

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PERFIL DE
EQUILÍBRIO PARA DETERMINAR A ESTABILIDADE
E A EVOLUÇÃO DE PERFIS DE PRAIAS ARENOSAS**

ALEXANDRE PASOLINI

**VITÓRIA
2008**

ALEXANDRE PASOLINI

**UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PERFIL DE
EQUILÍBRIO PARA DETERMINAR A ESTABILIDADE
E A EVOLUÇÃO DE PERFIS DE PRAIAS ARENOSAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Julio Tomás Aquije Chacaltana.

**VITÓRIA
2008**

Pasolini, Alexandre

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PERFIL DE EQUILÍBRIO PARA DETERMINAR A ESTABILIDADE E A EVOLUÇÃO PERFIS DE PRAIAS ARENOSAS

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Palavras Chaves: Perfil de Equilíbrio, Ondas, Perfis de Praia, Sedimentos.

ALEXANDRE PASOLINI

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE PERFIL DE EQUILÍBRIO PARA DETERMINAR A ESTABILIDADE E A EVOLUÇÃO DE PERFIS DE PRAIAS ARENOSAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração em Recursos Hídricos.

Aprovada em 28 de Agosto de 2008.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Julio Tomás Aquije Chacaltana
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador - Examinador Interno CT-UFES

Prof. Dr. Guilherme Figueiredo
Universidade Federal Fluminense
Examinador Externo

Prof. Daniel Rigo
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador Interno CT-UFES

Uma noite eu tive um sonho...

Sonhei que estava andando na praia com o Senhor e através do céu, passavam cenas da minha vida.

Para cada cena que passava, percebi que eram deixados dois pares de pegadas na areia: um era meu e o outro era do Senhor.

Quando a última cena passou diante de nós, olhei para trás, para as pegadas na areia e notei que muitas vezes, no caminho da minha vida, havia apenas um par de pegadas na areia.

Notei também que isso aconteceu nos momentos mais difíceis e angustiosos do meu viver. Isso me aborreceu deveras e perguntei então ao Senhor:

- Senhor, Tu me disseste que, uma vez que resolvi te seguir, Tu andarias sempre comigo, em todo o caminho. Contudo, notei que durante as maiores atribulações do meu viver, havia apenas um par de pegadas na areia. Não compreendo porque nas horas em que eu mais necessitava de Ti, Tu me deixaste sozinho.

O Senhor me respondeu:

- Meu querido filho. Jamais eu te deixaria nas horas de provas e de sofrimento. Quando viste, na areia, apenas um par de pegadas, eram as minhas. Foi exatamente aí que eu te carreguei nos braços.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida e acreditar na minha jornada aqui na Terra.

Aos meus pais e minha irmã pelos momentos que passamos juntos. Pela força e orgulho que passam e sentem de mim.

A minha noiva Bianca, pelo Amor que me deu forças em todos os momentos e pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao professor Júlio Tomás Aquije Chacaltana, meu orientador, professor e amigo. Obrigado por acreditar no meu trabalho.

Ao amigo e chefe Dr. Paulo Wander Cerutti Pinto por acreditar na minha capacidade e me incentivar nessa jornada.

A Cepemar Serviços de Consultoria em Meio Ambiente e a toda a equipe de trabalho, principalmente a Marcelo Travassos, Maurício Torronteguy, Antenor Coutinho, Elizabeth Dell Orto dentre outros.

A Renata, pela amizade e pela força nos momentos mais difíceis.

A FAPES edital universal 001/2007 processo 38879913/2003.

E aqueles que aqui não citados, mas que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

A análise da estabilidade dos perfis de praia promoveu a elaboração de várias formulações, tendo como destaque o conceito de perfil de equilíbrio, introduzido inicialmente por Brunn em 1954. A evolução dos estudos com o perfil de equilíbrio proporcionou o refinamento do conceito, promovendo melhorias na representação do perfil. A primeira contribuição foi realizada por Dean e outros (1992), que identificaram a influência da variação granulométrica na forma do perfil e adaptaram as equações de forma a representarem essa influência no perfil de equilíbrio. Bernabeu e outros (2002) desenvolveram duas equações de perfil de equilíbrio, uma para representar o perfil na zona de empinamento das ondas e outra para a zona de surfe. Em 2006, Turker e outro alteraram a equação do parâmetro de forma e inseriram, de forma direta, os parâmetros do tamanho dos sedimentos, das ondas e do deslocamento dos sedimentos na equação. Um setor da praia de Camburi foi escolhido, para o presente estudo, onde foram realizados levantamentos de campo como: batimetria, topografia, coleta de dados de ondas e marés e coletas de sedimentos, de forma a subsidiarem as análises das principais equações de equilíbrio hoje existentes, permitindo assim avaliar a resposta de cada equação e as condições desta praia que já passou por processos de alimentação artificial e, atualmente, pode ser considerada em estabilidade primária. O modelo de Turker e outros, 2006, que permite a inserção de agentes modeladores do perfil, como ondas e sedimentos na equação do parâmetro de forma do perfil de equilíbrio, mostrou a melhor representação das condições de equilíbrio e proporcionou a evolução dos perfis de equilíbrio em diferentes condições hidrodinâmicas, indicando onde o perfil pode transladar, de acordo com as mudanças no ambiente. Tais características tornam o modelo mencionado uma ferramenta na análise do comportamento dos perfis de praia, que se remodelam devido ao transporte transversal de sedimentos.

ABSTRACT

The analysis of the stability of the profiles of beach promoted the development of various formulations, with the highlight the concept of equilibrium profile, originally introduced in 1954 by Brunn. The evolution of the studies with the profile of equilibrium provided the refinement of the concept, promoting improvements in the representation of the profile. The first contribution was made by Dean and others (1992), who identified the influence of the variation in size and shape of the profile adapted the equations in order to represent their influence on the profile of balance. Bernabeu and others (2002) developed two equations of equilibrium profile, to represent a profile in the zone of warping waves and the other for the surf zone. In 2006, Turk and one changed the equation of the parameter of form and fall, in a direct way, the parameters of the size of sediments, wave and the displacement of sediment in the equation. One sector of the beach Camburi was chosen for this study, which surveys were conducted as the field: bathymetry, topography, collecting data from waves and tides and samples of sediments in order to subsidize the analysis of the main equations of equilibrium today exist, thus evaluating the response of each equation and conditions of this beach which went through processes of artificial feeding and, currently, can be seen in primary stability. The model of Turk and others, 2006, which enables modellers insertion of the profile players such as wave and sediment in the equation of the parameter in the profile of balance, showed the best representation of a balanced and provided the evolution of the profiles of balance at different hydrodynamic conditions, indicating where the profile may translate in accordance with changes in the environment. These characteristics make the model mentioned a tool in analyzing the behavior of profiles of beach, which is due to remodel cross-sediment transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1-1: Foto aérea da praia de Camburi. Fonte: Albuquerque, 2004.....	19
Figura 3.2.1-1: Caracterização faciológica da baía do Espírito Santo. Fonte: Albino et al., 2001b.....	23
Figura 3.2.1-2: Caracterização da baía do Espírito Santo. Fonte: Albino et al., 2006.	24
Figura 3.2.1-3: Delimitação espacial dos setores da praia de Camburi.	27
Figura 3.2.2.1-1: Frequência das alturas e períodos de ondas mais frequentes incidentes no litoral do Espírito Santo. Adaptado: Albino, 1999.	29
Figura 3.2.2.1-2: Padrão de chegada das ondas de NE. Fonte: Albino et al., 2001a.	30
Figura 3.2.2.1-3: Padrão de chegada das ondas de 105°. Fonte: Albino et al., 2001a.	31
Figura 3.2.2.1-4: Padrão de chegada das ondas de 170°. Fonte: Albino et al., 2001a.	32
Figura 4.1-1: Configuração dos sub-ambientes praias. Adaptado: Short (1999)...	33
Figura 4.1-2: Modelo evolutivo dos perfis praias baseado na caracterização de seis estágios. Adaptado: Wright e Short, 1984.....	37
Figura 4.2.1-1: Fenômeno de refração do trem de ondas ao se aproximarem da linha de costa. Fonte: Piccoli, 2005.....	38
Figura 4.2.1-2: Formato dos quatro tipos de quebra de onda. Fonte: Piccoli, 2005.	39
4.2.1-3: Sistema de correntes na antepraia. Adaptado: Wright, 1995.....	40
Figura 4.2.1.1-1: Linha de costa sobre influência da corrente longitudinal. Adaptado: Carter, 1998 e Albuquerque, 2004.	41

Figura 4.2.1.1-2: Obliquidade das ondas gerando transporte de sedimento sobre a face da praia. Fonte: Piccoli, 2005.	43
Figura 4.2.1.2-1: Caracterização de uma célula de circulação litorânea com correntes longitudinais e transversais a linha de costa. Fonte: Silva et al., 2004..	44
Figura 4.2.1.2-2: Adaptação do perfil praiar a mudanças no nível do mar. Fonte: Brunn, 1962.....	45
Figura 4.2.1.2-3: Variações sobre o perfil praiar devido ao transporte transversal. Fonte: CEM, 2002.	47
Figura 4.3-1: Representação do perfil submerso proposto por Dean (1977). Adaptado: Dean et al., 1993.....	52
Figura 4.3-2: Formas e interpretações dos perfis característicos fora do equilíbrio. Adaptado: Dean et al., 1993.....	53
Figura 4.3-3: Equilíbrio do sistema, mesmo os perfis apresentando diferenças de altura. Adaptado: Dean et al., 1993.....	54
Figura 4.3.1.1-1: Parâmetro de forma A. Fonte: Dean et al., 1993.	55
Figura 4.3.1.3-2: Velocidade de decantação (cm/s) em função do diâmetro médio (ϕ). Fonte: Gráfico elaborado por Muehe (2004).	60
Figura 5.2.1-1: Localização das estações de monitoramento.	65
Figura 5.2.2.1-1: Distribuição dos perfis topobatimétricos e a área de estudo dos perfis de equilíbrio em negrito.	67
Figura 5.2.2.1-2: Levantamento topobatimétrico.....	68
Figura 5.2.2.1-3: Estações de coleta de sedimentos.	69
Figura 5.2.2.2-1: Linhas de sondagem batimétrica.	71
Figura 5.2.2.3-1: Modelo esquemático da instalação da estação de dados oceanográficos (Ondógrafo).....	73
Figura 5.2.2.3-2: Modelo esquemático da instalação da estação de dados oceanográficos (ADCP).....	74

Figura 6.1.1-1: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 1 extremo norte.....	81
Figura 6.1.1-2: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 2.....	82
Figura 6.1.1-3: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 3.....	83
Figura 6.1.1-4: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 4 último perfil do setor 1.....	84
Figura 6.1.1-5: Sobreposição dos perfis do setor 1, indicando a possível profundidade de fechamento.....	85
Figura 6.1.1-6: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 5.....	86
Figura 6.1.1-7: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 6.....	87
Figura 6.1.1-8: Histogramas dos sedimentos do perfil 7.	89
Figura 6.1.1-9: Histogramas dos sedimentos do perfil 8.	90
Figura 6.1.1-10: Histogramas dos sedimentos do perfil 9.	92
Figura 6.1.1-11: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 7.....	94
Figura 6.1.1-12: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 8.....	95
Figura 6.1.1-13: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 9.....	96
Figura 6.1.1-14: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 10.....	98
Figura 6.1.1-15: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 11.....	99
Figura 6.1.1-16: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 12.....	100
Figura 6.1.1-17: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 13.....	101
Figura 6.1.2-1: Batimetria da baía do Espírito Santo.	103
Figura 6.1.3.1-1: Histograma das ondas monitoradas na porção externa da baía do Espírito Santo.....	105
Figura 6.1.3.1-2: Rosa de ondas monitoradas na porção externa da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).	106
Figura 6.1.3.1-3: Altura e período plotados no tempo.	107

Figura 6.1.3.1-4: Registro de maré na porção externa da baía do Espírito Santo.	107
Figura 6.1.3.2-1: Histograma das ondas monitoradas na porção interna da baía do Espírito Santo.....	109
Figura 6.1.3.2-2: Rosa de ondas monitoradas e a variação da altura e direção das ondas na porção interna da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).....	110
Figura 6.1.3.2-3: Altura máxima das ondas monitoradas na porção interna da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).	111
Figura 6.1.3.2-4: Comparativo entre a altura significativa e a altura máxima na porção interna da baía do Espírito Santo.	111
Figura 6.1.3.2-5: Relação altura significativa e o período das ondas no interior da baía.	112
Figura 6.1.3.2-6: Registro de maré no interior da baía.....	113
Figura 6.1.3.2-7: Elevação do nível de água no interior da baía.....	114
Figura 6.2.1-1: Perfis reais e modelados pela equação de Dean, 1977.....	116
Figura 6.2.2-1: Perfis reais e modelados pela equação de Dean et al., 1993....	119
Figura 6.2.3-1: Perfis reais e modelados pela equação de Bernabeu et al., 2002.	121
Figura 6.2.4-1: Perfis reais e modelados pela equação de Turker et al., 2006. .	123
Figura 6.2.5-1: Perfis reais e modelados pelas equações de perfil de equilíbrio.	125
Figura 6.3-1: Simulações da evolução da área foco do estudo.	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2.1-1: Setorização da praia de Camburi. Fonte: Albino et al., 2000.	25
Tabela 3.2.2.1-1: Dados dos equipamentos de medição. Fonte: Cepemar, 2005.	28
Tabela 3.2.2.1-2: Ondógrafo não-direcional - Estatística das alturas significativas das ondas ao largo de praia Mole, de 01/04/1982 a 06/11/1992 (INPH, 2003).....	28
Tabela 3.2.2.1-3: Ondógrafo direcional - Estatística das alturas significativas das ondas ao largo de praia Mole, de 28/05 e 11/12/2001 (INPH, 2003).	29
Tabela 4.3.1.4-1: Dados dos experimentos para o cálculo do deslocamento das partículas de sedimento.	62
Tabela 5.2.1-1: Coordenadas das estações de monitoramento.	66
Tabela 5.2.2.1-1: Coordenadas das estações de coletas de sedimentos.	70
Tabela 5.2.3.3-1: Tempo de coleta em profundidades pré-determinadas para cada temperatura.	77
Tabela 5.2.3.3-2: Classificação granulométrica de Wentworth (1922).	78
Tabela 6.1.1-1: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P7.	89
Tabela 6.1.1-2: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P8.	90
Tabela 6.1.1-3: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P9.	91
Tabela 6.1.1-4: Parâmetros de classificação da equação de Wright e Short (1984)..	93
Tabela 6.1.3.1-1: Frequência de direção das ondas na porção externa da baía do Espírito Santo.	104
Tabela 6.1.3.2-1: Frequência de direção das ondas na porção interna da baía do Espírito Santo.	108
Tabela 6.2.1-1: Dados utilizados para o cálculo do parâmetro de forma A.	114

Tabela 6.2.2-1: Dados utilizados para o cálculo do parâmetro de forma A.....	117
Tabela 6.2.3-1: Parâmetros utilizados nas equações do modelo de perfil de equilíbrio de Bernabeu et al., 2002.	120
Tabela 6.2.4-1: Características sedimentares e de ondas existentes na área foco do estudo.....	122
Tabela 6.3-1: Características sedimentares e de ondas existentes na área foco do estudo.....	126

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 LOCALIZAÇÃO E HISTÓRICO	19
3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA PRAIA DE CAMBURI	22
3.2.1 Geomorfologia.....	22
3.2.2 Oceanografia	28
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	33
4.2 ANTEPRAIA.....	38
4.2.1 Correntes Costeiras e Transporte de Sedimentos	38
4.3 MODELOS DE PERFIL DE EQUILÍBRIO	48
5 MATERIAIS E MÉTODOS	63
5.2 AQUISIÇÃO E TRATAMENTOS DE DADOS	64
5.2.1 Localização das Estações de Coleta de Dados	64
5.2.2 Procedimentos de Campo	66
5.2.3 Processamento dos Dados	74
5.3 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO PERFIL SUBMERSO COM BASE NO PERFIL DE EQUILÍBRIO.....	78
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
6.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E OCEANOGRÁFICA DA BAÍA DO ESPÍRITO SANTO	79

6.1.1 Características Morfológicas da praia de Camburi.....	79
6.1.2 Batimetria da baía do Espírito Santo.....	102
6.1.3 Características Oceanográficas.....	103
6.2 ANÁLISE DAS EQUAÇÕES DE PERFIL DE EQUILÍBRIO	114
6.2.1 Modelo Dean 1977.....	114
6.2.2 Modelo Dean et al., 1993.....	117
6.2.3 Modelo Bernabeu et al., 2002	120
6.2.4 Modelo Turker et al, 2006	122
6.2.5 Análise Integrada dos Modelos de Perfil de Equilíbrio.....	124
6.3 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO PERFIL SUBMERSO	126
7 CONCLUSÃO	128
8 REFERÊNCIAS.....	130

1 INTRODUÇÃO

Praias formadas por sedimentos inconsolidados ocupam aproximadamente 40% da linha de costa do planeta (BIRD, 1996) e são áreas de contínuas alterações morfológicas, provocadas por processos de origem continental e marinha (SILVA et al., 2004), que promovem processos destrutivos (erosão) e/ou construtivos (deposição).

A forma dos perfis de praia é o produto de um complexo sistema de forças que interagem entre si, formando um arcabouço estrutural dinâmico, que se modela à medida que as condições energéticas do ambiente se modificam. Segundo Silvester e Hsu (1993), a alta dinâmica nas costas é ocasionada pela atuação de agentes como as ondas e as correntes, sendo as ondas as responsáveis pela maior entrada de energia nas regiões costeiras. Os incrementos de energia provocam alterações na distribuição dos sedimentos ao longo do perfil praial, fazendo com que o mesmo se adeqüe e atinja nova forma, ajustando-se àquela condição hidrodinâmica.

O transporte de sedimentos em praias arenosas pode ser considerado em componentes transversal e longitudinal. Segundo Zheng e Dean (1997), o transporte transversal determina a evolução primária para praias a partir de processos como elevação no nível do mar, aumento de energia devido a tempestades severas e em obras de engordamento artificial. O transporte longitudinal promove a evolução secundária e se caracteriza por não promover perda de sedimentos do sistema praial, mas sim o deslocamento de um local para outro. A interação de processos transversais e longitudinais promove alterações contínuas nos perfis de praias de sedimentos inconsolidados.

A análise da estabilidade dos perfis de praia promoveu a elaboração de várias formulações, tendo como destaque o conceito de perfil de equilíbrio, introduzido inicialmente por Brunn em 1954 e confirmado por Dean (1977), quando analisou o método de Brunn, com dados de aproximadamente 504 perfis ao longo da costa americana. A idéia principal deste conceito é que se as forças do sistema se

mantiverem constantes ao longo do tempo, o sistema praial tenderá a um equilíbrio nas três dimensões (DEAN et al., 1993). Em seus estudos, Brunn (1954) expressa uma profundidade h , a uma distância horizontal y , a partir de um parâmetro que depende do diâmetro médio do sedimento e propôs dois mecanismos que conduzem o perfil ao equilíbrio. Primeiramente ele considera a componente de cisalhamento em direção à costa como sendo uniforme e a componente do gradiente de transporte de energia das ondas em direção à costa como sendo constante. O segundo mecanismo é baseado na consideração de que a perda de energia da onda é somente pela fricção com o fundo e que essa perda é constante por unidade de área.

O método de perfil de equilíbrio se baseia, fundamentalmente, na teoria linear de ondas e em considerações físicas, onde forças construtivas e destrutivas tendem a transportar, respectivamente, sedimentos em direção à costa ou em direção ao mar.

A forma do perfil de equilíbrio é baseada no parâmetro de forma (A), determinado com base na velocidade de decantação das partículas dos sedimentos. Moore (1982) aplicou o método de mínimos quadrados em perfis de praias de diferentes granulometrias e desenvolveu um gráfico que relaciona o parâmetro A *versus* o diâmetro de grão e a velocidade de sedimentação das partículas.

A evolução dos estudos com o perfil de equilíbrio proporcionou o refinamento deste conceito, o que promoveu melhorias na representação da forma do perfil. A primeira contribuição foi realizada por Dean e outros (1993), que identificaram a influência da variação granulométrica na forma do perfil e adaptaram as equações de forma a representarem essa influência no perfil de equilíbrio. Bernabeu e outros (2002) desenvolveram duas equações de perfil de equilíbrio, uma para representar o perfil na zona de empinamento das ondas e outra para a zona de surfe. A principal justificativa desse método de cálculo de perfil é a variação na distribuição de energia ao longo da antepraia. Em 2006, Turker e outros alteraram a equação do parâmetro de forma e inseriram, de forma direta, os parâmetros do tamanho

dos sedimentos, das ondas e do deslocamento das partículas de sedimentos na equação.

A aplicação do método de perfil de equilíbrio vem se demonstrando como uma boa ferramenta para interpretar se o perfil real da praia apresenta déficit ou excesso de sedimento (DEAN et al., 1993). Essa análise só é possível quando se conhecem as características morfológicas, texturais e hidrodinâmicas que ocorrem ao longo da antepraia do perfil de praia.

Atualmente, o método de perfil de equilíbrio é uma ferramenta amplamente utilizada em obras costeiras, principalmente em processos de alimentação de praias erodidas. Uma alimentação representa, claramente, uma perturbação do equilíbrio de um sistema costeiro. Pode-se argumentar que intervenções são normalmente realizadas porque o sistema está sujeito a erosão, estando, portanto, fora de equilíbrio, ou porque é altamente vulnerável a eventos extremos (CAPOBIANCO et al., 2002).

A proposta deste estudo é avaliar a evolução da equação do perfil de equilíbrio e identificar as formas de perfil de equilíbrio da antepraia em um trecho da praia de Camburi na baía do Espírito Santo, quando submetidos a condições hidrosedimentológicas distintas. O local de estudo foi escolhido devido a inúmeros processos erosivos, obras de engenharia e alimentação artificial que a praia em questão já passou. Esse estudo tem como finalidade complementar os estudos existentes nesta área, visando promover o maior entendimento sobre os processos que estão envolvidos na dinâmica costeira.

2 OBJETIVOS

Contribuir para a compreensão da dinâmica do transporte de sedimento na antepraia de regiões costeiras, a partir da identificação dos perfis de equilíbrio dessas áreas.

2.1 Objetivos Específicos

- Entender a evolução da antepraia em um setor da praia de Camburi, com base no perfil de equilíbrio;
- Avaliar a evolução do conceito de perfil de equilíbrio e observar o modelo que representa mais fielmente as condições reais do ambiente;
- Atualizar e complementar os dados oceanográficos da baía do Espírito Santo.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e Histórico

A praia de Camburi é um dos cartões postais do município de Vitória, estado do Espírito Santo. Localizada ao norte da cidade, possui 6 Km de extensão e oferece aos frequentadores habituais e turistas, quiosques ao longo do seu calçadão, bem como diversos restaurantes e hotéis ao longo de sua orla (Figura 3.1-1 e 3.1-2).

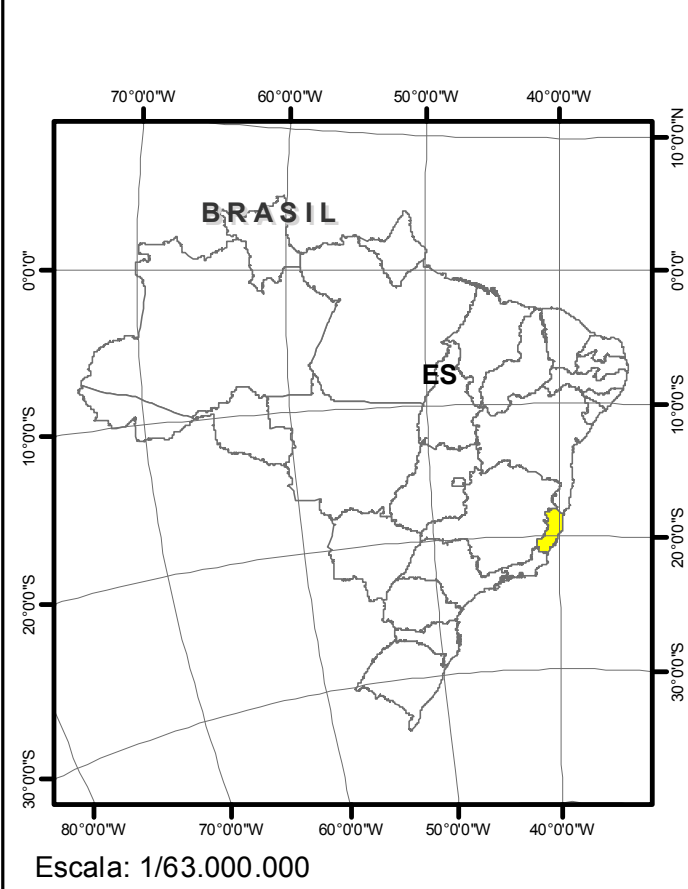


Figura 3.1-1: Foto aérea da praia de Camburi. Fonte: Albuquerque, 2004.

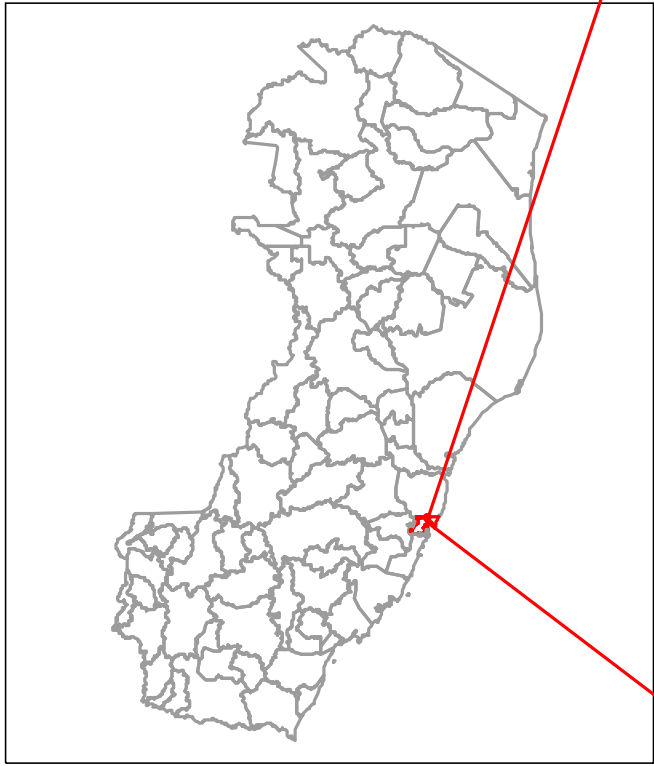
O crescimento do município, implantação de indústrias, crescimento das atividades portuárias e inúmeras obras causaram danos ao equilíbrio da praia de Camburi. Os primeiros processos erosivos foram observados na década de 60, período que coincide com um intenso processo de urbanização e crescimento industrial do município de Vitória-ES (MELO; GONZALES, 1995). Esses efeitos foram ocasionados pela mudança no padrão de ondas local, devido às obras do Porto de Tubarão, onde se observa a difração das ondas na Ponta de Tubarão e refração no canal de acesso dos navios, causando convergência das ortogonais

das ondas provenientes de E-NE, fazendo com que estas alcancem a costa com maior energia e causem erosão, principalmente da porção central. (MELO; GONZALES, 1995)

O agravamento do processo levou à elaboração do Projeto de Proteção e Recuperação da Orla de Camburi, objetivando a criação de mecanismos de contenção do processo erosivo ao longo da praia de Camburi e compreendeu obras de reposição artificial de sedimentos na praia, por meio de aterro hidráulico e a construção do guia corrente de lemanjá e do espigão 2. Na década de 90, foi realizada mais uma intervenção na praia onde, segundo Albino e outros (2001a), foi construído o terceiro espigão com 180 m (próximo ao Hotel Canto do Sol), aumento do espigão central em 70m e engordamento de 730 mil m³ de areia, retiradas de jazidas da baía do Espírito Santo, entre o guia corrente de lemanjá e o espigão 2 (até 2800m a partir do Canal da Passagem) e 240 mil m³ de areia entre os espigões 2 e 3 (até 3500m) (Figura 3.1-1). O material utilizado no engordamento apresentava um predomínio de areias grossas e médias, de phi entre 0,00 e 1,50 (ALBINO et al., 2001a).



Escala: 1/63.000.000



Escala: 1/4.000.000



Escala: 1/30.000

3.2 Caracterização Física da Praia de Camburi

3.2.1 Geomorfologia

Segundo Martin e outros (1996), o município de Vitória encontra-se situado em um trecho da costa capixaba onde os afloramentos cristalinos alcançam a linha de costa, sendo responsáveis por um litoral recortado, onde são identificados trechos expostos e protegidos das ações diretas das ondas (OLIVEIRA, 1995).

Segundo Albino e outros (2001b), região de Vitória se divide em duas: a baía de Vitória, que é composta por uma porção insular granítica circundada pelo estuário da baía de Vitória; e a baía do Espírito Santo, correspondendo à enseada e à zona submersa adjacente da praia de Camburi, localizada na porção continental de planície marinha/fluvial quaternária (ALBINO et al., 2001b).

Albino e outros (2001b), a partir dos dados de composição textural, determinaram a distribuição faciológica da plataforma continental interna e da baía do Espírito Santo, sendo identificados três grupos de diferente composição: material litoclástico (tons de azul), material misto (tons de verde) e material bioclástico (tons de vermelho) como mostrado na (Figura 3.2.1-1).

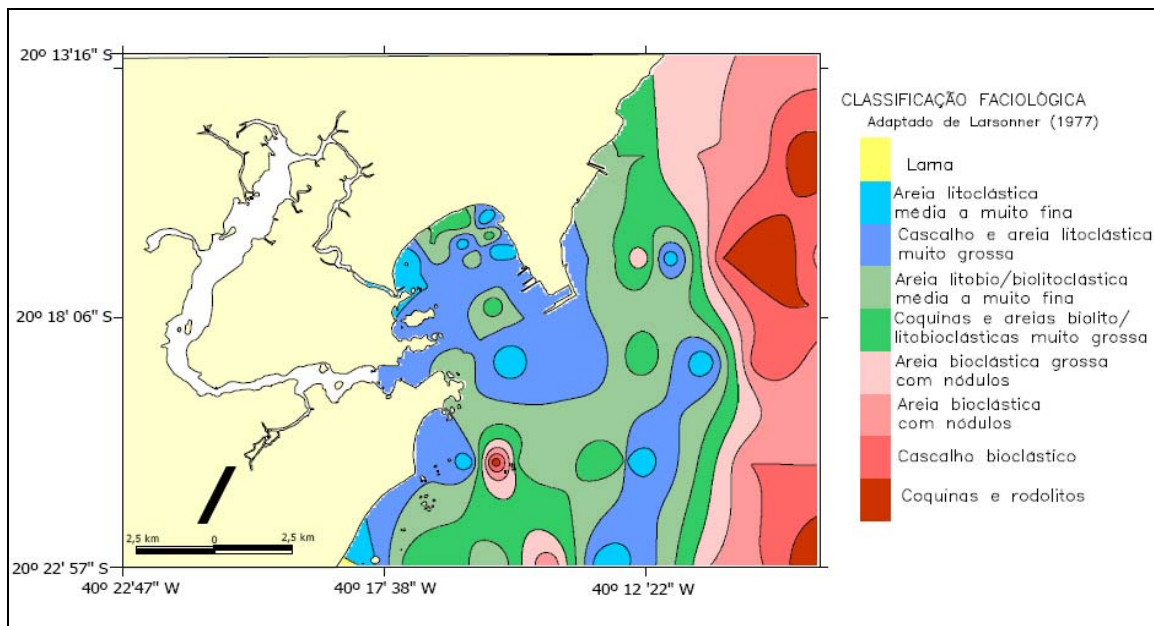


Figura 3.2.1-1: Caracterização faciológica da baía do Espírito Santo. Fonte: Albino et al., 2001b.

Segundo Albino e outros (2001b), a faciologia dos sedimentos superficiais da plataforma da baía do Espírito Santo mostra-se limitada na contribuição de material terrígeno. A região marinha é caracterizada por sedimentos biolitoclásticos grossos a finos. Os altos teores de bioclastos grossos indicam proximidade da área fonte.

Segundo o Atlas de Erosão e Propagação do Litoral Brasileiro (MUEHE, 2006), a praia de Camburi encontra-se no setor 3 (Figura 3.2.1-2) do litoral capixaba e apresenta adaptação morfotextural lenta, devido às imposições das estruturas de engenharia utilizadas para estabilizar a praia (ALBINO et al., 2006).

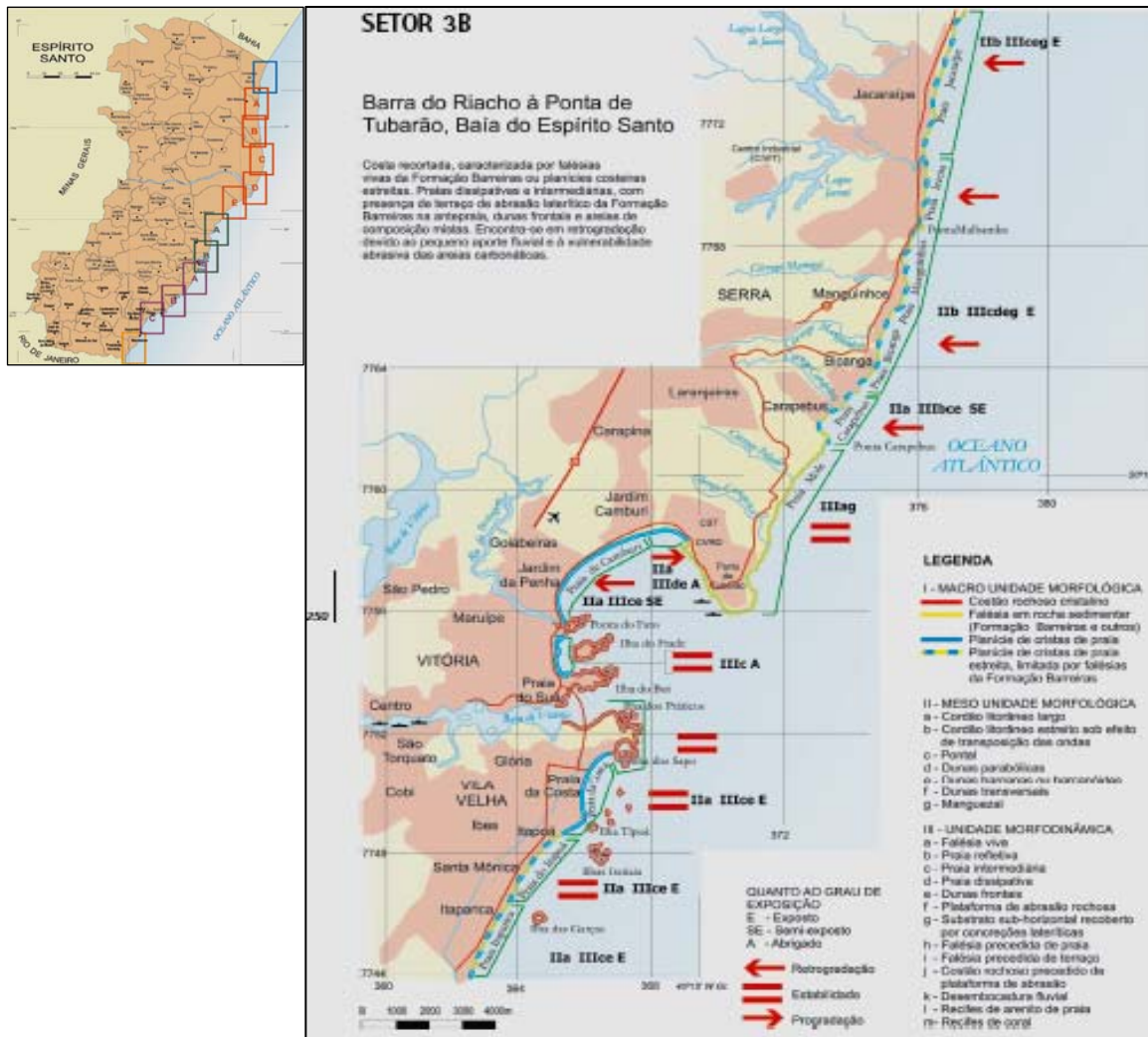


Figura 3.2.1-2: Caracterização da baía do Espírito Santo. Fonte: Albino et al., 2006.

Estudos recentes sobre a morfodinâmica da região indicam a existência de 3 principais setores ao longo da praia de Camburi, com características morfodinâmicas e tipologia praial distintas (ALBINO et al., 2005) (Tabela 3.2.1-1).

Tabela 3.2.1-1: Setorização da praia de Camburi. Fonte: Albino et al., 2000.

Setor	Localização	Tipologia	Característica Morfodinâmicas
Setor 1	Início no espigão de Iemanjá até 1000 metros após o Clube dos Oficiais	Intermediária	Declividade moderada a alta da antepraia, sedimentos grossos, ondas mergulhantes e atuação da deriva litorânea
Setor 2	A partir dos 1000 metros após o Clube dos Oficiais até o Barlamar do 3º espigão	Intermediária	Declividade moderada a alta da antepraia, sedimentos médios, ondas ascendentes e mergulhantes e presença de cúspides e correntes de retorno
Setor 3	A partir do 3º espigão até o final da praia	Dissipativa	Declividade baixa a moderada da antepraia, sedimentos finos, ondas deslizantes e boa estabilidade da praia

O setor 1 se inicia no guia corrente de Iemanjá e se prolonga até a Ilha do Socó, o setor 2 que está entre a Ilha e o Barlamar do espigão 3 e o setor 3 entre o sotamar do espigão 3 e o início da Ponta de Tubarão (Figura 3.2.1-3).

O setor 1 (Figura 3.2.1-3) se caracteriza por apresentar sedimentos basicamente arenosos (PRATA, 2004), exposição às ondas de nordeste, forte transporte de sedimentos. Neste setor, não há ocorrência de cúspides, a praia é intermediária, com declividade da face praia de moderada a alta, sedimentos grossos, ondas do tipo mergulhante e atuação da deriva litorânea (LEÃO, 2004).

O setor 2 (Figura 3.2.1-3) apresenta praia com tipologia intermediária a refletiva, com declividade alta a moderada na face, ondas do tipo ascendente e mergulhante e sedimentos médios a grossos; apresenta cúspides e desenvolvimento de correntes de retorno e forte transporte longitudinal, caracterizado pelo acúmulo de sedimentos a barlamar do espigão. A área foco deste estudo encontra-se inserida no setor 2 e é representada por um pequeno segmento delimitado a norte pelo espigão 3 e ao sul pelo espigão 2. Nessa região, são observadas características morfológicas de perfis intermediários a refletivos, com sedimentos médios na porção aérea e sedimentos finos na antepraia.

Observa-se a presença de correntes longitudinais de pequena intensidade e também a presença de cúspides (transporte transversal).

O terceiro setor (Figura 3.2.1-3) apresenta seus limites entre o barlamar do terceiro espigão e segue até a Ponta de Tubarão. Essa região apresenta-se abrigada das ondas de nordeste e exposta às ondas de sudeste, gerando uma região de baixa hidrodinâmica na maior parte do tempo, mas que em períodos de frentes frias recebe grandes quantidades de energia. Nesse setor, observam-se perfis intermediários a dissipativos, com sedimentos finos e lamosos.

