejeitada	0,30
4	Galvan-Eagleson (51)	$\mu_{G-E} = \mu_{Med}$ $\mu_{G-E} \neq \mu_{Med}$	1,15	1,99	Não Rejeitada	0,24
5	Harrison (52)	$\mu_{Ha} = \mu_{Med}$ $\mu_{Ha} \neq \mu_{Med}$	1,42	1,99	Não Rejeitada	0,04
6	Per Bruun (53)	$\mu_{Per} = \mu_{Med}$ $\mu_{Per} \neq \mu_{Med}$	4,77	1,99	Rejeitada	0,37
7	Putnam (54)	$\mu_{Pu} = \mu_{Med}$ $\mu_{Pu} \neq \mu_{Med}$	8,11	1,99	Rejeitada	0,30
8	Inman-Quinn (55)	$\mu_{I-Q} = \mu_{Med}$ $\mu_{I-Q} \neq \mu_{Med}$	6,07	1,99	Rejeitada	0,16

Transporte longitudinal

As equações apresentadas na Tabela 2 (p.97) são utilizadas para aproximar os valores do transporte longitudinal medido na área de interesse. Para tanto, são usados os dados hidrodinâmicos e morfométricos medidos nos mesmos pontos e nas mesmas datas. Os valores encontrados são comparados estatisticamente com os valores do transporte medido, utilizando-se para tanto, o método estatístico de comparação entre as médias. As curvas geradas são comparadas em conjunto contra o valor do transporte medido e apresentadas na figura 131 (p.172), as mesmas comparações são feitas para cada caso particular e mostradas na figura 132 (p.173). Os resultados dos testes estatísticos comparando as médias avaliadas com a média medida são apresentados na Tabela 4 (p.174), considerado um nível de significância de 5%. Das oito equações testadas apenas três foram rejeitadas. Dentre as não rejeitadas apenas as equações do CERC e

KAMPHUIS-91 apresentaram resultados com ordem de grandeza próxima dos valores reais.

Este, inclusive, foi um dos motivos pelo qual as duas equações (CERC e K-91) foram escolhidas para serem calibradas pelos valores locais medidos e posteriormente utilizadas na extrapolação das taxas de transporte para períodos anuais. Os demais e principais motivos da escolha estão registrados no parágrafo terceiro da página 93. A média dos resultados obtidos a partir das equações calibradas, calculados valendo-se das medidas hidrodinâmicas e morfométricas feitas na região, é comparada estatisticamente com a média dos valores do transporte medidos nos mesmos locais e datas, para um nível de significância de 5%. Estas equações calibradas são apresentadas na Tabela 5 (p.174), seguidas da extensão ‘.Cas’.

A figura 133 (p.175) apresenta o conjunto de curvas avaliadas pelas equações calibradas plotadas contra o transporte medido, enquanto que a figura 134 (p.175) faz individualmente as mesmas comparações. Os testes estatísticos comparando as médias avaliadas com a média real, para um nível significância de 5%, têm seus resultados mostrados na Tabela 6 (p.176).

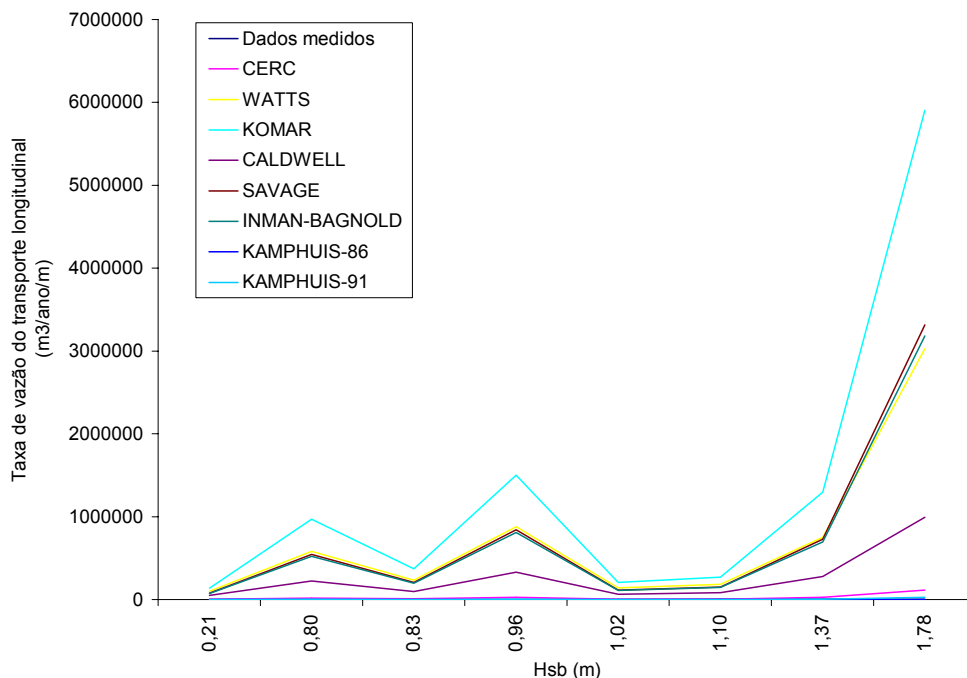


Figura 131 – Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na Tabela 2 (p.97) e o transporte longitudinal medido. As taxas de vazão são plotadas contra a altura significativa das ondas na arrebentação medidas no mesmo ponto e data.

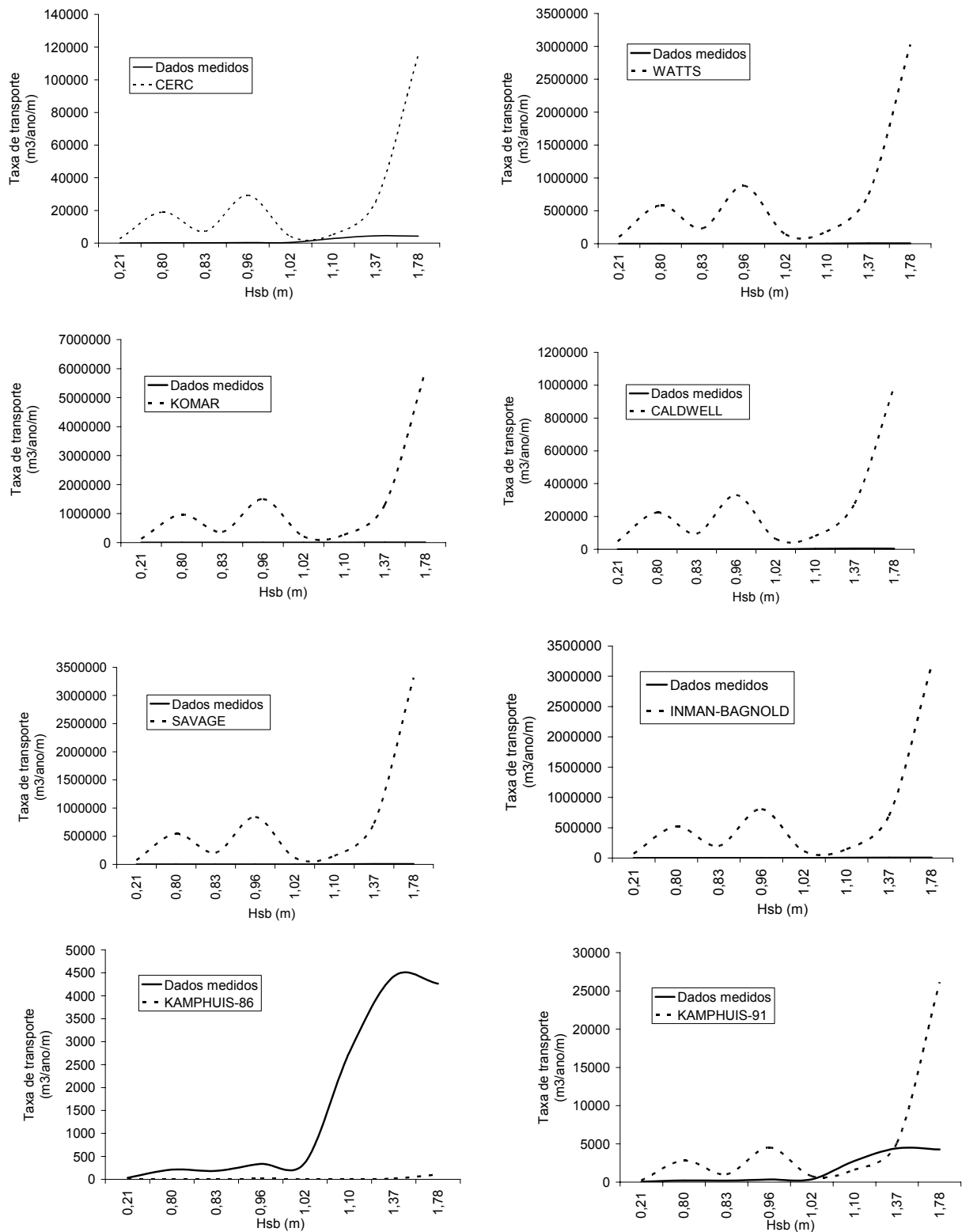


Figura 132 - Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da Tabela 2 (p.97) e o transporte longitudinal medido. As taxas de vazão são plotadas contra a altura significativa das ondas na arrebatção medidas no mesmo ponto e data.

Tabela 4 - Resultados obtidos da comparação estatística entre a média dos valores medidos e a média dos valores calculados por um conjunto de equações disponíveis na literatura e apresentadas na Tabela 2 (p.97), para o transporte longitudinal na zona de surfe.

Item	Equação testada	Hipótese nula e Hip. alternativa	t cal.	t tab T _{14-5%}	Resultado	R ²
1	Cerc (56)	$\mu_{Cerc} = \mu_{Med}$ $\mu_{Cerc} \neq \mu_{Med}$	1,84	2,14	Não rejeitada	0,37
2	Watts (57)	$\mu_{Watts} = \mu_{Med}$ $\mu_{Watts} \neq \mu_{Med}$	2,14	2,14	Rejeitada	0,37
3	Komar (58)	$\mu_{Komar} = \mu_{Med}$ $\mu_{Komar} \neq \mu_{Med}$	1,95	2,14	Não rejeitada	0,37
4	Caldwell (59)	$\mu_{Cald} = \mu_{Med}$ $\mu_{Cald} \neq \mu_{Med}$	2,37	2,14	Rejeitada	0,36
5	Savage (60)	$\mu_{Savage} = \mu_{Med}$ $\mu_{Savage} \neq \mu_{Med}$	1,95	2,14	Não rejeitada	0,37
6	Inman-Bagnold (61)	$\mu_{In-Bag} = \mu_{Med}$ $\mu_{In-Bag} \neq \mu_{Med}$	1,95	2,14	Não rejeitada	0,37
7	Kamphuis-86 (62)	$\mu_{K86} = \mu_{Med}$ $\mu_{K86} \neq \mu_{Med}$	2,28	2,14	rejeitada	0,42
8	Kamphuis-91 (63)	$\mu_{K91} = \mu_{Med}$ $\mu_{K91} \neq \mu_{Med}$	1,18	2,14	Não rejeitada	0,41

Tabela 5 - Equações empíricas do transporte longitudinal, escolhidas da Tabela 4 (p.174) e calibradas para os dados de transporte medidos na área de interesse.

Qt= Transporte longitudinal total; ρ = massa específica da água; g= constante gravitacional; Hsb= altura significativa da onda no ponto de quebra; α_b = ângulo de incidência da onda no ponto de quebra; m= declividade da praia na zona de surfe; D50= diâmetro médio do grão; T= período de pico; db= profundidade no ponto de quebra; Hrmsb= altura 'rms' da onda no ponto de quebra.

Item	Autor	Equação Reajustada
1	CERC.Cas (65)	$Q_{t,Cas} = \frac{K}{16(s-1)(1-p)} \sqrt{\frac{g}{\gamma}} H_{sb}^{2,5} \cdot \text{sen}2\alpha_b (m^3 / s)$ $K = 0,2 - 1,6(\text{Bodge \& Kraus, 1991})$ $K_{Cas} \approx 0,01(\text{calibrado - Cond. Atmosf. Normais})$ $s = \frac{\rho_s}{\rho} \approx 2,58 \Leftrightarrow p \approx 0,4 \Leftrightarrow H_{sb} = \sqrt{2} \cdot H_{rms}$
2	Kamphuis-91.Cas (66)	$Q_{t,Cas} = K \frac{\rho H_{sb}^3}{T_p} \left(\frac{H_{sb}}{L_o} \right)^{-1,25} m_b^{0,75} \left(\frac{H_{sb}}{D_{50}} \right)^{0,25} (\text{sen}2\alpha_b)^{0,6} (Kg / s)$ $K = 1,3 \cdot 10^{-3} (\text{Kamphuis, 1991})$ $K_{cas} \approx 1,3 \cdot 10^{-4} (\text{Cond. Atmosf. Normais})$ $H_{sb} = \sqrt{2} \cdot H_{rms}$

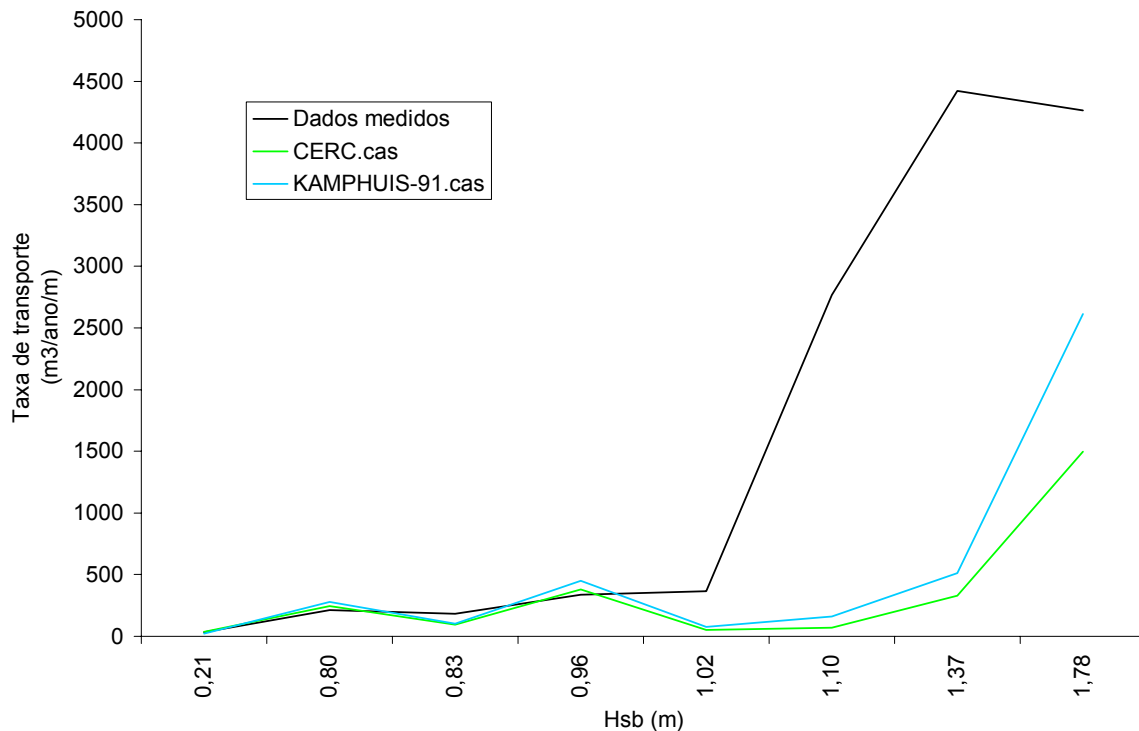


Figura 133 - Comparação entre o conjunto de curvas avaliadas pelas equações apresentadas na Tabela 5 (p.174) e os valores do transporte longitudinal medido. Dados hidrodinâmicos, morfométricos e de transporte medidos nos mesmos pontos e datas.

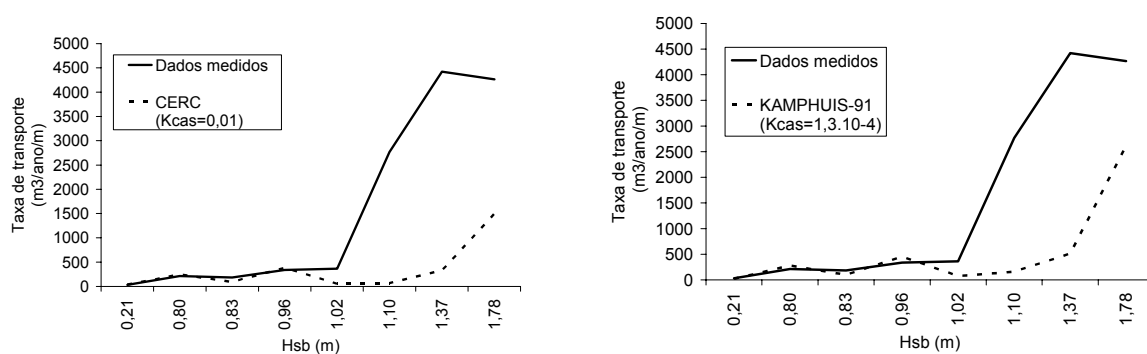


Figura 134 - Comparação individual entre as curvas avaliadas pelas equações da Tabela 5 (p.174) e os valores do transporte longitudinal medido. Dados hidrodinâmicos, morfométricos e de transporte medidos nos mesmos pontos e datas.

Tabela 6 - Resultado obtido da comparação estatística entre a média dos valores medidos e a média dos valores calculados pelas equações calibradas e apresentadas na Tabela 5 (p.174), para o transporte longitudinal. Foi utilizado para comparação o teste estatístico de hipóteses considerando a diferença entre as médias para um nível de significância de 5%.

Item	Equação testada	Hipótese nula e Hip. alternativa	t cal.	t tab $t_{14} - 5\%$	Resultado	R ²
1	Cerc.Cas (65)	$\mu_{\text{Cerc.cas}} = \mu_{\text{Med}}$ $\mu_{\text{Cerc.cas}} \neq \mu_{\text{Med}}$	1,75	2,14	Não rejeitada	0,37
2	K-91.Cas (66)	$\mu_{\text{K91.cas}} = \mu_{\text{Med}}$ $\mu_{\text{K91.cas}} \neq \mu_{\text{Med}}$	1,40	2,14	Não rejeitada	0,41

As equações calibradas (Tabela 5, p.174) serão utilizadas para extrapolar o valor médio do transporte longitudinal dentro da área de interesse valendo-se dos dados hidrodinâmicos e morfométricos (condições atmosféricas normais) obtidos em 47 das 50 campanhas de medições conduzidas na região.

5.2.2 Aplicação das equações de transporte na região de interesse

Transporte sob condições atmosféricas normais

Valendo-se das equações apresentadas na Tabela 5 (p.174) (equações calibradas) e considerando a direção do transporte como função do vento na costa, conforme demonstrado na figura 41 (p.113), determinou-se a taxa anual do transporte longitudinal total e líquido na região. Em 66% dos casos observados o vento soprou do quadrante norte e 34% do quadrante sul. Os cálculos foram realizados considerando um comprimento médio do perfil de 100 m (largura da zona de surfe), tomado como padrão em condições atmosféricas normais.

Tabela 7 – Taxa anual média do transporte longitudinal, total e líquido, calculado com o auxílio das duas equações calibradas para a região (Tabela 5, p.174) e com base nos dados obtidos a partir de 47 das 50 campanhas de medições conduzidas na área de interesse (condições atmosféricas normais).

Equação	Total m ³ /ano/m	NE-SW m ³ /ano/m	SW-NE m ³ /ano/m	Líquido SW-NE m ³ /ano/m
CERC.Cas (65)	219	78	141	64
Kamphuis-91.Cas (66)	418	141	277	136

Transporte sob condições de tempestades costeiras

Valendo-se das equações testadas por Miller (1999) e apresentadas na Tabela 2 (p.97) (equações 56 e 62) determinou-se a taxa anual do transporte longitudinal total e líquido na região durante tempestades. Foram utilizadas ondas de tempestades registradas por ondógrafo direcional para os anos de 1995, 1996 e 1997 (Coli, 2000; Saraiva et ali., 2003). Foi observada uma média anual de 1392 horas de ondas de tempestade (16% dos dias do ano) das quais 92% incidentes do sul da normal e 8% do norte desta. Isso corresponde à média de 3 eventos por mês com duração aproximada de 2 dias por evento. Foram consideradas somente as ondas com altura significativa acima de 2 m, conforme preconizado por Coli (2000). Para determinação da taxa de transporte foi considerado um comprimento médio do perfil (largura da zona de surfe) de 250 m.

Tabela 8 – Taxa anual média do transporte longitudinal, total e líquido, calculado com o auxílio das equações testadas por Miller (1999) apresentadas na Tabela 2 (p.97) (eq. 56 e 62) e com base nos dados de ondas de tempestades ocorridas na área de interesse e publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).

Equação	Total m ³ /ano/m	NE-SW m ³ /ano/m	SW-NE m ³ /ano/m	Líquido SW-NE m ³ /ano/m
CERC (56)	7128	570	6557	5987
Inman – Bagnold (62)	13350	1068	12282	11214

Abaixo, são apresentadas (Tabela 9, p.178) as taxas de transporte calculadas (para as mesmas condições de tempestades) utilizando-se as equações CERC.Cas e Kamphuis-91.Cas, calibradas para a área de interesse com dados obtidos em condições atmosféricas normais.

Tabela 9 – Taxa anual média dos transportes longitudinal, total e líquido, calculados com o auxílio das equações apresentadas nas Tabelas 2 (p.97) e 5 (p.173) e com base nos dados de ondas de tempestades ocorridas na área de interesse e publicados por Coli (2000) e Saraiva et al. (2003).

Equação	Total m ³ /ano/m	NE-SW m ³ /ano/m	SW-NE m ³ /ano/m	Líquido SW-NE m ³ /ano/m
CERC.Cas (65)	183	15	168	154
Kamphuis-91.Cas (66)	522	42	480	438

Transporte longitudinal global

As taxas de transporte global (transporte em condições atmosféricas normais + transporte em condições de tempestades) foram avaliadas considerando os comprimentos de perfil possíveis de serem trabalhados nas condições de mar vigentes nas datas das coletas (condições atmosféricas normais) e os perfis medidos sobre aerofotos tomadas após tempestades.

Examinando arquivos de aerofotos verticais obtidas da linha de arrebentação na região de interesse, durante condições atmosféricas normais e também logo após a ocorrência de tempestades costeiras, como por exemplo a ocorrida em 03/03/2001 (responsável pela mobilização de lama na costa), observou-se que o valor médio da largura da arrebentação para condições normais é de aproximadamente 100 m, coerente com os valores encontrados durante os trabalhos de campo, enquanto que a largura medida após a passagem da tempestade (apesar da queda natural da agitação) ainda mantinha uma largura média de 250 m. Rorig & Garcia (2003) chegaram a observar

larguras de arrebentação de até 750 m na praia do Cassino. Com base nestes dados aproximou-se a taxa anual do transporte longitudinal total e líquido na região estudada, conforme Tabelas 10 (p.179) e 11 (p.179).

Tabela 10 – Taxa anual média do transporte longitudinal, total e líquido avaliado pelas mesmas equações utilizadas para cálculo dos valores apresentados nas Tabelas 7 (p.177) e 8 (p.177) e considerando o transporte global para todas as condições atmosféricas possíveis (condições atmosféricas normais + eventos de tempestades).

	Total m ³ /ano/m	NE-SW m ³ /ano/m	SW-NE m ³ /ano/m	Líquido SW-NE m ³ /ano/m
CERC (56) +CERC.Cas (65)	7128+219 (7347)	570+78 (648)	6557+141 (6698)	5987+64 (6051)
CERC (56) + Kamphuis-91.Cas (66)	7128+418 (7546)	570+141 (711)	6557+277 (6834)	5987+137 (6124)
Inman-Bagnold (62) + CERC.Cas (65)	13350+219 (13569)	1068+78 (1146)	12282+141 (12423)	11214+64 (11278)
Inman-Bagnold (62) + Kamphuis-91.Cas (66)	13350+418 (13768)	1068+141 (1209)	12282+277 (12559)	11214+137 (11351)

Tabela 11 – Taxa anual média do transporte longitudinal, total e líquido avaliado pelas mesmas equações utilizadas para cálculo dos valores apresentados nas Tabelas 7 (p.177) e 9 (p.178) e considerando o transporte global para todas as condições atmosféricas possíveis (condições atmosféricas normais + eventos de tempestades).

Equação	Total m ³ /ano/m	NE-SW m ³ /ano/m	SW-NE m ³ /ano/m	Líquido SW-NE m ³ /ano/m
CERC.Cas (65)	219+183 (402)	78+15 (93)	141+168 (309)	64+154 (218)
Kamphuis-91.Cas (66)	418+522 (940)	141+42 (183)	277+480 (757)	136+438 (574)

6. DISCUSSÃO

Introdução

A seguir são discutidos os resultados encontrados. A discussão segue a mesma linha de títulos do capítulo anterior. Os resultados são analisados e discutidos a luz de observações precedentes feitas para a região por pesquisadores locais ou não, bem como, teorias e medições formuladas por diferentes investigadores ao redor do mundo para situações e ambientes de características similares. Quando da revisão bibliográfica examinou-se extensamente o estado da arte na região e no mundo, verificando as publicações significativas mais recentes e os novos conhecimentos introduzidos por elas na ciência do transporte sedimentar costeiro. Agora compararemos os resultados deste trabalho com o estado atual da arte afim de que possamos medir a sua significância para a engenharia costeira regional.

É importante, também, que se estabeleça as limitações do presente trabalho no que diz respeito ao número de coletas realizadas e distribuição destas no espaço e no tempo. Em face de dificuldades financeiras e indisponibilidade de equipamentos e pessoal o número de coletas ficou limitado a 8, sendo que 3 destas realizadas no mesmo ponto. Este pequeno número de coletas não permitiu uma cobertura completa das sazonalidades do ano, fazendo com que uma parte significativa das observações fossem realizadas durante o período de verão em detrimento das estações mais frias, já que nesta época as menores dificuldades ambientais favorecem a realização do trabalho com recursos limitados. Limitações também foram impostas ao trabalho no que diz respeito à distribuição espacial das observações. Foram escolhidos 6 perfis para que se obtivesse uma melhor representatividade média dos resultados da região, entretanto posteriormente observou-se que esta escolha e a forma como ela foi feita, trouxe para dentro do trabalho uma componente nova com a presença da obra dos molhes e sua influencia sobre o comportamento das ondas no seu entorno. A inclusão desta nova variável acabou dificultando a extrapolação dos dados obtidos e, portanto limitou as conclusões deste trabalho. Finalmente, ocorreram limitações quanto à distribuição dos pontos de coleta sobre os perfis escolhidos, já que, nem sempre foi possível obter dados sobre todas as

linhas de arrebentação devido à profundidade da água ou condições do mar. A seguir é apresentada a Tabela 12 (p.181) contendo a distribuição das coletas de sedimentos no espaço e no tempo. Mais detalhes podem ser encontrados no Anexo 1.

