



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

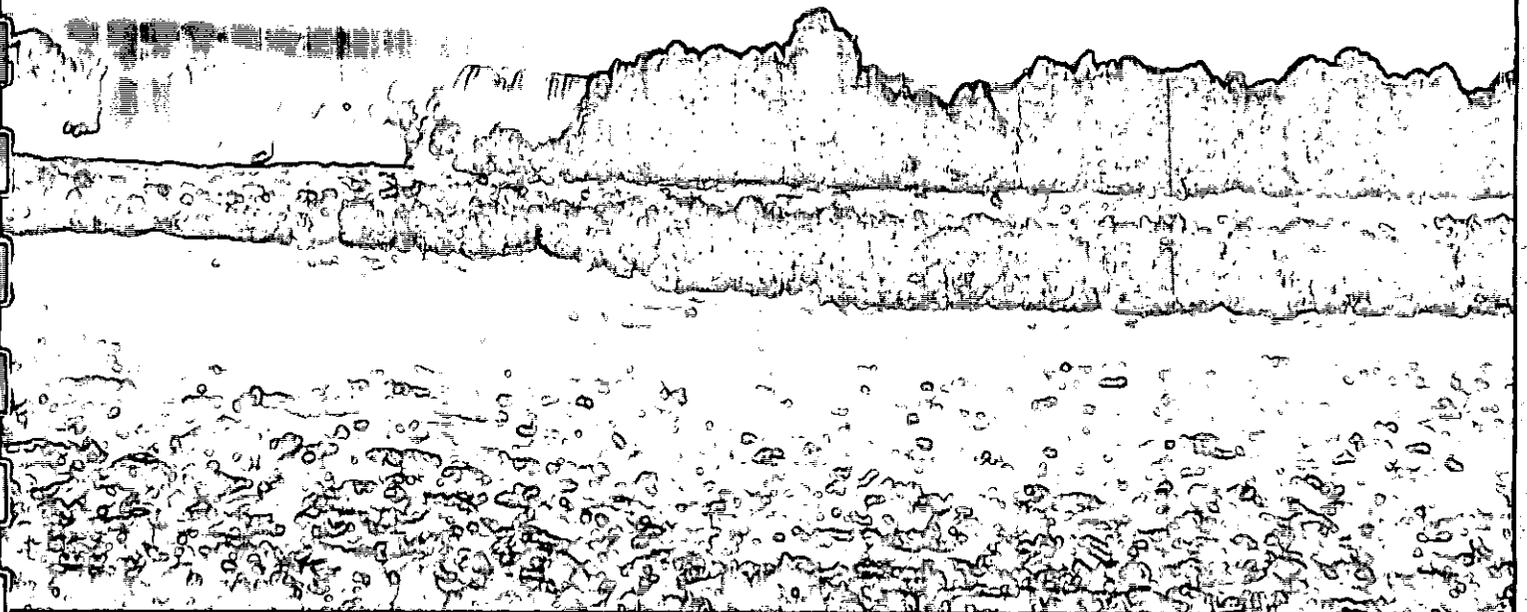
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE LICENCIATURA EM OCEANOGRAFIA

ESTUDO DA EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DO TOFO



Autor: Francisco Gemo Albino Francisco





UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TRABALHO DE LICENCIATURA EM OCEANOGRAFIA

ESTUDO DA EROSÃO COSTEIRA NA PRAIA DO TOFO

Supervisor: Dr. António Jorge Raul Uaissone

Co-Supervisor: dr. Nordino Martinho Muaivela

Autor: Francisco, Francisco Gemo Albino

Maputo, Maio de 2008

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que este trabalho foi realizado com base no material a que se faz referência ao longo do mesmo e que não foi submetido para nenhum outro grau que não seja o indicado, licenciatura em Oceanografia, na Universidade Eduardo Mondlane. As ideias originais nele expressas são da inteira responsabilidade do Autor.

O Autor

Francisco Gemo Albino Francisco

(Francisco Gemo Albino Francisco)

Dedicatória

Dedico este trabalho

Aos meus pais Albino Francisco e Maria de Fátima Francisco

Aos meus irmãos Cesaltina, Delta, Rita, Albino, Laudemiro, Benvida, Albina, Maria José,
Argemiro e Abelísio

Aos meus sobrinhos queridos

Agradecimentos

Agradeço a Deus pai todo poderoso, agradeço a toda minha família pela ajuda, assistência e confiança que prestam em mim.

Agradeço imenso aos meus supervisores Dr. António Raul Uaissone e dr. Nordino Muaivela. Ao meu professor, Dr. Sinibaldo Canhanga.

Agradeço imenso ao INAHINA na pessoa de Sr. Tomas Muianga, Sr. Inercio, dr.^a Candida, dr. António Oliveiras, Dr. Obadias Cossa e dr.^a Closa, pela cooperação estabelecida. Ao INAM pela cedência de dados úteis realização deste trabalho, também agradeço a cooperação estabelecida com o Departamento de Geologia da UEM que fez análise glanulometricas da areia do Tofo.

Agradeço ao Sr. Olímpio, topógrafo do Conselho Municipal de Inhambane.

Agradeço ao Departamento de Física por ter me acomodado durante estes quatro importantíssimos anos da minha vida em que me tornei Cientista..

Agradeço a todos Meus professores em particular aos professores do Departamento de Física pelos conhecimentos que me transmitiram durante a minha formação como Oceanógrafo Físico e Homem do Mundo.

Agradeço ao pessoal da secretaria do Departamento de Física em especial ao Sr. Saul pela cooperação e simpatia.

Agradeço a todos meus colegas do Departamento de Física do Ano 2004 em especial a Stella Langa, Catarina Rombe, a memoria de Gerodina Chare, Silima, e a todos colegas do curso de Oceanografia e Meteorologia.

Agradeço muito profundamente aos meus pais Albino Francisco e Maria de Fátima Francisco, por tudo e mais alguma coisa.

Agradeço aos meus irmãos Rita, Laudemiro, Albino e Maria José pela maior ajuda prestada durante todo meu curso.

Um especial abraço de agradecimento a Stella Langa, pelo grande apoio prestado na compilação deste trabalho em particular, e na vida em geral.

Agradeço aos meus Amigos, pelo apoio constante em todas as circunstancias da vida.

Terminando quero agradecer toda gente convive e conviveu comigo desde meu nascimento até hoje e a todos que acreditam em mim.

Lista de Abreviaturas

BM-	Baixa mar
CDS-ZS-	Centro de Desenvolvimento Sustentável das Zonas Costeiras
CMCI-	Conselho Municipal da Cidade de Inhambane
DF-	Departamento de Física
INAHINA-	Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação
INAM-	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC-	Intergovernmental Panel on Climate Change
L1-	Trecho litoral 1
L2-	Trecho litoral 2
L3-	Trecho litoral 3
NE-	Nordeste
NMM-	Nível médio do mar
NO-	Noroeste
NOAA-	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSM-	Nível da superfície do mar
PM-	Preia mar
SE-	Sudeste
SO-	Sueste
UEM-	Universidade Eduardo Mondlane

Símbolos

a -	Amplitude da onda
β -	Ângulo de inclinação da praia
C_{90} -	Coefficiente de Chézy
d -	Diâmetro médio das partículas de areia
D -	Diâmetro da orbita das partículas da agua durante a passagem da onda
E -	Energia da onda
F -	Fluxo de energia da onda
f_c -	Coefficiente de atrito devido a corrente
f_w -	Coefficiente de atrito devido as ondas
g -	Aceleração de gravidade
h -	Profundidade ou altura da coluna de agua
h_b -	Profundidade de rebentação
H_s -	Altura significativa da onda
H_{s-}	Atura significativa máxima da onda
k_{sc} -	Rugosidade devido à corrente
K -	Numero de onda
k_s -	Rugosidade devido a corrente no fundo
k_b -	Rugosidade devido a corrente na superfície
l -	Comprimento da linha da costa
η -	Nível do mar
ξ -	Coefficiente entre os factores de atrito
P -	Potencia da onda
ρ -	Densidade da água
ρ_s -	Densidades da areia
q_t -	Taxa total de transporte de sedimentos
q_s -	Taxa de transporte de sedimento na superfície
q_f -	Taxa de transporte de sedimentos no fundo
S -	Volume total de sedimentos
U -	Media das velocidades das correntes
U_g -	Velocidade do grupo
U_b -	Velocidade da corrente no fundo
U_{bw} -	Velocidade orbital máxima no fundo
μ -	Parâmetro relativo aos <i>ripples</i>
w_f -	Componente vertical da velocidade no fundo
W -	Modulo da velocidade do vento
τ_{cw} -	Tensão de corte no fundo devido as correntes e ondas
τ_c -	Tensão de corte no fundo provo
w_s -	Velocidade de queda do sedimento
x_1 -	Linha da praia na ausência de onda
x_2 -	Linha da costa na presença de ondas
Z_{wc} -	Parâmetro de suspensão

Resumo

A erosão costeira é um fenómeno que vem assolando drasticamente a praia do Tofo. Neste trabalho procurou-se determinar a contribuição dos principais agentes erosivos que actuam naquela praia. Assim, como abordagem metodológica, o trabalho usou a equação de Bijker para determinar a taxa de transporte de sedimentos na praia tendo em conta as ondas, correntes e marés. O trabalho usou valores de velocidade e direcção do vento para explicar o transporte de sedimentos pelo vento. Determinou-se a granulometria da areia, a energia, a potência, a altura significativa máxima das ondas, a profundidade de rebentação e a inundação no *backshore*; foram feitos levantamentos topográficos para quantificar o volume de sedimentos removidos num trecho da Praia do Tofo no período de 2006 a 2008. Imagens *in situ* e aéreas também foram usados no estudo. Assim, o trabalho conclui que os agentes que contribuem no processo de erosão na Praia do Tofo são as ondas, as marés, o vento e o Homem; mas destes, as ondas são o principal agente erosivo. Mais de 90% do transporte de sedimentos pelo mar é feito no fundo e é uma função directa das correntes. O trabalho também concluiu que as ondas que rebentam sobre a praia são bastante energéticas e inundam mais a praia quando esta se encontra pouco inclinada, e nos últimos dois anos, todos os agentes erosivos identificados removeram cerca de 15202,7 metros cúbicos de areia.

Índice

Declaração de Honra.....	i
Dedicatória.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Lista de Abreviaturas.....	iv
Símbolos.....	v
Resumo.....	vi
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Gráficos.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
CAPITULO I : Introdução e Objectivos	1
1.1. Introdução.....	2
1.2. Características da praia do Tofo	2
1.3. Objectivos.....	3
1.2.1. Objectivo Geral.....	2
1.2.2. Objectivos Específicos	2
CAPITULO II: Revisão Bibliográfica	4
2.1. Ondas Oceânicas Geradas pelo Vento.....	4
2.1.2. Velocidade do Grupo de Ondas.....	4
2.1.3. Trajectória das Partículas.....	5
2.1.4. Altura da Onda na Zona de Rebentação	6
2.1.5. Energia e Potência por Unidade de Comprimento de Onda.....	6
2.1.6. Refracção de Ondas Oceânicas.....	6
2.1.7. Transformação e Rebentação da Onda na Costa	7
2.1.8. Correntes Geradas Pelas Ondas na Costa	8
2.2. Zona Costeira.....	9
2.3. Erosão Costeira.....	10
2.3.1. Enquadramento.....	10
2.3.2. Efeitos da Erosão Costeira na Praia do Tofo.....	11
2.3.3. Causas da Erosão Costeira na Praia do Tofo.....	11
2.3.3.1. Acção das ondas	11
2.3.3.2. Acção da Maré e Correntes na Costa.....	11
2.3.3.3. Acção da Subida do Nível do Mar na Costa em Virtude do Sopro do Vento	12
2.3.3.4. Subida do Nível do Mar em Virtude da Expansão Térmica do Oceano Global.....	12
2.3.3.5. Causas de Carácter Antropogénicas	13
2.4. Transporte de Sedimentos na Zona Costeira	13
2.4.1. Transporte de Sedimentos pelo Mar na Costa.....	13
2.4.2. Transporte de Sedimentos pelo Vento.....	14
2.5. Fórmulas de Transporte de Sedimentos na Zona Costeira	14
2.5.1. Fórmula Geral de Transporte de Sedimentos	15
2.5.2. Fórmula Híbrida de Bijker-Battchraya (1968)	16
CAPITULO III: Materiais e Métodos	19
3.1. Materiais	19
3.2. Metodologia.....	19
3.2.1. Observações Realizadas no Local de Estudo	20
3.2.2. Recolha de Dados	20
3.2.3. Tratamento dos Dados	20

3.2.4. Apuramento e Análise dos Dados	21
3.2.4.1. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos	22
3.2.4.2. Cálculo de Desníveis no Levantamento Topográfico.....	23
3.2.4.3. Cálculo do Volume Total de Descarga de Sedimentos pelo Método de Triângulo .	23
3.2.4.4. Cálculo da Inundação no Backshore	23
CAPITULO IV: Resultados.....	25
4.1. Glanulométria dos Sedimentos que Compõe a Praia do Tofo.....	25
4.2. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos	25
4.3. Topografia da Praia nos Anos 2006 e 2008.....	27
4.4. Cálculo do Volume de Descarga do Sedimento pelo Método de Triângulo	27
4.5. Características das Ondas da Praia do Tofo	29
4.6. Cálculo da Inundação no Backshore	31
CAPITULO V: Discussão dos Resultados.....	32
5.2. Análise Glanulométrica dos Sedimentos que Compõe a Praia do Tofo.....	36
5.3. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos	36
5.4. Topografia da Praia nos Anos 2006 e 2008.....	36
5.5. Cálculo do Volume da Descarga do Sedimento pelo Método de Triângulo	36
5.6. Características das Ondas da Praia do Tofo	37
5.7. Cálculo da Inundação no Backshore	37
CAPITULO VI: Conclusões e Recomendações	38
6.1. Conclusões.....	38
6.2. Recomendações	39
Referências Bibliográficas	40
Anexo 1: Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos	41
Anexo 2: Cálculo da Características da Onda e Cálculo de Inundação no Backshore.....	42
Anexo 3: Dados Sobre Direcção e Velocidade do Vento	46
Anexo 4: Largura da Praia e Altura das Falesias.....	49
Anexo 5: Análise Glanulométrica das Amostras de Areia.....	50
Anexo 6: Topografia da Praia Anos 2006 e 2008.....	51

Lista de Figuras

Figura 1. Localização geográfica da praia do Tofo.....	1
Figura 2. Imagem aérea e detalhada da praia do Tofo.....	3
Figura 3. Características da Onda.....	4
Figura 4. Perfil da onda das águas profundas às águas pouco profundas.....	5
Figura 5. Formato da onda antes de rebentar.....	7
Figura 6. Correntes originadas na zona costeira.....	9
Figura 7. Elementos da zona costeira.....	10
Figura 8. Impacto de rebentação da onda. Erosão da onda.....	10
Figura 9. Processo de Inundação Provocada pela onda na costa.....	24
Figura 10. Tofo 2003 trecho L2 (à esquerda) e trecho L1 e L2 (a direita).....	32
Figura 11. Tofo, Setembro de 2006 e Julho de 2007, Trecho L2 (zona ii), Preia mar.....	32
Figura 12. Tofo Julho de 2007 e Janeiro de 2008, Trecho L2 (zona ii), Baixa mar.....	33
Figura 13. Tofo, Julho 2007 Trecho L2. Casa atacada pelas ondas (a esquerda).....	33
Figura 14. Tofo Janeiro de 2008, Trecho L2. Falésias provocadas pelas ondas.....	34
Figura 15. Tofo 2006 (esquerda) e Tofo 2008 (a direita). Limite da água na zona iii e iv.....	34

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Granulométrica dos sedimentos que compõe a praia do Tofo (ponto molhado).....	25
Gráfico 2. Taxa de transporte de sedimentos no trecho L1	26
Gráfico 3. Taxa de transporte de sedimentos em percentagem	26
Gráfico 4. Perfil longitudinal da Praia. Trecho L2 e L3.....	27
Gráfico 5. Volume de descarga de sedimentos nas zonas iii, ii, i e trecho L3.	28
Gráfico 6. Perfil da praia no trecho L2, zona ii, (zona mais erodida da praia).....	28
Gráfico 7. Altura Significativa Máxima e Velocidade do Grupo para Período de onda de 9s ..	29
Gráfico 8. Altura Significativa Máxima e Velocidade do Grupo para Período de onda de 11s.....	29
Gráfico 9. Energia Média da Onda.....	30
Gráfico 10. Potência Média da Onda.....	30
Gráfico 11. Valores de alturas Significativas das ondas de vento.....	31
Gráfico 12. Inundação no Backshore. Trecho L2.....	31
Gráfico 13. Predominância do vento na praia do Tofo (1996 a 2007)	35
Gráfico 14. Médias mensais da velocidade do vento na praia do Tofo (2005 a 2006)	35

Lista de Tabelas

Tabela 1. Materiais usados no trabalho	19
Tabela 2. Sistematização das fórmulas e constantes usadas no cálculo da taxa de transporte de sedimentos	21
Tabela 3. Quantidades de sedimentos removidos nos trechos L2 e L3	27

CAPITULO I : Introdução e Objectivos

1.1. Introdução

A praia do Tofo vem sendo alvo de intensa erosão costeira nos últimos anos. Ela localiza-se na costa Sudeste de Moçambique, entre os paralelos $23^{\circ} 51'38,45''S$ - $23^{\circ}47'97''S$ e meridianos $35^{\circ}33'02,98''E$ - $35^{\circ}33'19,74''E$. Sendo limitado ao Este pelo oceano Indico, ao Oeste pelo Município de Inhambane, ao Sul pelo Distrito de Jangamo, e ao Norte pela Ponta da Barra.

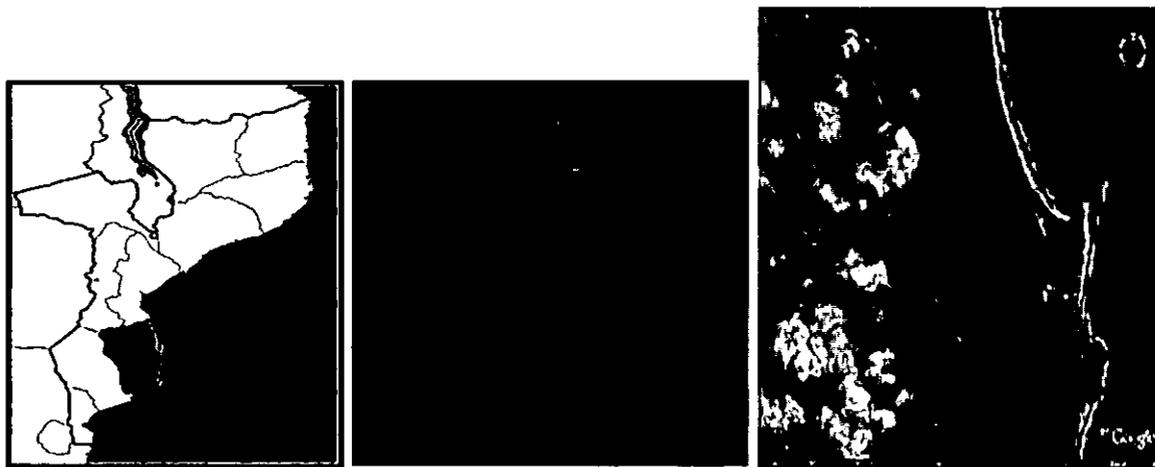


Figura 1. Localização geográfica da praia do Tofo (New Milennim World Atlast, e Google Earth)

Esta localização geográfica faz dela uma praia oceânica pressionada pelo Homem em forma de intenso turismo, pelas ondas em forma de intensa rebentação dissipando grande energia, pelo vento soprando sempre em rajadas e pela maré.

Sendo assim, a erosão costeira na praia do Tofo caracteriza-se pelo recuo da linha da costa, ou pelo avanço do mar terra dentro, e os factores ou agentes responsáveis por esse recuo da linha da costa são de carácter natural e antropogénica.

É importante referir que a dinâmica costeira é a principal responsável pelo desenvolvimento das praias arenosas e pelos processos de erosão e deposição que as mantêm em constante alteração, pois condiciona a construção geomorfológica da linha da costa. Sendo assim, quanto ao grau de exposição, as praias podem ser identificadas desde muito expostas a muito protegidas, sendo a variabilidade física resultante da combinação de parâmetros básicos, como a característica das ondas e granulometria do sedimento. Destes dependem a morfologia do fundo, o padrão de circulação e a dinâmica de correntes, e de acordo com o grau de intensidade destes factores, as praias podem ser classificadas em dissipativas, reflectivas, e intermediárias (Cunha, 2006, pp. 126). Sendo assim, a praia do Tofo classifica-se como uma praia exposta e intermediária.

Anos de observações, mostram que há uma grande variação na paisagem da Praia do Tofo, a partir da disposição da areia, dunas, vegetação, até do limite da água em relação as infra-estruturas da vila tal como o Hotel Marinhos.

Com esta pesquisa pretende-se identificar e determinar a contribuição dos agentes erosivos na praia do Tofo e explicar como esses agentes actuam no desequilíbrio da linha da costa. Esta iniciativa é reforçada pelo facto de nas instituições com competência para realizar trabalhos do género, não terem sido encontrados estudos similares, para a região da praia do Tofo.

1.2. Características da Praia do Tofo

A praia do Tofo caracteriza-se por ser uma praia oceânica maioritariamente arenosa e com dunas, mas também apresenta algumas rochas, vegetação pioneira (rasteira), vegetação antropogénica e arbórea, habitações de material convencional (local) e de alvenaria. O clima naquela região é Tropical Húmido, com temperaturas medias de 25°C, no Verão e 20°C, no Inverno, a precipitação é pouco superior a 1000 mm/ano (CDS-ZC, 2002). Ela esta em contacto directo com o mar aberto o que faz com que esteja sobre influência de ondas oceânicas erosivas.

Para facilitar a pesquisa dividiu-se a praia em três trechos L1, L2 e L3 (ver a Figura 2). O trecho L1 situa-se mais a Sul da praia ao lado do Tofinho, é composto por areia dunas tipo barcana e parabólica, vegetação e rochas rasas. A rebentação neste trecho é extremamente forte e as ondas são altas e quebram sobre a areia e rochas, o vento sopra sempre com rajadas obliquamente a linha da costa. Os efeitos da erosão costeira são menos notáveis. A subida do nível do mar é evidenciada pela submersão quase permanente das rochas rasas que antigamente estavam emergentes durante baixa mar.