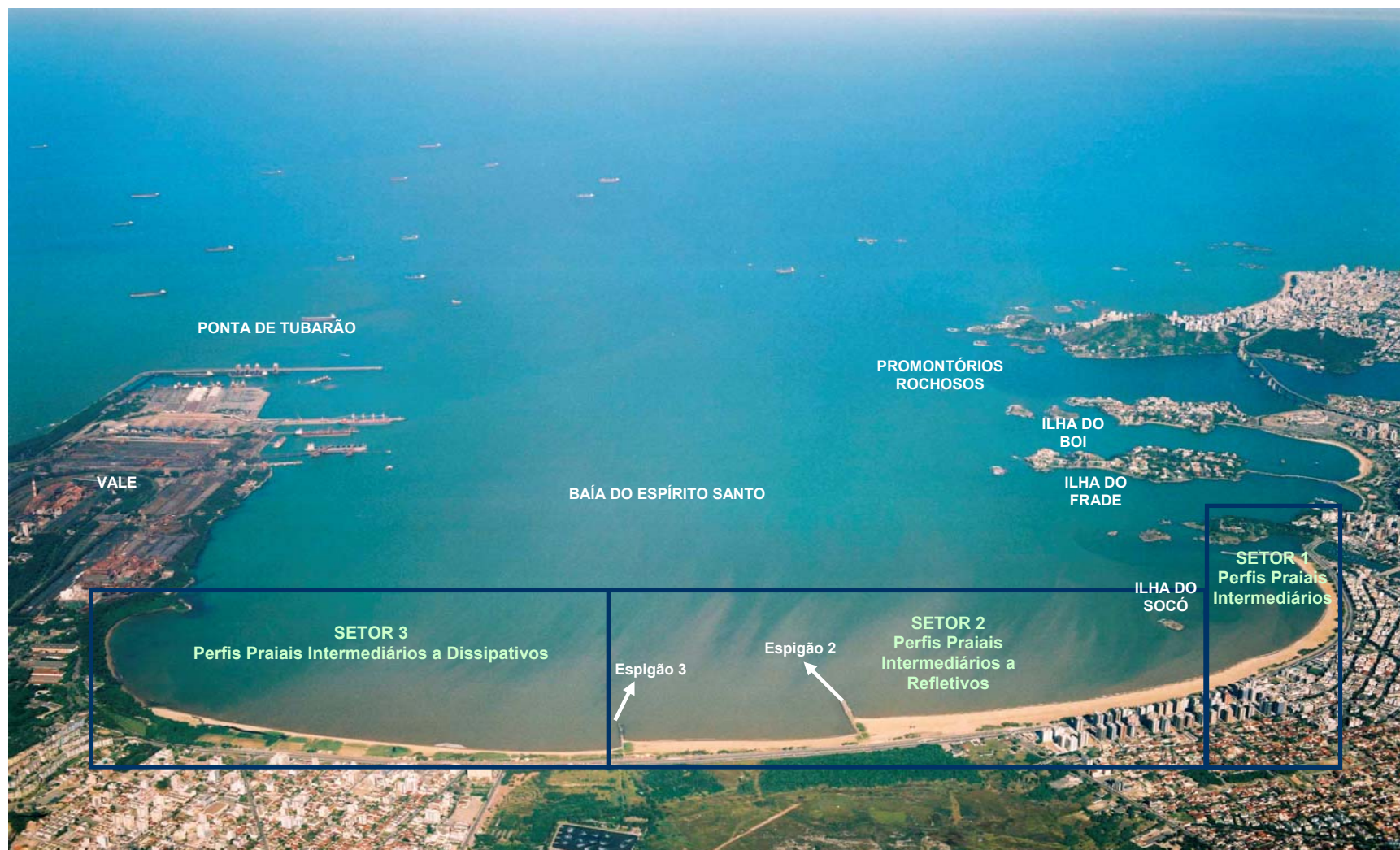


Figura 3.2.1-3: Delimitação espacial dos setores da praia de Camburi.

3.2.2 Oceanografia

3.2.2.1 Ondas

Os dados pretéritos existentes para a região foram medidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH, 2003 apud Cepemar, 2005) e são referentes a dois períodos, locais e métodos distintos de medição (Tabela 3.2.2.1-1).

Tabela 3.2.2.1-1: Dados dos equipamentos de medição. Fonte: Cepemar, 2005.

Equipamento	Coordenadas		Profundidade	Período	Observações
	S	W			
Ondógrafo Não-Direcional (O1)	20° 16' 06" S	40° 10' 42" W	21 metros	1982 e 1992	Interrupção de abril/86 a março/88 e direção estimada por observações visuais
Ondógrafo Direcional (O2)	20° 17' 18" S	40° 12' 54" W	21 metros	28/05/2001 a 11/12/2001	Alto grau de confiabilidade em relação às medições anteriores

Entre 1982 e 1992, observa-se que as ondas apresentaram duas direções predominantes (60° e 180°), fato provavelmente ocasionado pelo fato da direção ter sido estimada por observações visuais e altura entre 0.5 e 1.5m (90.72% das medições).

Durante o segundo período de medição (ano de 2001), a maior precisão na coleta dos dados permitiu a identificação de um número maior de direções.

O resumo é apresentado nas Tabelas 3.2.2.1-2 e 3.2.2.1-3.

Tabela 3.2.2.1-2: Ondógrafo não-direcional - Estatística das alturas significativas das ondas ao largo de praia Mole, de 01/04/1982 a 06/11/1992 (INPH, 2003).

Hs (m)	Direções (graus)					Total (%)
	60	90	120	150	180	
< 0,5	0,61	0,09	0,00	0,00	0,03	0,73
0,5 a 1,0	27,66	5,53	1,64	1,90	10,60	47,33
1,0 a 1,5	18,72	3,56	0,79	2,09	18,23	43,39
1,5 a 2,0	1,70	0,60	0,12	0,36	4,38	7,16
2,0 a 2,5	0,06	0,00	0,06	0,21	0,88	1,21
> 2,5	0,00	0,00	0,03	0,06	0,09	0,18
Total (%)	48,75	9,78	2,64	4,62	34,21	100,00

Tabela 3.2.2.1-3: Ondógrafo direcional - Estatística das alturas significativas das ondas ao largo de praia Mole, de 28/05 e 11/12/2001 (INPH, 2003).

Hs (m)	Direções (graus)										Total (%)
	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	
0,4 a 0,8	0,00	0,04	0,25	0,13	0,00	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,63
0,8 a 1,2	0,08	0,89	5,02	5,69	1,69	1,85	1,73	0,97	0,17	0,04	18,13
1,2 a 1,6	0,13	1,64	4,01	7,84	4,60	3,33	5,10	3,25	0,42	0,04	30,35
1,6 a 2,0	0,13	0,76	1,52	5,78	8,14	10,03	8,90	3,54	1,43	0,34	40,56
2,0 a 2,4	0,00	0,00	0,08	0,51	1,73	2,11	3,63	0,84	0,55	0,30	9,74
> 2,4	0,00	0,00	0,00	0,13	0,08	0,04	0,30	0,00	0,04	0,00	0,59
Total (%)	0,34	3,33	10,88	20,07	16,23	17,54	19,69	8,60	2,61	0,72	100,0

Outros dados de ondas, também obtidos pelo INPH (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias), entre março de 79 e setembro de 80 (Figura 3.2.2.1-1), nas proximidades do Porto de Tubarão, foram utilizados por Albino e outros (2001a) para a modelagem de refração e padrão de chegada das ondas na linha de costa, a partir do modelo Mike 21. Por meio de informações do padrão de chegada de ondas, Albino e outros (2001a) definiram três padrões de aproximações principais: NE (45°), E-SE (105°) e S-SE(170°).

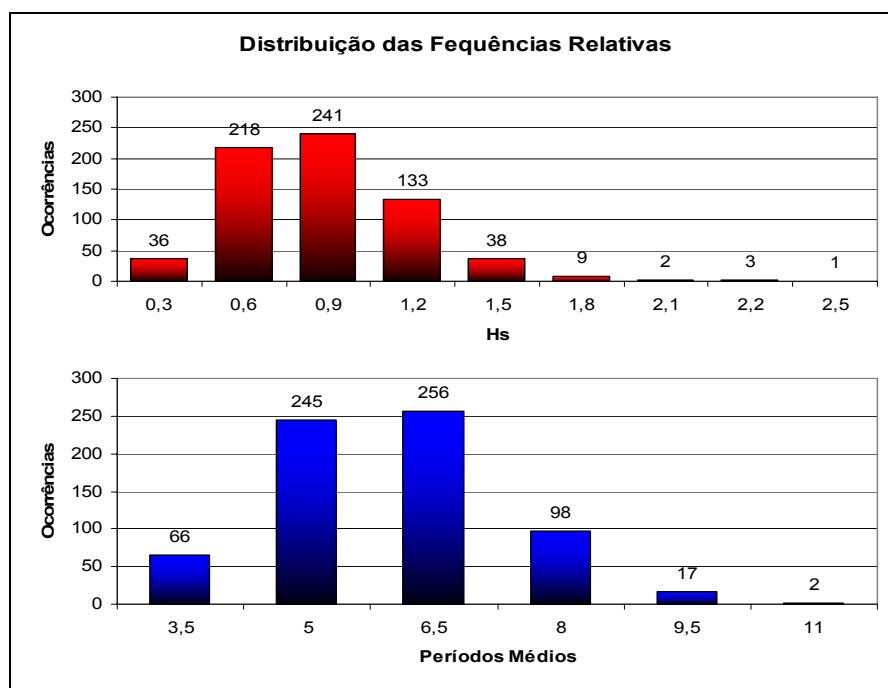


Figura 3.2.2.1-1: Frequência das alturas e períodos de ondas mais frequentes incidentes no litoral do Espírito Santo. Adaptado: Albino, 1999.

A partir de simulações do padrão de entrada de ondas na baía do Espírito Santo, Albino e outros (2001a) observaram que, por efeito de refração, as ondas sofrem a dissipação entre as isóbatas de 25 e 30 m.

Os resultados das modelagens (Figura 3.2.2.1-2) indicam que as ondas de NE chegam à costa com altura variando de 0,9 a 1,2 metros e na entrada da baía do Espírito Santo, ocorre a maior dissipação e refração. A Ponta de Tubarão protege a baía contra as ondas incidentes de NE desenvolvendo uma área, com ondas inferiores a 0,3 m, sendo responsável também pela difração das ondas que passam de NE para SE e terminando praticamente incidente de S, dentro da baía, próximo à linha de costa (ALBINO et al., 2001a).

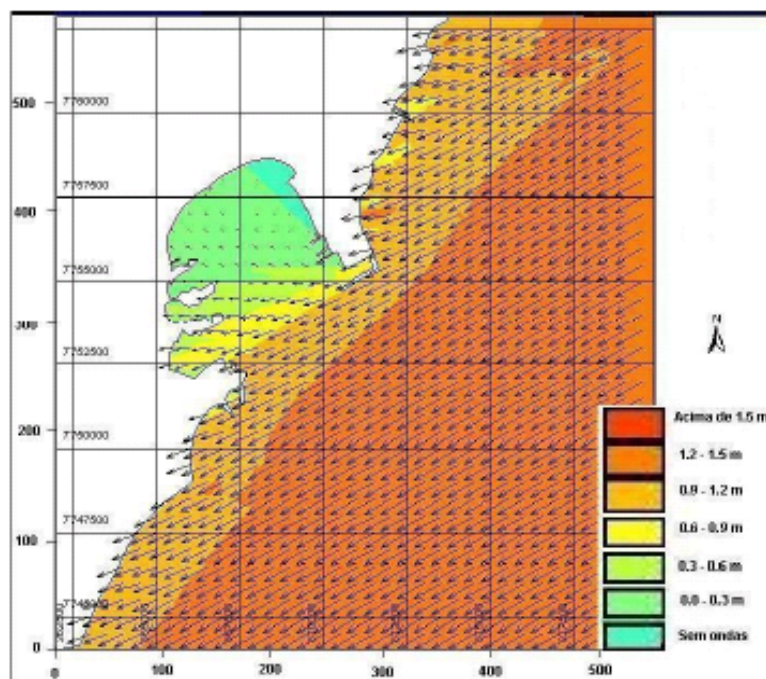


Figura 3.2.2.1-2: Padrão de chegada das ondas de NE. Fonte: Albino et al., 2001a.

As ondas provenientes de ESE (105°) são ondas desenvolvidas a partir da passagem de frentes frias e apresentam-se mais altas, atingindo a praia de Camburi com alturas entre 0,4 e 1,0 m, devido a baía do Espírito Santo ter orientação para SE e, conseqüentemente, sofrendo menor dissipação dentro da referida baía (Figura 3.2.2.1-3). A variação de altura ao longo de Camburi deve-se a presença da Ilha do Socó, que causa a difração e o sombreamento entre a ilha e

a praia desenvolvendo uma porção de menor energia e, à proximidade da porção adjacente a Vale, onde, mesmo sob a atuação destas ondas, a dissipação é intensa (ALBINO et al., 2001a).

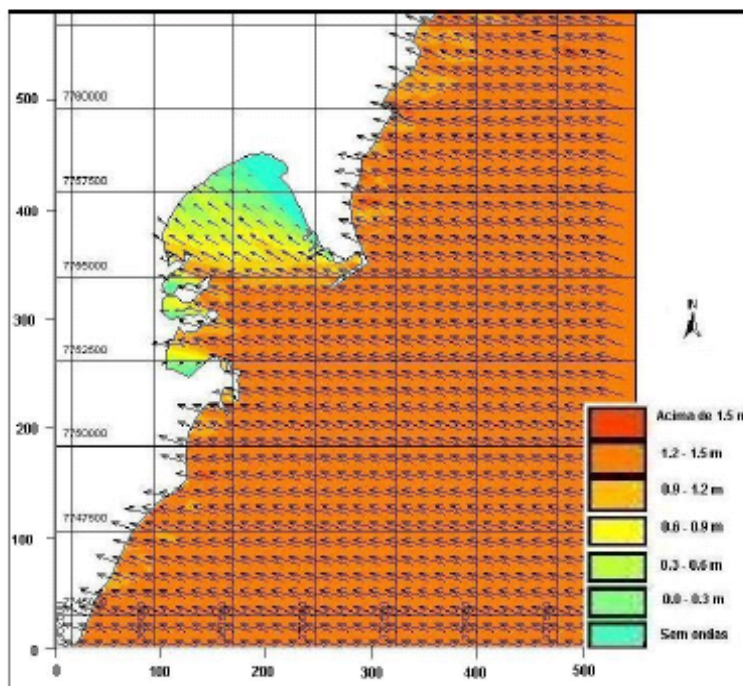


Figura 3.2.2.1-3: Padrão de chegada das ondas de 105°. Fonte: Albino et al., 2001a.

As ondas de SSE (170°) são desenvolvidas por frentes frias intensas e, desta forma, com altos períodos e alturas. De maneira geral, o padrão assemelha-se ao anterior, com ondas provenientes do quadrante E-SE.

Na baía do Espírito Santo há a dissipação e difração das ondas em torno das ilhas do Frade e do Boi e da Ponta de Tubarão e estas alcançam a praia com as alturas entre 0,2 e 0,6 m e com 90° em relação à linha de costa, conforme a Figura 3.2.2.1-4 (ALBINO et al., 2001a).

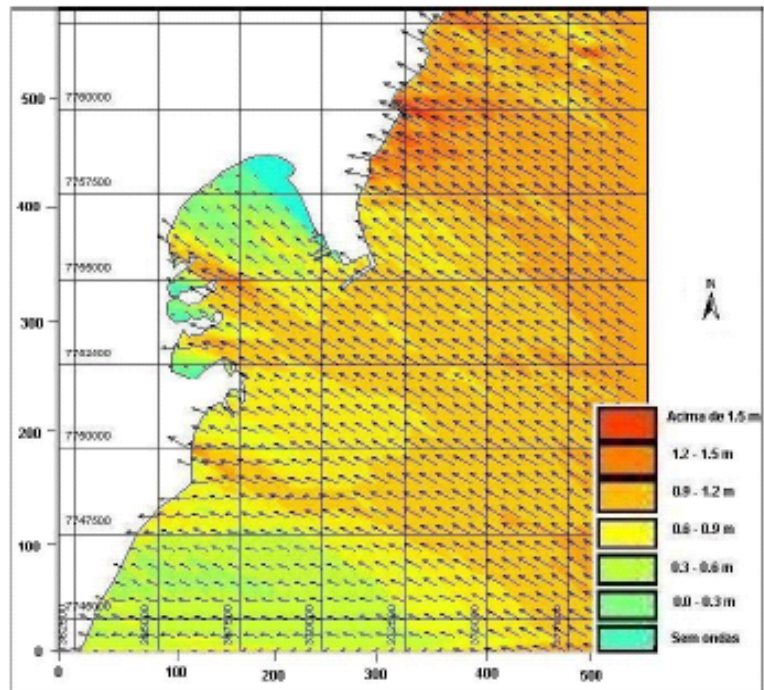


Figura 3.2.2.1-4: Padrão de chegada das ondas de 170°. Fonte: Albino et al., 2001a.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Considerações Gerais

Praias são usualmente definidas como uma área de transição com acúmulo de sedimentos inconsolidados que se estendem desde a plataforma interna até alguma mudança fisiográfica, como falésias, dunas ou áreas permanentemente vegetadas (KOMAR, 1998).

Sendo as praias ambientes tão variáveis espaço-temporalmente, qualquer tentativa de delimitar seus sub-ambientes deve considerar processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos que promovem tais mudanças. Um ambiente praiial oceânico típico pode ser dividido nos seguintes ambientes: Pós-praia (*backshore*), antepraia superior (*foreshore*), antepraia intermediária (*nearshore*) e antepraia inferior (*shoreface*) (Figura 4.1-1).

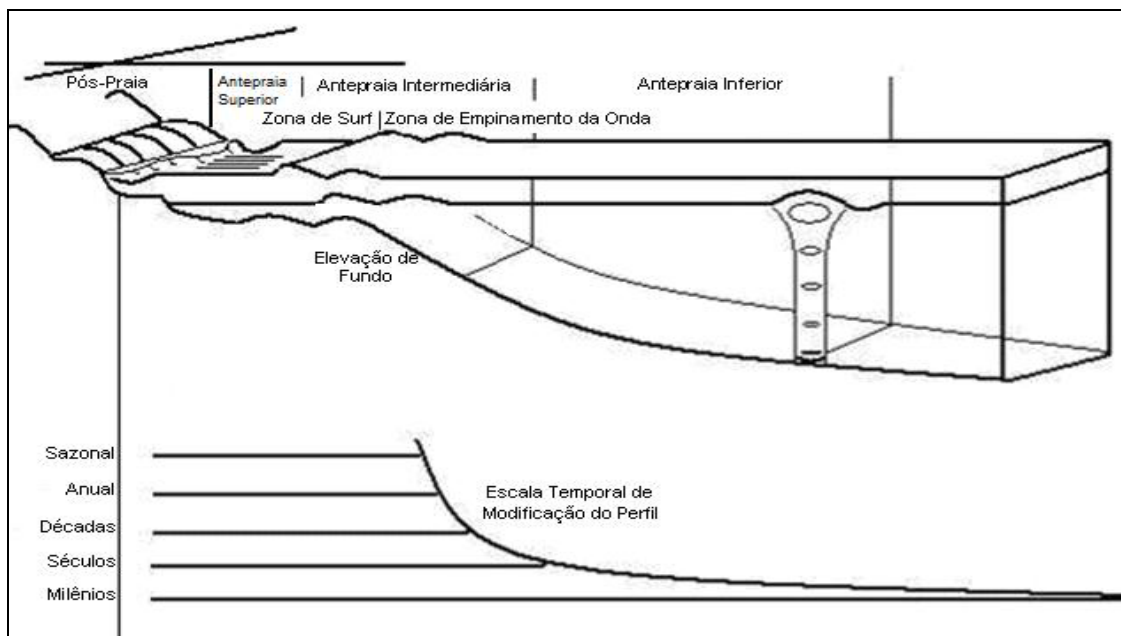


Figura 4.1-1: Configuração dos sub-ambientes praiiais. Adaptado: Short (1999).

Pós-praia (*backshore*) representa a porção mais alta da praia, apresenta baixa declividade e corresponde ao nível da berma. Estende-se desde a crista praial, construída pelo nível de preamar de sizígia, até alguma mudança fisiográfica brusca como as dunas e falésias (SUGUIO, 2003).

Antepraia superior (*foreshore*) é a região entre a crista do berma e a linha de baixa mar ordinária; há uma suave declividade em direção ao mar que é exposta à ação do espraçamento das ondas (SUGUIO, 2003). Sua porção mais exposta corresponde à face da praia (*beachface*), região onde ocorre o espraçamento das ondas e formação da calha do máximo recuo da onda (formada a partir do afloramento do nível do lençol freático) e de bancos ou barra.

Antepraia intermediária (*nearshore*), segundo Albino (1999), é a região onde ocorrem a arrebentação das ondas e a zona de surf. Segundo Hoefel (1998), a zona de arrebentação é o local onde as ondas incidentes tendem a se instabilizarem até que a velocidade na crista exceda a velocidade de grupo da mesma, ponto a partir do qual quebrará.

Antepraia inferior (*shoreface*) é a porção do perfil dominada por processos de empinamento de ondas (*shoaling*), que se estende em direção à costa a partir da profundidade de fechamento praial (HOEFEL, 1998).

A determinação dos limites externos, em direção ao oceano, e interno, em direção ao continente, são, respectivamente, a profundidade em que as ondas passam a provocar movimentos efetivos no sedimento e pelo limite superior de ação das ondas de tempestade sobre a costa. Para encontrar a profundidade a qual as ondas produziram efeitos no sedimento, Hallermeier propôs, em 1981, a idéia de perfil de fechamento, sendo caracterizado pelo limite externo de mobilização de sedimentos pela ação das ondas incidentes, que excedem 12 horas por ano, ou seja 0.14%. Na equação, Hallermeier (1981) relaciona a profundidade de fechamento com a altura significativa das ondas mais freqüentes.

$$D = 2Hs + 11\sigma \quad (4.1-1)$$

Onde:

D é a profundidade de fechamento;

H_s é a altura significativa das ondas incidentes;

σ é o desvio padrão das ondas;

Devido à baixa quantidade de dados disponíveis, o perfil de fechamento também pode ser calculado pela sobreposição de perfil da antepraia de certa praia. Na sobreposição, é possível observar a profundidade onde os perfis se unem e não variam mais tão fortemente como nas regiões mais rasas.

A análise do perfil como um todo (forma, declividade e sedimentos) fornece o estado morfodinâmico de uma praia, que é função de uma série de fatores interdependentes, que condicionam o equilíbrio morfológico-dinâmico do sistema (WESCHENFELDER; ZOUAIN, 2002).

O comportamento praiar é o resultado da frequência de ocorrência das ondas que atingem o litoral que, por sua vez, determina a declividade da praia e da zona submarina, que irá promover um padrão sedimentar para praias construtivas e erosivas (WRIGHT; SHORT, 1984).

A constatação de que as formas praias estão em equilíbrio hidrosedimentológico levou diversos pesquisadores a elaborarem classificações a partir de uma abordagem morfodinâmica. O estudo da evolução do perfil transversal culminou com a elaboração de inúmeros modelos. Dentre um dos mais aceitos está o publicado por Wright e Short (1984) que, analisando uma série de praias australianas, elaboraram um modelo evolutivo baseado na descrição de seis estados morfodinâmicos, sendo dois extremos (refletivo e dissipativo) e quatro tipos intermediários, formados por elementos de ambos os extremos (Figura 4.1-2).

Em seus estudos, Wright e Short (1984) elaboraram uma equação, baseada no, popularmente chamado, número de Dean (DEAN, 1973, apud BENEDET et al., 2004), a partir da relação entre a altura da onda em águas rasas (H_b), a velocidade de decantação dos sedimentos médios (w) e o período de onda (T), onde se gerou um parâmetro para a zona de arrebatamento (Ω):

$$\Omega = \frac{H_b}{wT} \quad (4.1-2)$$

Com base nos estudos das praias australianas e na equação 4.1-2, Wright e Short (1984), elaboraram também uma escala de classificação para as praias. Praias refletivas têm $\Omega < 1$ e apresentam gradientes topográficos elevados, grande descarga de energia sobre a face da praia e sedimentos de textura relativamente grossa. As praias dissipativas apresentam $\Omega > 6$ e se caracterizam pelo seu estado erosivo, apresentam baixa declividade, ondas que dissipam sua energia por uma longa zona de arrebentação e sedimentos finos. Os estágios intermediários, por envolver tanto processos dissipativos quanto refletivos ($1 < \Omega < 6$), a caracterização morfodinâmica é complexa e dependente de fatores físicos ao longo destas praias (HOEFEL, 1998), sendo classificadas considerando uma seqüência de declínio energético e aumento da granulometria (Figura 4.1-2).

- Barras e Cavas Longitudinais: onde as ondas quebram progressivamente na barra e se reconstituem na cava e avançam até a próxima quebra;
- Bancos Rítmicos e Praia: associado à coexistências de oscilações sub-harmônicas e de infra-gravidade, na presença topográfica de banco-cava;
- Banco Transversal e Praia: são interrompidos pelas correntes de retornos que promovem erosão das reentrâncias, que se alternam com cúspides da face praial;
- Crista Canal Terraço de Maré Baixa: apresenta um perfil relativamente plano na maré baixa, precedido por uma face bastante íngreme na maré alta.

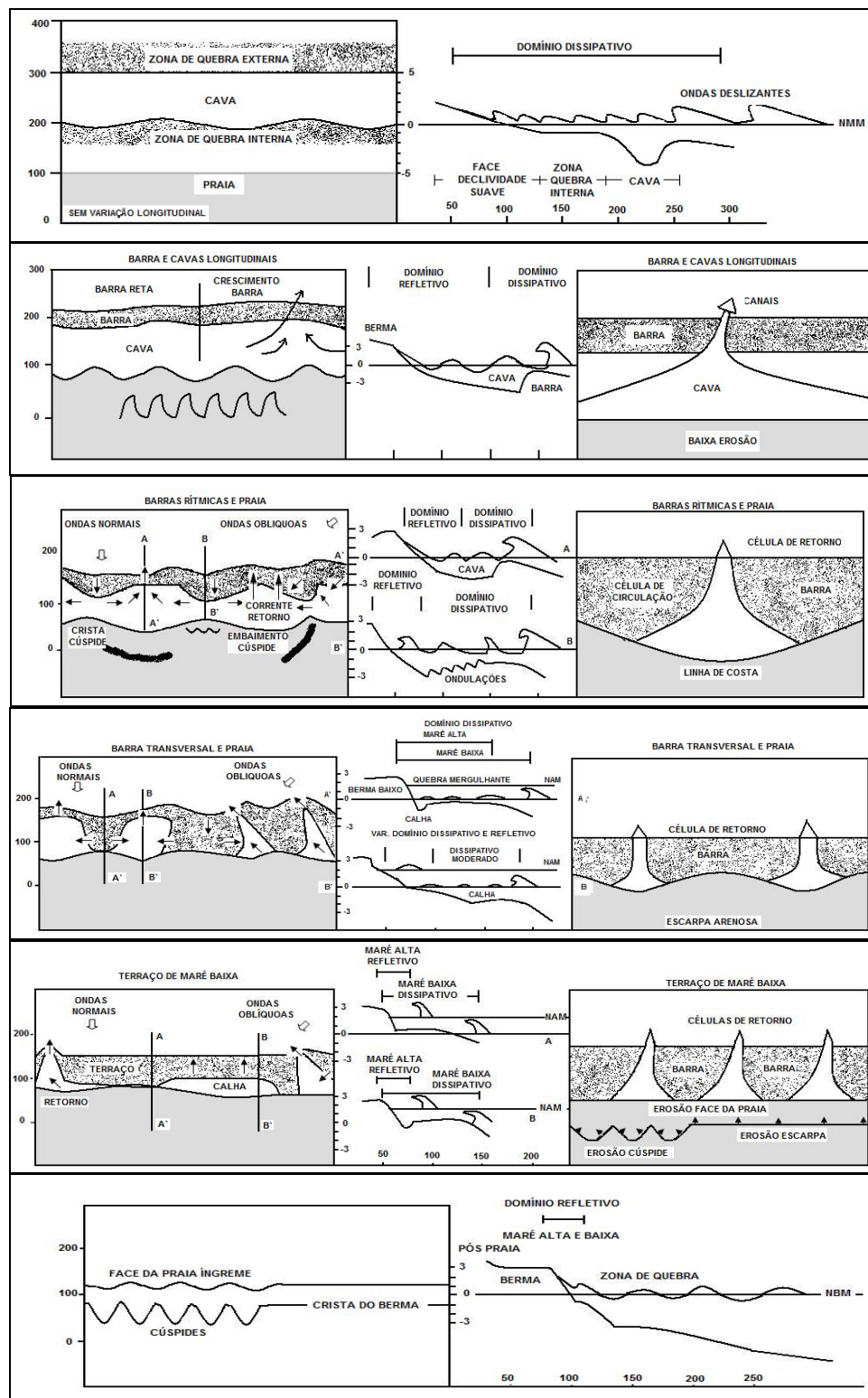


Figura 4.1-2: Modelo evolutivo dos perfis praias baseado na caracterização de seis estágios. Adaptado: Wright e Short, 1984.

4.2 Antepraia

Na região da antepraia ocorrem os fenômenos que condicionam a evolução do perfil submerso e, conseqüentemente, o emerso, nas escalas espaciais e temporais.

4.2.1 Correntes Costeiras e Transporte de Sedimentos

Ao se aproximarem das regiões costeiras, devido aos efeitos da batimetria, as ondas começam a ser refratadas, sendo que a porção da crista que atinge primeiro uma profundidade menor, sofre uma desaceleração em relação à porção que ainda vem se deslocando. Isto tende a promover uma inflexão da crista da onda, caracterizando a refração (CARTER, 1998) (Figura 4.2.1-1).

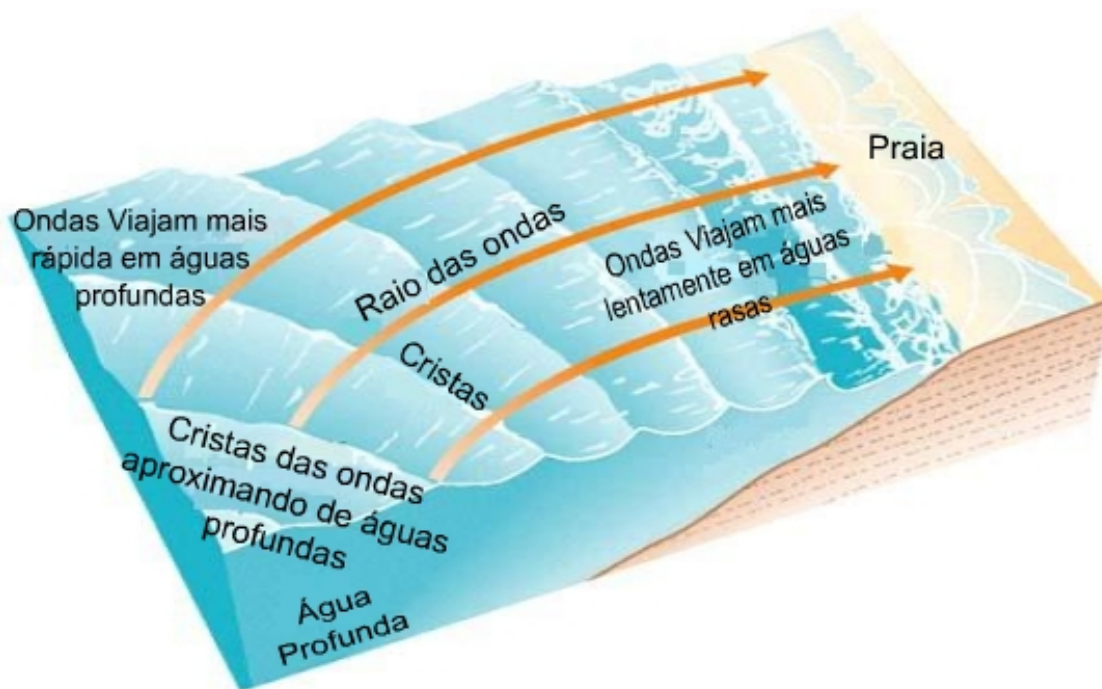


Figura 4.2.1-1: Fenômeno de refração do trem de ondas ao se aproximarem da linha de costa. Fonte: Piccoli, 2005.

A refração é responsável pelo alinhamento da zona de arrebentação de tal modo que ela tende a ser paralela à praia (SUGUIO, 2003). As formas de arrebentação das ondas, também são comandadas por efeitos da batimetria, que segundo Galvin (1968), existem quatro tipos (Figura 4.2.1.-2).

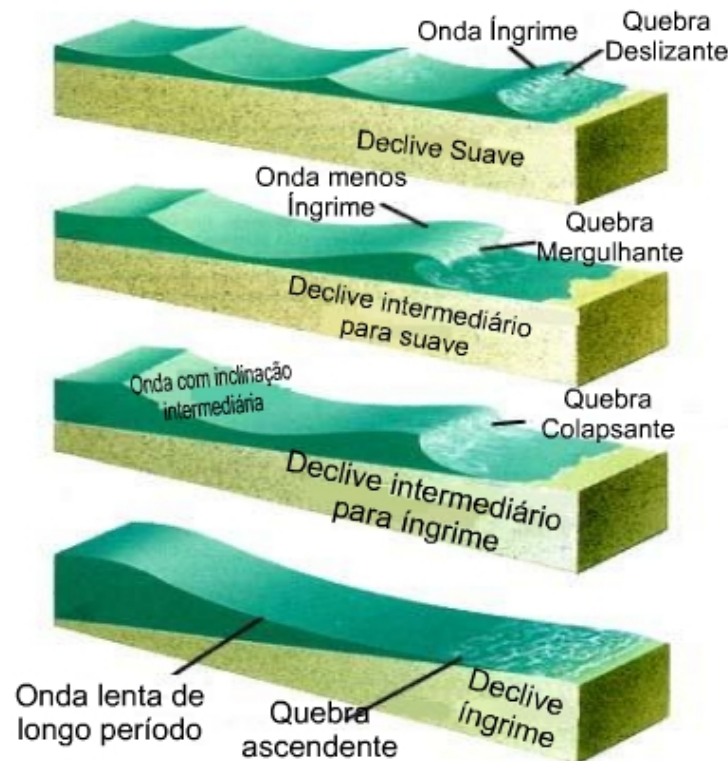
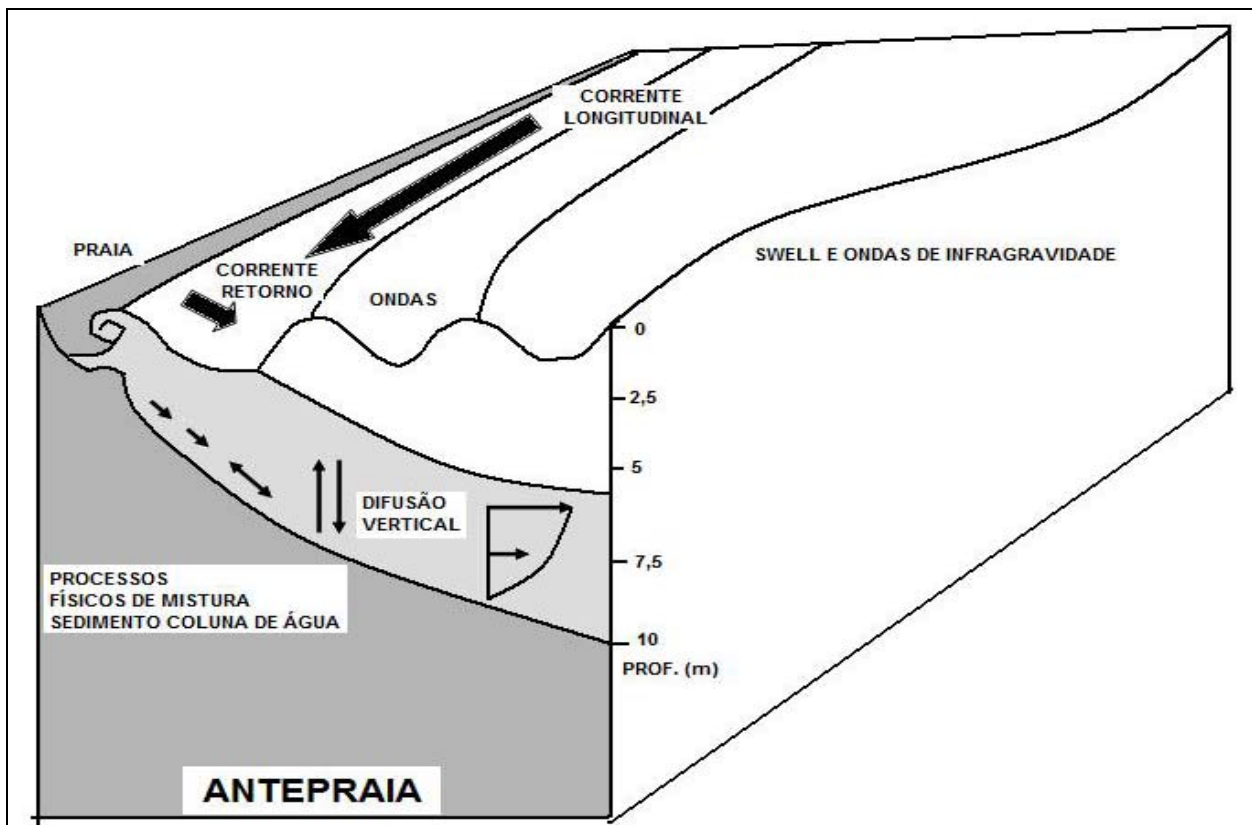


Figura 4.2.1-2: Formato dos quatro tipos de quebra de onda. Fonte: Piccoli, 2005.

- Progressiva ou Deslizante (*spilling breaker*): Ocorre em praias de baixa declividade, nas quais as ondas gradualmente empinam-se para então “deslizar” pelo perfil, dissipando sua energia através de uma larga faixa;
- Mergulhante (*plunging breaker*): Ocorre em praias de declividade moderada a alta. A onda empina-se abruptamente ao se aproximar da costa e quebra violentamente formando um tubo, dissipando sua energia sobre uma pequena faixa do perfil, através de um vórtice de turbulência;
- Frontal (*collapsing*): É o tipo mais difícil de ser identificado. Ocorre também em fundos abruptos e é considerado um tipo intermediário entre o mergulhante e o ascendente;

- **Ascendente (*surging breaker*):** Ocorre em praias de declividade muito alta, onde a onda não chega a quebrar propriamente, ascendendo sobre a face praial e interagindo com o refluxo das ondas anteriores.

A quebra das ondas na região costeira dissipa grandes quantidades de energia, que promove a desestabilização do sedimento e formação de correntes. Essas correntes são as responsáveis pelo transporte de grandes volumes de sedimento de um local para o outro, representando importantes agentes na modelagem do perfil de uma praia. As correntes na linha de costa formam células de circulação, com componentes paralelos e perpendiculares às praias, induzidas pelo vento e pelas ondas (Figura 4.2.1-3).



4.2.1-3: Sistema de correntes na antepraia. Adaptado: Wright, 1995.

