

**PLANO DE URBANIZAÇÃO DA FRENTE MAR CAMPO DE BAIXO – PONTA DA CALHETA  
PORTO SANTO**

**1ª FASE**

**CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO**

**ANEXOS**

**GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA COSTEIRA, DINÂMICA COSTEIRA, HIDROGEOLOGIA**



**CESAR ANDRADE  
MARIA CONCEIÇÃO FREITAS  
RUI TABORDA  
SUSANA PRADA**



## ÍNDICE

	Pág
ANEXOS	
Anexo I – Tabelas	03
Anexo II – Coastal System of Porto Santo	12
Anexo III – Faixa de Salvaguarda	23
Anexo IV – Capacidade de Carga e Domínio Público Hídrico	28
Anexo V – Representação Cartográfica	31

## ANEXO I

### Tabelas

Tabela I – Características das amostras de rampa.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
15/01/04	1	82	Lodo arenoso	25	1.0	2.44 areia fina	1.60 mal calibrada
	2	60	Lodo arenoso	7	0.5	2.22 areia fina	1.55 mal calibrada
	3	32	Areia lodosa	22	0.8	-0.32 areia muito grosseira	2.83 muito mal calibrada
	4	82	Lodo arenoso	25	1.3	1.96 areia média	1.96 mal calibrada
20/04/02	A	84	Lodo arenoso	31	-	1.88 areia média	1.72 mal calibrada
	O	95	Lodo arenoso	28	-	-	-
31/08/08	H1	14	Areia lodosa	70	0.4	0.58 areia grosseira	2.10 muito mal calibrada
	F1	36	Areia lodosa	40	1.4	1.13 areia média	1.95 mal calibrada

Tabela II – Características da amostra da terceira duna.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
20/04/02	V	0	Areia	89	-	2.01 areia fina	0.28 muito bem calibrada

Tabela III – Características das amostras da depressão axial.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
15/01/04	5	94	Lodo arenoso	23	0.9	2.38 areia fina	0.79 moderadamente calibrada
	6	83	Lodo arenoso	12	1.0	2.01 areia fina	0.45 bem calibrada
20/04/02	G	76	Lodo arenoso	40	-	2.09 areia fina	0.34 muito bem calibrada
	M	92	Lodo arenoso	31	-	-	-
	P	70	Lodo arenoso	44	-	2.06 areia fina	0.35 muito bem calibrada
31/08/08	E1	25	Areia lodosa	64	1.2	1.96 areia média/fina	0.57 moderadamente calibrada
	I1	13	Areia lodosa	83	0.9	1.96 areia média/fina	0.31 muito bem calibrada

4

Tabela IV – Características das amostras da segunda duna.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
20/04/02	B	0	Areia	90	-	2.04 areia fina	0.29 muito bem calibrada
	L	20	Areia pouco lodosa	78	-	2.10 areia fina	0.29 muito bem calibrada
	N	0	Areia	87	-	2.03 areia fina	0.32 muito bem calibrada
	Q	0	Areia	89	-	2.01 areia fina	0.33 muito bem calibrada
31/08/08	D1	0	Areia	90	-	1.80 areia média	0.37 bem calibrada
	J1	0	Areia	91	-	1.96 areia média/fina	0.28 muito bem calibrada

Tabela V – Características das amostras da depressão interdunar.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
20/04/02	K	14	Areia pouco lodosa	77	-	1.57 areia média	0.38 bem calibrada

Tabela VI – Características das amostras da duna frontal.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
15/01/04	9	0	Areia	89	-	1.72 areia média	0.40 bem calibrada
	10	0	Areia	91	-	1.94 areia média	0.34 muito bem calibrada
20/04/02	F	0	Areia	89	-	2.06 areia fina	0.32 muito bem calibrada
	J	0	Areia	92	-	2.13 areia fina	0.29 muito bem calibrada
	R	0	Areia	91	-	2.10 areia fina	0.30 muito bem calibrada
	HTPD	0	Areia	80	-	2.33 areia fina	0.28 muito bem calibrada
31/08/08	K1	0	Areia	94	-	1.94 areia média	0.28 muito bem calibrada