O trecho L2 (Figura 2) situa-se no centro da praia do Tofo, constitui a região de banho, a região mais frequentada pelo Homem a todos níveis. Ele é composto por areia vegetação e infra estruturas. A rebentação é variável de acordo com a maré e com o período do ano, daí que a rebentação tende a ser forte durante a enchente, também durante o Inverno e quando a praia encontra-se extremamente inclinada. Os efeitos da erosão no trecho L2 são enormes, a linha da água já atinge as infra estruturas, a vegetação está escassa, a estrada que em 2006 existia adjacente a praia foi consumida pelas ondas, a larga margem de praia reduziu-se a uma estreita linha de areia que fica submersa durante a preia mar.

O trecho L3 (Figura 2) situa-se a Norte do L2, é constituído por areia, dunas, vegetação e algumas infra estruturas e também algumas rochas rasas. As ondas neste trecho são muito violentas.

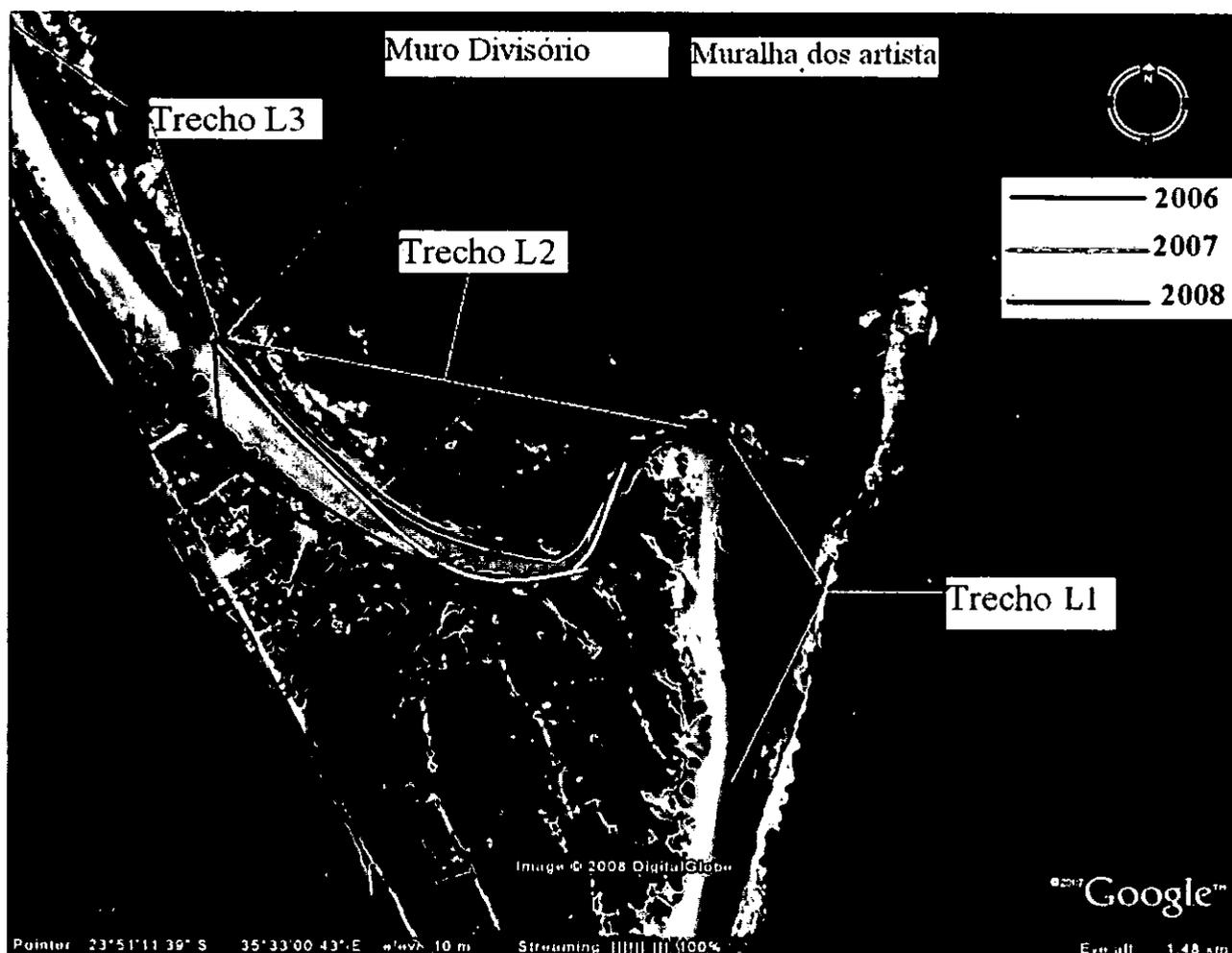


Figura 2. Imagem aérea e detalhada da praia do Tofo (Goggle Earth)

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

O objectivo principal deste trabalho é estudar o fenómeno de erosão costeira na praia do Tofo.

1.3.2. Objectivos Específicos

- ◇ Identificar e determinar a contribuição dos principais agentes erosivos no transporte de sedimentos na praia do Tofo;
- ◇ Determinar o volume de descarga de sedimentos num trecho da praia do Tofo;
- ◇ Determinar a granulometria dos sedimentos que compõe a praia do Tofo;
- ◇ Determinar a taxa de transporte de sedimentos ao longo da praia do Tofo;
- ◇ Determinar as características das ondas da praia do Tofo;
- ◇ Determinar a inundação das ondas na praia do Tofo.

CAPITULO II: Revisão Bibliográfica

2.1. Ondas Oceânicas Geradas pelo Vento

Uma onda pode ser considerada como sendo um distúrbio que se move ao longo ou abaixo da superfície do mar e é basicamente caracterizada por ter altura, comprimento de onda, período e velocidade. O tamanho de uma onda de vento depende da velocidade do vento, do tempo durante o qual exerce a sua acção e da área de abrangência. Ondas de maior amplitude são produzidas por ventos fortes que sopram persistentemente por longos períodos de tempo em extensas áreas de formação (Dean, 1991). A figura abaixo mostra as características fundamentais duma onda oceânica.

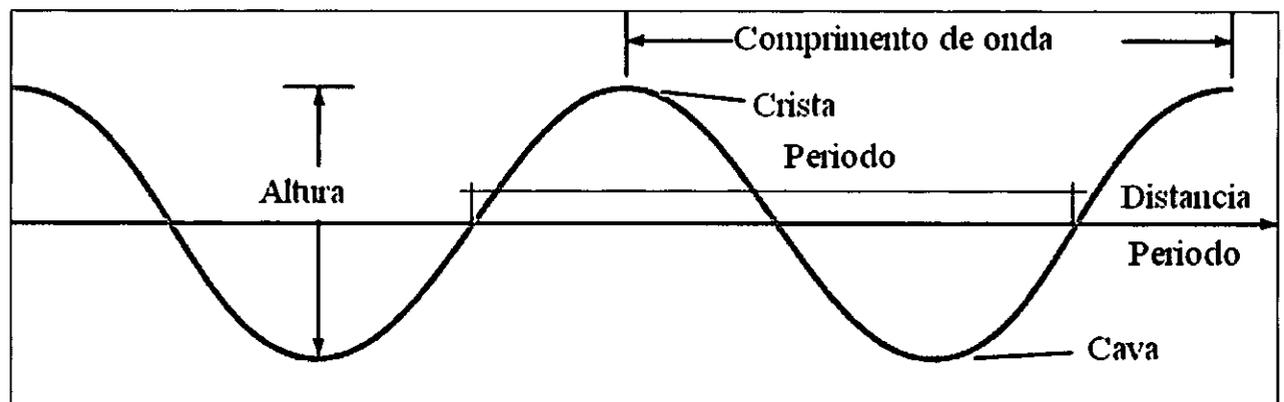


Figura 3. Características da Onda

A expressão da velocidade de fase duma onda é:

$$c = \frac{w}{k} = \frac{\lambda}{T} \quad (1)$$

Onde: w é a velocidade angular, k é o numero de onda, λ é o comprimento de onda e T é o período.

2.1.2. Velocidade do Grupo de Ondas

Olhando para o mar a partir da costa, vimos que não há nenhum desaparecimento de onda, o trem de ondas por si mesmo avança sem mudanças de amplitude. A velocidade em que o grupo avança é conhecida como velocidade do grupo. Pode-se chama-la de U e desde que δc e $\delta \lambda$ podem ser pequenos escrevemos:

$$U = c - \lambda \frac{dc}{d\lambda} \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

Em águas rasas encontramos a seguinte fórmula para velocidade do grupo:

$$c = \sqrt{gh} = U \quad (3)$$

Onde: h é a profundidade local, e c é a velocidade da onda.

A velocidade não depende do comprimento de onda mas sim da profundidade. Isto é a razão pela qual não vemos as ondas aparecendo nem desaparecendo quando as vemos na praia. A água é tão rasa tal que as ondas e o grupo das ondas viajam com a mesma velocidade (Hill, 1972).

2.1.3. Trajectória das Partículas

Em águas profundas ($h > \lambda/20$), o movimento de qualquer partícula de água descreverá uma órbita circular e fechada. O diâmetro desta órbita (D) é semelhante à altura da onda na superfície, e diminui exponencialmente com a profundidade (Hill, 1972).

Para ondas em águas rasas ou onde a altura da onda não é muito menor que a profundidade local ($h < \lambda/20$), o diâmetro da órbita na superfície continua sendo igual à altura da onda, mas decai linearmente com a profundidade. Esta variação na taxa de decréscimo do diâmetro orbital faz com que próximo ao fundo ocorra um movimento bidireccional e linear (Hill, 1972).

Se forem feitas correcções de alta ordem no cálculo das órbitas, observa-se que elas não são inteiramente fechadas se D decresce com a profundidade, a partícula de água têm uma velocidade ligeiramente maior quando se desloca em direcção ao fundo, formando então uma órbita que não se fecha completamente. Isto provoca um lento deslocamento das partículas de água (ou em suspensão) na direcção de deslocamento da onda (Hill, 1972).

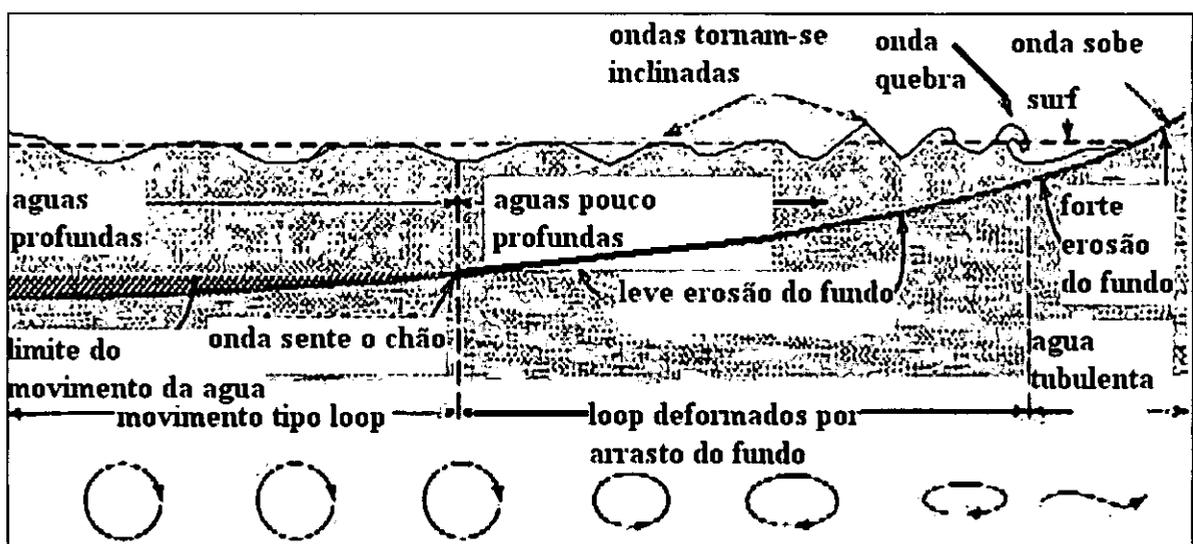


Figura 4. Perfil da onda das águas profundas às águas pouco profundas (Chernicoff, 1999)

2.1.4. Altura da Onda na Zona de Rebentação

A altura significativa da onda, H_s , é igual à média do 1/3 das ondas mais altas. O limite máximo da altura significativa da onda é obtido através de uma relação delineada para a zona de rebentação:

$$H_{s\max} = 0,14\lambda \tanh(kh) \text{ [m]} \quad (4)$$

Segundo Ochi, (1968), a altura significativa da Onda em águas profundas é dado por:

$$H = \frac{0,21W^2}{g} \quad (5)$$

Onde: W é o módulo da velocidade do vento.

2.1.5. Energia e Potência por Unidade de Comprimento de Onda

A energia guardada por comprimento de onda por unidade de comprimento da crista é a soma da energia cinética com a energia potencial.

Segundo Dean e Dalrymple (1991), para ondas lineares simples progressivas e periódicas, a energia potencial E_p é igual a energia cinética E_c , e a energia total E por unidade de comprimento de onda por unidade de largura da crista (por unidade de área) é dada por:

$$E = E_p + E_c = \frac{1}{2} \rho g a^2 \lambda = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (6)$$

Onde: ρ é a densidade da água, g é a aceleração de gravidade e H é a altura da onda.

A potência da onda é dada por:

$$P = E c_g = \frac{1}{8} \rho g H^2 c_g \quad (7) \text{ para águas pouco profundas a potência é dada por:}$$

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 \sqrt{gh} \text{ [Watt]} \quad (8) \text{ assim por continuidade a altura da onda deve aumentar a}$$

medida que a profundidade diminui para que o produto $H^2 \sqrt{h}$ permaneça constante.

2.1.6. Refracção de Ondas Oceânicas

A partir do momento que as ondas passam a sentir o fundo sua velocidade de propagação se altera. Se estas se aproximam em um ângulo menor ou maior que 90° em relação ao contorno batimétrico do fundo, a parte do trem de ondas que estiver mais próximo à costa passará a sofrer primeiro os efeitos do fundo e ter sua velocidade diminuída. A redução da velocidade associada à

mudança de direcção da propagação é denominada de refracção.

No caso de ondas se aproximando obliquamente a costas rectilíneas com contorno batimétrico paralelo, a refracção tende a reduzir a energia das ondas, pois uma mesma quantidade de energia é distribuída ao longo de um comprimento maior de praia (Sears, 1963).

2.1.7. Transformação e Rebentação da Onda na Costa

Ondas de superfície geradas pelo vento em zonas de águas profundas eventualmente podem viajar para zonas de águas pouco profundas. Durante esta transição as características da onda começam a mudar quando a profundidade da água é igual a duas vezes o comprimento de onda. Esta profundidade é importante de ser estimada para a compreensão das formas e processos operantes na zona costeira, já que ao sentir o fundo as ondas também fazem o fundo sentir sua passagem, movendo sedimentos que eventualmente podem chegar à costa (Sears, 1963).

As ondas quebram quando encontram profundidades semelhantes à sua altura (mais precisamente H/h varia de 0,4 a 1,28). Neste ponto, a velocidade horizontal da partícula de água na crista da onda excede a velocidade de propagação da onda e desaba (ponto de maior dispersão de energia). Como ondas de vários tamanhos chegam à costa num mesmo momento, vamos encontrar uma larga zona de rebentação e não apenas um único ponto onde todas as ondas se quebrem (Sears, 1963).

Se a forma da onda na sua crista é aproximada a duas linhas rectas encontrando-se a um ângulo θ , pode-se mostrar que o ângulo mínimo θ para uma onda estável é 120° . Excedendo este ângulo a onda rebenta (Sears, 1963).

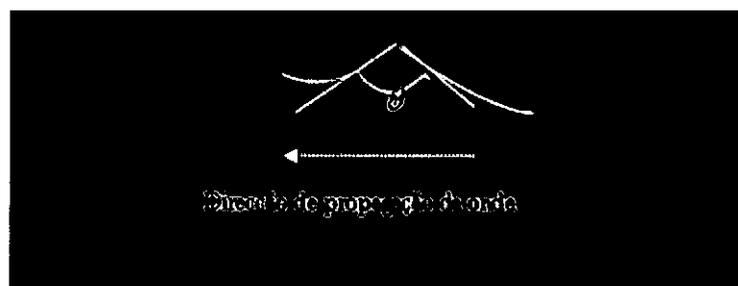


Figura 5. Formato da onda antes de rebentar

A forma de rebentação das ondas pode ser dividida em classes, que depende do grau de inclinação da ante praia (*backshore*).

Em praias pouco inclinadas a rebentação é progressiva (*spilling*) e é caracterizada por uma turbulência que inicia próximo à crista e gradualmente move-se para frente e a rebentação é continua por longas distâncias, de forma que pouca pressão dispersiva age em um único ponto.

Praias com este tipo de rebentação são chamadas dissipativas (Sears, 1963).

Aumentando-se a inclinação da ante praia, o processo de quebra da onda passa a ser espacialmente mais concentrado, e a rebentação assume características mergulhantes (*plunging*). Neste caso a dissipação de energia ocorre ao longo de trecho bem mais curto, gerando-se vórtices e ocasional aprisionamento de ar, que pode ser comprimido e explodir atrás da onda logo após a rebentação (Sears, 1963). Esta característica é dominante na praia do Tofo. Praias caracterizadas por este tipo de rebentação estão no grupo de praias intermediárias.

Com um aumento ainda maior do gradiente da ante-praia, as ondas vêm quebrar directamente na face da praia, e a zona de Surf fica praticamente inexistente. Quando isso ocorre as ondas podem tanto quebrar com um colapso ou se elevarem na face da praia (*collapsing*). Neste último caso não existe quebra, e as ondas elevam-se na face da praia com um forte espraiamento (*surging*). Nestas condições a energia da onda não consegue ser completamente dissipada, e é reflectida, gerando-se uma onda que move se em sentido oposto. Praias caracterizadas por este tipo de rebentação são chamadas de reflectivas (Sears, 1963).

2.1.8. Correntes Geradas Pelas Ondas na Costa

Ondas de rebentação enviam impulsos de água em direcção a costa até que se esgote seu momento, onde então a gravidade puxa a água de volta para o mar. Esta zona de Surf entre a zona de rebentação e o ponto de máxima altura, há uma troca de turbulência de água e máxima actividade geomorfológica associada com correntes geradas pelas ondas. Pulsos para frente e para trás, movem em ângulos rectos para a costa em ondas ortogonais, gerando correntes normais a costa. Essas correntes deslocam sedimentos não coesos (tais como areia) ao longo da costa. A molha das ondas incidentes e refractadas movem-se, na diagonal ao longo da costa, em quanto que a molha de volta move-se perpendicularmente a costa (movimento zig-zag), este movimento é um dos principais mecanismos de transporte de sedimentos soltos ao longo da praia e também resulta em uma rede de correntes litorais que movem-se paralelamente e junta a linha da costa. A molha para frente e para trás interfere uma com outra e acumulam água em frente da linha de rebentação. Todos estes processos estabelecem correntes laterais na zona de surf que eventualmente drenam em direcção ao mar como potentes correntes de Rip, completando padrão celular de movimento de água. Correntes litorais são responsáveis pela deriva litoral de sedimentos (Briggs, *et al.*, 1997). A Figura 5, mostra o padrão das correntes do litoral.

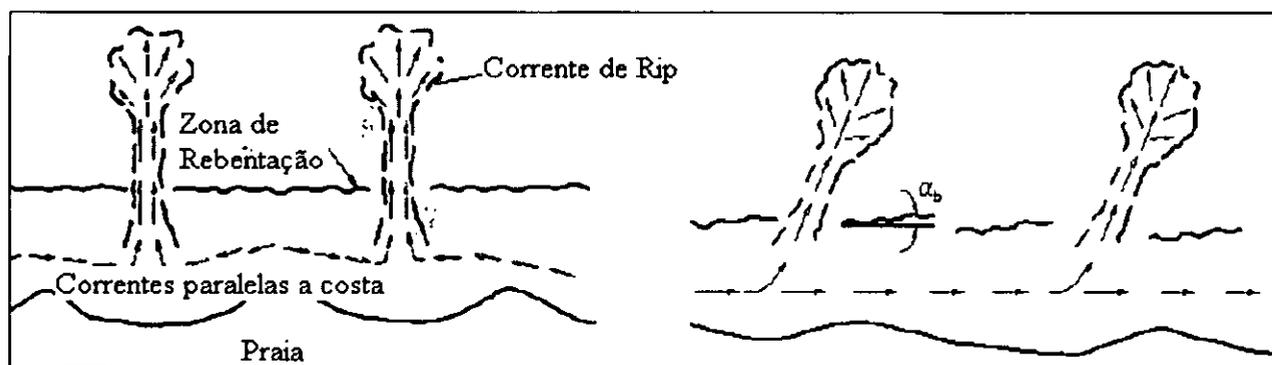


Figura 6. Correntes originadas na zona costeira (correntes do litoral)

2.2. Zona Costeira

Costa é definida como sendo a parte da terra adjacente ao oceano, compreendendo os seguintes elementos: *Backshore* é a parte que vai do foreshore para o interior da terra; *Foreshore*, é a zona entre a maré baixa e o ponto onde a praia se torna horizontal ou inclina para terra, é a região da praia propriamente dita; e *Offshore* é a parte que vai desde o nível da baixa-mar em direção ao mar (Chernicoff, 1999).

As praias constituem sistemas dinâmicos, onde elementos básicos como ventos, água e areia interagem, resultando em processos hidrodinâmicos e deposicionais complexos, e compreendem uma parte sub aérea e médio litoral e outra subaquática que inclui a zona de rebentação e se estende até a base orbital das ondas (Cunha, 2006, pp. 126). A praia do Tofo é constituída primariamente por areia. Os materiais pequenos e não consolidados que fazem a praia são facilmente movidos pelas ondas e pelo vento, conseqüentemente, o formato da praia está constantemente a mudar.

Ciclos sazonais de deposição e remoção de areia afectam a aparência da praia do Verão ao Inverno. Assim a praia apresenta-se larga e com declive suave no Verão, mas no Inverno torna-se íngreme e estreita, com tudo, faixas de areia podem desaparecer de um dia para outro por causa de ondas violentas de tempestade. A maioria da areia removida da praia no Inverno é depositada em barras de areia no *offshore* e retorna a praia durante meados dos meses do Verão através de ondas de *swell* suaves que empurram a areia para a margem exposta (Briggs *et al.*, 1997). Não obstante, os rios normalmente fornecem 80 a 90 por cento da areia as praias, mas o sistema do Tofo é maioritariamente fornecida pelas dunas.