	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=5 min	E ₃ (g) tc=5 min	E ₂ (g) tc=5 min	E ₁ (g) tc=5 min
	P-1	01/07/03	10:00 Às 17:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-
	t ₉ (1,20 m)			-	-	-	-
	t ₈ (1,05 m)			-	-	-	-
	t ₇ (0,90 m)			-	0,93	0,11	0,34
	t ₆ (0,75 m)			0,43	4,17	0,41	0,15
	t ₅ (0,60 m)			0,82	5,56	1,21	1,37
	t ₄ (0,45 m)			11,71	12,30	1,77	0,89
	t ₃ (0,30 m)			67,40	19,29	3,49	0,85
	t ₂ (0,15 m)			142,17	33,40	3,76	1,22
	t ₁ (0,045m)			45,13	48,56	6,99	34,44
	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=4 min	E ₃ (g) tc=4 min	E ₂ (g) tc=4 min	E ₁ (g) tc=4 min
P-2	19/07/02	8:00 Às 18:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	0,33	0,02
			t ₉ (1,20 m)	-	-	1,13	0,05
			t ₈ (1,05 m)	-	1,00	2,06	0,02
			t ₇ (0,90 m)	-	2,00	2,91	-
			t ₆ (0,75 m)	-	2,41	3,12	0,05
			t ₅ (0,60 m)	3,68	2,48	5,30	0,11
			t ₄ (0,45 m)	17,20	4,92	5,74	0,15
			t ₃ (0,30 m)	57,07	6,81	6,21	0,62
			t ₂ (0,15 m)	65,06	9,55	7,30	1,98
			t ₁ (0,045m)	27,30	14,42	8,30	5,79
	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=5 min	E ₃ (g) tc=5 min	E ₂ (g) tc=4 min	E ₁ (g) tc=5 min
P-2	16/01/03	8:00 Às 16:30	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,26
			t ₉ (1,20 m)	-	-	-	0,67
			t ₈ (1,05 m)	-	-	1,23	0,17
			t ₇ (0,9 m)	-	-	1,28	0,09
			t ₆ (0,75 m)	-	2,31	1,43	0,16
			t ₅ (0,60 m)	1,18	2,66	2,18	0,52
			t ₄ (0,45 m)	1,30	2,72	2,50	1,00
			t ₃ (0,30 m)	1,70	3,60	2,68	1,20
			t ₂ (0,15 m)	3,36	2,60	4,14	0,95
			t ₁ (0,045m)	15,54	19,01	6,6	0,90

	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=5 min	E ₃ (g) tc=4,34 min	E ₂ (g) tc=5 min	E ₁ (g) tc=4,38 min
	P-2	20/02/03	8:00 Às 16:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	0,12
	t ₉ (1,20 m)			-	-	0,23	1,29
	t ₈ (1,05 m)			-	0,30	1,26	3,08
	t ₇ (0,9 m)			-	5,74	2,10	2,38
	t ₆ (0,75 m)			-	27,81	3,07	2,06
	t ₅ (0,60 m)			0,12	117,02	5,41	8,29
	t ₄ (0,45 m)			203	249,36	1,78	7,10
	t ₃ (0,30 m)			38,57	615,09	3,79	2,90
	t ₂ (0,15 m)			121,59	527,90	33,04	2,55
	t ₁ (0,045m)			177,17	656,69	17,88	16,24
	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=3 min	E ₃ (g) tc=3 min	E ₂ (g) tc=3 min	E ₁ (g) tc=3 min
	P-3	02/05/03	13:00 Às 18:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-
	t ₉ (1,20 m)			-	-	0,12	1,78
	t ₈ (1,05 m)			-	-	0,90	4,10
	t ₇ (0,90 m)			-	-	3,75	3,55
	t ₆ (0,75 m)			-	0,79	17,24	1,99
	t ₅ (0,60 m)			0,37	6,20	20,24	7,03
	t ₄ (0,45 m)			5,97	10,95	10,21	7,17
	t ₃ (0,30 m)			7,48	6,45	20,79	12,77
	t ₂ (0,15 m)			9,03	21,89	30,00	23,14
	t ₁ (0,045m)			47,02	43,58	37,03	15,25
	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=4 min	E ₃ (g) tc=4 min	E ₂ (g) tc=4 min	E ₁ (g) tc=4 min
	P-4	05/09/03	8:00 Às 17:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-
	t ₉ (1,20 m)			-	-	-	2,93
	t ₈ (1,05 m)			-	-	-	13,89
	t ₇ (0,90 m)			-	0,23	14,17	50,61
	t ₆ (0,75 m)			1,09	3,40	35,86	20,77
	t ₅ (0,60 m)			8,47	18,92	143,06	352,44
	t ₄ (0,45 m)			14,68	27,07	210,06	409,06
	t ₃ (0,30 m)			31,40	29,63	261,31	424,13
	t ₂ (0,15 m)			38,17	33,93	292,88	436,12
	t ₁ (0,045m)			54,74	75,95	374,64	576,35

P-5	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=1,5 min	E ₃ (g) tc=3,23 min	E ₂ (g) tc=2,04 min	-
	17/01/03	8:00 Às 17:00	t ₁₀ (1,35 m)	-	0,098	0,25	-
			t ₉ (1,20 m)	-	0,07	0,67	-
			t ₈ (1,05 m)	-	0,14	0,30	-
			t ₇ (0,90 m)	-	0,104	0,39	-
			t ₆ (0,75 m)	-	0,083	0,55	-
			t ₅ (0,60 m)	0,78	0,026	0,44	-
			t ₄ (0,45 m)	17,31	0,34	0,35	-
			t ₃ (0,30 m)	25,25	0,18	0,41	-
			t ₂ (0,15 m)	26,58	0,20	0,83	-
t ₁ (0,045m)			68,10	0,58	0,85	-	
P-6	Data	Hora	Trap (dist. acima do fundo)	E ₄ (g) tc=4 min	E ₃ (g) tc=2,48 min	E ₂ (g) tc=2,57 min	E ₁ (g) tc=2,32 min
	21/02/03	8:00 Às 16:30	t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,22
			t ₉ (1,20 m)	-	-	-	0,91
			t ₈ (1,05 m)	-	-	1,29	3,60
			t ₇ (0,90 m)	-	3,95	13,51	15,76
			t ₆ (0,75 m)	6,08	21,35	52,03	37,57
			t ₅ (0,60 m)	0,59	168,13	210,93	88,78
			t ₄ (0,45 m)	41,63	289,70	354,70	65,44
			t ₃ (0,30 m)	100,52	376,29	445,82	64,51
			t ₂ (0,15 m)	168,52	333,14	490,34	40,88
t ₁ (0,045m)			287,01	460,25	565,86	75,52	

Tabela 12 – Dados relativos à coleta de sedimentos na zona de arrebentação utilizando conjuntos trapeadores (P_i=posição do perfil pesquisado; t_i=posição da rede; E_i=posição do trapeador; tc=tempo de coleta; as massas dos sedimentos estão denotadas em gramas).

Iniciaremos analisando o comportamento das ondas locais ao se deslocarem sobre a plataforma em direção à costa. Para isso são utilizados dados com as características das ondas em águas profundas, intermediárias (15-20 m) e na arrebentação. A seguir é discutida a importância dos ventos costeiros sobre a intensidade e direção das correntes longitudinais dentro da zona de surfê.

As características do transporte e dos sedimentos são analisadas para cada um dos

perfis estudados, bem como considerando os valores médios da área de interesse. É discutido o transporte das partículas por nível da coluna d'água (posição do 'trap' em relação ao fundo), da mesma forma que, a sua distribuição nestes níveis em função do diâmetro. A fim de auxiliar na discussão dos dados de transporte após a arrebentação, são utilizadas algumas medições concomitantes do transporte no espraiamento, embora não seja este o objetivo da tese.

Medições do transporte de fundo (bedload) e suspensão (suspended load) são correlacionados e discutidos.

São discutidas também as equações empíricas utilizadas na predição da corrente longitudinal e do transporte longitudinal (validade, abrangência e limitações), bem como, os resultados (transporte total e líquido) encontrados por sua aplicação em condições hidrodinâmicas normais e em condições extremas oriundas de tempestades costeiras.

6.1 Medições de campo

6.1.1 Dados hidrodinâmicos

Ondas

A validade da metodologia utilizada para medição das características das ondas na arrebentação e na zona de espraiamento é suportada pelos trabalhos anteriores de Wang et ali. (1998) e Puleo & Holland (2001). Entretanto, devem ser feitos alguns comentários sobre as limitações encontradas, os mais importantes são: (i) a impossibilidade de instalação da filmadora em ponto significativamente elevado com relação ao campo de ondas (o vento muito forte exigiria estrutura super reforçada, impossível de ser transportada ao longo da costa com os recursos disponíveis), isto dificultou o trabalho de visualização da base da onda, importante para determinação da sua altura e (ii) colocação de réguas de medição em todas as linhas de quebra, já que as mais distantes, sequer foi possível alcançar. Chegou-se a cogitar o uso de uma plataforma de filmagem montada sobre a carroceria de um veículo, que resolveria o problema do transporte, entretanto a idéia foi superada pela escassez de recursos. Por outro lado o uso de réguas escalonadas

foi confrontado com a possibilidade de utilização de bóias, mais baratas e de fácil instalação, entretanto esta metodologia exigiria a substituição da escala visual da régua por uma escala virtual nos moldes das utilizadas em trabalhos de aerofotogrametria (aerofotos oblíquas). Este tipo de metodologia deve ser interessante para filmagens durante a ocorrência de ondas de tempestade.

No que tange as ondas em águas profundas, a validade da metodologia utilizada (predição das ondas pelo modelo 'Wavewatch III'), também é suportada por diversos trabalhos anteriores (Wingert et al., 2001; Tolman et al., 2002 e Bidlot et al., 2002) e pela permanente aferição dos dados gerados (CPTEC/INPE). Entretanto, a fim de reforçar a importância do caráter local das ondas, os valores preditos para a região foram confrontados com valores locais medidos concomitantemente (ondógrafo não direcional pertencente ao projeto PNBóia) e apresentaram elevado grau de correlação, o que de certa forma restringe a possibilidade de erro importante e aumenta a credibilidade das previsões locais.

Examinando a figura 23 (p.100), que mostra a altura das ondas na arrebentação, observa-se uma distribuição bem comportada com um nítido predomínio das alturas entre 0,5-0,75 m. Valores médios desta ordem foram observados por Calliari e Klein (1993) e Tozzi (1995).

Comportamento idêntico foi encontrado para a distribuição dos períodos na arrebentação (Fig 24, p.100), com predomínio dos períodos entre 6-8 s. Bem menos significativos foram os valores encontrados abaixo de 4s e acima de 12s. Os primeiros associados à ocorrência de ventos locais fracos, enquanto que os segundos, na mais das vezes, ligados ondulações do centro do Atlântico. Entretanto é importante esclarecer que apesar do baixo valor da distribuição, os períodos acima de 12 s são muito significativos no que se refere ao transporte costeiro, pois normalmente estão associados às ondulações mais altas e aos maiores ângulos de incidência. No que se refere à incidência das ondas na arrebentação, as direções se restringem à sudeste e sul, resultado de um intenso processo de refração promovido pela ocorrência de isobatimétricas paralelas à costa e a presença de uma plataforma extensa e rasa (Speranski & Calliari, 1999; Pimenta, 1999).

Comparando os resultados apresentados nas figuras 25 (p.101), 30 (p.105) e 33 (p.106) observa-se que em águas profundas ocorre a presença de ondas de todos os

quadrantes com exceção daqueles voltados para o continente, oeste e noroeste (Fig 30, p.105). Observa-se também que a maior ocorrência é de nordeste (35%) seguida de perto pelo quadrante sul (23%), enquanto que a menor ocorrência é de sudeste (5%). Examinando o comportamento destas mesmas ondas na profundidade de 15-20 m (Motta, 1967; Strauch, 1996 e Coli, 2000), observa-se que as direções ficam reduzidas à leste, sudeste, sul e sudoeste (Fig 33, p.106), sendo que sudeste passa a ser o setor mais representativo (60%) e sudoeste o menos importante (2%). Finalmente, na arrebentação (Fig 25, p.101) com profundidade ao redor de 2 m, observa-se uma importante concentração das direções no setor sudeste (78%) com o restante distribuído entre sul (10%) e leste (2%).

No caso de ondas na cota de 15-20 m é interessante discutir um pouco os registros feitos por Motta (1967) para Tramandaí, comparando-os com os valores medidos por Strauch (1996) para Rio Grande. Observa-se um comportamento muito parecido nas duas distribuições, apesar da distância temporal e tecnológica que separa os dois eventos. Motta (op.cit.) encontrou 68% das ondas como procedentes do norte da normal em Tramandaí e apenas 32% como egressas do sul, isto talvez explique em parte o transporte líquido para sudoeste encontrado por Pitombeira (1975). Contrariamente, Strauch (op.cit.) registrou 47% das ondas como sendo do norte da normal em Rio Grande e 52% do sul desta, o que está mais em acordo com o transporte líquido para nordeste, ao mesmo tempo em que aponta para um baixo valor do mesmo, o que é bastante razoável considerados os estoques sedimentares nos costados dos molhes e o comportamento da morfologia local. Outro aspecto interessante desta comparação é que o eixo central das medições de Motta encontra-se voltado mais para norte do que o eixo das medições de Strauch. Estas têm seu eixo girado mais para sul, isto talvez possa ser explicado pela posição geral da linha de costa em Tramandaí (24°N) e Rio Grande (45°N), defasadas de aproximadamente 21°. Mas, de modo geral os registros feitos por Motta e Strauch são muito parecidos. Portanto, à medida que as ondas se aproximam da praia, fica evidente a ocorrência de um giro nas suas direções de incidência, que migram das extremidades para o centro do espectro ao mesmo tempo em que se concentram no setor de sudeste. Este fato é mais bem evidenciado observando-se a figura 34 (p.108).

Conforme as ondas progridem de águas mais profundas até a batimétrica de 15-20

m ocorre o progressivo desaparecimento das direções nordeste e sudoeste com paulatina concentração destas ondas nos setores sudeste e leste. Com a continuidade do deslocamento em direção a linha de praia e conseqüente entrada na zona de quebra (cota aproximada de 2 m) nota-se o total desaparecimento da direção de leste que se incorpora integralmente à sudeste, bem como, a migração parcial das ondas do sul que também regridem para sudeste. Desta forma, o amplo espectro de direções registrado em águas profundas fica restringido as direções sudeste e sul na arrebentação, enquanto que a direção mais significativa que, em águas profundas era nordeste com 35% das ocorrências, no ponto de quebra é substituída pela direção sudeste com 78% das mesmas.

Com estas observações fica evidente que a quase totalidade das ondas que chegam à praia, principalmente sob condições atmosféricas normais, apresentam um baixo ângulo de incidência com a normal à linha de costa (na região está em torno de 135° N). As medições realizadas mostraram que o valor médio do ângulo de aproximação na linha de quebra fica ao redor de $6,5^\circ$, assim mesmo, porque a presença de ventos fortes de sudoeste (pré-frontais e frontais) forçam o giro de parte das ondas para direções mais ao sul, entretanto estes ventos de tempestades representam uma parcela muito pequena das ocorrências, no máximo 16% dos dias do ano (Coli, 2000). Se considerarmos somente condições atmosféricas normais, que é a situação dominante ao longo do ano, mais de 70% dos ângulos medidos na arrebentação ficam abaixo de 3° em relação a normal e os restantes 30% não ultrapassam 8° .

A concentração das direções de incidência das ondas em sudeste e sul (ondas na arrebentação) resultante da refração e da largura da plataforma acaba se somando à ação magnificadora que as tempestades costeiras exercem sobre o transporte líquido para nordeste, visto que, sudeste e sul coincidem com a direção geral registrada para a maior parte das tempestades que varrem a costa nesta latitude (Britto & Krusche, 1996). Portanto, parte significativa da energia das ondas em águas profundas que se perderiam em processos naturais de refração e difração, se as direções originais fossem muito diferentes daquelas finais na linha de quebra, acaba sendo preservada para geração de fluxos na zona de surfe. Por outro lado, as vagas acompanhando a direção do vento local forçam a declinação do ângulo de incidência mais para o sul aumentando significativamente o transporte para nordeste. Por fim, estes ventos são os principais

responsáveis pelo deslocamento das massas de água da plataforma para o norte proporcionando (devido ao efeito de Eckman e ação direta das ondas) um aumento do nível da água na costa (maré meteorológica) (Möller, Jr, 1996; Almeida et ali., 1997 e Tozzi & Calliari, 2000) que faz com que os fluxos dentro da arrebentação atinjam partes da praia normalmente distantes da ação diária de ondas e correntes, mas que armazenam estoques consideráveis de sedimentos prontos para serem mobilizados e transportados (dunas embrionárias e frontais) desde de que haja energia suficiente e disponível (Calliari et ali., 1998). Isto é corroborado em parte pelas observações feitas por Araújo (2002) sobre a migração para nordeste de sedimentos terrígenos grosseiros na região dos concheiros do Albardão.

A estreita correlação existente entre a direção das ondas na arrebentação e a direção do vento na costa pode ser observada na figura 135 (p.188), onde se constata a convergência destas duas grandezas vetoriais em 82% dos casos observados.

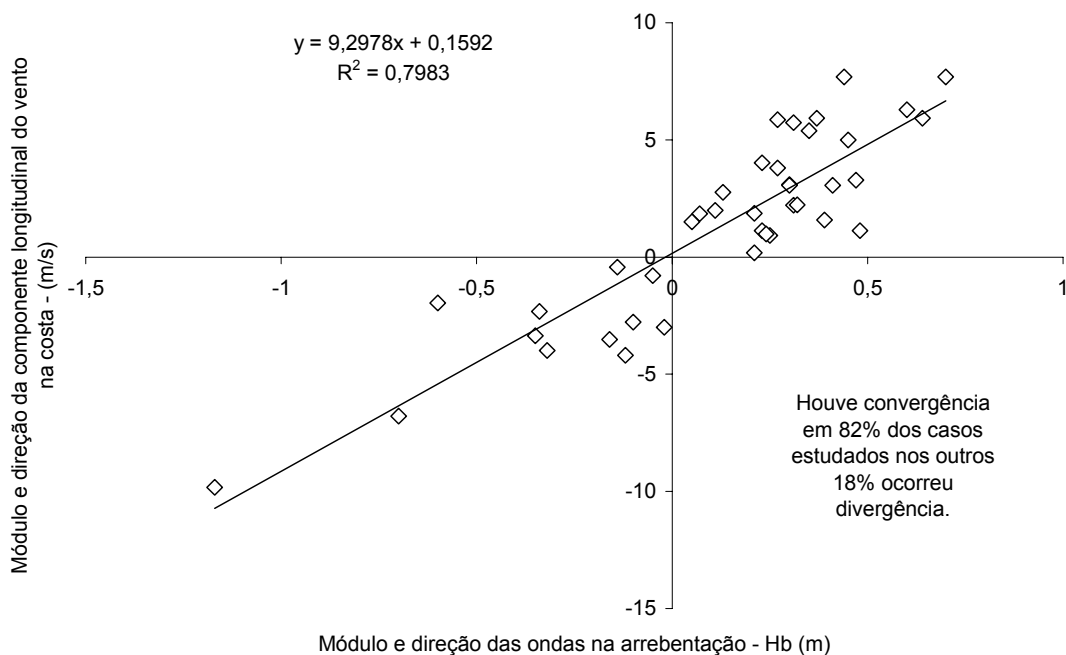


Figura 135 – Diagrama de convergência entre a direção das ondas na arrebentação e a direção da componente longitudinal do vento na costa; ondas e ventos do norte da normal (+) e sul (-); valor médio adotado para a normal 135° N.

Na tentativa de investigar vínculos de dependência entre as ondas em águas profundas e as ondas medidas na arrebentação, e ainda, entre a altura das ondas na arrebentação e suas direções de aproximação foram construídos os diagramas apresentados nas figura 136 (p.189) e 137 (p.190), entretanto, em nenhum dos conjuntos de dados correlacionados o coeficiente de determinação não tendencioso apresentou valor significativo.

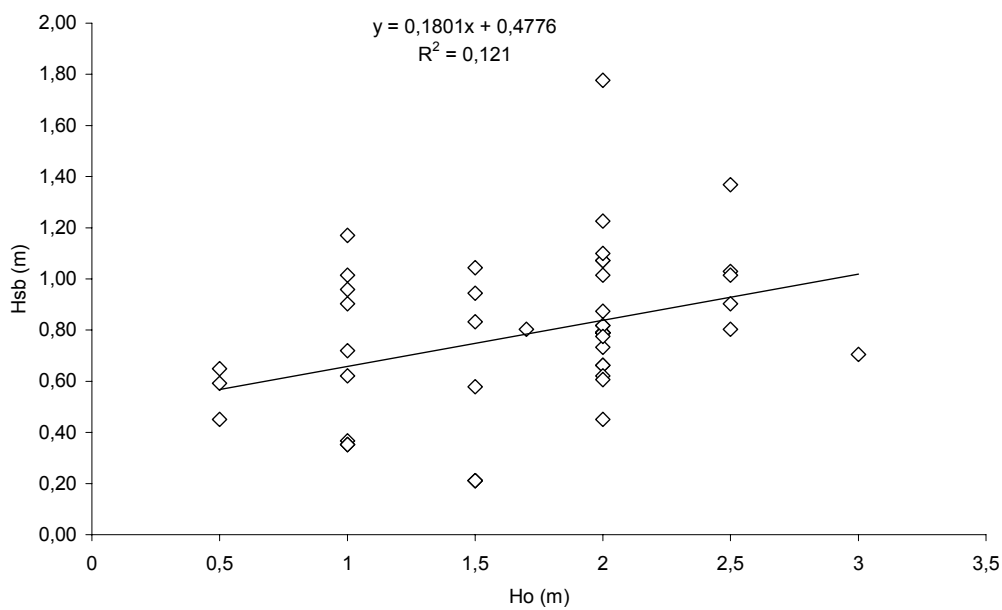


Figura 136 - Correlação entre a altura significativa das ondas em águas profundas e a altura significativa das ondas na arrebentação; dados obtidos dos seis perfis observados.

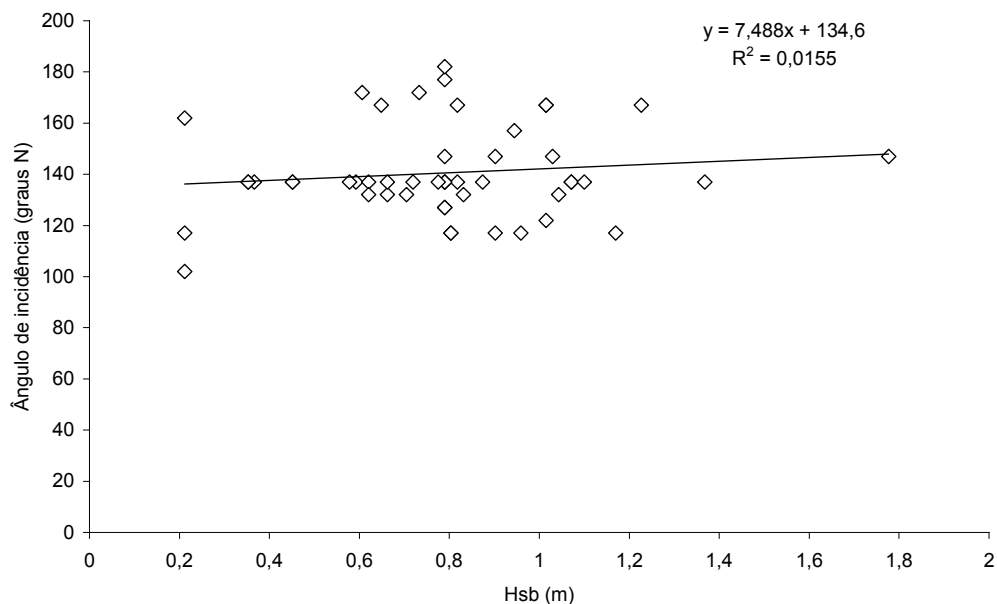


Figura 137 – Correlação entre a altura significativa das ondas e os seus ângulos de incidência na arrebentação (ângulo em relação ao norte); dados obtidos dos seis perfis observados.

Correntes longitudinais

A metodologia utilizada na medição da intensidade e direção das correntes longitudinais encontra respaldo em trabalhos anteriores de outros pesquisadores, como: Alvarez et ali. (1981), Lanfredi & Framiñan (1986) e Morang et ali. (1997). O resultado de cada campanha foi sempre obtido da média de três observações sucessivas. No que tange a direção e velocidade do vento local, fica a restrição destas medidas terem sido realizadas na altura de 2 m acima do solo, quando normalmente são feitas na cota de 10 m. Com a finalidade de ratificar estes dados foram utilizados registros horários da estação da FURG localizada a 10 Km da costa.

Examinando a figura 37 (p.110), que trata das correntes longitudinais medidas durante condições atmosféricas normais, verificamos um predomínio das correntes para sudoeste (62%) sobre as correntes para nordeste (34%) e apenas uma pequena parcela das observações (4%) corresponde a total ausência de corrente. Conforme a figura 38 (p.111) a distribuição das correntes para sudoeste apresenta um predomínio das velocidades entorno de 0,40 m/s (mais de 30% do total) enquanto que praticamente não foram

registradas correntes acima de 0,80 m/s nesta direção, de forma que mais de 40% das correntes observadas são para sudoeste e ficam abaixo de 0,40 m/s. Por outro lado, a figura 39 (p.111) embora também apresente a maior parte das correntes para nordeste como sendo abaixo de 0,40 m/s (26% do total observado), indica que pelo menos 2% destas correntes são para nordeste e tem velocidade acima de 0,80 m/s. Isto significa que mesmo em condições atmosféricas normais, pelo menos em termos de intensidade existe um pequeno predomínio das correntes para nordeste sobre as correntes para sudoeste, embora em termos de número de ocorrências as relações se invertam (Fig 40, p.112).

De modo geral os valores mais elevados das correntes para nordeste estão associados à presença de ventos do quadrante sul, principalmente no outono e no inverno. Estes ventos, principalmente de sudoeste, dão origem a correntes intensas que podem alcançar valores acima de 1,20 m/s. A principal característica dos eventos provenientes do quadrante sul é a intensidade, enquanto que a característica marcante dos eventos do quadrante norte é a duração.

É evidente a convergência existente entre os ventos na costa e suas componentes longitudinais com a direção e intensidade das correntes longitudinais medidas, isto fica evidenciado na figuras 41 (p.113) e 42 (p.113), onde observamos que em 86,5 % dos casos estudados houve convergência enquanto que os restantes 13,5 % divergentes são explicados por mudanças repentinas da direção do vento não acompanhadas de imediato pela direção da corrente ou mesmo por mudanças na direção da linha de costa. Este tipo de relação entre a corrente e o vento é muito parecido com o comportamento observado por Lanfredi & Framiñan (1986) para a praia de Union, no sul do Argentina (Província de Chubut), onde a concordância entre a direção geral da linha de costa e o caminho dos ventos reinantes e dominantes, como neste caso, também favoreciam as convergências, muito embora naquele caso a direção de incidência das ondas na arrebentação tenha se apresentado como o principal fator de encaminhamento da corrente longitudinal, porém secundado de perto pela ação do vento.

Da mesma forma que aqueles pesquisadores observou-se que o vento pode ser um dos principais fatores a ditar a direção das ondas na arrebentação (Fig 135, p.188) e por conseqüência a corrente na costa, isto se evidencia através dos diagramas de convergência (Fig 41, p.113 e 42, p.113). Quando da ausência de ventos ou mesmo em

presença de ventos de intensidade muito fraca as correntes são governadas exclusivamente pela direção modificada das ondas vindas de águas profundas. A importância do vento na definição da direção da corrente fica favorecida pela ocorrência de pequenos ângulos de incidência entre a direção das ondas na arrebentação e a normal à linha de costa, de modo geral estes ângulos não ultrapassam 3° , para nenhum dos lados.