HTPD – Praia do Hotel Torre Praia Dourada

Tabela VII – Características das amostras de berma de praia.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
15/01/04	8	0	Areia	90	-	1.70 areia média	0.41 bem calibrada
20/04/02	I	0	Areia	91	-	1.77 areia média	0.44 bem calibrada
	E	0	Areia	91	-	1.78 areia média	0.37 bem calibrada
	S	0	Areia	85	-	1.58 areia média	0.63 moderadamente calibrada
	HTPD	0	Areia	91	-	1.91 areia média	0.38 bem calibrada
	RC	0	Areia	85	-	1.57 areia média	0.53 moderadamente calibrada
	HL	0	Areia	87	-	1.66 areia média	0.50 bem calibrada
	PL	0	Areia	68	-	1.98 areia média	1.33 mal calibrada
	Calheta	0	Areia	92	-	2.06 areia fina	0.27 muito bem calibrada
31/08/08	M1	0	Areia	93	-	1.89 Areia média	0.31 muito bem calibrada

HTPD – Praia do Hotel Torre Praia Dourada; RC – Praia em frente ao Ribeiro Cochino; HL – Praia do Hotel Luamar;  
PL – Praia a leste do Porto de abrigo

Tabela VIII – Características das amostras de face de praia.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
15/01/04	7	0	Areia	91	-	2.04 areia fina	0.34 muito bem calibrada
20/04/02	D	0	Areia	93	-	1.89 areia média	0.35 bem calibrada
	H	0	Areia	91	-	1.99 areia média/fina	0.40 bem calibrada
	U	0	Areia	92	-	2.01 areia fina	0.36 bem calibrada
	HTPD	0	Areia	92	-	1.86 areia média	0.35 bem calibrada
	RC	0	Areia	92	-	1.86 areia média	0.37 bem calibrada
	HL	0	Areia	91	-	2.00 areia fina	0.40 bem calibrada
	PL	0	Areia	62	-	1.69 areia média	1.04 mal calibrada
	PW	0	Areia	88	-	2.02 areia fina	0.35 bem calibrada
	Calheta	0	Areia	75	-	1.52 areia média	0.74 moderadamente calibrada
31/08/08	L1	0	Areia	91	-	2.11 areia fina	0.32 muito bem calibrada

HTPD – Praia do Hotel Torre Praia Dourada; RC – Praia em frente ao Ribeiro Cochino; HL – Praia do Hotel Luamar; PL – Praia a leste do Porto de abrigo; PW - Praia a oeste do Porto de abrigo

Tabela IX – Normais climatológicas (1961-80) Porto Santo/Aeroporto (pressão atmosférica e temperatura).

MÊS	PRES.ATMOSF. MÉDIA		TEMPERATURA DO AR(°C) VALORES MÉDIOS						VALORES EXTREMOS	
	Local	N.M.Mar	09h	15h	21h	Mês	Máx	Min	Máx	Min
JAN	1011,7	1021,5	14,9	17,2	15,3	15,6	17,9	13,4	21,4	7,8
FEV	1009,7	1019,6	14,6	17,0	15,0	15,4	17,7	13,1	22,6	6,4
MAR	1009,8	1019,7	15,0	17,3	15,1	15,7	18,2	13,3	26,0	8,4
ABR	1008,5	1018,3	15,8	17,9	15,6	16,3	18,8	13,8	24,9	8,8
MAI	1009,7	1019,4	17,2	19,3	16,8	17,6	20,2	15,0	29,8	11,1
JUN	1010,5	1020,2	19,0	21,0	18,7	19,4	21,8	17,0	30,5	12,3
JUL	1010,5	1020,2	20,5	22,8	20,3	21,1	23,5	18,7	31,6	14,0
AGO	1009,8	1019,4	21,7	24,0	21,5	22,3	24,8	19,8	35,3	16,2
SET	1009,3	1018,9	21,7	24,0	21,5	22,1	24,7	19,5	34,4	14,5
OUT	1008,6	1018,2	20,1	22,1	19,9	20,5	22,9	18,0	28,6	12,4
NOV	1009,1	1018,8	17,8	19,7	17,8	18,3	20,6	16,0	29,2	10,3
DEZ	1011,3	1021,1	15,9	17,9	16,2	16,4	18,6	14,2	23,0	7,5
ANO	1009,9	1019,6	17,9	20,0	17,8	18,4	20,8	16,0	35,3	6,4

Tabela X – Normais climatológicas (1961-80) Porto Santo/Aeroporto  
(humidade, nebulosidade, insolação, precipitação e evaporação).