4.2.1.1 Correntes Longitudinais

As correntes paralelas ou longitudinais (*longshore currents*) se desenvolvem devido à incidência oblíqua, na linha de costa, dos trens de ondas (Figura 4.2.1.1-1). O transporte longitudinal de sedimentos vem sendo estudado por cerca de cinco décadas e mesmo assim ainda existe uma considerável incerteza quanto aos aspectos desta componente do transporte, incluindo os efeitos do diâmetro dos grãos, topografia das barras e das calhas (CEM, 2002). Nessa modalidade de transporte não são observadas perdas de sedimento no sistema praial, mas sim um redirecionamento dos mesmos, devido à ação da corrente.

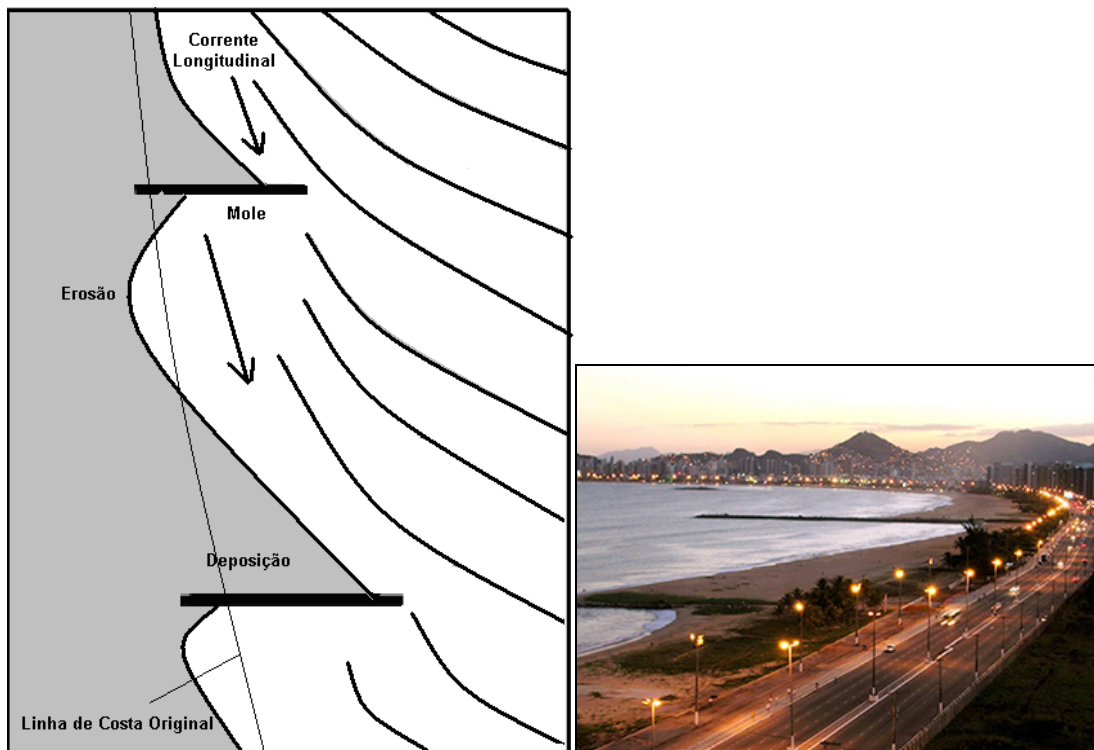


Figura 4.2.1.1-1: Linha de costa sobre influência da corrente longitudinal. Adaptado: Carter, 1998 e Albuquerque, 2004.

Segundo Muehe (1994), ângulos superiores a 5 graus são suficientes para produzir correntes com velocidades extremamente eficientes no transporte de sedimento. Após a arrebentação das ondas, os sedimentos mobilizados são transportados paralelamente à linha da costa, produzindo a deriva litorânea, que se desenvolve melhor ao longo de costas retilíneas (NIELSEN, 1992). Cada trecho

da costa, com um determinado sentido da deriva litorânea, dá origem à célula de circulação costeira, que é composta por três partes (Figura 4.2.1.1-1):

- Zona de Erosão: Local altamente sensível do ambiente costeiro devido à alta taxa de recuo da linha de costa. Área de origem da corrente, caracterizada por apresentar ondas de alta energia e onde ocorre maior recuo da linha de costa;
- Zona de Transporte: Região costeira que não apresenta nem recuo e nem avanço da linha de costa. Caracterizada pela passagem de sedimentos carreados pela corrente;
- Zona de Deposição: Área onde ocorre a deposição dos sedimentos devido a uma diminuição da velocidade da corrente ou devido ao encontro com algum obstáculo natural ou não. Nesse setor, ocorrem grandes avanços na linha de costa devido aos volumes de sedimentos depositados;

As mesmas ondas que chegam oblíquas à linha de costa e produzem a corrente longitudinal, também promovem um transporte de sedimento na face da praia, em função do fluxo e refluxo do espraçamento. À medida que a onda flui sobre a face da praia, transporta sedimento pelo espraçamento oblíquo; quando ocorre o refluxo, no entanto, o sedimento move-se na direção de mergulho da face praial (Figura 4.2.1.1-2). Como resultado da ação sucessiva desse processo, os sedimentos são movidos paralelamente sobre a face da praia na forma de zig-zag.

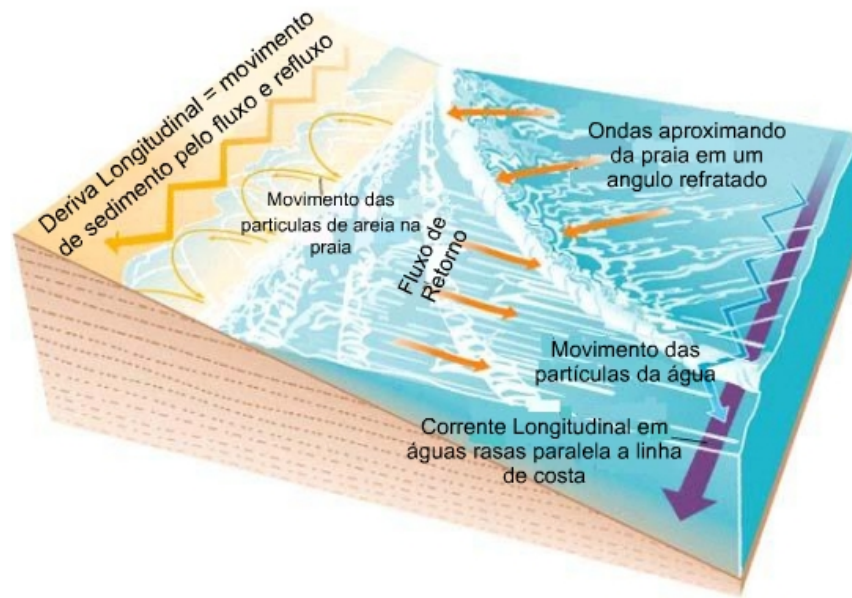


Figura 4.2.1.1-2: Obliquidade das ondas gerando transporte de sedimento sobre a face da praia. Fonte: Piccoli, 2005.

Outra forma de transporte de sedimento nas praias dissipativas é o transporte ocasionado pelo vento quando ocorre a exposição dos sedimentos por ocasião do período de maré baixa. Nesse período, largas faixas de areia ficam expostas, susceptíveis ao transporte eólico, que transferem quantidades significativas de material para a zona mais continental, formando dunas frontais que servirão de reserva para as praias em momentos de maior energia.

4.2.1.2 Correntes Transversais

As correntes transversais (*Cross-Shore Currents*) ou mais conhecidas como correntes de retorno (*rip currents*) são responsáveis pelo grande transporte de sedimento para a região da plataforma (Figura 4.2.1.2-1). O enfoque sobre o transporte transversal é relativamente recente, tendo sido iniciado há cerca de uma década atrás e as incertezas na capacidade de previsão (incluindo os efeitos de todas as variáveis) podem ser consideravelmente altas (CEM, 2002). O

transporte perpendicular à praia promove o transporte de sedimentos emersos para a porção submersa do perfil e vice-versa, além de promover perdas reais de sedimentos em eventos extremos de tempestade, uma vez que os sedimentos podem ser depositados na plataforma continental interna e não retornarem ao sistema praial.

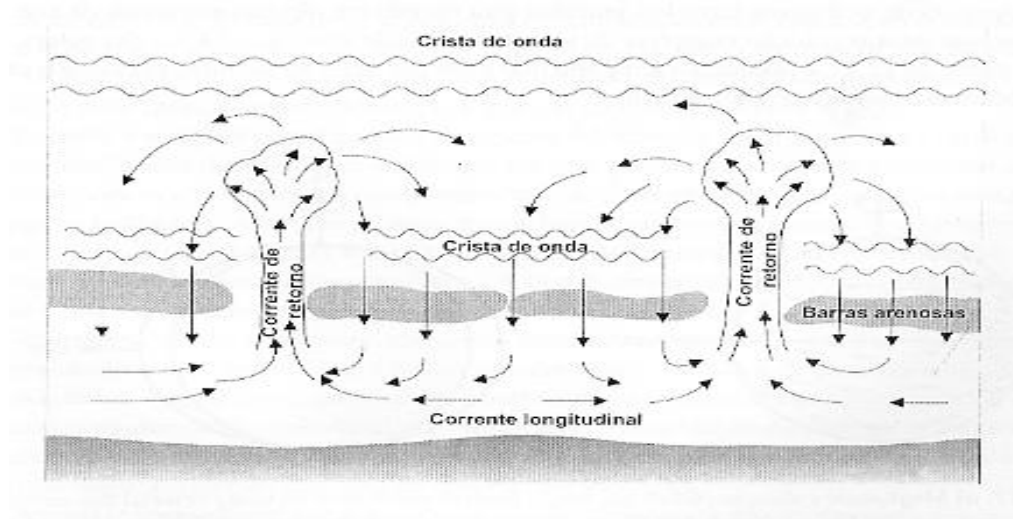


Figura 4.2.1.2-1: Caracterização de uma célula de circulação litorânea com correntes longitudinais e transversais a linha de costa. Fonte: Silva et al., 2004.

Essas correntes são descritas como um fenômeno de sub-superfície, formando um fluxo estreito que se move rapidamente e transversalmente à praia (Davis, 1985), sendo formadas pelo acúmulo de água sobre a face da praia ocasionada pelas ondas e pela gravidade em locais de encontro das células de circulação. As ondas, quando chegam à costa, empilham a água sobre a face da praia, formando um gradiente de elevação na superfície fazendo com que a gravidade atue forçando a água a retornar. Porém, ao retornar, encontra resistência de outras ondas que estão chegando. Então, a água procura um caminho de menor resistência, que poderá ser próximo a um mole, a uma pedra ou no meio da praia, onde há uma depressão na areia. Nesse caso, a água retornará apenas por um caminho, o canal de retorno, que é um canal escavado pelo fluxo dessa corrente de retorno, rumo ao mar aberto (HOEFEL, 1998). As velocidades de retorno dessas correntes chegam a atingir até 8 km/h, sendo responsáveis pelo transporte de grandes volumes de sedimento fino para a plataforma continental (BIRD, 1996).

Apesar da ênfase recente, o transporte transversal é estudado há muito tempo. Um exemplo disso é o trabalho de Brunn em 1962, que avaliou a adaptação do perfil a uma elevação do nível do mar (Figura 4.2.1.2-2).

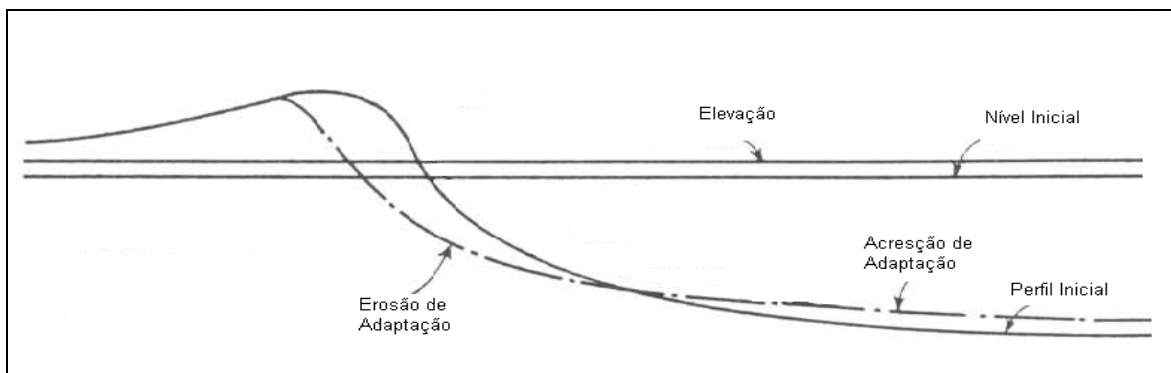


Figura 4.2.1.2-2: Adaptação do perfil praiado a mudanças no nível do mar. Fonte: Brunn, 1962.

Em escala de tempo curto, as mudanças ocorrem pela adaptação dos perfis às condições meteorológicas, oceanográficas e estruturais impostas pelo ambiente. A variação do perfil ocorre com a passagem de uma frente fria quando ondas de maior esbeltez, induzidas por fortes ventos, retiram sedimento fazendo recuar a faixa de areia da praia emersa, depositando-os na antepraia intermediária e inferior na forma de bancos, resultando em um perfil de concavidade voltada para cima. A intensificação ou permanência da condição meteorológica ocasiona o distanciamento do sistema de bancos para mais longe da costa, muitas vezes não permitindo que as ondas de tempo bom retornem com o sedimento para a costa, caracterizando a perda dos sedimentos.

Após a passagem da frente fria, a ação de ondas de menor esbeltez conduz o sistema de bancos em direção à costa, fazendo com que o material erodido retorne à praia. Com a modificação do perfil, em ocasiões de intensificação energética, é possível avaliar o comportamento do mesmo ao longo do tempo. Perfis construtivos apresentam sedimentos grossos; esses sedimentos, devido ao arcabouço intersticial, permitem a alta infiltração de água formando fluxo de retorno da onda superficial e abaixo do sedimento. Quando ocorre intensificação do regime de ondas esses sedimentos são retirados da face da praia,

ocasionando a diminuição da declividade, e são depositados na forma de banco na zona submersa adjacente.

Esses bancos promovem a diminuição da profundidade e deslocamento da zona de arrebentação para mais longe da linha de costa, ocasionando mudanças no tipo de arrebentação das ondas que chegam à face selecionando sedimento mais finos, acarretando a diminuição dos tamanhos dos sedimentos na face praial. Essa diminuição dá condições para ocorrer o transporte dos mesmos pelos ventos, sendo depositados no continente em locais onde os ventos encontram algum obstáculo e perdem competência depositando os sedimentos na forma de dunas frontais.

Essa perda de sedimento não é muito problemática em locais sem a interferência antrópicas, pois as dunas servem de depósito sedimentar para as praias. Porém, em locais com ocupação, esse sedimento depositado é retirado e a praia não terá mais como contar com esse suprimento sedimentar. O processo erosivo caracterizado acima pode ser reversivo, uma vez que, a energia do ambiente diminua, os sedimentos mais grossos retirados da praia inicial e colocados na região submersa são novamente trazidos próximo à costa e incorporados ao perfil emerso, fazendo com que o mesmo adquira a forma passada com alta declividade, modificando também a porção submersa que se tornará mais profunda e retornando o tipo de quebra da onda. Como idéia principal, entende-se que o perfil praial é modelado por efeitos hidrosedimentológicos, e procura encontrar um novo equilíbrio quando esses efeitos mudam ao longo do tempo.

A Figura 4.2.1.2-3 mostra as variações sobre o perfil praial ocasionadas pelo transporte transversal em diferentes situações.

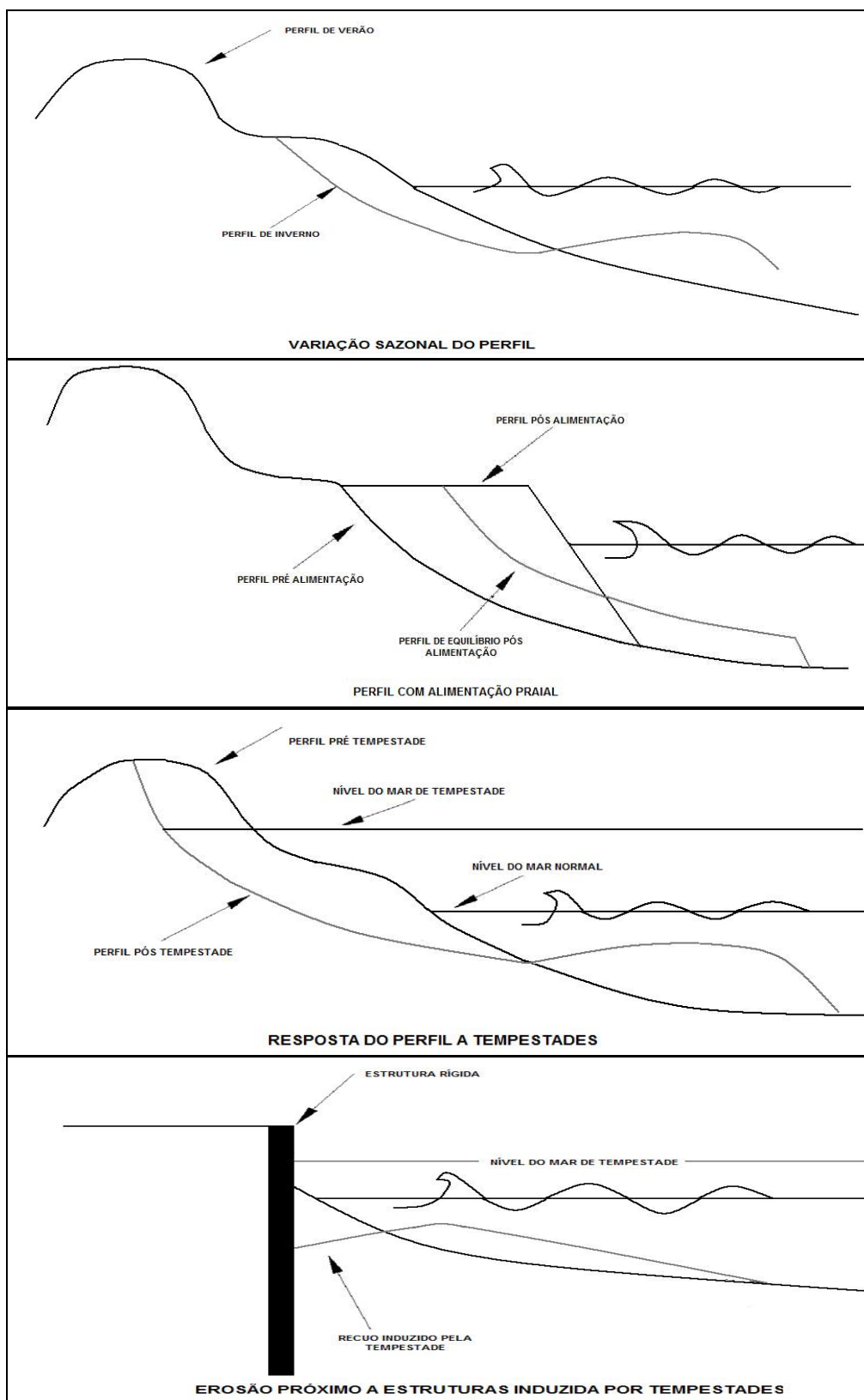


Figura 4.2.1.2-3: Variações sobre o perfil praiial devido ao transporte transversal. Fonte: CEM, 2002.

4.3 Perfil de Equilíbrio Praia

Diversos modelos foram propostos para representar o perfil de equilíbrio praia (PEP). Alguns desses modelos são baseados em análise das características geométricas de perfis na natureza e alguma tentativa para representar, em uma forma bruta, as forças ativas na formação do perfil.

Uma abordagem que tem sido utilizada é a de reconhecer a presença das forças construtivas e de diferentes forças destrutivas.

O conceito de perfil de equilíbrio, na sua essência, indica a forma estável de um perfil quando submetido a um determinado regime de onda e uma determinada granulometria de sedimento, sendo definido como a forma final que o perfil assume sob determinadas condições hidrodinâmicas e sedimentológicas. O início dos estudos desse conceito foi em 1902 quando Fenneman (apud DEAN, 1977), apresentou uma análise qualitativa de vários mecanismos envolvidos na modelagem da forma dos sedimentos instáveis ao longo do perfil de praia e concluiu que o principal agente modelador do perfil são as ondas, que transportam material depositando-os na costa ou na plataforma formando terraços.

Keulegan e Krumbein em 1919 (apud DEAN, 1977) investigaram a característica de um fundo com declividade suave e que as ondas nunca quebram, mas dissipam energia continuamente pela fricção com o fundo.

Segundo Dean (1977) suas considerações físicas para o modelo de perfil de equilíbrio são baseadas em forças destrutivas e construtivas presentes na zona de surfe que tende a transportar sedimentos em direção à costa e em direção à plataforma. Em seus estudos, Dean (1977) apresenta a revisão de três mecanismos que conduzem ao perfil de equilíbrio praia.

- Cisalhamento, usando o conceito de tensão de radiação desenvolvido por Longuet-Higgins em 1970;
- Turbulência Área, considerando a dissipação de energia das ondas por unidade de área como uniforme;

- Turbulência Volume, considerando a dissipação da energia das ondas por unidade de volume como sendo uniforme;

Esses mecanismos levaram Dean (1977) ao desenvolvimento de 3 modelos de perfil de equilíbrio para o cálculo do valor do parâmetro de forma (m):

I Modelo de Perfil de Praia devido a Tensão de Cisalhamento Uniforme Longitudinalmente à Costa

A chegada de ondas obliquamente a costa gera um fluxo de momento que é representado com um tensor proporcional ao quadrado da altura de onda. O fluxo em direção à costa da componente longitudinal do momento (S_{xy}) resulta na transferência de momento longitudinal para a coluna de água e distribui cisalhamento longitudinal no fundo, assim, a componente longitudinal do cisalhamento de fundo τ é o valor transferido devido à quebra local de onda.

$$\tau_{(x)} = -\frac{\partial S_{x'y}}{\partial x_{x'}} \quad (4.3-1)$$

Onde x e x' são coordenadas horizontais direcionadas para a plataforma e para a costa, respectivamente, indicando que $S_{x'y}$ é o fluxo da componente y do momento em direção à costa em águas rasas.

$$S_{x'y} = \gamma \frac{H^2}{8} \sin \sigma \cos \sigma \quad (4.3-2)$$

Considerando ondas do tipo deslizante, em um fundo idealizado com contornos retos e paralelos e a Lei de Snell para refração aplica-se

$$H = \kappa h \quad (4.3-3)$$

$$C = \sqrt{gh} \quad (4.3-4)$$

$$\frac{\sin \sigma}{C} = \text{const} \quad (4.3-5)$$

Onde κ pode ser representado como uma constante de valor aproximadamente 0.8. Trazendo a diferenciação apresentada na equação 4.3-1, aproximando-se $\cos \sigma$ à unidade e substituindo $-dx'$ por dx , a componente longitudinal do cisalhamento de fundo é:

$$\tau = \frac{5}{16} \gamma \kappa^2 \sqrt{g} \frac{\sin \sigma}{C} h^{3/2} \frac{dh}{dx} \quad (4.3-6)$$

Se o cisalhamento longitudinal pode ser sustentado por uma partícula de sedimento de diâmetro D é $\tau(D)$, então a integração da equação 4.3-1 é:

$$h = A_1 x^{0.4} \quad (4.3-7)$$

Em que A_1 é

$$A_1 = \left(\frac{8\tau(D)}{\gamma \kappa^2 \sqrt{g}} \frac{c}{\sin \sigma} \right)^{0.4} \quad (4.3-8)$$

II Modelo de Perfil de Praia com Dissipação Uniforme de Energia por Unidade de Área

Esse modelo considera a dissipação uniforme de energia ao longo da zona de surfe, sendo o fluxo de energia expresso:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial (EC_G)}{\partial x'} = -D_2(D) \quad (4.3-9)$$

Onde C_G é a velocidade de grupo e D_2 é a taxa de energia dissipada por unidade de área. Na equação 4.3-9 é considerado que a areia de um certo tamanho D pode ter certa taxa de dissipação de energia por unidade de área na coluna de

água. O parâmetro D_2 , então, torna-se uma característica do tamanho da partícula, D , $D_2(D)$. Considerando as condições constantes, quando medida sobre um período de onda, e utilizando a mesma relação de ondas de pequena amplitude em águas rasas, como no modelo I, sendo que:

$$\frac{\partial(EC_G)}{\partial x} = \frac{\gamma}{8} \sqrt{g} \kappa^2 \frac{\partial}{\partial x} h^{5/2} = D_2(D) \quad (4.3-10)$$

Ou

$$h = A_2 x^{0.4} \quad (4.3-11)$$

Em que

$$A_2 = \left[\frac{8D_2(D)}{\gamma \sqrt{g} \kappa^2} \right]^{0.4} \quad (4.3-12)$$

III Modelo de Perfil de Praia com Dissipação Uniforme de Energia por Unidade de Volume

Bem similar ao modelo II, exceto que a consideração é feita por uma partícula com certa característica de estabilidade, podem trazer certa taxa de dissipação de energia da onda por unidade de volume $D_3(D)$ e sem modelar o fundo para uma declividade mais estável. Essas considerações geram:

$$\frac{\partial(EC_G)}{\partial x} = \frac{\gamma}{8} \sqrt{g} \kappa^2 \frac{\partial}{\partial x} (h^{5/2}) = h D_3(D) \quad (4.3-13)$$

$$h = A_3 x^{2/3} \quad (4.3-14)$$

$$A_3 = \left[\frac{24}{5} \frac{D_3(D)}{\gamma \sqrt{g} \kappa^2} \right]^{2/3} \quad (4.3-15)$$

Dean (1977) concluiu que a taxa de dissipação de energia uniforme por unidade de volume d'água é o mecanismo que melhor explica a forma do perfil de equilíbrio, quando se inclui a zona de arrebentação.

Essa três análises geram uma equação geral para descrever a forma do perfil de equilíbrio praial.

$$h = Ax^m \quad (5.5.1-16)$$

Onde o parâmetro A está relacionado à forma do perfil e o expoente m com o tipo de força destrutiva

O modelo de perfil de equilíbrio permite avaliar processos de acréscimo ou déficit de sedimento bem como a declividade ao longo do perfil (Figura 4.3-1).

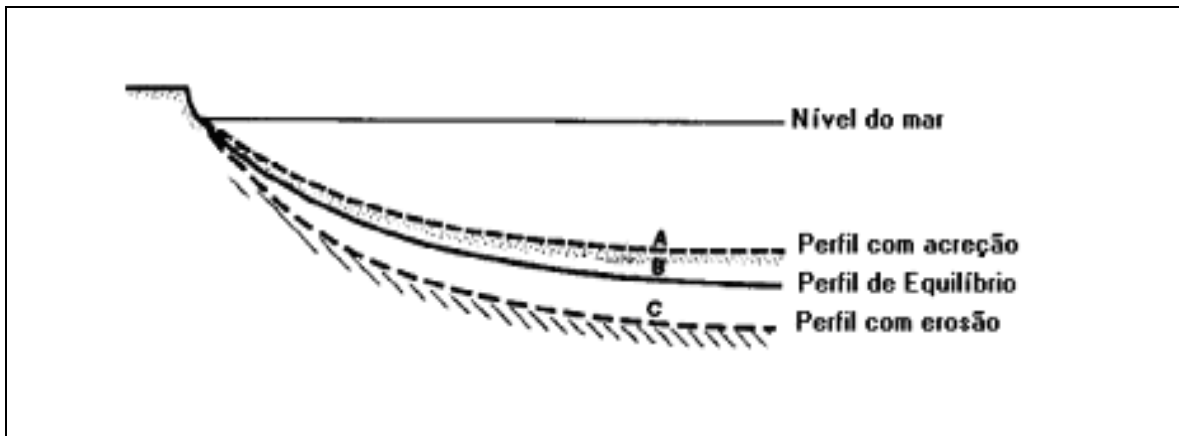


Figura 4.3-1: Representação do perfil submerso proposto por Dean (1977). Adaptado: Dean et al., 1993.

Dean e outros (1993) demonstram uma série de possíveis interpretações entre os perfis reais e os calculados através do modelo (Figura 4.3-2).

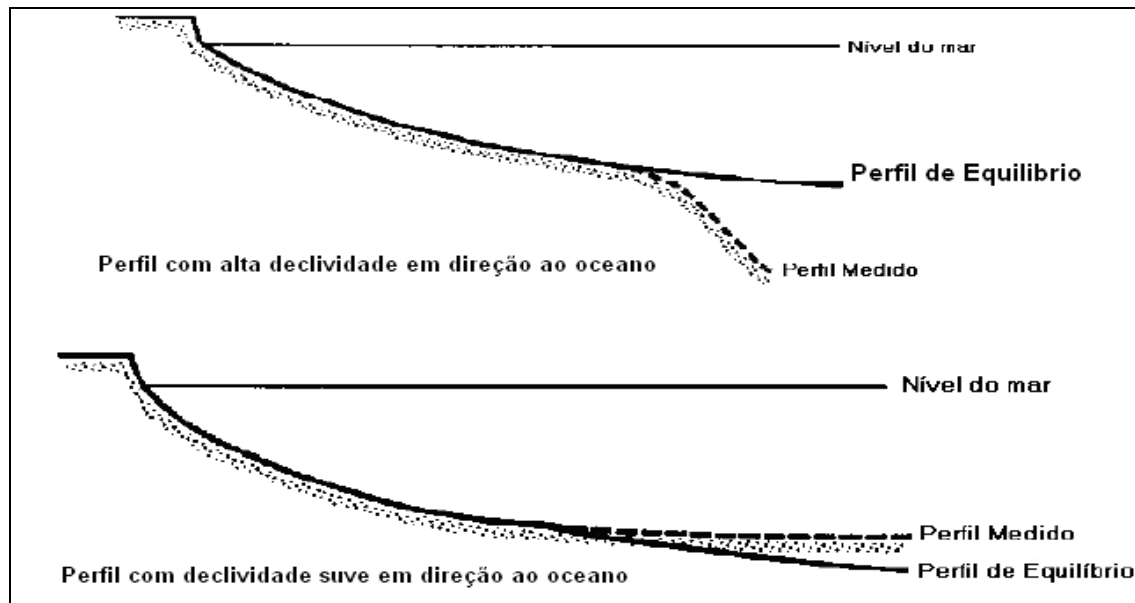


Figura 4.3-2: Formas e interpretações dos perfis característicos fora do equilíbrio.

Adaptado: Dean et al., 1993.

O perfil 1 apresenta elevada declividade em direção ao oceano, sendo difícil sua interpretação. Uma possibilidade considera a transição da região ativa para uma inativa correspondendo à profundidade de equilíbrio. A outra é que o sedimento que forma essa porção é derivado da porção costeira.

No perfil 2, a declividade é suave em direção ao oceano e supõe-se que, se a declividade for gradual, está ocorrendo um processo de construção do perfil pelo sedimento trazido pelo transporte transversal. Se essa declividade for abrupta, representará um perfil em construção pelo transporte de sedimento de fontes oceânicas. Essa interpretação requer que o sedimento da porção construída tenha maior diâmetro que o restante do sedimento do perfil.

Se o perfil medido e o calculado apresentarem a mesma forma, o perfil está em equilíbrio local, ou seja, as profundidades correspondentes não precisam estar necessariamente à mesma distância da costa (Figura 4.3-3).

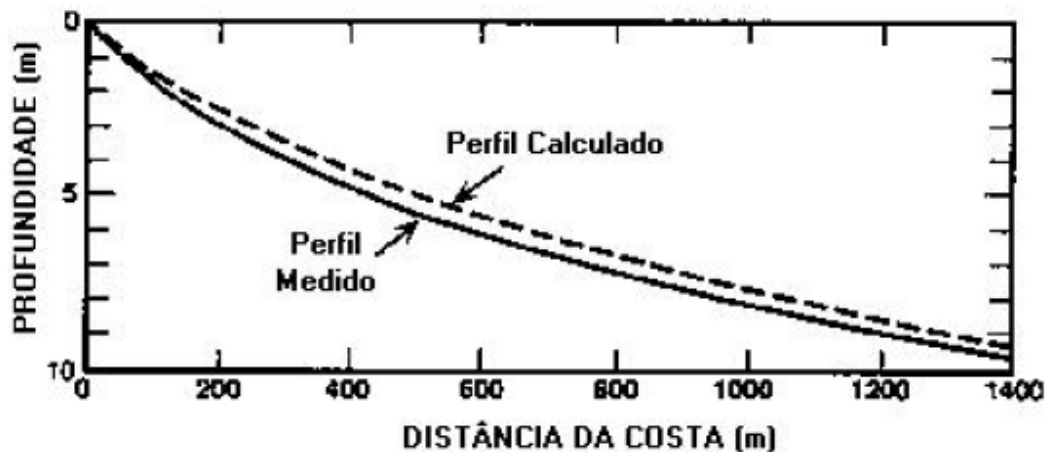


Figura 4.3-3: Equilíbrio do sistema, mesmo os perfis apresentando diferenças de altura.

Adaptado: Dean et al., 1993.

Uma das grandes limitações do modelo de perfil de equilíbrio é a incapacidade de refletir morfologia de segunda ordem, como barras e degraus, além de serem indicados para locais onde a corrente longitudinal pode ser negligenciada. Esse grau de detalhamento só é conseguido com a utilização de funções ortogonais empíricas (CEM, 2002).

4.3.1 Evolução do Conceito de Perfil de Equilíbrio Praial

A análise da evolução do conceito de perfil de equilíbrio foi feita por meio de revisão bibliográfica e de testes dos diferentes modelos descritos a seguir:

4.3.1.1 Modelo Dean 1977

Dean (1977), aprimorando os estudos de Brunn (1954), apresentou uma equação empírica relacionando uma profundidade (h), uma distância (x) a partir da linha de costa e um parâmetro de forma (A).

$$h = Ax^{2/3} \quad (4.3.1.1-1)$$

Dean (1977) e Brunn (1954) consideram dois mecanismos que conduzem o perfil ao equilíbrio e que os levaram à elaboração da equação 4.3.1.1-1. Primeiramente, eles consideram a componente de cisalhamento em direção à costa como sendo uniforme e a componente do gradiente de transporte de energia das ondas em direção à costa como sendo constante. O segundo mecanismo é baseado na consideração de que perda de energia da onda é somente pela fricção com o fundo e que a perda é constante por unidade de área.

Na análise de 504 perfis da costa americana, Dean (1977) observou que perfis de praias refletivas apresentam o valor de 2/3 para o expoente m.

O parâmetro de forma foi determinado com base na velocidade de decantação das partículas dos sedimentos. Moore (1982) aplicou o método de mínimos quadrados em perfis de praias de diferentes granulometrias e desenvolveu um gráfico que relaciona o parâmetro A versus o diâmetro de grão e a velocidade de sedimentação das partículas (Figura 4.3.1.1-1). Esta correlação foi baseada na observação de que na zona de arrebatamento, o decaimento da altura de onda não é linear (FACHIN, 1998).

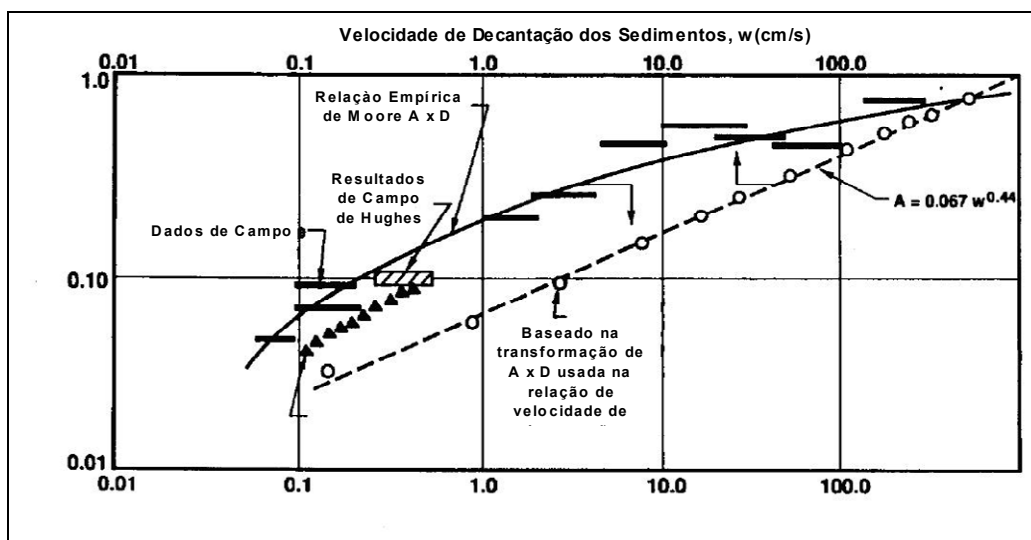


Figura 4.3.1.1-1: Parâmetro de forma A . Fonte: Dean et al., 1993.

A equação que representa a figura acima é:

$$A = 0,0067 w^{0,44} \quad (4.3.1.1-2)$$

Efetivamente, o uso do perfil de equilíbrio começou em 1977 em estudos realizados por Robert G. Dean. A partir desse período inúmeros estudos foram realizados para confirmar e agregar parâmetros ao conceito apresentado por Brunn em 1954.

4.3.1.2 Modelo Dean et al. 1993

Com base nos estudos de perfil de equilíbrio, Dean e outros (1993) apresentaram a metodologia para o cálculo de perfil de equilíbrio para praias que apresentam distribuição não uniforme dos sedimentos ao longo do perfil transversal e os efeitos da gravidade, de forma a demonstrar mais claramente setores do perfil com déficit ou excesso de sedimento.

Para se chegar à formulação final do parâmetro de forma do perfil, Dean e outros (1993) mostraram que a altura de onda H , incidente na zona de surfe, é considerada proporcional à profundidade da água, h , isto é:

$$H = \kappa h \quad (4.3.1.2-1)$$

Em que κ é um complexo sistema de processos que varia em relação à declividade da praia, sendo em praias naturais tomado com o valor de 0.8 (McCowan, 1891), não sendo crítico para essa metodologia, uma vez que a dissipação de energia por unidade de volume é considerada uniforme.

A equação principal (4.3.1.1-1) não fornece a inclinação da praia, desconsiderando os efeitos da gravidade. Porém, Larson (1988) e Larson e Kraus (1989) elaboraram um modelo que considera os efeitos da gravidade que

apresenta a inclinação do perfil de forma mais realística e geraram a equação abaixo do perfil de equilíbrio:

$$y = \frac{h}{BSL} + \frac{h^{2/3}}{A^{2/3}} \quad (4.3.1.2-2)$$

Onde h é a profundidade, BSL é a inclinação da face da praia e A é o parâmetro de forma.

Para a geração de uma nova equação incluindo o fator da gravidade, Dean e outros (1993) usaram o primeiro termo da equação acima como o termo da gravidade e que domina nas regiões do perfil que apresentam inclinações mais elevadas.