Observou-se também, que nas proximidades do lado sul do Molhe Oeste as correntes mais intensas são proporcionadas pela ação do vento de sudoeste, enquanto que observação inversa foi feita para a proximidade do lado norte do Molhe Leste, onde as correntes mais fortes têm origem na presença do vento nordeste. Isto sugere que, especificamente nestes locais, os movimentos longitudinais de transporte em direção à estrutura são mais importantes que os movimento contrários. Acredita-se que a estrutura do molhe ao cortar a pista do vento longitudinal provoca um descolamento entre o fluxo de ar e a superfície do mar, de forma que as massas d'água a sotavento da obra e próximas a esta ficam privadas da transferência imediata da energia do vento para a água prejudicando a sua aceleração local. Isto faz com que a velocidade da corrente longitudinal que se afasta do molhe seja pequena quando comparada com a mesma velocidade medida fora da sua sombra. Soma-se a isto a permanente ação contrária das correntes geradas pela quebra de ondas, que tanto de um lado como de outro, sofrem forte refração e difração na proximidade do molhe e são direcionadas diretamente sobre a raiz da obra. Portanto, é possível esperar que exista uma permanente perda de sedimentos junto à raiz dos molhes (Oeste e Leste), perda transversal proporcionada pela ação direta das ondas que ali incidem, mas que se mantém em equilíbrio ou mesmo com pequena acresção pela reposição permanente imposta pelo transporte longitudinal bi-direcional existente durante condições atmosféricas normais.

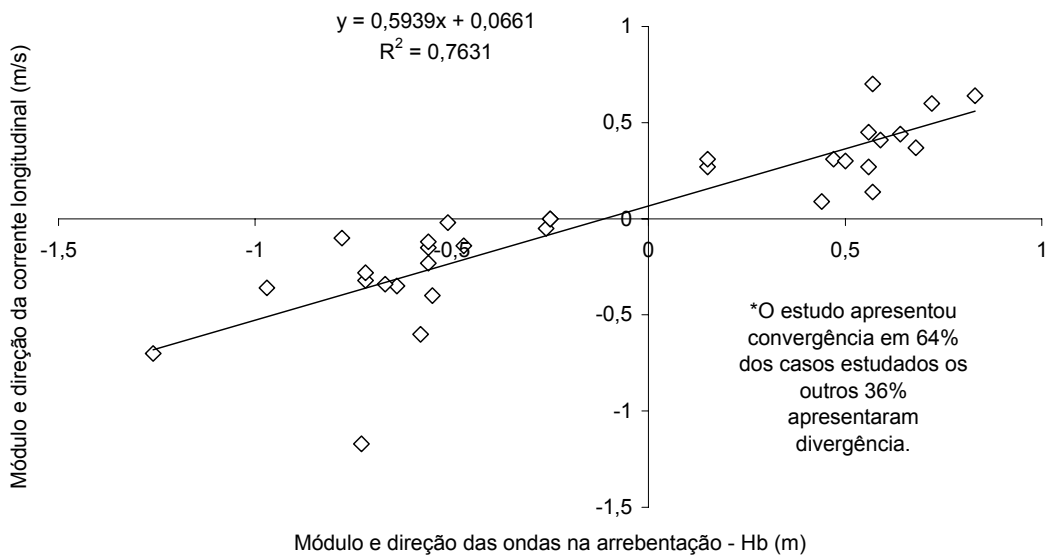


Figura 138 – Diagrama de convergência entre a direção das ondas medidas na arrebentação e a direção da corrente longitudinal; NE-SW (+) e SW-NE (-).

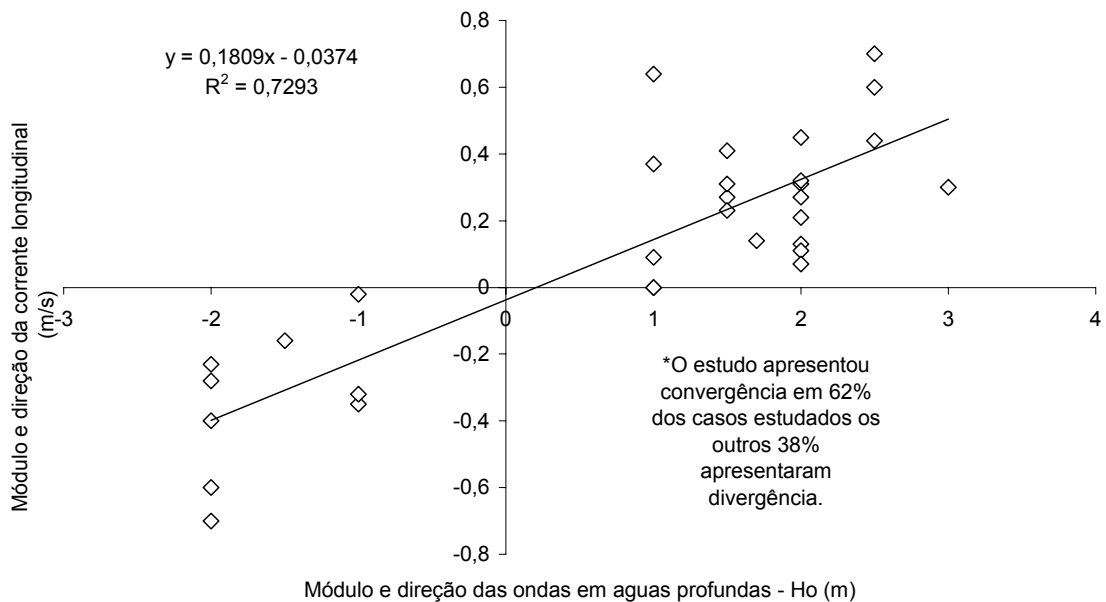


Figura 139 – Diagrama de convergência entre a direção das ondas em águas profundas e a direção da corrente longitudinal; NE-SW (+) e SW-NE (-).

Finalmente, algumas considerações sobre a importância das tempestades costeiras nos processos litorâneos locais. Infelizmente não foi possível realizar observações de campo durante a ocorrência de ondas de tempestade, pois os equipamentos disponíveis e a metodologia proposta não contemplam esta possibilidade. Entretanto, observando as relações acima, é possível inferir a importância destes eventos sobre a intensidade das correntes e do transporte litorâneo nesta região. Espera-se que as correntes aumentem sua velocidade de forma significativa governadas pelo aumento das tensões de Reynolds magnificadas pelo crescimento da turbulência na interface água-ar, pelo desenvolvimento da altura das ondas na arrebentação e principalmente pelo alargamento do ângulo de incidência, forçado para o sul pela presença das vagas locais.

A associação destas correntes intensas com a forte e larga faixa de arrebentação, bem como a sobre-elevação do nível do mar, dão origem a condições extremas de transporte capazes de desequilibrar a deriva litorânea na região em favor de um transporte positivo para nordeste.

Analisando a figura 139 (p.193), observamos que 62% das ondas que tem sua origem em um dos lados da normal continuam neste lado até atingir a linha de arrebentação, apesar do intenso processo de refração. Isso significa que a maior parte das correntes geradas em um determinado lado da normal tem sua gênese em ondas que também foram geradas deste mesmo lado. Entretanto, uma parcela significativa (38%) das ondas que nascem de um determinado lado acabam migrando para o outro lado e contribuindo, portanto, para a geração de fluxos contrários. Logo, se a causa principal deste fenômeno migratório for o processo de refração e isto merece ser melhor investigado, ondulações mais altas, que permanecem em contato com o fundo por mais tempo podem ser responsáveis pela inversão da deriva litorânea mesmo não havendo alteração significativa nas direções em águas profundas.

6.1.2 Transporte sedimentar e caracterização sedimentológica

A metodologia utilizada na coleta dos sedimentos e no cálculo do transporte encontra respaldo nos trabalhos de Kraus (1987) e Wang et ali. (1998), as vantagens e limitações do método são vistas no capítulo 4.

A metodologia utilizada na coleta dos sedimentos no espriamento e no cálculo dos valores transportados encontra respaldo nos trabalhos de Katori (1983) e Kraus (1987), as vantagens e limitações do método são abordadas também no capítulo 4.

A metodologia utilizada no tratamento e análise sedimentológico foi retirada de Folk & Ward (1957) e Martins et ali. (1978).

A seguir são apresentados e discutidos os resultados encontrados para o transporte longitudinal, distribuição e características dos sedimentos considerando cada um dos perfis (em uma ou mais campanhas), estações de coleta e níveis de coleta. São feitas as mesmas discussões considerando os valores médios de alguns parâmetros da área de interesse.

Transporte longitudinal

Discussão individual dos perfis estudados (P1 a P6)

Perfil-1

A figura 43 (p.116) evidencia um perfil com cava e banco (2ª linha de quebra) pronunciados, muito próximos da linha de praia e com a cava afundando rapidamente, comportamento não muito comum neste trecho de costa imediatamente ao sul do Molhe Oeste. Foi registrada a presença de dois bancos e duas cavas, embora a zona de quebra apresentasse três bancos e três cavas. Não foi possível alcançar o 1º banco em virtude da profundidade da cava e da agitação do mar, esta situação se repetiu em praticamente todos os perfis. Observa-se também que a distribuição longitudinal da taxa de transporte tem seu pico máximo dentro da cava, enquanto que o perfil vertical mostra os maiores valores de transporte após a 3ª linha de quebra, junto à praia. Entretanto é importante observar que a máxima taxa de transporte não significa máxima vazão sólida, já que os seguimentos entre estações têm comprimentos diferentes.

A linha de costa neste ponto inicia um trecho reto, perfeitamente alinhado com a direção sudoeste, libertando-se do segmento imediato ao molhe onde a linha de costa apresenta uma forte alteração para leste em virtude do acelerado processo acrescivo que

ali se estabeleceu nos primeiros anos após a obra. Esta mudança brusca num trecho tão pequeno (a normal varia de 170° para 134°) cria um ponto de inflexão no encaminhamento das correntes longitudinais, proporcionando a que ondas com ângulos de incidência acima de 60° (em relação à linha de praia) gerem correntes divergentes daquelas observadas dentro da sombra do molhe, consideradas as mesmas condições hidrodinâmicas e atmosféricas.

Os perfis verticais observados nas estações 1, 2 e 3 apresentam distribuições homogêneas, enquanto que o perfil da estação 4 mostra transporte mais acentuado nas camadas logo acima do fundo (Fig 43, p.116). Esta situação pode ser melhor observada na figura 44 (p.118). Os maiores transportes ocorrem quase sempre próximo do fundo, diminuindo gradativamente em direção a superfície (Fig 45, p.117). Este é um comportamento observado em quase todas as campanhas. Observa-se também, que a maior vazão sólida ocorre na estação 4, junto à beira da praia, diminuindo gradativamente na direção do mar.

Em geral a migração do ponto de maior vazão ao longo do perfil se dá em função de dois diferentes fatores: (i) nível da agitação dentro da zona de surfe; (ii) proximidade entre o primeiro banco e a linha de costa. No primeiro caso, com a alta agitação na zona de surfe, há uma tendência de homogeneização do transporte ao longo de todo o perfil, com as maiores vazões ocorrendo próximo às linhas de quebra mais intensa (geralmente nas cavas que se seguem) governadas pela altura das ondas e pelo tipo de quebra. O contrário pode ser observado durante períodos de baixa agitação quando os maiores transportes são registrados próximo à linha de praia ou mesmo dentro da zona de espraiamento. No segundo caso, a proximidade entre o primeiro banco e linha de costa diminui a largura da zona de surfe fazendo com que o transporte se acumule próximo da linha de praia. Neste caso o transporte registrado na estação 4 ocorre mais em virtude da proximidade entre o segundo banco e a linha de praia (50 m) do que devido à baixa agitação e ao tipo de quebra ($H_{sb}:0,80$ m; mergulhante). A contribuição de cada nível para o transporte total pode ser observada na figura 47 (p.118). Observa-se que nas 4 estações, entre 65-85 % do transporte é feito nos primeiros 0,27 m acima do fundo. O transporte na camada do fundo apresenta um gradiente crescente na direção do mar denotando a ação mais intensa das ondas nas linhas de quebra mais externas. Em

contrapartida, nas camadas logo acima desta, os valores crescem na direção da praia, sugerindo a ação encaminhadora das correntes sobre os sedimentos mais leves que permaneceram em suspensão, correntes estas que normalmente são mais intensas nas partes mais centrais da zona de surfe. Os níveis mais altos (entre 0,27-0,945 m) abrigam entre 15-35 % do transporte restante, com a participação individual de cada nível diminuindo com a profundidade.

Analisando as figuras 48 (p.119) e 49 (p.119) observa-se um acúmulo dos maiores diâmetros médios no fundo e diminuindo em direção a superfície. Esse comportamento ocorreu nas 4 estações estudadas. Quanto à distribuição longitudinal dos D_{50} o comportamento é homogêneo embora se observe valores mais altos nas extremidades do perfil (estações 1 e 4), possivelmente, na estação 1 mobilizados pela quebra da onda e na estação 4 pela disponibilidade de sedimentos maiores, selecionados pela água no espriamento.

A figura 51 (p.120) apresenta o valor médio dos D_{50} em cada nível e sua contribuição para a composição sedimentológica das estações. A relação existente entre a altura das ondas na arrebentação e o diâmetro médio dos sedimentos por elas mobilizados é melhor entendida com o auxílio da figura 140 (p.197).

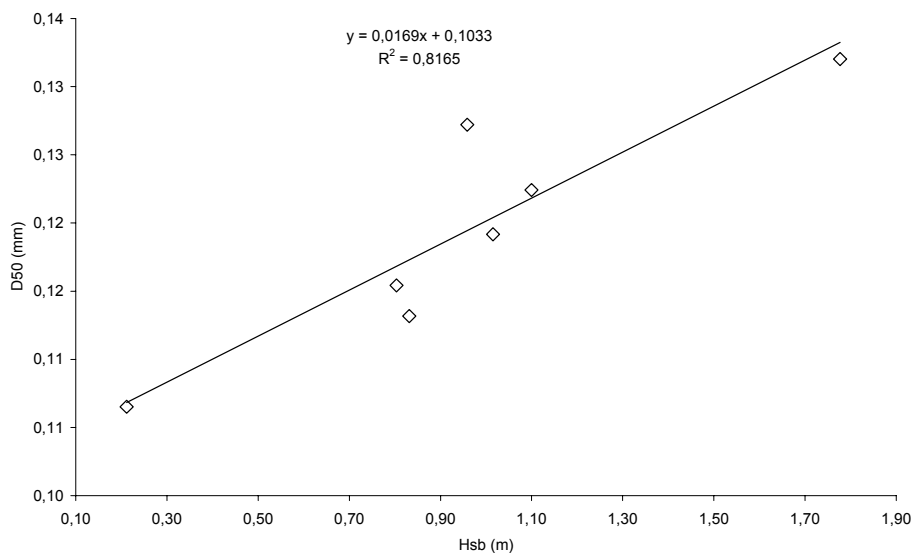


Figura 140 – Correlação entre a altura significativa das ondas na arrebentação e o diâmetro médio dos sedimentos mobilizados.

Perfil-2

O Perfil-2 foi objeto de três campanhas distribuídas durante um ano. Por diferentes motivos este foi o único perfil avaliado mais de uma vez. A batimetria mostrou diferenças sensíveis entre uma campanha e outra, conforme observado nas figuras 52 (p.122), 57 (p.125) e 62 (p.128). Essa variabilidade alerta para a permanente dependência entre a morfologia e a hidrodinâmica.

Com exceção da 2ª campanha os bancos e cavas sempre se apresentaram bem mais distantes da praia do que no Perfil-1. Em geral as maiores taxas de transporte encontram-se no centro dos perfis medidos, embora as maiores vazões individuais (medidas nas estações) tenham apresentado comportamentos diferenciados: a 1ª campanha mostrou os maiores valores próximos da linha de praia (igual ao Perfil-1), a 2ª campanha apresentou os valores distribuídos de forma homogênea por todo o perfil e a 3ª campanha mostrou os maiores valores concentrados quase que exclusivamente na estação 3.

Quanto à distribuição do transporte pelas diferentes camadas observa-se um comportamento semelhante nas três campanhas conforme as figuras 53 (p.123), 54 (p.123), 58 (p.126), 59 (p.126), 63 (p.129) e 64 (p.129). Em todos os casos o transporte mais acentuado ocorre no fundo diminuindo gradativamente em direção a superfície.

As distribuições verticais verificadas nas figuras 52 (p.122), 57 (p.125) e 62 (p.128) são ratificadas pelo comportamento das vazões medidas e mostradas nas figuras 55 (p.124), 60 (p.127) e 65 (p.130).

Quanto à contribuição de cada nível para o transporte total, consideradas as três campanhas, observa-se que entre o fundo e o nível 0,27 m ocorrem de 35-85 % de todo o transporte, com o mesmo crescendo à medida que nos afastamos da linha de costa (campanhas 1 e 3), comportamento contrário ao observado na 2ª campanha (Fig 56, p.124; 61, p.127 e 66, p.130).

A distribuição dos sedimentos de acordo com seus tamanhos mostra comportamento semelhante ao Perfil-1 (maiores no fundo e diminuindo com a profundidade), embora com gradiente menos estratificado. Esta questão fica melhor evidenciada nas figuras 67 (p.131), 68 (p.131), 71 (p.133), 72 (p.133), 75 (p.134) e 76

(p.135).

As figuras 69 (p.132), 73 (p.134) e 77 (p.136) apresentam a distribuição dos diâmetros ao longo do Perfil-2 considerando os valores médios de cada estação. É clara a inexistência de um comportamento típico, embora nas três campanhas observe-se uma leve tendência de concentração dos maiores diâmetros nas estações mais próximas da praia.

A contribuição de cada nível para a composição sedimentológica das estações nas três campanhas encetadas pode ser observada nas figuras 70 (p.132), 74 (p.134) e 78 (p.136).

Perfil-3

Este perfil mostra uma batimetria sem bancos e cavas onde o fundo plano e inclinado favorece a arrebentação progressiva das ondas (Fig 79, p.137). Este tipo de fundo parece ser obra, pelo menos em parte, do constante (e pequeno) acúmulo de sedimentos contra a lateral do Molhe Oeste conjugado com a predominância dos movimentos transversais sobre os longitudinais.

Os maiores transportes são registrados junto ao fundo com forte gradiente decrescente em direção a superfície (Fig 80, p.139 e 81, p.139).

As distribuições verticais apresentam comportamento homogêneo nas 4 estações, enquanto que as vazões médias, medidas nos mesmos pontos mostram um crescimento na direção do mar (Fig 79, p.138 e 82, p.140).

Quanto à participação de cada nível na composição do transporte total a figura 83 (p.140) sugere um comportamento semelhante aos dos perfis anteriores onde de 50-80 % do transporte se realiza na camada entre o fundo e 0,27 m, com a participação desta camada crescendo com a proximidade da praia.

As figuras 84 (p.141) e 85 (p.141) também mostram a distribuição dos sedimentos na coluna d'água seguindo o mesmo comportamento dos perfis anteriores.

A figura 86 (p.142) mostra um comportamento homogêneo para a distribuição dos diâmetros pelas estações, com menor valor na 1ª estação.

O mesmo tipo de comportamento é observado na participação das camadas na composição sedimentológica das estações, com o transporte no fundo crescendo em importância com a proximidade da linha de praia.

Perfil-4

A figura 88 (p.144) mostra uma batimetria muito parecida com a do Perfil-3, favorecendo a presença de arrebentação progressiva. Da mesma forma que o anterior este também é resultado, em parte, do transporte para sudoeste auxiliado pela hegemonia do transporte transversal sobre o longitudinal, que dá origem a estes planos inclinados e suaves na proximidade dos molhes.

A distribuição vertical mostra valores mais elevados do lado do mar (estação 1) com diminuição paulatina em direção a praia e com as maiores taxas longitudinais sendo observadas também nas posições mais distantes.

As figuras 89 (p.145) e 90 (p.145) mostram um maior transporte no fundo com gradiente decrescente em direção a superfície.

A figura 91 (p.146) apresenta uma distribuição de vazões por estação crescendo para o lado do mar, o que ratifica o comportamento das taxas de transporte observadas na figura 88 (p.144). Esta distribuição é típica de quebras progressivas onde a inexistência de um ponto definido de arrebentação distribui o transporte por toda a zona de surfe com os maiores valores associados aos pontos de ondas mais altas.

Conforme a figura 92 (p.146), denota-se a maior participação das camadas de fundo nas proximidades da praia, embora o transporte total nesta zona seja menor que nas estações do lado do mar. Então fica a questão: porque o transporte de fundo é menor nos pontos onde o transporte total é maior? É possível que a resposta esteja associada ao diâmetro médio dos sedimentos disponíveis, ou seja, sedimentos menores são mais facilmente colocados em suspensão, aumentando a participação deste tipo de transporte em relação ao transporte de fundo. Outra possibilidade é o tipo de quebra da onda, aproximadamente progressiva, que se caracteriza pela pequena potencialidade de mobilização de sedimentos quando comparada com a quebra mergulhante. Estas

observações são consubstanciadas pelos baixos diâmetros mobilizados neste perfil (P4) quando comparado com os outros 5 perfis sob a ação de ondas de características semelhantes, numa situação anômala considerado o comportamento geral expresso na figura 141 (p.201). Interessante observar que o Perfil-3, que guarda a mesma posição no lado sul do canal, também apresenta um comportamento semelhante.

As figuras 93 (p.147) e 94 (p.147) mostram um transporte maior junto ao fundo embora não tão pronunciado como nos perfis anteriores.

A figura 95 (p.148) mostra uma concentração dos maiores diâmetros nas estações mais distantes da praia, o que, pode parecer uma contradição com os comentários feitos no parágrafo anterior, entretanto, analisando a figura 96 (p.148) verificamos que sedimentos mais pesados atingem camadas mais altas nas estações mais distantes da praia, o que significa que a relação energia-diâmetro nestas estações é maior do que a mesma relação nas estações mais próxima da costa.

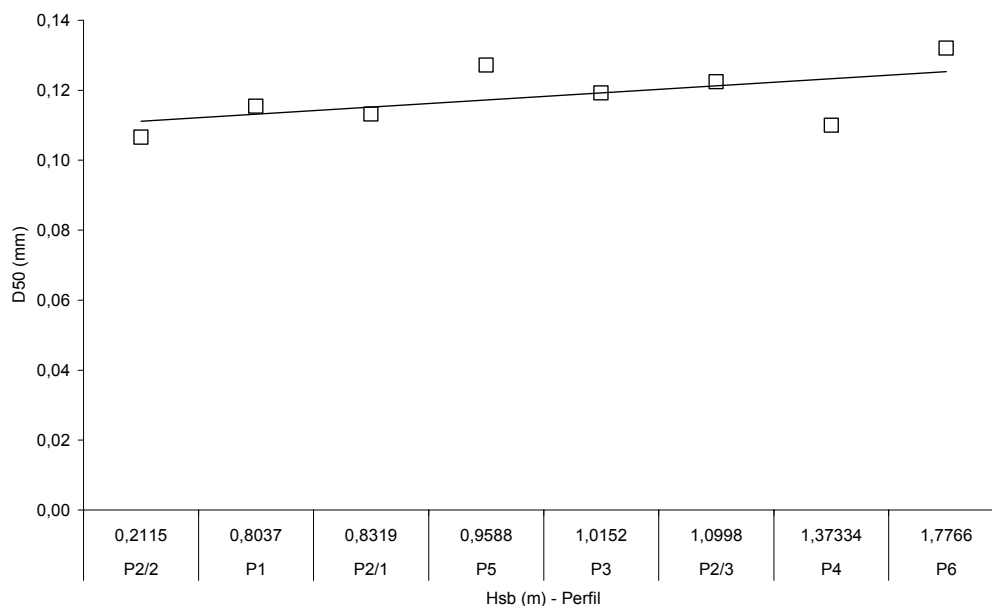


Figura 141 – Distribuição dos diâmetros médios de cada perfil em relação às alturas significativas das ondas na arrebentação.

Perfil-5

A figura 97 (p.150) apresenta um perfil batimétrico muito parecido com o perfil plano e inclinado dos Perfis-3 e 4, entretanto neste caso ocorre a presença de bancos e cavas embora estas tenham ficado fora do perfil batimétrico registrado no Perfil-5. Esta situação se repetiu também no perfil-6. A maior agitação do mar neste lado do canal (comparado com o sul), bem como a maior profundidade das cavas e distanciamento destas à linha de praia, se conjugaram para aumentar os riscos operacionais e impedir a realização de perfis mais longos.

As figuras 98 (p.151) e 99 (p.151) apresentam um comportamento dentro das camadas que se assemelha em tudo aos demais perfis estudados.

A figura 97 (p.150) mostra distribuições verticais com maiores taxas na proximidade do espriamento, no que é consubstanciada pelas informações extraídas da figura 100 (p.152). A figura 101 (p.152) apresenta a participação dos diversos níveis na composição do transporte total, com a participação de 35-75 % do transporte nos 0,27 m mais próximos do fundo, como já ocorreu antes com os demais perfis.

Contrário a observações anteriores, as figuras 102 (p.153) e 103 (p.153) apresentam uma distribuição de tamanhos de sedimentos em que os maiores grãos estão posicionados na parte mais alta da coluna, numa total inversão dos gradientes até então observados.

A figura 104 (p.154) apresenta uma concentração de sedimentos de maior diâmetro na estação 4, o mesmo ocorrendo com a figura 105 (p.154) onde se denota a presença de lama nas demais estações. É evidente que as alterações no comportamento deste perfil estão relacionadas com a forte presença de matéria orgânica e argila em suspensão constatada neste ponto. Esta matéria orgânica é proveniente da ressuspensão em larga escala de diatomáceas [*Asterionellopsis Glacialis (CASTRACANE) ROUND*] (Rörlig & Garcia, 2003) na antepraia e sua introdução pelas ondas na zona de arrebatção, onde associada com partículas de argila representou a quase totalidade dos sedimentos coletados nas estações 1 e 2. Considerando que a altura da onda na arrebatção estava em torno de 1 m, ficam as seguintes perguntas: (i) porque não ocorreu a mobilização de sedimentos terrígenos nas estações mais próximas da linha de

quebra? (ii) Porque o transporte só foi registrado nas proximidades da zona de espraiamento? (iii) Porque ocorreu uma inversão na curva de distribuição dos sedimentos na coluna d'água, com os sedimentos mais grosseiros ocupando as posições mais altas?

Aparentemente a resposta está na matéria orgânica em suspensão, que atingiu concentrações elevadas na zona de quebra, ocupando toda a coluna desde o fundo até a superfície e diminuindo a concentração em direção a praia. Embora ainda ocorresse perto do espraiamento, a concentração era bem mais baixa. A menor mobilização dos sedimentos terrígenos de fundo provavelmente está ligada ao aumento da viscosidade do meio provocado pela presença das diatomáceas remobilizadas e das partículas de argila a elas associadas, fazendo com que parte significativa da energia das ondas seja absorvida pela coluna d'água não chegando ao sedimento. Outra possibilidade é a formação de um escudo de algas sobre o fundo que proteja a areia da ação direta da turbulência e do arraste da corrente. Finalmente, uma quarta hipótese, é a deposição imediata dos grãos mobilizados, levados para o fundo pela precipitação intensa das algas em suspensão. Esta ação certamente seria mais expressiva sobre os grãos de menor massa e especialmente atraente para explicar a inversão na distribuição vertical dos sedimentos, já que os sedimentos mais finos seriam mais facilmente arrastados para o fundo do que aqueles de maior massa. Quanto à mobilização de sedimentos nas partes mais rasas se explicaria pelas menores concentrações de matéria orgânica.