MÊS	HUMIDADE RELATIVA MÉDIA %			NEBUL. TOT.MÉDIA (0-10)			INSOLAÇÃO MÉDIA		PRECIPITAÇÃO		EVAPO PICHE MÉDIA (mm)
	09h	15h	21h	09h	15h	21h	Tot h	%	Média total	Máximo Diário	
									(mm)	(mm)	
JAN	81	73	79	7	7	6	134,3	43	58,6	76,3	122,8
FEV	79	71	78	7	7	6	141,2	46	45,1	46,8	126,7
MAR	77	69	77	7	7	6	175,0	48	45,3	77,0	137,2
ABR	74	66	76	7	7	6	193,4	50	24,1	37,5	147,9
MAI	74	67	76	7	6	6	232,8	55	11,9	31,8	154,3
JUN	76	68	78	7	6	6	211,1	50	8,5	14,5	146,1
JUL	75	67	77	7	6	6	229,6	53	3,1	10,4	158,4
AGO	76	67	78	6	5	6	244,6	60	4,6	8,9	167,4
SET	77	68	78	6	5	5	214,8	58	23,1	34,7	143,0
OUT	78	70	79	7	6	6	185,7	53	48,2	78,5	145,5
NOV	78	71	78	7	7	6	146,8	47	54,5	54,6	138,9
DEZ	78	72	77	7	7	6	132,2	43	59,4	62,9	134,9
ANO	77	69	78	7	6	6	2241,5	51	386,4	78,5	1723,1

Tabela XI - Normais climatológicas (1961-80) Porto Santo/Aeroporto (regime de ventos).

MÊS	Frequência, F(%) e Velocidade Média, V(km/h) por Rumor																	
	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		C	
JAN	17,9	19,6	14,9	15,8	13,5	14,7	9,8	18,0	9,7	21,9	3,0	18,9	10,7	21,7	10,6	22,7	9,9	16,0
FEV	20,1	20,6	15,5	16,8	12,3	16,7	6,2	16,7	9,0	20,7	4,7	21,4	12,7	23,0	11,8	22,6	7,7	15,8
MAR	26,8	19,7	18,2	18,1	14,6	18,6	6,0	13,8	7,4	19,0	2,2	15,8	8,6	19,4	10,3	20,8	6,0	15,7
ABR	34,9	20,7	16,2	18,5	8,3	15,5	3,5	13,4	5,4	18,9	2,4	23,9	9,9	21,0	15,5	22,2	3,9	16,2
MAI	46,2	20,1	12,5	18,8	5,1	16,8	2,6	12,2	4,6	15,9	1,5	17,5	8,7	21,0	16,6	19,8	2,1	15,0
JUN	60,3	19,0	9,2	17,2	2,6	14,1	1,9	11,5	2,9	16,0	0,7	15,2	6,8	18,4	13,8	18,9	1,7	14,9
JUL	64,8	20,1	17,9	18,0	2,4	15,3	1,2	9,6	0,9	11,5	0,2	9,0	2,5	13,9	8,6	17,1	1,6	15,2
AGO	58,4	18,4	19,9	17,3	5,6	16,1	1,4	11,7	1,1	12,0	0,7	10,1	2,9	14,7	7,4	15,4	2,7	14,5
SET	39,0	17,5	15,8	16,5	8,3	14,2	4,9	11,9	5,1	16,2	1,8	17,1	7,3	15,0	10,7	15,4	7,2	12,4
OUT	29,1	17,7	14,0	15,3	10,4	14,9	6,6	13,7	8,0	18,7	2,4	19,1	9,0	18,2	12,7	17,9	7,9	14,2
NOV	22,8	19,2	18,1	16,6	13,5	15,7	7,2	16,0	8,0	19,8	3,0	22,0	8,9	20,6	11,0	20,9	7,4	15,2
DEZ	22,9	19,3	15,2	15,5	15,9	16,7	5,9	16,6	9,9	21,1	3,0	18,5	10,0	22,0	10,7	21,0	6,4	12,5
ANO	37,0	19,3	15,6	17,1	9,4	16,1	4,8	14,9	6,0	19,2	2,1	19,2	8,2	20,0	11,7	19,8	5,3	15,2

Tabela XII – Principais cursos de água em Porto Santo (adaptada de PRAM, 2003).

LINHA DE ÁGUA	ÁREA DA BACIA	COMPRIMENTO	VERTENTE	PRINCIPAIS AGLOMERADOS POPULACIONAIS	PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA (mm)	
					Ano médio	Ano Húmido
Serra de Dentro	3,4	2,6	Nordeste	Serra de Dentro	368	460
Pedregal		1,6	Norte	-	368	460
Cochino	3,2	4,3	Sul	Pedras Pretas	368	460
Salgado	3,2	3,6	Sul	Campo de Baixo	343	479
Tanque	7,7	5,0	Sul	Tanque, Dragoal e Vila de Porto Santo	368	460
Calhau	3,4	3,4	Sudeste	Serra de Fora	368	460
Zimbral		2,7	Sul	Vila de Porto Santo	368	460
Volta do Serrado		0,8	Sul	Ponta	343	479

Tabela XIII – Níveis de maré. Alturas (m) acima do Zero Hidrográfico (ZH).