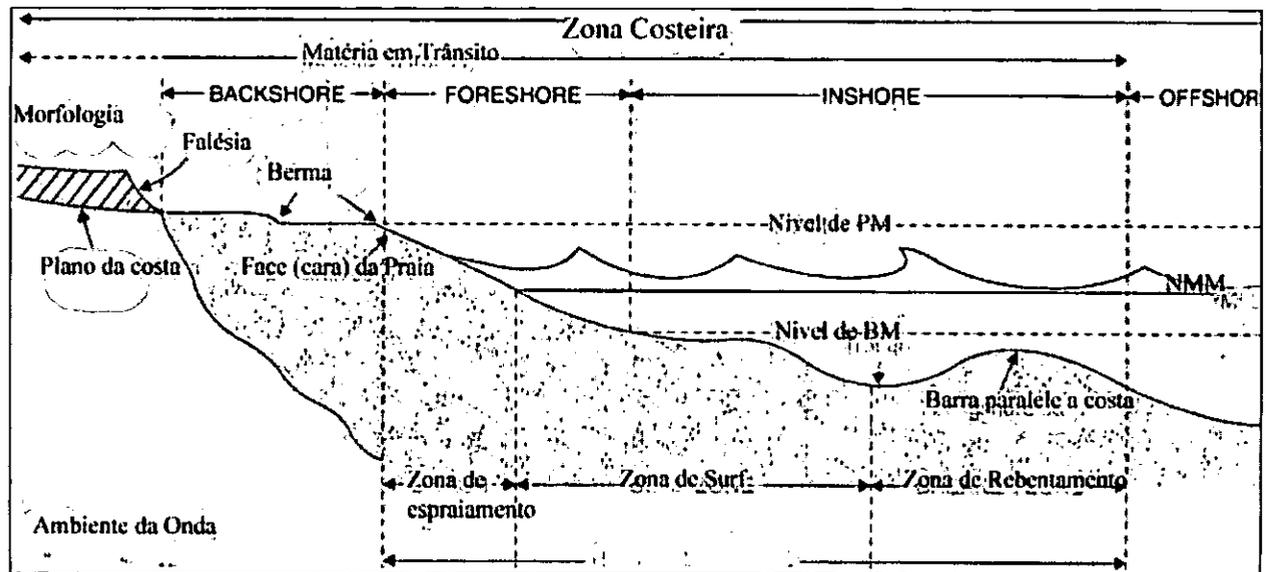


Figura 7. Elementos da zona costeira (Briggs, 1997)

2.3. Erosão Costeira

2.3.1. Enquadramento

Pela acção das ondas, a erosão ocorre através da pressão hidráulica, da mobilidade dos sedimentos e seu atrito, e ainda mais efectivo através de ondas de tempestade. A rebentação das ondas aplica um choque hidráulico ou o efeito de martelo (ver figura 7), prendendo água ou comprimindo ar a frente da onda e uma pressão negativa a medida que recua. A tensão de compressão é maximizada em ondas mergulhantes e quando a frente de onda é vertical, prendendo o ar entre o crista e a cava. O efeito de ciclos repetidos de choques hidráulicos e pressão negativa depende da estrutura do material e da litologia dos materiais da terra. Forças hidráulicas aceleram a erosão quando as ondas atacam materiais não consolidados ao longo da linha da costa (Briggs *et al.*, 1997).

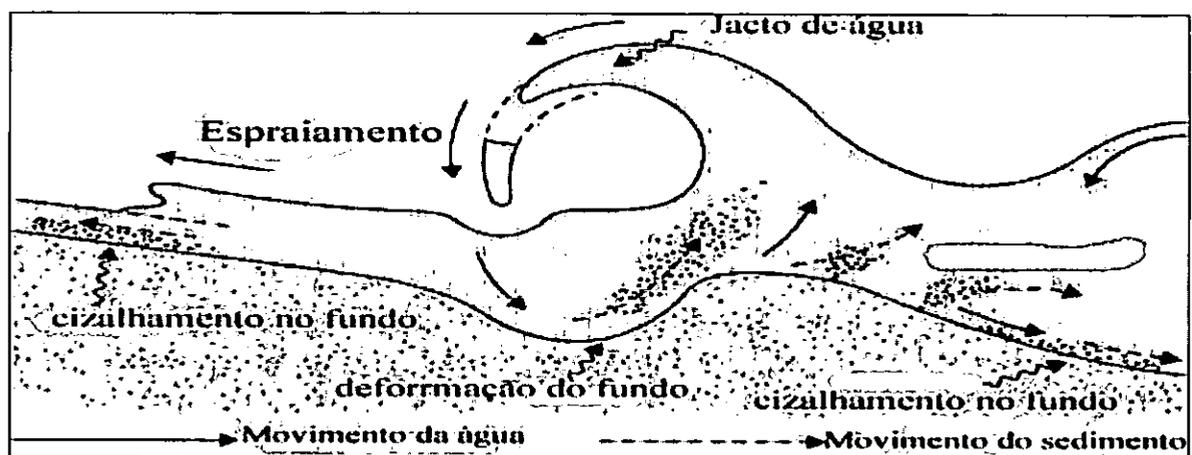


Figura 8. Impacto de rebentação da onda. Erosão da onda (Briggs, 1997)

O fenómeno de recuo da linha de costa (erosão costeira) pode ser analisado em várias escalas temporais e espaciais. O comportamento de um determinado trecho da linha de costa é resultado do balanço de sedimentos para este trecho. O balanço de sedimentos nada mais é que a aplicação do principio da continuidade ao transporte e deposição de sedimentos. Assim se para um determinado trecho da linha de costa, o balanço de sedimentos é positivo, a linha de costa avança mar dentro, se este balanço é negativo a linha da costa irá recuar em direcção ao continente. Se o balanço é zero, a posição da linha de costa se mantém fixa.

2.3.2. Efeitos da Erosão Costeira na Praia do Tofo

Os efeitos da erosão na Praia do Tofo que estão modificando acentuadamente a linha da costa são vários podendo-se destacar os seguintes:

- ◇ Diminuição da praia em consequência do avanço das águas terra dentro;
- ◇ Destruição de dunas primárias;
- ◇ Remoção desequilibrada de sedimentos (areia) ao longo da linha da costa;
- ◇ Desgaste acentuado das rochas sob acção das fortes ondas oceânicas e do vento;
- ◇ Destruição da vegetação costeira;
- ◇ Alagamentos e destruição de casas que se situam ao longo da praia.

2.3.3. Causas da Erosão Costeira na Praia do Tofo

2.3.3.1. Acção das ondas

A maior parte da erosão ao longo da costa oceânica é produzida pelas ondas, e a energia por elas trazida é dissipada na praia.

A maioria das ondas atinge a praia num ângulo oblíquo, assim o curso da onda pode ser decomposto em duas componentes direccionais: uma com orientação perpendicular, e outra com orientação paralela à praia. A primeira produz erosão de impacto e a segunda produz uma corrente de transporte de sedimentos ao longo da costa. Quanto maior for o ângulo de incidência da onda, em relação à linha perpendicular à costa, maior será o transporte de sedimentos ao longo da costa (Briggs *et al.*, 1997).

2.3.3.2. Acção da Maré e Correntes na Costa

Embora o sistema de rebentação das ondas parece dominar a geomorfologia costeira, ondas de maré também são em grande número importantes. A actividade geomórfica está concentrada na zona de *surf*, em que a máxima extensão horizontal e vertical é o produto do alcance da maré e da altura da onda, e trabalham junto com ondas de tempestade, embora relativamente infrequente,

podem ter maiores impactos geomórficos. Extensão média anual de ondas de tempestade (*surges*) é de +1,5 m em costas ciclónicas tropicais, o caso de Inhambane. Por outro lado, refluxo da maré estimula correntes de maré com substanciais fluxos de água, energia e sedimentos ao longo da costa (Briggs *et al.*, 1997).

A força de atracção gravitacional que causa a maré, não está confinada à superfície dos oceanos pois, a água de todas as profundidades sofre essa atracção, e por isso ocorrem correntes de maré de profundidade e os principais efeitos parecem ocorrer quando a água que está para lá do talude continental é puxada em direcção a terra sobre a plataforma continental. Estas correntes são as responsáveis pela movimentação dos sedimentos perto das margens das plataformas (Chernicoff, 1999).

2.3.3.3. Acção da Subida do Nível do Mar na praia do Tofo em Virtude do Sopro do Vento

A subida do nível do mar na praia do Tofo pode estar relacionado com o facto de que o vento na região marítima adjacente tender a soprar predominantemente nas direcções S e SE. Este fenómeno leva que o transporte de massa seja feito para a esquerda da direcção do vento (Oeste), para o lado da praia. Essa massa de água transportada eleva o nível do mar naquela região e inunda a praia.

2.3.3.4. Subida do Nível do Mar em Virtude da Expansão Térmica do Oceano Global

Um dos principais riscos associados ao aquecimento global da Terra devido às alterações climáticas é a subida do nível médio dos oceanos, especialmente devido à fusão dos glaciares e dos montes de gelo da Antárctida, associados ao aumento do volume das águas por expansão térmica. O nível do mar que vem subindo a um ritmo de 2 mm/ano no oceano global, poderá acelerar substancialmente, pondo em risco diversas áreas costeiras (Watson *et-al.*, 1998).

Para além do efeito directo da subida do nível do mar, há ainda a considerar o aumento do poder erosivo, em especial nos cordões dunares e na praia, e o impacto sobre as infra-estruturas costeiras.

Segundo relatórios de IPCC, uma subida do nível do mar de 1cm erode a praia em cerca de 1m horizontalmente, isto torna-se grande problema para praias que estão a 5m do oceano (Watson *et-al.*, 1998). Adicionalmente, subidas do nível do mar criará largas *storm surges* que rapidamente elevaram a taxa de erosão. Pesquisadores revelam que valores de erosão costeira observados são duas ou três vezes maiores que os previstos para o mesmo ano. Pensa-se que praias com perfil côncavos erodem a areia da cara da praia e depositam no *offshore* para manter constante a sua profundidade. Esta regra pode ser aplicada para correlacionar a subida do nível do mar com erosão costeira. Com a presente taxa de subida do nível do mar, 70% das praia mundiais estão a erodir e

recuando (Watson *et-al.*, 1998). Assim se a taxa de subida do nível do mar continuar a aumentar, a perda de praias por erosão continuará a aumentar, e a praia do Tofo não foge a regra.

2.3.3.5. Causas de carácter Antropogénicas

A acção do Homem sobre a praia do Tofo tem sido muito intensa e devastadora assim, as actividades antropogénicas praticadas ao longo da praia do Tofo que causam erosão são:

- ◊ Construção de casas nas cristas ou encostas das dunas primárias;
- ◊ O não uso de pegadios para acessar os diversos sítios da praia, isto é os turistas andam directamente sobre a areia ou duna, forçando a areia das encostas íngremes a deslizar encosta abaixo;
- ◊ Movimento de veículos motorizados sobre as praias e dunas, esses veículos removem sedimentos, vegetação acelerando a erosão das mesmas;

2.4. Transporte de Sedimentos na Zona Costeira

Os sedimentos ao longo da praia do Tofo são predominantemente terrígenos não coesivos constituídos por Quartzo e fragmentos de rocha. O movimento dos sedimentos ocorre quando a força do fluxo da água supera a força gravitacional que actua nos grãos, e supera a fricção entre o grão e a camada abaixo.

2.4.1. Transporte de Sedimentos pelo Mar na Costa

Transporte e deposição de sedimentos são processos contínuos em águas costeiras. A zona de rebentação das ondas forma uma barreira em direcção ao mar para uma grossa transferência de sedimentos excepto durante tempestades quando largos volumes de areia são estendidas em direcção ao continente. Ondas com fraca molha de retorno e baixa impedância de molha a partir das ondas anteriores, comumente aos 8-10 s de intervalo de molha, são responsáveis pela construção de praias. Em contrapartida, ondas mergulhantes (o caso das ondas da praia do Tofo) com curtos intervalos de molha 4-5 s, as vezes tem fortes molhas de retorno e transferem sedimentos em direcção ao mar (Briggs *et al.*, 1997). A taxa de derivas litorais aumentam com a potência da onda e ângulo de aproximação da onda, e as vezes são os principais processos de transporte e o único mecanismo rede de transporte em costas em equilíbrio.

2.4.2. Transporte de Sedimentos pelo Vento

O transporte de sedimentos pelo vento é maioritariamente feito por arasto. Os sedimentos são movidos por arrasto, por rolamento e, por vezes, saltitando. As partículas mais pequenas constituem o grosso da carga de partículas transportadas pelo vento. Os sedimentos começam a mover-se quando a velocidade do vento atinge o nível crítico para o seu tamanho. Primeiro, a partícula rola no chão e salta quando batida por outra. Uma vez começado o saltitar de partículas, o processo acelera porque os grãos ao saltarem são impelidos para a frente pelo vento, ganhando assim mais energia. Quando eles batem de novo na superfície, fazem com que outras partículas também saltem, originando uma reacção em cadeia. Em breve ocorre uma zona com alguns centímetros a um metro de espessura cheia de sedimentos saltitantes. Tanto o tamanho das partículas como a altura da zona de saltação aumentam com o aumento da velocidade do vento (Chernicoff, 1999).

2.5. Fórmulas de Transporte de Sedimentos na Zona Costeira

Dois tipos de movimento de sedimentos são usualmente assumidos:

- 1- Movimento no fundo, este tipo de movimento refere-se a grãos que são rolados ou ressaltados ou ainda deslizados em contacto com o fundo ou tocando o fundo tempo em tempo. A quantidade (massa ou volume) de sedimentos no fundo constitui a carga do fundo. A largura da camada dentro do movimento do fundo é altamente distinguível, mas por razões dimensionais assume-se ser um múltiplo do diâmetro do grau (Koutitas, 1988).
- 2- Movimento na superfície, a concentração do sedimento no seio do movimento no fluido é alta no fundo mas diminui rapidamente a medida que se sobe à superfície. Assim, as forças que mantêm os graus em suspensão são a de flutuação hidrostática e de sustentação hidrodinâmica, e em caso de turbulência que é evidente na zona costeira, o fluxo depende da componente w' (flutuação vertical devido a turbulência). A magnitude w' está relacionada com a intensidade de turbulência e contudo da fricção do fundo (τ_b) e a força de gravidade actuando na suspensão resulta numa velocidade estabilizante w_f . Assim a carga em suspensão é devida ao volume de sedimentos movendo-se de acordo com este padrão e depende da taxa u_b / w_f ($u_b = \sqrt{\tau_b / \rho}$) (Koutitas, 1988).

Numa direcção horizontal, uma distinção é feita entre o movimento do sedimento na zona de surf e na restante zona costeira.

- i. Na lâmina estreita entre linha de rebentamento e a linha da costa, a turbulência é muito intensa devido a rebentação das ondas. Nesta zona grandes quantidades de sedimentos são transportadas

na direcção da corrente litoral. Os processos físicos ali são extremamente complicados tal que os pesquisadores recorrem a métodos computacionais.

- ii. No resto do domínio costeiro bidimensional, não desprezam-se nenhum efeito combinado de transporte de sedimentos pelas ondas e correntes. Por isso, foi estimado que é necessário investigar processos de transporte de sedimentos em profundidades não superiores a 10 m (influenciados pelas ondas geradas pelo vento com períodos próximos aos 10 segundos) (Koutitas, 1988).

2.5.1. Fórmula Geral de Transporte de Sedimentos

Segundo Koutitas (1988), a relação matemática de previsão da evolução da linha da costa ou da profundidade da água na zona costeira com um considerável transporte de sedimentos, deriva do principio de conservação de massa para graus em movimento. Definindo o volume total de descarga de sedimentos ao longo da direcção horizontal x e y , por q_{sx} , q_{sy} , q_{bx} , q_{by} . Onde s refere-se ao suspenso, e b ao do fundo, assim para um declive suave, a taxa temporal da mudança do nível do fundo ζ_b é dado por:

$$\frac{\partial \zeta_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(q_{sx} + q_{bx}) + \frac{\partial}{\partial y}(q_{sy} + q_{by}) = S \quad (9)$$

Onde S é o termo fonte ou semidouro que descreve a taxa de deposição de sedimento em suspensão numa coluna de água com dimensões dx , dy , h .

$$S = \frac{\partial}{\partial t} \int_{-h}^0 c dz \quad (10)$$

Onde $c(x, y, z, t)$ é a taxa de volume suspenso para o volume da mistura. S é usualmente negligível. A relação entre o volume da descarga do sedimento com o peso da descarga, g_s , g_b , é:

$$g_s = (1 - n)\gamma_s \cdot q_s \quad (11)$$

Onde n é a porosidade, γ_s o peso específico do grão (para Quartzo $\gamma = 2,6t/m^3$). Assim da equação (11), a soma de $q_s + q_b$ compõe a carga total de sedimento, q_t .

$$q_t = q_s + q_b \quad [m^3/m/s = m^2/s] \quad (12)$$

Analisando o desenvolvimento das formulas sobre transporte de sedimentos não consolidados ou não coesivos (areia), seleccionou-se fórmulas que serão uteis na pesquisa do fenómeno de erosão

costeira na Praia do Tofo. Assim neste capítulo ir-se-á mostrar as formulas propostas por Bijker e Battchraya (1968).

2.5.2. Fórmula Híbrida de Bijker-Battchraya (1968)

Esta expressão divide o transporte de sedimentos em transporte no fundo e em suspensão. Para o cálculo do transporte no fundo usou-se a fórmula proposta por Bijker (1968) que foi uma das primeiras fórmulas a considerar o efeito conjunto de ondas e correntes, e para cálculo do transporte em suspensão usou-se a fórmula proposta por Battchraya (1968). O Transporte total é obtido pela soma do transporte no fundo e em suspensão.

Assim, segundo Bijker, (1968), a taxa de transporte no fundo, q_b , é dada pela expressão seguinte,

$$q_b = Ad \frac{U}{C} \sqrt{g} \exp\left[\frac{-0,27(\rho_s - \rho)gd}{\mu\tau_{cw}}\right] [m^3 / m / s = m^2 / s] \quad (13)$$

Onde A é um coeficiente empírico (cujo valor é 1,0 para ondas que não rebentam e 5,0 para ondas que rebentam), d o diâmetro médio das partículas, U a média temporal da velocidade da corrente, C o coeficiente de Chézy com base na rugosidade dada por k_{sc} - rugosidade devido à corrente, g a aceleração gravítica, ρ_s e ρ as densidades da areia e da água, respectivamente, μ um parâmetro relativo aos *ripples*, τ_{cw} a tensão de corte no fundo devido à interação entre correntes e ondas. O primeiro termo da expressão refere-se ao transporte efectivo, enquanto que o termo (o expoente) refere-se à mobilização dos sedimentos. O μ , que indica a influência da forma da rugosidade do fundo no transporte, é calculado através das seguintes expressões:

$$\mu = \left[\frac{C}{C_{90}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

$$C = 18 \log_{10} \left(\frac{12h}{k_{sc}}\right) \quad (15)$$

Onde C_{90} é o coeficiente de Chézy para uma rugosidade dada por d_{50} - diâmetro das partículas excedido apenas por 50% destas em peso, e h a altura da coluna de água (profundidade na zona de rebentação). A tensão de corte combinada, τ_{cw} , segundo Bijker, (1968) é dado por:

$$\tau_{cw} = \tau_c \left(1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{U_{bw}}{U}\right)\right) \quad (16)$$

Em que U_{bw} corresponde à velocidade orbital máxima no fundo provocada pelas ondas, τ_c é a tensão de corte no fundo provocada pela corrente e ξ corresponde a um coeficiente entre os factores de atrito:

$$\tau_c = 0.5 \rho f_c U^2 \quad (17)$$

$$\xi = \sqrt{\frac{f_w}{f_c}} \quad (18)$$

f_w e f_c são os coeficientes de atrito devido às ondas e à corrente, respectivamente

$$f_c = \frac{8g}{C^2} = \frac{0.24}{\left(\log\left(\frac{12h}{k_{sc}}\right)\right)^2} \quad (19)$$

A taxa de transporte em suspensão proposto por Battacharya, é uma expressão simples que depende do transporte de fundo, q_b , calculado anteriormente:

$$q_s = q_f \frac{k_s}{k_b} \quad [m^3 / m / s = m^2 / s] \quad (20)$$

Em que k_s e k_b são calculados por uma rotina constituída por polinómios obtidos empiricamente e que se baseiam em dois parâmetros de carácter físico, expressa pelas seguintes equações:

$$A = \frac{h}{k_{sc}} \quad (21)$$

$$Z_{wc} = \frac{w_s}{k \sqrt{\frac{\tau_{cw}}{\rho}}} \quad (22)$$

$$B_1 = 1,05 \frac{Z_{wc}^{0,06}}{A^{0,013 Z_{wc}}}; B_2 = 1 - B_1 \quad (23)$$

$$k_b = \frac{1 - B_1 0,01667^{B_1}}{B_2} \quad (24)$$

$$k_s = \frac{0,415 [B_2 (A^{B_2} \log_{10}(3,4078) + 1 - A^{B_2})]}{B_2^2} \quad (26)$$

Z_{wc} é um parâmetro de suspensão, que reflecte o quociente entre as forças gravíticas

(descendentes) e as forças no sentido ascendente, que actuam sobre uma partícula; e k é igual a 0,384 (Bijker, 1968).

A velocidade de queda do sedimento é dado pela seguinte expressão:

$$w_s = \frac{10^{-5}}{d_s} \left(\sqrt{1 + \frac{0,01(\rho_s - 1)gd_s^3}{\rho} - 1} \right) \text{ [m/s]} \quad (27)$$

Onde, onde d_s é o diâmetro representativo, $d_s = 0.9d$. Considera-se as seguintes constantes físicas: a densidade média dos sedimentos, $\rho_s = 2650,0 \text{ kg.m}^{-3}$, da água do mar tropical, $\rho = 1025,0 \text{ kg.m}^{-3}$, e a aceleração gravítica, $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ (Koutitas, 1988).