A equação geral (4.3.1.1-1) fornece uma base para modelar regiões sem variação granulométrica dos sedimentos ao longo do perfil e é o resultado da integração da seguinte equação diferencial:

$$h^{1/2} \frac{dh}{dy} = \frac{2}{3} A^{3/2} \quad (4.3.1.2-3)$$

Assim, essa equação fornece a possibilidade de modelar a forma do perfil de equilíbrio em uma região com variação textural dos sedimentos e inserindo o termo da gravidade temos

$$\frac{dh}{dy} = \left(\frac{1}{BSL} + \right) \frac{3}{2} \frac{h^{1/2}}{A^{3/2}} \quad (4.3.1.2-4)$$

Existem várias aproximações que podem modelar o perfil de equilíbrio para uma distribuição sedimentar não-linear sobre o perfil. Na mais simples delas, A pode ser representado como uniforme e entre y_n e y_{n+1} , pode ser mostrado que h é calculado a partir de

$$y = y_n \frac{h - h_n}{BSL} + \frac{h_n^{3/2}}{A_n^{3/2}} \quad (4.3.1.2-5)$$

Aplicando $y_n < y < y_{n+1}$

Na equação acima, foi considerada a variação linear dos sedimentos em dois pontos adjacentes no perfil, com isso o perfil de equilíbrio foi obtido pela integração numérica como se segue.

$$h(y_{i+1}) = h(y_i) + \left(\frac{1}{BSL} + \frac{3}{2} \frac{h_i^{1/2}}{A^{3/2}} \right)^{-1} (y_{i+1} - y_i) \quad (4.3.1.2-6)$$

Em que:

$$\bar{A} = A_n + \left(\frac{A_{n+1} - A_n}{y_{n+1} - y_n} \right) \left(\frac{y_{i+1} + y_i}{2} - y_n \right) \quad (4.3.1.2-7)$$

4.3.1.3 Modelo Bernabeu et al. 2003

O estabelecimento de um perfil de equilíbrio dividido em duas seções (Figura 4.3.1.3-1), no qual a zona de surfe pode ser diferenciada da zona de águas rasas é a principal diferença deste modelo para o proposto por Dean (1977).

Essa separação é conceitualmente justificada devido à intensa turbulência existente na zona de surfe, o que promove significantes transportes de carga de fundo como em suspensão, enquanto espera-se que o transporte de fundo seja dominante em águas mais profundas e menos turbulentas (LARSON et al., 1999).

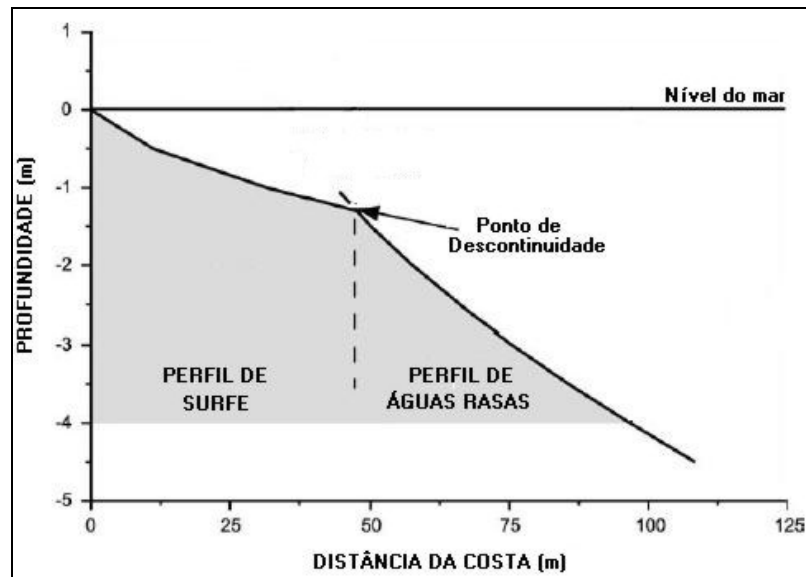


Figura 4.3.1.3-1: Modelo esquemático do perfil de equilíbrio em duas seções. Fonte: Bernabeu et al., 2003.

A equação postulada por Bernabeu e outros (2003) para representar o perfil na região de surfe é:

$$x = \left(\frac{h}{A} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{B}{A^{\frac{3}{2}}} h^3 \quad (4.3.1.3-1)$$

onde x é a distância horizontal do perfil, h é a profundidade, A e B são coeficientes de ajuste.

Já para a representação do perfil na zona de empinamento das ondas, Bernabeu e outros (2003) postularam o seguinte:

$$X = \left(\frac{h}{C} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{D}{C^{\frac{3}{2}}} h^3 \quad (4.3.1.3-2)$$

onde C e D são coeficientes de ajuste.

Os coeficientes de ajustes citados nas equações 4.3.1.3-1 e 4.3.1.3-2 são obtidos através das seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 A &= 0,13 - 0,01\Omega \\
 B &= 0,005 + 0,26 \exp^{(-0,75\Omega)} \\
 C &= 0,11 + 0,025\Omega \\
 D &= 0,006 + 0,1 \exp^{(-0,73\Omega)}
 \end{aligned}
 \quad (4.3.1.3-3)$$

onde Ω corresponde à velocidade de decantação na zona entre marés. Esta, por sua vez, pode ser definida pela seguinte equação:

$$\Omega = \frac{H}{wT} \quad (4.3.1.3-4)$$

onde H é a altura de onda, w é a velocidade de decantação do sedimento e T é o período da onda. Pode-se também obter o valor da velocidade de decantação através da Figura 4.3.1.3-2.

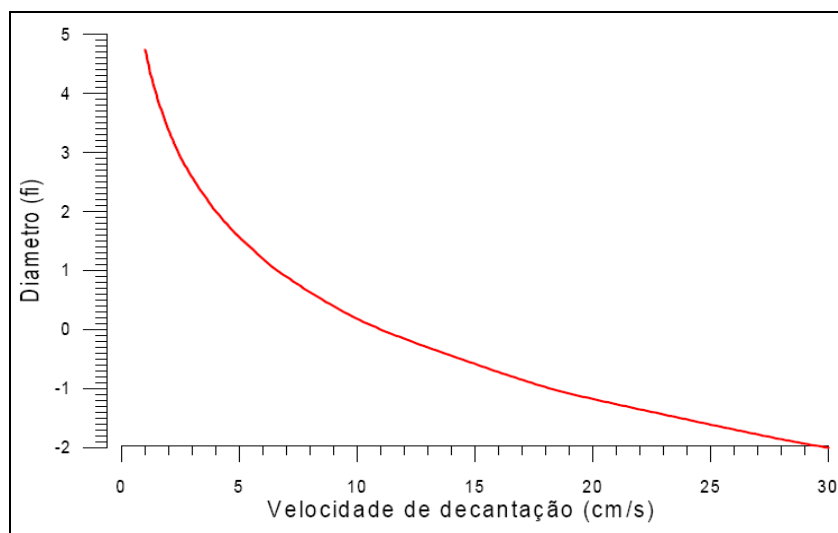


Figura 4.3.1.3-2: Velocidade de decantação (cm/s) em função do diâmetro médio (phi).

Fonte: Gráfico elaborado por Muehe (2004).

4.3.1.4 Modelo Türker e Kabdasli 2006

Até o momento, todos os estudos realizados para definir as formas do perfil de equilíbrio apenas consideravam o parâmetro de características dos sedimentos em suas definições. O objetivo de Türker e Kabdasli (2006) foi adicionar o efeito do período e altura das ondas também na definição do parâmetro de forma. Isto ocorreu por meio da integração de energia das ondas com a taxa de dissipação por unidade de volume na zona do surfe.

Türker e Kabdasli (2006) iniciaram suas análises com base no fluxo de energia de ondas por unidade de comprimento de crista de onda, que é o produto entre a energia das ondas (E) e a velocidade de grupo (C_g).

$$P = EC_g \quad (4.3.1.4-1)$$

A energia de ondas consiste em duas partes, potencial e cinética, e a velocidade de grupo em águas rasas depende somente da profundidade e da aceleração da gravidade, logo, a equação 4.3.1.4-1 torna-se:

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 (gh)^{1/2} \quad (4.3.1.4-2)$$

Onde H é altura da onda e h é a profundidade. Considerando o ponto de quebra das ondas estacionário, o fluxo de energia pode ser considerado

$$P_{Ondas} = EC_g = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 (gh_b)^{1/2} \quad (4.3.1.4-3)$$

A integração da dissipação da energia das ondas por unidade de volume na zona de surfe leva a uma taxa de dissipação da energia de onda.

$$Deq = \frac{1}{8} \rho g^{3/2} \left[H_b^2 h_b^{-1/2} + \frac{5}{3} \Gamma^2 h_b^{3/2} \right] \frac{1}{X_L} \quad (4.3.1.4-4)$$

Onde Γ é a constante de decaimento da onda e o valor que melhor representa é 0,4 (DALLIS et al., 1984). X_L é a distância média de deslocamento de uma partícula de sedimento, definido em termos da onda e característica dos sedimentos (TURKER; KABDASLI, 2004) e é apresentada na Tabela 4.3.1.4-1.

Tabela 4.3.1.4-1: Dados dos experimentos para o cálculo do deslocamento das partículas de sedimento.

Experimento	Altura de Onda	Período de Onda	Tamanho do Sedimento (D_{50})	Deslocamento dos Sedimentos (X_L)
I	1,20 – 1,56 m	12,8 – 18,5 s	0,38 mm	0,82 – 1,19 m
II	1,11 – 1,63 m	14,9 – 19,5 s	0,50 mm	0,75 – 1,12 m
III	1,20 – 1,56 m	12,8 – 18,5 s	0,70 mm	0,75 – 0,91 m

A nova abordagem para a dissipação de energia, fornece a nova forma de calcular o parâmetro de forma A:

$$A = \frac{a_1}{(\kappa^2 X_L)^{2/3}} \left[\frac{3}{5} H_b^2 h_b^{-1/2} + \Gamma^2 h_b^{3/2} \right]^{2/3} \quad (4.3.1.4-5)$$

Onde a_1 é o coeficiente de proporcionalidade de Moore (1982), onde o valor que melhor a ajusta é 3,285 (TÜRKER; KABDASLI, 2006). κ é a razão entre a altura de onda e a profundidade na quebra.

Para calcular a forma do perfil de equilíbrio, Türker e Kabdasli (2006) utilizaram a equação básica, elaborada por Dean em 1977.

$$h = Ax^{2/3}$$

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Abaixo são apresentadas as metodologias utilizadas para a elaboração desse estudo.

Como demonstrado na revisão bibliográfica, são necessários a aquisição de dados de campo para a elaboração dos perfis de equilíbrio. Com base na análise evolutiva dos perfis, identificou-se a necessidade dos seguintes dados:

- Topografia dos perfis aéreos, para a análise das características morfológicas de cada perfil;
- Batimetria da antepraia dos perfis aéreos;
- Característica granulométrica da antepraia;
- Parâmetros de ondas;
- Batimetria da Área de Estudo;
- Registros de Maré;

5.1 Modelos de Perfil de Equilíbrio

Para o estudo foram utilizados os modelos apresentados na revisão bibliográfica da evolução dos modelos, sendo as equações e os parâmetros descritos também nesse item.

5.2 Aquisição e Tratamentos de Dados

Com base no estudo e nas características geomorfológicas da baía do Espírito Santo, foram definidas as estratégias de aquisição de dados.

5.2.1 Localização das Estações de Coleta de Dados

Ao longo da região de estudo, foram dispostas 13 (treze) estações para levantamentos topobatimétricos dos perfis de praia, sendo 3 inseridos entre os espigões 2 e 3, onde também foram coletados sedimentos, sendo o foco da análise de perfil de equilíbrio desse estudo. Foram instaladas duas estações oceanográficas (ondas e maré). Na Figura 5.2.1-1 e na Tabela 5.2.1-1 são apresentadas, respectivamente, a localização espacial das estações de levantamentos topobatimétricos dos perfis de praia e das estações de coleta de dados oceanográficos e as coordenadas das mesmas.

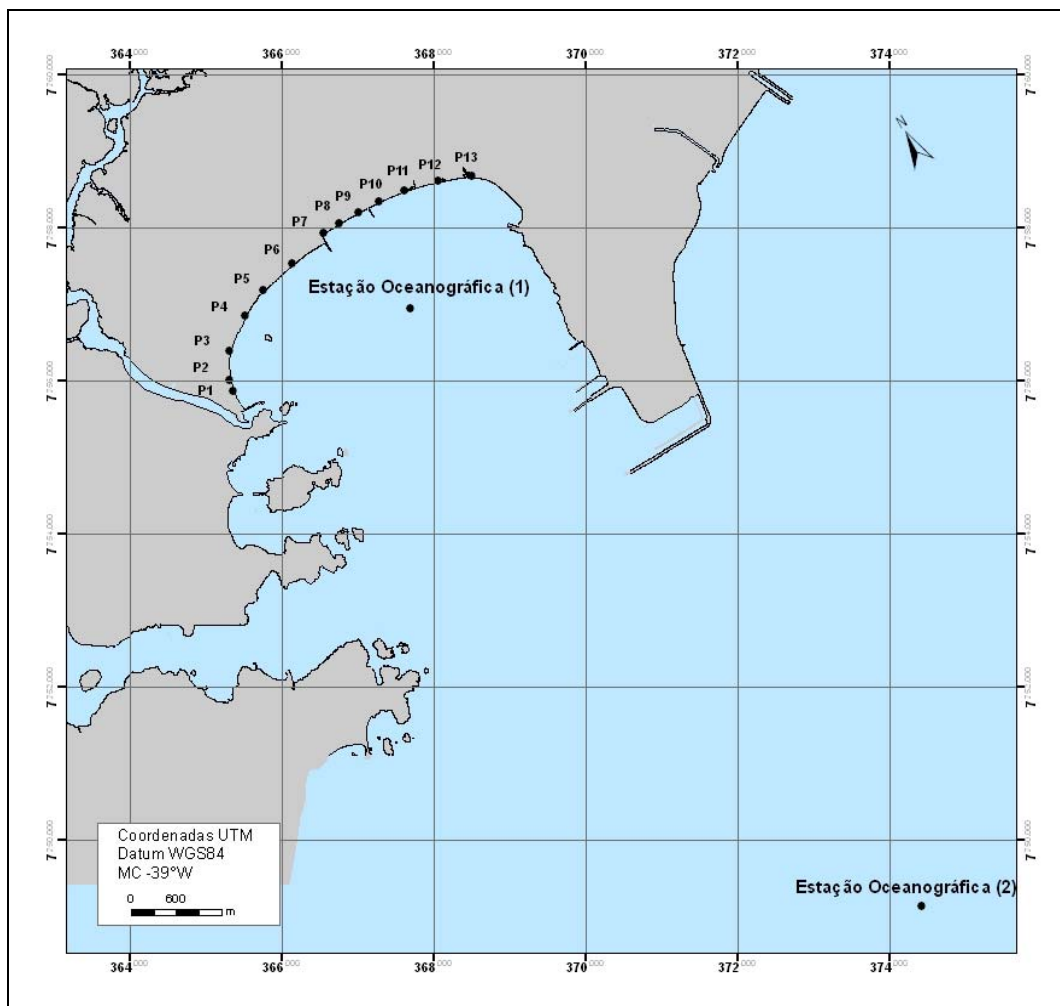


Figura 5.2.1-1: Localização das estações de monitoramento.

Os perfis de praia foram distribuídos de forma a caracterizar os diferentes setores morfológicos existentes na praia de Camburi, sendo usado um espaçamento de aproximadamente 500 metros entre cada perfil.

A estação oceanográfica 2 (medições de ondas, correntes e maré) foi instalada a aproximadamente 8,5 km da costa (Porto de Tubarão), de forma a registrar o padrão de ondas e correntes provenientes de mar aberto e com menor influência de processos de refração e/ou difração. A estação oceanográfica (1) foi instalada dentro da baía do Espírito Santo (aproximadamente 1,5 km da praia de Camburi), com a intenção de registrar os parâmetros oceanográficos existentes dentro da baía (Figura 5.2.1-1).

Tabela 5.2.1-1: Coordenadas das estações de monitoramento.

ESTAÇÃO	LATITUDE - E	LONGITUDE - N
P1	365260	7755828
P2	365203	7756022
P3	365221	7756420
P4	365434	7756872
P5	365725	7757278
P6	366018	7757484
P7	366508	7757934
P8	366674	7758101
P9	367010	7758263
P10	367224	7758285
P11	367644	7758463
P12	368101	7758582
P13	368493	7758628
Estação Oceanográfica (1)	367701	7756955
Estação Oceanográfica (2)	374427	7749149

Datum: WGS 1984

5.2.2 Procedimentos de Campo

5.2.2.1 Topobatimetria e Coleta de Sedimentos dos Perfis de Praia

- ***Topobatimetria***

O levantamento topográfico foi realizado no dia 12 de abril de 2007 com base na metodologia de perfilagem aérea descrita por Marone e outros (2001), cujo emprego de um nível de precisão, mira graduada e uma trena, permite a obtenção de medidas das distâncias e das diferenças altimétricas entre pontos dispostos ao longo dos perfis (Figura 5.2.2.1-1), sendo que tais perfis foram estendidos à porção submersa, através de levantamentos batimétricos executados com ecobatímetro digital de precisão (Figura 5.2.2.1-2).



Figura 5.2.2.1-1: Distribuição dos perfis topobatimétricos e a área de estudo dos perfis de equilíbrio em negrito.



Figura 5.2.2.1-2: Levantamento topobatimétrico.

- ***Coleta de Sedimentos***

As coletas de sedimento foram realizadas no dia 12 de abril de 2007 e se concentraram nos três perfis inseridos entre o segundo e terceiro espigão, sendo coletados desde a cota 0 até os 5 metros de profundidade a cada metro de profundidade. As amostras foram coletadas através de draga tipo Van Veen, acondicionadas em sacos plásticos etiquetados e encaminhadas ao Laboratório de Sedimentologia Costeira da Universidade Federal do Espírito Santo para análise. Na Figura 5.2.2.1-3 é apresentada a distribuição espacial dos pontos de coleta de sedimentos ao longo de cada perfil situado no setor de estudo dos perfis de equilíbrio e na Tabela 5.2.2.1-1 são apresentadas as coordenadas dos mesmos.

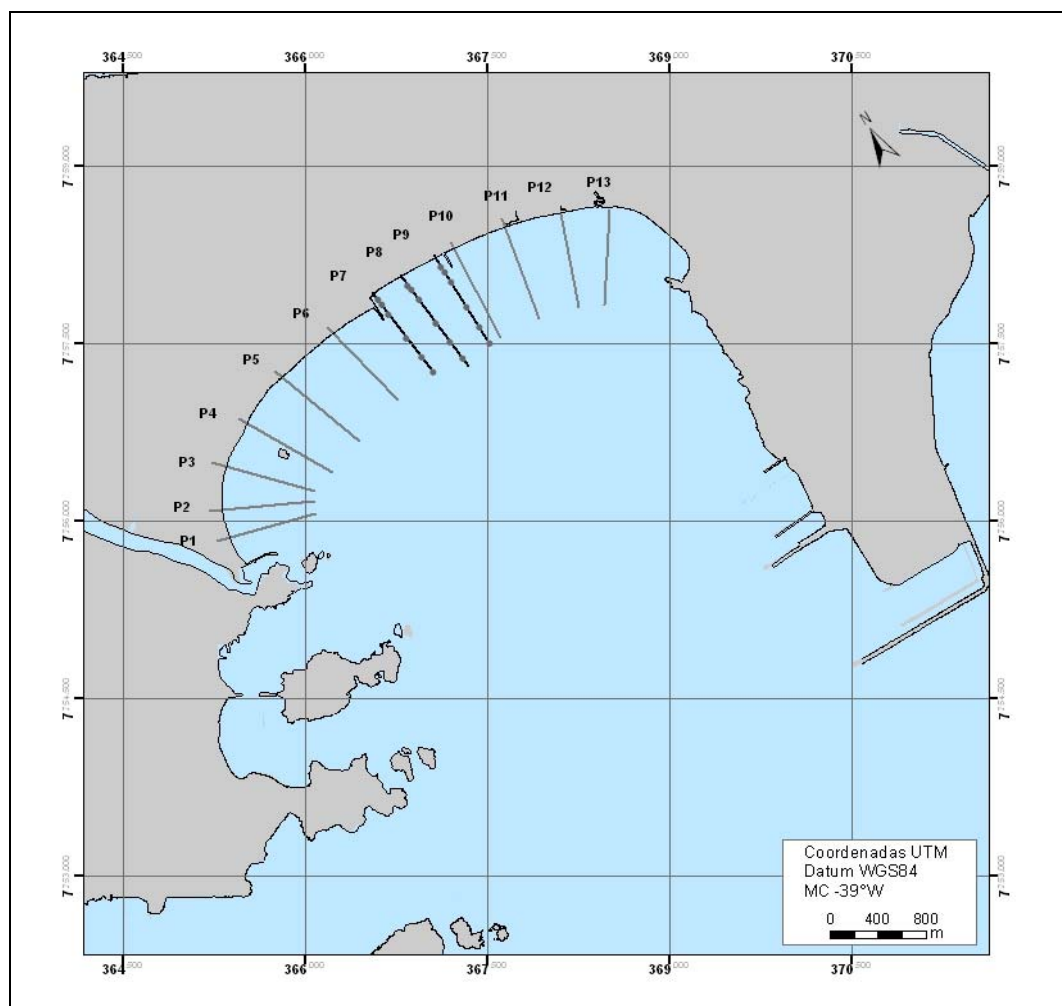


Figura 5.2.2.1-3: Estações de coleta de sedimentos.

Tabela 5.2.2.1-1: Coordenadas das estações de coletas de sedimentos.

ESTAÇÃO	LATITUDE - E	LONGITUDE - N
P7 #A	366596.50	7757866.00
P7 #B	366626.26	7757825.78
P7 #C	366685.75	7757745.41
P7 #D	366834.47	7757544.45
P7 #E	366953.45	7757383.69
P7 #F	367049.10	7757254.44
P8 #A	366842.03	7757991.37
P8 #B	366871.78	7757951.15
P8 #C	366931.27	7757870.77
P8 #D	367076.29	7757667.90
P8 #E	367195.27	7757507.13
P8 #F	367290.93	7757377.88
P9 #A	367120.64	7758142.74
P9 #B	367146.94	7758100.66
P9 #C	367198.76	7758015.92
P9 #D	367329.04	7757802.94
P9 #E	367432.65	7757635.06
P9 #F	367517.41	7757496.81

Datum: WGS 1984

5.2.2.2 Levantamentos Batimétricos e Compilação de Dados

A batimetria da região foi determinada com base na em dados da carta náutica, fornecida pela Marinha do Brasil e em levantamentos pretéritos.

De forma a atualizar e complementar os dados existentes foi realizado um levantamento batimétrico ao longo dos dias 10, 11 e 12 de abril de 2007 que abrangeu toda a baía do Espírito Santo, desde a região externa até a porção interna, de forma a identificar feições de fundo que podem influenciar no padrão de ondas local. Foram elaboradas duas formas de linha de sondagem, a primeira constituiu-se de linha paralelas à baía com extensão de 5,5 Km, na porção externa, e de 4,5 Km, na porção interna e espaçamento de 200 m entre as linhas, totalizando 28 linhas e uma segunda perpendicular à praia e concentrada na

porção da antepraia inferior com extensão de 700 m e espaçada em 50 metros, totalizando 67 linhas (Figura 5.2.2.2-1).

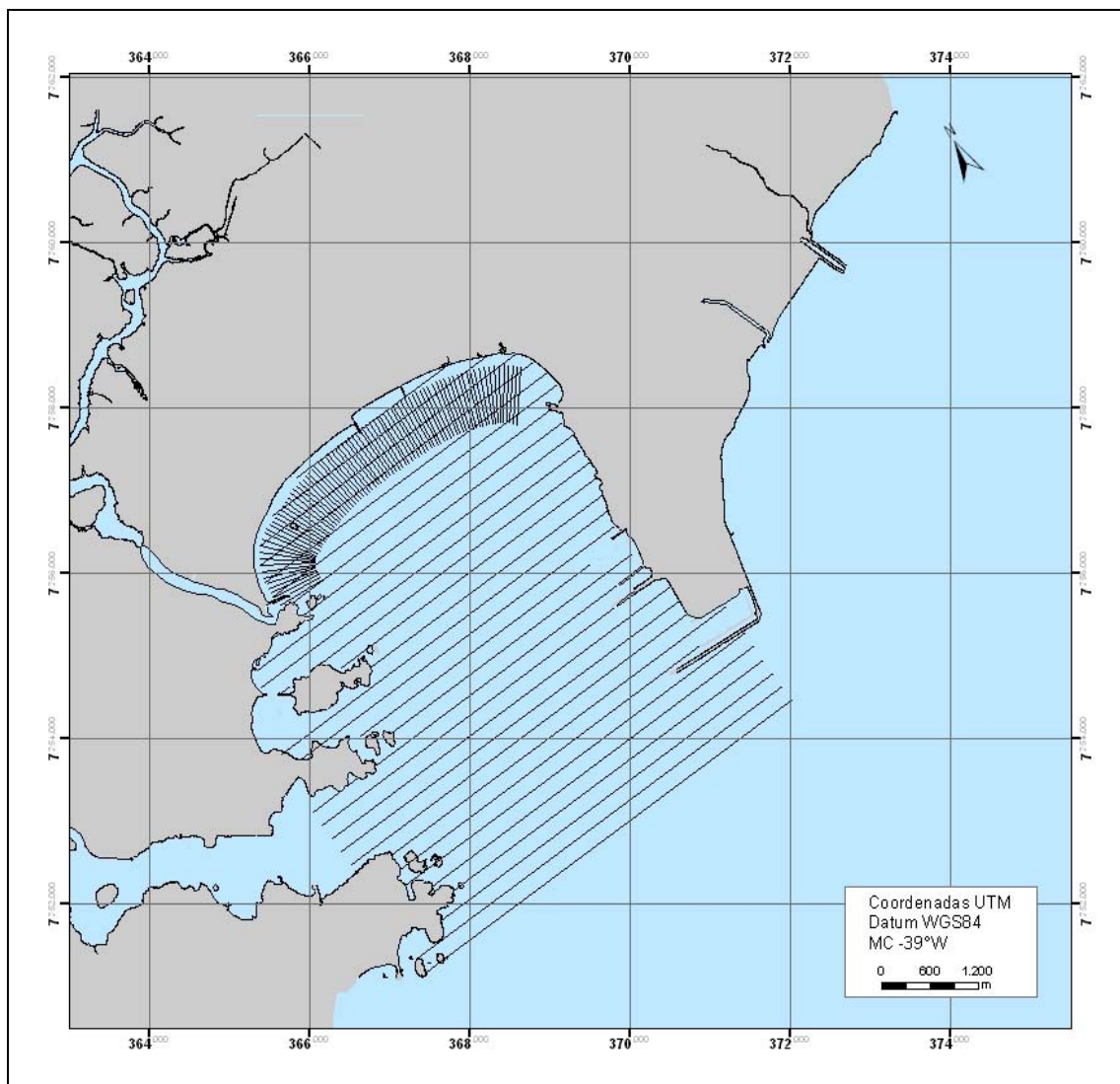


Figura 5.2.2.2-1: Linhas de sondagem batimétrica.

Para o posicionamento da embarcação, em tempo real, durante os levantamentos, utilizou-se um equipamento GPS diferencial, modelo DGPS MAX fabricado pela *CSI Wirelles*, o qual utiliza sinal de correção diferencial por banda L fornecido pela *Omnistar*, o que possibilita uma precisão submétrica no posicionamento.

A obtenção das profundidades foi realizada através do emprego de um ecobatímetro digital modelo *Hidrotrac*, fabricação *Odom Hydrographyc Systems*

Inc., operando com um transdutor de 200 kHz de frequência, com precisão de 0,1% da profundidade e dotado de registro analógico.

A navegação e aquisição dos dados foram realizadas através do *software Hypack Max 4.3a*, desenvolvido pela *Coastal Oceanographics Inc*, o qual integra os dados do ecobatímetro e DGPS permitindo a correta navegação, bem como o armazenamento dos dados em formato digital para posterior processamento.

O ecobatímetro foi calibrado no início e no fim do levantamento com uma placa metálica fixada a um cabo de aço graduado em metros. A calibração é feita descendo a placa metálica em profundidades conhecidas, com base na graduação métrica do cabo, as diferenças entre o real e o medido pelo equipamento é corrigido, alterando a velocidade do som no equipamento.

Fizeram-se registros do nível da maré para o local (Porto de Tubarão) em intervalos de tempo de 10 minutos. Os registros foram referenciados à cota do nível de redução – DHN do Porto de Tubarão para redução da sondagem.

5.2.2.3 Coleta de Dados Oceanográficos

A estação oceanográfica (1), a qual realizou as medições de correntes, ondas e maré, consiste, na realidade, em um Ondógrafo Direcional modelo *S4ADW* da *Interocean Systems, Inc*. O equipamento encontrava-se sobre o leito marinho, a uma profundidade média de 6 metros, fixado por uma estrutura metálica desmagnetizada, sendo o local sinalizado por uma bóia luminosa conforme apresentado no esquema abaixo, apresentado na Figura 5.2.2.3-1. O equipamento foi programado da seguinte forma:

- Ondas: leituras a cada 1 hora com médias de 20 minutos de dados a uma taxa de registro de 2 Hz;

- Correntes: leituras a cada 30 minutos com médias de 2 minutos de dados a uma taxa de registro de 2 Hz, resultando em 240 valores.
- Marés: leituras a cada 30 minutos com média de 2 minutos de dados.
- Período de coleta de dados: entre os dias 10 de julho de 2007 e o dia 11 de agosto de 2007, totalizando 1 mês de dados.

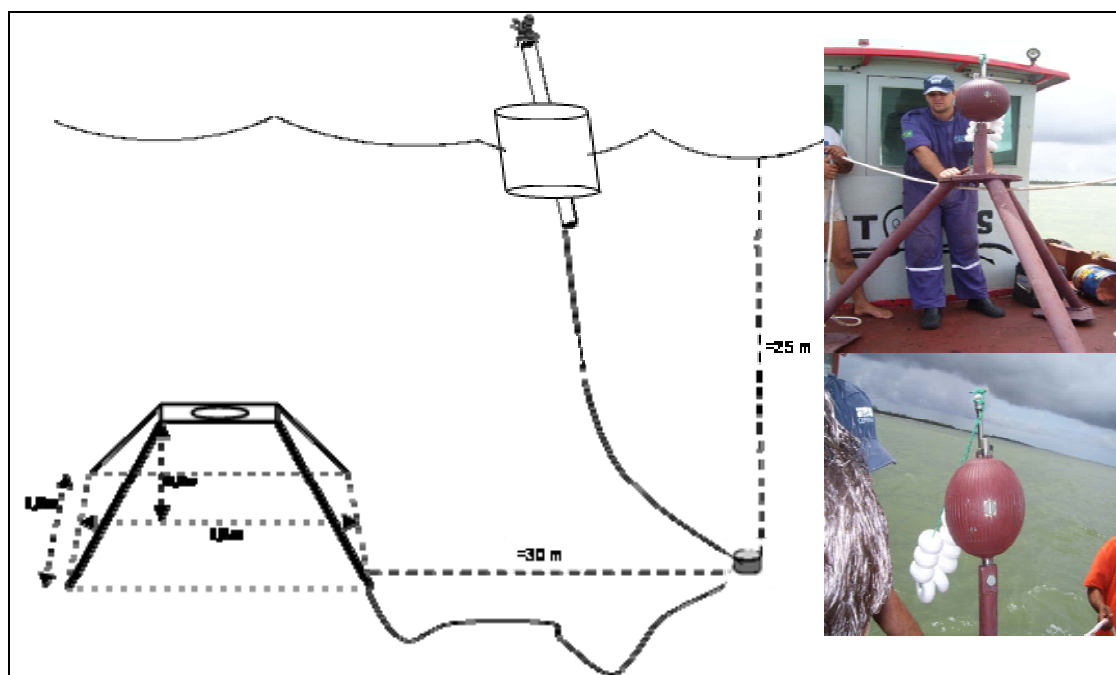


Figura 5.2.2.3-1: Modelo esquemático da instalação da estação de dados oceanográficos (Ondógrafo).

A estação oceanográfica (2), a qual também realizou as medições de correntes, ondas e maré, consiste em um Perfilador Acústico por Efeito Doppler (ADCP), modelo *WorkHorse Sentinel* de 600 kHz com pacote *Wave Array* da *Teledyne Instruments*. O equipamento encontrava-se sobre o leito marinho, a uma profundidade média de 35 metros, fixado por estrutura metálica desmagnetizada (Figura 5.2.2.3-2). O equipamento foi programado da seguinte forma:

- Ondas: leituras a cada 1 hora com médias de 20 minutos de dados a uma taxa de registro de 2 Hz;
- Correntes: leituras a cada 30 minutos com médias de 2 minutos de dados a uma taxa de registro de 2 Hz, resultando em 240 valores. A coluna d'água foi

dividida em células de 1 metro, com uma zona de sombra sobre o equipamento de 2,11 metros.

- Marés: leituras a cada 30 minutos com média de 2 minutos de dados.
- Período de coleta de dados: entre os dias 10 de julho de 2007 e 21 de julho de 2007, totalizando 10 dias de dados. Esse período reduzido de dados ocorreu devido a um acidente com um navio mercante.

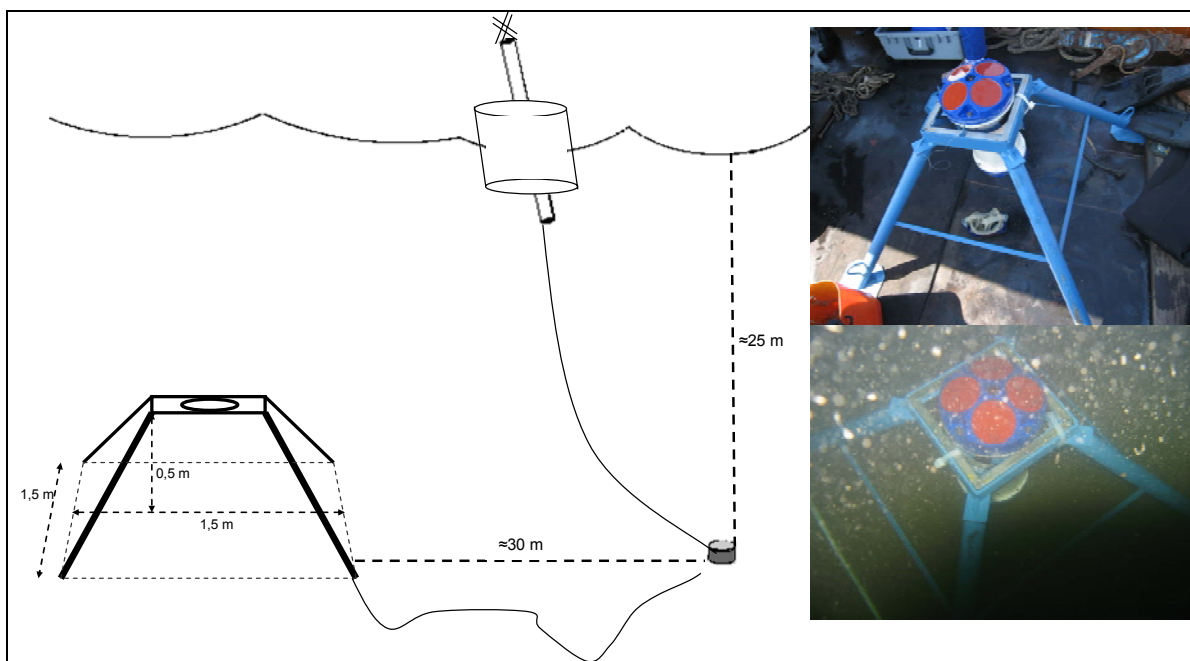


Figura 5.2.2.3-2: Modelo esquemático da instalação da estação de dados oceanográficos (ADCP).

5.2.3 Processamento dos Dados

Abaixo são apresentados os métodos utilizados para o processamento dos dados coletados pelos equipamentos em campo.

5.2.3.1 Levantamentos Topográficos e Batimétricos

Para que os levantamentos topográfico e batimétrico ficassem referenciados ao mesmo nível, foi utilizado como referência vertical o Nível de Redução do Mar (RN) para o Porto de Tubarão. As correções verticais para a perfilagem aérea consistiram no somatório dos desníveis desde o início do perfil até o máximo recuo da onda no momento dos levantamentos. Nesse ponto, foi marcada a hora exata de monitoramento para realização da correção de maré (com os registros de maré) e, com isso, avaliou-se o quanto do perfil estava exposto abaixo do nível médio do mar no instante do levantamento. Com esses resultados, a partir de relações matemáticas simples, pode-se determinar a cota inicial do perfil em relação ao nível médio (MUEHE, 2004).

Os dados batimétricos foram processados utilizando-se o *software Hypack Max 4.3a*, por meio do qual foi feita a redução de todos os dados adquiridos pelo ecobatímetro para o nível de redução do Porto de Tubarão, com base nos registros obtidos pela leitura da régua de maré, instalada no cais de Tubarão. Esses registros foram confirmados pelos dados das estações oceanográficas durante o período de cada levantamento. Com esse mesmo software foram retirados saltos “*spikes*” e outras impurezas gravadas.

Os registros analógicos gerados pelo ecobatímetro foram usados na confirmação dos registros digitais propiciando a verificação da precisão das profundidades encontradas.

Após o nivelamento de ambos os dados (perfilagem aérea e submersa), foram unidos e montados os perfis apresentados neste trabalho.

5.2.3.2 Processamento dos Dados Oceanográficos

O processamento dos dados coletados nas estações oceanográficas foi realizado pelos softwares que acompanham cada equipamento.

Os dados da estação oceanográfica (2) foram processados pelo *software WavesMon*, que acompanha o equipamento, processando somente os registros que se encontram na faixa de frequência de 0.03 Hz e 0.2 Hz.

5.2.3.3 Análises Sedimentológicas

Todos os sedimentos foram submetidos às análises sedimentológicas descritas por Muehe (1994). Inicialmente, o material passou por procedimentos prévios de lavagem para retirada dos sais solúveis, secagem em estufa a aproximadamente 80° C, e quarteamento, para a separação de subamostras de 50g, que foram posteriormente levadas para a análise granulométrica.

A fim de evitar uma possível interferência por floculação da fração lama na análise granulométrica, foi realizada a queima de matéria orgânica, quando existente, através da adição de peróxido de hidrogênio em chapa aquecida.

A análise granulométrica se iniciou com a lavagem da amostra em um litro de água destilada sobre a peneira de 0,062 mm, sendo o conteúdo lavado, coletado com uma proveta graduada de um litro. Esse procedimento se faz necessário para a separação da fração areia da fração lama, quando presente nas amostras, que, posteriormente, passarão por procedimentos diferenciados de separação granulométrica.

A fração areia foi levada ao peneiramento a seco, consistindo na passagem da amostra em um conjunto de peneiras de diferentes aberturas, presas a um equipamento responsável por promover a vibração do conjunto, durante 15

minutos. O material retido em cada peneira foi pesado em balança de precisão, e os resultados submetidos a análises estatísticas.

Para a análise granulométrica da fração lama, quando existente, foi utilizado o método de pipetagem, que se baseia na velocidade de decantação de cada fração granulométrica em água destilada.

O procedimento se iniciou com a colocação do desfloculante (hexalato de sódio) e homogeneização do material retido na proveta, utilizada na separação da fração lama da fração areia, por um minuto. A quantificação de cada fração se dá com a retirada de alíquotas em tempos e profundidades pré-determinadas em função da temperatura ambiente (Tabela 5.2.3.3-1).

Tabela 5.2.3.3-1: Tempo de coleta em profundidades pré-determinadas para cada temperatura.