	Preia-mar			Nível médio	Baixa-mar		
	Máxima	A. vivas	A. mortas		A. mortas	A. vivas	Mínima
CN 155	2.8	2.4	1.8	1.4	0.9	0.3	0.0
CN 36401	2.9	2.4	1.8		0.9	0.3	-0.1

Tabela XIV – Elementos topohidrográficos analisados.

Data		Documento	Levantamento	Depositário	Escala	
1842		Carta Geo-Hydrographica	Ministério da Guerra	IH	3'': 1 milha	
1937		Carta Hidrográfica	Ministério da Marinha	IH	1:50000	
1938	*	Carta Corográfica	Instituto Geográfico Cadastral	CeGUL	1:25000	
1966		Carta Topográfica	Serviços Cartográficos do Exército	IGEOE	1:25000	
1995		Cartografia Vectorial	Geometral	LNEC	1:10000 / 1:2000	
2001		Carta Hidrográfica	IH	IH	1:50000 / 1:15000	
2003	Ago	*	Conjunto de 20 perfis topo- hidrográficos	-	LNEC	-
2006	Jul		Levantamento topo-hidrográfico	-	LNEC	-
2007	Jan / Jul	*	Linha do ZH		LNEC	-
2008	Jun/Jul	*	Levantamento Topográfico	TopoMadeira	BSA	1:2000
2008	Jul/Ago	*	Levantamento Topográfico (NMM) entre Calheta e P.Pretas	TopoMadeira	FCUL	-
2008	Ago		Levantamento Topográfico (NMM) entre a Calheta e o Porto	FCUL	FCUL	-

Tabela XV – Características das amostras das ribeiras e barrancos.

Data amostragem	Amostra	% finos	Classificação	% CaCO <sub>3</sub>	% MO	Diâmetro médio da fracção > 63µm	Calibragem da fracção > 63µm
20/04/02	Barranco DV1	11	Areia vasosa	41	-	1.69 areia média	1.43 mal calibrada
	Barranco DV2	6.5		19	-	0.66 areia grosseira	1.78 mal calibrada
	Barranco B2	27		19	-	1.49 areia média	1.69 mal calibrada
	Ribeiro Salgado	14		75	-	1.64 areia média	0.86 moderadamente calibrada
	Ribeiro Cochino	14		77	-	1.44 areia média	0.96 moderadamente calibrada
31/08/08	G1	12		19	-	-0.51 areia muito grosseira	2.39 muito mal calibrada

## ANEXO II

### Coastal System of Porto Santo





From : M. Sokolewicz  
Copies to : Teresa Serra  
File : B9134.01.001  
Project : Porto Santo Coastal Plan  
Subject : Coastal system

Our ref : WG-SE20081208  
Date : 14 August 2008

### Introduction

This memo describes the coastal system of Porto Santo island, with special attention to the beach at the island's southwest side. Aspects considered are: the wave climate, littoral sediment transport, beach stability and response to climate change. This work forms a contribution to the investigations under the Porto Santo Coastal Plan.

### Location

Porto Santo is an island of the Madeira archipelago, in the North Atlantic Ocean, located about 500 km west of the coast of Africa and north east of Madeira. The southwest shore of the island consists of beautiful sand beaches, other shores consist of steep, volcanic rock cliffs.

Engineering and consultancy firm DHV B.V. is active worldwide and has offices in Europe, Africa, Asia and North America. Its head office is in the Netherlands. Dutch Trade Register Gooi- en Eemland, nr. 31034767. The quality management system of DHV B.V. has been approved against ISO 9001.





Figure 1. Satellite image of Porto Santo (left), aerial view of sand beach (top right) and rocky coast (bottom right).

### Wave Climate

The wave climate for Porto Santo has been established using data from ship observations over a period of 17 years ([www.hydrobase.com](http://www.hydrobase.com)), in the wide surroundings of Madeira. This climate is presented graphically in Figure 2, separately for the ocean swell and for the locally generated wind waves.