Perfil-6

A figura 106 (p.156) apresenta a batimetria do Perfil-6, semelhante ao Perfil-5. Examinando os perfis verticais denota-se taxa de transporte mais acentuada nas estações intermediárias (E2 e E3). Esta concentração sobre o centro do perfil relaciona-se à elevada velocidade da corrente longitudinal medida neste ponto (0,7 m/s) proporcionada pela intensa quebra das ondas (1,26 m) e pela ação do vento de sudoeste (7 m/s).

As figuras 107 (p.157) e 108 (p.157) apresentam um comportamento semelhante à maioria dos casos anteriores com maior transporte no fundo e crescimento paulatino em direção a superfície. As taxas de transporte denotadas na figura 106 (p.156) são ratificadas pelas vazões observadas na figura 109 (p.158). De acordo com a figura 110

(p.158) de 30-80 % do transporte ocorre na camada entre 0-0,27 m com um gradiente decrescente na direção do mar.

As figuras 111 (p.159) e 112 (p.159) apresentam a distribuição dos grãos com os maiores diâmetros no fundo e decrescendo em direção a superfície. A figura 113 (p.160) mostra concentração dos maiores diâmetros nas estações 1 e 3 sugerindo intensa atividade de quebra nestes dois pontos.

A figura 114 (p.160), além de mostrar 60-100% do transporte na camada entre o fundo e a cota de 0,27 m, evidencia um comportamento bastante homogêneo do transporte nas quatro estações, resultado do elevado nível de energia envolvido no processo ao longo de toda zona de surfe.

Valores medidos na região de interesse (pontuais e médios)

Transporte longitudinal

A figura 115 (p.161) mostra os valores do transporte real medido em cada uma das oito campanhas realizadas nos perfis estudados. As figuras 116 (p.162) e 117 (p.162) indicam um transporte médio, considerando os valores medidos nos seis perfis, onde os maiores valores ocorrem nas camadas mais próximas do fundo e o perfil vertical descreve uma distribuição decrescente em direção a superfície.

A figura 118 (p.163) representa a média dos transportes distribuídos pelas estações de coleta e sua distribuição apresenta um comportamento próximo do teoricamente esperado para esta situação, com valores mais altos no centro da zona de surfe e decrescendo nas duas extremidades (lados do continente e do mar).

A contribuição de cada nível para o transporte médio total apresentado na figura 119 (p.163) mostra que em 0,27 m acima do fundo ocorre de 35-60 % de todo o transporte medido e a importância do transporte nesta camada cresce com a proximidade da praia.

As figuras 120 (p.164) e 121 (p.164) mostram a distribuição média dos sedimentos entre as camadas com os maiores grãos no fundo e decrescendo com a profundidade.

A distribuição dos tamanhos no perfil longitudinal apresentada na figura 122 (p.165) mostra os maiores diâmetros concentrados nas extremidades da curva (E1 e E4) ficando os menores restritos ao centro da zona de surfe.

A figura 123 (p.165) mostra que 70-90% da composição sedimentológica do perfil vertical de cada estação se define dentro da faixa compreendida entre o fundo e a cota de 0,5 m, com a participação crescente desta camada a medida em que aproximamos da praia.

Transporte de fundo e suspensão ('beadload' e 'suspended load')

Como visto anteriormente, a abordagem teórica desta questão guarda segundo Einstein (1950), uma estreita relação entre a espessura da camada de arraste de fundo e o diâmetro das partículas transportadas. Esta relação indica para a região uma camada teórica da ordem de 0,02 m. Entretanto Komar (1978) e Wang et ali. (1998) sugerem como medida prática para o transporte junto à camada de fundo (beadload) a carga de sedimentos transportados no espaço entre o fundo e a cota de 0,10 m acima deste. Esta camada coincide com o nível de coleta do 1º 'trap'. Portanto o sedimento coletado no 1º 'trap' representa para fins práticos o sedimento encaminhado por arraste de fundo (bedload transport). Os demais 'traps' fazem parte da região de transporte em suspensão (suspended load transport).

A figura 124 (p.166) mostra o elevado grau de correlação existente entre os dois tipos de transporte considerando a média dos perfis observados. Este estudo oferece fortes evidências de que, pelo menos em condições atmosféricas normais, 18% do transporte total nesta região ocorre por arraste junto ao fundo, enquanto que 82% ocorre por suspensão na coluna d'água.

Transporte no espraiamento

Valores médios da área de interesse

Todos os dados foram obtidos em condições atmosféricas normais e a

metodologia adotada para coleta dos sedimentos tem suporte em Katori (1983) e Kraus (1987).

A figura 125 (p.167) apresenta o transporte transversal na direção do continente (acrescivo), direção do mar (erosivo) e valores líquidos médios da área de interesse, considerando os valores medidos no seis perfis estudados. Nos dois perfis (P1 e P2), plotados no lado sul do canal e mais distantes da base do Molhe Oeste, observa-se um baixo transporte total com o transporte líquido encaminhado na direção do continente (acrescivo). No Perfil-3 (base do Molhe Oeste) foi registrado um elevado transporte total com resultante líquida na direção do mar (erosivo), muito semelhante em magnitude ao transporte observado no Perfil-4 (base do Molhe Leste), embora neste perfil o transporte líquido seja na direção do continente.

Os dois perfis mais ao norte do canal (P5 e P6) apresentam comportamentos diferentes, baixo transporte total no Perfil-5 (semelhante aos perfis P1 e P2) e elevado no Perfil-6. Nos dois casos o transporte líquido é na direção do continente. O elevado transporte no Perfil-6 foi registrado durante ocorrência de grande agitação na zona de surfe com ondas de até 1,26 m na arrebentação, corrente longitudinal de 0,7 m/s e ventos da ordem de 7 m/s. Estas são condições limites entre atmosféricas normais e eventos extremos. Convém observar também, que a magnitude do transporte total apresenta um comportamento parecido de um lado e outro do canal. Próximo à base dos molhes o transporte total é elevado (P3 e P4), reduzindo-se significativamente no limite do campo de ação dos efeitos da obra (P2 e P5), mas voltando a crescer fora da sua sombra (P1 e P6).

A figura 126 (p.167) apresenta um leve predomínio do transporte em direção ao continente.

Segundo a figura 127 (p.168) os maiores diâmetros médios são encontrados nos sedimentos que deixam a praia em direção ao fundo, enquanto que os sedimentos que são trazidos apresentam granulometria média menor. Isso ocorre em quase todos os perfis distantes da base dos molhes, com exceção do Perfil-5 que apresenta elevada granulometria no fluxo acrescivo. Entretanto este perfil demonstrou um comportamento anômalo em relação aos outros, provavelmente devido à grande concentração de sedimentos finos de origem orgânica e mineral (diatomáceas + argila).

Os dois perfis junto à base dos molhes (P3 e P4) apresentaram características semelhantes entre si, com perda dos sedimentos mais grosseiros enquanto que os sedimentos mais finos predominaram nos fluxos acrescivos.

De qualquer forma a figura 128 (p.168) indica, em média, um predomínio dos sedimentos de maior diâmetro nos fluxos acrescivos e sedimentos mais finos nos fluxos erosivos.

6.2 Aproximações matemáticas

6.2.1 Escolha e calibração das equações empíricas

Corrente longitudinal

O conjunto de equações apresentadas na Tabela 1 (p.96) foi escolhido com base em trabalhos conduzidos para diferentes situações, seja em aplicações na natureza, aplicações em ambientes controlados ou avaliações de performance efetuadas através da comparação com resultados obtidos de modelos numéricos. Dentre os autores consultados estão Sayao & Kamphuis (1982), Lanfredi & Framiñan (1986), Van Rijn (1993), Van Rijn (1998) e contou também com a experiência adquirida pelo próprio autor em trabalho semelhante conduzido em modelo físico reduzido (Fontoura et ali., 2003).

A figura 129 (p.169) compara o conjunto de curvas obtido das equações apresentadas na Tabela 1 (p.96) com os dados medidos nos seis perfis estudados. O mesmo tipo de comparação é feito individualmente e plotado na figura 130 (p.170). As médias calculadas são comparadas estatisticamente com a média real considerando um nível de significância de 5%.

Conforme mostrado na Tabela 3 (p.171), das 8 equações analisadas 4 não foram rejeitadas pelo teste de hipótese, embora os seus coeficientes de ‘determinação não tendencioso’ tenham apresentado valores baixos. Diante disto, considerou-se que qualquer uma das 4 equações não rejeitadas pode ser considerada apta a aproximar o valor da corrente longitudinal na área de interesse. As equações selecionadas foram: Komar, Komar & Inmann, Galvan & Eagleson e Harrison.

Estas equações foram calibradas por seus respectivos autores utilizando amplos conjuntos de dados obtidos na natureza e ou em laboratório, que lhes confere um certo caráter geral, porém isto não garante que estas condições sejam semelhantes às encontradas na região de aplicação. A falta de calibração com dados locais (fora do escopo da tese) promove discrepâncias em relação à ordem de grandeza das velocidades medidas. Diante disso, extrapolações amplas tornam-se perigosas, principalmente porque os testes foram realizados considerando um conjunto limitado de observações, o que não garante a amostra como representativa da população.

Transporte longitudinal

O conjunto de equações apresentadas na Tabela 2 (p.97) foi escolhido com base em trabalhos anteriores de diferentes pesquisadores conduzidos em ambientes naturais, de laboratório ou valendo-se de modelagem. Os autores consultados foram os mesmos já citados no segmento anterior (dedicado a correntes longitudinais) com exceção de Lanfredi & Framiñan (1986).

A figura 131 (p.172) compara os resultados avaliados pelas equações da Tabela 2 (p.97) plotados em conjunto contra os valores medidos no ambiente. O mesmo tipo de comparação é feito individualmente e mostrado na figura 132 (p.173).

A Tabela 4 (p.174) mostra que das 8 equações testadas apenas três foram estatisticamente rejeitadas embora os coeficientes de determinação não tendencioso tenham se mantido muito baixos em todos os casos analisados. De qualquer forma, mesmo não sendo rejeitadas pelo teste estatístico, os resultados auferidos pelas 5 restantes mantiveram-se muito acima da ordem de grandeza dos valores medidos.

Dentre as 5 equações não rejeitadas foram escolhidas 2 para serem calibradas com os dados locais medidos e posteriormente utilizadas para aproximar o comportamento do transporte longitudinal na área de interesse. As equações escolhidas foram CERC e Kamphuis-91. A Tabela 5 (p.174) apresenta estas equações já calibradas e sob nova denominação CERC.Cas (65) e Kamphuis-91.Cas (66). Importante observar que nos dois casos os coeficientes (K) sofreram redução significativa, para que os valores calculados se enquadrassem na ordem de grandeza do transporte medido. Entretanto a calibração foi

feita valendo-se de dados medidos em condições atmosféricas normais o que sugere transportes bastante reduzidos se comparados com os ocorridos durante eventos extremos. Logo, é possível que para a dinâmica global vigente no ano (normais + extremas) os valores médios dos coeficientes apresentem valores mais próximos dos originalmente deduzidos.

A figura 133 (p.175) apresenta as curvas avaliadas pelas equações da Tabela 5 (p.174) comparando-as com os resultados medidos. Interessante observar que para qualquer uma das equações calibradas o melhor ajuste ocorre para valores de altura significativa da onda na arrebentação abaixo de 1 m, como pode ser visto na figura 134 (p.175). Como historicamente tem sido observado, que nesta região, o valor médio anual da altura das ondas na rebentação fica em torno de 0,7 m, as equações calibradas parecem ser satisfatórias para o fim desejado.

A Tabela 6 (p.176) mostra que nenhuma das duas equações calibradas foi rejeitada pelo teste estatístico de hipóteses considerado um nível de significância de 5 %. Mostra também que os coeficientes de determinação não tendenciosos continuam baixos. Importante lembrar que a calibração introduz na equação a influência das variáveis locais que não estão ali contempladas. Na prática isto é feito ajustando-se a ordem de grandeza dos valores calculados à ordem de grandeza dos valores medidos.

Neste caso a calibração é importante, porque as variáveis introduzidas no processo costeiro pela presença da obra (molhes) promovem alterações no comportamento hidráulico e no transporte local, induzindo erros na avaliação das equações. Isto ocorre provavelmente por duas razões distintas: (i) porque estes modelos não foram desenvolvidos especificamente para aproximar o transporte sedimentar no entorno de obras costeiras e (ii) porque a maioria destas equações foram calibrada por dados obtidos com metodologias de menor precisão (barreiras físicas, traçadores, etc).

Melhores resultados talvez fossem alcançados se as equações utilizadas tivessem sido deduzidas especificamente para este tipo de situação, entretanto isto fugiria de um dos objetivos da tese que é avançar condições para a determinação do transporte costeiro em todo o litoral do Rio Grande do Sul (onde a presença de obras costeiras não é a principal característica), principalmente nos pontos de maior movimentação de sedimentos (hot points) onde a erosão é responsável por profundas alterações na linha de

costa. O próximo passo é dar atenção ao transporte costeiro sob condições extremas.

6.2.2 Aplicação das equações de transporte na região de interesse

A seguir passaremos a discutir os resultados obtidos com a aplicação das equações calibradas na avaliação da deriva litorânea na região, objetivo máximo deste trabalho de tese. Primeiramente serão apresentados e comentados os resultados, seguindo-se então a sua discussão.

A Tabela 7 (p.177) apresenta as taxas avaliadas pelas equações CERC.Cas (65) e Kamphuis-91.Cas (66) valendo-se das condições hidrodinâmicas e morfométricas médias da região de interesse, para o período de 1 ano de transporte. Estes parâmetros ambientais são o resultado de observações feitas durante condições atmosféricas normais por um conjunto de 50 campanhas de medições de campo (das quais foram utilizadas 47).

São avaliadas as seguintes taxas de transporte: (i) total da região (soma dos valores absolutos dos transportes bidirecionais), (ii) direcionado para nordeste, (iii) direcionado para sudoeste e (iv) líquido.

A Tabela 7 (p.177) mostra que a taxa de transporte total varia de um máximo de 418 m³/ano/m obtido por K-91.Cas a um mínimo de 219 m³/ano/m avaliados por CERC.Cas, enquanto que a taxa líquida para nordeste varia entre o máximo de 136 m³/ano/m (K-91.Cas) e um mínimo de 64 m³/ano/m (CERC.Cas). Entretanto, observa-se que embora as mesmas equações tenham sido utilizadas para determinar os valores totais e líquidos, os percentuais envolvidos alteraram-se significativamente. A taxa líquida para nordeste calculada por K-91.Cas representa 32,5 % do total enquanto que a obtida por CERC.Cas atinge a 29 % do mesmo.

A Tabela 8 (p.177) apresenta os resultados obtidos pela aplicação das equações CERC (56) e Inman-Bagnold (62) [testadas por Miller (1999) para condições extremas] utilizando valores hidrodinâmicos extremos publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003) para a área de interesse. A taxa total máxima de 13.350 m³/ano/m (Inman-Bagnold) alcançou o dobro do valor avaliado pela equação do CERC (7.128 m³/ano/m). Neste caso as duas equações utilizadas apresentaram percentuais idênticos para as taxas líquidas auferidas, ou seja, 84 % do total transportado.

A Tabela 9 (p.178) mostra os resultado obtido pelas equações CERC.Cas e K-91.Cas utilizando os mesmos valores dos parâmetros hidrodinâmicas e morfométricos aplicados na avaliação das equações testadas por Miller (1999). Neste caso a taxa total máxima ficou por conta da equação K-91.Cas (522 m³/ano/m) e a taxa mínima por conta da equação CERC.Cas (183 m³/ano/m). Os percentuais líquidos para nordeste mantiveram-se iguais para as duas equações utilizadas (84% do transporte total).

As Tabelas 10 (p.179) e 11 (p.179) apresentam as taxas anuais do transporte na região, como resultado da soma das taxas de transporte encontradas para condições normais e para eventos extremos apresentadas nas Tabelas 7 (p.177), 8 (p.177) e 9 (p.178).

A Tabela 10 (p.179) contém a soma do transporte em condições normais determinado com o auxílio das equações calibradas mais os valores do transporte sob condições de tempestade determinados pelas equações testadas por Miller (1999). No primeiro caso foram utilizados os dados medidos durante os trabalhos de campo e no segundo os parâmetros hidrodinâmicos e morfométricos publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).

A Tabela 11 (p.179) contém a soma do transporte sob condições atmosféricas normais determinado com o auxílio das equações calibradas mais os valores do transporte em eventos extremos calculados pelas mesmas equações. No primeiro caso foram utilizados os dados obtidos nas saídas de campo e no segundo os parâmetros publicados por Coli (2000) e Saraiva et ali. (2003).

Agora passaremos à discussão dos resultados apresentados e previamente comentados, tendo como base observações e correlações feitas pelo autor sobre o comportamento contemporâneo e progresso da região e informações colhidas de trabalhos anteriores de diferentes pesquisadores.

Examinando os valores encontrados para o transporte na região usando as equações testadas por Miller (1999) e as equações calibradas (Tabelas 10, p.179 e 11, p.179, respectivamente) fica evidente a grande diferença existente entre os valores envolvidos, principalmente na parcela que se refere ao transporte sob tempestade. Faz-se necessário analisar estes dados a luz de evidências locais tanto atuais como pregressas (longo prazo) para poder optar pelo valor mais representativo do processo na região.

Segundo Pitombeira (1975) e Alfredini (1999) que tentaram a avaliação do transporte na costa do Rio Grande do Sul utilizando clima de ondas em águas intermediárias e profundas respectivamente e equações empíricas, os valores encontrados foram significativamente elevados, sendo que Pitombeira (1975) encontrou transporte líquido para sudoeste (provavelmente devido a dificuldades na medição das direções de incidência das ondas). O citado autor determinou valores totais de transporte entre um máx. de 1.550 mil m³/ano e mín. de 535 mil m³/ano, enquanto que o valor líquido flutuou entre o máx. de 389 mil m³/ano e mín. de 147 mil m³/ano, ambos para sudoeste. Alfredini (1999), por sua vez, encontrou valores para o transporte total na ordem de 2.180 mil m³/ano e 99 mil m³/ano líquidos para nordeste.

Os valores acima estão na mesma ordem de grandeza dos valores totais apresentados pela Tabela 10 (p.179) embora os valores líquidos (absolutos) encontrados por Pitombeira e Alfredini fiquem pelo menos uma ordem de grandeza abaixo da referida tabela. Evidências discutidas a seguir demonstram que os valores reais atuais (para a região estudada) estão muito mais próximos dos apresentados na Tabela 11 (p.179) do que aqueles encontrados pelos autores acima citados. Em favor destes autores, fica o fato de que seus cálculos tinham objetivo muito mais amplo, já que almejavam determinar o transporte para toda a costa do Rio Grande do Sul e, portanto em momento algum se preocuparam com as peculiaridades específicas da desembocadura da Lagoa dos Patos e com a influência da grande obra de engenharia no comportamento hidráulico deste ponto da costa.

É bastante razoável imaginar que os elevados valores preconizados por Pitombeira e Alfredini possam vir a se confirmar principalmente para ‘pontos quentes’ da costa onde se observa elevadas taxas erosivas, principalmente devido à focalização dos raios de onda resultante de anomalias na batimetria local (Calliari et ali., 1998; Pimenta, 1999).

Que os valores encontrados neste trabalho são baixos não resta dúvida, a dúvida é se eles são representativos do comportamento local ao longo do tempo ou se representam apenas uma situação particular e muito específica encontrada somente este ano. Para tentar elucidar esta questão passa-se a uma discussão detalhada do comportamento dos estoques sedimentares na base e nos costados oceânicos dos molhes, ali acumulados ao

longo dos últimos 90 anos.

Analisando o comportamento da linha de costa ao sul do Molhe Oeste, com base em plantas da Barra do Rio Grande entre 1883 e 1956 publicadas pelo 18º Distrito do Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (1959), verifica-se a ocorrência de um processo acrescivo que depositou neste ponto aproximadamente 1.500 mil m³ de areia entre 1913 e 1915 a uma taxa média de 750 mil m³/ano. Estas mesmas cartas mostram que entre 1915 e 1947 este mesmo local não apresentou alterações significativas, apenas pequenas flutuações ora acrescivas, ora erosivas. Lelis (2003) estudando aerofotografias métricas obtidas entre 1947 e 2000 observou que neste período também não ocorreram alterações significativas na linha de costa neste ponto específico, o que sugere que o processo acrescivo intenso foi um fato localizado no tempo e coincidente com os dois primeiros anos que se seguiram ao início da grande obra.

O mesmo comportamento pode ser observado na posição das cotas batimétricas (base e costado oceânico da obra) registradas nas cartas. As posições das isolinhas são as mesmas em 1915 e nas cartas atuais, denotando que também no meio subaquoso o processo acrescivo intenso encerrou-se em 1915. A partir de então as alterações tem sido muito pequenas, apesar de passados 88 anos. No meio subaquoso estima-se que entre 1913 e 1915 foram acrescidos aproximadamente 700 mil m³ em dois anos, o que aponta para uma taxa média de 350 mil m³/ano. Logo, é possível inferir que entre 1913 e 1915 foram agregados a este ponto da costa 2.200 mil m³, numa média de 1.100 mil m³/ano. Desde então, como Lelis (op.cit.) já demonstrou, este ponto da praia encontra-se em relativo equilíbrio.

É sabido que este não é um equilíbrio estático gerado pela ausência de aporte sedimentar, mas um equilíbrio dinâmico onde o balanço sedimentar tende para zero. Estima-se que este balanço seja o resultado da interação entre o transporte longitudinal líquido para nordeste (Tabelas 10, p.179 e 11, p.179) e o transporte transversal líquido para o mar (Fig 125, p.167). Portanto, como tudo indica que o transporte transversal para o mar é relativamente pequeno, para que se sustente a idéia de um balanço nulo ou a presença de uma resultante de porte reduzido, há necessidade de que o transporte longitudinal líquido para nordeste também seja pequeno.

Uma outra hipótese, extraída das mesmas cartas, também aponta para um

transporte longitudinal baixo, embora contrariamente a anterior, sugere a existência de um transporte transversal acrescido intenso entre 1913-1915. Examinando as cartas anteriores a 1913 constatou-se que as barras arenosas que ocluíam a desembocadura estendiam-se paralelas à praia muito além dos limites desta (Pontais sul e norte). Quando da sua construção os molhes cortaram estas barras de forma que o seu lado oceânico apresentava na época um perfil muito mais raso do que hoje. A posição que hoje ocupa a cota de 5 m em 1913 era ocupada pela cota de 2 m, e assim sucessivamente. Logo é possível supor que parte significativa dos sedimentos acrescidos à base e costado inicial do Molhe Oeste o tenham sido feito por transporte transversal, que aproximou da praia os sedimentos disponíveis nos rasos adjacentes, provocando o aprofundamento daqueles pontos por falta de reposição dos sedimentos removidos. Interessante observar que uma feição de fundo semelhante ocorre na base e costado inicial do Molhe Leste onde inclusive a extensão rasa apresenta um comprimento maior. Naquele costado também se nota na carta de 1913 e nas cartas anteriores a esta a presença de um terraço longo, provavelmente parte da barra anteriormente existente.

Tanto a 1ª como a 2ª hipótese apontam para um transporte longitudinal atual muito pequeno, sendo que a 1ª sugere a existência de um transporte intenso pelo menos nos dois primeiros anos após o início da obra e uma posterior estabilização em níveis baixos, enquanto que a 2ª descarta até mesmo esta possibilidade apontando para um transporte baixo o tempo todo. Logo, com base nesta discussão, é justo inferir que o transporte longitudinal nesta região tanto em condições atmosféricas normais como em eventos extremos é relativamente pequeno e, portanto pode ser representado satisfatoriamente por qualquer uma das 2 equações da Tabela 11 (p.179).

Justificada (pelo menos em parte) a tese de um pequeno transporte longitudinal na região (total e líquido), fica a pergunta: porque o transporte é pequeno?

A resposta pode estar contida nos baixos valores médios de ' H_{sb} ' reinantes durante condições atmosféricas normais e principalmente no reduzido valor médio do ângulo de incidência das ondas na arrebentação. Também a refração e a difração oriundas da presença da obra tem papel importante neste processo. A influência dos baixos ângulos de incidência das ondas no ponto de quebra, sobre o transporte longitudinal na região é mais bem entendida considerando-se a discussão anterior realizada no subtítulo

‘ondas’ (p.184). Considerar também a presença da grande quantidade de lama que cobre o fundo entre as cotas de 6-15 m, e que se estende por praticamente todo o comprimento da praia estudada ao sul da desembocadura (Calliari & Fachin, 1993). Este pacote de lama pode ser responsável, em parte, pelo arrefecimento parcial das ondas (principalmente durante tempestades) e também pelo isolamento de parte importante dos sedimentos terrígenos de fundo impedindo a sua mobilização e conseqüente diminuição na alimentação da zona de surfe.

Comparações entre as taxas de transporte e diferentes parâmetros hidrodinâmicos, morfométricos e sedimentológicos apontaram para correlações importantes entre o transporte e os parâmetros hidrodinâmicos (ondas, correntes e ventos), contrariamente as correlações entre o transporte e os parâmetros morfométricos e sedimentológicos (ângulo de incidência das ondas, comprimento e secção transversal dos perfis, declividade praial e diâmetro médio do grão) que foram sempre muito fracas. O primeiro grupo de correlações é apresentado abaixo pelas figuras 142 (p.216) a 146 (p.218). O segundo grupo é mostrado nas figuras 147 (p.218) a 152 (p.221).

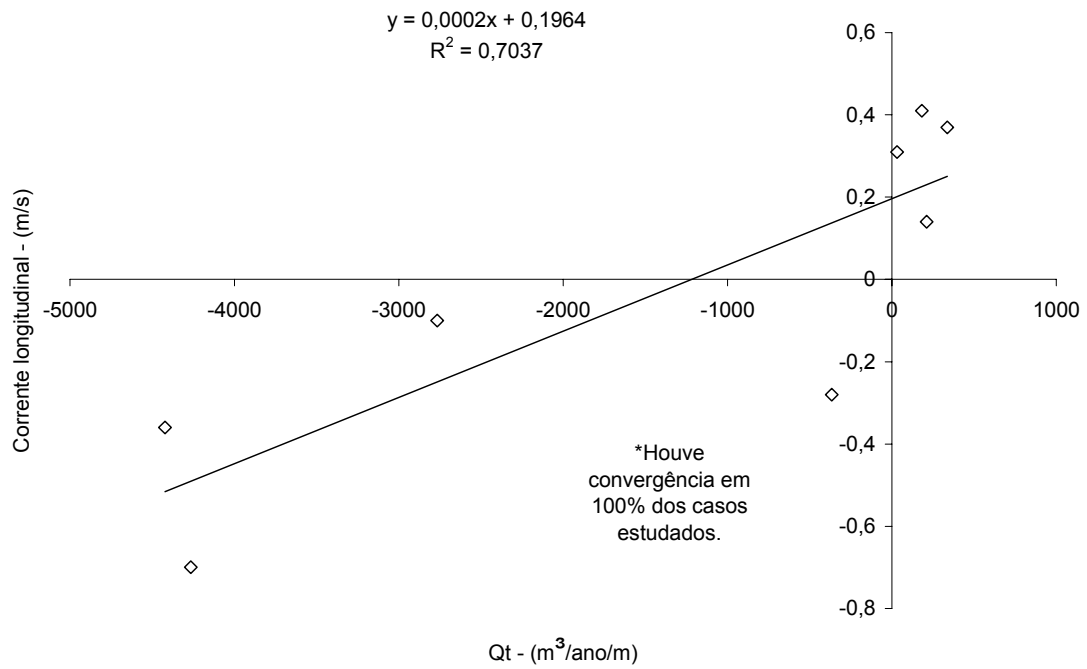


Figura 142 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e as velocidades da corrente longitudinal.