TAMANHO DOS GRÃOS		PROFUNDIDADE DE COLETA	CRONOMETRIA DE PIPETAGEM			
Phi (Φ)	mm	cm	16° C	20° C	24° C	28° C
4	0,06200	20	20s	20s	20s	20s
5	0,03100	10	2m 09s	1m 57s	1m 46s	1m 37s
6	0,01560	10	8m 29s	7m 40s	6m 58s	6m 22s
7	0,07800	10	34m	31m	28m	25m
8	0,03900	10	2h 15m	2h 03m	1h 51m	1h 42m
9	0,02000	5	4h 18m	3h 53m	3h 32m	3h 14m
10	0,00098	7	25h 05m	22h 41m	20h 37m	18h 50m

Os resultados foram tratados com auxílio dos programas estatísticos Anased e Básica, cedido pelo Programa de Geologia Geofísica Marinha (PGGM), dos quais foram obtidos os valores dos diâmetros médios.

Para as análises, foi adotada a escala granulométrica proposta por Wentworth (1922), sendo utilizado o conceito de “Fi”, introduzido por Krumbein (1934), que corresponde ao logaritmo negativo de base 2 do valor da granulometria, expressa em milímetros (Tabela 5.2.3.3-2).

Os parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica do sedimento foram calculados pelo método descrito por Folk e Ward (1957), que auxiliou na obtenção do diâmetro médio.

Tabela 5.2.3.3-2: Classificação granulométrica de Wentworth (1922).

CLASSIFICAÇÃO	Fi (Φ)	mm
Matacão	< -8 a -6	< 256 a 64
Cascalho muito grosso	< -6 a -5	< 64 a 32
Cascalho grosso	< -5 a -4	< 32 a 16
Cascalho médio	< -4 a -3	< 16 a 8
Cascalho fino	< -3 a -2	< 8 a 4
Cascalho muito fino	< -2 a -1	< 4 a 2
Areia muito grossa	< -1 a 0	< 2 a 1
Areia grossa	< 0 a 1	< 1 a 0,5
Areia média	< 1 a 2	< 0,5 a 0,25
Areia fina	< 2 a 3	< 0,25 a 0,125
Areia muito fina	< 3 a 4	< 0,125 a 0,0625
Silte grosso	< 4 a 5	< 0,0625 a 0,03125
Silte médio	< 5 a 6	< 0,03125 a 0,0156
Silte fino	< 6 a 7	< 0,0156 a 0,0078
Silte muito fino	< 7 a 8	< 0,0078 a 0,0039
Argila	8 a 12	< 0,0039

5.3 Análise da Evolução do Perfil Submerso com Base no Perfil de Equilíbrio

Após a análise da equação de perfil de equilíbrio que melhor representa as condições da área de estudo, foram realizadas simulações para avaliar a resposta do modelo a diferentes condições de sedimentos e de ondas, identificados nos levantamentos de campo, existentes na área foco do estudo.

Para as simulações foi utilizada a classe sedimentar que representa os sedimentos médios (D_{50}) e as 3 alturas significativas de onda mais freqüentes para a região. Com a união dessas características foram desenvolvidos testes de resposta de cada perfil.

Com os resultados foi avaliada a translação do perfil a cada característica de onda e identificadas as variações do perfil em cada situação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterização Morfológica e Oceanográfica da baía do Espírito Santo

6.1.1 Características Morfológicas da praia de Camburi

A seqüência de Figuras de 6.1.1-1 à 6.1.1-16 apresenta a configuração dos perfis medidos para esse estudo ao longo da praia de Camburi, sendo sua localização apresentada na Figura 5.4-1. Seu levantamento foi entendido para a porção submersa a fim de se identificar a declividade da antepraia e analisar possíveis feições existentes. Os perfis de 1 a 4 estão inseridos no setor 1, os de 5 a 9 no setor 2 e de 10 a 13 no setor 3 da praia de Camburi.

- **Setor 1 (Perfis de 1 a 4)**

O perfil 1, localizado entre o espigão de Iemanjá e a Ilha do Socó (Figura 3.2.1-2) da praia de Camburi, apresenta uma berma plana, construído artificialmente com a alimentação e com extensão aproximada de 55 metros. A face da praia apresenta inclinação, aproximada, de 1:16 e na antepraia superior observa-se um acúmulo de sedimento, que gera uma feição plana; a antepraia intermediária se apresenta com declividade suave e sem feições características e na antepraia inferior o fundo se torna plano (Figura 6.1.1-1).

No perfil 2 observa-se a diminuição da berma em aproximadamente 10 metros, um aumento da inclinação da face de praia (1:14), e na região submersa observa-se a presença de uma barra na porção da antepraia superior e uma calha a 4 metros de profundidade. Observa-se também que, a partir desse perfil, o clima de ondas começa a agir mais efetivamente na configuração do perfil praiar, devido à maior exposição das ondas incidentes de nordeste (Figura 6.1.1-2).

O perfil 3 apresenta o pós-praia com grande extensão (efeitos do tômbolo) e uma berma na cota de 4,2 metros. A face da praia mantém a declividade elevada,

característica desse setor, e observa-se claramente uma calha no máximo recuo da onda (momento do levantamento). Na antepraia observa-se uma pequena barra em torno de -2 metros e uma calha no final do perfil (Figura 6.1.1-3).

No pós-praia do perfil 4, observa-se o efeito do tómbolo ocasionado pela presença da Ilha do Socó; esse setor do perfil apresenta cerca de 90 m de extensão. A declividade da face continua elevada e há a presença de uma calha na antepraia (Figura 6.1.1-4).

Na Figura 6.1.1-5 foram sobrepostos todos os perfis localizados no primeiro setor. Observa-se a existência de fortes diferenças ao longo do setor. Na porção aérea os pós-praias se tornam mais longos em direção à Ilha do Socó, devido à formação do tómbolo e na porção submersa observa-se a diminuição da declividade, porém, o aumento da profundidade da antepraia intermediária. Essas características estão ligadas a diferenças na hidrodinâmica ao longo do primeiro setor, onde a porção mais ao sul (próximo ao espigão) recebe um volume de energia menor devido a feições geológicas existentes no início da baía do Espírito Santo. Nota-se que devido a essas diferenças hidrodinâmicas não foi possível identificar o local exato do perfil onde cessam as trocas transversais de sedimentos. Provavelmente, os perfis mais próximos à Ilha do Socó apresentam seus pontos de fechamento em águas mais profundas, mas é possível notar que em torno de 590 metros, os perfis, praticamente, encontram-se na mesma profundidade (3,8 metros), o que pode indicar que desse ponto em diante o transporte de sedimentos se reduz e é ocasionado por eventos de alta energia.

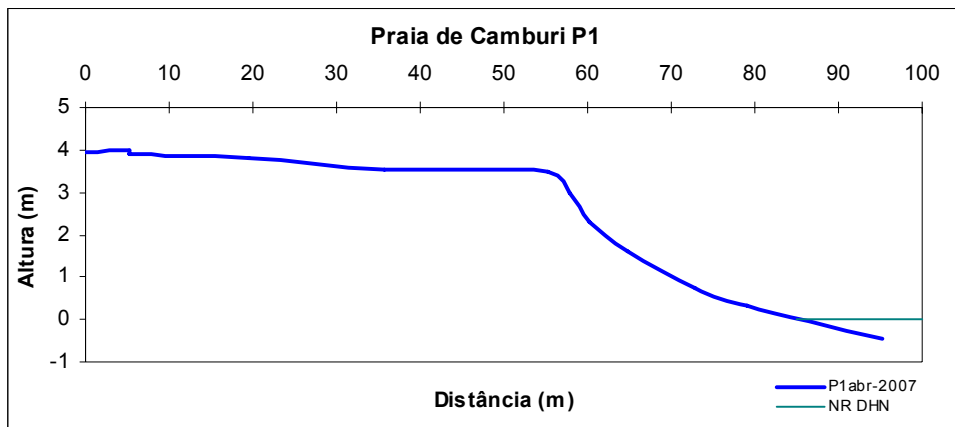
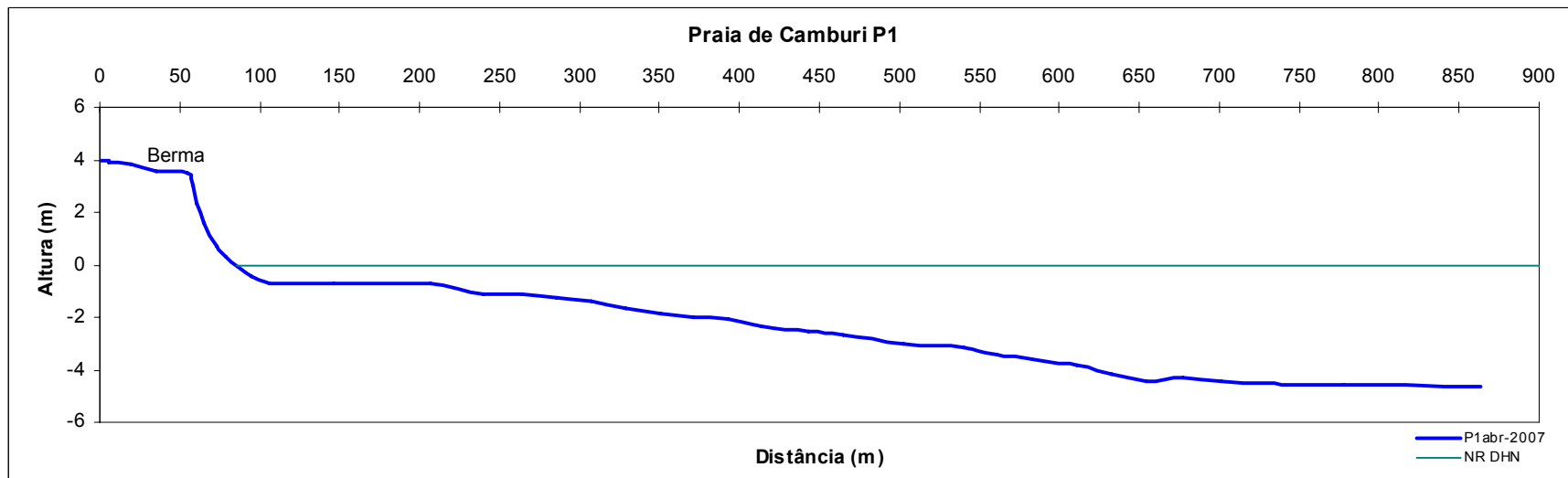
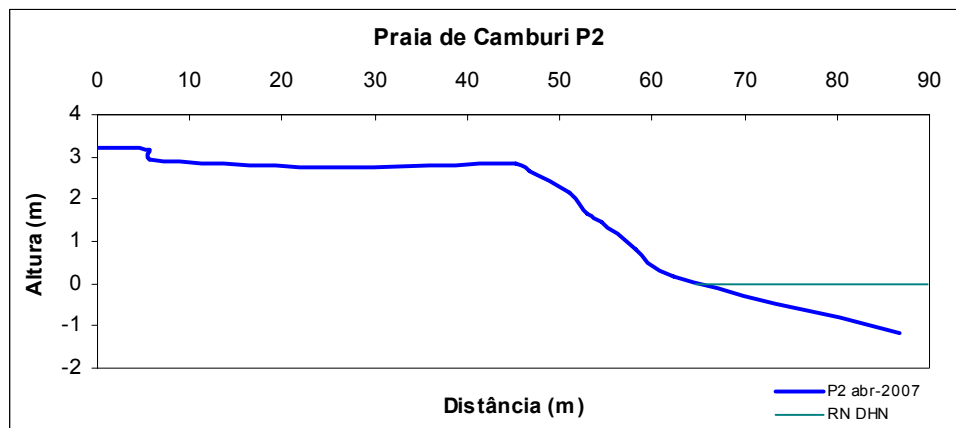
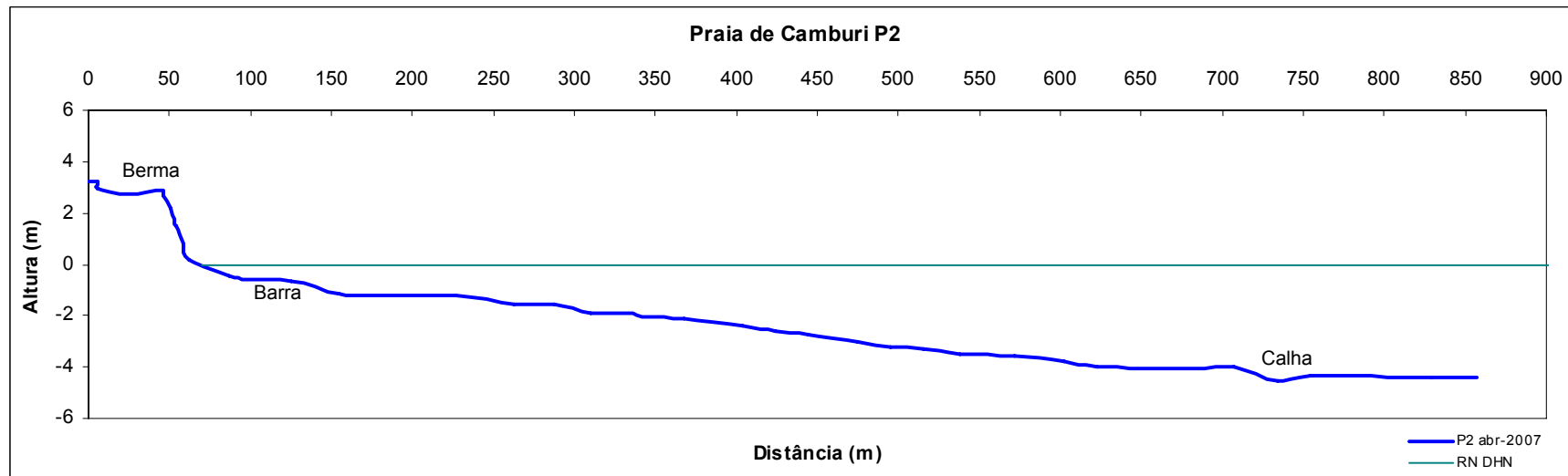
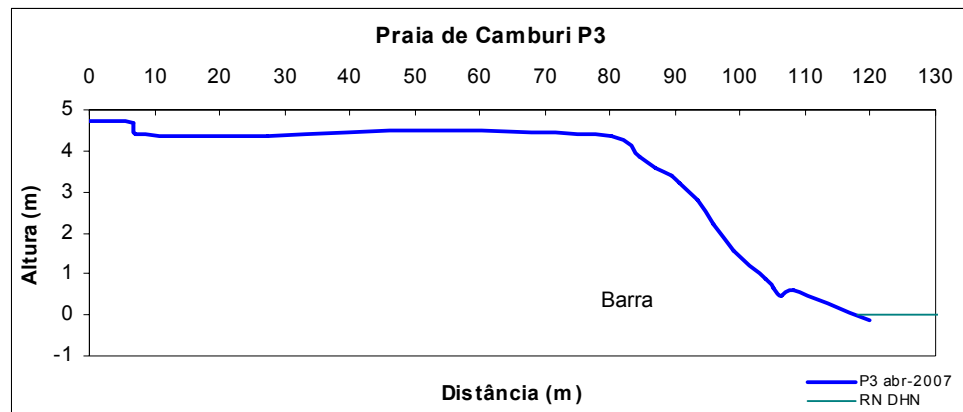
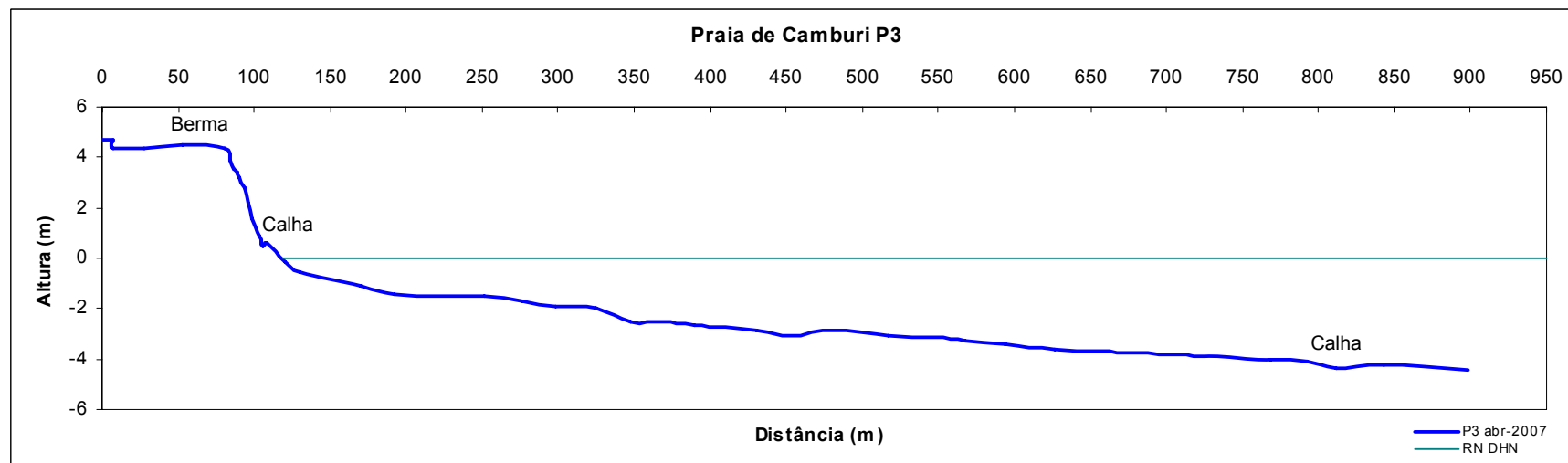
PERFIL P1 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P1 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBEMERSA**

Figura 6.1.1-1: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 1 extremo norte.

PERFIL P2 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P2 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBEMERSA****Figura 6.1.1-2: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 2.**

PERFIL P3 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P3 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-3: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 3.**

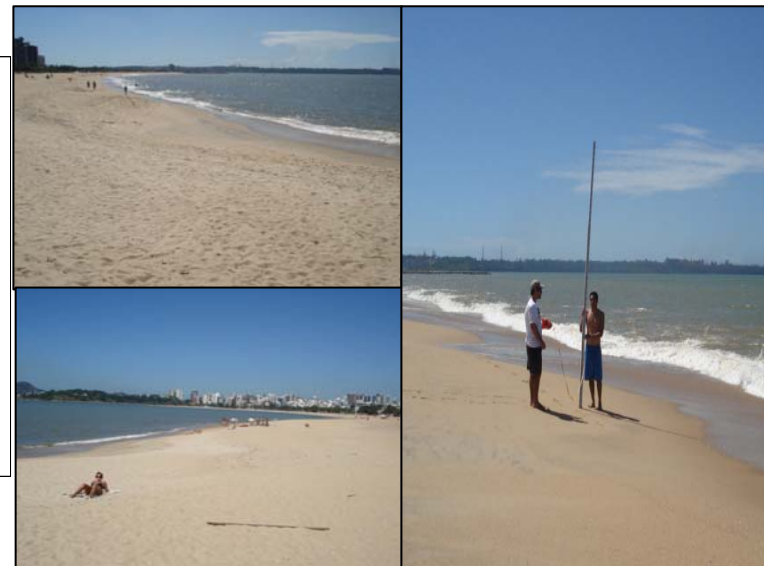
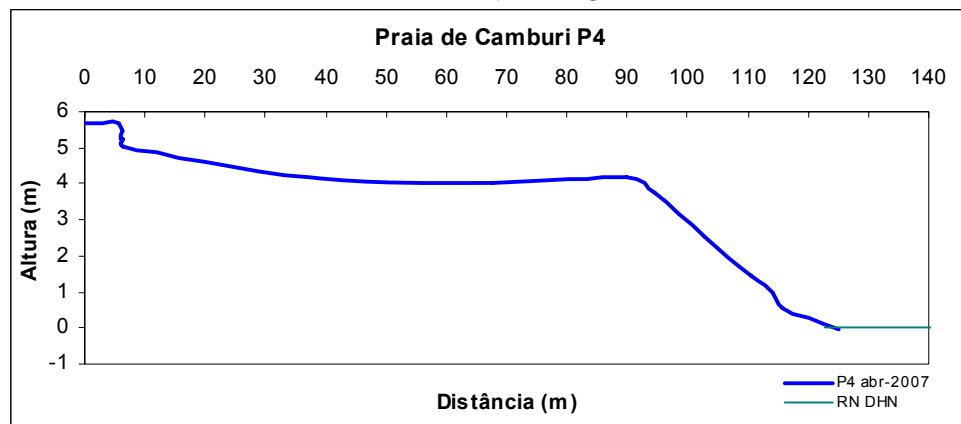
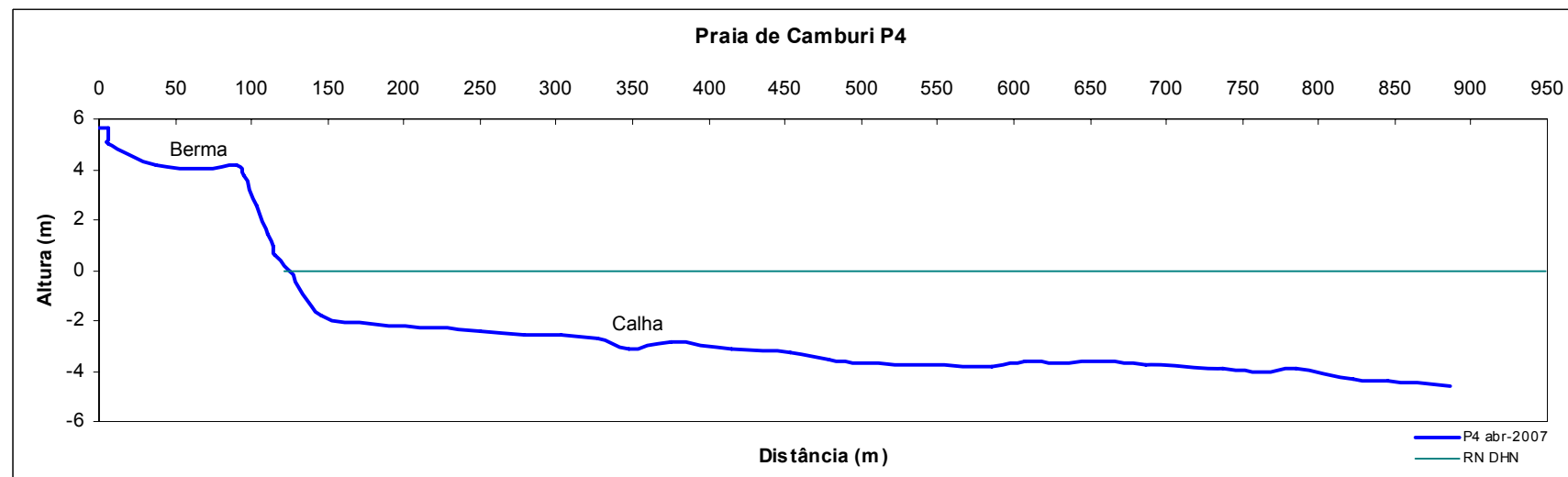
PERFIL P4 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P4 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA**

Figura 6.1.1-4: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 4 último perfil do setor 1.

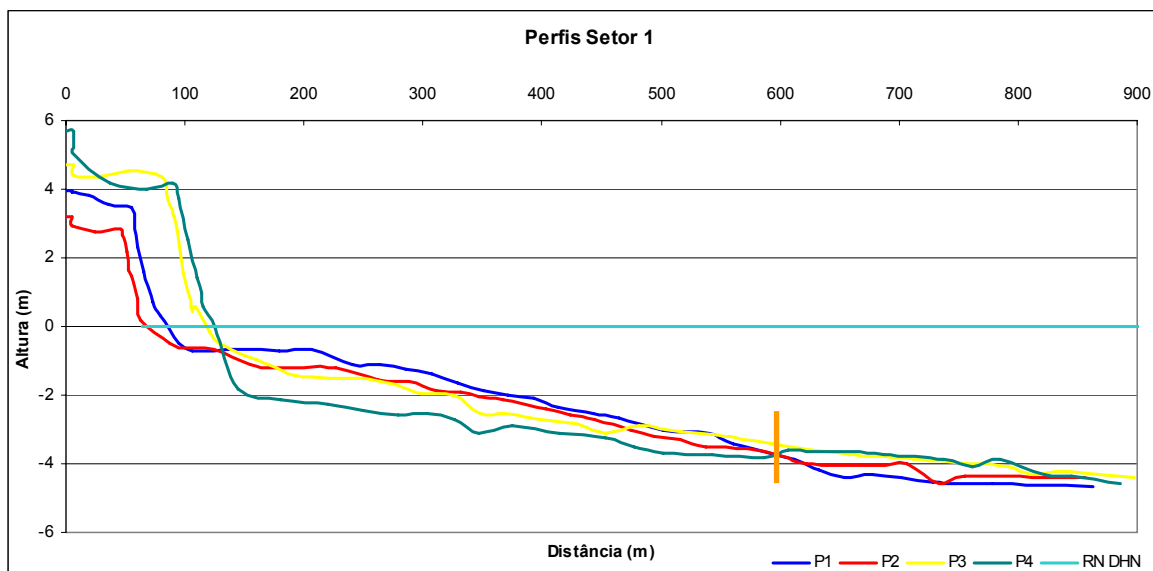
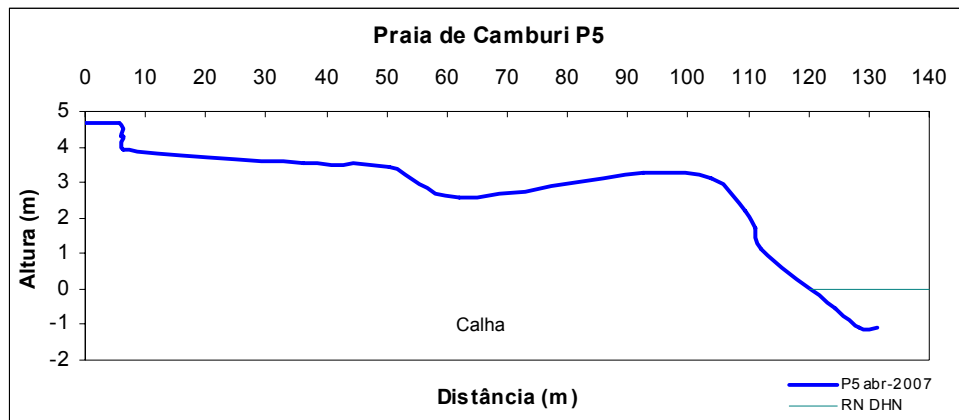
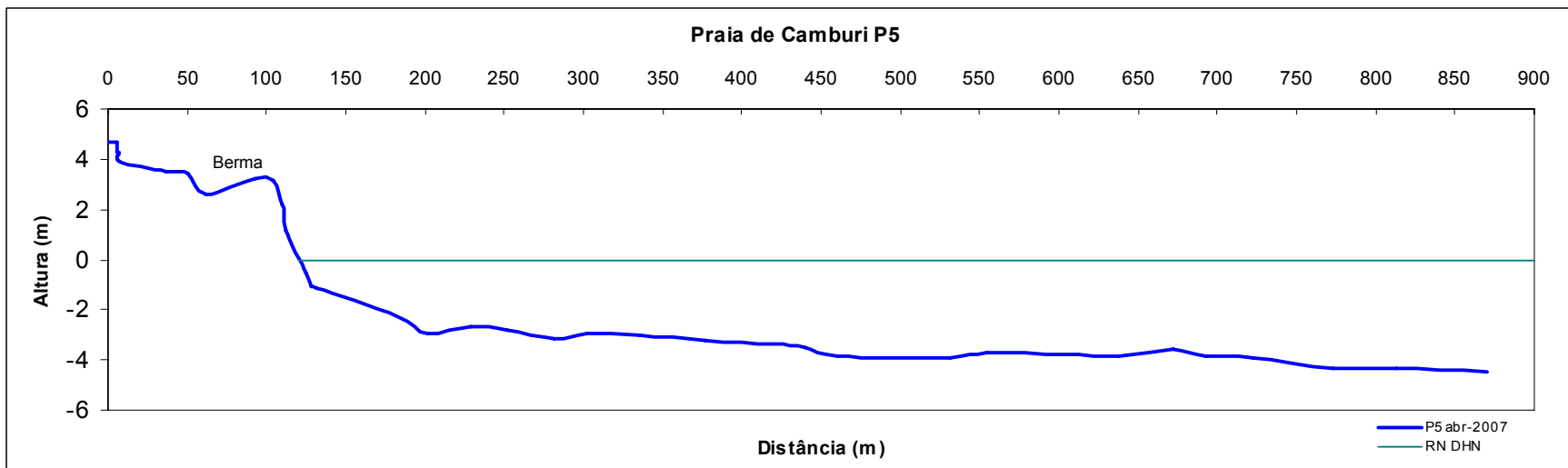
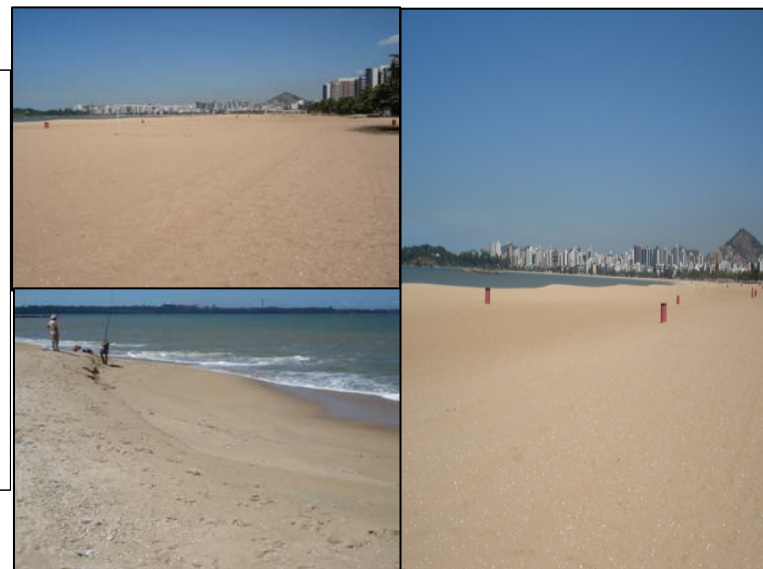
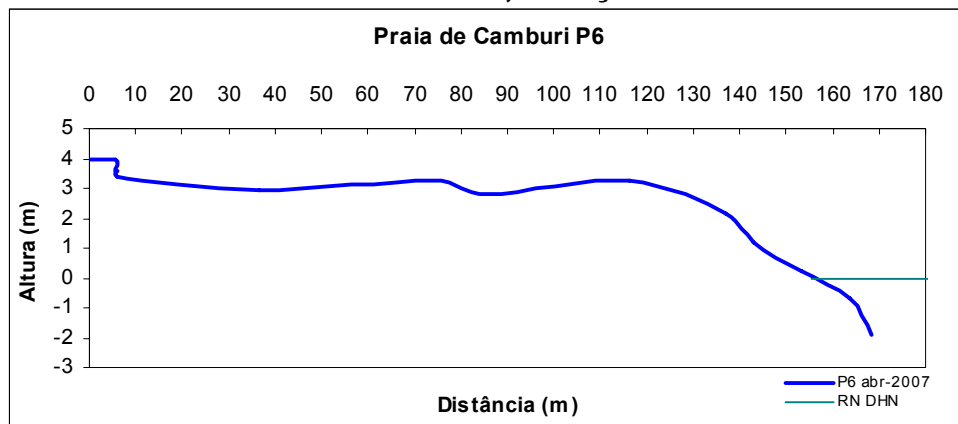
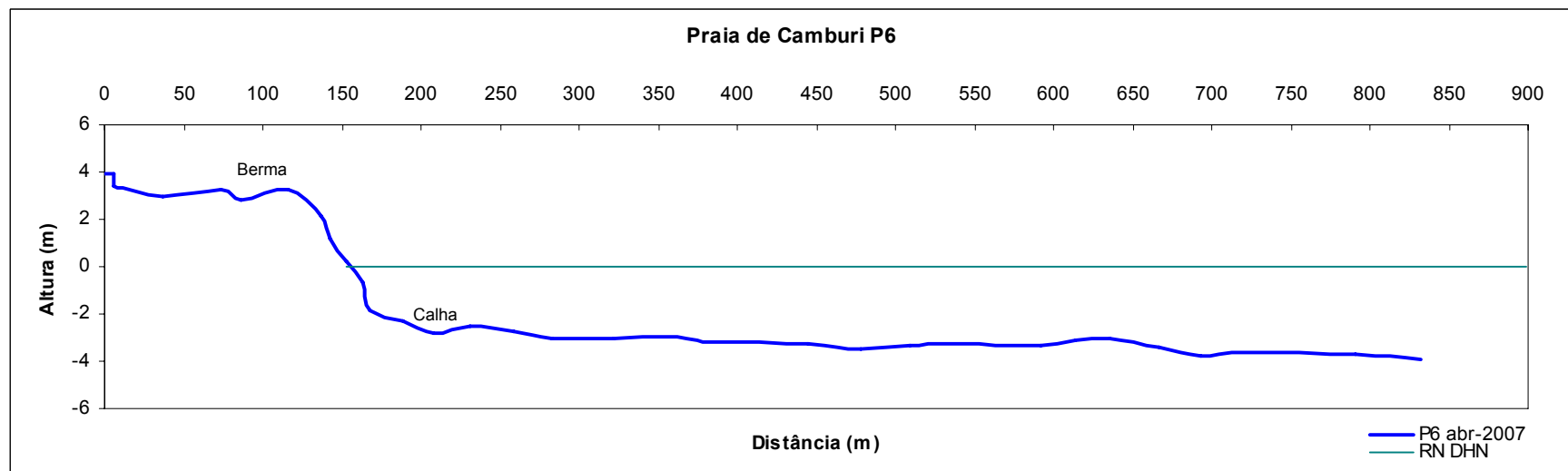


Figura 6.1.1-5: Sobreposição dos perfis do setor 1, indicando a possível profundidade de fechamento.

- **Setor 2 (Perfis 5 a 9)**

Os perfis 5 e 6 apresentam as maiores extensões da porção aérea de toda a praia de Camburi, essa característica é ocasionada pela deposição de sedimentos da corrente longitudinal quando barrada pelo espigão 2. Em ambos os perfis são observadas cristas das bermas antigos, que foram preservadas devido à deposição de sedimentos à sua frente. Na porção da antepraia, o perfil 5 se destaca devido a inúmeras feições como calhas e barras e o perfil 6 apresenta-se plano e mais raso devido aos sedimentos depositados pela corrente longitudinal (Figura 6.1.1-6 e 6.1.1-7).

PERFIL P5 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P5 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-6: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 5.**

PERFIL P6 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P6 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-7: Setor 1 da praia de Camburi, Perfil 6.**

Os perfis 7, 8 e 9 estão inseridos na porção interna dos espigões 2 e 3 e serão analisados mais detalhadamente, pois são foco desse estudo. Os perfis 7 e 8 apresentam o pós-praia com uma crista de berma a 4,36 e 3,73 metros, respectivamente; as faces da praia apresentam-se com declividade média (1:10 aproximadamente) (Figuras 6.1.1-11 a 6.1.1-12). Na região da antepraia observa-se a presença de uma barra e uma calha na cota de 2,5 metros, nota-se também uma segunda barra na porção final dos perfis. As características sedimentológicas ao longo dos perfis distribuem-se de forma irregular com areias médias a grossas nas faces da praia. Nas porções submersas adjacentes nota-se a presença de sedimentos lamo-arenosos (areia muito fina a silte muito grosso), nas regiões profundas (~4 metros) os sedimentos se apresentam como areias grossas e médias. Os sedimentos mais grossos no final do perfil estão associados a feições de pequenas proporções, de calha e barra, respectivamente.

A presença de sedimentos finos no setor das antepraias superior e intermediária (Figuras 6.1.1-8 e 6.1.1-9 e Tabelas 6.1.1-1 a 6.1.1-2) demonstra uma característica de perfis que sofreram alimentação artificial, onde, devido à turbulência das ondas, essas classes de sedimentos são retirados da porção aérea alimentada e depositados na porção da antepraia intermediária (Dean, 1977).

Tabela 6.1.1-1: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P7.

Phi	P7 #A	P7 #B	P7 #C	P7 #D	P7 #E	P7 #F
-2	0.000	0.000	0.000	0.452	0.000	0.000
-1.5	0.089	0.000	0.000	0.088	0.278	0.000
-1	0.040	0.000	0.190	0.059	0.370	0.010
-0.5	0.475	0.000	0.071	0.041	0.763	0.145
0	2.251	0.024	0.158	0.078	1.626	0.478
0.5	7.312	0.063	0.658	0.190	6.541	1.714
1	17.324	0.264	1.975	0.564	50.441	25.751
1.5	15.647	0.367	1.116	0.486	34.465	63.117
2	22.922	0.528	0.908	0.427	3.759	6.510
2.5	19.840	0.733	0.827	0.578	1.142	1.007
3	9.235	1.244	0.638	0.770	0.208	0.430
3.5	4.061	35.376	12.329	5.774	0.116	0.308
4	0.701	34.916	16.462	18.159	0.172	0.239
5	0.101	13.902	55.585	60.074	0.120	0.291
6	0.000	11.771	8.096	6.539	0.000	0.000
7	0.000	0.203	0.987	5.721	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.609	0.000	0.000	0.000	0.000

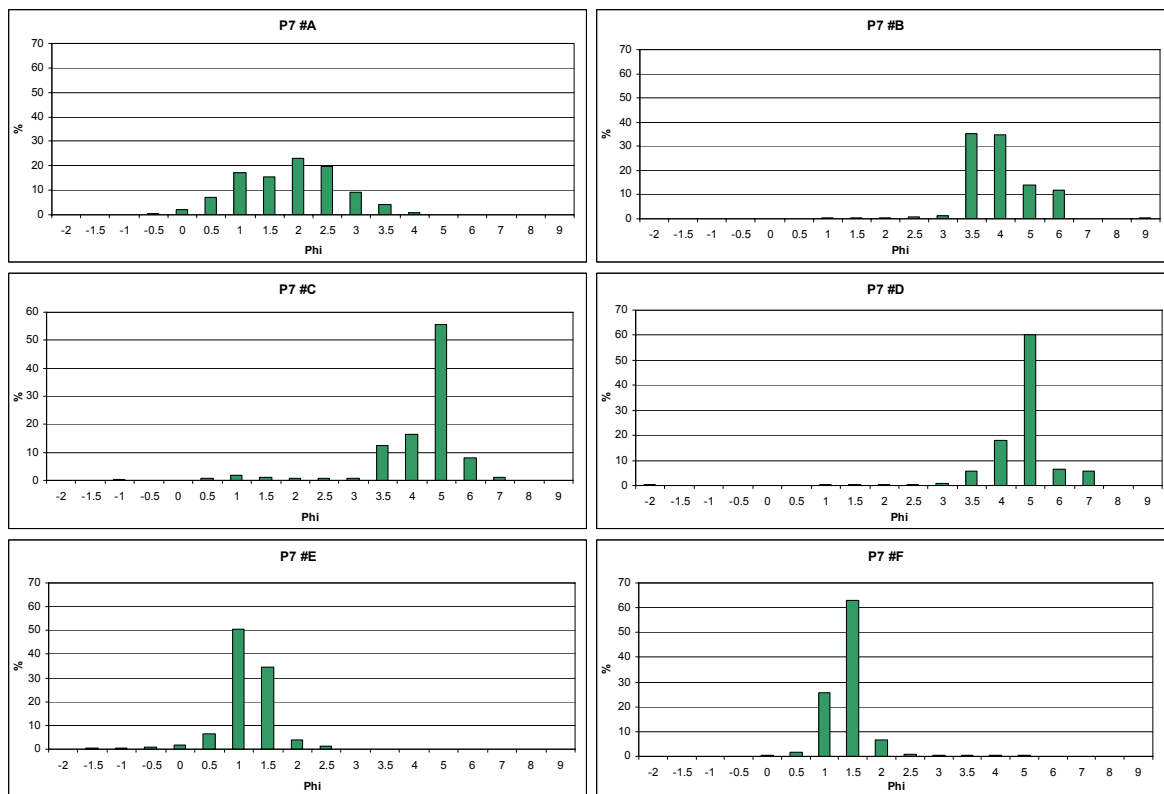


Figura 6.1.1-8: Histogramas dos sedimentos do perfil 7.