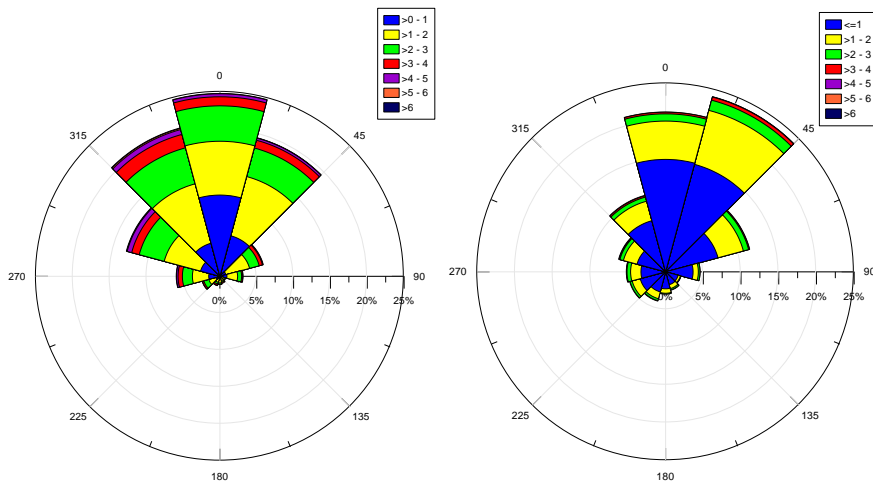


Figure 2: The deep water wave rose for swell (left) and wind waves (right) in the wide surroundings of Madeira and Porto Santo; significant wave height in meters

The majority of waves come from the northerly directions (sector WNW-NW). These waves attack the northern rocky coast of Porto Island. The beaches at the southwest side of the island, however, are sheltered. The portion of waves that can reach this sand coast is presented in Figure 3.

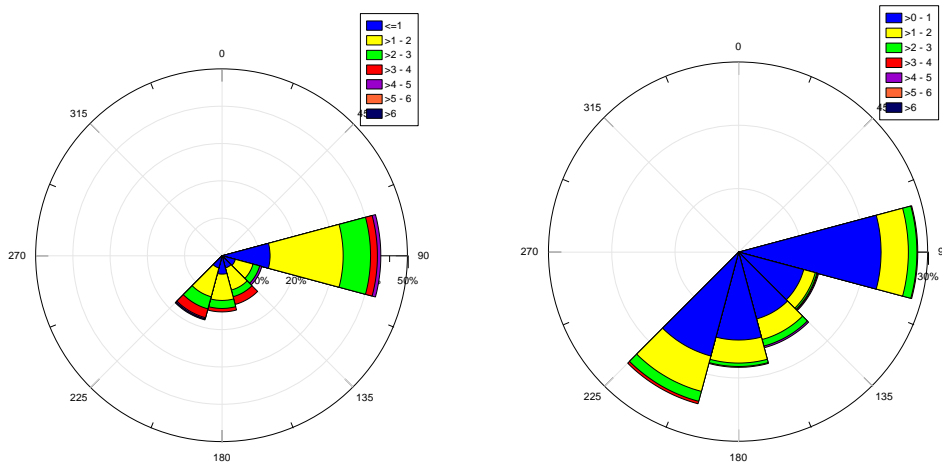


Figure 3: The deep water wave rose for swell (left) and wind waves (right) for waves that can reach southwest coast of Porto Santo

The largest part of swell waves comes from the east. Regarding wind waves, these come from mostly from the east (open ocean) and from southwest (from the direction of Africa). Other directions are sheltered by Porto Santo itself, and by the Cima and Baixo islands. On their way to the shore, these waves will dissipate a part of their energy and become lower. Their direction will change more towards the shore due to the processes of refraction and diffraction. The southwest coast of Porto Santo can therefore be considered a low-energy coast, with waves exceeding 1-2 m only during storms. Waves higher than 1.5m occur only during 38 days per year. Similar conclusions are reported in Fortes et al. (2004).

### Littoral transport

Beaches are shaped by the dynamic processes of erosion and accretion, caused by the variation of littoral sand transport along the coast. This transport is generated by breaking of waves when approaching the shore.