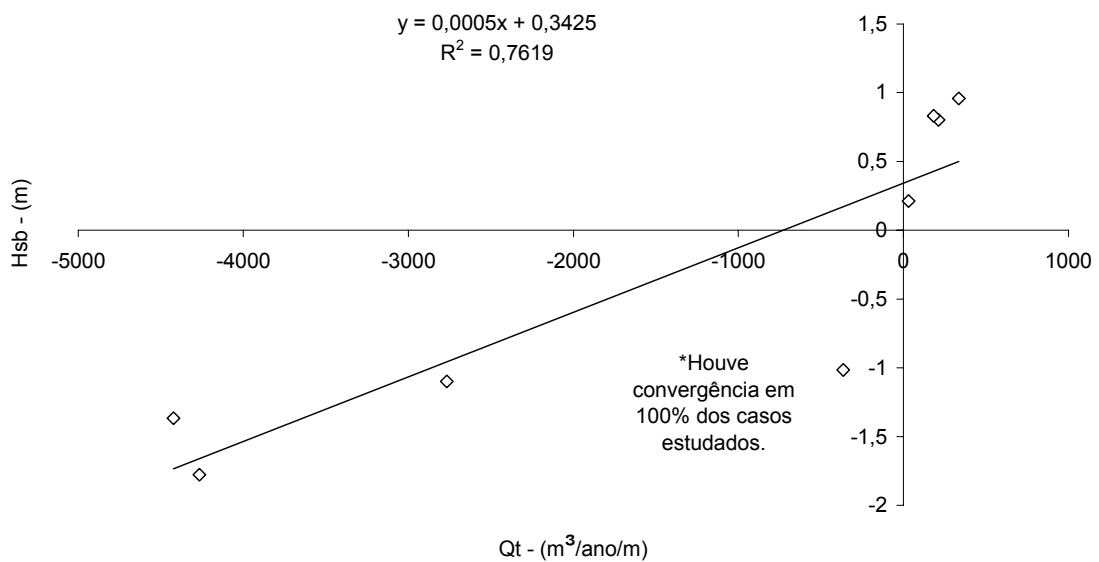


Figura 143 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e as alturas significativas das ondas na arrebentação.

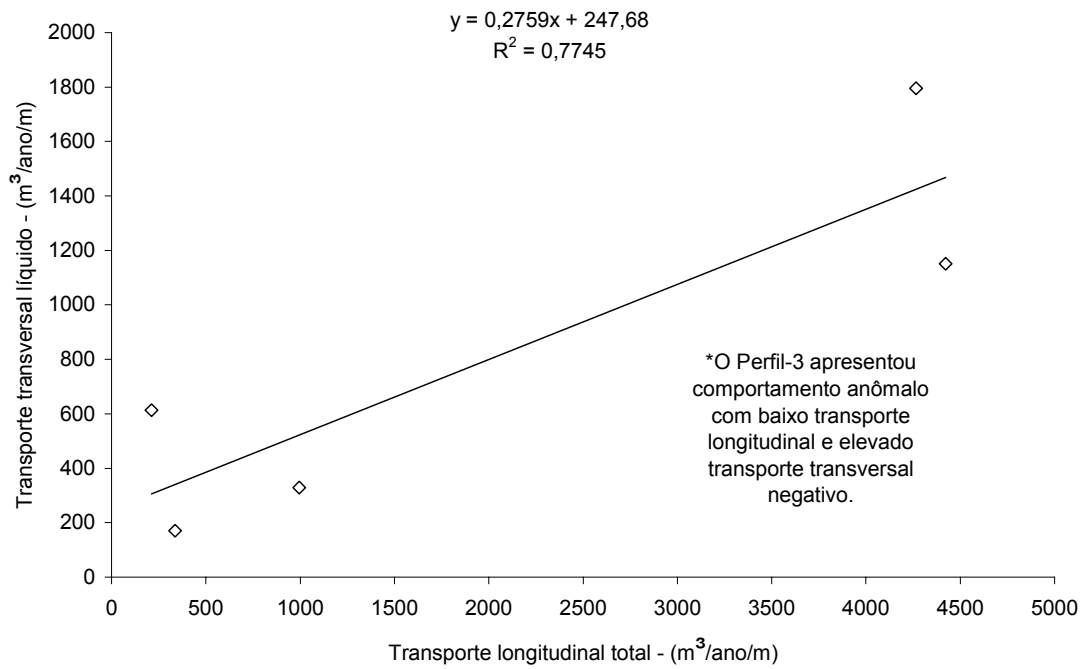


Figura 144 – Correlação entre o transporte longitudinal e o transporte transversal na região de interesse.

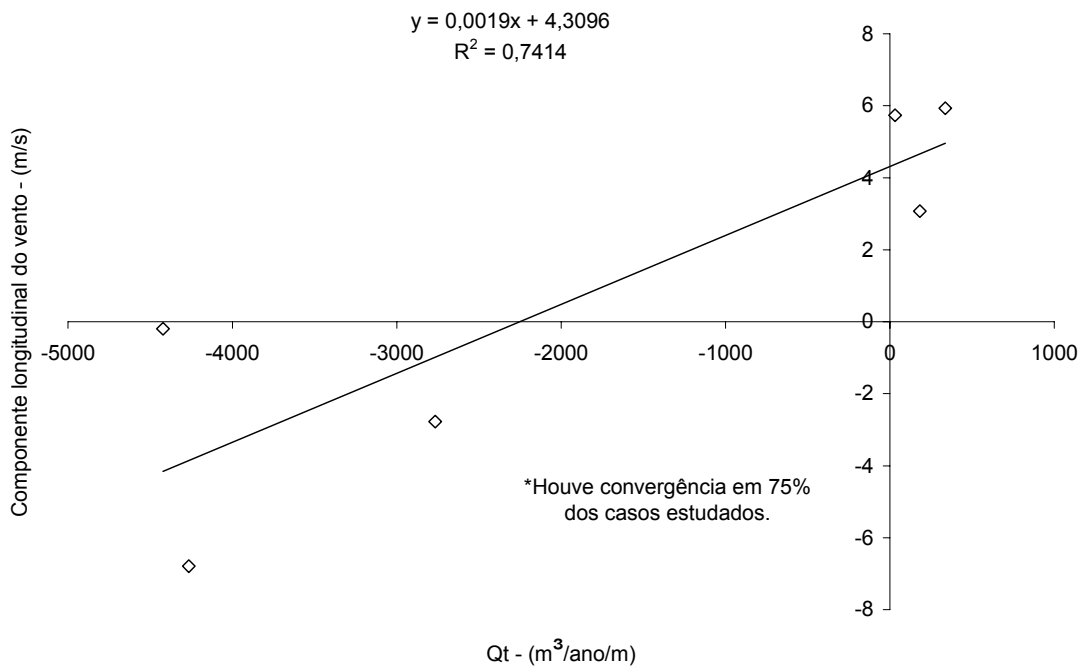


Figura 145 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a direção da componente longitudinal do vento na costa.

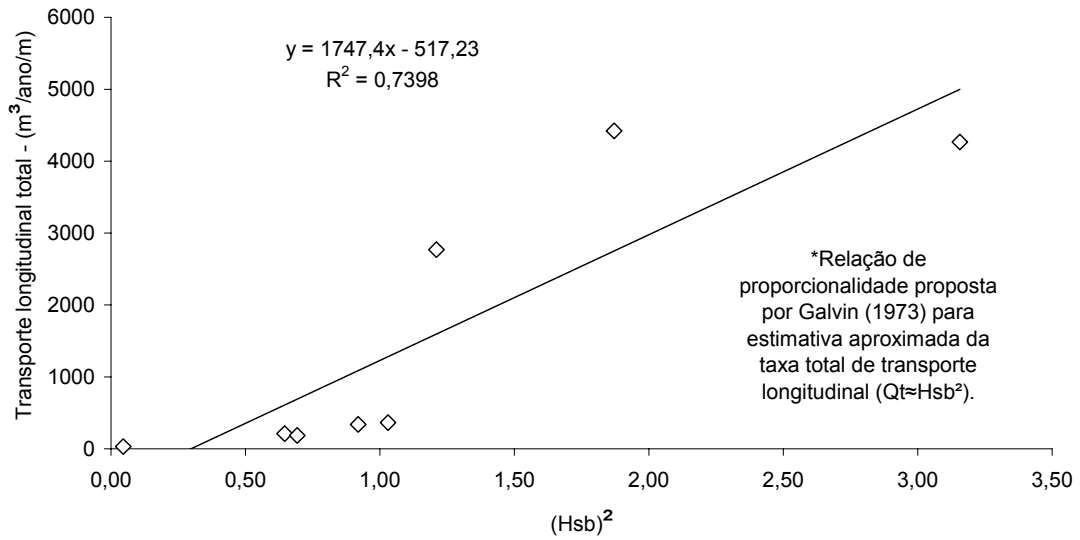


Figura 146 – Correlação entre a taxa de transporte longitudinal e o dobro da altura significativa da onda na arrebenção (relação de Galvin).

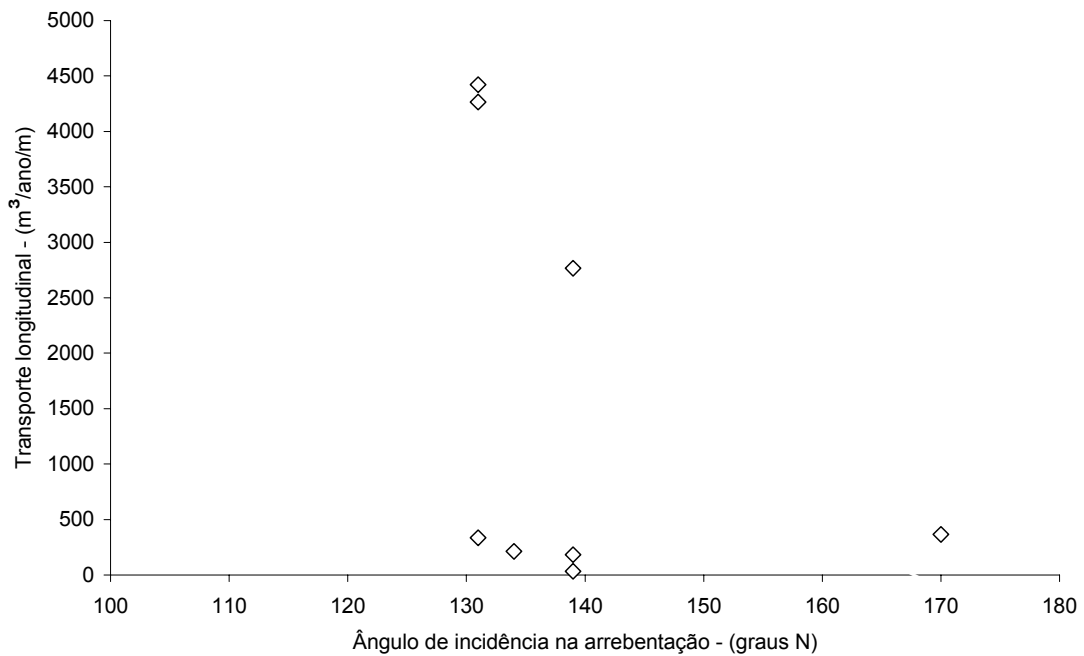


Figura 147 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e os ângulos de incidência das ondas na arrebenção.

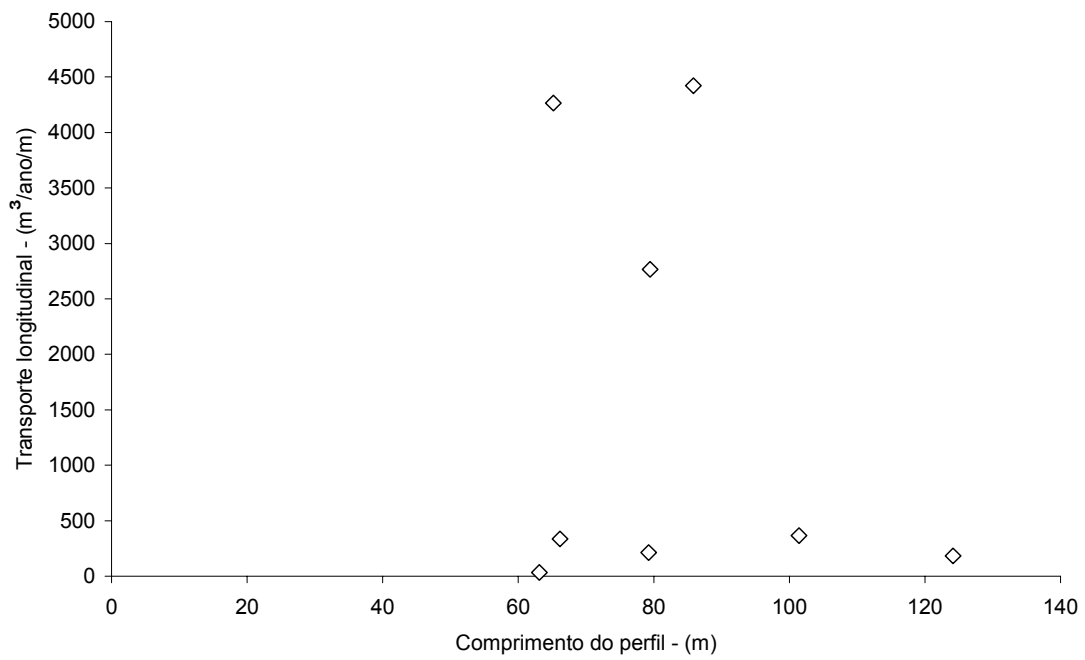


Figura 148 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e os comprimentos dos perfis transversais estudados.

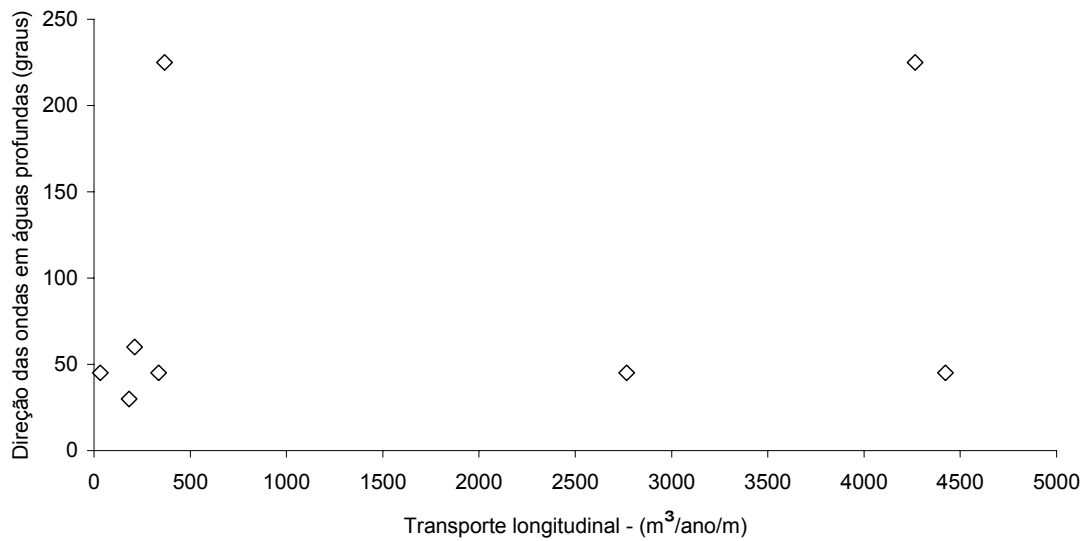


Figura 149 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e as direções de incidência das ondas em águas profundas.

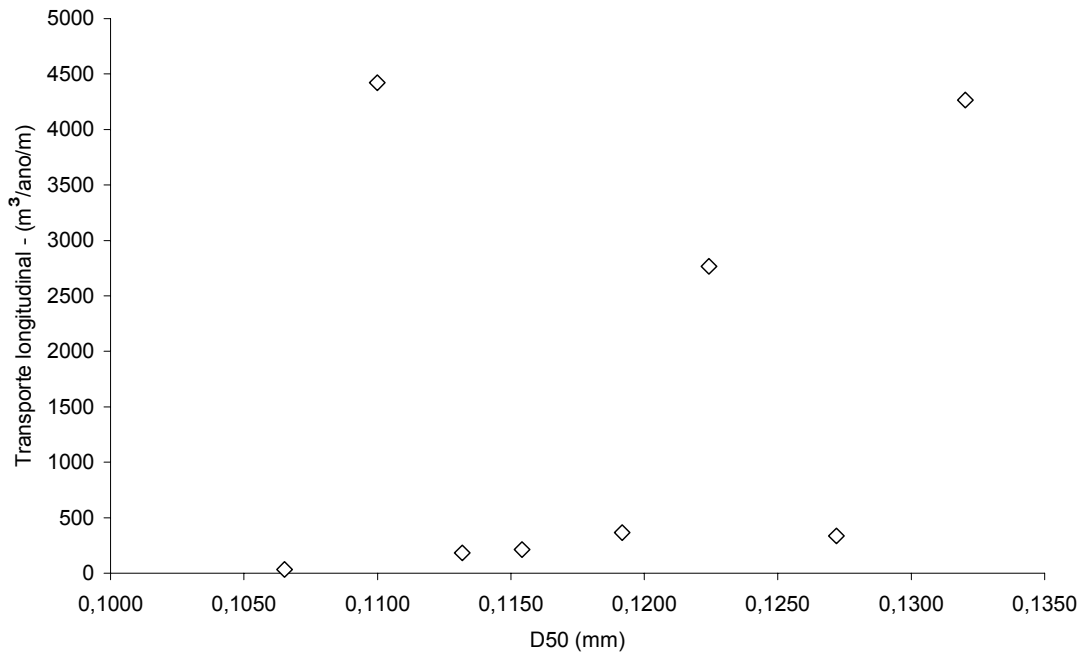


Figura 150 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e os diâmetros médios dos sedimentos.

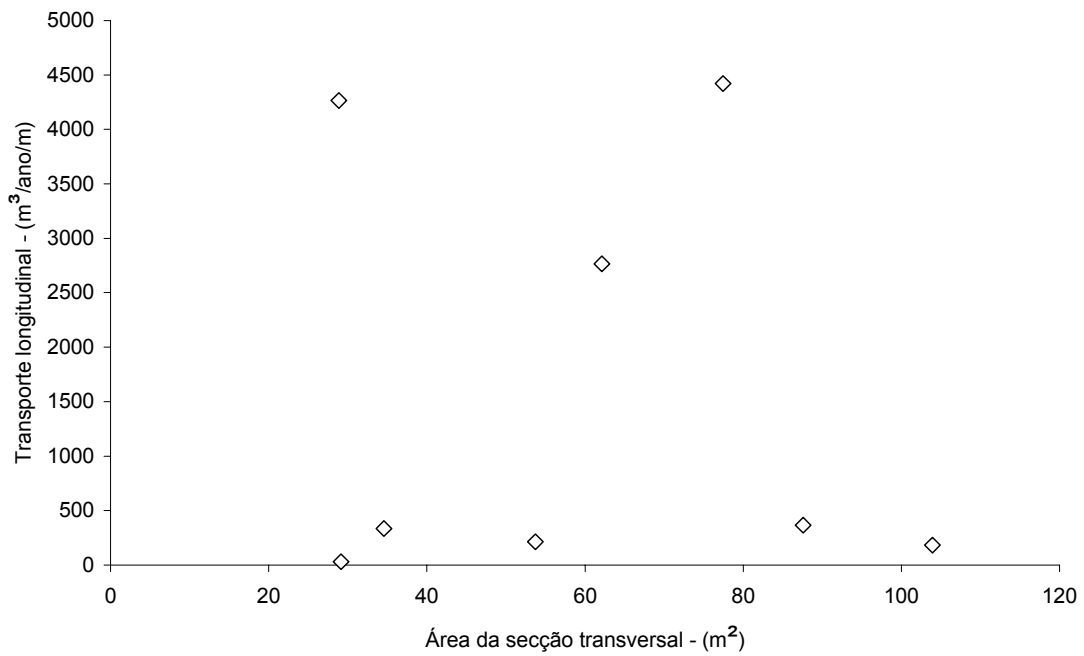


Figura 151 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e as áreas úmidas da secção transversal dos perfis estudados.

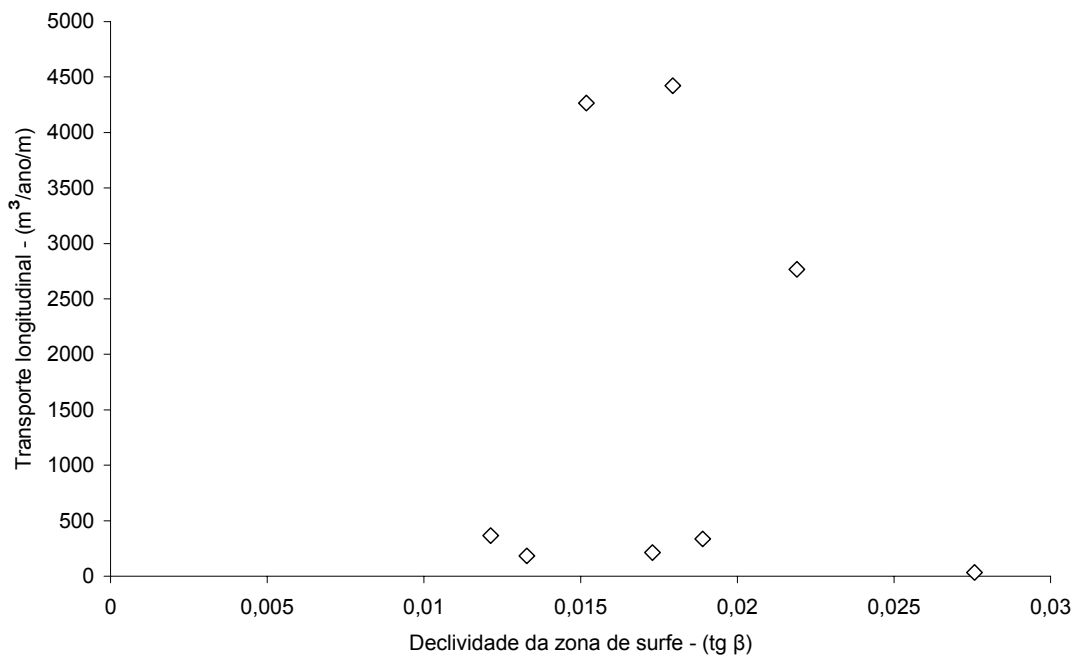


Figura 152 – Correlação entre as taxas de transporte longitudinal e a declividade da zona de surfe nos perfis estudados.

O conjunto de correlações com bom coeficiente de determinação (Fig 142, p.216 – 146, p.218), relacionando o transporte longitudinal com os parâmetros hidrodinâmicos pode ser explicado, em parte, pelo comportamento passivo das partículas que respondem prontamente as solicitações dos seus forçantes, enquanto estes, mudam numa escala de tempo muito pequena respondendo rapidamente às variações atmosféricas, logo transporte e hidrodinâmica estão perfeitamente encaixados na mesma escala temporal e espacial. Por outro lado, os baixos coeficientes de determinação mostrados pelo conjunto (Fig 147, p.218 – 152, p.221) que relaciona o transporte longitudinal com dados morfométricos e sedimentológicos podem prender-se ao fato de estes parâmetros responderem mais lentamente as alterações do meio apontando para uma maior diferença de fase entre os fenômenos envolvidos, some-se a isto a proximidade entre os perfis estudados, que sugere uma certa homogeneidade regional para os parâmetros envolvidos.

Neste caso, a falta de correlação não significa que o transporte não seja influenciado pelos sedimentos ou pela morfodinâmica, contrário senso, sabemos que estes parâmetros são importantíssimos na elaboração do transporte, apenas neste caso, a escala das mudanças, a frequência das observações e a homogeneidade do sítio não

permitem a clara percepção estatística destas interações.

Sugestões

A seguir são relacionados alguns tópicos sugeridos para aproveitamento em trabalhos futuros como complemento importante para a presente tese ou mesmo como trabalhos independentes:

1. Conduzir pesquisa com transporte longitudinal na região, sob condições de eventos extremos (ondas de tempestades) utilizando equipamentos eletrônicos (OBS e correntógrafos eletromagnéticos) afixados a um trenó pesado (Terra, 2003) e fortemente ancorado na zona de surfê ou com equipamento ancorados através de ‘water jet’ e comparar os resultados obtidos com os dados estimados nesta tese, para as mesmas condições atmosféricas.

2. Conduzir medição de altura e direção das ondas na arrebentação usando ondógrafo capacitivo e comparar os resultados obtidos com as medições feitas com auxílio de filmagem dos campos de ondas. Determinar desta forma o erro médio desta última metodologia.

3. Conduzir medição do transporte utilizando ‘traps’ assegurando a instalação destes no topo da crista e no fundo da cava de cada banco em toda a zona de arrebentação e comparar com os resultados obtidos nesta tese.

4. Conduzir pesquisa de transporte sedimentar durante a ocorrência em larga escala de diatomáceas ‘*Asterionellopsis Glacialis*’, e averiguar a influencia da presença da matéria orgânica sobre a mobilização e transporte de sedimentos na zona de arrebentação.

5. Conduzir pesquisa do transporte em outros pontos da costa do RS, utilizando a mesma metodologia e comparar os resultados com os obtidos neste trabalho. Reajustar e comparar também as equações envolvidas.

7. CONCLUSÃO

7.1 Introdução

Antes de se relacionar as conclusões obtidas na presente pesquisa é importante que fique claro para o leitor as limitações deste trabalho no que diz respeito ao número de coletas realizadas e quanto à distribuição destas coletas no espaço e no tempo. Estes limites não diminuem em nada a significância do trabalho, apenas ajudam a dar às conclusões obtidas a sua verdadeira dimensão e confiabilidade.

Em face de dificuldades financeiras e da indisponibilidade de equipamentos e pessoal o número de coletas ficou limitado a 8, sendo que 3 destes realizados no mesmo ponto. Este pequeno número de coletas não permitiu uma cobertura completa das sazonalidades do ano, fazendo com que uma parte significativa das observações fossem realizadas durante o período de verão em detrimento das estações mais frias, já que nesta época as menores dificuldades ambientais favorecem a realização do trabalho com recursos limitados. Limitações também foram impostas ao trabalho no que diz respeito à distribuição espacial das observações. Foram escolhidos 6 perfis para que se obtivesse uma melhor representatividade média dos resultados da região, entretanto posteriormente observou-se que esta escolha e a forma como ela foi conduzida, trouxe para dentro do trabalho uma componente nova que foi a presença da obra dos molhes e sua influencia sobre o comportamento das ondas no seu entorno. A inclusão desta nova variável acabou dificultando a extrapolação dos dados obtidos e, portanto limitando as conclusões do trabalho. Finalmente, ocorreram limitações quanto à distribuição dos pontos de coleta sobre os perfis escolhidos, já que, nem sempre foi possível obter dados sobre todas as linhas de arrebentação devido à profundidade da água ou condições do mar. Tabelas com os dados coletados podem ser encontradas na página 181 (Tab 12) ou nos anexos.