Tabela 6.1.1-2: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P8.

Phi	P8 #A	P8 #B	P8 #C	P8 #D	P8 #E	P8 #F
-2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055	0.016
-1.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.120	0.000
-1	0.147	0.109	0.022	0.000	0.185	0.060
-0.5	0.566	0.000	0.000	0.024	0.262	0.203
0	7.015	0.060	0.044	0.024	1.959	0.610
0.5	36.147	0.088	0.127	0.016	13.978	1.906
1	32.645	0.139	0.277	0.024	56.275	9.476
1.5	10.506	0.148	0.220	0.020	22.967	26.253
2	7.429	0.163	0.242	0.038	2.686	29.866
2.5	3.849	0.231	0.443	0.083	0.994	23.293
3	1.132	0.315	0.389	0.137	0.264	6.916
3.5	0.478	2.582	2.010	1.235	0.124	1.080
4	0.078	10.456	13.066	9.075	0.069	0.189
5	0.008	74.566	75.739	76.232	0.061	0.132
6	0.000	10.392	6.766	12.286	0.000	0.000
7	0.000	0.536	0.655	0.705	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.214	0.000	0.101	0.000	0.000

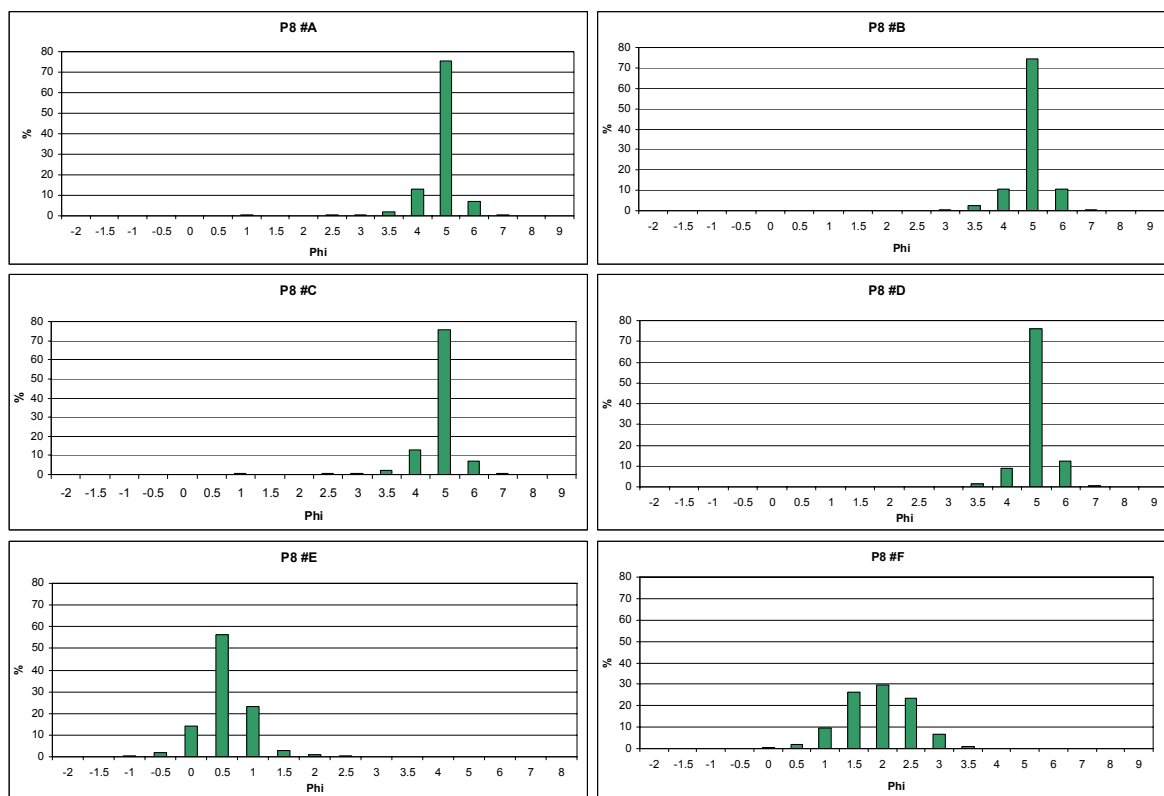


Figura 6.1.1-9: Histogramas dos sedimentos do perfil 8.

No perfil 9, percebe-se o crescimento da região do pós-praia, devido ao acúmulo de sedimentos transportados pela corrente longitudinal, assim como observado no perfil 6. A face da praia apresentou a maior declividade de toda a área levantada (1:3). Na porção da antepraia, observa-se uma declividade suave e contínua até o final do perfil monitorado (Figura 6.1.1-13). A distribuição sedimentológica variou um pouco em relação aos demais perfis situados neste setor. Nota-se um acúmulo maior de sedimentos lamosos na porção da antepraia, ficando os sedimentos médios e grossos restritos à face da praia e ao final do perfil, respectivamente (Figura 6.1.1-11 e Tabela 6.1.1-3).

Tabela 6.1.1-3: Percentual retido em cada fração granulométrica ao longo das estações inseridas sobre o perfil P9.

Phi	P9 #A	P9 #B	P9 #C	P9 #D	P9 #E	P9 #F
-2	0.000	0.000	0.163	0.000	0.000	0.232
-1.5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.170
-1	0.125	0.000	0.024	0.046	0.000	0.633
-0.5	0.205	0.015	0.036	0.000	0.037	9.071
0	0.504	0.017	0.307	0.027	0.082	26.781
0.5	2.578	0.067	1.199	0.015	0.074	29.474
1	15.312	0.184	1.871	0.012	0.102	30.228
1.5	24.849	0.178	0.866	0.039	0.091	2.801
2	32.170	0.165	0.593	0.058	0.091	0.166
2.5	18.865	0.341	0.575	0.112	0.115	0.104
3	4.252	0.521	0.422	0.120	0.208	0.064
3.5	1.033	17.422	2.210	0.691	1.866	0.060
4	0.096	40.939	12.672	3.651	13.687	0.112
5	0.012	28.650	67.610	29.814	68.587	0.104
6	0.000	10.456	11.051	14.955	14.086	0.000
7	0.000	0.941	0.402	50.268	0.867	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.105	0.000	0.193	0.108	0.000

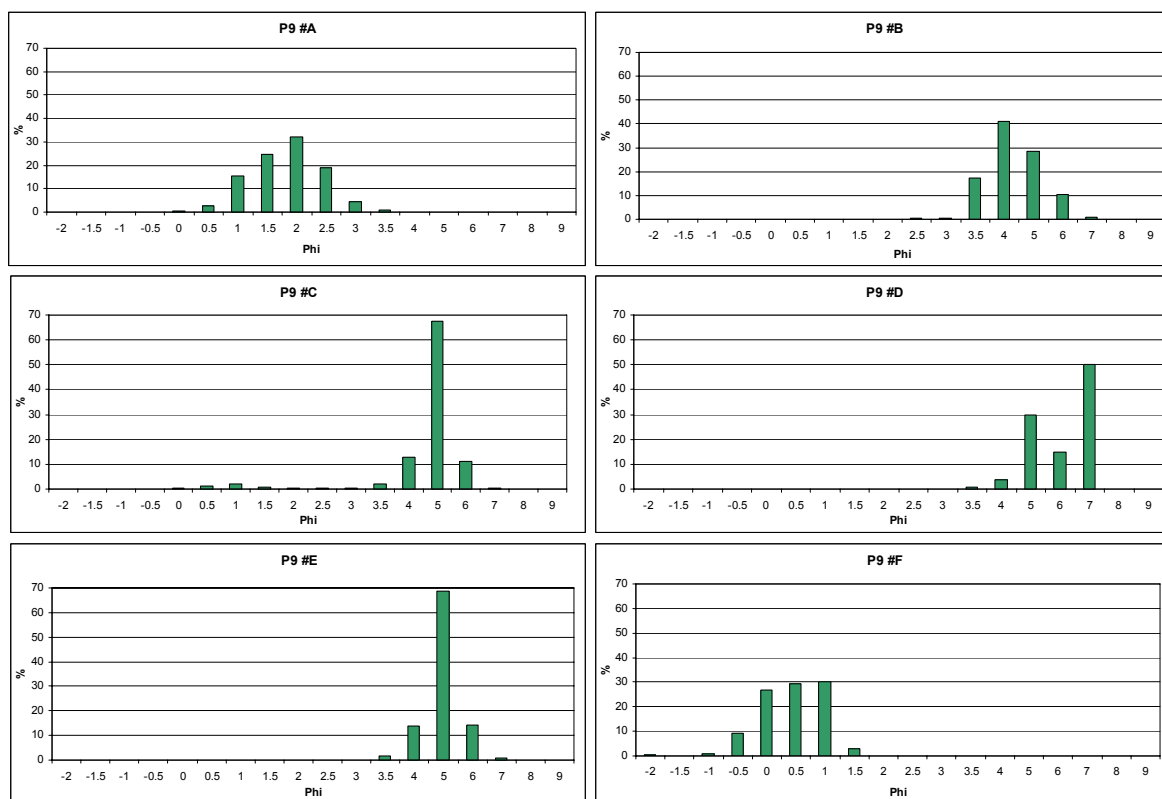


Figura 6.1.1-10: Histogramas dos sedimentos do perfil 9.

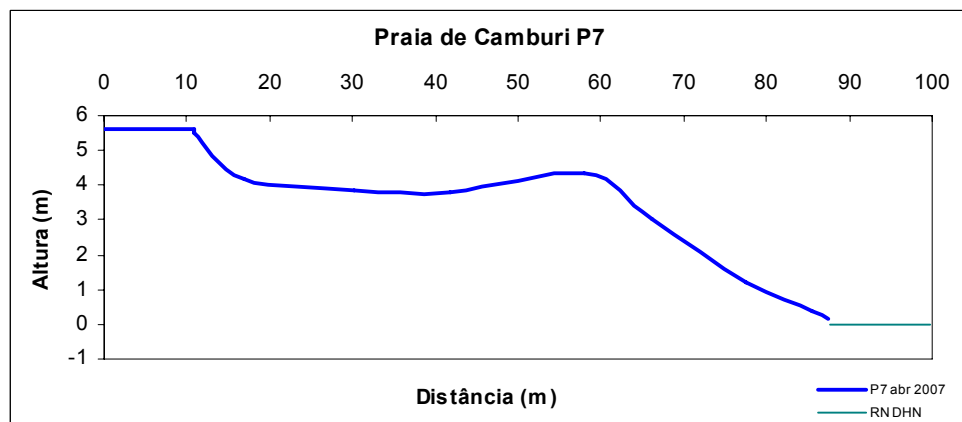
Com base na integração dos dados de perfil e sedimentos, percebe-se que a declividade elevada da porção da face da praia está associada à presença dos sedimentos essencialmente arenosos, enquanto a forma plana da porção submersa está ligada à presença de sedimentos lamosos.

A Tabela 6.1.1-4 apresenta os resultados do uso da equação de Wright e Short (1984), os dados de onda utilizados foram coletados a partir de análise visual durante o levantamento topográfico dos perfis de praia e a velocidade de decantação foi calculada com base no diâmetro médio dos sedimentos de cada perfil. Nota-se que a análise inicial se confirma e os perfis foram classificados em intermediário a refletivos.

Tabela 6.1.1-4: Parâmetros de classificação da equação de Wright e Short (1984).

Perfil	Altura de Onda (m)	Período da Onda (s)	Sedimentos (Phi)	Vel. Decantação (m/s)	Ω
P7	0.5	7.7	2.70	0.032	2.03
P8	0.6	7.6	2.60	0.031	2.55
P9	0.5	7.9	3.40	0.022	2.88

PERFIL P7 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA



PERFIL P7 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA

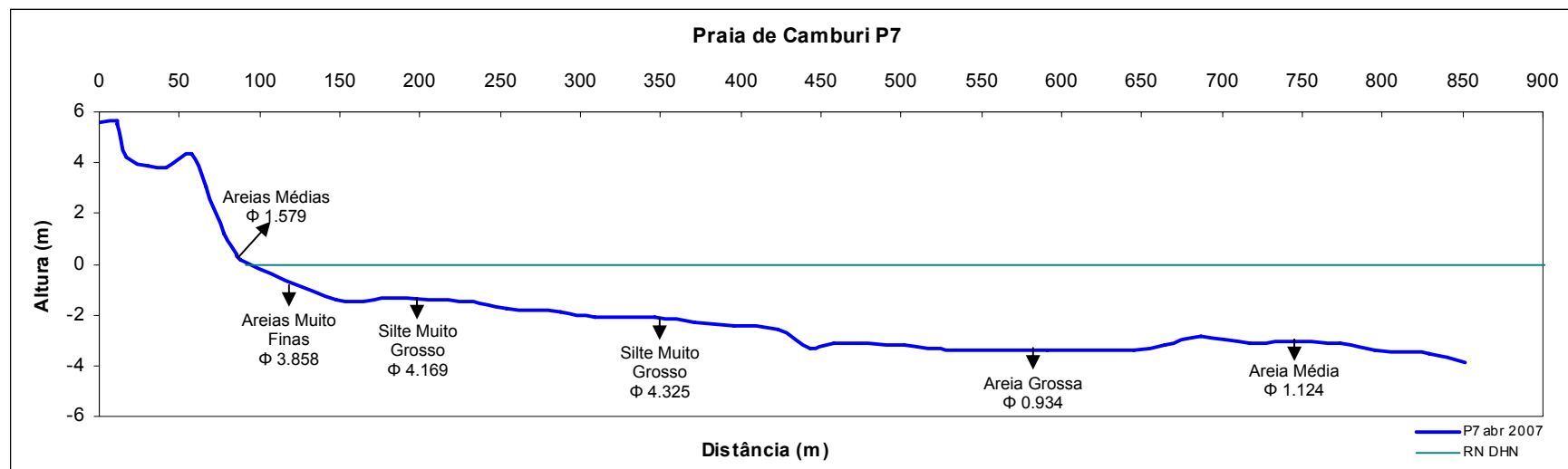
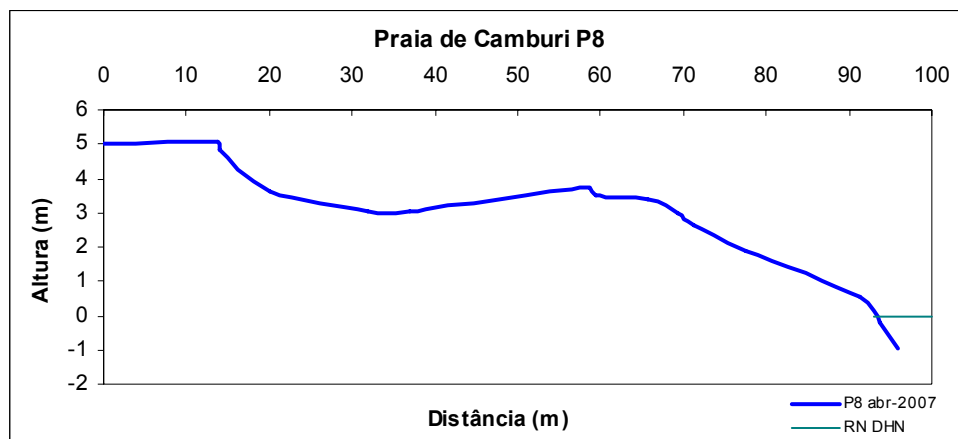


Figura 6.1.1-11: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 7.

PERFIL P8 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA



PERFIL P8 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA

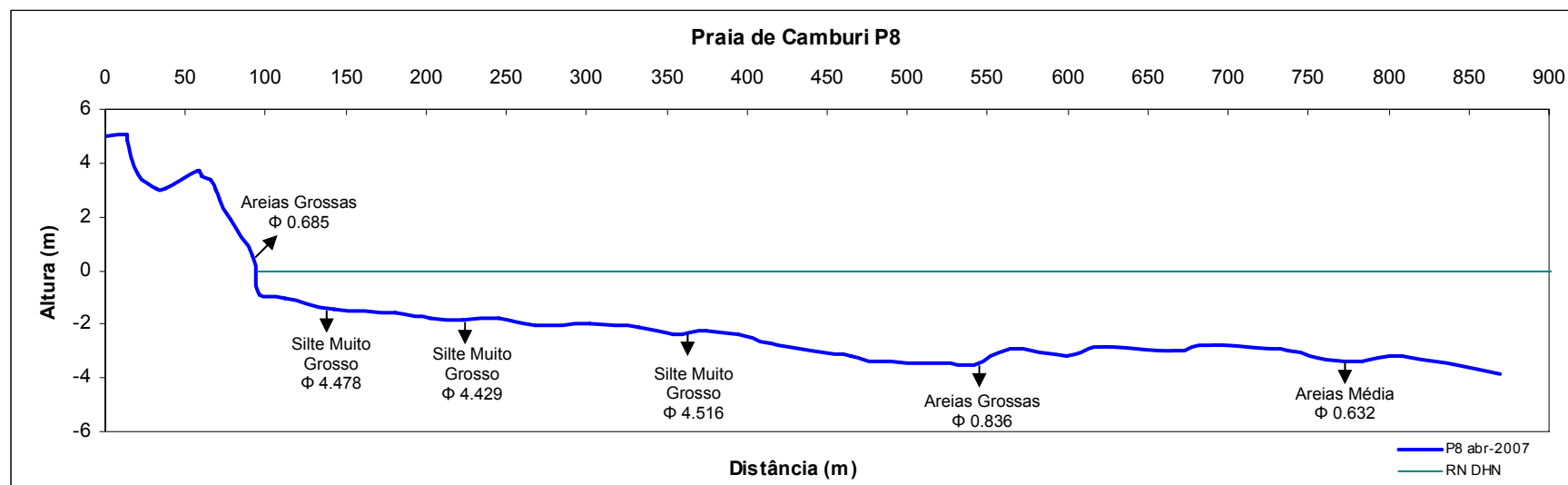
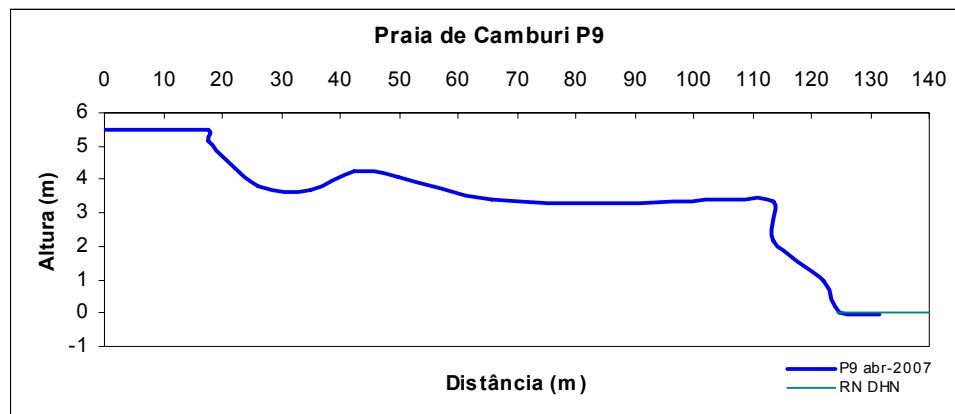


Figura 6.1.1-12: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 8.

PERFIL P9 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA



PERFIL P9 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA

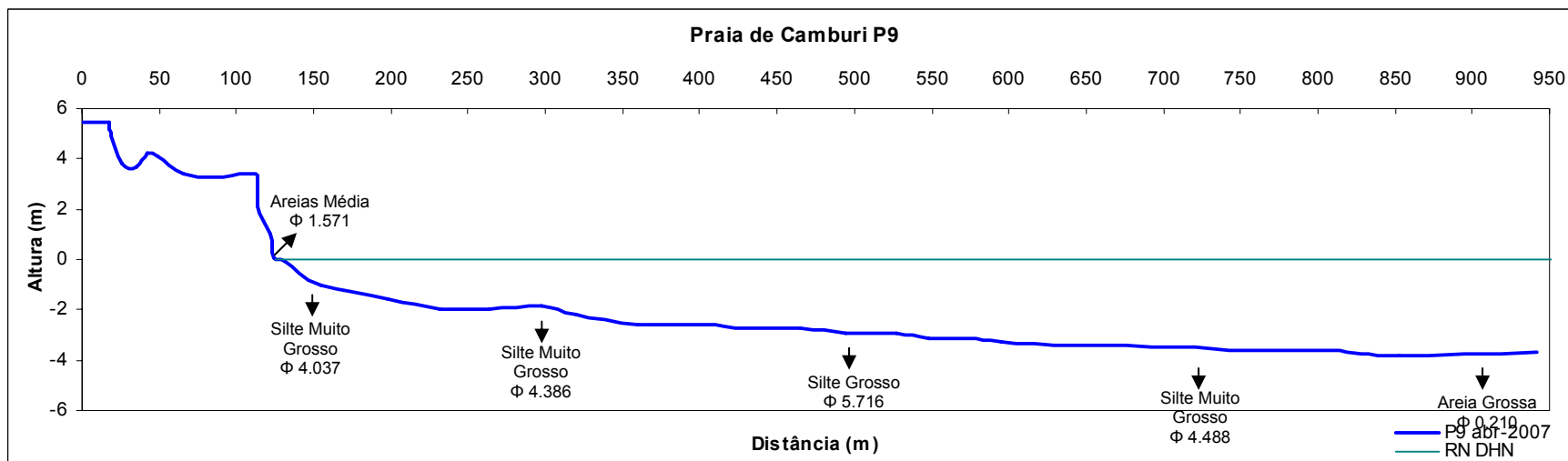


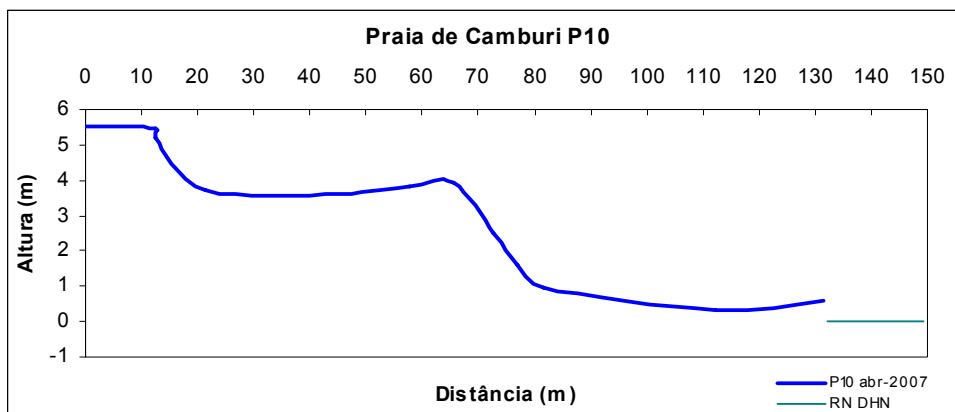
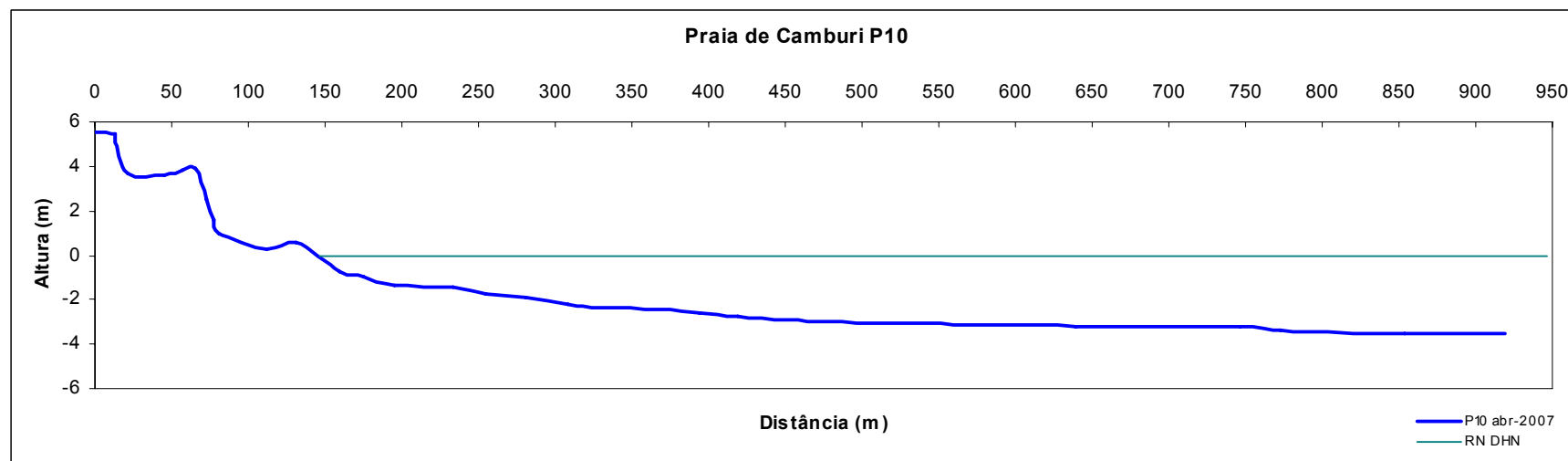
Figura 6.1.1-13: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 9.

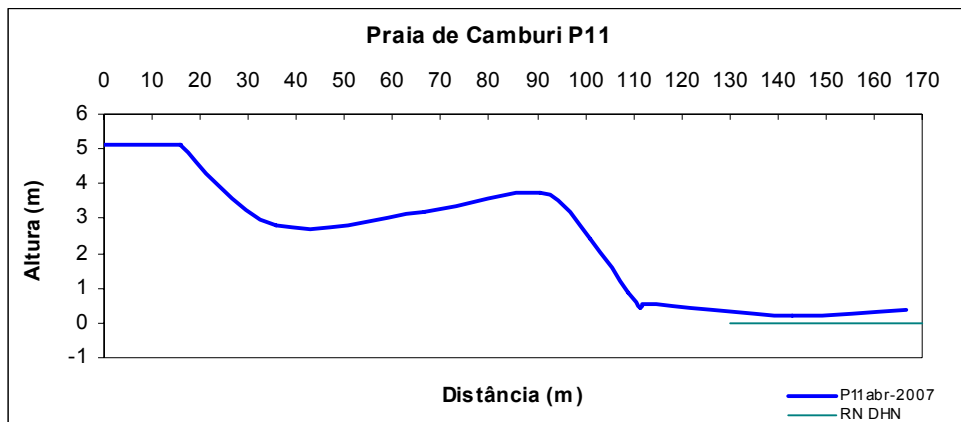
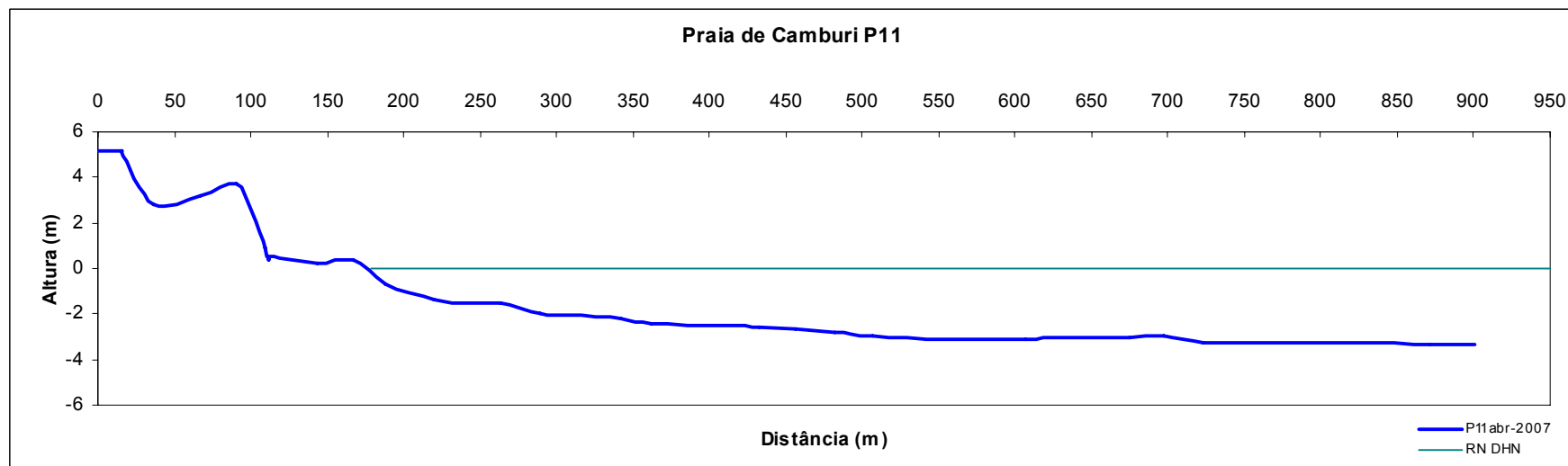
- **Setor 3 (Perfis 10 a 13)**

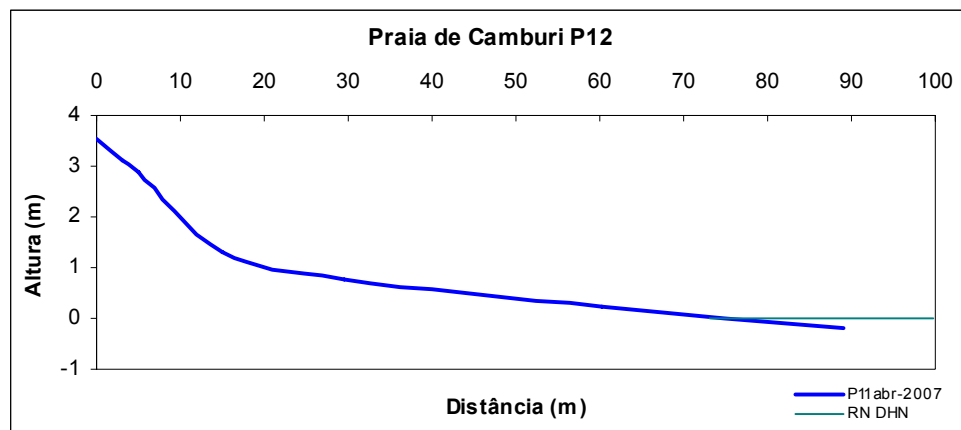
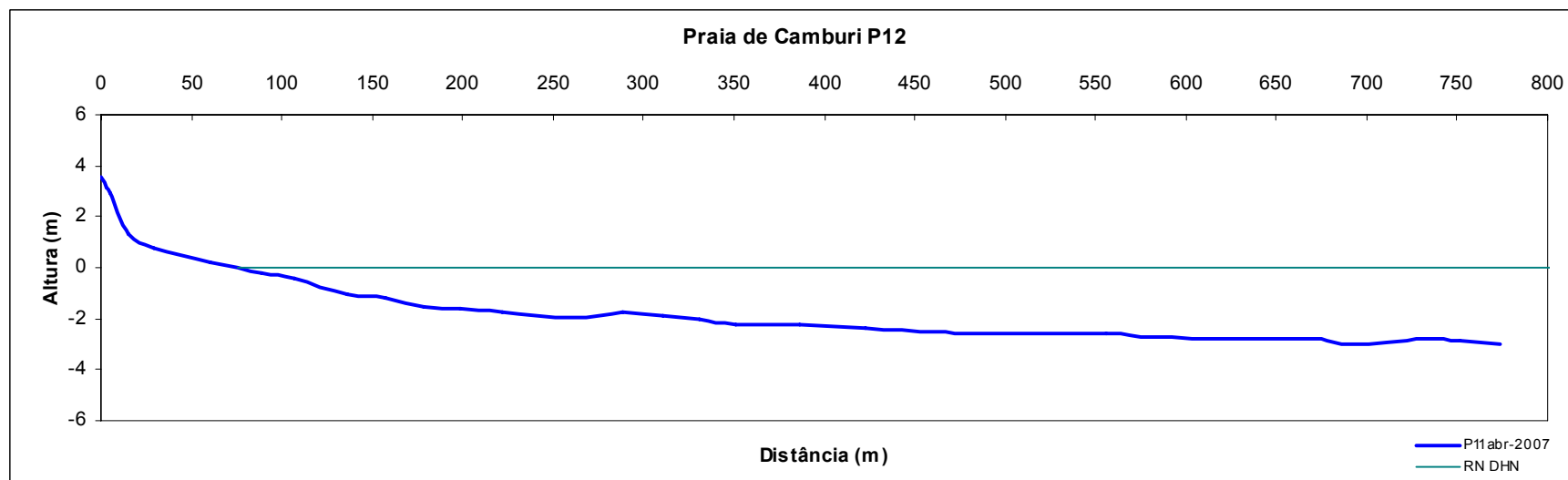
Os quatro perfis inseridos no setor 3 podem ser divididos em dois grupos, um engloba os perfis P10 e P11, localizados no extremo norte do setor e que recebem fortes influências da energia das ondas de sudeste e os perfis P12 e P13 que praticamente não apresentam feições e pouca influência hidrodinâmica (Figuras 6.1.1-14 a 6.1.1-17).

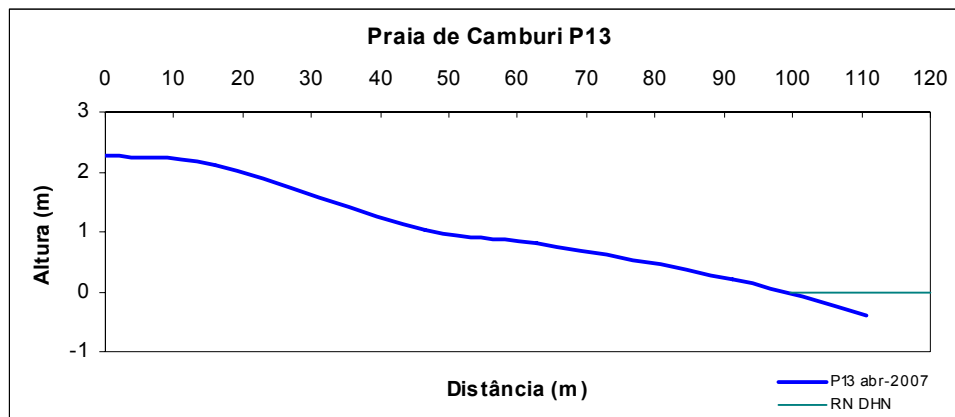
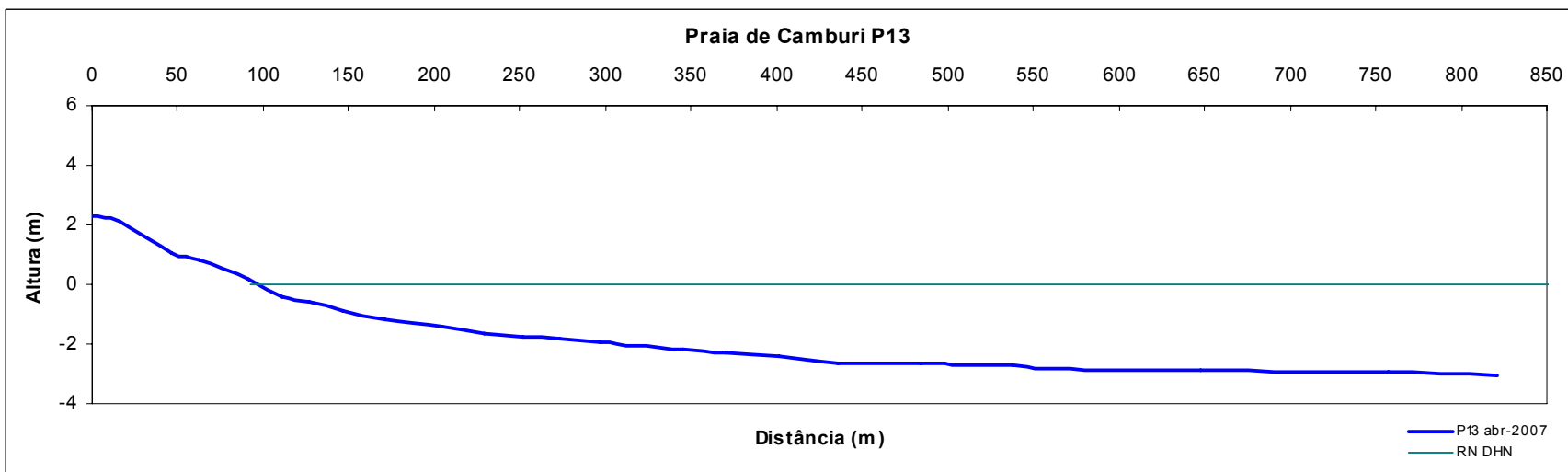
Os perfis P10 e P11 apresentam a berma bem desenvolvido e um acúmulo de sedimentos próximos ao máximo recuo; na porção submersa praticamente não há variações entre os dois perfis, que se caracterizam pela declividade suave e a antepraia inferior plana.

Os perfis P12 e P13 apresentam pequena extensão do pós-praia e baixa declividade da porção emersa. Na região submersa não se observa nenhuma feição.

PERFIL P10 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P10 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-14: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 10.**

PERFIL P11 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P11 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-15: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 11.**

PERFIL P12 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P12 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-16: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 12.**

PERFIL P13 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO EMERSA**PERFIL P13 PRAIA DE CAMBURI, PORÇÃO SUBMERSA****Figura 6.1.1-17: Setor 2 da praia de Camburi, Perfil 13.**

6.1.2 Batimetria da baía do Espírito Santo

O fundo da baía do Espírito Santo apresenta feições morfológicas de fundo naturais e antropogênicas que promovem certa heterogeneidade ao longo de sua extensão. As feições naturais se destacam por promover elevações ao longo do fundo. A feição mais característica e conhecida, principalmente por comandantes de embarcações, é a barreira que se encontra na porção central da baía e se estende de norte a sul, formando uma espécie de barreira, que colabora, em conjunto com o promontório rochoso no sul e o Porto de Tubarão, para os processos de refração das ondas. As feições antropogênicas são o canal de acesso e a bacia de evolução do Porto de Tubarão, ambos construídos para permitir a navegação segura das embarcações que seguem para o porto. Nessas feições são encontradas as maiores profundidades (em torno de 24 metros) (Figura 6.1.2-1).

Na região próxima à linha de costa, a profundidade é relativamente rasa e não apresenta variações significativas. No extremo norte, observa-se a existência de elevações que afloram em períodos de maré baixa e são constituídas por rochas lateríticas que, devido a sua configuração, propiciam a formação de locais com grande quantidade de organismos bentônicos.