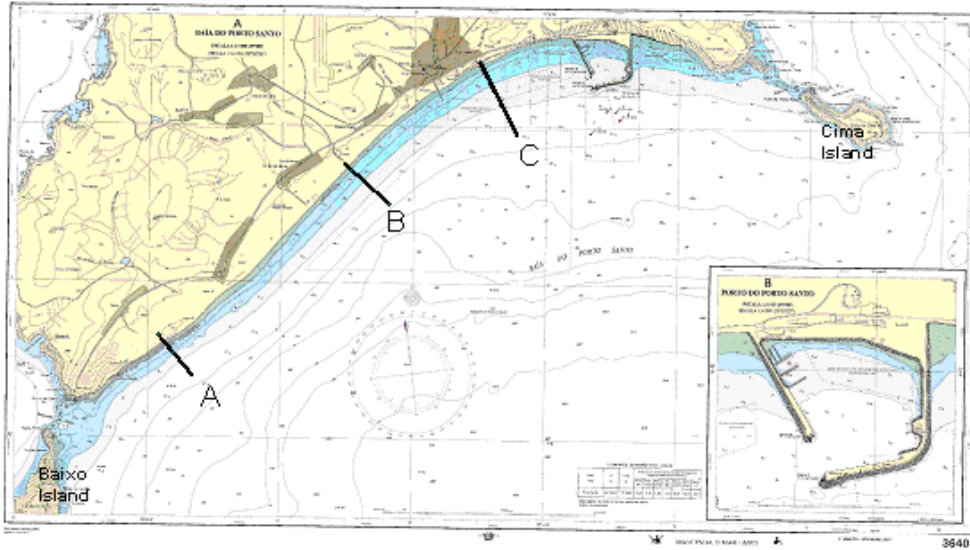


Figure 4: Sea chart of southwest coast of Porto Santo, with indication of cross-shore profiles used in this study

Considering the layout of the Porto Santo island in relation to the distribution of wave energy, it can be expected the sand transport to be directed in the southwest direction. Due to the sheltering effect of two small islands (Baixo and Cima), largest transport will occur in the middle part of the beach. The harbour with large breakwaters is located in the shadow zone of the Cima island, therefore the erosion down-drift of the harbour, which is generally observed in such situations, will be very limited. It can be expected that minor erosion occurs west of the profile C in Figure 4. Such erosion has been actually observed during the site visit. The sand transport increases between the profiles C and A, with some erosion possible between C and B. West of profile A the sand transport is reduced, with some accretion. This explains why the beach here is wider than more to the northeast. Eventually, most of sand is deposited in the strait between Porto Santo and Baixo island.

To estimate the amount of littoral sand transport, some indicative computations have been carried out with the morphological model UNIBEST. The calculated sand transport is in the order of 10,000 m<sup>3</sup>/year. The available information is considered too inaccurate for more detailed estimation of sand transport.



Figure 5: from top left to bottom right: (A) Zone of minor erosion west of the port, (B) middle part of the beach; (C) widening of the beach near its southeast end; (D) strait between Porto Santo and Baixo islands.

### Impact of sea level rise on shoreline retreat

Sea level rise is expected to cause a retreat of the sandy coast of Porto Santo. In this study the Bruun Rule (Bruun (1962) mentioned in Saizar (1997)) is used to estimate the magnitude of this shoreline recession. The Bruun rule is based on the hypothesis that the beach profile is in equilibrium with the wave climate. In case of sea level rise, cross-shore transport processes will redistribute material across the profile in such a way that the equilibrium profile

will be maintained on the long term. Material will be eroded from the dunes and shallow parts to be deposited on the deeper part of the profile. In this way the coastal profile will follow the sea level rise.

In case of sandy coasts, the Bruun-model can be written as:

$$R = S \cdot L / H$$

With: R = shoreline recession [m]

S = sea level rise [m]

L = active profile width [m]

H = total active profile height [m]

The active profile width (L) and the total active profile height (H) are measured from the active border of the dune to the depth of closure. The depth of closure is defined as the seaward boundary of the cross-shore active profile. The determination of the depth of closure is the main difficulty in using the Bruun rule.

The shoreline recession caused by sea level rise is estimated on the basis of three different profiles along the sandy coast of Porto Santo, shown in Figure 4. The profiles which are measured in July 2007 are assumed to approximate the equilibrium profiles.

The shoreline recession has been estimated for different values of the sea level rise S. The values of 0.5 and 0.6 m are based on upper limits of predictions by IPPC (2007). To address the large uncertainty in the predictions of SLR, discussed e.g. in Rahmstorf (2007), the shoreline recession is also estimated for a sea level rise of 1 meter.

As also the closure depth and the active border of the dune are uncertain, the shoreline recession has also been calculated for several combinations of assumptions on the landward and seaward boundaries of the cross-shore active profile. Figures 7, 8 and 9 show these assumptions for the different profiles. The results of the calculations (using the Bruun-model) are shown in tables 1, 2 and 3 in Appendix A.

Due to the shape of the profile, the results are rather insensitive to the assumptions on the boundaries of the cross-shore active profile (the H/L-ratio is more or less the same for different assumptions). On the basis of a safe assumption on the sea level rise for this century (1 m), the estimated shoreline recession is in the order of magnitude of  $2 \cdot 10^1$  m for profile A,  $3 \cdot 10^1$  m for profile B and  $4 \cdot 10^1$  m for profile C. It is advised to take *no-regret*

measures and not to construct any buildings in the zone of 20-40 m from the top of the present dunes to avoid erosion problems as shown in Figure 6. It is also very important not to remove dunes to create better view from hotels, and not to build any hard constructions like jetties to avoid erosion.