7.2 Conclusões

Exclusivamente para a região estudada, em atenção às hipóteses formuladas e objetivos estabelecidos no início deste trabalho e consubstanciado pelos resultados

auferidos e discussões encetadas no seu encarreamento, concluiu-se o que segue:

1. Concluiu-se quantitativamente que o transporte longitudinal na região é bi-direcional e apresenta resultante positiva para nordeste, conforme pode ser visto na Tabela 11 (p.179). Dependendo da equação escolhida a taxa de transporte total (considerando as somas do transporte em condições atmosféricas normais e eventos extremos) pode variar entre um máx. de 940 e um mín. de 402 m³/ano/m enquanto que a taxa de transporte líquido para nordeste flutua entre 574 (máx.) e 218 m³/ano/m (mín.), ou seja, 61 e 54% do transporte total, respectivamente.
2. Concluiu-se quantitativamente que o transporte sob condições atmosféricas normais é baixo e sua resultante para nordeste muito pequena conforme pode ser visto na Tabela 7 (p.177). Concluiu-se quantitativamente que a magnificação do transporte líquido para nordeste ocorre durante a passagem de tempestades costeiras vindas do quadrante sul, conforme mostrado na Tabela 9 (p.178). Concluiu-se quantitativamente, também, que o transporte longitudinal nesta região é muito pequeno, principalmente se comparado com outros pontos da costa do Rio Grande do Sul, onde as condições batimétricas favorecem o surgimento de focos de ondas. A taxa de transporte total em condições atmosféricas normais (considerando os resultados obtidos pelas duas equações envolvidas) variou de 418 a 219 m³/ano/m (máx. e mín., respectivamente), enquanto que as taxas líquidas flutuaram entre máx. 136 e mín. 64 m³/ano/m, ou seja de 47 a 52% do transporte total. A taxa de transporte total em eventos extremos variou de 522 a 183 m³/ano/m (máx. e mín.) enquanto que as taxas líquidas flutuaram entre máx. 438 e mín. 154 m³/ano/m, representando 35% do total. Embora estas taxas não sejam muito superiores as primeiras, as vazões sólidas crescem muito em função do aumento significativo da largura da zona de surfê. Concluiu-se também, que 18% do transporte é realizado por arraste de fundo enquanto que os restantes 82% ocorrem por suspensão na coluna d'água.

3. Concluiu-se quantitativamente que as direções da corrente longitudinal e da deriva litorânea são governadas quase integralmente pela direção e intensidade da componente longitudinal do vento na costa (figuras 42, p.113; 43, p. 116 e 150, p. 220). Alterações na direção do vento provocam pronta resposta da direção da corrente longitudinal e da deriva litorânea que buscam imediatamente acompanhar a direção do vento. Exceções ocorrem quando a componente do vento é muito pequena ou nula, neste caso a corrente passa a ser governada pela direção das ondas na arrebentação. A contraposição entre vento e corrente só ocorre como resultado do movimento inercial da corrente após a mudança repentina do vento, mas esta situação caracteriza-se por ser efêmera.

4. Concluiu-se quantitativamente que as equações empíricas utilizadas aproximaram melhor o comportamento do transporte longitudinal na região após devidamente calibradas para as condições locais (Tabela 5, p.174). O uso deste tipo de equação sem calibração local, principalmente em zonas de hidrodinâmica específica, pode dar origem a resultados muitas ordens de grandeza discrepantes da realidade. Concluiu-se também que não basta a calibração das equações, é necessário que os resultados auferidos sejam discutidos quanto a sua consistência espacial e temporal, para verificar se as extrapolações realizadas expressam o comportamento médio da região ao longo do tempo ou simplesmente descrevem um fenômeno momentâneo.

BIBLIOGRAFIA

- Abbott, J.E. & Francis, J.R.D. 1977. *Saltation and suspension trajectories of solid grains in a water stream*. Proceedings of Royal Society, 284(A):1321.
- Ackers, P. & White, W.R. 1973. *Sediment transport: new approach and analysis*. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 99(1):2041-2060.
- Alfredini, P. 1999. *The longshore transport evaluation used as a tool for the brazilian coastline littoral processes knowledge*. Anais do VII Congresso Brasileiro da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), 13p.
- Almeida, L.E.S.B. & Rosauo, N.M.L. 1997. *Análise preliminar das marés na barra do Rio Tramandaí (RS-Brasil)*. IN: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (12:1997:Vitória). Anais. São Paulo. ABRH, vol. 4, p. 559-566.
- Alvarez, J.A.; Gré, J.C. & Toldo Jr., E.E. 1981a. *Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande – Rio Grande do Sul*. Pesquisas, Porto Alegre, 14:131-147.
- Alvarez, J.A.; Martins, I.R. & Martins, L.R. 1981. *Estudo da Lagoa dos Patos*. Pesquisas, Porto Alegre, 14:41-66.
- Amos, C.L. & Topliss, B.J. 1985. *Discrimination of suspended particulate matter in the bay of fundy using the Nimbus 7 coastal zone color scanner*. Canadian Journal of Remote Sensing, 11(1):85-92.
- Araújo, R.O.S. 2002. *Caracterização sedimentar lateral e transversal da praia dos Concheiros do Albardão, RS*. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande, 145p.
- Archetti, R. & Brocchini, M. 2002. *An integral swash zone model with friction: an experimental and numerical investigation*. Coastal Engineering, 45:89-110.
- Arlman, J.J.; Santema, P. & Svasek, J.N. 1958. *Movement of bottom sediment in coastal waters by currents and waves; measurements with the aid of radioactive tracers in the Netherlands*. Technical Memorandum nº 105, Beach Erosion Board, U.S. Army Engineers Waterways experiment station, Vicksburg, Mississipi.
- Bagnold, R.A. 1956. *The flow of Cohesionless grains in fluids*. Proc. Royal Soc. Philos. Trans., London, vol. 249.
- Bagnold, R.A. 1963. *Mechanics of marine sedimentation*. IN: M. N. Hill (ed.). The Sea. Vol. 3. New York: Wiley-Interscience, 507-528.
- Bagnold, R.A. 1966. *An approach to the sedimentary transport problem from general physics*. U.S. Geological Survey, 422-I:11-137.
- Bailard, J.A. & Inman, D.L. 1981. *An energetics bedload model for a plane sloping beach: local transport*. Journal of Geophysical Research, 86(C3):2035-2043.
- Bakker, W.T. 1971. *Computation of the wave induced littoral drift according to the Svasek method adapted to parallel depth contours*. Studierapport W. K. 71-2, Rijkswaterstaat, Directorate for Hydraulic Research, Dept. for coastal Research.

- Bandeira, J.V. 1972. *Estimativa do transporte litorâneo em torno da embocadura do Rio Sergipe*. Dissertação de Mestrado, UFMG/IPR, 197p.
- Barletta, R.C. 2000. *Efeito da interação oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul*. Dissertação de mestrado, FURG, 134p.
- Basco, D.R. 1983. *Surfzone currents*. Coastal Engineering, 7:331-355.
- Bayram, A.; Larson, M.; Miller, H.C. & Kraus, N.C. 2001. *Cross-shore distribution of longshore currents sediment transport: comparison between predictive formulas and field measurements*. Coastal Engineering, 44:79-99.
- Bedran, C. & Saraiva, J.M.B. 2000. *Monitoramento de "storm surges" na costa sul do Rio Grande do Sul*. Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas, UNIVALI, Itajaí, 175-177.
- Bell, P.S. 1999. *Shallow water bathymetry derived from an analysis of x-band marine radar images of waves*. Coastal Engineering, 37:513-527.
- Berek, E.P. & Dean, R.G. 1983. *Field investigation of longshore transport distribution*. Proceedings of 18th Coastal Engineering Conference, 1620-1639.
- Bicalho, H. 1883. *Relatório da Comissão de Melhoramentos da Barra do Rio Grande. Obras do Porto e da Barra do Rio Grande do Sul. Vol. 3*. Porto Alegre, 1924, Oficinas Gráficas da Federação.
- Bidlot, J.R.; Holmes, D.J.; Wittmann, P.A.; Lalbeharry, R. & Chen, H.S. 2002. *Intercomparison of the performance of operational ocean wave forecasting systems with buoy data*. Weather and forecasting, 17:287-310.
- Bijker, E.W. 1967. *Some considerations about scales for coastal models with movable bed*. Delft Hydraulics Laboratory, Publication n° 50, Delft, The Netherlands.
- Bijker, E.W. 1968. *Littoral drift as function of waves and current*. Proc. Of the 11th Coastal Engineering Conference, London, ASCE, 415-435.
- Birkemeier, W.A. 1985. *A user's guide to ISRP: the interactive survey reduction program*. Instruction Report CERC-84-11. U.S. Army Engineering Waterways Experiment.
- Blesmann, J. 1995. *O vento na engenharia estrutural*. Ed. Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 166 p.
- Bodge, K.R. & Kraus, N.C. 1991. *Critical examination of longshore transport rate amplitude*. Proceedings of Coastal Sediments '91 (ASCE, New York), 139-155.
- Braga, M.F.S. & Krusche, N. 2000. *Padrão de ventos em Rio Grande, Rio Grande do Sul, no período de 1992 à 1995*. Revista Atlântica, Rio Grande, 22:27-40.
- Britto, F. & Krusche, N. 1996. *Intensidade e frequência das frentes frias em Rio Grande*. IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, 1:185-188.

- Britto, F. & Saraiva, J.M.B. 1997. *Frequência e intensidade das frentes frias em Rio Grande*. VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Curitiba, 11 a 15 de outubro de 1997.
- Bruno, R.O. & Gable, C.G. 1976. *Longshore transport at a total littoral barrier*. Proceedings of the 15th Coastal Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, ASCE, 1203-1222.
- Bruno, R.O.; Dean, R.G. & Gable, C.G. 1980. *Longshore transport evaluations at a detached breakwater*. Proceedings of the 17th Coastal Engineering Conference, Sidney, ASCE, 1453-1475.
- Bruno, R.O.; Dean, R.G.; Gable, C.G. & Walton, T.L. 1981. *Longshore sand transport study at Channel Islands Harbor, California*. Technical Paper n° 81-2, CERC, U.S. Army Corps of Engineers.
- Bruno, R.O.; Watt, G.M. & Gable, C.G. 1977. *Sediments impounded by an offshore breakwater*. Proceedings of ASCE Specialty Conference 'Coastal Sediments 77', Charleston, South Carolina, 1006-1025.
- Bruun, P. 1963. *Longshore currents and longshore troughs*. Journal of Geophysical Research, 68:1065-1078.
- Butt, T. & Russell, P. 2000. *Hydrodynamics and cross-shore sediment transport in the swash zone of natural beaches: a review*. Journal Coastal Research, 16(2):255-268.
- Butt, T.; Russell, P. & Turner, I. 2001. *The influence of swash infiltration-exfiltration on beach face sediment transport onshore or offshore?* Coastal Engineering, 42(1):35-52.
- Caldwell, J.M. 1956. *Wave action and sand movement near Anaheim Bay, Califórnia*. Technical Memorandum n° 68, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers. 21p.
- Calliari, L.J. 1980. *Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 190p.
- Calliari, L.J. & Fachin, S. 1993. *Laguna dos Patos: influência nos depósitos lamíticos costeiros*. Pesquisas, Porto Alegre, 20:57-69.
- Calliari, L.J. & Klein, A.H.F. 1993. *Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS*. Pesquisas, Porto Alegre, 20(1):48-56.
- Calliari, L.J. & Klein, A.H.F. 1995. *Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, Rio grande do Sul*. Instituto Oceanográfico, São Paulo, Publicação Especial, 11:55-63.
- Calliari, L.J.; Klein, A.H.F. & Barros, F.C.R. 1996. *Beach differentiation along the Rio Grande do Sul coastline (Southern Brazil)*. Revista Chilena de História Natural, 69:485-93.

- Calliari, L.J.; Tozzi, H.A.M. & Klein, A.H.F. 1998. *Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil - Rio Grande to Chuí*. In: Land and Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) Meeting, Anais da Academia Brasileira de Ciências, 70(2):231-247.
- Castanho, J. 1966. *Rebentação das ondas e transporte litoral*. Memória 275, Laboratório Nacional de Engenharia. 278p.
- CERC. 1973. *Shore Protection Manual*. Coastal Engineering Research Center, v.I.
- CERC. 1984. *Shore protection manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Chappell, J.; Elliot, I.G.; Bradshaw, M.P. & Lonsdale, E. 1979. *Experimental control of beach face dynamics by water-table pumping*. Engineering Geology, 14:29-41.
- Ciavola, P.; Tabora, R.; Ferreira, O. & Dias, J.A. 1997. *Field measurements of longshore sand transport and control processes on a step meso-tidal beach in Portugal*. Journal Coastal Research, 13(4):1119-1129.
- Coli, A.B. 2000. *Estudo sobre o clima de ondas em Rio Grande, RS*. Dissertação de Mestrado, FURG, Rio Grande, 80p.
- Dean, R.G. 1973. *Heuristic models of sand transport in the surf zone*. Proceedings of Conference on Engineering Dynamics in the Coastal Zone: 208-214.
- Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais. 1959. *Plantas da Barra do Rio Grande. Anos 1883 à 1956*. Compiladas pelo eng^o Cícero Marques Vasão (18^o Distrito). Porto Alegre.
- Douglass, S.L. 1985. *Longshore sand transport statistics*. Thesis presented to Mississippi State University, Mississippi State, Miss., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- Domingues, M.V. de la R. 1995. *Super porto do Rio Grande : plano e realidade. Elementos para uma discussão*. Rio de Janeiro. UFRJ. PPG em Geografia. Dissertação de Mestrado, 312 p.
- Duane, D.B. 1970. *Tracing sand movement in the littoral zone: progress in the Radioisotopic Sand Tracer (RIST) study, July 1968-February 1969*. Miscellaneous Paper n^o 4-70, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Eaton, R.O. 1950. *Littoral processes on sandy coasts*. Proceedings of the 1st Coastal Engineering Conference, Long Beach, California, Council on Wave Research, Chapter 15:140-154.
- Einstein, H.A. 1950. *The bed-load function for sediment transportation in open channel flow*. Technical Bulletin, n^o 1026, U.S. Dept. of Agricultura, Washington, USA,
- Elfrink, B. & Baldock, T. 2002. *Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives*. Coastal Engineering, 45:142-167.
- Engelund, F. & Hansen, E. 1967. *A monograph on sediment transport in alluvial streams*. Teknisk Vorlag, Copenhagen.

- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal of sedimentary Petrology, 27(1):3-26.
- Fonseca, J.S. da & Martins, G.A. 1993. *Curso de Estatística*. Ed. Atlas SA, 4ª edição, São Paulo, 212-216 p.
- Fontoura, J.A.S. & Hartmann, C. 2001. *Capture small format aerial digital images using the Airborne Data Acquisition System (ADAR 1000) from Positive System Company (USA)*. Pesquisas, Porto Alegre, 28(2):373-381.
- Fontoura, J.A.S.; Almeida, L.E.S.B. & Cunha, R.F.P. 2003. Resultados preliminares da medição do transporte litorâneo de sedimentos não coesivos em bacia de ondas com fundo móvel. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.8, nº 4, Out-Dez, 193-205.
- Fryberger, S.G. 1979. *Dune forms and wind regime*. IN: Mc Kee, E.D. (ed.) A study of global sand seas. Washington, D.C., U.S. Geological Survey Professional Paper, 1052:137-169.
- FURG. 1999. *Ampliação dos Molhes do Porto do Rio Grande*. EIA/RIMA vol.1, 75p.
- Galvin, C.J. 1963. *Longshore currents on a laboratory beach*. Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology at Cambridge, Massachusetts.
- Galvin, C.J. & Eagleson, P.S. 1965. *Experimental study of longshore currents on a plane beach*. T.M-10, 1-80. Coastal Engineering Research Center, U.S. Army, Corps of Engineers.
- Galvin, C.J. & Vitale, P. 1976. *Longshore transport prediction – SPM 1973 equation*. Proceedings of the 15th Coastal Engineering Conference, Honolulu, Hawaii, ASCE, 1133-1148.
- Giosan, L.; Bokuniewicz, H.; Panin, N. & Postolache, I. 1999. *Longshore sediment transport pattern along the Romanian Danube Delta Coast*. Journal Coastal Research, 15(4):859-871.
- Glenn, S.M. & Grant, W.D. 1987. *A suspended sediment stratification correction for combined wave and currents flows*. Journal of Geophysical Research, 92:8244-8264.
- Grant, U.S. 1948. *Influence of the water table on beach aggradation and degradation*. Journal of Marine Research, 7(3):655-660.
- Green, M.O. & Black, K.P. 1999. *Suspended-sediment reference concentration under waves: field observations and critical analysis of two predictive models*. Coastal Engineering, 38:115-141.
- Greer, M.N. & Madsen, O.S. 1978. *Longshore sediment transport data: a review*. Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference, Hamburg, ASCE, 1563-1576.
- Harrison, W. 1968. *Empirical equation for longshore current velocity*. Journal of Geophysical Research, 73:6929-6936.
- Hubertz, J.M. 1986. *Observations of local wind effects on longshore currents*. Coastal Engineering, 10:275-288.

- Ingle, J.C. 1966. *The movement of beach sand*. Amsterdam, Holland: Elsevier, 221p.
- Inman, D.L. 1978. *Status of surf zone sediment transport relationships*. Proceedings of Workshop on Coastal Sediment transport with Emphasis on the National Sediment Transport Study, University of Delaware, Sea Grant Report DEL-SG-16-78, 9-20.
- Inman D.L. & Quinn, W.H. 1952. *Currents in the surf zone*. Proceedings Second Conf. Coastal Eng., Council on Wave Research, Univ. Calif., 24-36.
- Inman, D.L. & Chamberlain, T.R. 1959. *Tracing beach sand movement with irradiated quartz*. Journal of Geophysical Research, 64(1):41-47.
- Inman, D.L. & Bagnold, R.A. 1963. *Beach and nearshore processes part II: littoral processes*. Contribution to: The Sea. General Editor: M. N. Hill, John Wiley and Sons, 3:529-553
- Inman, D.L.; Zampol, J.A.; White, T.E.; Hanes, D.M.; Waldorf, B.W. & Kastens, K.A. 1981. *Field measurements of sand motion in the surf zone*. Proceedings of the 17th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 1215-1234.
- Kamphuis, W. 1991. *Alongshore sediment transport rate*. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 117(6):624-640.
- Kamphuis, J.W.; Davies, M.H.; Nairn, R.B. & Sayao, O.J. 1986. *Calculation of littoral sand transport rate*. Coastal Engineering, 10:1-21.
- Kana, T.W. 1976. *A new apparatus for collecting simultaneous water samples in the surf zone*. Journal of Sedimentary Petrology, 46(4):1031-1034.
- Kana, T.W. 1979. *Surf zone measurements of suspended sediment*. Proceedings of the 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineering, 1725-1743.
- Katori, S. 1983. *Measurement of sediment transport by streamer trap*. Report of the 7th Cooperative Field Investigation, Nearshore Environment Research Center, Report n^o 17, TR-82-1, 110-117. (in Japanese)
- Komar, P.D. 1969. *The longshore transport of sand beaches*. Ph D Thesis, University of California, San Diego, 141p.
- Komar, P.D. 1975. *Nearshore currents: generation by obliquely incident waves and longshore variations in breaker height*. IN: J. Hails and A. Carr (Eds). Nearshore sediment dynamics and sedimentation. New York, Willey, 17-45.
- Komar, P.D. 1978. *Relative quantities of suspension versus bed-load transport on beaches*. Journal of Sedimentary Petrology, 48(3):921-932.
- Komar, P.D. & Inman, D.L. 1970. *Longshore sand transport on beaches*. Journal of Geophysical Research, 75(30):5514-5527.
- Komen, G.J.; Cavaleri, L.; Donelan, M.; Hasselmann, K.; Hasselmann, S. & Jansen, P.A.E.M. 1994. *Dynamics and modelling of ocean waves*. Cambridge University Press, 532p.

- Kraus, N.C. 1987. *Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone*. Journal Coastal Research, 3(2):139-152.
- Kraus, N.C.; Isobe, M.; Igarashi, H., Sasaki, T.O. & Horikawa, K. 1983. *Field experiments on longshore sand transport in the surf zone*. Proceedings of the 18th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 969-988.
- Kraus, N.C. & Dean, J.L. 1987. *Longshore sand transport rate distribution measured by sediment trap*. Coastal Sediments '87, American Society of Civil Engineers (New York), 891-896.
- Kroon, A & van Rijn, L.C. 1993. *Suspended sediment fluxes in the nearshore zone at Egmond, The Netherlands*. Department of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands.
- Kumar, V.S.; Chandramohan, P.; Kumar, K.A.; Gowthaman, R. & Pednekar, P. 2000. *Longshore currents and sediment transport along Kannirajapuram, Tamilnadu, India*. Journal Coastal Research, 16(2):247-254.
- Lanfredi, N.W. & Framinã, M.B. 1986. Field study and prediction of longshore currents, argentine coast. Journal Coastal Research, 2(4):409-417.
- Larson, R.; Morang, A. & Gourman, L. 1997. *Monitoring the coastal environment. Part II: sediment sampling and geotechnical methods*. Journal Coastal Research, 13(2):308-330.
- Lélis, R.J.F. 2003. *Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul*. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 81p.
- Long, T. & Paim, P.S.G. 1987. *Modelo de evolução histórica e holocênica do estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul*. I ABEQUA, Porto Alegre, 227-248.
- Longuet-Higgins, M.S. 1970. *Longshore currents generated by obliquely incident sea waves, 1 & 2*. Journal of Geophysical Research, 75(33):6778-6801.
- Longuet-Higgins, M.S. 1972. *Recent progress in the study of longshore currents*. Contribution to: 'Waves on beaches and resulting sediment transport', edited by R. E. Meyer, Academic Press, New York.
- Malaval, B.B. 1922. *Travaux du Port et de la Barre de Rio Grande, Brésil*. Editor Leon Eyrolles, Paris.
- Martins da Silva, M.A. 1976. *Mineralogia das areias de praia entre Rio Grande e Chuí, Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 93p.
- Martins, L.R. & Villwock, J.A. 1974. *Morfologia e sedimentos da plataforma continental leste brasileira*. Pesquisas, Porto Alegre, 3(1):93-100.
- Martins, L.R.; Martins, I.R.; Villwock, J.A. & Calliari, L.J. 1978. *Ocorrência de lama na praia do Cassino, (RS)*. Anais Hidrográficos, 35:159-170.
- Miller, H.C. 1999. *Field measurements of longshore sediment transport during storms*. Coastal Engineering, 36:301-321.

- Miller, R.L. 1976. *Role of vortices in surf zone prediction: sedimentation and wave forces*. Symposium Beach and nearshore sedimentation, Dallar, USA.
- Morang, A.; Larson, R. & Gorman, L. 1997. *Monitoring the coastal environment; Part I: waves and currents*. Journal of Coastal Research, 13(1):111-133.
- Motta, V.F. 1963. *Relatório-análise e previsão alturas de ondas em Tramandaí*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 30 p.
- Motta, V.F. 1964. *Resultado de algumas medições de transporte litorâneo em modelo costeiro esquemático*. IPH Publicação interna. 31p.
- Motta, V.F. 1967. *Estudo em modelo reduzido para a regularização da embocadura Lagunar de Tramandaí, RS*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (Inédito).
- Motta, V.F. 1969. *Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, Inédito.
- Motta, V.F. & Bandeira, J.V. 1974. *Comparison between the results of littoral-drift computation and cubature of deposits in a dredged channel*. 14th International Conference on C E, Copenhagen, Denmark, June. Chapter 42, 726-740.
- Munch-Petersen, J. 1938. *Littoral drift formula*. Beach Erosion Board Bulletin, 4(4):1-31. U.S. Army Corps of Engineers.
- Nielsen, P. 1986. *Suspended sediment concentration under waves*. Coastal Engineering, 10:23-31.
- Nielsen, P.; Robert, S.; Moller-Christiansen, B. & Oliva, P. 2001. *Infiltration effects sediment mobility under waves*. Coastal Engineering, 42:105-114.
- Nimer, E. 1977. *Clima*. In: IBGE - Geografia do Brasil, Região Sul. SERGRAF-IBGE, Rio de Janeiro, p. 35-79.
- Oliveira, A.S. 1986. *Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia*. Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 246p.
- Osborne, P.D. & Rooker, G.A. 1999. *Sand re-suspension events in a high energy infragravity swash zone*. Journal Coastal Research, 15(1)74-86.
- Otero, E. 1897. *Contestação ao engº Graça Couto*. Separata do Clube de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Ozasa, H. & Brampton, A.H. 1980. *Mathematical modelling of beaches backed by seawalls*. Coastal Engineering, 4(1):47-63.
- Pereira da Silva, R. 1995. *Comportamento morfodinâmico dos sangradouros entre a praia do Cassino e o Chuí*. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 43p.
- Peters, K. & Dette, H.H. 1999. *Sediment suspension in the surf zone*. 'Coastal Sediments 99', International Coastal Symposium, 195-208.

- Pimenta, F.M. (1999). *Caracterização dos regimes de refração de onda ao longo da zona costeira do Rio Grande do Sul*. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 66p.
- Pitombeira, E.S. 1975. *Estimativa do volume annual de transporte litorâneo na costa do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, UFRGS/IPH/Centro de Hidrologia Aplicada. 98p.
- Puleo, J.A. & Holland, K.T. 2001. *Estimating swash zone friction coefficients on a sandy beach*. Coastal Engineering, 43:25-40.
- Putnam, J.A.; Munk, W.H. & Traylor, M.A. 1949. *The prediction of longshore currents*. Transaction of the American Geophysical Union, 30(3):337-345.
- Ritchie, J.C. & Cooper, C.M. 1991. *An algorithm for estimating surface suspended sediment concentrations with Landsat MSS digital data*. Water Resources Bulletin, 373-379.
- Rörig, L.R. & Garcia, V.M.T. 2003. *Accumulations of the surf-zone diatom "Asterionellopsis Glacialis (CASTRACANE) ROUND" in Cassino Beach, Southern Brazil, and its relationship with environmental factors*. Journal of Coastal Research, SI 35 (Proceedings of the Brazilian Symposium on sandy beaches: Morphodynamics, Ecology, Uses, Hazards and Management), 167-177. Itajai, SC-Brazil, ISSN 0749-0208.
- Saint-Marc, M.G.S. & Vincente, M.G. 1954. *Transport littoral, formation de fleches et de tombolos*. Proceedings of the 5th Coastal Engineering Conference, Grenoble, France, Council on Wave Research, Chapter 22:296-328.
- Saraiva, J.M.B.; Bedran, C. & Carneiro, C. 2003. *Monitoring of storm surges on Cassino Beach, RS, Brazil*. Journal of Coastal Research, SI 35:323-331.
- Savage, R.P. 1962. *Laboratory determination of littoral transport rates*. Journal of Waterways and Harbours Division, ASCE, WW2:69-92.
- Sayao, O.F.S.J. & Kamphuis, J.W. 1982. *Littoral sand transport: review of the state of the art*. Department of Civil Engineering Queen's University, Kingston, Ontário, Canadá. 66p.
- Schoonees, J.S. 1996. *Improvement of the most accurate longshore transport formula*. Proceedings of the 25th ICCE, ASCE, Orlando, USA.
- Schoonees, J.S. & Theron, A.K. 1994. *Accuracy and applicability of the SPM longshore transport formula*. Proceedings of the 24th ICCE, ASCE, Kobe, Japan.
- Seeliger, U. 1992. *Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats and vegetation*. IN: Seeliger, U. (ed.) Coastal plants communities of Latin America. San Diego, Academic Press, 367-381.
- Siegle, E. 1996. *Distribuição dos sedimentos litorâneos entre o Farol da Conceição e o Farol do Chuí, RS, e fatores condicionantes*. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 91p.