CAPITULO III: Materiais e Métodos

3.1. Materiais

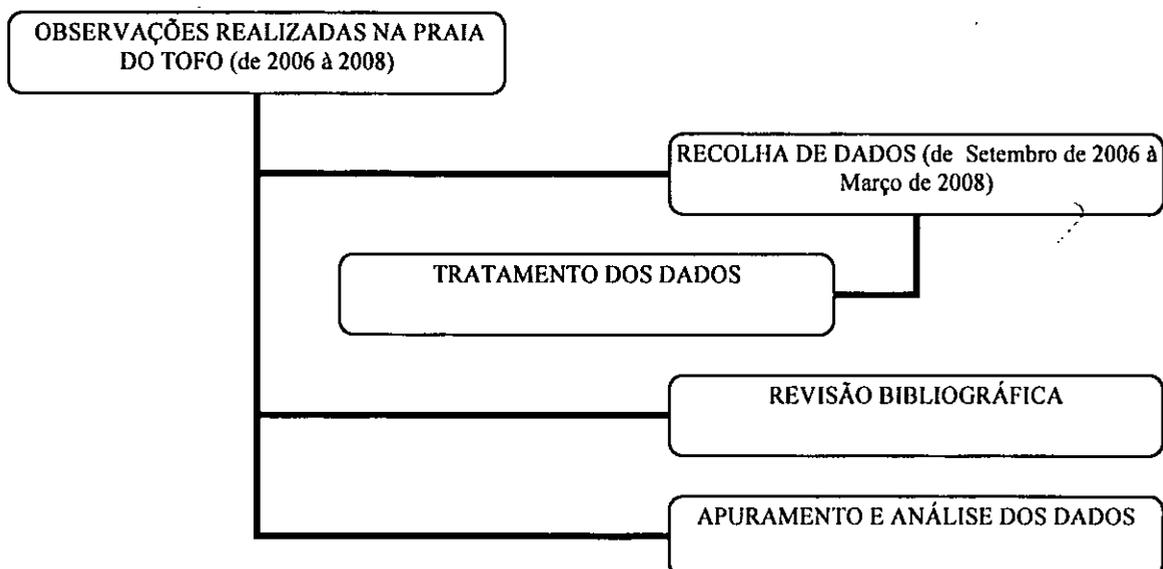
Para se atingir os objectivos do trabalho, foram usados os seguintes materiais:

Tabela 1. Materiais usados no trabalho

Instrumento	Utilidade	Precisão
Teodolito Digital (<i>topcon. DT-200 Series</i>)	Topografia da praia	8 mm ou 8"
Fita Métrica	Largura e topografia da praia	0.01 m
Máquina Fotográfica (<i>Kodak EaseShare DX6490</i>)	Imagens <i>in situ</i>	4.0 Mega Pixels
GPS	Coordenadas geográficas	
Relógio	Medição do tempo e momento das medições	0,01 s
Carta Náutica da Região de estudo N° 46646-M (Baia de Inhambane e Acessos, 1985)	Batimetria da região da praia do Tofo	
Sacos Plásticos	Colecta das amostras de areia	
Tabela de Marés	Alturas horárias da maré local	
Computador	Digitação, cálculos e tratamento dos dados	

3.2. Metodologia

O presente trabalho de pesquisa foi elaborado atendendo as seguintes fases:



3.2.1 Observações Realizadas no Local de Estudo

Durante o período entre os anos 2006 a 2008 observaram-se mudanças da paisagem da praia do Tofo. No ano 2006, as observações foram realizadas no âmbito do projecto do curso e posteriormente, de 2007 a 2008 no âmbito do trabalho de tese, observou-se detalhadamente o evoluir das mudanças das características da praia do Tofo com ênfase no processo de erosão.

3.2.2 Recolha de Dados

Os dados colhidos na praia do Tofo foram referentes à: largura da praia (colhidos de 2006 (no âmbito do projecto do curso) à 2008), tamanho dos sedimentos (colhido em 2008), disposição da linha da costa (colhidos de 2006 à 2008), altura da falésia (colhido em 2008), topografia da praia (colhidos em 2008), intensidade e direcção do vento (1996 a 2007 (INAM)), batimetria (carta Náutica N° 46646-M de 1985), período médio e predominante das ondas (2007 a 2008 (Modelo WAVE WATCH III NOAA)).

3.2.3 Tratamento dos Dados

◇ Dados referentes a largura da praia foram colhidos através de fita métrica e analisados, comparados tendo em conta a altura da maré e a estação do ano, e inseridos no software *Excel* afim de se obter tabelas e gráficos.

◇ Os dados referentes ao tamanho dos sedimentos (granulometria) foram obtidos da seguinte maneira: 1º- duas amostras de areia equivalentes a 1Kg foram colhidas na praia do Tofo, a primeira amostra foi colhida na zona de rebentação (zona *ii* ilustrada na Figura 2), e a segunda amostra foi colhida 50 metros a Oeste da primeira (depois das cazoarinas próxima a muralha dos artistas), 2º- levou-se as amostras ao laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geologia da UEM onde foram feitas análises glanulométricas para se apurar a dimensão dos grãos. 3º- 10 sacos plásticos foram pesados individualmente para se obter o valor da tara, 4º- 20g pesadas numa balança electrónica semi-analítica de altíssima precisão (0,001g) foram retiradas de 1Kg da amostra 1, e colocadas num conjunto de 10 crivos com dimensões de rede que varia dos 2,00 mm aos 0,063 mm. 4º- o conjunto de crivos foi posto numa misturadora (*change machine*) afim de separar os grãos de dimensão igual a de cada crivo. 6º- Retirou-se amostra de cada crivo pôs-se no saco plástico correspondente, 7º- pesou-se para obter a massa da amostra mais a tara. 8º- Subtraiu-se a massa da tara com a massa da tara mais amostra e obteve-se a massa individual de cada amostra.

◇ Dados referentes a topografia da praia foram colhidos por meio de um teodolito digital (este aparelho mede ângulos verticais e horizontais e mede o distancia entre o aparelho e a mira) operado pelo Sr. Olímpio Languane (topografo da secção técnica do CMCI) e pelo autor, da seguinte

maneira: (Levantamento dos dados no campo) 1º- Acertou-se o instrumento e achou-se o NMM através duma cota de referência fixa (10,0 m). 2º- Transportou-se a cota de referência (Mr1) para o primeiro ponto de nível igual a 10 m. 3º- mantendo o teodolito fixo transportou-se a mira para nove pontos da zona *iii* em ângulos horizontais diferentes. Pontos estes aos pares, um na berma e outro na água. 4º- Transferiu-se o teodolito para o ultimo ponto (estação) medido e repetiu-se a operação anterior para novos pontos das zonas *ii*, *i*, e trecho L3, estabelecendo-se o novo ponto fixo do teodolito (Mrx), x é o número de secções. 5º- Calculou-se os desníveis a partir da fórmula (35). 6º- Calculou-se as cotas dos pontos. 7º- Projectou-se os pontos. 8º- Traçou-se as curvas de nível.

◊ Dados como a média mensal da velocidade do vento, batimetria, período das ondas, forma colhidos já prontos para se utilizar.

3.2.4. Apuramento e Análise dos Dados

Nesta fase, primeiro todos os dados foram filtrados, depois seleccionou-se as variáveis interessantes, depois foram organizados sistematicamente de acordo com o tipo, em seguida introduzidos nos *software Excel, Paint, Word e Surfer* a fim de se obter resultados.

3.2.4.1. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos

Para se obter o valor do transporte no fundo e em suspensão, assumiu-se que U_{bw} e U são iguais dado que a trajectória das partículas é quase uma linha recta a profundidade da zona considerada, o valor médio das correntes é semelhante em todas praias oceânicas tropicais e situam-se no intervalo dos 0.2 aos 1.8 m/s (Smith, 2003). Como não se obteve directamente a velocidade média das correntes por avaria do correntómetro, e sabendo que a praia do Tofo é tropical e oceânica, usou-se o intervalo [0.2 ; 3.0]m/s (considerando velocidades extremas) como valores médios de corrente para resolver a equação da taxa de transporte de sedimentos na praia do Tofo. A partir da carta náutica N.º 46646-M, tem-se profundidades de referência iguais a 2.8, 3.2, 5.0, 7.7 e 10 metros respectivamente, mas neste trabalho, por conveniência usou-se a profundidade de 3.2. A tabela 2, mostra as equações usadas no cálculo da taxa de transporte de sedimentos no fundo e em suspensão.

Tabela 2. Sistematização das fórmula e constantes usadas no cálculo da taxa de transporte de sedimentos

A	5.00
d_{50}	0.250 mm = 0.00025 m
U	0.20 à 3 m/s
C	32.01
$C_{50} = 18 \log_{10} \left(\frac{38,4}{d_{50}} \right)$	93.355

h	3.2 m
$\mu = \sqrt{\frac{32,01}{C_{50}}}$	0.586
$\tau_{cw} = 42,79U^2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(0,180 \frac{U_{bw}}{U} \right) \right)$	Calculado por rotina em Excel
ρ_s	2650 Kg/m ³
$q_f = 5d \frac{U}{32,01} \sqrt{9,81} \exp \left[\frac{-0,27(\rho_s - 1025)9,81d}{\mu 42,795U^2} \right]$	Calculado por rotina em Excel
f_c	0,0766 m/s ²
f_w	0,00248 m/s ²
ξ	0,568
$Z_{wc} = \frac{w_s}{0,42U^2}$	Calculado por rotina em Excel
$w_s = \frac{10^{-5}}{d_s} \left(\sqrt{1 + \frac{0,01(\rho_s - 1)gd^3_s}{\rho} - 1} \right)$	0,00000505 m/s
$d_s = 0,9d$	0.225 mm = 0,000225 m
B_1	Calculado por rotina em Excel
B_2	Calculado por rotina em Excel
k_b	Calculado por rotina em Excel
K_s	Calculado por rotina em Excel
$q_s = 5d \frac{U}{32,01} \sqrt{9,81} \exp \left[\frac{-0,27(\rho_s - 1025)9,81d}{\mu 38,95U^2} \right] \frac{k_s}{k_b}$	Calculado por rotina em Excel
$q_t = q_f + q_s$	

3.2.4.2. Cálculo de Desníveis no Levantamento Topográfico

Para calcular o desnível considerou-se a cota 10 como a partida, e usou-se a seguinte fórmula:

$$D_N = D \tan V \text{ [m]} \quad (28)$$

Onde: D é a distancia entre o teodolito e a mira e V é o ângulo vertical medido.

Para a transmissão de cotas usou-se a cota do ponto anterior mais ou menos o desnível.

Exemplo: $10,03 + 0.37 = 10,40$ m

3.2.4.3. Cálculo do Volume Total de Descarga de Sedimentos pelo Método de Triângulo

Este método consistiu em: 1º- escolher um trecho da praia, 2º- fazer o levantamento topográfico em dois momentos diferentes, 2006 e 2008 respectivamente. 3º- traçar secções transversais do perfil topográfico denominadas Mr1, Mr2, Mr3, Nr4 Mr5 e Mr6, para cada momento que correspondeu a uma área plana triangular rectangular, em que a base do triângulo é a largura da praia, e a altura do triângulo é o desnível. A área plana rectangular entre duas secções Mr é a área do sub trecho considerado. 4º- achar o comprimento do sub trecho em estudo e multiplicar com a área do triângulo rectangular. 5º- fazer o somatório das áreas triangulares do sub trecho vezes o somatório dos comprimentos dos sub trechos em 2006 e 2008 que é igual ao volume total de sedimentos removidos por todos agentes erosivos identificados nesse intervalo de tempo Q_i .

$$Q_i = \sum Q_{i_i} = \sum A_i \times l_i \quad (29)$$

Onde $A_i = \frac{\overline{\Delta Y}_i \cdot L_i}{2}$, é a sub área do trecho, L_i é a largura da praia, l_i é o comprimento de cada sub trecho, e $\overline{\Delta Y}$ é a média das diferenças de cotas dos pontos que compõem a sub área considerada. Essa diferença fez-se subtraindo a cota medida em 2006 com a medida em 2008 de um mesmo ponto, repete-se o mesmo procedimento para todos pontos da sub área. O índice i indica o numero da secção.

3.2.4.4. Cálculo da Inundação no Backshore

Inundação no *backshore* é a diferença entre a linha da costa na presença da onda e a linha da costa na ausência da onda na costa. Para seu cálculo, usou-se as seguintes fórmulas:

Altura Significativa máxima da Onda:

$$H_{s,max} = H_b = 0,14 \tanh(kh) [m] \quad (30)$$

O nível mínimo da superfície do mar ocorre muito próximo do ponto de rebentação da onda, e é dado por:

$$\eta_b = \frac{1}{16} \frac{H_b^2}{h_b} [m] \quad (31)$$

O gradiente do nível do mar assumindo a teoria linear é dada por:

$$\frac{d\eta}{dx} = -0,15 \frac{dh}{dx} = -0,15 \tanh \beta \quad (32)$$

O declive da praia é dada por:

$$\tan \beta = \frac{h_b + \Delta h}{x_2} = \frac{h_b}{x_1} \quad (33)$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{|\eta| + \Delta h}{x_2} \quad (34)$$

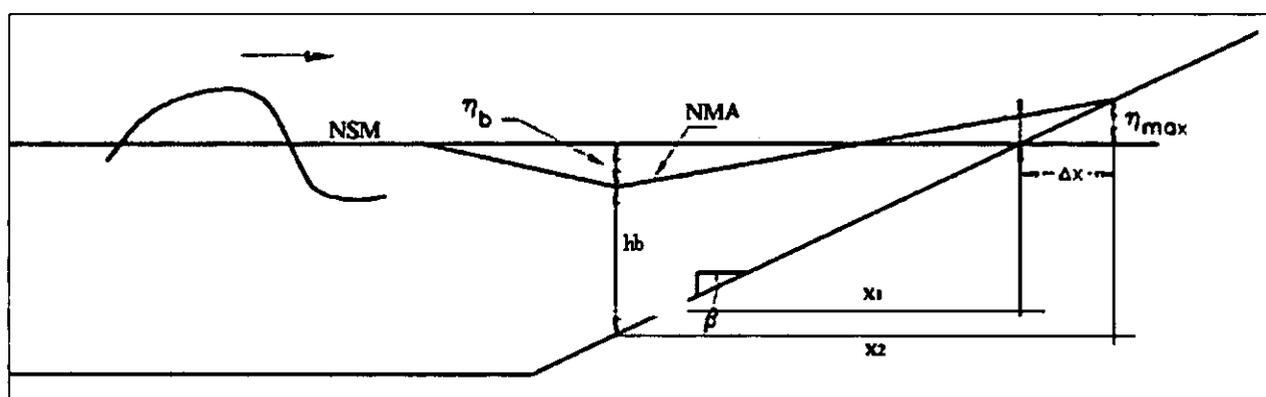


Figura 9. Processo de inundação provocada pela onda na costa

Onde: β é o declive da praia, η é o nível médio do mar no local de rebentamento, h_b é a profundidade de rebentamento, H_b é a altura da onda ao rebentar que pode ser equivalente a altura significativa máxima da onda, k é o número de onda e Δh é o aumento do nível do mar na presença da onda.

A inundação no *backshore* é dado pela diferença entre linha da costa na ausência de onda (x_1) e linha da costa na presença de ondas (x_2):

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad [m] \quad (35)$$

CAPITULO IV: Resultados

4.1. Granulometria dos Sedimentos que Compõe a Praia do Tofo

A praia do Tofo é composta maioritariamente por rochas sedimentares clásticas. O gráfico abaixo ilustra o tamanho dos grãos que compõe a rocha sedimentar clástica (arenito) maioritariamente presente na praia do Tofo.

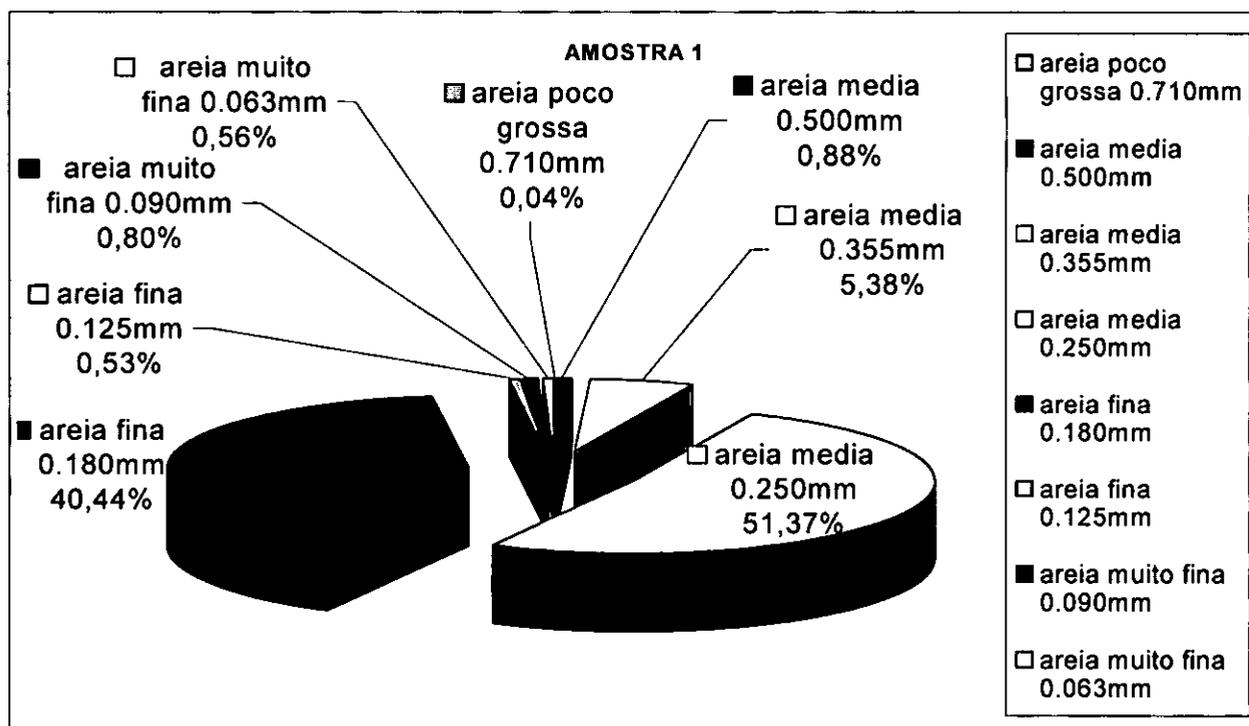


Gráfico 1. Granulometria dos sedimentos que compõe a praia do Tofo (ponto molhado)

4.2. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos

Sabendo que 50% dos grãos tem diâmetro igual a 0,250 mm, usando um intervalo de valores médios de correntes que variam de 0,2 a 3,0 m/s, e considerando que a altura da coluna de água é igual a 3,2 m (carta náutica N.º 46646-M), calcularam-se as taxas de transporte de sedimentos no fundo e na superfície considerando o efeito conjunto das ondas e das correntes, através das fórmulas (12), (13) e (20).

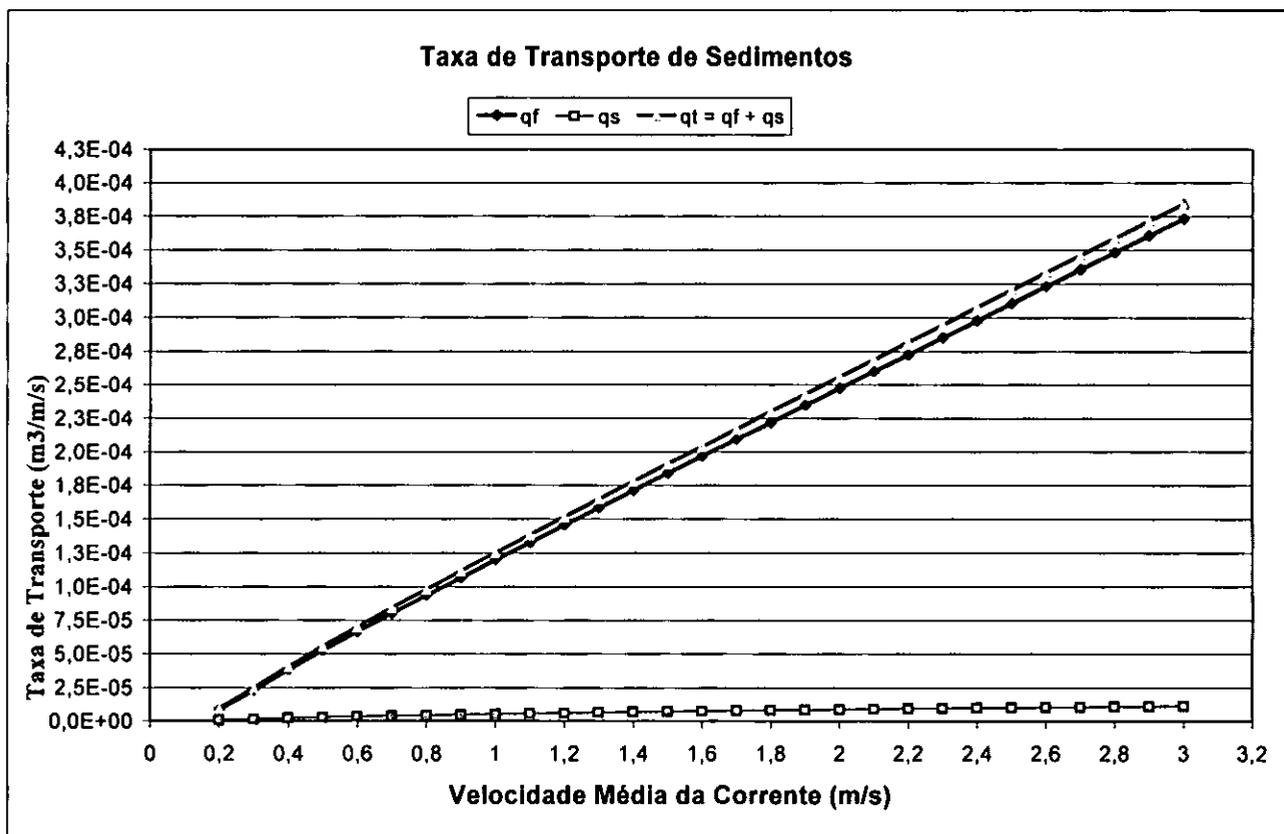


Gráfico 2. Taxa de transporte de sedimentos

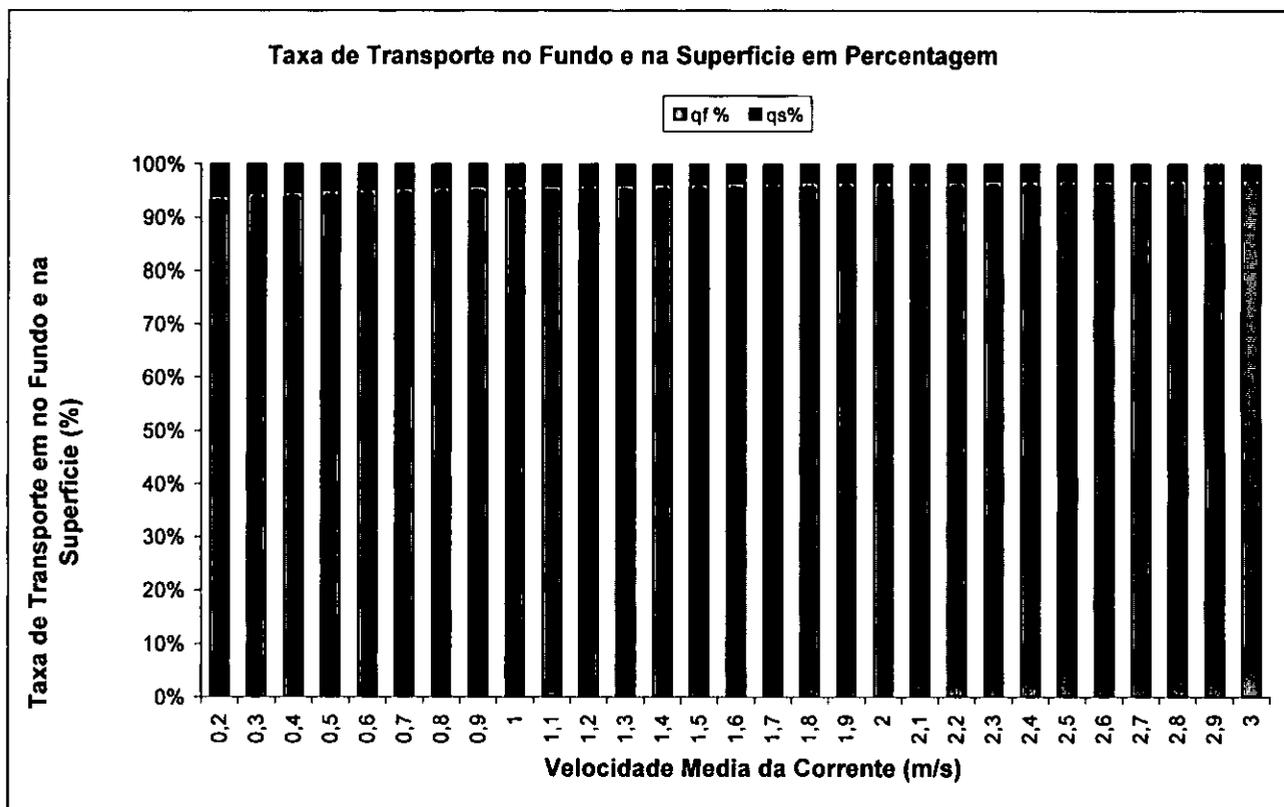


Gráfico 3. Taxa de transporte de sedimentos em percentagem

4.3. Topografia da Praia nos Anos 2006 e 2008

Através de levantamentos topográficos feitos em 2006 e 2008 obteve -se os seguintes resultados:

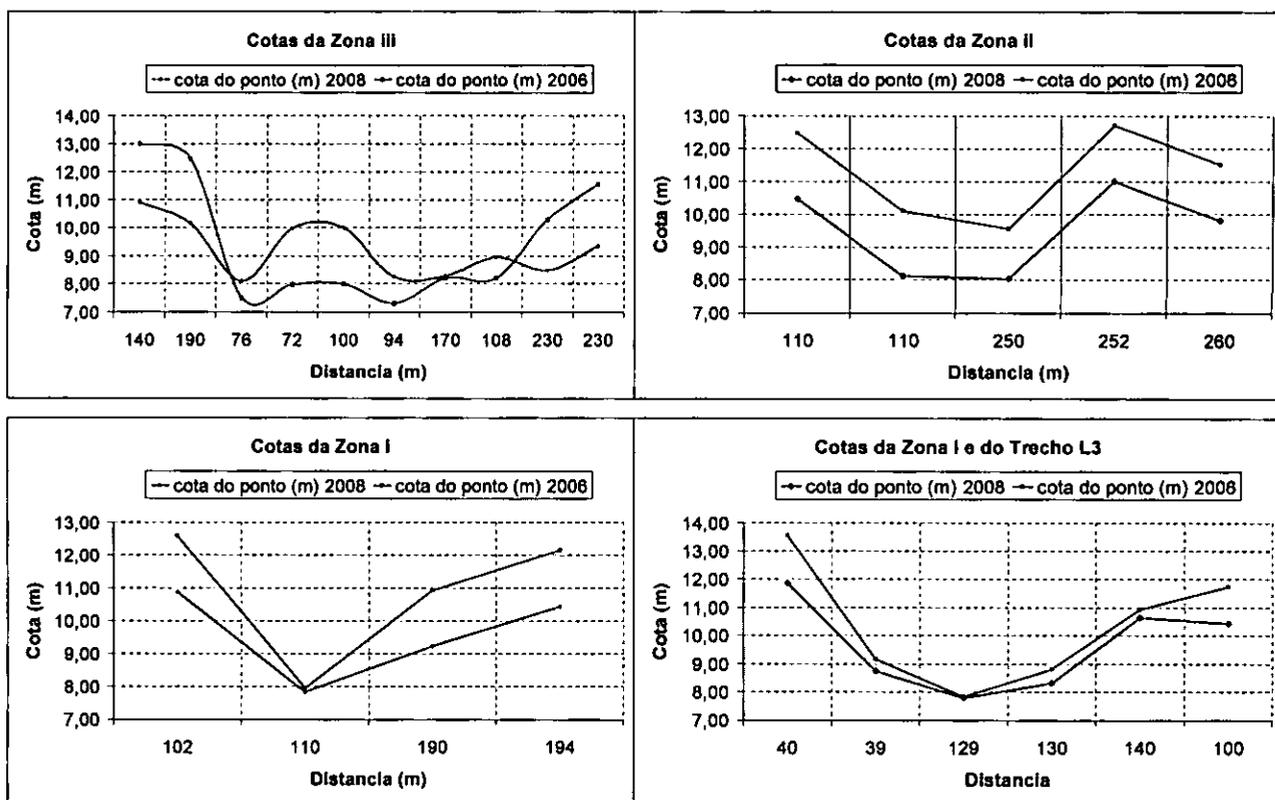


Gráfico 4. Perfil longitudinal da Praia. Trecho L2 e L3

Resultados mais telhados sobre a topografia da praia estão no Anexo 6.

4.4. Cálculo do Volume de Descarga de Sedimentos pelo Método de Triângulo

Inserido os dados dos levantamentos topográficos na fórmula (29) obtemos os seguintes resultados:

Tabela 3. Quantidade de sedimentos removidos nos trechos L2 e L3

Sub Trecho	ΔY médio (m)	L (m)	A (m ²)	l (m)	Q_{it} (m ³)
Mr1 a Mr3	-1,06	70	-37,0417	184	-6815,67
Mr3 a Mr4	2,1	30	31,5	110	3465,0
	1,85	30	27,75	142	3940,5
Mr4 a Mr5	1,7	30	25,5	194	4947
	1,7	30	88	88	2244
Mr5 a Mr6	0,35	18	3,5	101	318,15
	0,8	18	7,2	40	288
Total Erodido (Q_e)			120,6	675	15202,7
Total da Praia			157,6417	964	

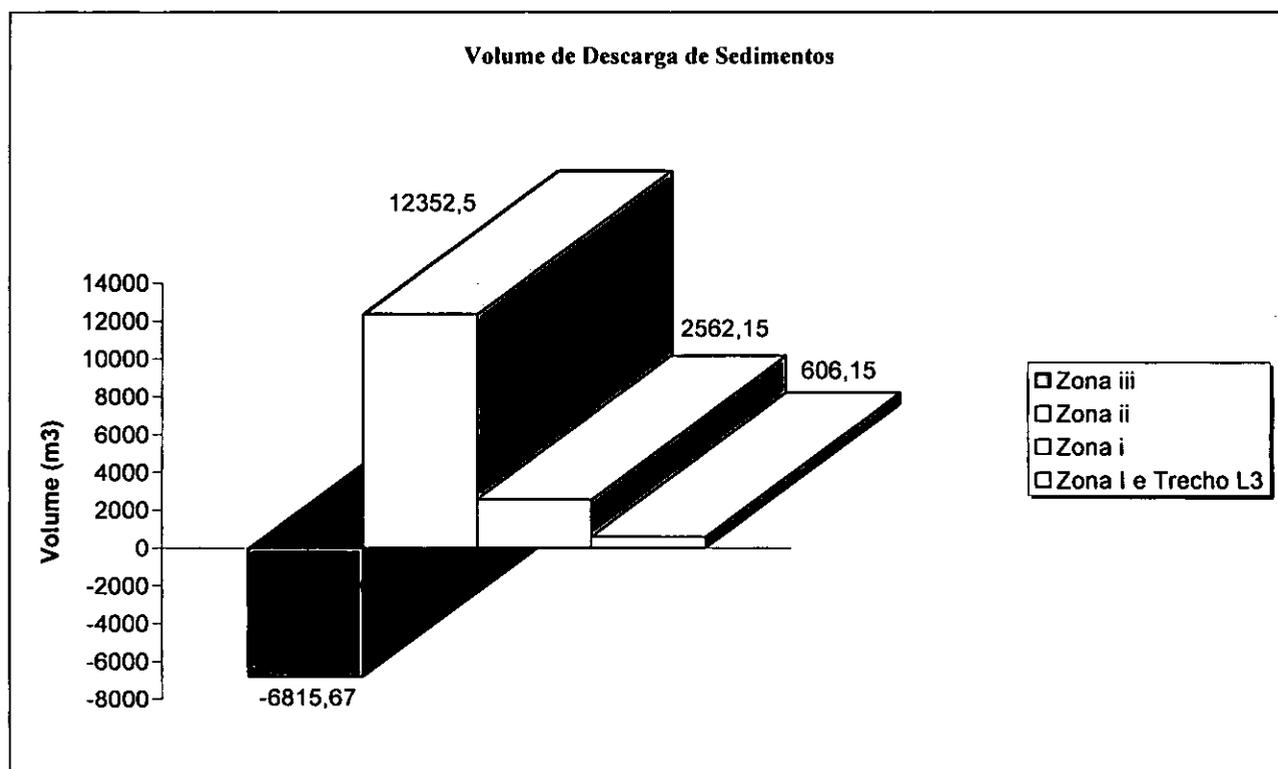


Gráfico 5. Volume de descarga de sedimentos nas zonas iii, ii, i e trecho L3.

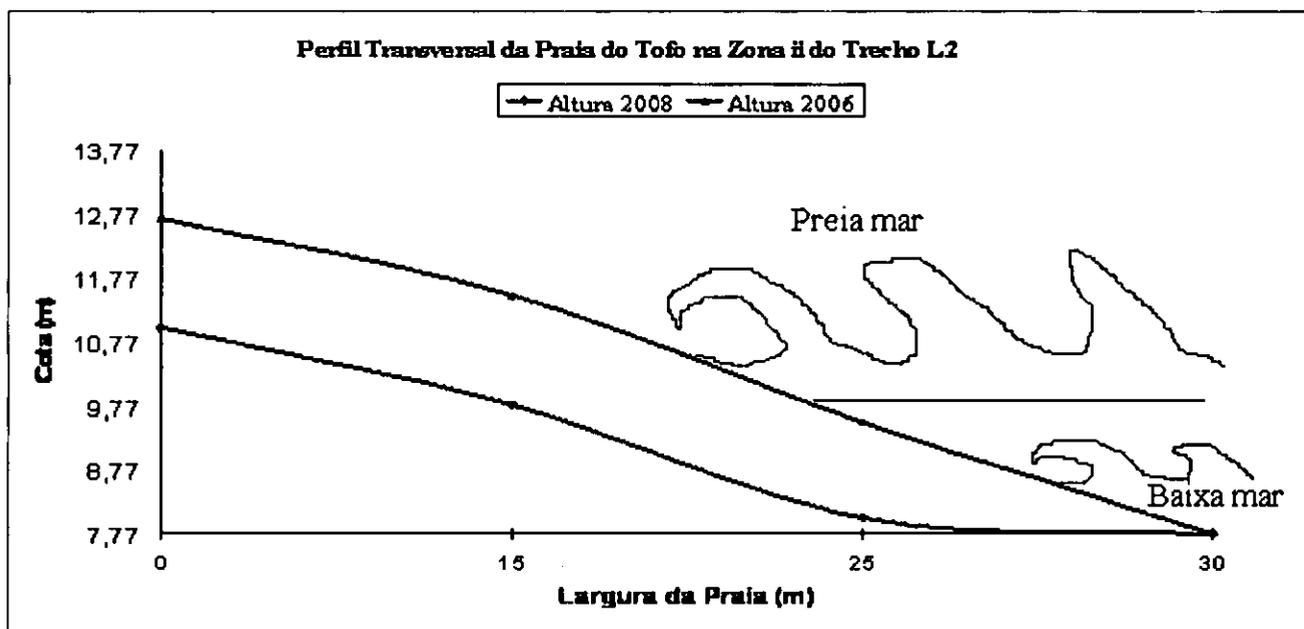


Gráfico 6. Perfil da praia no trecho L2, zona ii, (zona mais erodida da praia)

Resultados mais detalhados sobre os cálculos das quantidades de sedimentos removidos estão no Anexo 6.

4.5. Características das Ondas da Praia do Tofo

Através das fórmulas (1), (3), e (4), e conhecendo o intervalo de período (T) das ondas e batimetria da praia do Tofo, calculou-se o comprimento de onda (λ), velocidade do grupo e número de onda (k). Através desses parâmetros calculou-se variáveis como altura da onda na zona de rebentação (H_s) através da fórmula (4), profundidade na qual as ondas rebentam (h_b), energia (E) e potência (P) das ondas. Pesquisas feitas pela NOAA indicam que no Verão ondas com períodos de 9 segundos são muito frequentes e no Inverno ondas com períodos de 11 segundos são as predominantes. Os gráficos 5 à 10 mostram as características das ondas na praia do Tofo.

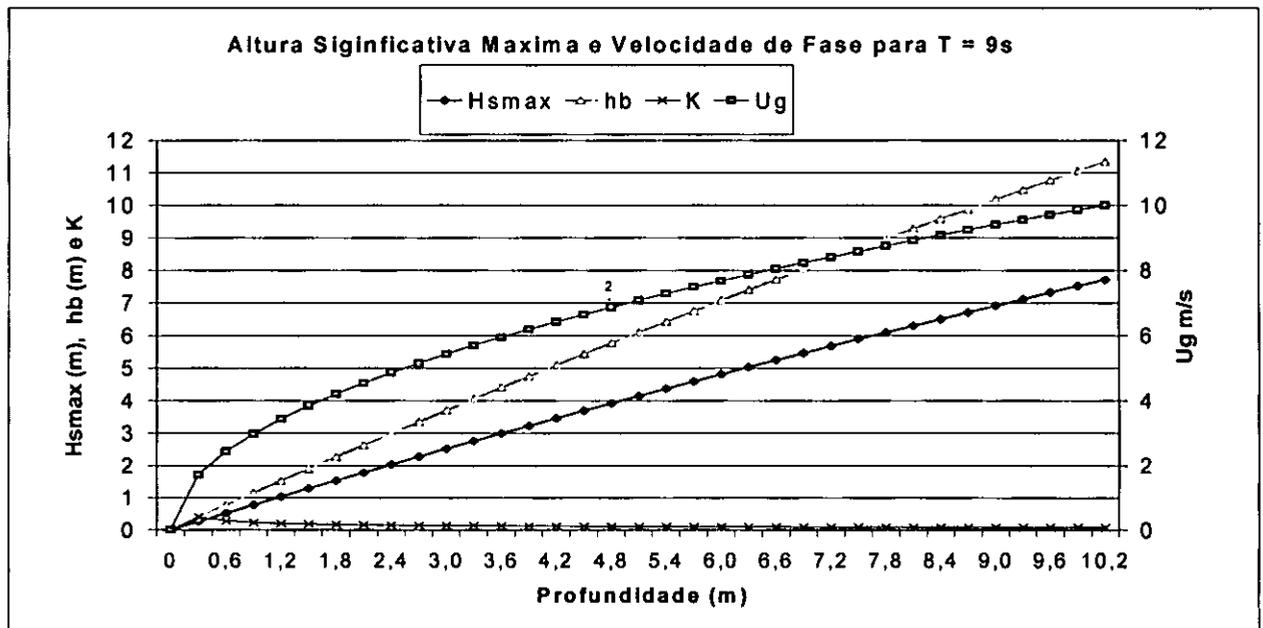


Gráfico 7. Altura significativa máxima e velocidade do grupo para período de onda igual a 9s

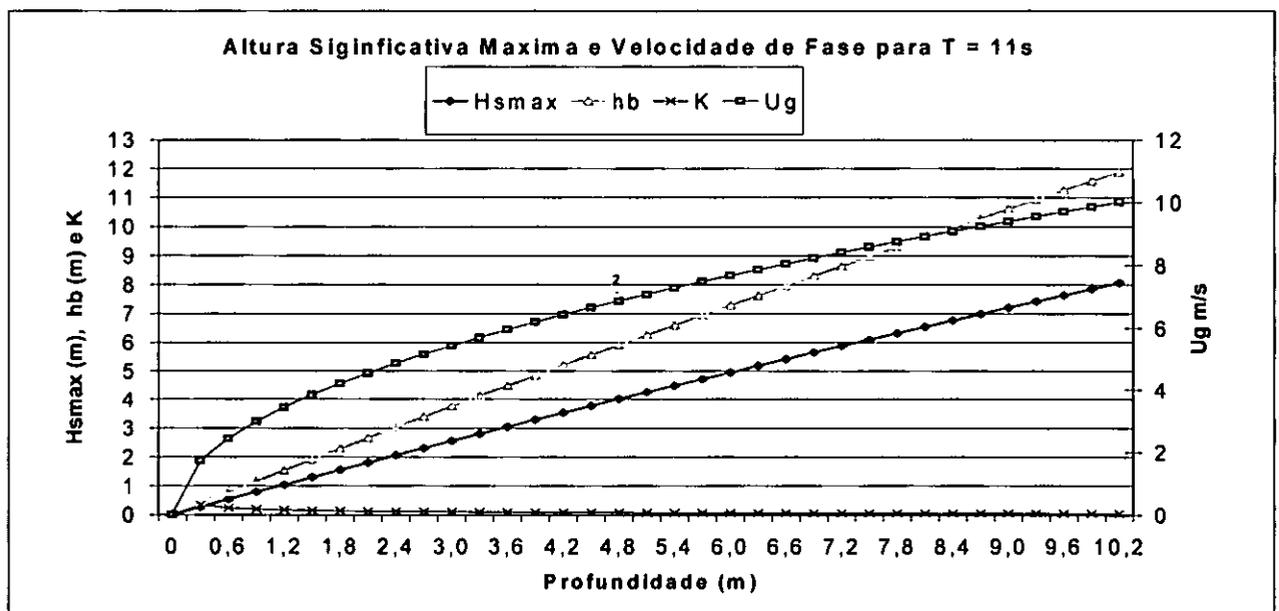


Gráfico 8. Altura significativa máxima e velocidade do grupo para período de onda igual a 11s

Sabendo o período predominante das ondas da praia do Tofo, calculou-se a energia e a potência média das ondas através das equações (6) e (8) respectivamente, e obteve-se os seguintes resultados:

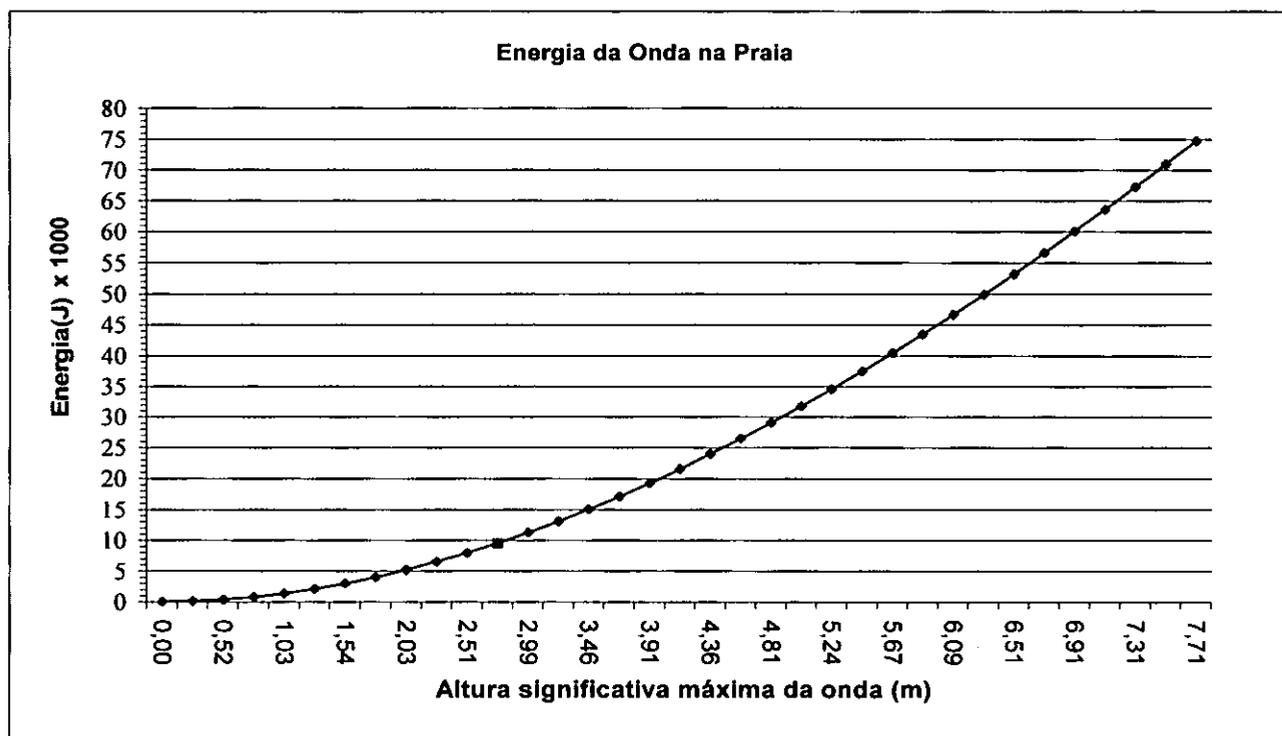


Gráfico 9. Energia Média da Onda

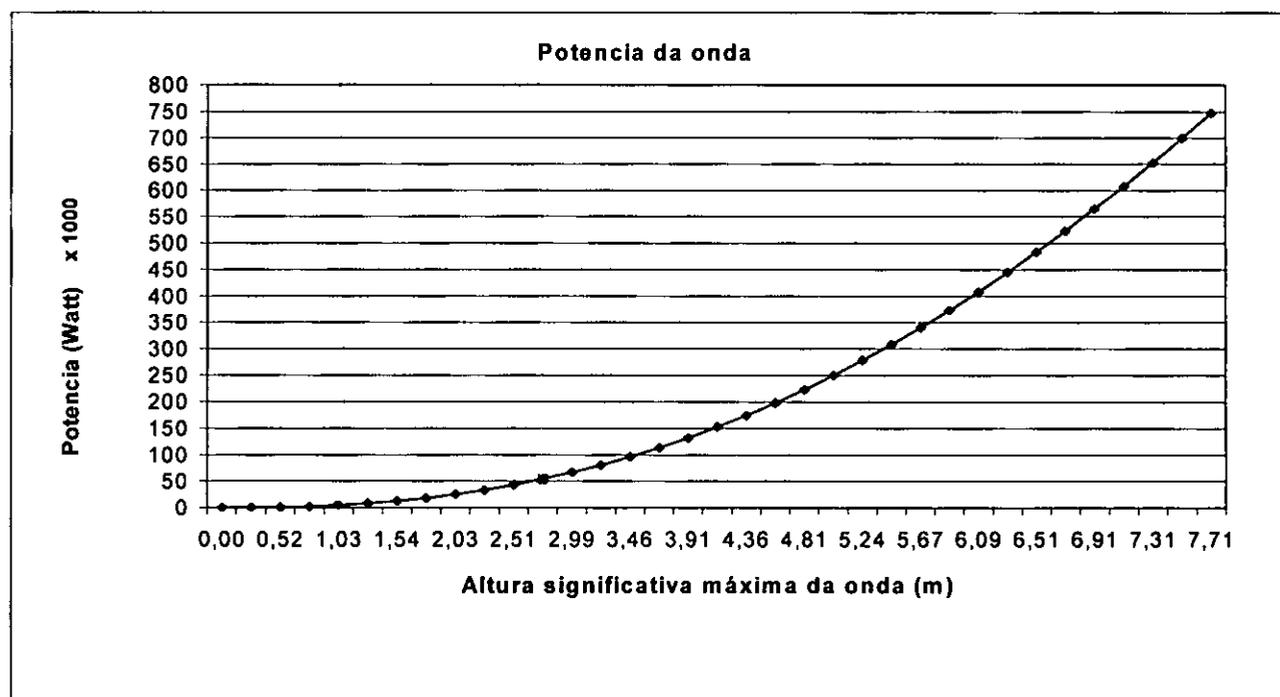


Gráfico 10. Potência Média da Onda

Através de dados de Vento local calcularam-se as alturas significativas através da equação (5) e obteve-se os seguintes resultados:

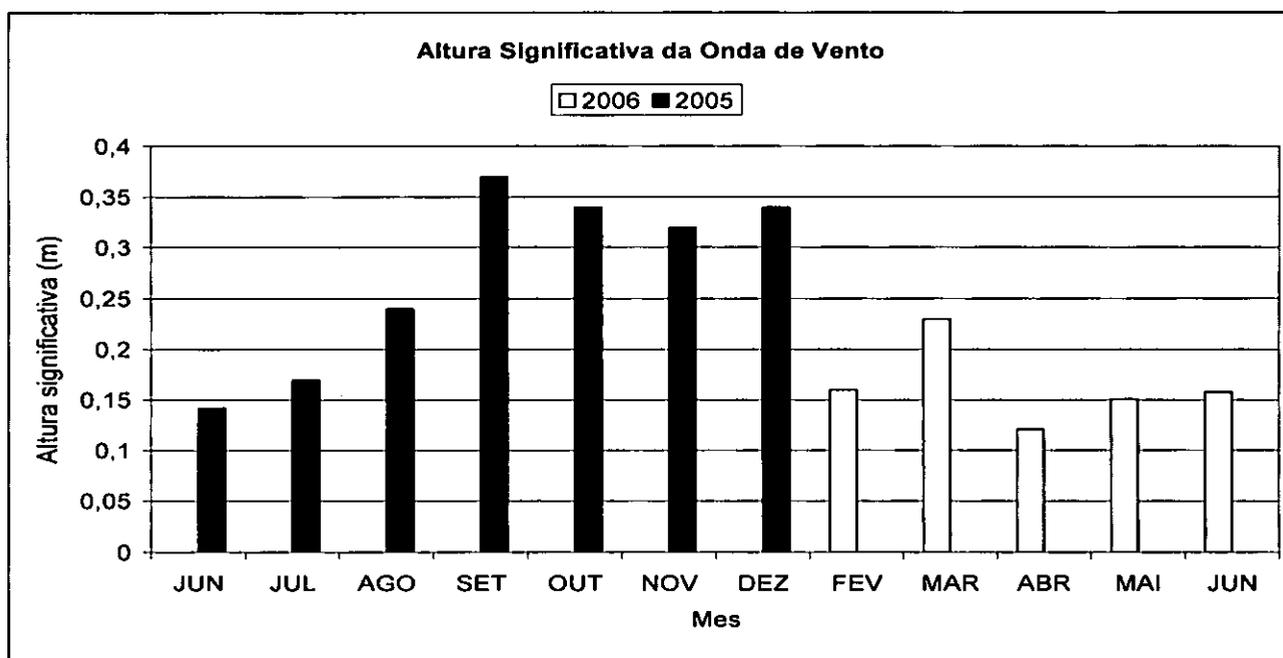


Gráfico 11. Valores de alturas significativas das ondas de vento (Junho de 2005 a Junho de 2006) pelo método de Ochi

4.6. Cálculo da Inundação no Backshore

Através das fórmulas (30), (31), (32) e (33), calculou-se a inundação no *backshore* (na ante-praia) para alturas significativas máxima de ondas obtidas com períodos de onda de 9 segundos e 11 segundos.

O gráfico 12 mostra a variação da linha costa como função da altura significativa da onda e do declive da praia.

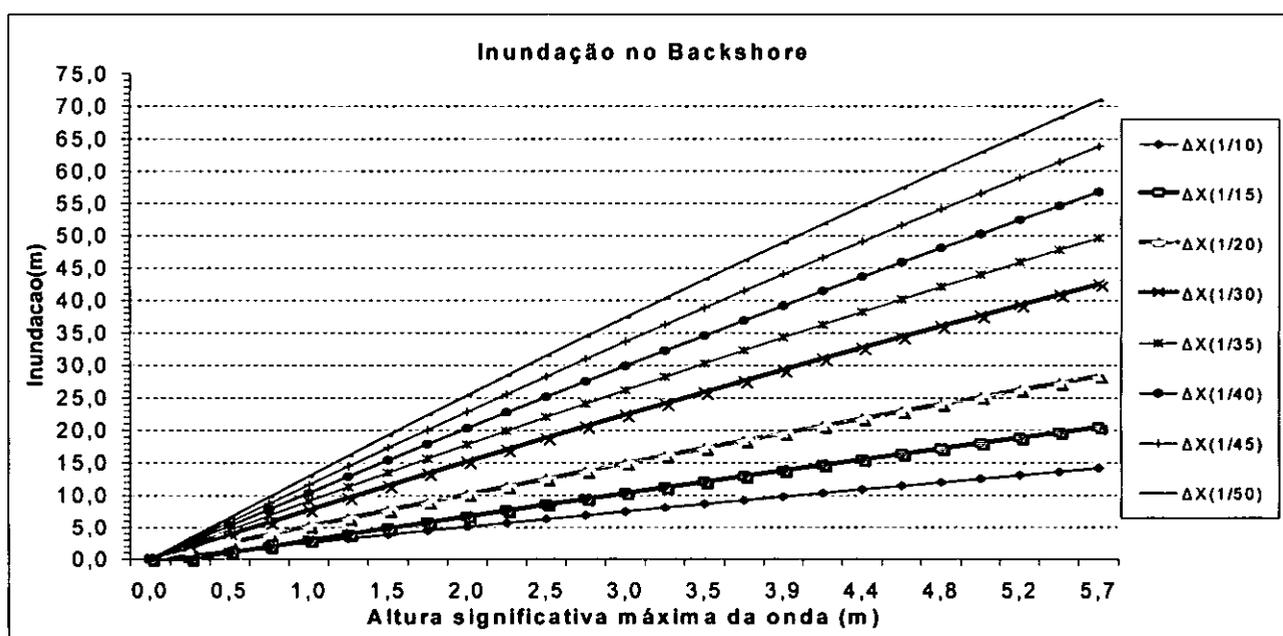


Gráfico 12. Inundação no *backshore*. Trecho L2

CAPITULO V: Discussão dos Resultados

Em 2003 a praia era mais larga em todos os trechos em relação a 2006, 2007 e 2008, ver Figura 2. Em 2006 o trecho L2 apresentava-se menos largo na zona *iii* (Figura 2) em relação ao ano de 2003, mas tinha maior largura relativamente ao ano de 2007. Em Julho de 2007 a largura da praia na zona *i* e *iii* era muito pequena, $l= 30\text{m}$ e 10m respectivamente. Em Janeiro de 2008 a situação era bem mais crítica, a zona *i* (Figura 12) reduziu a largura drasticamente, a zona *ii* (Figura 2) ficou totalmente submersa, a água já atingia as árvores e o muro do Hotel Marinhos, em contra partida a zona *iii* alargou-se bastante apresentando larguras de 70m . O ponto *iv* (Figura 2) permaneceu com as mesmas características. As figuras 10 a 12 mostram a evolução da praia no período acima referido.

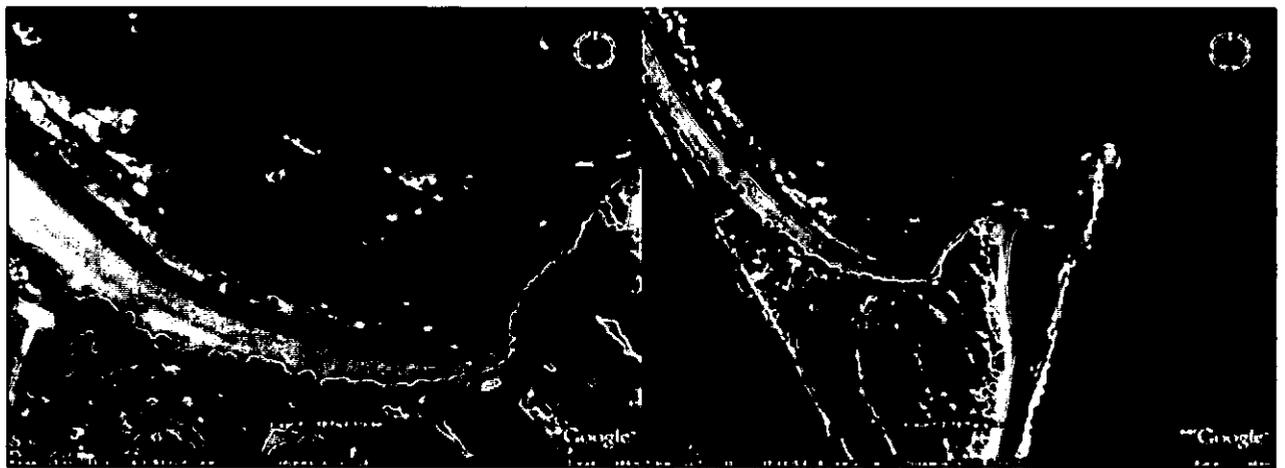


Figura 10. Tofo 2003 trecho L2 (à esquerda) e trecho L1 e L2 (à direita) (Google Earth)



Figura 11. Tofo, Setembro de 2006 e Julho de 2007, Trecho L2 (zona *ii*), Praia mar



Figura 12. Tofo Julho de 2007 e Janeiro de 2008, Trecho L2 (zona ii), Baixa mar

Em 2006 e 2007, os sedimentos da zona *ii* e *iii* (Figura 2) foram removidos em taxas e quantidades bastante elevadas e em curto intervalo de tempo. O que evidencia alguma mudança no padrão normal das correntes no trecho L2 (Figura 2) mas, possivelmente as ondas passaram a erodir muito a zona *ii* e todo trecho L2, a praia inclinou-se e diminuiu em largura (ver Figuras 12 (esquerda) e 13).

Os sedimentos trazidos em suspensão pelas ondas no trecho L2, eram em parte arrastados pelas correntes em direcção NO (Noroeste) empilhando-se junto ao muro divisório dos trechos L2 e L3 saídos das zonas *iv*, *iii* e *ii*, e outra parte arrastados em direcção ao *offshore* junto com as correntes do fundo. Do muro divisório em direcção a Noroeste no trecho L3 (Figura 2), os sedimentos postos em suspensão foram transportados junto com a corrente, sendo parte deles empilhados na margem e outros provavelmente arrastados para o fundo em direcção a *offshore* (ver Figura 15).

Nos finais de 2007 e princípios de 2008 já não existia areia seca na zona *i*, *ii*, a água do mar alcançava as árvores e as casas, as ondas rebentavam directamente no limite da água com as árvores e casas originando falésias (ver Figura 14).

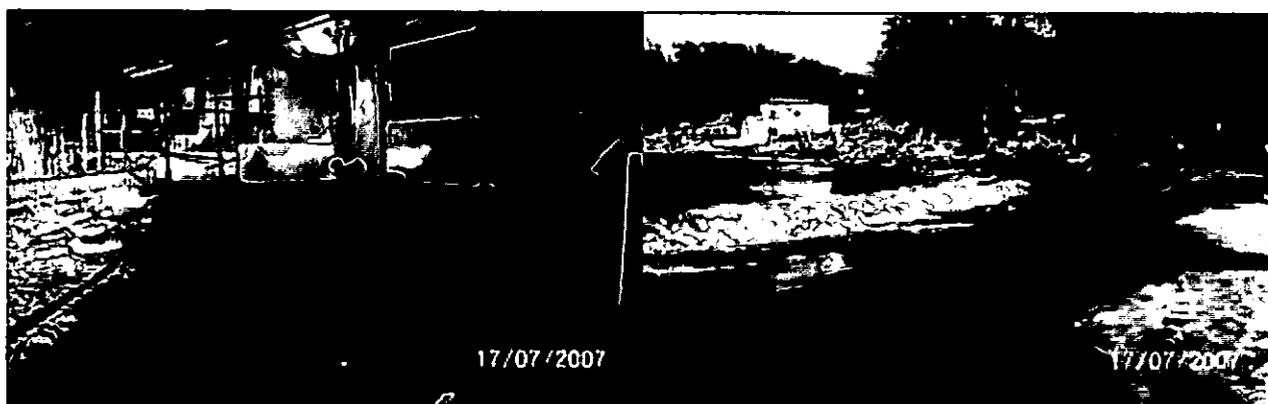


Figura 13. Tofo, Julho 2007 Trecho L2. Casa atacada pelas ondas (a esquerda)



Figura 14. Tofo Janeiro de 2008, Trecho L2. Falésias provocadas pelas ondas (zona ii a esquerda e zona i à direita)



Figura 15. Tofo 2006 na PM (esquerda) e Tofo 2008 na PM (a direita). Limite da água na zona iii e iv

Os dados de médias mensais dos ventos colhidos pelo INAM mostram que ventos de Sul e Sudeste são os mais predominantes em todo ano principalmente no Verão, e ventos de Nordeste são predominantes somente no Inverno. Os ventos de S (Sul) e SE (Sudeste) fazem com que a areia das dunas localizadas em L1 (Figura 2) sejam removidas em direção a L2 e em seguida devido as brisas marítimas essa mesma areia é removida em direção E (Este) cobrindo a vila. Ventos de Sul removem a areia do L2 em direção a L3 empilhando-a junto ao muro divisório. Os gráficos 13 e 14 mostram a predominância do vento e a média mensal respectivamente na região da praia do Tofo.

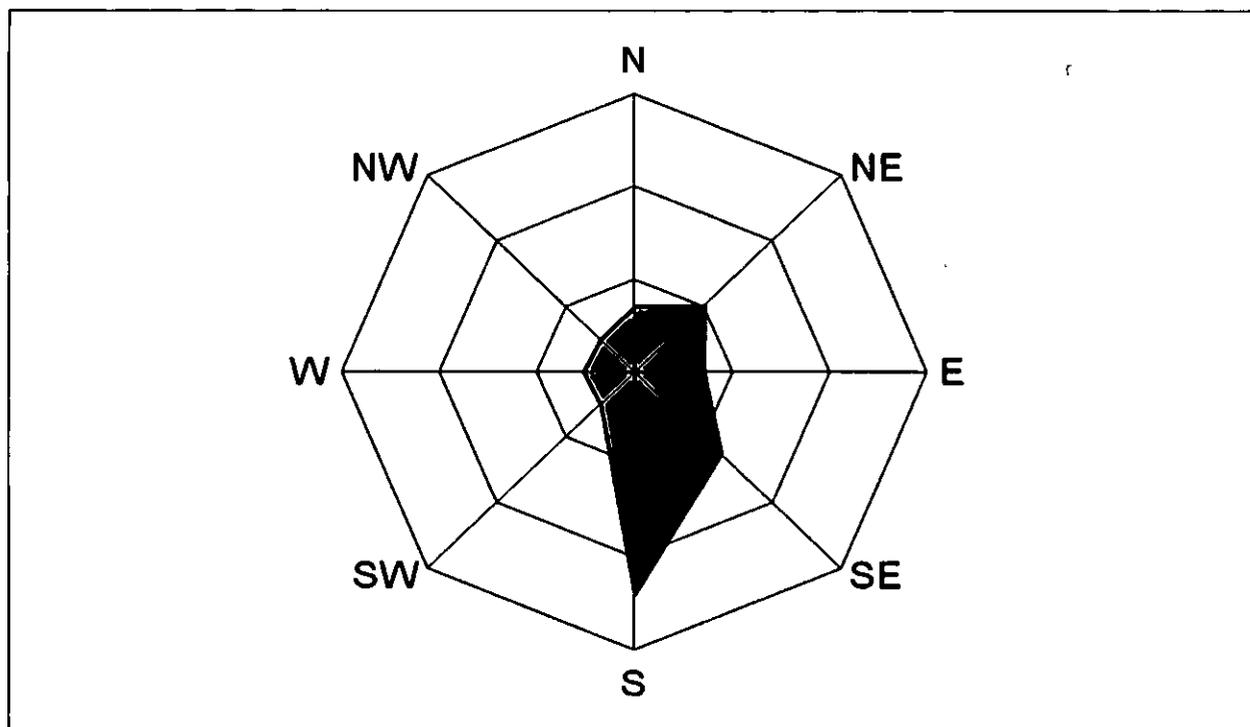


Gráfico 13. Predominância do vento na praia do Tofo (1996 á 2007)

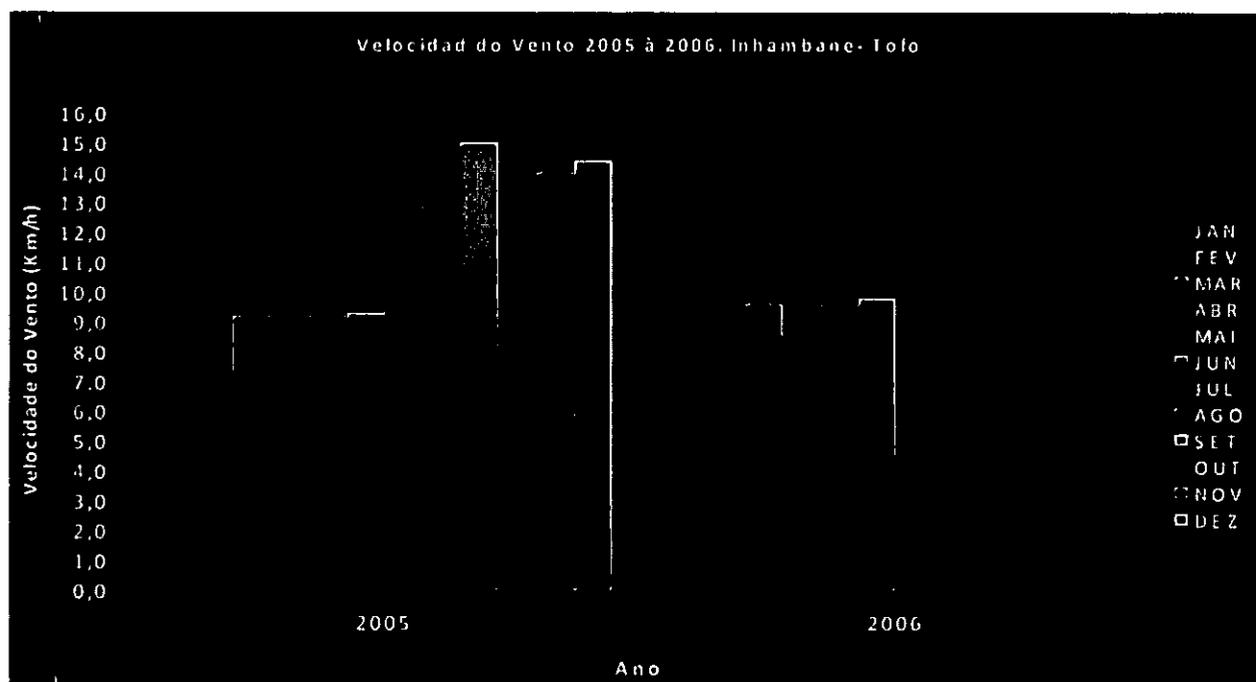


Gráfico 14. Médias mensais da velocidade do vento na praia do Tofo (2005 á 2006)

Através do gráfico 14 observa-se que valores altos de velocidade do vento são alcançados nos meses do Inverno, isto demonstra que a praia sofre mais erosão devido ao vento e das ondas no Inverno. Os resultados mostram que o vento no Verão sopra com intensidades moderadas em relação ao Inverno e são predominantemente do Sul e Sudeste, isso faz com que a areia das dunas se mova do trecho L1 (Figura 2) para o trecho L2. No Inverno o vento tende a soprar

predominantemente do Nordeste e Norte, isso faz com que a areia se mova em direcção ao Sul e se acumule na zona *iii* do trecho L2. Este regime dos ventos também faz com que no Verão as ondas sejam menos energéticas, e também proporciona sobre elevação do nível do mar devido ao transporte de massa de água para Oeste. Estes efeitos juntos intensificam a erosão no Inverno e enfraquecem a erosão no Verão.

5.2. Análise Granulométrica dos Sedimentos que Compõe a Praia do Tofo

Análise granulométrica ilustrada no gráfico 1, mostra que os sedimentos são maioritariamente Arenito Quártzico isto é, areia com mais de 95% de quartzo, e 50% dessa tem tamanho médio. Para além de arenito, a praia do Tofo é constituída por rochas consolidadas de origem vulcânica (rochas ígneas estrusivas) no trecho L1. A areia que compõe a amostra 2 é proveniente da zona molhada (local de colheita da amostra 1) que foi transportada pelo vento.

5.3. Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos

Os gráficos 2 e 3 mostram que mais de 90% do mecanismo de transporte de sedimentos naquela região acontece no fundo. Os resultados também mostram que a taxa de transporte de sedimentos depende linearmente e é directamente proporcional a velocidade média da corrente. Com o mar no seu estado normal (ondulação normal, vento calmo a moderado) os valores de velocidade média das correntes situa-se no intervalo dos 0,2 aos 1,8 m/s e tem-se para este intervalo uma taxa total de transporte de sedimentos a variar dos 0,0000097 aos 0,00022 m³/m/s.