Figure 6. Beach erosion problem in Tunisia

## References

Fortes CJEM, Coli AB, Neves MGO and Capitão R., Porto Santo Island. Offshore wave characterisation and propagation; Journal of Coastal Research, Sp. issue 39, 2004.

IPCC, Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report, 2007

Saizar, A. Assessment of impacts of a potential sea-level rise on the coast of Montevideo, Uruguay, Clim Res, Vol. 9: 73-79; 1997

Ramstorf S. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise; Science Vol. 315, 2007

## Appendix A. Results of shoreline retreat due to SLR

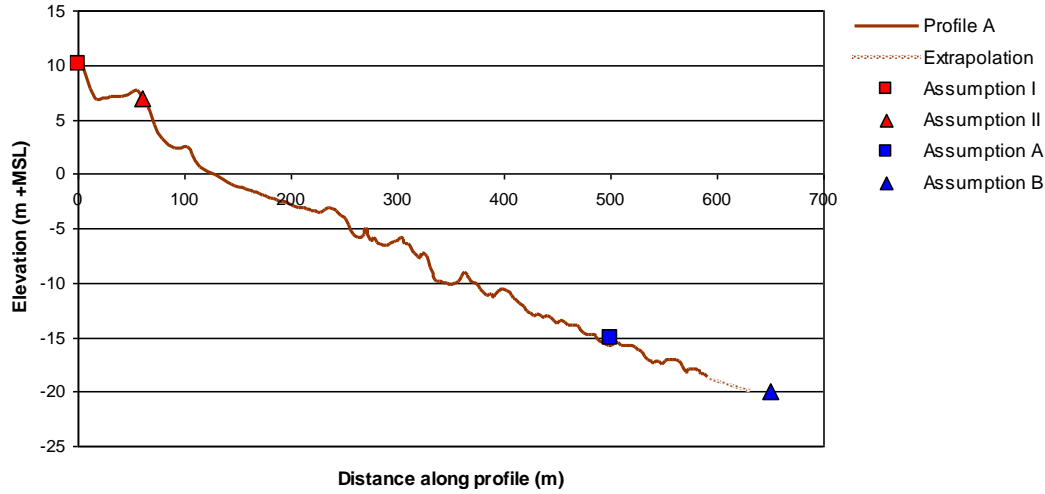


Figure 7: Profile A

Table 1: Results for profile A

Assumptions					Estimated shoreline recession $R$ [m]
Landward boundary	Seaward boundary	$L$ [m]	$H$ [m]	Sea level rise $S$ [m]	
I	A	500	25	0.5	10
I	A	500	25	0.6	12
I	A	500	25	1.0	20
I	B	650	30	0.5	11
I	B	650	30	0.6	13
I	B	650	30	1.0	22
II	A	440	22	0.5	10
II	A	440	22	0.6	12
II	A	440	22	1.0	20
II	B	590	27	0.5	11
II	B	590	27	0.6	13
II	B	590	27	1.0	22

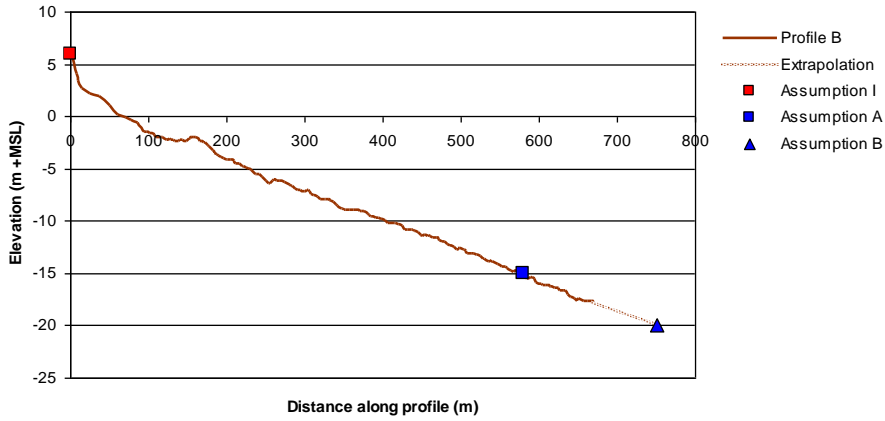


Figure 8: Profile B

Table 2: Results for profile B

Landward boundary	Seaward boundary	Assumptions			Estimated shoreline recession $R$ [m]
		$L$ [m]	$H$ [m]	Sea level rise $S$ [m]	
I	A	580	21	0.5	14
I	A	580	21	0.6	17
I	A	580	21	1.0	28
I	B	750	26	0.5	14
I	B	750	26	0.6	17
I	B	750	26	1.0	29