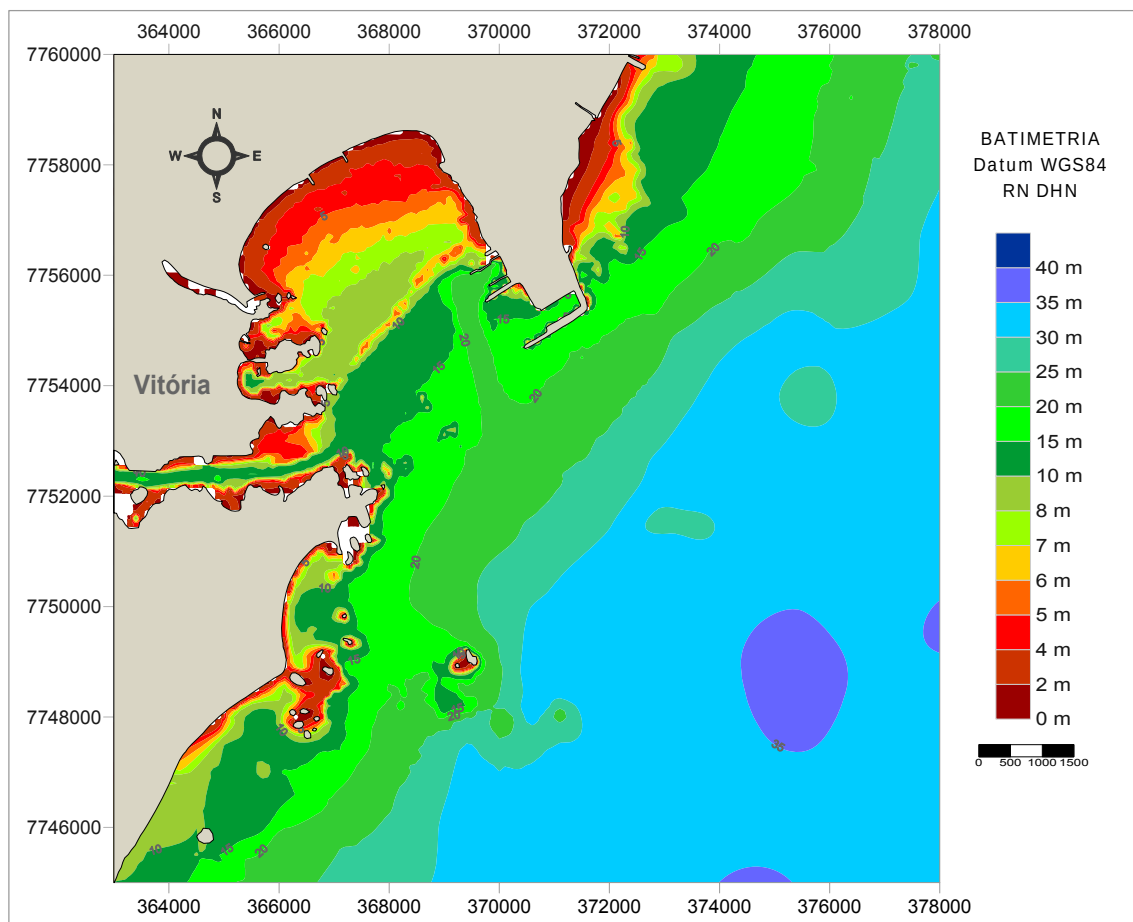


Figura 6.1.2-1: Batimetria da baía do Espírito Santo.

6.1.3 Características Oceanográficas

Devido a sua morfologia, a baía do Espírito Santo apresenta um complexo sistema hidrodinâmico, resultante da interação de processos refletivos e refrativos. Por esse motivo, a análise dos dados foi realizada separando os dados externos à baía (sem efeitos) e os dados internos da baía (com efeitos).

6.1.3.1 Porção Externa à baía

Na porção externa à baía, observa-se a chegada de ondas (de ventos e swell) sem a influência de estruturas geológicas e antrópicas. Os dados, obtidos durante os 10 dias de levantamento, permitiram a elaboração de uma análise prévia das características oceanográficas desta porção.

Na Tabela 6.1.3.1-1, é apresentada uma análise estatística dos dados, de forma a resumir e simplificar a análise da série temporal de dados. Os registros indicaram a predominância de ondas de tempo bom de NE-E (59,36%), mas também ocorreram, em menor escala, ondas de SE-S (33,47%).

Tabela 6.1.3.1-1: Frequência de direção das ondas na porção externa da baía do Espírito Santo.

Frequência de Direção das Ondas (ADCP)			
	Direção	Ocorrências	Percentual
Norte	0	2	0.80
Nordeste	45	39	15.54
Leste	90	110	43.82
Sudeste	135	45	17.93
Sul	180	39	15.54
Sudoeste	225	4	1.59
Oeste	270	5	1.99
Noroeste	315	7	2.79

As Figuras 6.1.3.1-1 (a e b) apresentam os histogramas do percentual de ocorrência da altura e do período das ondas na porção externa da baía. Em relação à altura, foram registradas ondas com altura significativa de 0,7 a 2 metros, sendo a maior ocorrência na altura de 1,1 a 1,3 metros (41,6%). O período apresentou maior variação (5 a <14 segundos), os registros se concentram em dois períodos preferenciais, entre 8 e 9 s com 27,8% e entre 12 e 14 s com 17,6%.

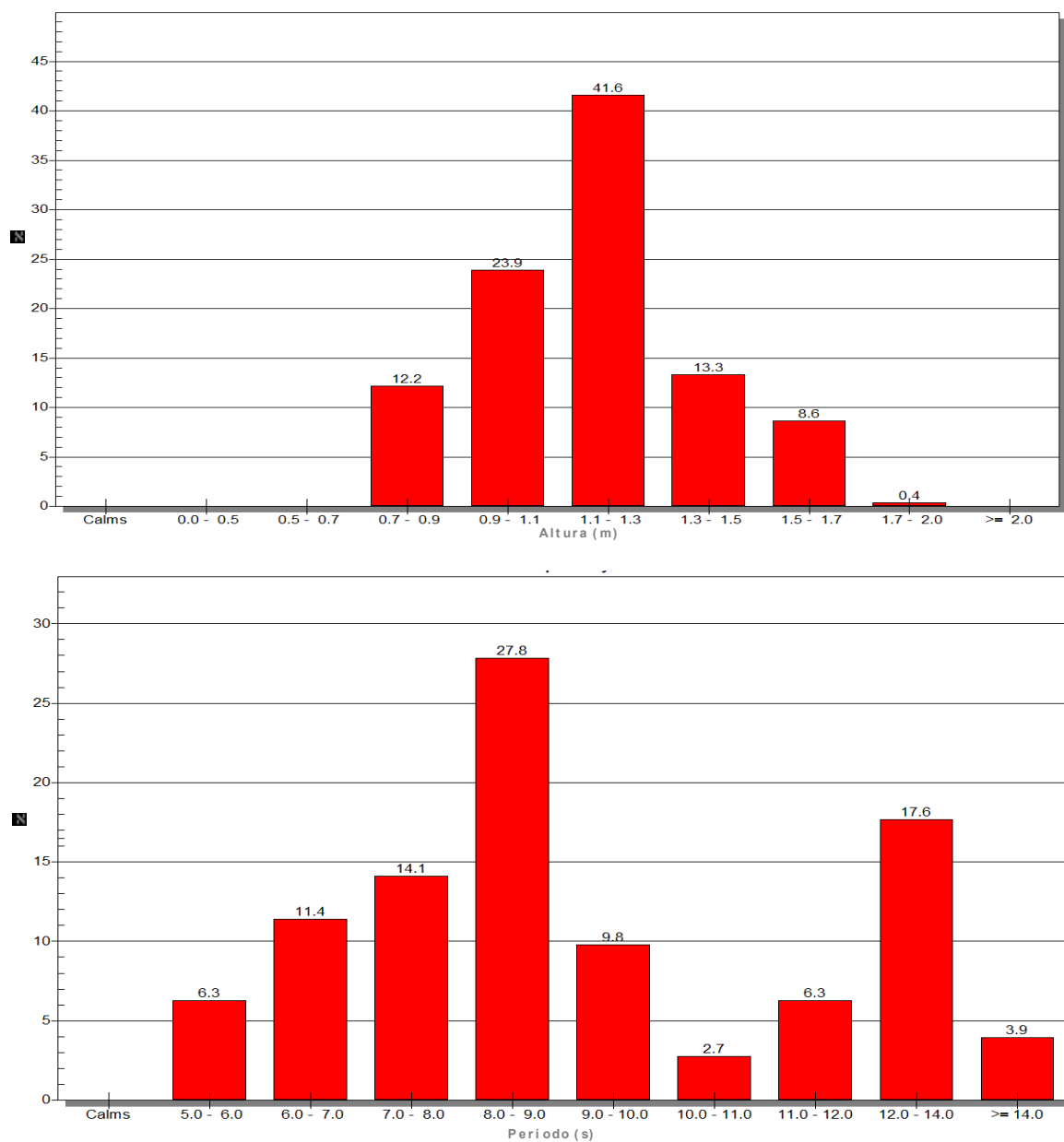


Figura 6.1.3.1-1: Histograma das ondas monitoradas na porção externa da baía do Espírito Santo.

A Figura 6.1.3.1-2 mostra a distribuição da altura significativa por direção e do período por direção.

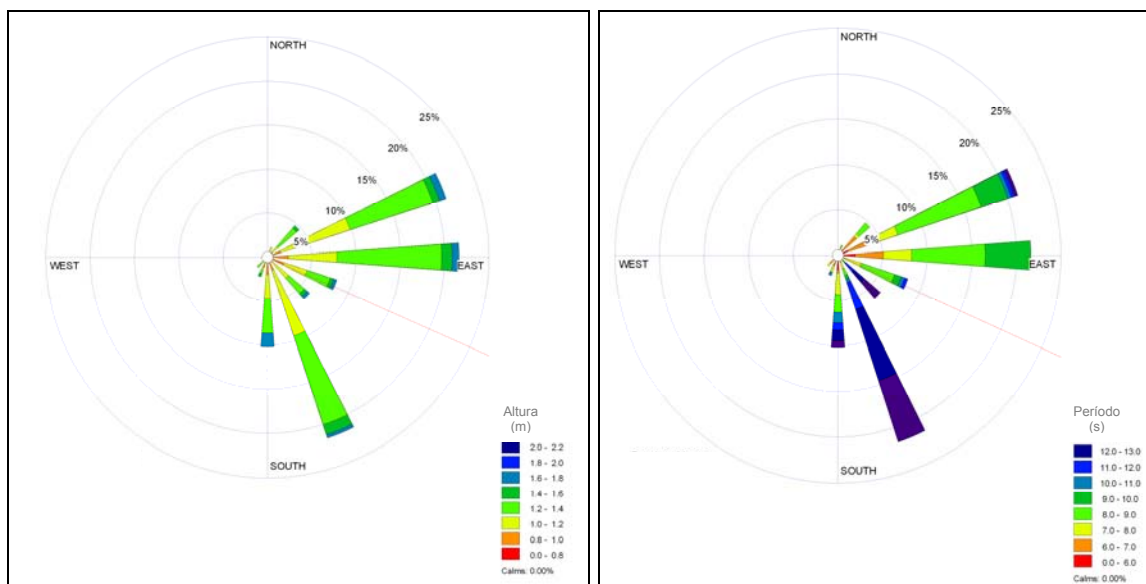


Figura 6.1.3.1-2: Rosa de ondas monitoradas na porção externa da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).

Percebe-se que os dois padrões preferenciais de ondas (NE-E e SE-S), não apresentaram diferenças na altura significativa, mas sim diferenças no período. As ondas de NE-E apresentam períodos entre 6 e 9 segundos, indicando presença de ondas geradas pelo o vento e de mar aberto, enquanto as ondas de SE-S se caracterizaram pela a entrada de swell, que são ondas de tempestades geradas em mar aberto e com período elevado. Isso demonstra que as ondas de nordeste, mesmo sendo geradas pelo vento apresentam energia semelhante às ondas de sudeste, provocadas por eventos de tempestade.

A Figura 6.1.3.1-3 apresenta os dados de altura e período no tempo e indica a entrada de dois períodos de frente fria (vermelho). Nota-se também que as ondas de pequeno período, registradas no final do levantamento, foram responsáveis pela ocorrência das maiores ondas (azul).

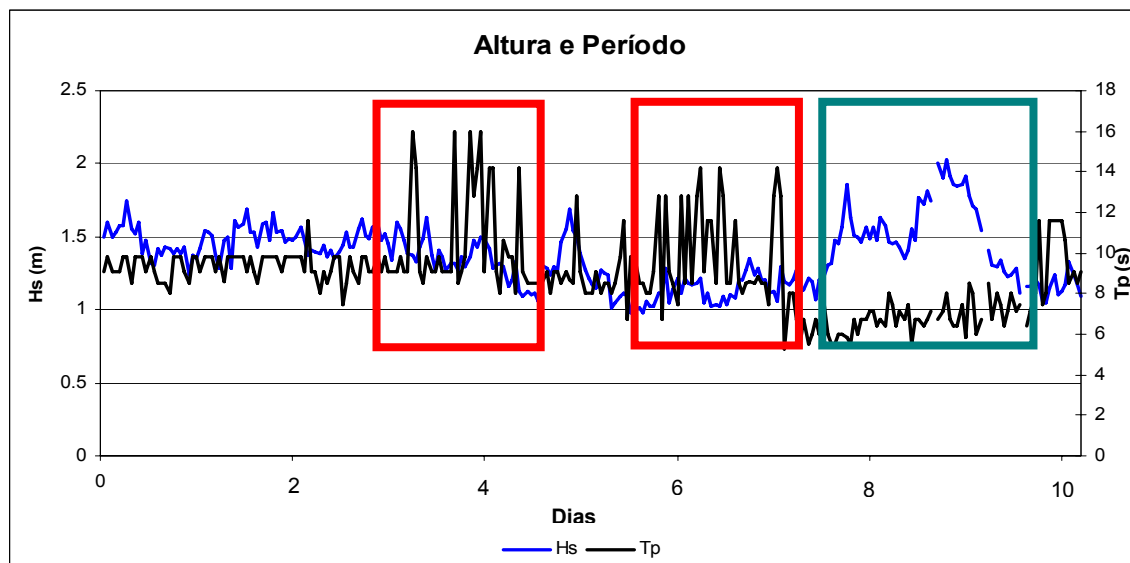


Figura 6.1.3.1-3: Altura e período plotados no tempo.

Com relação à maré, mesmo com o pequeno período de dados, observa-se que durante o levantamento foi registrado um evento de sizígia completo. Pode-se notar que a amplitude máxima registrada foi de aproximadamente 1,4 m (Figura 6.1.3.1-4). Percebe-se que os registros foram bastante uniformes e não é possível identificar efeitos de elevação do nível da água devido a tempestades, fato esperado por se tratar de um local aberto.

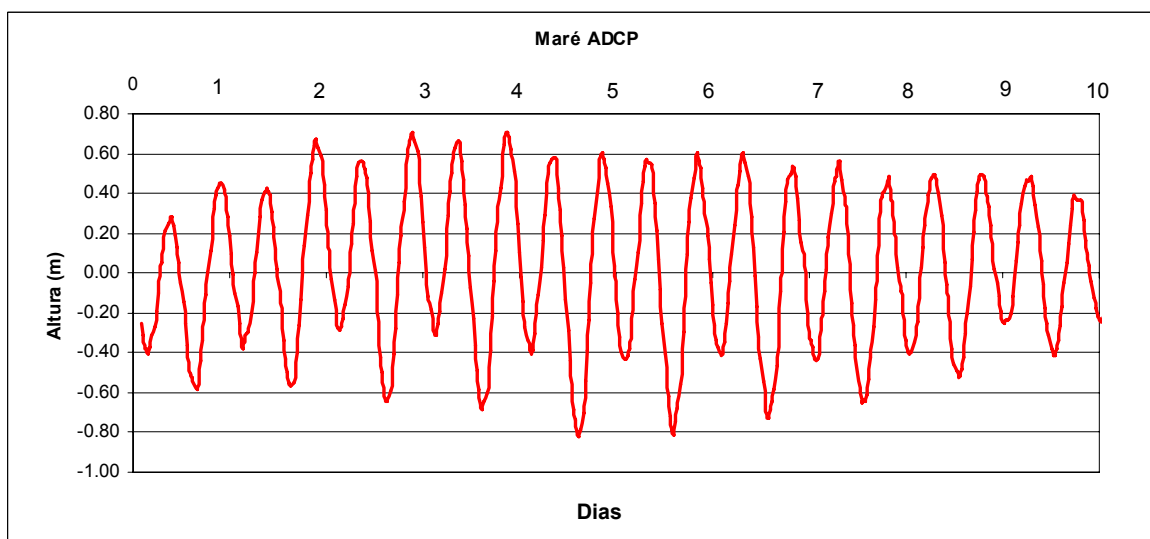


Figura 6.1.3.1-4: Registro de maré na porção externa da baía do Espírito Santo.

6.1.3.2 Porção Interna da baía

Na porção interna da baía, observa-se a chegada de ondas com a influência de estruturas geológicas e antrópicas. Os dados, obtidos durante os 30 dias de levantamento, permitiram a elaboração de uma análise das características oceanográficas desta porção.

Na Tabela 6.1.3.2-1, é apresentada uma análise estatística dos dados, de forma a resumir e simplificar a análise da série temporal de dados. Os registros indicaram a dominância de ondas do quadrante sul (SE-9,31%, S-89,65% e SO-1,05%), ocasionado pela refração das ondas que entram na baía do Espírito Santo.

Tabela 6.1.3.2-1: Freqüência de direção das ondas na porção interna da baía do Espírito Santo.

Freqüência de Direção das Ondas (Ondógrafo)			
	Direção	Ocorrências	Percentual
Norte	0	0	0.00
Nordeste	45	0	0.00
Leste	90	0	0.00
Sudeste	135	71	9.31
Sul	180	684	89.65
Sudoeste	225	8	1.05
Oeste	270	0	0.00
Noroeste	315	0	0.00

As Figuras 6.1.3.2-1 (a e b) apresentam os histogramas do percentual de ocorrência da altura e do período das ondas na porção interna da baía. Com relação ao tamanho, foram registradas ondas com altura significativa de 0,3 a 2 metros, sendo a maior ocorrência na altura de 0.5 a 0.7 metros (34,8%). O período apresentou variação (6 a <14 segundos), sendo que os registros se concentram em uma faixa de período preferencial, entre 12 e 14 s com 33,6%.

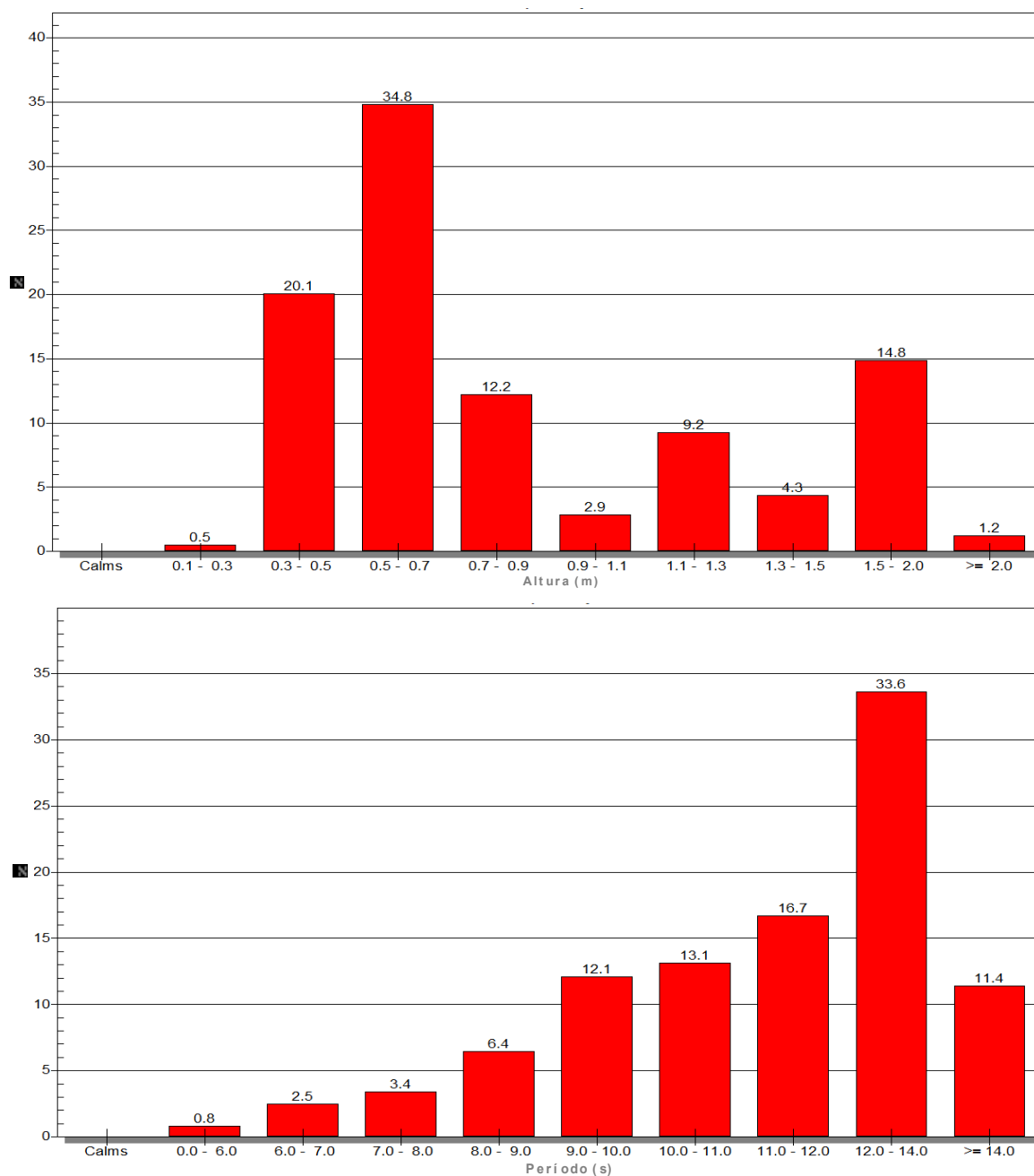


Figura 6.1.3.2-1: Histograma das ondas monitoradas na porção interna da baía do Espírito Santo.

A Figura 6.1.3.2-2 mostra a distribuição da altura significativa por direção e do período por direção.

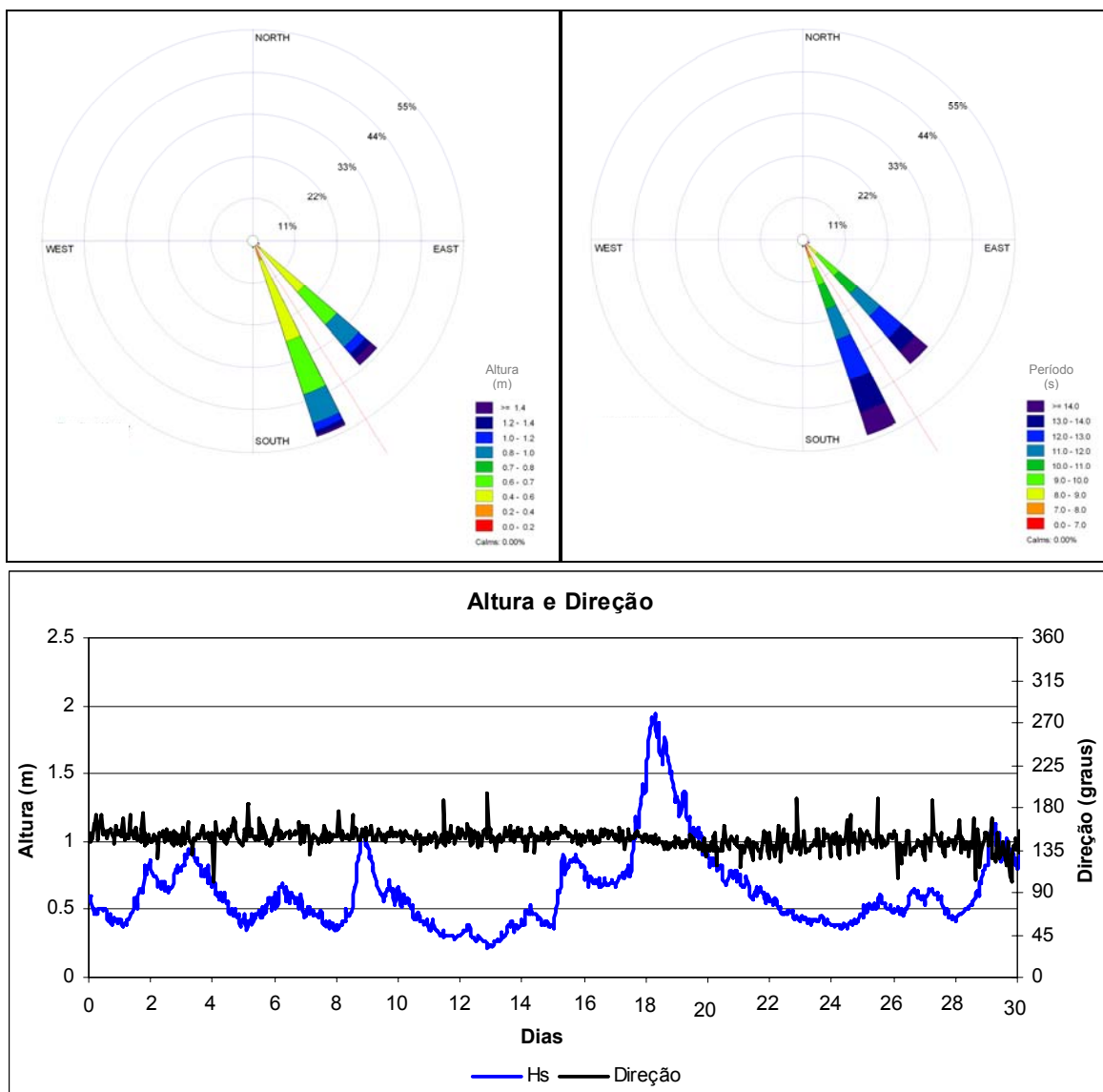


Figura 6.1.3.2-2: Rosa de ondas monitoradas e a variação da altura e direção das ondas na porção interna da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).

Os processos de refração e difração, que ocorrem sobre as ondas na entrada da baía, promovem o realinhamento das ondas que chegam à costa somente do quadrante sul (Figura 6.1.3.2-2). Além da variação na direção das ondas, os processos ocorrentes na entrada da baía promovem a diminuição da altura significativa das ondas, uma vez que grande quantidade de energia é dissipada no percurso até a arrebentação. Mesmo com ondas menores, em relação à região externa, as alturas máximas medidas pelo equipamento são relativamente altas e chegaram até 3 metros (Figura 6.1.3.2-3).

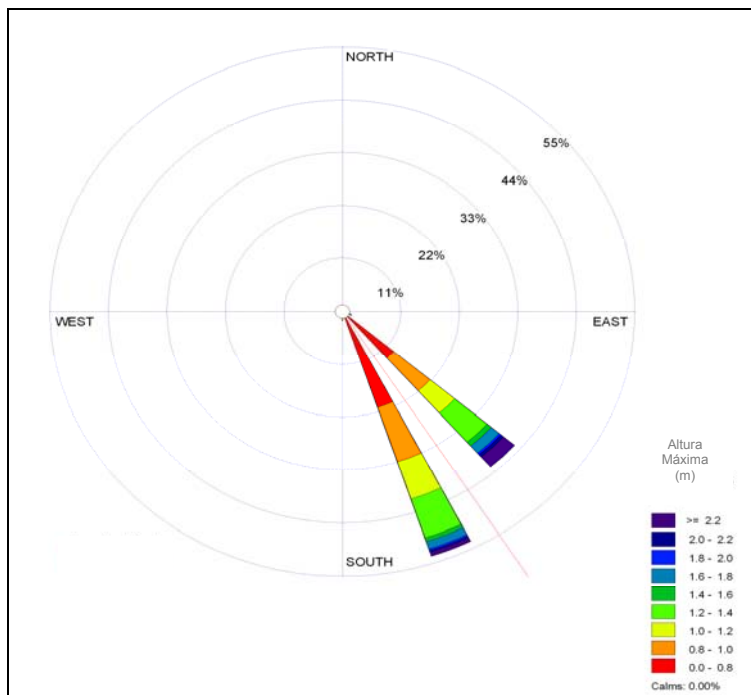


Figura 6.1.3.2-3: Altura máxima das ondas monitoradas na porção interna da baía do Espírito Santo (Norte Verdadeiro).

A Figura 6.1.3.2-4 mostra que, ao longo do mês monitorado, a diferença média entre a altura significativa e a altura máxima encontra-se em torno de 0,5 metros, mas com momentos em que a diferença chegou a aproximadamente 1,2 metros (vermelho).

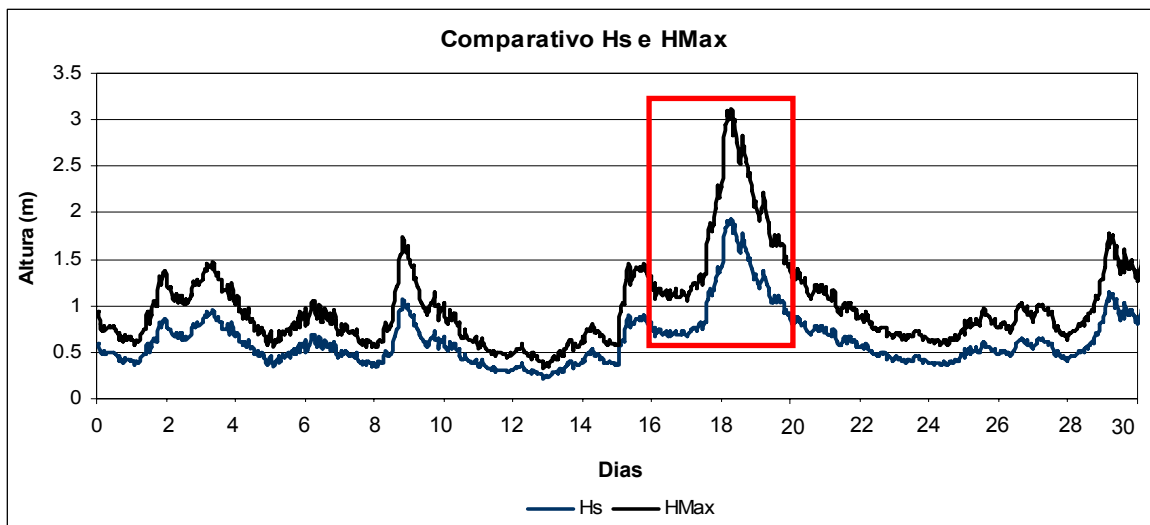


Figura 6.1.3.2-4: Comparativo entre a altura significativa e a altura máxima na porção interna da baía do Espírito Santo.

Com relação ao período, nota-se que as menores alturas de ondas estão relacionadas aos períodos mais elevados (entre 9 e 10 segundos) e em dois eventos, com ondas maiores, observou-se a diminuição do período para aproximadamente 6 segundos (azul), indicando que as ondas de maior energia no interior da baía são provocadas por ventos (Figura 6.1.3.1-5).

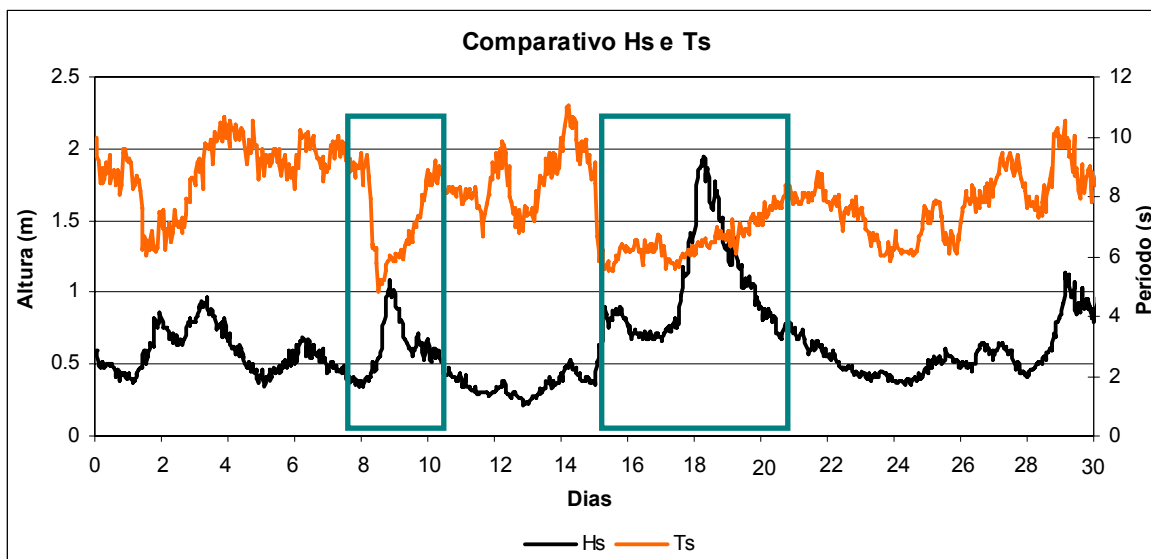


Figura 6.1.3.2-5: Relação altura significativa e o período das ondas no interior da baía.

O levantamento dos dados de maré na porção interna da baía do Espírito Santo permitiu a análise do comportamento de dois períodos de sizígia e dois períodos de quadratura. As amplitudes da onda de maré durante a sizígia foram de aproximadamente 1,3 metros, enquanto na quadratura essa amplitude caiu para 0,7 metros (Figura 6.1.3.2-6).

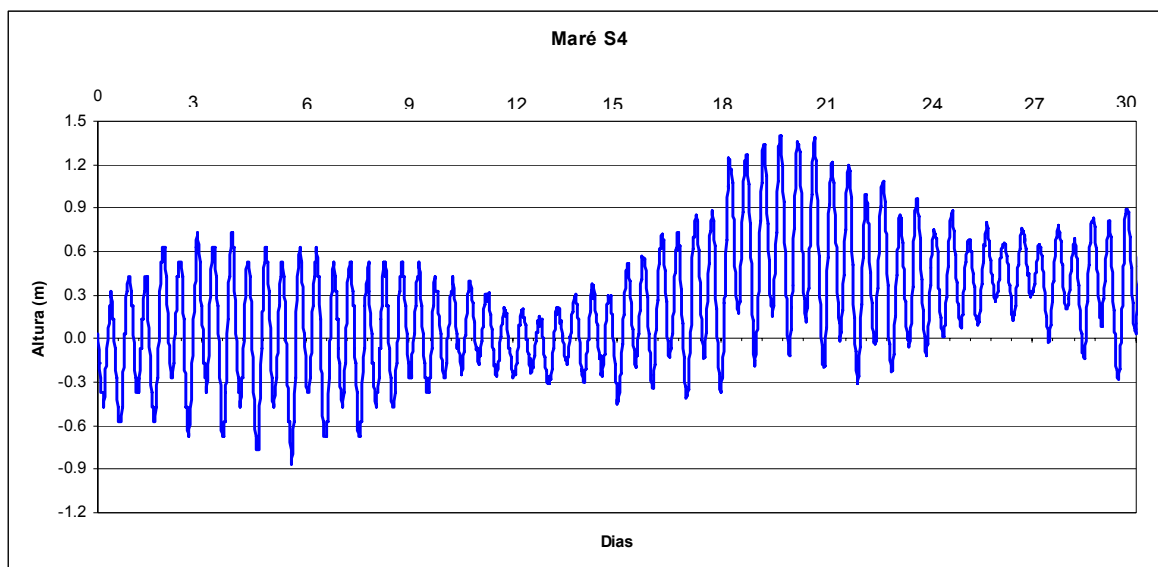


Figura 6.1.3.2-6: Registro de maré no interior da baía.

Devido ao maior tempo de coleta de dados, foi possível o registro de um evento extra maré astronômica. A elevação no nível de água, registrado no final do levantamento, pode ter sido provocada pelo acúmulo de água no interior da baía em um evento de maior energia, uma vez que não foram registrados alterações no equipamento. A Figura 6.1.3.2-7 permite uma análise mais detalhada desse evento, que proporcionou uma elevação de aproximadamente 0.4 metros no nível de água. Percebe-se que esse evento ocorreu após um período de ondas de longo período (swell) e que atingiu seu auge com a chegada das maiores ondas registradas e provocadas por ventos (período de 6 segundos). Logo, esse evento foi uma integração de forçantes, das quais se citam, maré de sizígia, ondas altas, ventos fortes e condição geográfica favorável.

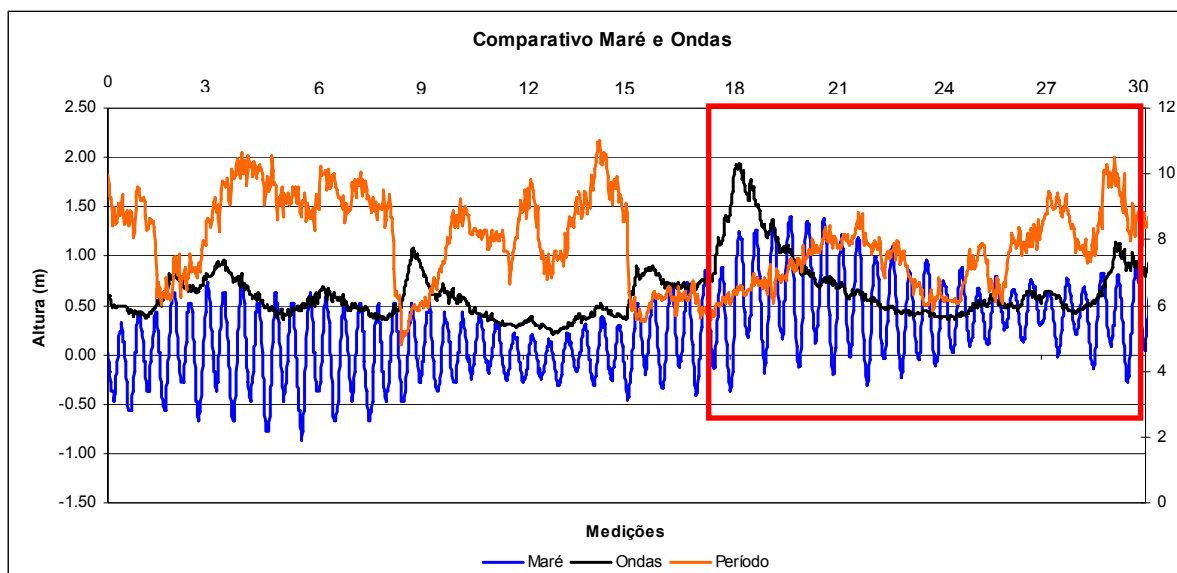


Figura 6.1.3.2-7: Elevação do nível de água no interior da baía.

6.2 Análise das Equações de Perfil de Equilíbrio

6.2.1 Modelo Dean 1977

Em seus estudos, Dean (1977) demonstrou que o expoente da equação de perfil de equilíbrio, que representa as praias intermediárias a refletivas, apresenta o valor de $2/3$, sendo este valor considerado nas simulações que se seguem. Para o cálculo do parâmetro de forma A , foi utilizado o tamanho de sedimentos médios ao longo de cada perfil conforme apresentado na Tabela 6.2.1-1.

Tabela 6.2.1-1: Dados utilizados para o cálculo do parâmetro de forma A .