5.4. Topografia da Praia nos Anos 2006 e 2008

Através dos gráfico 4, observa-se que a zona *iii* em 2006 tinha cotas mais baixas, na ordem de 2 metros em relação à 2008, isto é, houve deposição de sedimentos. Na zona *ii* e *i*, de 2006 a 2008 houve uma grande redução das cotas, na ordem dos 2 metros, isto é, houve remoção de sedimentos (erosão). Observando ainda o gráfico 4, nota-se que no trecho L3 as cotas reduziram em menos de 1 metro de 2006 a 2008, isto é, houve pouca erosão.

5.5. Cálculo do Volume da Descarga de Sedimentos pelo Método de Triângulo

Através da tabela (3) e do gráfico 5, observamos que a zona *ii* (Figura 2) é a que tem maior quantidade de sedimentos removidos, 12325,5 m³, seguida da zona *i* com 3465,0 m³ de sedimentos removidos. Na zona *iii* predomina a deposição, -6815,67 m³ devido ao desnível negativo por causa do aumento das cotas, situação inversa a das zonas *i* e *ii*. Observando o gráfico 6, vemos claramente o desnível causado pela remoção excessiva de sedimentos na zona *ii*, a mais erodida da praia.

5.6. Características das Ondas da Praia do Tofo

Pode-se observar através dos gráficos 7 à 10 que ondas que rebentam com uma altura que varia dos 1 m aos 3,5 m, que são as predominantes naquela região, transportam energia médias que variam dos 2500 aos 15000 Joules com potências médias que variam dos 4500 aos 94000 Watts.

Através do gráfico 11 observa-se que usando o método de Ochi, tem-se que ondas em águas profundas tem alturas que variam dos 0.05 aos 0,5 metros. A diferença entre os valores de altura significativa da onda calculada a partir da fórmula (5) e os valores da altura significativa máxima da onda calculados através da fórmula (4) é devido ao facto de que a formula (5) considerar uma única onda antes de interferir construtivamente com as outras e antes de sentir o fundo enquanto que a fórmula (4) considera uma onda transformada resultante da soma de varias ondas e do efeito do fundo.

5.7. Cálculo da Inundação no Backshore

Observando o gráfico 12, observa-se que para inclinações de 1/15 a 1/30, temos 5 a 30 metros de inundação para ondas que rebentam com alturas dos 1,5 aos 3,5 metros. A extensão da inundação no backshore depende inversamente da inclinação da praia. Estes valores de inundação foram obtidos considerando que a praia é totalmente plana e as ondas são homogéneas. Assim, sabendo que também $\tan \beta = \frac{\overline{\Delta Y}}{L}$, cálculos feitos através de dados medidos de topografia, mostram que, no trecho L2 $\tan \beta = \frac{\overline{\Delta Y}}{L} = 1/15$ e no trecho L3 $\tan \beta = \frac{\overline{\Delta Y}}{L} = 1/25$ que correspondem ao intervalo de valores de inundação de 1 à 20,5 metros e de 1 à 30 metros respectivamente.

CAPITULO VI: Conclusões e Recomendações

6.1 Conclusões

Conclui-se que os principais agentes erosivos na praia do Tofo são as ondas, o vento, a maré e o Homem.

Concluiu-se que as ondas são o agente que mais contribui no processo de erosão, pois, a partir da formula de transporte de sedimentos tem-se que mais de 90% do mecanismo de transporte de sedimentos pelas ondas na praia do Tofo acontece no fundo, e é directamente proporcional a média da velocidade das correntes. Assim para intervalo dos 0,2 aos 1,8 m/s tem-se a taxa total de transporte de sedimentos a variar dos 0,00001 aos 0,00022 m³/m/s. As ondas com alturas significativas máximas (altura de rebentação) que variam dos 0,6 aos 4,5 metros, rebentam entre os 0,5 aos 5,5 metros de profundidade e dissipam em média 340 a 30000 Joules de energia, 800 á 197000 Watts de potência, e se a inclinação variar de 1/10 aos 1/50, elas inundam 5 a 70 metros de praia no *backshore*.

Do ano 2006 ao ano 2008, foram removidos em média uma quantidade total de 15202,7 m³ de sedimentos (areia) nos trechos L2 e L3, dos quais 2562,15 m³ na zona *i*, 12352,5 m³ na zona *ii*, e 288 m³ no trecho L3. Em contra partida, na zona *iv* houve deposição de sedimentos com uma quantidade média de 6815,67 m³ depositados.

O vento age como o segundo principal agente erosivo, pois, remove sedimentos que constitui as dunas do trecho L1, deposita-os no trecho L2 e em seguida o vento sopra e remove-os para Oeste da praia.

Análises granulometricas de duas amostras de areia retiradas do trecho L2 mostram que os sedimentos que compõe a praia do Tofo são maioritariamente areia com mais de 95% de quartzo, e 50% dessa tem tamanho médio.

O actual estado de evolução da praia mostrou que o padrão das correntes do litoral fez com que sedimentos que antes se encontravam nas zonas *i* e *ii* do trecho L2 fossem transportados, parte para o *offshore* e parte para as zonas *iii* e *iv* do trecho L2, provocando uma redução da largura da praia nas zonas *i* e *ii*, e um aumento da largura nas zonas *iii* e *iv*.

Também concluiu-se que a praia do Tofo tem um comportamento sazonal, sofrendo mais erosão no Inverno do que no Verão devido ao regime do vento e das ondas. Mas devido a intensa actividade turística no Verão, a erosão acaba sendo intensa durante todo o ano.

6.2. Recomendações

Com vista a compreender melhor o fenómeno de erosão costeira na praia do Tofo recomenda-se:

- ◇ A realização de medições contínuas de modo a obter dados sobre altura significativa e período das ondas, ângulo de incidência, batimetria, correntes do litoral, topografia da praia e vento local;
- ◇ A monitoria permanente da evolução da linha da costa;
- ◇ O desenvolvimento de modelos matemáticos que melhor se adaptem as características da praia do Tofo;
- ◇ Que se tire fotografias aéreas periódicas de controle;

Com vista mitigar o problema de erosão costeira na praia do Tofo recomenda-se que:

- ◇ Se façam aterros no trecho L2 afim de repor a areia em défice;
- ◇ Se façam obras de engenharia com vista a afastar as infra-estruturas para o lado Oeste da praia de modo a alargar a mesma;
- ◇ Se reponha a vegetação em falta e se use pegadios para evitar contacto directo com a duna;
- ◇ Se pratique um turismo regrado e amigo do ambiente.

Referências Bibliográficas

- Bijker, E. (1968). *Littoral Drift as Function of Waves and Current*. 11th Coastal Eng. Conf. Proc. ASCE. London, UK. pp. 415-435.
- CDS-ZC, (2002). *Avaliação Ambiental e Macro-Zoneamento de TBT(Tofo, Barra, Tofinho e Rocha)*. CDS/ZC (MICOA).
- Briggs, D. P; Smithson, K; Addison, K. Atkinson (1997). *Fundamental of the Physical Environment*. 2nd edition. pp. 298-322.
- Chernicoff, Stanley (1999). *Geology*. 2nd edition, Houghton Mifflin Company.
- Cunha, E.M.S. (2006). *Considerações Gerais Sobre a Zona Costeira*. Universidade de São Paulo. Capítulo-III. pp. 126-132.
- Dean, Robert G. e Dalrymple, Robert A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Volume 2. 5^a Edição, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. USA. Florida.
- Defant, A. (1960). *Physical Oceanography*. Volume-II. Pergamon Press. Oxford, London. pp. 110-252.
- Hill, M. N. (1972). *The Sea-Physical Oceanography*. Volume-1. Interscience Publishers. London.
- Koutitas, Christopher G. (1988). *Mathematical Models in Coastal Engineering*. First Edition, Pentech Press. London.
- Ochi, Michael k. (1998). *Ocean Waves*. Cambridge University. Pp303.
- Praia Tofo Mozambique Surf Forecast and Surf Reports. Acedido a 5 de Janeiro á 30 de Março de 2008 em: <http://www.surf-forecast.com/breaks/PraiaTofo.0to2.shtml>.
- Sears, M. (1963). *Physical Oceanography*. Volume-I. Pergamon Press. Oxford, London.
- Smith, Jane M. (2003). *Surf Zone Hydrodynamics*. Capítulo-IV. Coastal and Hydraulics Laboratory, Engineer Research and Development Centre (CHL). Vicksburg, Mississippi.
- Wave Watch III, Model description. Acedido à 25 de Fevereiro de 2008, em: http://polar.ncep.noaa.gov/waves/latest_run/nww3_in.anim.gif.
- Watson, R.T.; Zinyowera, M.C; Moss, R.H. (1998). IPCC. Cambridge University Press, UK. Acedido em 23 de Dezembro de 2007 em: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/special-reports.htm>.

ANEXOS

ANEXO 1

Cálculo da Taxa de Transporte de Sedimentos

$$\tau_{cw} = \mu \cdot dU \cdot \omega_s \cdot 5E-06$$

$$\mu = 0.59$$

$$dU = 42.8$$

$$\omega_s = 5E-06$$

$$5d \frac{\sqrt{9.81}}{32.01} = 0$$

$$0,27(\rho_s - 1025)9.81d$$

U	Zwc	Zwc^0, A^0,013Zwi	B1	B2	kb	ks	qf	qs	qt = qf + qs	qf %	qs %	
0.2	0	0.588	1	0.6	0.38	2.28	0.1	9E-06	0	9.1E-06	94	6
0.3	0	0.581	1	0.6	0.39	2.25	0.1	2E-05	0	2.46E-05	94	5.6
0.4	0	0.576	1	0.6	0.4	2.23	0.1	4E-05	0	4.03E-05	95	5.2
0.5	0	0.572	1	0.6	0.4	2.21	0.1	5E-05	0	5.54E-05	95	5
0.6	0	0.569	1	0.6	0.4	2.2	0.1	7E-05	0	6.99E-05	95	4.8
0.7	0	0.566	1	0.6	0.41	2.19	0.1	8E-05	0	8.4E-05	95	4.6
0.8	0	0.564	1	0.6	0.41	2.18	0.1	9E-05	0	9.78E-05	96	4.4
0.9	0	0.562	1	0.6	0.41	2.17	0.1	1E-04	0	0.000111	96	4.3
1	0	0.56	1	0.6	0.41	2.16	0.1	1E-04	0	0.000125	96	4.2
1.1	0	0.559	1	0.6	0.41	2.16	0.1	1E-04	0	0.000138	96	4.1
1.2	0	0.557	1	0.6	0.41	2.15	0.1	1E-04	0	0.000152	96	4
1.3	0	0.556	1	0.6	0.42	2.15	0.1	2E-04	0	0.000165	96	3.9
1.4	0	0.555	1	0.6	0.42	2.14	0.1	2E-04	0	0.000178	96	3.8
1.5	0	0.554	1	0.6	0.42	2.14	0.1	2E-04	0	0.000191	96	3.7
1.6	0	0.553	1	0.6	0.42	2.13	0.1	2E-04	0	0.000204	96	3.6
1.7	0	0.552	1	0.6	0.42	2.13	0.1	2E-04	0	0.000217	96	3.6
1.8	0	0.551	1	0.6	0.42	2.13	0.1	2E-04	0	0.00023	97	3.5
1.9	0	0.55	1	0.6	0.42	2.12	0.1	2E-04	0	0.000243	97	3.4
2	0	0.549	1	0.6	0.42	2.12	0.1	2E-04	0	0.000256	97	3.4
2.1	0	0.548	1	0.6	0.42	2.12	0.1	3E-04	0	0.000269	97	3.3
2.2	0	0.547	1	0.6	0.43	2.11	0.1	3E-04	0	0.000282	97	3.3
2.3	0	0.547	1	0.6	0.43	2.11	0.1	3E-04	0	0.000295	97	3.2
2.4	0	0.546	1	0.6	0.43	2.11	0.1	3E-04	0	0.000307	97	3.2
2.5	0	0.545	1	0.6	0.43	2.11	0.1	3E-04	0	0.00032	97	3.1
2.6	0	0.545	1	0.6	0.43	2.1	0.1	3E-04	0	0.000333	97	3.1
2.7	0	0.544	1	0.6	0.43	2.1	0.1	3E-04	0	0.000346	97	3
2.8	0	0.543	1	0.6	0.43	2.1	0.1	3E-04	0	0.000359	97	3
2.9	0	0.543	1	0.6	0.43	2.1	0.1	4E-04	0	0.000372	97	2.9
3	0	0.542	1	0.6	0.43	2.1	0.1	4E-04	0	0.000384	97	2.9

Anexo 2

Cálculo das Características da Onda e Cálculo de Inundação no Backshore

dh	w	g	9.0	9.81	10.0	11.0	12.0	Ug	λ K	H	W ¹⁰ Vento	Hsmax	Ub	E	P	hb ηb	tanβ	xI(1/10)	
	0.3 dH	0.0	0.2	0.2	dW	0.2	0.2	0.00	0.0	0.0	0.31	0.00	0.020	121.43	0.00	0.00	0.000	0.100	0.000
0.3	1.72	15.4	0.41	1.700	2.400	0.37	0.26	0.023	0.023	171.99	295.04	0.39	0.011	0.067	3.86				
0.6	2.43	21.8	0.29	1.900	2.600	0.43	0.52	0.025	0.025	236.89	574.71	0.77	-0.022	0.050	7.68				
0.9	2.97	26.7	0.23	2.100	2.800	0.50	0.78	0.028	0.028	318.62	946.75	1.15	-0.033	0.033	11.47				
1.2	3.43	30.9	0.20	2.300	3.000	0.58	1.03	0.031	0.031	419.89	1440.64	1.52	-0.044	0.029	15.22				
1.5	3.84	34.5	0.18	2.500	3.200	0.66	1.29	0.033	0.033	543.56	2085.10	1.89	-0.055	0.025	18.93				
1.8	4.20	37.8	0.17	2.700	3.400	0.74	1.54	0.036	0.036	692.73	2910.93	2.26	-0.065	0.022	22.61				
2.1	4.54	40.8	0.15	2.900	3.600	0.83	1.78	0.039	0.039	870.67	3951.85	2.63	-0.076	0.020	26.25				
2.4	4.85	43.7	0.14	3.100	3.800	0.93	2.03	0.041	0.041	1080.89	5244.70	2.99	-0.086	0.018	29.86				
2.7	5.15	46.3	0.14	3.300	4.000	1.03	2.27	0.044	0.044	1327.05	6829.71	3.34	-0.097	0.017	33.44				
3.0	5.42	48.8	0.13	3.500	4.200	1.13	2.51	0.047	0.047	1613.03	8750.61	3.70	-0.107	0.015	36.98				
3.3	5.69	51.2	0.12	3.700	4.400	1.24	2.75	0.049	0.049	1942.93	11054.73	4.05	-0.117	0.014	40.49				
3.6	5.94	53.5	0.12	3.900	4.600	1.36	2.99	0.052	0.052	2321.01	13793.14	4.40	-0.127	0.013	43.97				
3.9	6.19	55.7	0.11	4.100	4.800	1.48	3.22	0.055	0.055	2751.76	17020.71	4.74	-0.137	0.013	47.42				
4.2	6.42	57.8	0.11	4.300	5.000	1.61	3.46	0.058	0.058	3239.86	20796.26	5.08	-0.147		50.84				
4.5	6.64	59.8	0.11	4.500	5.200	1.74	3.69	0.060	0.060	3790.18	25182.57	5.42	-0.157		54.22				
4.8	6.86	61.8	0.10	4.700	5.400	1.87	3.91	0.063	0.063	4407.79	30246.57	5.76	-0.166		57.58				
5.1	7.07	63.7	0.10	4.900	5.600	2.01	4.14	0.066	0.066	5097.98	36059.55	6.09	-0.176		60.91				
5.4	7.28	65.5	0.10	5.100	5.800	2.16	4.36	0.068	0.068	5866.21	42696.21	6.42	-0.185		64.21				
5.7	7.48	67.3	0.09	5.300	6.000	2.31	4.59	0.071	0.071	6718.17	50236.91	6.75	-0.195		67.48				
6.0	7.67	69.0	0.09	5.500	6.200	2.47	4.81	0.074	0.074	7659.72	58765.56	7.07	-0.204		70.72				
6.3	7.86	70.8	0.09	5.700	6.400	2.63	5.03	0.076	0.076	8696.93	68370.80	7.39	-0.214		73.93				
6.6	8.05	72.4	0.09	5.900	6.600	2.80	5.24	0.079	0.079	9836.07	79145.86	7.71	-0.223		77.12				
6.9	8.23	74.0	0.08	6.100	6.800	2.97	5.46	0.082	0.082	11083.62	91188.63	8.03	-0.232		80.28				
7.2	8.40	75.6	0.08	7.000	7.000	3.15	5.67			12446.24	104601.73	8.34	-0.241		83.41				
7.5	8.58	77.2	0.08	7.200	7.200	3.33	5.88			13930.80	119492.62	8.65	-0.250						
7.8	8.75	78.7	0.08	7.400	7.400	3.52	6.09			15544.36	135973.62	8.96	-0.259						
8.1	8.91	80.2	0.08	7.600	7.600	3.71	6.30			17294.19	154162.01	9.27	-0.268						
8.4	9.08	81.7	0.08	7.800	7.800	3.91	6.51			19187.76	174180.10	9.57	-0.276						
8.7	9.24	83.1	0.08	8.000	8.000	4.11	6.71			21232.73	196155.30	9.87	-0.285						
9.0	9.40	84.6	0.07	8.200	8.200	4.32	6.91			23436.97	220220.19	10.17	-0.294						
9.3	9.55	86.0	0.07	8.400	8.400	4.53	7.11			25808.52	246512.58	10.47	-0.302						
9.6	9.70	87.5	0.07	8.600	8.600	4.75	7.31			28355.66	275175.58	10.76	-0.311						
9.9	9.85	88.7	0.07	8.800	8.800	4.97	7.51			31086.85	306357.67	11.05	-0.319						

Cont.

	$x_1(1/15)$	$x_1(1/20)$	$x_1(1/30)$	$x_1(1/40)$	$x_1(1/50)$	$x_1(1/60)$	$x_1(1/70)$	$x_1(1/80)$	Δh	$x_2(1/10)$	$x_2(1/15)$	$x_2(1/20)$	$x_2(1/30)$	$x_2(1/35)$				
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
5.79	7.72	11.58	13.51	15.44	17.37	19.30	21.24	23.17	25.10	27.03	28.96	30.89	0.10	4.52	5.79	9.03	13.55	15.81
11.53	15.37	23.05	26.89	30.74	34.58	38.42	42.26	46.10	49.95	53.79	57.63	61.47	0.19	8.99	12.51	17.98	26.97	31.46
17.20	22.94	34.41	40.14	45.88	51.61	57.35	63.08	68.82	74.55	80.29	86.02	91.76	0.29	13.42	19.16	26.84	40.26	46.97
22.83	30.44	45.66	53.27	60.88	68.49	76.10	83.71	91.32	98.93	106.54	114.14	121.75	0.38	17.81	25.75	35.61	53.42	62.32
28.40	37.87	56.80	66.26	75.73	85.20	94.66	104.13	113.60	123.06	132.53	142.00	151.46	0.47	22.15	32.28	44.30	66.45	77.53
33.92	45.22	67.83	79.14	90.44	101.75	113.06	124.36	135.67	146.97	158.28	169.58	180.89	0.57	26.45	38.74	52.91	79.36	92.59
39.38	52.51	78.76	91.89	105.02	118.15	131.27	144.40	157.53	170.65	183.78	196.91	210.04	0.66	30.72	45.15	61.43	92.15	107.51
44.80	59.73	89.59	104.52	119.46	134.39	149.32	164.25	179.18	194.12	209.05	223.98	238.91	0.75	34.94	51.49	69.88	104.82	122.29
50.16	66.88	100.32	117.04	133.76	150.48	167.20	183.92	200.64	217.36	234.08	250.80	267.52	0.84	39.12	57.77	78.25	117.37	136.93
55.47	73.97	110.95	129.44	147.93	166.42	184.92	203.41	221.90	240.39	258.88	277.37	295.86	0.92	43.27	64.00	86.54	129.80	151.44
60.74	80.99	121.48	141.73	161.97	182.22	202.47	222.72	242.96	263.21	283.46	303.70	323.95	1.01	47.38	70.17	94.75	142.13	165.81
65.96	87.94	131.92	153.90	175.89	197.88	219.86	241.85	263.83	285.82	307.81	329.79	351.78	1.10	51.45	76.28	102.89	154.34	180.06
71.13	94.84	142.26	165.97	189.68	213.39	237.10	260.81	284.52	308.23	331.94	355.65	379.36	1.19	55.48	82.34	110.96	166.44	194.18
76.25	101.67	152.51	177.93	203.35	228.76	254.18	279.60	305.02	330.44	355.86	381.27	406.69	1.27	59.48	88.34	118.95	178.43	208.17
81.33	108.45	162.67	189.78	216.89	244.00	271.11	298.23	325.34	352.45	379.56	406.67	433.78	1.36	63.44	94.29	126.88	190.31	222.03
86.37	115.16	172.74	201.53	230.32	259.11	287.90	316.69	345.48	374.27	403.06	431.85	460.64	1.44	67.36	100.19	134.73	202.09	235.78
91.36	121.81	182.72	213.17	243.63	274.08	304.33	334.99	365.44	395.89	426.33	456.80	487.25	1.52	71.26	106.04	142.52	213.77	249.40
96.31	128.41	192.62	224.72	256.82	288.92	321.03	353.13	385.23	417.33	449.44	481.54	513.64	1.61	75.12	111.83	150.23	225.35	262.91
101.21	134.95	202.43	236.16	269.90	303.64	337.38	371.11	404.85	438.59	472.33	506.06	539.80	1.69	78.94	117.58	157.88	236.83	276.30
106.08	141.43	212.15	247.51	282.87	318.23	353.59	388.94	424.30	459.66	495.02	530.38	565.74	1.77	82.74	123.28	165.47	248.21	289.57
110.90	147.86	221.79	258.76	295.73	332.69	369.66	406.62	443.59	480.56	517.52	554.49	591.45	1.85	86.50	128.92	172.99	259.49	302.74
115.68	154.24	231.36	269.92	308.48	347.04	385.59	424.15	462.71	501.27	539.83	578.39	616.95	1.93	90.23	134.53	180.45	270.68	315.79
120.42	160.56	240.84	280.98	321.12	361.26	401.40	441.54	481.68	521.82	561.96	602.10	642.24	2.01	93.92	140.08	187.85	281.77	328.73
125.12	166.83	250.24	291.95	333.66	375.36	417.07	458.78	500.49	542.19	583.90	625.61	667.31	2.09	97.59	145.59	195.18	292.77	341.57

Cont.