- Smith, J.D. & McLean, S.R. 1977. *Boundary layer adjustments to bottom topography and suspended sediments*. IN: J.C.J. Nihoul (Ed.), *Bottom Turbulence*. Elsevier, New York, 123-152.
- Speranski, N.S. 1998. *Computer-oriented atlas of dynamic process in coastal zone*. Proceedings of Journal of Coastal Research Congress- Especial issue. Florida.
- Strauch, J.C.S. 1996. *Estudo do clima ondulatório em Rio Grande*. Anais do XII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia, Curitiba, PR 51p.
- Swart, D.H. & Fleming, C.A. 1980. *Longshore water and sediment transport*. Proceedings of the 17th Coastal Engineering Conference, Sidney, ASCE, 1275-1294.
- Teleki, P.G. 1966. *Fluorescent sand tracers*. Journal of Sedimentary Petrology, 36:376-468.
- Thieke, R.J. & Harris III, P.S. 1993. *Application of longshore Transport statistics the evaluation of sand transfer alternatives at inlets*. Journal Coastal Research, SI/18:125-145.
- Thornton, E.B. & Morris, W.D. 1978. *Suspended sediments measured within the surf zone*. Proceedings of the 17th Coastal Sediments '77, America Society of Civil Engineers, 655-668.
- Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Almeida, L.E.S.B.; Tabajara, L.L.; Martins, R.R. & Cunha, L.O.B.P. 1993. *Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, Rio grande do Sul*. Pesquisas, Porto Alegre, 20(1):27-32.
- Tolman, H.L. 1989. *The numerical model WAVEWATCH: a third generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas*. Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Delft Univ. of Techn., ISSN 0169-6548, Rep. 89(2), 72p.
- Tolman, H.L. 1991. *A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents*. Journal of. Physical Oceanography, 21:782-797.
- Tolman, H.L. 1992. *Effects of numerics on the physics in a third-generating Wind-wave model*. Journal of Physical Oceanography, 22:1095-1111.
- Tolman, H.L. 1997. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*. NOAA / NWS / NCEP / OMB. Technical Note 151, 97p.
- Tolman, H.L. 1999. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18 NOAA/NWS OMB*. Contribution nº 166, 110p.
- Tolman, H.L.; Balasubramanian, B.; Burroughs, L.D.; Chalikov, D.V.; Chao, Y.Y.; Chen, H.S. & Gerald, V.M. 2002. *Development and implantation of Wind-generated ocean surface wave models at NCEP*. Weather and Forecasting, 17:311-333.
- Tomazelli, L.J. 1990. *Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico*. Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 270p.

- Tomazelli, L.J. 1993. *O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil*. Pesquisas, Porto Alegre, 20(1):18-26.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 1992. *Algumas considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio grande do Sul, Brasil*. Pesquisas, Porto Alegre, 19(1):1-19.
- Topliss, B.J.; Almos, C.L. & Hill, P.R. 1990. *Algorithms for Rio Grande do Sul of high concentrations inorganic suspended sediment*. International Journal of Remote Sensing, 11(6):947-966.
- Tozzi, H.A.M. 1995. *Morfodinâmica da Praia do Cassino, Rio Grande, RS*. Monografia de Graduação, FURG, Rio Grande, 56 p.
- Tozzi, H.A.M. 1999. *Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque das praias entre Rio Grande e Chuí, RS*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 115p.
- Tozzi, H.A.M. & Calliari, L.J. 2000. *Morfodinâmica da praia do Cassino, Rio Grande do Sul*. Pesquisas, Porto Alegre, 27(1):29-42.
- US Army Corps of Engineers. 1977. *Shore protection manual*. 3rd Edition, Coastal Engineering Research Center, Washington.
- van de Graaff, J. & van Overeem, J. 1979. *Evaluation of sediment transport formulae in coastal engineering practice*. Coastal Engineering, 3:1-32.
- van Rijn, L.C. 1984. *Sediment transport, part I: Bed load transport*. Journal of Hydraulic Engineering, 110(10):1431-1455.
- van Rijn, L.C. 1993. *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publication, The Netherlands, Amsterdam. 632p.
- van Rijn, L.C. 1998. *Principles of coastal morphology*. Aqua Publications – I11, Amsterdam. 679p.
- van Wellen, E.; Chadwick, A.J. & Mason, T. 2000. *A review and assessment of longshore sediment transport equations for coarse-grained beaches*. Coastal Engineering, 40:243-275.
- Villwock, J.A.; Dehnhardt, E.A.; Loss, E.L.; Tomazelli, L.J. & Hofmeister, T. 1979. *Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul, Brasil*. Memórias, Seminário sobre ecologia bentônica y sedimentacion de la plataforma continental Del Atlântico Sur, Montevideu, Uruguai, 405-414.
- Villwock, J.A. & Tomazelli, L.J. 1995. *Geologia costeira do Rio Grande do Sul*. Notas Técnicas, 8:1-45.
- Vitale, P. 1980. *A guide for estimating longshore transport rate using four SPM methods*. CETA 80-6, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va., Apr.
- Waddell, E. 1973. *Swash – groundwater beach profile interactions*. 115-125.
- Walton, T.L. & Bruno, R.O. 1989. *Longshore transport at a detached breakwater, phase II*. Journal of Coastal Research, 5(4):679-691.

- WAMDIG 1988: *The WAM model - A third generation ocean wave prediction model*. Journal of Physical Oceanography, 18:1775-1810.
- Wang, P.; Kraus, N.C. & Davis Jr., R.A. 1998. *Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions*. Journal Coastal Research, 14(1):269-282.
- Watanabe, A. 1992. *Total rate and distribution of longshore sand transport*. IN: Proc. 23rd Coastal Eng. Conf., Venice. American Society Civil Engineering, 2528-2541.
- Watts, G.M. 1953. *A study of sand movement at South Lake Worth Inlet, Florida*. Beach Erosion Board, Technical Memorandum n° 42, U.S. Army Corps of Engineers.
- Weggel, J.R. & Perlin, M. 1988. *Statistical description of Longshore transport environment*. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 114(2):125-145.
- Wentworth, C.K. 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Journal of Geology, 30:377-392.
- White, T.E. 1998. *Status of measurements techniques for coastal sediment transport*. Coastal Engineering, 35:17-45.
- White, W.R.; Milli, H. & Crabbe, A.D. 1975. *Sediment transport theories: a review*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, Part 2, 59:265-292.
- Willis, D.H. & Price, W.A. 1975. *Trends in the application of research to solve coastal engineering problems*. Chapter 5 of 'Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation', edited by J. Hails and A. Carr, John Wiley & Sons.
- Wingert, K.M.; O'Reilly, W.C.; Herbers, T.H.C.; Wittmann, P.A.; Jensen, R.E. & Tolman, H.L. 2001. *Validation of operational global wave prediction models with spectral buoy data*. Proceedings of. Fourth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, San Francisco, CA, ASCE, in press.
- Xavier, A.L.M. 2003. *Estudo do padrão atmosférico nas anomalias do nível médio do mar na praia do Cassino, Rio Grande / RS*. Monografia de Graduação, FURG, 122p.

ERRATA

Analisando a metodologia de coleta de sedimentos por trapeadores portáteis sugerida em Kraus (1987) e adotada e utilizada por Wang et ali. (1998) observou-se a existência de erros conceituais na construção do equacionamento matemático que lhe dá suporte.

Em respeito ao reconhecido método e após a verificação de que os cálculos feitos variavam muito pouco em relação aos valores encontrados com as equações corrigidas e portanto em nada invalidavam as conclusões desta tese, optou-se pela utilização das equações no seu formato original. Entretanto, foi enviado ao mesmo veículo que publicou os artigos acima citados, JOURNAL OF COASTAL RESEARCH, um novo artigo mostrando os erros encontrados e sugerindo os caminhos corretos.

Após a sua publicação uma cópia do referido artigo será anexada a esta tese, como parte integrante da mesma. Da mesma forma, o autor cuidará para que nas publicações futuras que tenham esta tese como fonte, os cálculos de transporte sejam refeitos a luz das novas equações corrigidas.

Autor

ANEXOS

Anexo 1- Tabelas contendo dados brutos medidos nos perfis 1 a 6.

Anexo 2- Carta da Barra do Rio Grande do ano de 1913.

Anexo 3- Carta da Barra do Rio Grande do ano de 1915.

Anexo 4- Carta da Barra do Rio Grande do ano de 1947.

Anexo 5- Variações da linha de preamar entre 1947 e 2000, Molhe Oeste (Lélis, 2003)

Anexo 6- Variações da linha de preamar entre 1974 e 2000, Molhe Leste (Lélis,2003)

ANEXO 1

PERFIL – 1 (P1)

Localizado 10 Km ao sul do molhe oeste, na praia do Cassino, em frente à Estação de Maricultura da FURG (EMA), no ponto de coordenadas $32^{\circ}12'36''\text{S}$ e $52^{\circ}10'48''\text{W}$, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	α (°)	Hb (m)	Tb (s)	α (°)
ONDAS	05/Dez/02	18:00 – 18:30	2	6	45	0,47	7,76	132
	12/Dez/02	17:00 – 18:30	2	8	100	0,56	6	137
	18/Dez/02	17:00 – 18:30	2	8	180	0,56	7	137
	19/Dez/02	17:00 – 18:30	2	8	60	0,56	7	127
	16/Jan/03	8:00 – 16:30	1,5	5,5	45	0,15	3	117
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	2	6	180	0,58	7,86	137
	14/Fev/03	16:00 – 19:00	2	6	0	0,47	10	137
	18/Fev/03	16:00 – 19:00	1	7	180	0,64	7,33	147
	27/Fev/03	16:00 – 19:00	0,5	5	225	0,42	5,85	137
	28/Fev/03	16:00 - 19:00	1	4	0	0,26	8,4	137
	01/Jul/03	10:00 – 17:00	1,7	7	60	0,57	14	117

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ ₁₀ (°)
VENTOS	05/Dez/02	18:00 – 18:30	2,5	72	0	1	NE
					12	1	NW
					18	1	E
	12/Dez/02	17:00 – 18:30	2,2	82	0	1	N
					12	1	SW
					18	1	SW
	18/Dez/02	17:00 – 18:30	4	72	0	1	S
					12	-	-
					18	2	NE
	19/Dez/02	17:00 – 18:30	4	62	0	1	NE
					12	3	NE
					18	1	N
	16/Jan/03	8:00 – 16:30	6	32	0	7	NE
					12	5	NE
					18	5	E
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	3,6	167	0	1	S
					12	1	SW
					18	2	S
14/Fev/03	16:00 – 19:00	3,5	127	0	2	S	
				12	1	SW	
				18	1	SE	

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ_2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
VENTOS	18/Fev/03	16:00 – 19:00	4	257	0	1	NW
					12	2	W
					18	2	W
	27/Fev/03	16:00 – 19:00	1,5	47	0	1	NE
					12	1	NE
					18	1	NE
	28/Fev/03	16:00 - 19:00	1	187	0	-	-
					12	1	W
					18	1	SE
	01/Jul/03	10:00 – 17:00	2	307	0	1	NE
					12	1	NW
					18	1	W

	DATA OBS.	HORA OBS.	V _{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
CORRENTE LONGITUDINAL	05/Dez/02	18:00 – 18:30	0,31	NE-SW
	12/Dez/02	17:00 – 18:30	0,15	SW-NE
	18/Dez/02	17:00 – 18:30	0,23	SW-NE
	19/Dez/02	17:00 – 18:30	0,27	NE-SW
	16/Jan/03	8:00 – 16:30	0,27	NE-SW
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	0,60	SW-NE
	14/Fev/03	16:00 – 19:00	0,14	SW-NE
	18/Fev/03	16:00 – 19:00	0,35	SW-NE
	27/Fev/03	16:00 – 19:00	0,05	NE-SW
	28/Fev/03	16:00 - 19:00	0,05	SW-NE
	01/Jul/03	10:00 – 17:00	0,14	NE-SW

SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HORA OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)
	01/Jul/ 03	10:00 – 17:00	tc (min)	5	5	5	5
			t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	-
			t ₉ (1,20 m)	-	-	-	-
			t ₈ (1,05 m)	-	-	-	-
			t ₇ (0,90 m)	-	0,93	0,11	0,34
			t ₆ (0,75 m)	0,43	4,17	0,41	0,15
			t ₅ (0,60 m)	0,82	5,56	1,21	1,37
			t ₄ (0,45 m)	11,71	12,30	1,77	0,89
			t ₃ (0,30 m)	67,40	19,29	3,49	0,85
t ₂ (0,15 m)			142,17	33,40	3,76	1,22	
t ₁ (0,045m)	45,13	48,56	6,99	34,44			

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HORA OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	16/Jan/0 3	8:00 - 16:30	162,25	5	56,56	5	10	P
	24/Jan/ 03	18:00 – 19:30	1728,86	5	734	5	220,77	P
	01/Jul/ 03	10:00 – 17:00	425,94	5	376,65	5	52,38	5

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 01/Jul/03					
HORA: 10:00 – 17:00					
DIÂMETRO (mm)	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	-	-
t8	-	-	-	-	-
t7	-	-	-	-	-
t6	-	0,1054		-	0,1054
t5	-	0,1074	0,1023	0,1088	0,1062
t4	0,1341	0,1111	0,1037	-	0,1163
t3	0,1326	0,1141	0,08933	-	0,1120
t2	0,1349	0,1178	0,1065	0,1124	0,1179
t1	0,1304	0,1217	0,1117	0,118	0,1205
Média/Estação	0,1330	0,1129	0,1027	0,1131	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: 01/Jul/03		DATA: 24/Jan/03		DATA:	
HORA: 10:00 – 17:00		HORA:		HORA:	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,1472	Subida	0,1409	Subida	-
Descida	0,1415	Descida	0,1341	Descida	-
Lateral	0,1456	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,1447	Média Geral	0,1375	Média Geral	-

PERFIL – 2 (P2)

Localizado a 3 Km ao sul do molhe oeste, na praia do Cassino, em frente ao TERMINAL, no ponto de coordenadas 32°09'54"S e 52°07'24"W, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	αo (°)	Hb (m)	Tb (s)	αb (°)
ONDAS	19/Jul/02	08:00 – 18:00	1,5	6	30	0,59	11,2	132
	27/Set/02	09:00 – 12:00	3	6,5	30	0,5	7	132
	01/Out/02	16:00 – 18:00	2	5	225	0,44	7,3	137
	12/Out/02	10:00 – 12:00	1	6	45	0,44	8,09	132
	29/Out/02	14:00 – 17:00	1,5	6	45	0,67	6,88	157
	21/Nov/02	14:00 – 17:00	1,5	6	135	0,74	4,33	132
	26/Nov/02	15:00 – 17:00	2,5	6	0	0,73	4,46	147
	02/Dez/02	16:00 – 17:30	2	6	160	0,62	5,1	137
	03/Dez/02	16:00 – 18:00	1,5	7	160	0,41	6,84	137
	05/Dez/02	17:00 – 19:30	2	6	45	0,32	10,16	137
	12/Dez/02	18:00 -19:30	2	8	100	0,56	6	137
	18/Dez/02	18:00 – 19:30	2	8	180	0,56	7	147
	19/Dez/02	18:00 – 19:30	2	8	60	0,56	7	127
	13/Jan/03	09:00 – 10:00	1	5	135	-	-	-
	14/Jan/03	18:00 – 19:00	1	6	135	-	-	-
	16/Jan/03	08:00 – 16:30	1,5	5,5	45	0,15	3	102
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	2	6	180	0,76	8,13	137
	14/Fev/03	18:00 – 19:00	2	6	180	0,76	8,13	137
	18/Fev/03	18:00 – 19:00	1	7	180	0,51	10,8	137
	20/Fev/03	08:00 – 16:00	2	6	45	0,78	9,4	137
27/Fev/03	18:00 – 19:00	0,5	5	225	0,32	10,48	137	
28/Fev/03	18:00 – 19:00	1	4	0	0,25	8,25	137	

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ ₁₀ (°)
VENTOS	19/Jul/02	08:00 – 18:00	4,5	2	0	1	NE
					12	4	N
					18	1	NE
	27/Set/02	09:00 – 12:00	3,5	77	0	1	E
					12	2	NE
					18	1	E
	01/Out/02	16:00 – 18:00	3	117	0	2	SW
					12	1	SW
					18	1	E
	12/Out/02	10:00 – 12:00	2,8	211	0	-	-
					12	1	W
					18	1	SE
	29/Out/02	14:00 – 17:00	7,5	157	0	-	-
					12	10	S
					18	4	S
	21/Nov/02	14:00 – 17:00	7,5	167	0	-	-
					12	6	SW
					18	8	S
	26/Nov/02	15:00 – 17:00	10	240	0	3	NW
					12	7	W
					18	8	SW
	02/Dez/02	16:00 – 17:30	3	107	0	2	S
					12	2	SE
					18	1	SE
	03/Dez/02	16:00 – 18:00	6	75	0	1	NE
					12	1	NE
					18	2	NE
	05/Dez/02	17:00 – 19:30	3	72	0	1	NE
					12	1	NW
					18	1	E
12/Dez/02	18:00 -19:30	2,8	97	0	1	N	
				12	1	SW	
				18	1	SW	
18/Dez/02	18:00 – 19:30	4	84	0	1	S	
				12	-	-	
				18	2	NE	
19/Dez/02	18:00 – 19:30	5	47	0	1	NE	
				12	3	NE	
				18	1	N	

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ ₁₀ (°)
VENTOS	13/Jan/03	09:00 – 10:00	-	-	0	2	W
					12	2	SW
					18	2	SW
	14/Jan/03	18:00 – 19:00	-	-	0	2	S
					12	1	SW
					18	1	SE
	16/Jan/03	08:00 – 16:30	6	32	0	3	NE
					12	1	NE
					18	2	NE
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	3,6	167	0	1	S
					12	1	SW
					18	2	S
	14/Fev/03	18:00 – 19:00	3,6	167	0	1	S
					12	1	SW
					18	2	S
	18/Fev/03	18:00 – 19:00	3	227	0	1	NW
					12	2	W
					18	2	W
	20/Fev/03	08:00 – 16:00	3	207	0	-	-
					12	4	SW
					18	3	SW
	27/Fev/03	18:00 – 19:00	1	57	0	1	NE
					12	1	NE
					18	1	NE
28/Fev/03	18:00 – 19:00	1	187	0	10	S	
				12	1	W	
				18	1	SE	

CORRENTE LONGITUDINAL	DATA OBS.	HORA OBS.	V_{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
	19/Jul/02	08:00 – 18:00	0,41	NE-SW
	27/Set/02	09:00 – 12:00	0,3	NE-SW
	01/Out/02	16:00 – 18:00	0,23	NE-SW
	12/Out/02	10:00 – 12:00	0,09	NE-SW
	29/Out/02	14:00 – 17:00	0,34	SW-NE
	21/Nov/02	14:00 – 17:00	0,16	SW-NE
	26/Nov/02	15:00 – 17:00	1,17	SW-NE
	02/Dez/02	16:00 – 17:30	0,39	NE-SW
	03/Dez/02	16:00 – 18:00	0,35	NE-SW
	05/Dez/02	17:00 – 19:30	0,13	NE-SW
	12/Dez/02	18:00 -19:30	0,21	NE-SW
	18/Dez/02	18:00 – 19:30	0,47	NE-SW
	19/Dez/02	18:00 – 19:30	0,45	NE-SW
	16/Jan/03	08:00 – 16:30	0,31	NE-SW
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	0,53	NE-SW
	14/Fev/03	18:00 – 19:00	0,53	NE-SW
	18/Fev/03	18:00 – 19:00	0,02	SW-NE
	20/Fev/03	08:00 – 16:00	0,1	SW-NE
	27/Fev/03	18:00 – 19:00	0,24	NE-SW
28/Fev/03	18:00 – 19:00	0	-	

SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HORA OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)	
	19/Jul/ 02	08:00 – 18:00	tc (min)	4	4	4	4	4
			t ₁₀ (1,35 m)	-	-	0,33	0,02	
			t ₉ (1,20 m)	-	-	1,13	0,05	
			t ₈ (1,05 m)	-	1,00	2,06	0,02	
			t ₇ (0,90 m)	-	2,00	2,91	-	
			t ₆ (0,75 m)	-	2,41	3,12	0,05	
			t ₅ (0,60 m)	3,68	2,48	5,30	0,11	
			t ₄ (0,45 m)	17,20	4,92	5,74	0,15	
			t ₃ (0,30 m)	57,07	6,81	6,21	0,62	
t ₂ (0,15 m)			65,06	9,55	7,30	1,98		
t ₁ (0,045m)	27,30	14,42	8,30	5,79				
16/Jan/ 03	08:00 – 16:30	tc (min)	5	5	5	5		
		t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,26		
		t ₉ (1,20 m)	-	-	-	0,67		
		t ₈ (1,05 m)	-	-	1,23	0,17		
		t ₇ (0,90 m)	-	-	1,28	0,09		
		t ₆ (0,75 m)	-	2,31	1,43	0,16		
		t ₅ (0,60 m)	1,18	2,66	2,18	0,52		
		t ₄ (0,45 m)	1,30	2,72	2,50	1,00		
		t ₃ (0,30 m)	1,70	3,60	2,68	1,20		
		t ₂ (0,15 m)	3,36	2,60	4,14	0,95		
t ₁ (0,045m)	15,54	19,01	6,6	0,90				
20/Fev/ 03	08:00 – 16:00	tc (min)	5	4,34	5	4,38		
		t ₁₀ (1,35 m)	-	-	0,12	0,26		
		t ₉ (1,20 m)	-	-	0,23	1,29		
		t ₈ (1,05 m)	-	0,30	1,26	3,08		
		t ₇ (0,90 m)	-	5,74	2,10	2,38		
		t ₆ (0,75 m)	-	27,81	3,07	2,06		
		t ₅ (0,60 m)	0,12	117,02	5,41	8,29		
		t ₄ (0,45 m)	203	249,36	1,78	7,10		
		t ₃ (0,30 m)	38,57	615,09	3,79	2,90		
		t ₂ (0,15 m)	121,59	527,90	33,04	2,55		
t ₁ (0,045m)	177,17	656,69	17,88	16,24				

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HORA OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	13/Jan/03	09:00 – 10:00	556,90	5	209,89	5	-	-
	14/Jan/03	18:00 – 19:00	263,33	5	98,15	5	-	-
	16/Jan/03	08:00 – 16:30	162,17	5	56,52	5	10	P

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 19/Jul/02					
HORA: 08:00 – 18:00					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	0,101	-	0,1010
t8	-	0,1051	0,1069	-	0,1060
t7	-	0,09993	0,1059	-	0,1029
t6	-	0,1071	0,1073	-	0,1072
t5	0,107	0,113	0,106	-	0,1087
t4	0,1162	0,122	0,1069	-	0,1150
t3	0,1306	0,1115	0,1048	-	0,1156
t2	0,1334	0,1054	0,1079	0,1144	0,1153
t1	0,1184	0,1058	0,1076	0,1193	0,1128
Média/Estação	0,1211	0,1087	0,1060	0,1169	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 16/Jan/03					
HORA: 08:00 – 16:30					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	-	-
t8	-	-	0,0943	-	0,0943
t7	-	-	0,0951	-	0,0951
t6	-	0,09872	0,09831	-	0,0985
t5	0,1081	0,1054	0,09349	-	0,1023
t4	0,1052	0,1013	0,102	-	0,1028
t3	0,1031	0,09704	0,1043	-	0,1015
t2	0,1304	0,1074	0,1062	-	0,1147
t1	0,1261	0,1183	0,1083	-	0,1176
Média/Estação	0,1146	0,1047	0,1003	-	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 20/Fev/03					
HORA: 08:00 – 16:00					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	0,1114	0,1114
t8	-	-	0,109	0,1132	0,1111
t7	-	0,139	-	0,1104	0,1247
t6	-	0,1306	0,1195	0,11	0,1200
t5	-	0,1327	0,1113	0,1102	0,1131
t4	0,107	0,1296	0,1103	0,1056	0,1206
t3	0,1231	0,1331	0,1104	0,1157	0,1315
t2	0,1244	0,1311	0,1305	0,14	0,1315
t1	0,1258	0,1498	0,1376	0,128	0,1353
Média/Estação	0,1201	0,1351	0,1184	0,1161	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: 13/Jan/03		DATA: 14/Jan/03		DATA: 16/Jan/03	
HORA: 09:00 – 10:00		HORA: 18:00 – 19:00		HORA: 08:00 – 16:30	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,1228	Subida	0,1252	Subida	0,2096
Descida	0,1235	Descida	0,1216	Descida	0,2218
Lateral	-	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,1231	Média Geral	0,1234	Média Geral	0,2157

PERFIL – 3 (P3)

Localizado no pontal oeste da barra do Rio Grande, na praia do Cassino, ao sul da raiz do molhe, no ponto de coordenadas 32°09'29"S e 52°06'53"W, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	$\alpha\theta$ (°)	Hb (m)	Tb (s)	αb (°)
ONDAS	05/Dez/02	18:00 – 19:00	2	6	45	0,43	4,28	172
	12/Dez/02	18:00 – 19:00	2	8	100	0,52	7,77	172
	18/Dez/02	18:00 -19:00	2	8	180	0,56	7	177
	19/Dez/02	18:00 – 19:00	2	8	60	0,56	7	182
	16/Jan/03	08:00 – 16:00	1,5	5,5	45	0,15	3	162
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	2	6	180	0,58	8,3	167
	14/Fev/03	18:00 – 19:00	2	6	0	0,87	8,18	167
	18/Fev/03	18:00 – 19:00	1	7	180	0,72	11,58	167
	27/Fev/03	18:00 – 19:00	0,5	5	225	0,46	10,21	167
	28/Fev/03	18:00 - 19:00	1	4	0	0,25	8,25	137
	02/Mai/03	13:00 – 18:00	2	6	225	0,72	8,5	167

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	$\Phi 2$ (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
VENTOS	05/Dez/02	18:00 – 19:00	2	73	0	1	NE
					12	1	NW
					18	1	E
	12/Dez/02	18:00 – 19:00	2	102	0	1	N
					12	1	SW
					18	1	SW
	18/Dez/02	18:00 -19:00	4	40	0	1	S
					12	-	-
					18	2	NE
	19/Dez/02	18:00 – 19:00	5	47	0	1	NE
					12	3	NE
					18	1	N
	16/Jan/03	08:00 – 16:00	6	32	0	7	NE
					12	5	NE
					18	5	E
	24/Jan/03	18:00 – 19:30	3,6	167	0	1	S
					12	2	SW
					18	1	S
14/Fev/03	18:00 – 19:00	2,5	107	0	2	S	
				12	1	SW	
				18	1	SE	

	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ_2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
VENTOS	18/Fev/03	18:00 – 19:00	4	257	0	1	NW
					12	2	W
					18	2	W
	27/Fev/03	18:00 – 19:00	1	57	0	1	NE
					12	1	NE
					18	1	NE
	28/Fev/03	18:00 - 19:00	1	187	0	10	S
					12	1	W
					18	1	SE
	02/Mai/03	13:00 – 18:00	7	207	0	2	SW
					12	2	SW
					18	3	SW

CORRENTE LONGITUDINAL	DATA OBS.	HORA OBS.	V _{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
	05/Dez/02	18:00 –19:00	0,11	NE-SW
	12/Dez/02	18:00 –19:00	0,07	NE-SW
	18/Dez/02	18:00 -19:00	0,30	NE-SW
	19/Dez/02	18:00 –19:00	0,12	SW-NE
	16/Jan/03	08:00 –16:00	0,23	NE-SW
	24/Jan/03	18:00 –19:30	0,21	NE-SW
	14/Fev/03	18:00 –19:00	0,32	NE-SW
	18/Fev/03	18:00 –19:00	0,32	SW-NE
	27/Fev/03	18:00 –19:00	0,25	NE-SW
	28/Fev/03	18:00 - 19:00	0	-
	02/Mai/03	13:00 –18:00	0,28	SW-NE

SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HOR A OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)
	02/Mai/ 03	13:00 – 18:00	tc (min)	3	3	3	3
			t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,23
			t ₉ (1,20 m)	-	-	0,12	1,78
			t ₈ (1,05 m)	-	-	0,90	4,10
			t ₇ (0,90 m)	-	-	3,75	3,55
			t ₆ (0,75 m)	-	0,79	17,24	1,99
			t ₅ (0,60 m)	0,37	6,20	20,24	7,03
			t ₄ (0,45 m)	5,97	10,95	10,21	7,17
			t ₃ (0,30 m)	7,48	6,45	20,79	12,77
t ₂ (0,15 m)			9,03	21,89	30,00	23,14	
t ₁ (0,045m)	47,02	43,58	37,03	15,25			

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HOR A OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	02/Mai/ 03	13:00 – 18:00	2346,53	5	1857,13	2,5	362,59	5

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 02/Mai/03					
HORA: 13:00 –18:00					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	0,102	0,1020
t8	-	-	-	0,1039	0,1039
t7	-	-	0,1101	0,1057	0,1079
t6	-	-	0,1132	0,1061	0,1097
t5	-	0,1093	0,1152	0,1081	0,1109
t4	0,116	0,1159	0,1142	0,1097	0,1140
t3	0,1111	0,1178	0,1134	0,1235	0,1165
t2	0,119	0,1283	0,1255	0,1268	0,1249
t1	0,1313	0,1302	0,1515	0,163	0,1440
Média/Estação	0,1194	0,1203	0,1204	0,1165	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: 02/Mai/03		DATA:		DATA:	
HORA: 13:00 –18:00		HORA:		HORA:	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,1272	Subida	-	Subida	-
Descida	0,1311	Descida	-	Descida	-
Lateral	0,1363	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,1315	Média Geral	-	Média Geral	-

PERFIL – 4 (P4)

Localizado no pontal leste da barra do Rio Grande, na praia do Mar Grosso, ao norte da raiz do molhe, no ponto de coordenadas 32°08'08"S e 52°04'14"W, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

ONDAS	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	α_o (°)	Hb (m)	Tb (s)	α_b (°)
	27/Nov/02	15:00 –17:00	2	7	225	0,55	7	137
	10/Dez/02	11:00 –12:00	2,5	7	110	0,64	7,22	117
	17/Jan/03	08:00 –16:00	1	6	45	0,83	9	117
	05/Set/03	08:00 –17:00	2,5	6	45	0,97	11,6	137

VENTOS	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ_2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
	27/Nov/02	15:00 –17:00	4,5	87	0	2	S
					12	1	N
					18	1	SE
	10/Dez/02	11:00 –12:00	8	57	0	3	NE
					12	3	NE
					18	4	NE
	17/Jan/03	08:00 –16:00	6	32	0	4	NE
					12	3	N
					18	4	E
05/Set/03	08:00 –17:00	3,6	327	0	1	NE	
				12	2	NW	
				18	2	N	

CORRENTE LONGITUDINAL	DATA OBS.	HORA OBS.	V _{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
	27/Nov/02	15:00 –17:00	0,40	SW-NE
	10/Dez/02	11:00 –12:00	0,44	NE-SW
	17/Jan/03	08:00 –16:00	0,64	NE-SW
	05/Set/03	08:00 –17:00	0,36	SW-NE

SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HORA OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)
	05/Set/ 03	08:00 – 17:00	tc (min)	4	4	4,2	4,1
			t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,16
			t ₉ (1,20 m)	-	-	-	2,93
			t ₈ (1,05 m)	-	-	-	13,89
			t ₇ (0,90 m)	-	0,23	14,17	50,61
			t ₆ (0,75 m)	1,09	3,40	35,86	20,77
			t ₅ (0,60 m)	8,47	18,92	143,06	352,44
			t ₄ (0,45 m)	14,68	27,07	210,06	409,06
			t ₃ (0,30 m)	31,40	29,63	261,31	424,13
			t ₂ (0,15 m)	38,17	33,93	292,88	436,12
t ₁ (0,045m)	54,74	75,95	374,64	576,35			

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HORA OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	05/Set/ 03	08:00 – 17:00	2724,38	4	2148,85	4	566,05	4,48

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 05/Set/03					
HORA: 08:00 –17:00					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	0,1114	0,1114
t8	-	-	-	0,1087	0,1114
t7	-	-	0,1075	0,1095	0,1085
t6	-	0,1049	0,1106	0,1077	0,1077
t5	0,1072	0,1065	0,1088	0,1096	0,1080
t4	0,1067	0,1102	0,1092	0,1137	0,1100
t3	0,1106	0,1071	0,1113	0,1115	0,1101
t2	0,1096	0,1101	0,1113	0,1114	0,1117
t1	0,1135	0,1111	0,1186	0,1116	0,1137
Média/Estação	0,1095	0,1083	0,1113	0,1109	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: 05/Set/03		DATA:		DATA:	
HORA: 08:00 –17:00		HORA:		HORA:	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,0733	Subida	-	Subida	-
Descida	0,0248	Descida	-	Descida	-
Lateral	-	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,04905	Média Geral	-	Média Geral	-

PERFIL – 5 (P5)

Localizado 3 Km ao norte do molhe leste, na praia do Mar Grosso, no ponto de coordenadas 32°07'15''S e 52°03'14''W, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

ONDAS	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	α_o (°)	Hb (m)	Tb (s)	α_b (°)
	10/Dez/02	13:00 – 14:00	2,5	7	110	0,57	5,98	117
	17/Jan/03	08:00 – 17:00	1	6	45	0,68	7	117

VENTOS	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ_2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
	10/Dez/02	13:00 – 14:00	8	57	0	3	NE
					12	3	NE
					18	4	NE
	17/Jan/03	08:00 – 17:00	6	32	0	4	NE
					12	3	N
					18	4	E

CORRENTE LONGITUDINAL	DATA OBS.	HORA OBS.	V _{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
	10/Dez/02	13:00 -14:00	0,70	NE-SW
	17/Jan/03	08:00 –17:00	0,37	NE-SW

SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HORA OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)
	17/Jan/0 3	08:00 – 17:00	tc (min)	1,5	3,23	2,04	-
			t ₁₀ (1,35 m)	-	0,098	0,25	-
			t ₉ (1,20 m)	-	0,07	0,67	-
			t ₈ (1,05 m)	-	0,14	0,30	-
			t ₇ (0,90 m)	-	0,104	0,39	-
			t ₆ (0,75 m)	-	0,083	0,55	-
			t ₅ (0,60 m)	0,78	0,026	0,44	-
			t ₄ (0,45 m)	17,31	0,34	0,35	-
			t ₃ (0,30 m)	25,25	0,18	0,41	-
			t ₂ (0,15 m)	26,58	0,20	0,83	-
t ₁ (0,045m)	68,10	0,58	0,85	-			

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HOR A OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	17/Jan/0 3	08:00 – 17:00	159,55	5,18	47	5	22,83	P

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 17/Jan/03					
HORA: 08:00 – 17:00					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	-	-
t8	-	-	-	-	-
t7	-	-	-	-	-
t6	-	-	-	-	-
t5	-	-	-	-	-
t4	0,1425	-	-	-	0,1425
t3	0,1249	-	-	-	0,1249
t2	0,1135	-	-	-	0,1135
t1	0,128	-	-	-	0,128
Média/Estação	0,1272	-	-	-	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: 17/Jan/03		DATA:		DATA:	
HORA: : 08:00 – 17:00		HORA:		HORA:	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,2671	Subida	-	Subida	-
Descida	0,2617	Descida	-	Descida	-
Lateral	-	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,2644	Média Geral	-	Média Geral	-

PERFIL – 6 (P6)

Localizado 12 Km ao norte do molhe leste, na praia do Mar Grosso, em frente ao restaurante CARAMUJO, no ponto de coordenadas 32°03'30"S e 51°59'30"W, conforme detalhes de localização apresentados na figura 2 (p.43).

As tabelas a seguir contêm os dados brutos coletados durante os trabalhos de campo e apresentados na ordem cronológica da sua aquisição.

ONDAS	DATA OBS.	HORA OBS.	ÁGUAS PROFUNDAS			ARREBENTAÇÃO		
			Ho (m)	To (s)	α_o (°)	Hb (m)	Tb (s)	α_b (°)
			10/Dez/02	14:00 – 15:00	2,5	7	110	0,72
21/Fev/03	08:00 – 16:30	2	8	225	1,26	8,6	147	

VENTOS	DATA OBS.	HORA OBS.	IN SITU		DIÁRIOS		
			V2 (m/s)	Φ_2 (°)	Leitura (hr)	V ₁₀ (m/s)	Φ_{10} (°)
			10/Dez/02	14:00 – 15:00	7	67	0
12	3	NE					
18	4	NE					
21/Fev/03	08:00 – 16:30	7	207	0	-	-	
				12	2	SW	
				18	3	SW	

CORRENTE LONGITUDINAL	DATA OBS.	HORA OBS.	V _{lc} (m/s)	α_{lc} (°)
	10/Dez/02	14:00 – 15:00	0,60	NE-SW
	21/Fev/03	08:00 – 16:30	0,70	SW-NE

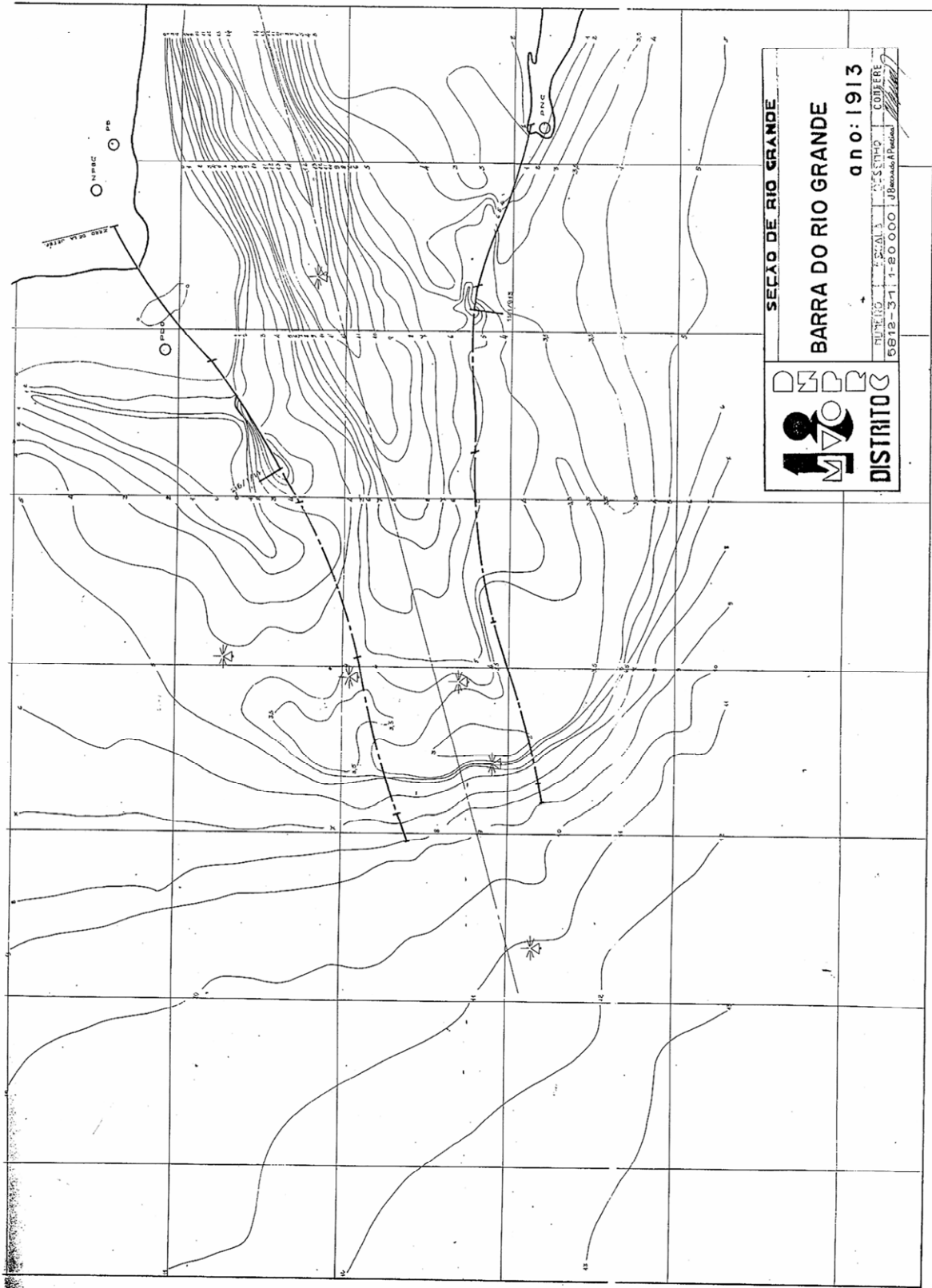
SEDIMENTO NA ZONA DE SURFE (Distribuição vertical e horizontal do Transporte Longitudinal)	DATA OBS.	HORA OBS.	trap	E ₄ (g)	E ₃ (g)	E ₂ (g)	E ₁ (g)
	21/Fev/0 3	08:00 – 16:30	tc (min)	4	2,48	2,57	2,32
			t ₁₀ (1,35 m)	-	-	-	0,22
			t ₉ (1,20 m)	-	-	-	0,91
			t ₈ (1,05 m)	-	-	1,29	3,60
			t ₇ (0,90 m)	-	3,95	13,51	15,76
			t ₆ (0,75 m)	6,08	21,35	52,03	37,57
			t ₅ (0,60 m)	0,59	168,13	210,93	88,78
			t ₄ (0,45 m)	41,63	289,70	354,70	65,44
			t ₃ (0,30 m)	100,52	376,29	445,82	64,51
			t ₂ (0,15 m)	168,52	333,14	490,34	40,88
t ₁ (0,045m)	287,01	460,25	565,86	75,52			

SEDIMENTO NO ESPRAIA- MENTO (Transporte Transversal e Longitudinal Junto ao fundo)	DATA OBS.	HORA OBS.	SUBIDA (g)	tc (min)	DESCIDA (g)	tc (min)	LATERAL (g)	tc (min)
	21/Fev/0 3	08:00 – 16:30	3435,14	5	2312,61	5	796,60	P

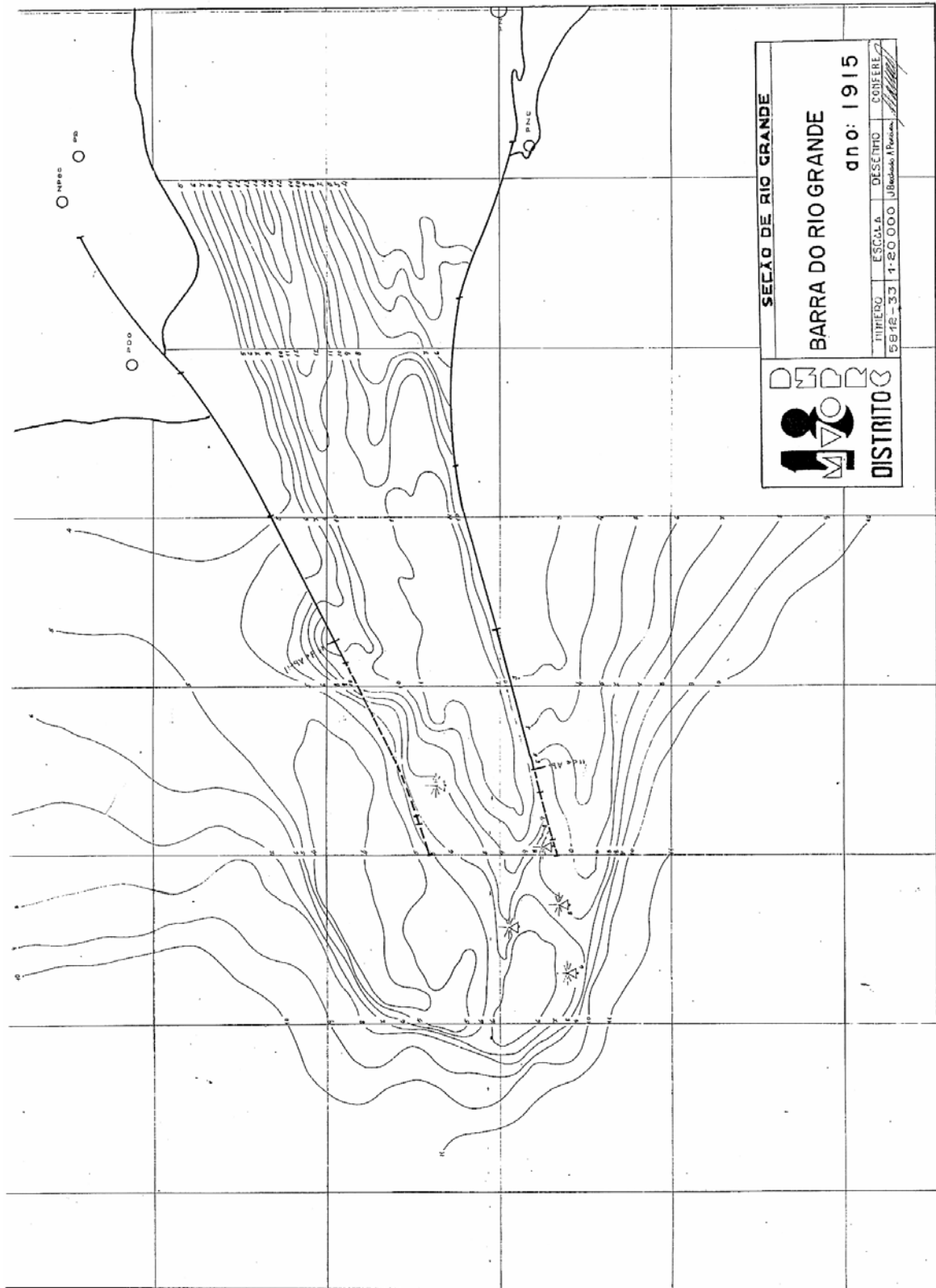
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE SURFE					
DATA: 21/Fev/03					
HORA: 08:00 – 16:30					
	E4	E3	E2	E1	Média/Nível
t10	-	-	-	-	-
t9	-	-	-	-	-
t8	-	-	0,1126	0,1213	0,1170
t7	-	0,1354	0,1243	0,1266	0,1288
t6	-	0,136	0,1253	0,1375	0,1329
t5	0,1179	0,1316	0,1232	0,1389	0,1279
t4	0,1247	0,1407	0,1318	0,1338	0,1328
t3	0,1446	0,1398	0,1328	0,1364	0,1384
t2	0,1282	0,1357	0,1273	0,1417	0,1332
t1	0,1333	0,1386	0,1384	0,1404	0,1377
Média/Estação	0,1297	0,1368	0,1270	0,1346	

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS GROSSEIROS NA ZONA DE ESPRAIAMENTO					
DATA: : 21/Fev/03		DATA:		DATA:	
HORA: 08:00 – 16:30		HORA:		HORA:	
COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)	COLETA	DIÂMETRO (mm)
Subida	0,1259	Subida	-	Subida	-
Descida	0,1244	Descida	-	Descida	-
Lateral	-	Lateral	-	Lateral	-
Média Geral	0,1251	Média Geral	-	Média Geral	-

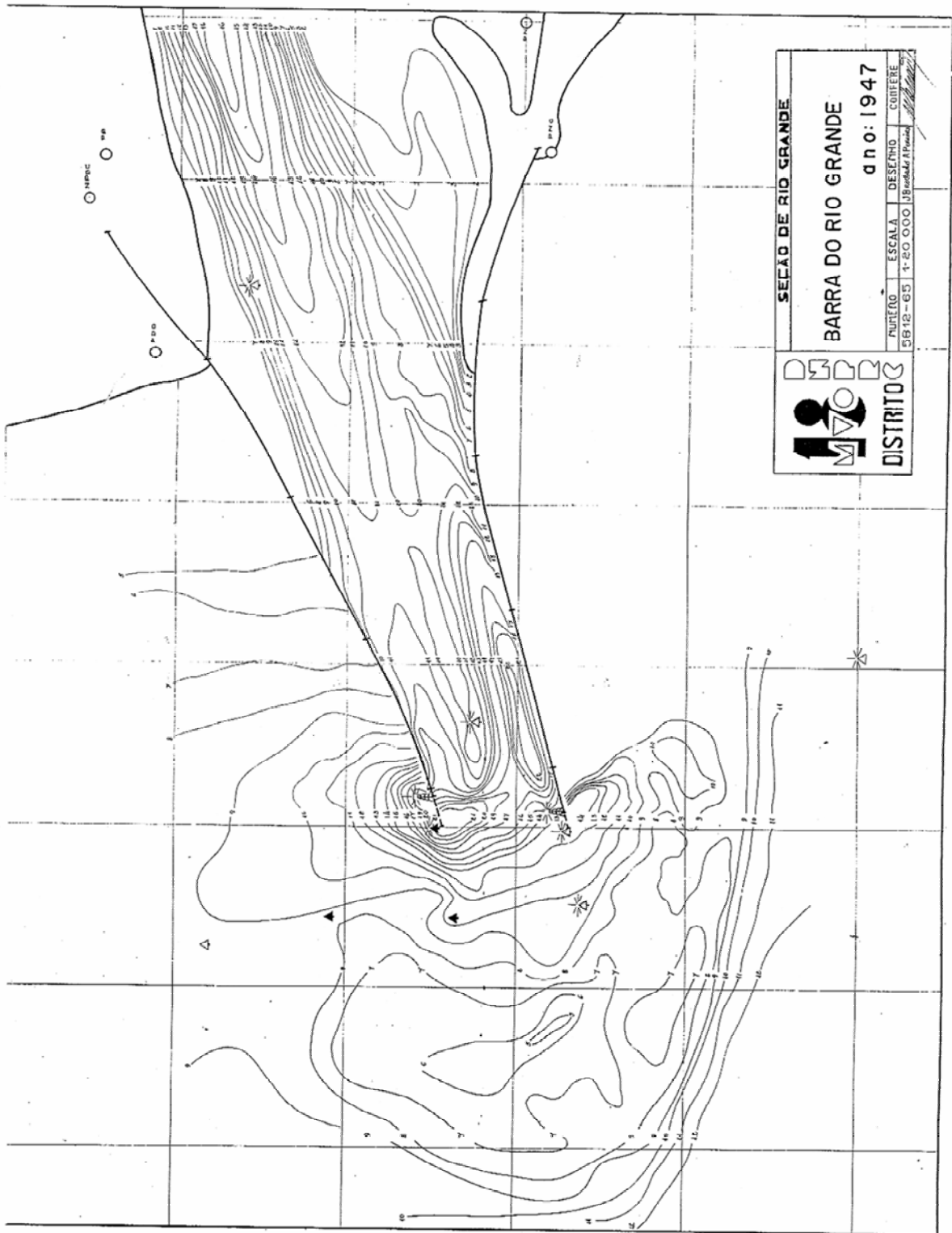
ANEXO 2



ANEXO 3



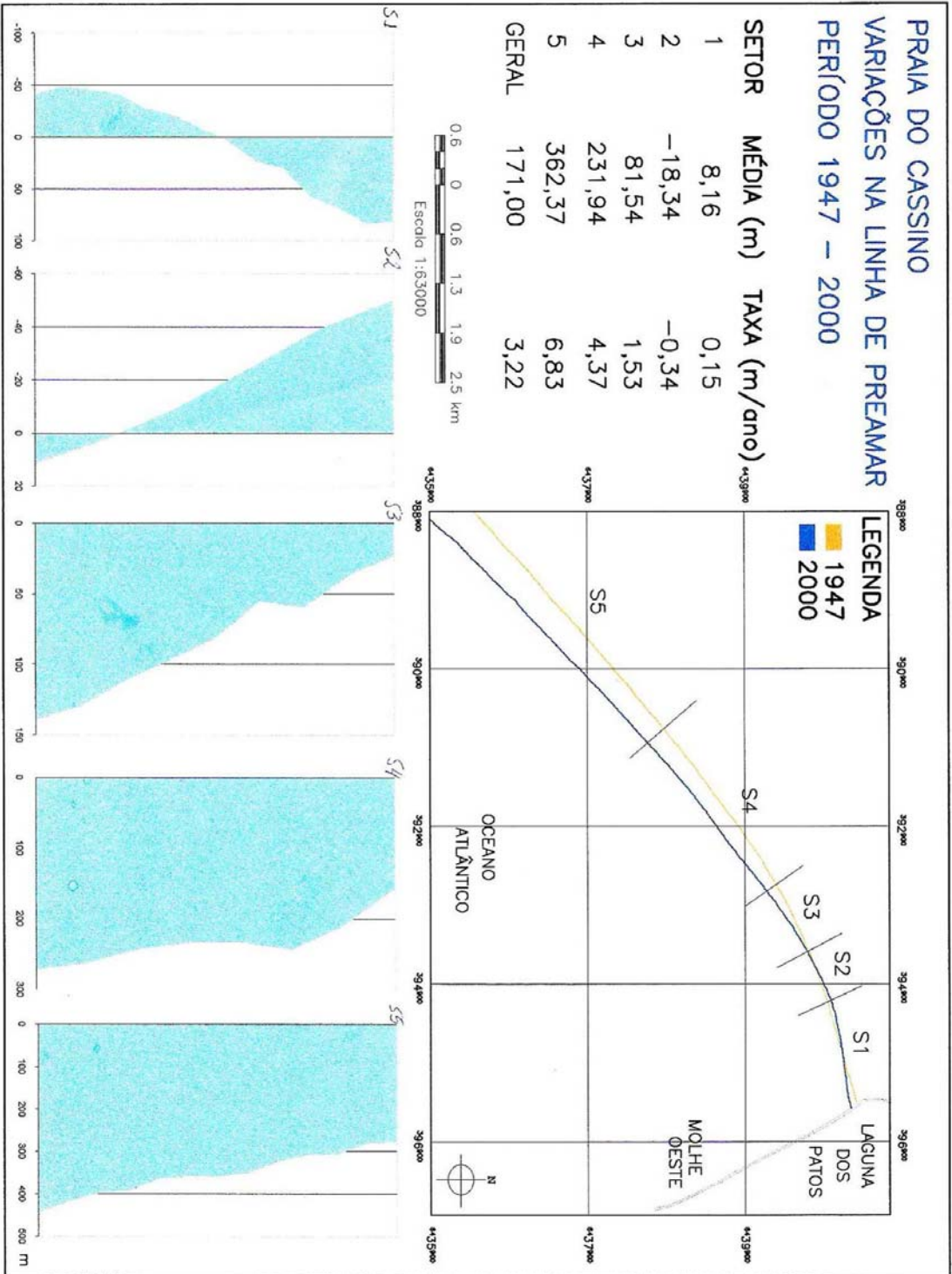
ANEXO 4



ANEXO 5

PRAIA DO CASSINO
VARIAÇÕES NA LINHA DE PREAMAR
PERÍODO 1947 – 2000

SETOR	MÉDIA (m)	TAXA (m/ano)
1	8,16	0,15
2	-18,34	-0,34
3	81,54	1,53
4	231,94	4,37
5	362,37	6,83
GERAL	171,00	3,22



ANEXO 6

PRAIA DO MAR GROSSO – VARIACÕES NA LINHA DE PREAMAR

PERÍODO 1974 – 2000