Perfis	D_{50} (Phi)						Perfil D_{50} (Phi)	Perfil D_{50} Vel. Decantação
	$D_{50}\#A$ (Phi)	$D_{50}\#B$ (Phi)	$D_{50}\#C$ (Phi)	$D_{50}\#D$ (Phi)	$D_{50}\#E$ (Phi)	$D_{50}\#F$ (Phi)		
Perfil 7	1.579	3.858	4.169	4.325	0.934	1.124	2.665	2.97
Perfil 8	0.685	4.478	4.429	4.516	0.836	1.642	2.773	2.97
Perfil 9	1.571	4.037	4.386	5.726	4.488	0.210	3.403	2.80

Os perfis modelados indicam que toda a área, foco desse estudo, está com excesso de sedimentos, principalmente a partir dos 100 metros. Devido à declividade relativamente alta, o modelo indicou equilíbrio no início do perfil, mas ao se distanciar e atingir o depósito de sedimentos lamosos, o perfil real perde declividade e se apresenta plano, o que promoveu o excesso de sedimentos (Figura 6.2.1-1).

Observou-se que, tanto os perfis reais quanto os modelados, apresentam-se bastante semelhantes, uma vez que são submetidos às mesmas condições hidrodinâmicas e características dos sedimentos.

O grande excesso de sedimentos está vinculado à grande variação sedimentar que é observada ao longo do perfil, visto que essa equação considera um único tamanho de sedimento ao longo do perfil.

A partir das análises apresentadas, percebe-se que a equação inicial, formulada por Dean (1977), não representa bem as condições de equilíbrio de praias com variações granulométricas ao longo do perfil e superestima a profundidade devido ao aumento da distância da linha de costa.

Mesmo não representando bem o equilíbrio da região, a equação de Dean (1977), indica que esse setor da praia de Camburi tende a se alterar de forma semelhante ao longo dos seus perfis, devido ao fato de estarem sobre as mesmas condições de hidrodinâmicas e característica sedimentar.

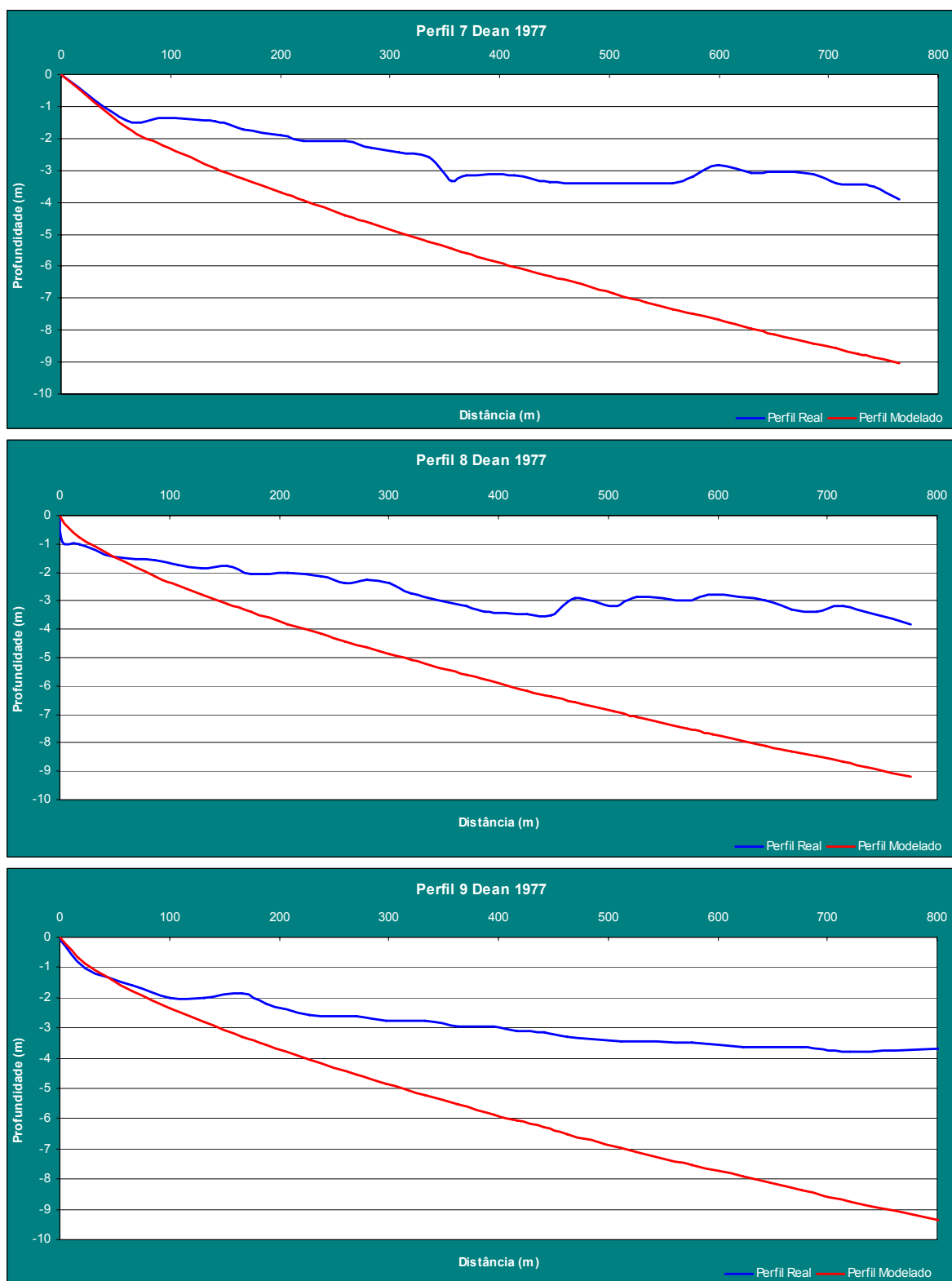


Figura 6.2.1-1: Perfis reais e modelados pela equação de Dean, 1977.

6.2.2 Modelo Dean et al., 1993

O segundo modelo utilizado melhorou a representação do perfil de equilíbrio, pois o parâmetro de forma usado na equação é calculado com base em pontos com mudanças no tamanho dos sedimentos, característica observada em grande parte das praias brasileiras. Para o cálculo do parâmetro de forma A, foi utilizado o tamanho de sedimentos médios ao longo de cada perfil conforme apresentado na Tabela 6.2.2-1.

Tabela 6.2.2-1: Dados utilizados para o cálculo do parâmetro de forma A.

Perfis	D ₅₀ Velocidade de Decantação (cm/s)						Perfil D ₅₀
	#A	#B	#C	#D	#E	#F	
Perfil 7	5.50	2.30	1.30	1.00	7.70	5.20	2.97
Perfil 8	8.50	2.50	2.50	2.50	7.50	5.00	2.97
Perfil 9	4.25	1.80	1.50	1.00	1.40	10.20	2.80
Distância dos Pontos em relação a profundidade zero	0	50	150	400	600	700	

O modelo de Dean e outros (1993) também indicou um excesso de sedimentos ao longo do trecho em estudo, porém com uma magnitude menor que o modelo anterior. Identificou-se que o perfil melhorou a representação da porção com sedimentos mais finos, deixando essa área com menores profundidades, situação já esperada. Na porção final do perfil, onde são encontrados sedimentos mais grossos, a equação também representou os mesmos promovendo o aprofundamento mais severo nesse ponto (Figura 6.2.2-1).

No início do perfil, a equação indicou déficit de sedimentos, devido à presença de sedimentos lamosos próximos aos 150 metros do início do perfil. No perfil 8, esse déficit ficou mais nítido devido à presença de uma calha no máximo recuo da onda, feição essa que o modelo não representa e não leva em consideração. No perfil 9, o déficit de sedimentos também é forte, mas ocasionando a presença de sedimentos lamosos a 50 metros do início do perfil, o que promoveu a elevação do perfil modelado.

Mesmo melhorando a representação do perfil, esse modelo ainda não permite a entrada de dados como os de onda na equação, ficando esse parâmetro restrito a coeficientes de ajustes calculados para praias de outras regiões, o que pode mascarar a verdadeira condição de equilíbrio de uma praia com características diferentes das utilizadas para a calibração dos coeficientes da equação utilizada.

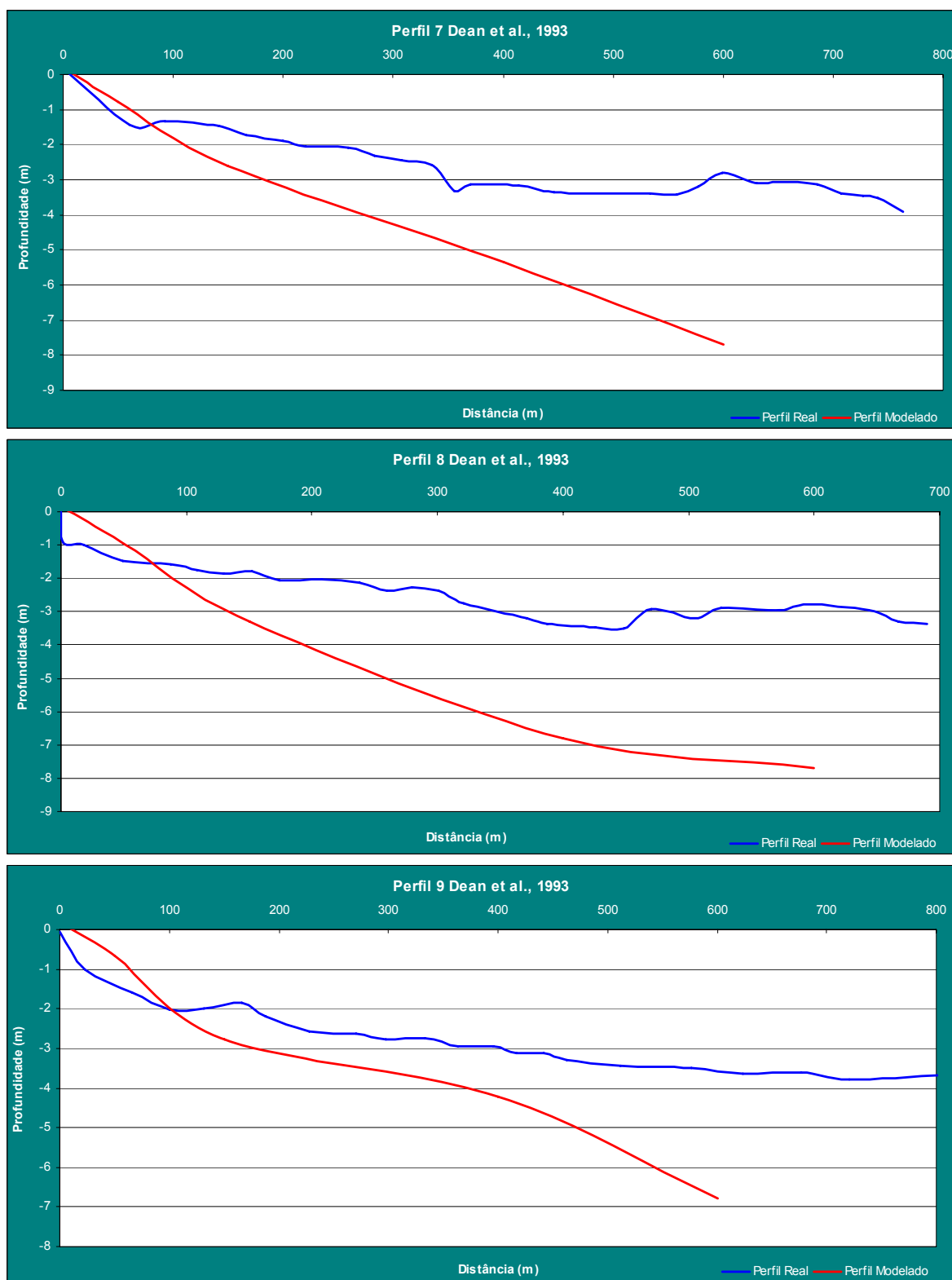


Figura 6.2.2-1: Perfis reais e modelados pela equação de Dean et al., 1993.

6.2.3 Modelo Bernabeu et al., 2002

O modelo de Bernabeu e outros (2002) considera duas regiões ao longo do perfil, a região de empinamento e a de surfe das ondas, devido ao fato de que nessas duas regiões as condições hidrodinâmicas terem características distintas.

Os parâmetros utilizados para a elaboração do perfil de equilíbrio de Bernabeu e outros (2002) são apresentados na Tabela 6.2.3-1.

Tabela 6.2.3-1: Parâmetros utilizados nas equações do modelo de perfil de equilíbrio de Bernabeu et al., 2002.

Perfil	A	B	C	D	Ω Surfe	Ω Emp.	Altura de Onda (m)	Período de Ondas (s)	Vel. Decantação dos Sedimentos D_{50}
7	0.130	1.056	0.111	1.092	0.049	0.049	1	7	2.97
8	0.130	1.031	0.111	1.049	0.025	0.025	0.6	8	2.97
9	0.130	1.028	0.111	1.049	0.022	0.022	0.6	8	2.80

Na área de estudo o modelo de Bernabeu e outros (2002) representou que toda a área se encontra fora do equilíbrio, mas agora devido a problemas de déficit sedimentar, principalmente nas regiões mais profundas. Na região de surfe o modelo não apresentou diferenças em relação ao perfil real, demonstrando que a primeira equação representou bem esse setor, mas, no segundo trecho do empinamento, devido à granulometria de sedimentos finos, o perfil se elevou muito e identificou desequilíbrio ao longo de todo esse trecho.

Segundo os resultados da equação, os perfis da região apresentam características dissipativas (declividade muito baixa), fato ocasionado pelo tamanho dos sedimentos (Figura 6.2.3-1).

Devido aos inúmeros coeficientes de ajuste para o parâmetro de forma, a equação de Bernabeu e outros (2002) não representou bem as características da região, que são de praias intermediárias a refletivas.



Figura 6.2.3-1: Perfis reais e modelados pela equação de Bernabeu et al., 2002.

6.2.4 Modelo Turker et al, 2006

O modelo de perfil de equilíbrio de Turker e outros (2006) aproximou-se do perfil de Dean e outros (1993), mas o primeiro diminuiu as diferenças de profundidade do perfil real com o modelado em aproximadamente 1 metro.

O perfil de Turker e outros (2006) apresenta a possibilidade de inserir os parâmetros de ondas e dos sedimentos na equação que gerará o parâmetro de forma do perfil. A inserção de parâmetros que representam a realidade de cada ambiente possibilita diminuição dos erros oriundos de coeficientes calculados para outros ambientes.

Devido às características sedimentares não serem as mesmas apresentada na Tabela 4.3.1.4-1, serão utilizados os valores apresentados no experimento I, apresentados nessa tabela, pois são os que mais se aproximam das condições de sedimentos e ondas identificados em campo.

Tabela 6.2.4-1: Características sedimentares e de ondas existentes na área foco do estudo.

Estação	Ondas (m)			Sedimentos (phi)
P7	1	0.6	0.6	2.665
P8				2.773
P9				3.403

Esse modelo indicou que a região até 100 metros se apresenta em equilíbrio, com exceção do perfil P8 que apresentou déficit de sedimentos devido à presença da calha do máximo recuo. No perfil P9, devido aos sedimentos lamosos próximos a face da praia, também se apresentou um pequeno déficit, mas que é considerado irrelevante (Figura 6.2.4-1).

Na região mais distante observa-se que o perfil está com excesso de sedimentos, fato, como já identificado anteriormente, ocasionado pela presença de sedimentos finos e lamosos provenientes do processo de alimentação artificial que esse trecho sofreu.

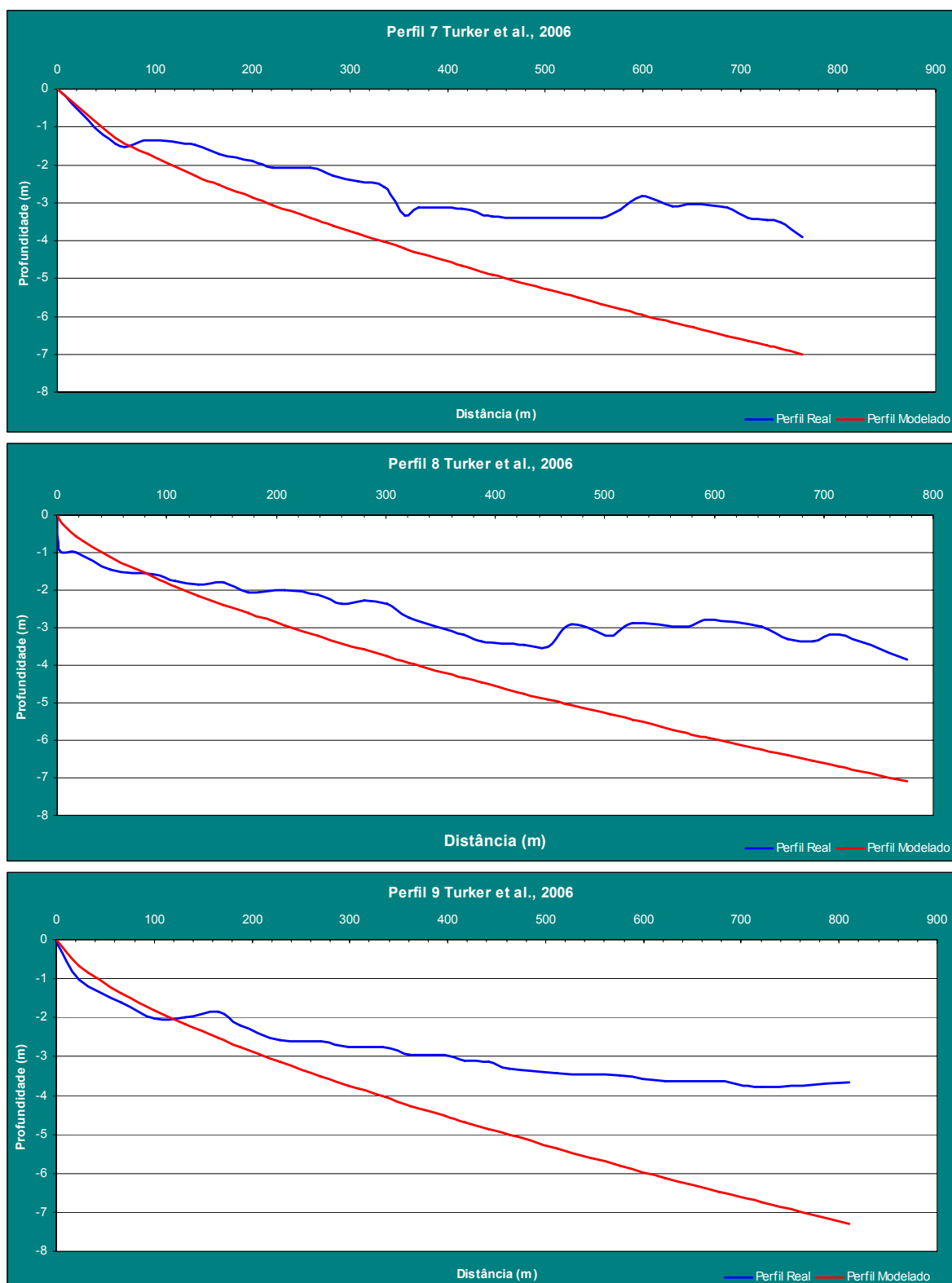


Figura 6.2.4-1: Perfis reais e modelados pela equação de Turker et al., 2006.

6.2.5 *Análise Integrada dos Modelos de Perfil de Equilíbrio*

Devido ao fato do engordamento ter ocorrido há mais de 10 anos e os estudos subsequentes demonstrarem que a praia de Camburi encontra-se em equilíbrio primário (transporte transversal) e as variações ocorridas ao longo do tempo serem de pequena escala e relacionadas a eventos de frentes frias, que promovem a alteração do perfil que se modela a nova condição hidrodinâmica. Observou-se que o perfil que mais se aproximou das condições atuais foi o desenvolvido por Turker e outros, em 2006, seguido pelo de Dean e outros (1993) que considera as variações granulométricas ao longo do perfil (Figura 6.2.5-1).

O perfil de Bernabeu e outros (2002) foi o único que apresentou déficit de sedimentos ao longo dos perfis modelados. A explicação para o resultado está relacionada à presença de sedimentos finos (típicos de praias dissipativas), o que proporcionou a elevação do perfil e representando um perfil de equilíbrio de uma praia dissipativa, situação que não ocorre na área de estudo, segundo dados pretéritos e nos levantamentos de campo (Figura 6.2.5-1).

O perfil de Dean, 1977, representou um perfil tipicamente refletivo com profundidades superestimadas, devido à distância e ao coeficiente de praias refletivas (Figura 6.2.5-1).

Devido à melhor representatividade das condições do ambiente, o modelo de Turker será utilizado para identificar a eficácia da equação de perfil de equilíbrio em representar as variações do perfil em diferentes condições de energia.

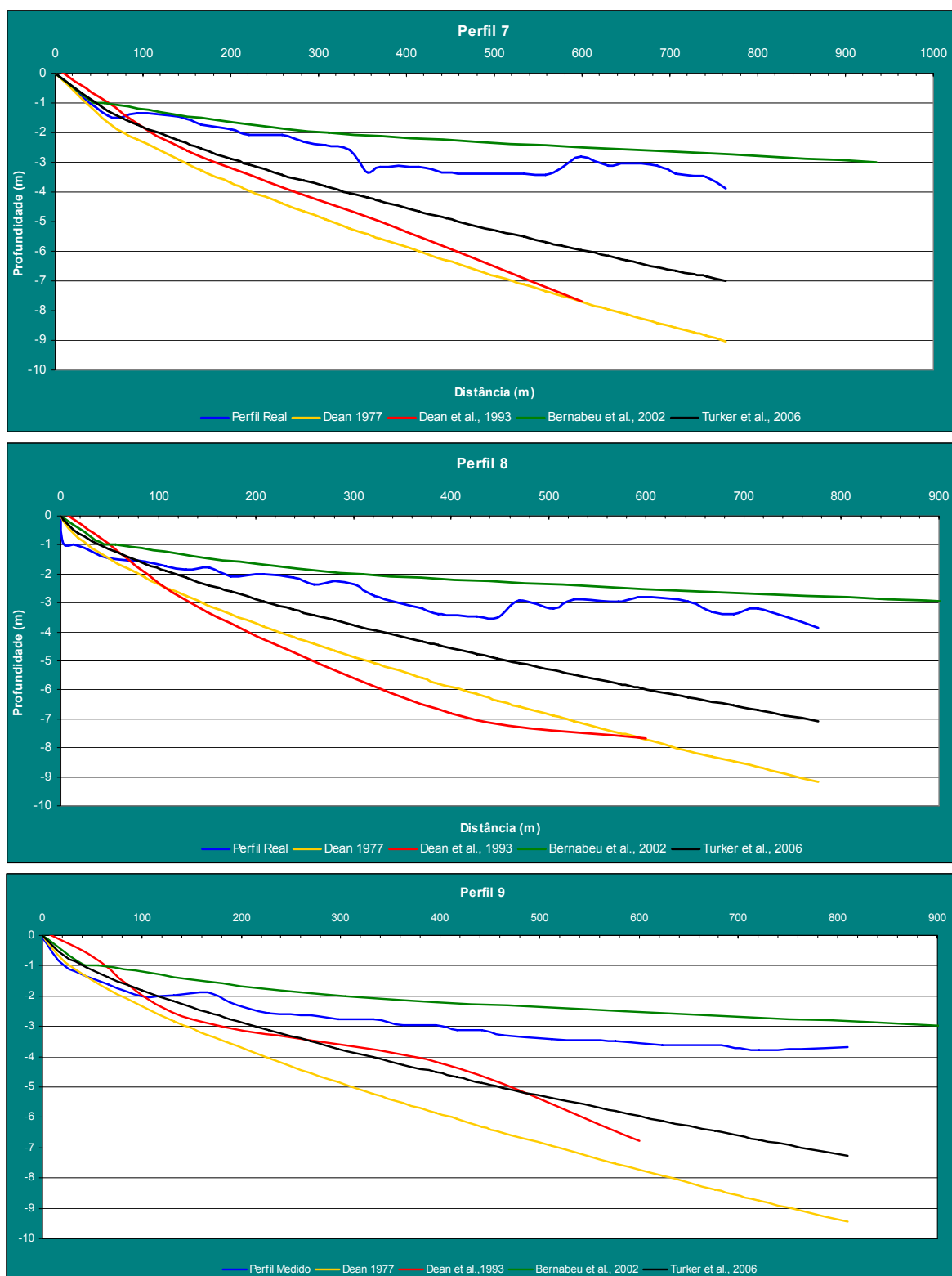


Figura 6.2.5-1: Perfis reais e modelados pelas equações de perfil de equilíbrio.

6.3 Análise da Evolução do Perfil Submerso

A Tabela 6.3-1 apresenta as classes sedimentares e as características de ondas, que se destacam pela maior ocorrência no setor de estudo. Com relação aos sedimentos, percebe-se que a maior parte observada está inserida na fração de silte a argila, o que leva o modelo a identificar apenas uma classe e representar uma única forma para esses sedimentos. Devido às características sedimentares não serem as mesmas apresentadas na Tabela 4.3.1.4-1, serão utilizados os valores apresentados no experimento I (Tabela 4.3.1.4-1), pois são os que mais se aproximam das condições de sedimentos e ondas identificados em campo.

Tabela 6.3-1: Características sedimentares e de ondas existentes na área foco do estudo.

Estação	Ondas (m)			Sedimentos (phi)
P7	1,6	0,6	0,4	2.665
P8				2.773
P9				3.403

A Figura 6.3-1 apresenta a análise de evolução do setor de estudo. Pelo fato da área ser pequena e confinada entre dois espigões, os três perfis estão submetidos, de modo geral, às mesmas características sedimentares e de ondas e, por isso, as simulações apresentaram a mesma forma para todos os perfis, quando submetidos às três alturas de onda.

Com base nos resultados das simulações, observa-se que o setor analisado evolui para três condições de equilíbrio, quando submetido a condições hidrodinâmicas diferentes. Em situações de baixa energia (ondas de 0,4 metros), o perfil tende a apresentar maior volume de sedimentos e se aproxima das condições reais medidas em campo. Com relação às ondas mais frequentes (0,6 metros), o perfil apresenta uma inclinação média e, em condições de maior energia, o perfil se torna mais refletivo e a inclinação aumenta consideravelmente (Figura 6.3-1).

Com base nas simulações pode-se inferir que o setor em estudo pode evoluir dentro do envelope indicado pelos perfis simulados pelas ondas de 0,4 metros e

pelas de 1,6 metros, tendo sua situação mais típica na simulação com ondas de 0,6, devido ao fato das mesmas serem as mais frequentes na região, totalizando 34 % dos registros da área de estudo.

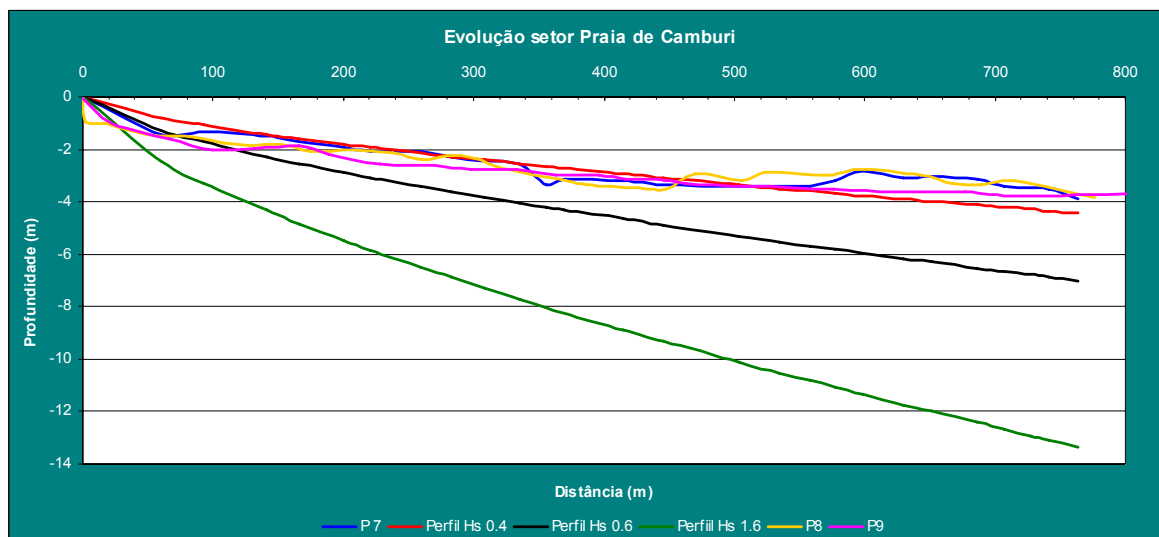


Figura 6.3-1: Simulações da evolução da área foco do estudo.

Observa-se que o setor de estudo, atualmente, encontra-se com um perfil formado por ondas de 0,4 metros e tende a evoluir para mais duas formas de perfil que irão promover o aumento da declividade do perfil.

7 CONCLUSÃO

As características geomorfológica da baía do Espírito Santo promovem alterações nos parâmetros oceanográficos na porção interna; em relação a porção externa da baía observa-se que os processos de refração e difração das ondas, ao longo da região de estudo, promovem a diminuição da altura das ondas e o redirecionamento do padrão de chegada.

A utilização dos modelos de perfil de equilíbrio demonstrou que alguns métodos não representam bem as condições de equilíbrio de determinadas regiões e podem promover interpretações equivocadas das condições de equilíbrio dos perfis de praia de uma determinada área. A evolução dos modelos de perfil de equilíbrio permitiu a inserção de agentes modeladores do perfil, como ondas e sedimentos, na equação do parâmetro de forma, e melhoraram os resultados do método em um determinado local de estudo.

O método de perfil de equilíbrio de Turker e outros (2006), que permite a inclusão de parâmetros de ondas e características dos sedimentos no cálculo do parâmetro de forma, se mostrou o modelo que melhor representa as condições de equilíbrio de perfis de praias arenosas, atualmente. Esse modelo também permitiu avaliar a evolução dos perfis de equilíbrio em diferentes condições hidrodinâmicas e traçar o envelope, onde o perfil pode transladar de acordo com as mudanças no ambiente, tornando-o uma ferramenta fundamental na análise do comportamento dos perfis de praia, que se remodelam devido ao transporte transversal de sedimentos.

A análise da evolução do perfil identificou, com base nos padrões de ondas e nos sedimentos, três formas para o perfil de praia do setor de estudo. Observou-se que a antepraia desse setor pode evoluir dentro do envelope indicado pelos perfis simulados pelas ondas de 0.4 metros e pelas de 1.6 metros, tendo sua situação mais típica na simulação com ondas de 0.6 metros, devido ao fato das mesmas serem as mais frequentes na região, totalizando 34 % dos registros da área de estudo.

O conceito de perfil de equilíbrio é uma poderosa ferramenta para a análise do comportamento de perfis de praia quando submetidos a uma determinada energia hidrodinâmica e a um determinado tamanho de sedimentos. Sua eficácia já foi comprovada em inúmeros projetos de alimentação praial para a análise da forma da porção submersa que o perfil terá após a obra. Análises de variações sazonais, ocasionadas por passagens de frentes frias, não são possíveis de ser analisadas por esse método, devido à incapacidade de modelar formas morfológicas de segunda ordem como calhas e bancos, que são características de processos de remodelamento dos perfis a novas condições hidrodinâmicas.

8 REFERÊNCIAS

ALBINO, J; Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP. 1999.

ALBINO, J; PAIVA, D. S.; MACHADO, G. M. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. **Revista Geografares**, n. 2, junho, p.63-69, UFES. Vitória, 2001. (a).

ALBINO, J.; OLIVEIRA, R. **Monitoramento Topográfico e granulométrico das areias da praia de Camburi, Vitória, ES Antes, Durante e Após o Engordamento Artificial**. Simpósio Brasileiro sobre praias Arenosas. 2000 Pg.: 355

ALBINO, J. a; OLIVIERA, R.; MAIA, L. P.; ALENCASTRE, K. Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES. **Relatório n. 198.2506/2000**. FACITEC & Prefeitura Municipal de Vitória. 2001. (b)

ALBINO et al., Atlas de Erosão e Propagação do Litoral Brasileiro. In: Muehe 2006
ALBUQUERQUE, L. [sem título]. 2004. 2 fotografias.

BENEDET, L.; FINKLA, C. W.; CAMPBELLA, T.; KLEINC, A. Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. **Coastal Engineering**. USA, v. 51, p. 839– 861, 2004.

BIRD, E. C. F. **Beach Management**. England: John Wiley & Sons Ltda, 1996.

BERNABEU, A. M.; MEDINA, R.; VIDAL, C., Wave reflection on natural beaches: na equilibrium beach profile model. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. Spain, v. 57, p. 577-585, 2003.

BRUNN, P. Coast erosion and the development of beach profiles. **Technical Memorandum**. n. 44, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers, 1954.

BRUNN, P. Sea level rise as a cause of shore erosion. J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng., **Am. Soc. Civ. Eng.**, v. 88, p. 117-130, 1962.

CAPOBIANCO, M.; HANSON, H.; LARSON, M.; STEETZEL, H.; STIVE, M.J.F.; CHATELUS, Y.; AARNINKHOT, S.; KARAMBAS, T. Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts. **Coastal Engineering**. USA, n. 47, p.113– 135, 2002.

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments**: an Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. 6. ed. London: Academic Press, 1998.

DALLY, W. R.; DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. A model for breaker decay on beaches, Proceedings of 19th International Conference on Coastal Engineering, Houston, TX. **ASCE**, New York, pp. 82–98, 1984.

DAVIS, R. A. **Coastal Sedimentary Environments**. 2nd ed. USA: Halliday Lithograph, 1985.

DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts, Department of Civil Engineering, **Ocean Engineering Report**. University of Delaware, Newark, DE., n. 12, 1977.

DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists In: SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. (Org.). **Advanced Series on Ocean Engineering**. London: World Scientific, 1991. v. 2.

DEAN, R. G. ; HEALY, T. R. ; DOMMERHOLT, A. P. A “blind-folded” test of equilibrium beach profile concepts with New Zealand data. **Marine Geology**. USA, v. 109, p. 253- 266, 1993.

FACHIN, S. Caracterização do perfil de equilíbrio da antepraia na costa do Rio Grande do Sul. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do rio Grande do Sul. 1998.

FOLK, R. L. Petrology of Sedimentary Rocks. **Hemphill Publishing Company**, 170p. Austin, Texas – USA, 1968.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazas River bar: a Study in the Significance of Grain Size Parameters. **Jornal of Sedimentary Petrology**. USA, v. 27, p. 3-26, 1957.

GALVIN, C. J. Breaker type classification on three laboratory beaches. **Journal of Geophysical Research**, v. 73, p. 3651-3659, 1968.

GOMES, R. C. Perfil praias de equilíbrio da praia de Meaípe – Espírito Santo. **Monografia de graduação em Oceanografia**. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2004.

HALLERMEIER, R. J.; A profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. **Coastal Engineering**. USA, v. 4, p. 253-277, 1981.

HOEFEL, F. G.; **Morfodinâmica de Praias Arenosas**: uma Revisão Bibliográfica. Itajaí: Univali. 1998.

KOMAR, P. D., **Beaches Processes and Sedimentation**. 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc., 1998.

KRUMBEIN, W. C. Size Preference Distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, USA, v. 4, 1934.

LARSON, M. Quantification of beach profile change. **Dep. Water Resour. Eng., Lund Univ., Lund, Sweden, Rep., 1008**. 1988.

LARSON, M.; KRAUS, N.C. SBEACH: numerical model for simulating storm-induced beach change--report I: empirical foundation and model development. **Coastal Eng. Res. Cent.**, Waterw. Exp. Station, Vicksburg, Miss., Tech. Rep., CERC-89-9. 1989

LARSON, M.; KRAUS, N. C.; WISE, R. A. Equilibrium beach profiles under breaking and non-breaking waves. **Coastal Engineering**. USA, v. 36, p. 59–85, 1999.

LEÃO, C. Variação espacial e temporal das cúspides da praia de Camburi, Vitória – ES. **Monografia de graduação em Oceanografia**. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

MARONE E.; QUADROS, J. C.; PRATTA, V.; ANGULO, J. Trenó para Perfilagem Subaérea de Praias. **Boletim Paranaense de Geologia**. (submetido). 2001.

MARTIN, L.; SUGUIO, K; FLEXOR, J.M.; ARCHANJO, J.D. Coastal Quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo (Brazil). **Acad. Bras. Cien.** v. 68, n. 3, p. 389-404, 1996.

MCCOWAN, J. On the solitary wave. **London Edinburgh Dublin Philos. Mag. J. Sci.**, 32(5): 45, 1891.

MELO, E.; GONZALEZ, J. A. Coastal erosion at Camburi beach (Vitória, Brazil) and its possible relation to port works. In: Fourth international conference on coastal and port engineering in developing countries, 1995, Rio de Janeiro-Brasil. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. v.1, p. 397-411.

MOORE, B.D. Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. **Ms. Thesis**, Dep. Civ. Eng., Univ. Delaware, Newark, Del, 1982.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. da (Org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 253-308.

MUEHE, D. Método de levantamento topo-batimétrico do perfil do sistema praia-antepraia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 5, n. 1, p. 95-100, 2004.

NIEDORODA, A. W., SWIFT, D.J.P. e HOPKINS, T.S. **The shoreface**. In: Davis Jr. (Ed.). *Coastal sedimentary environments*. Spring-Verlag. Ney York. 1985.

NIELSEN, P. Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. In: SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. (Org.). **Advanced Series on Ocean Engineering**. London: World Scientific, 1992. v. 4.

OLIVEIRA, E. G. Influência da Ilha de Pitua na dinâmica da praia de Itapoá, Vila Velha, ES. **Monografia de graduação em Geografia**. Departamento de Geografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 1995.

PICCOLI, F. P. Interação de ondas monocromáticas com batimetria de fundo e recife artificial. **Monografia de graduação em Oceanografia**. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

PRATA, P. M. Variação textural dos sedimentos da praia de Camburi, Vitória – ES após o engordamento artificial. **Monografia de graduação em Oceanografia**. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal do Espírito Santo. 2004.

SILVA, Q. K.; PATCHINEELAM, M. S.; NETO, B. A. J.; PONZI, A. R. V. Ambiente de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: NETO, B. A. J.; PONZI, A. B. V.; SICHEL, E. S. (Org.). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, p. 175-218.

SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. Coastal Stabilization. In: SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. (Org.). **Advanced Series on Ocean Engineering**. London: World Scientific, 1993. v. 14.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 2003.

TÜRKER, U.; KABDASLI, M. S. Average sediment dislocation analysis for barred profiles. **Ocean Engineering**, v. 31, p. 1741-1756, 2004.

TÜRKER, U.; KABDASLI, M. S. The effects of sediment characteristics and wave height on shape-parameter for representing equilibrium beach profiles. **Ocean Engineering**, v. 33, p. 281-291, 2006.

WENTWORTH, C. K. A escale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**. USA, v. 30, 1922.

WESCHENFELDER, J.; ZOUAIN, A. N. R.; Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 29, n. 1, p. 3-13, 2002.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A.D.; GREEN, M. O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Marine Geology**, Vol.62: 339-364. 1985.

WRIGHT, L. D., CHAPPELL, J., THOM, B.G., BRADSHAW, M.P. e COWELL, P. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Marine Geology**, Vol.32: 105-140. 1979.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

WRIGHT, L. D.; **Morphodynamic of Inner Continental Shelves**. Lewis Publishers. 1995.

ZHENG, J.; DEAN, R. G. Numerical Models and Intercomparisons of Beach Profile Evolution. **Coastal Engineering**, USA, v 30, p. 169-201, 1997.