$X_2(1/40)$	$X_2(1/45)$	$X_2(1/50)$	$X_2(1/55)$	$X_2(1/60)$	$X_2(1/65)$	$X_2(1/70)$	$X_2(1/75)$	$X_2(1/80)$	$\Delta X(1/10)$	$\Delta X(1/15)$	$\Delta X(1/20)$	$\Delta X(1/30)$	$\Delta X(1/35)$	$\Delta X(1/40)$	$\Delta X(1/45)$	$\Delta X(1/50)$
18.07	20.33	22.59	24.84	27.10	29.36	31.62	33.88	36.14	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35.96	40.45	44.95	49.44	53.94	58.43	62.93	67.42	71.92	1.31	0.98	2.61	3.92	4.57	5.22	5.88	6.53
53.68	60.39	67.10	73.81	80.52	87.22	93.93	100.64	107.35	1.95	1.96	3.90	5.85	6.82	7.80	8.77	9.75
71.22	80.13	89.03	97.93	106.83	115.74	124.64	133.54	142.45	2.59	2.92	5.17	7.76	9.05	10.35	11.64	12.93
88.60	99.68	110.75	121.83	132.90	143.98	155.05	166.13	177.20	3.22	3.88	6.44	9.65	11.26	12.87	14.48	16.09
105.81	119.04	132.27	145.50	158.72	171.95	185.18	198.40	211.63	3.84	4.83	7.69	11.53	13.45	15.37	17.29	19.21
122.87	138.22	153.58	168.94	184.30	199.66	215.01	230.37	245.73	4.46	5.76	8.92	13.39	15.62	17.85	20.08	22.31
139.76	157.23	174.70	192.17	209.64	227.11	244.58	262.04	279.51	5.08	6.69	10.15	15.23	17.76	20.30	22.84	25.38
156.49	176.05	195.61	215.18	234.74	254.30	273.86	293.42	312.98	5.68	7.61	11.37	17.05	19.89	22.73	25.57	28.41
173.07	194.71	216.34	237.97	259.61	281.24	302.88	324.51	346.15	6.29	8.52	12.57	18.86	22.00	25.14	28.28	31.43
189.50	213.19	236.88	260.56	284.25	307.94	331.63	355.32	379.00	6.88	9.43	13.76	20.65	24.09	27.53	30.97	34.41
205.78	231.50	257.23	282.95	308.67	334.40	360.12	385.84	411.56	7.47	10.32	14.95	22.42	26.16	29.89	33.63	37.36
221.92	249.65	277.39	305.13	332.87	360.61	388.35	416.09	443.83	8.06	11.21	16.12	24.18	28.21	32.24	36.26	40.29
237.90	267.64	297.38	327.12	356.86	386.59	416.33	446.07	475.81	8.64	12.09	17.28	25.92	30.24	34.56	38.88	43.20
253.75	285.47	317.19	348.91	380.63	412.35	444.07	475.78	507.50	9.21	12.96	18.43	27.64	32.25	36.86	41.47	46.07
269.46	303.14	336.82	370.51	404.19	437.87	471.55	505.24	538.92	9.79	13.82	19.57	29.36	34.25	39.14	44.03	48.93
285.03	320.66	356.29	391.92	427.55	465.17	498.80	534.45	570.06	10.35	14.68	20.70	31.05	36.25	41.40	46.58	51.75
300.47	338.02	375.58	413.14	450.70	488.26	525.82	563.37	600.93	10.91	15.53	21.82	32.73	38.19	43.65	49.10	54.56
315.77	355.24	394.71	434.18	473.65	513.12	552.59	592.07	631.54	11.47	16.37	22.93	34.40	40.13	45.87	51.60	57.34
330.94	372.31	413.68	455.04	496.41	537.78	579.15	620.51	661.88	12.02	17.20	24.04	36.05	42.06	48.07	54.08	60.09
345.98	389.23	432.48	475.73	518.98	562.22	605.47	648.72	691.97	12.56	18.03	25.13	37.69	43.98	50.26	56.54	62.82
360.90	406.01	451.13	496.24	541.35	586.46	631.58	676.69	721.80	13.11	18.85	26.21	39.32	45.87	52.42	58.98	65.53
375.69	422.65	469.61	516.58	563.54	610.50	657.46	704.42	751.38	13.64	19.66	27.29	40.93	47.75	54.57	61.39	68.22
390.36	439.16	487.95	536.75	585.54	634.34	683.13	731.93	780.72	14.18	20.46	28.35	42.53	49.62	56.70	63.79	70.88

Cont.

$\Delta X(1/55)$	$\Delta X(1/60)$	$\Delta X(1/65)$	$\Delta X(1/70)$	$\Delta X(1/75)$	$\Delta X(1/80)$
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.61	3.94	4.26	4.59	4.92	5.25
7.18	7.84	8.49	9.14	9.79	10.45
10.72	11.70	12.67	13.64	14.62	15.59
14.23	15.52	16.81	18.11	19.40	20.69
17.70	19.31	20.91	22.52	24.13	25.74
21.13	23.06	24.98	26.90	28.82	30.74
24.54	26.77	29.00	31.23	33.46	35.69
27.91	30.45	32.99	35.53	38.06	40.60
31.26	34.10	36.94	39.78	42.62	45.46
34.57	37.71	40.85	44.00	47.14	50.28
37.85	41.29	44.73	48.17	51.61	55.05
41.10	44.84	48.57	52.31	56.05	59.78
44.32	48.35	52.38	56.41	60.44	64.47
47.52	51.84	56.16	60.48	64.80	69.12
50.68	55.29	59.90	64.50	69.11	73.72
53.82	58.71	63.61	68.50	73.39	78.28
56.93	62.11	67.28	72.46	77.63	82.81
60.01	65.47	70.92	76.38	81.84	87.29
63.07	68.80	74.54	80.27	86.00	91.74
66.10	72.11	78.12	84.13	90.14	96.14
69.10	75.39	81.67	87.95	94.23	100.51
72.08	78.64	85.19	91.74	98.30	104.85
75.04	81.86	88.68	95.50	102.32	109.15
77.97	85.06	92.14	99.23	106.32	113.41

ANEXO 3

Dados Sobre Direcção e Velocidade do Vento



República de Moçambique

Instituto Nacional de Meteorologia

Caixa Postal 256 - MAPUTO

Teleg.: OBSERTOR - Telef.: 490064-490148-492530 - Fax: 491150 - Telex: SMMMMP 6-259
Maputo, 04 de Setembro de 2007

Nº328-07/INF-DAD

AO

Sr. Francisco Gemo
U.E.M.- Faculdade de Ciências
Dep. De Física
Maputo

Estação: Inhambane

Elemento: Temperatura média mensal (em °C)

Período: 1996-2006

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	27.2	27.4	26.0	23.6	23.3	21.1	20.1	20.8	22.7	24.2	25.8	26.9
1997	27.3	27.4	26.4	23.9	21.7	22.2	20.4	21.8	23.2	23.4	24.6	26.4
1998	27.5	27.2	27.5	25.7	23.3	21.2	20.7	21.3	--	24.0	26.0	26.4
1999	27.1	26.2	27.9	25.1	22.8	21.2	20.8	21.4	22.0	23.2	25.9	27.2
2000	27.3	27.4	26.9	25.0	22.1	21.8	20.5	20.9	23.0	24.0	25.6	26.4
2001	22.7	27.1	26.5	25.1	23.1	21.2	20.8	22.1	22.7	24.2	25.9	26.6
2002	27.5	27.1	27.0	25.0	23.1	21.3	20.7	22.4	22.9	23.7	24.0	26.8
2003	27.5	28.1	27.2	25.5	23.5	21.1	19.1	20.1	23.1	23.2	24.4	25.8
2004	26.8	26.5	--	25.2	22.1	20.0	20.0	20.4	21.3	22.8	25.2	26.2
2005	28.3	28.1	26.8	25.2	23.2	22.4	21.0	--	23.8	24.6	26.2	--
2006	28.0	28.2	26.7	25.4	22.6	21.5	21.0	21.8	22.0	25.0	25.8	27.4
2007	27.4	27.8	27.6	25.5	22.8	21.3	20.5	--	--	--	--	--

Período: 1996-2006

Estação: Inhambane
Elemento: Velocidade média mensal do vento (em km/h)

ANO	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	4.9	5.1	4.2	3.6	3.3	3.2	4.2	4.9	5.0	4.8	5.0	4.1
1997	4.0	4.9	3.9	3.4	3.2	3.0	3.4	3.5	4.2	4.1	5.2	4.2
1998	4.2	3.6	3.0	3.1	2.9	2.2	2.9	3.4	3.8	3.4	--	--
1999	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2000	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2001	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2002	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2003	--	16.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2004	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2005	--	--	--	13.6	9.2	9.3	10.2	12.1	15.0	14.4	14.0	14.4
2006	--	10.0	11.9	8.6	9.6	9.8	--	--	--	--	--	--
2007	--	--	--	--	--	--	10.2	--	--	--	--	--

Período: 1996-2006

Estação: Inhambane
Elemento: Direcção predominante mensal do vento (em rumos)

ANO	JAN	FEB	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	E	SE	SE	SE	S	S	N	N	NE	NE	NE	NE
1997	SE	SE	SE	S	S	N	S	NE	N	SE	N	SE
1998	SE	SE	SE	SE	S	S	SE	N/S	--	SE	--	SE
1999	SE	S	S	--	S	S	S	N	--	--	--	--
2000	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NE	E
2001	S	S	S	S	S	S	S	NE	S	E	S	S
2002	S	S	S	E	S	S	S	S	S	S	S	E/S
2003	SE	SE	SE	S	S	S	S	S	S	NE	NE	NE
2004	S	--	--	S	--	S	--	--	--	--	--	--
2005	SE	SE	SE	S	NE	NE	S	NE	NE	NE	NE	NE
2006	SE	SE	S	S	W	S	NE	S	E	E	E	N
2007	S	S	S	SE	S	S	S	--	--	--	--	--

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	1.36	1.42	1.16	1	0.92	0.88	1.16	1.36	1.4	1.33	1.4	1.14
1997	1.11	1.36	1.08	0.94	0.88	0.83	0.94	0.97	1.16	1.14	1.44	1.16
1998	1.16	1	0.83	0.86	0.8	0.61	0.8	0.94	1.05	0.94		
2003		4.55										
2005				3.77	2.55	2.58	2.83	3.36	4.16	4	3.88	4
2006		2.77	3.3	2.38	2.66	2.72						
2007							2.83					

Velocidade do Vento (m/s)

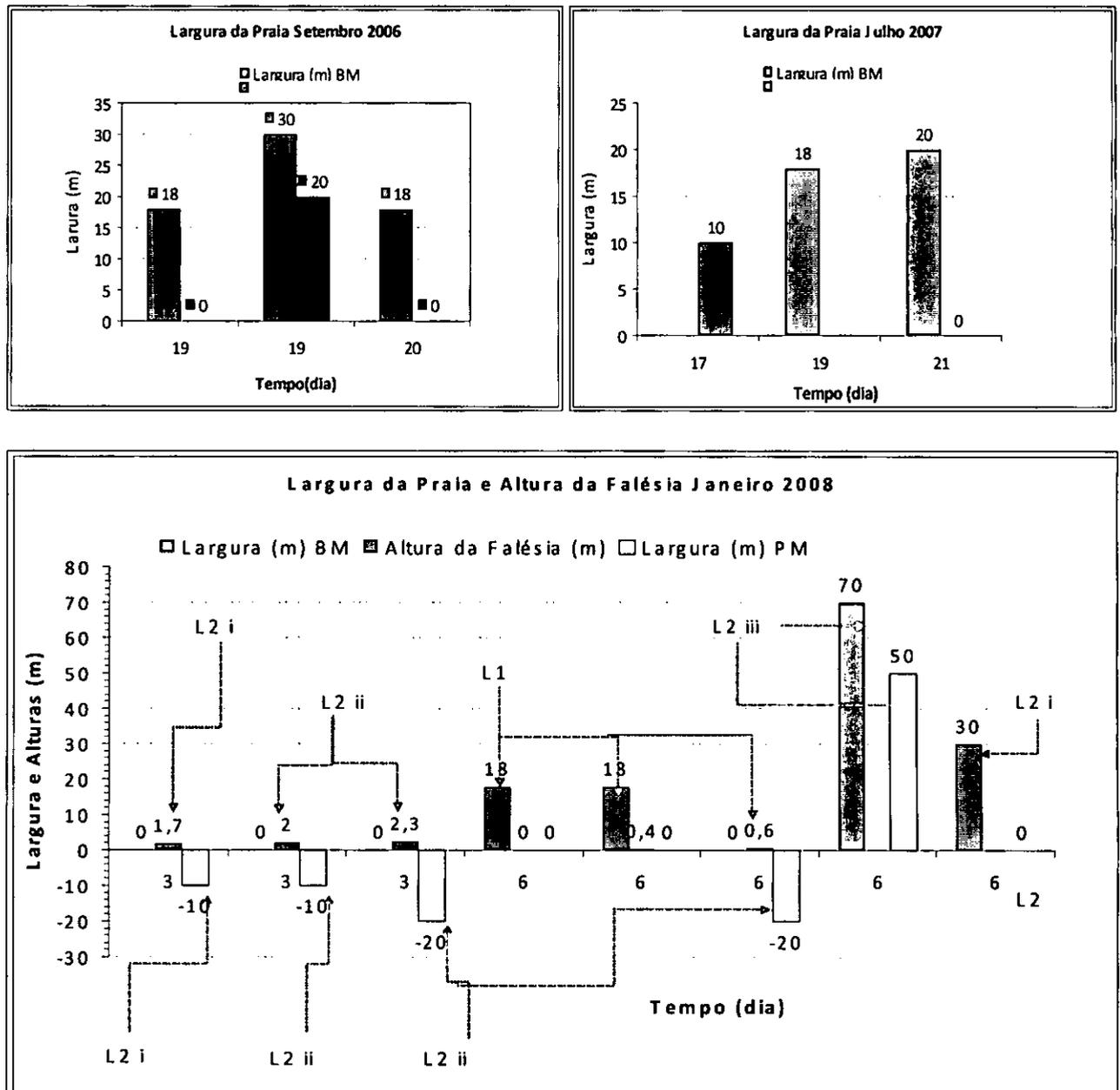
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
1998	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03		
2003		0.02										
2005				0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006		0	0	0.3043	0.1392	0.142						
2007							0					

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	7	17	7	25	63	0	1	0
	7	17	7	25	63	0	1	0

ANEXO 4

Largura da Praia do Tofo e Alturas das Falésias

Usando fita métrica mediu-se a largura da praia em diversos locais, registou-se a hora de cada medição e verificou-se na tabela de marés a que fase da maré (preia mar ou baixa mar ou então vazante ou enchente) correspondia cada medição. A altura da falésia foi medida a partir do plano da praia. Os resultados são mostrados nos seguintes gráficos abaixo ilustrados.



ANEXO 5

Análise Granulométrica das Amostras de Areia

AMOSTRA 1

Crivo (mm)	Tara(g)	Tara+Amostra(g)	Amostra(g)	Amostra(%)	
2.000	1.240				
1.000	1.280				
0.710	1.293	1.3000	0.0070	0.04	areia poco grossa 0.710mm
0.500	1.286	1.4570	0.1710	0.86	areia media 0.500mm
0.355	1.279	2.3190	1.0400	5.20	areia media 0.355mm
0.250	1.310	11.244	9.9340	49.67	areia media 0.250mm
0.180	1.323	9.1430	7.8200	39.10	areia fina 0.180mm
0.125	1.307	1.4090	0.1020	0.51	areia fina 0.125mm
0.090	1.282	1.4360	0.1540	0.77	areia muito fina 0.090mm
0.063	1.296	1.4050	0.1090	0.55	areia muito fina 0.063mm
TOTAL			19.3370		
Erro			0.6630		
Amostra absoluta			20.000		

AMOSTRA 2

Crivo (mm)	Tara(g)	Tara+Amostra(g)	Amostra(g)	Amostra(%)	
2.000	1.240				
1.000	1.280				
0.710	1.245	1.2610	0.0160	0.08	areia poco grossa 0.710mm
0.500	1.249	1.7760	0.5270	2.64	areia media 0.500mm
0.355	1.295	1.5820	0.2870	1.44	areia media 0.355mm
0.250	1.303	11.361	10.058	50.29	areia media 0.250mm
0.180	1.247	8.7740	7.5270	37.64	areia fina 0.180mm
0.125	1.260	1.4650	0.2050	1.03	areia fina 0.125mm
0.090	1.280	1.8940	0.6140	3.07	areia muito fina 0.090mm
0.063	1.240	2.1070	0.8670	4.34	areia muito fina 0.063mm
TOTAL			20.1010		
Erro			-0.1010		
					Amostra absoluta 20.000

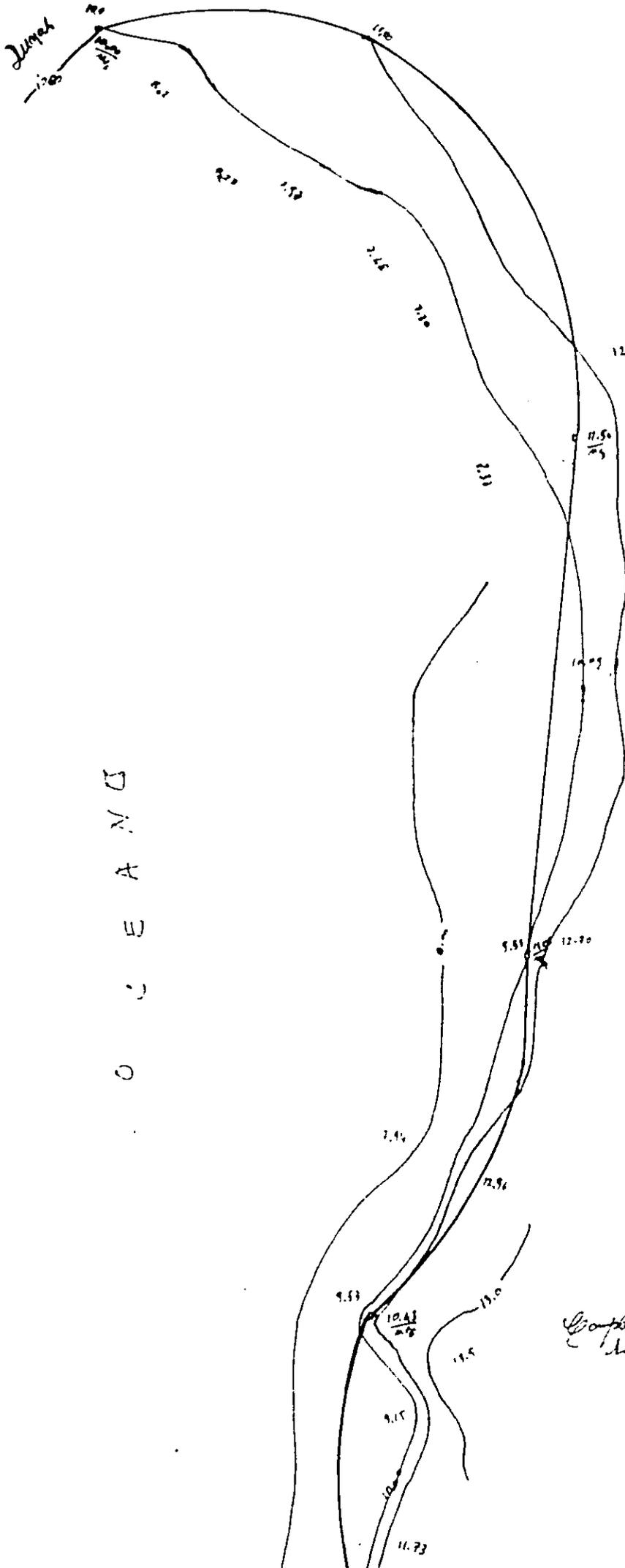
ANEXO 6

6.1 Topografia da Praia Anos 2006 e 2008

Ângulos medidos		Distancia (m)	desnível calculado (m)		cota do ponto (m) 2008	Observação	cota do ponto (m) 2006
Vertical	Horizontal		positivo	negativo			
100.437	0	140	0.913		10.91	Mr1	13.00
99.927	260.832	190			10.14		12.44
101.446	310.876	76	1.918		8.08		7.48
101.578	345.341	72	0.028		9.97		7.97
100.893	368.335	100	0.015		9.98		7.98
101.078	290.985	94	1.769		8.23		7.30
100.588	284.333	170	1.745		8.26		8.20
100.604	387.103	108	1.138		8.96		8.20
100.378	274.838	230		1.517	8.48		10.28
100.164	268.98	230		0.658	9.34		11.54
0	221.95					Mr3	
99.416	236.105	110			10.46		12.46
100.647	240.497	110	1.21	1.242	8.098		10.090
100.301	225.23	250		1.313	8.03		9.53
99.622	234.547	252	1.662		11.00		12.70
99.898	0	260	0.462		9.80		11.50
99.979	00.00.00					Mr4	
99.397	215.802	102	1.069		10.86		12.56
101.025	238.103	110		1.968	7.83		7.94
100.174	229.984	190		0.577	9.22		10.92
99.815	221.959	194			10.43		12.13
100.146	0					Mr5	
97.983	121.901	40			11.84		13.54
103.204	164.831	39		2.18			
101.182	200.133	129		2.66	7.77		7.83
100.94	188.837	130		2.13	8.30		8.81
99.918	178.978	140	0.2				
100.002	168.238	100		3.491	10.43	Mr6	11.73

6.2 Cálculo de Volume Total de Descarga Pelo Método de Triângulo

ΔY	ΔY medio L	A	I	Q_t	
2.09					
2.30					
-0.60					
-2.00	-1.06	70	-37.0416667	184	-6815.666667 Zona iii
-2.00					
-0.93					
-0.06					
-0.76					
1.80					
2.20	2.1	30	31.5	110	3465.0
0.00		0			12352.5 Zona ii
2.00					
1.99	1.85	30	27.75	142	3940.5
1.50					
1.70			84.75		
0.00	1.7	30	25.5	194	4947
1.70			444		2562.15 Zona i
0.11					
1.70					
1.70	1.7	30	25.5	88	2244
0.00			51		
1.70					
0.40					
0.06					
0.51				189	606.15
0.30			10.7		
1.30					Zona I e Trecho L3
TOTAL Erodido		120.6	675		15520.8
TOTAL da Praia		157.6416667	964		



Complexo Turístico
Praia de Tofo

cidade de Zyhamban
Praia de Tofo

Ano 2006

Praia de Tofo

Hotel Tofo Mar

Complexo Turístico
Mordim's Lodge

O
C
E
A
N
O

Companhia Insular
de Saneamento

Cidade de Inhambane
Praia de Tofo
Bairro Joana Mach

TERMINO REQUERIDO POR
FRANCO

ANO. 2008

Praia Tofo

Hotel Tofo

Companhia Insular
de Saneamento

N
O
Z
A
E
C
O