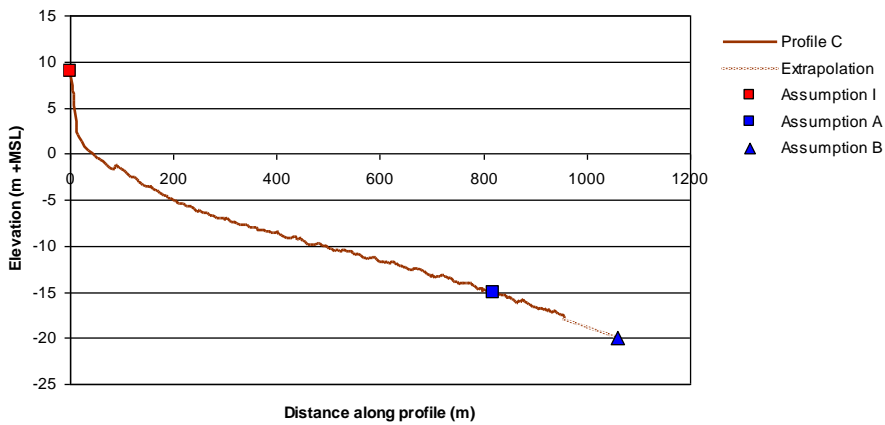


Figure 9: Profile C

Table 3: Results for profile C

Assumptions					Estimated shoreline recession $R$ [m]
Landward boundary	Seaward boundary	$L$ [m]	$H$ [m]	Sea level rise $S$ [m]	
I	A	820	24	0.5	17
I	A	820	24	0.6	21
I	A	820	24	1.0	34
I	B	1060	29	0.5	18
I	B	1060	29	0.6	22
I	B	1060	29	1.0	37

## ANEXO III

### Faixa de Salvaguarda

## Definição de Faixa de Salvaguarda

### Conceito

Uma faixa de salvaguarda corresponde a uma extensão da superfície litoral cuja finalidade é proteger a margem terrestre adjacente no caso de se concretizarem cenários de perigosidade considerados num determinado horizonte temporal. Esta faixa, limitada do lado de terra por uma linha definida com base em critérios técnicos, deverá contribuir para a preservação do equilíbrio morfodinâmico da praia e sistema dunar adjacente pelo que no seu interior devem ser adoptadas políticas muito restritivas de uso e ocupação do solo.

### Definição

A definição da faixa de salvaguarda da área abrangida pelo PU, baseou-se em critérios geomorfológicos e na avaliação do risco de erosão, para dois horizontes temporais, de 100 e 50 anos. Nesta avaliação foram considerados os principais factores de forçamento e respostas associados ao risco costeiro em praias arenosas, nomeadamente: a evolução sazonal, inter-anual e tendência de evolução secular da praia motivada pela subida do nível médio do mar e/ou modificação do balanço sedimentar (ex: interrupção do transporte sólido litoral, intersecção do aporte sedimentar à linha de costa) e ainda variações (erosão) associadas à ocorrência de tempestades marítimas (como as que ocorreram nos invernos marítimos de 1950 e 1960).

### Fundamentação

A estabilidade da faixa costeira, em contexto de praia, depende fortemente da robustez do cordão dunar. No caso presente, o campo dunar adjacente a toda a Praia de Porto Santo apresenta importância fundamental, uma vez que:

- a) proporciona o espaço que permite acomodar a migração da praia em situações de recuo (sazonal, secular);
- b) regula o balanço sedimentar, fornecendo areia à praia em situação de recuo do perfil e incorporando-a em condições de superavit sedimentar.

Para além destes aspectos e do seu valor ecológico, as dunas constituem aquífero livre, de pequena relevância em termos de exploração para abastecimento, mas de elevada importância no controle da possibilidade de deslocação

da intrusão salina para o interior e no desenvolvimento de vegetação característica com capacidade de retenção de areia promovendo a fixação das formas eólicas.

Na Praia de Porto Santo os edifícios dunares organizam-se, geralmente, em dois cordões, localmente separados por uma depressão interdunar; o cordão exterior é mais estreito e mais alto que o interior e a superfície da depressão interdunar desenvolve-se a cotas próximas, ou mesmo inferiores, às da berma de praia. Este dispositivo geomorfológico apresenta uma elevada continuidade espacial e uma relação de interdependência funcional entre os diversos elementos o que faz com que deva ser considerado como um todo. Assim, propõe-se que a faixa de salvaguarda inclua a totalidade dos edifícios dunares costeiros adjacentes à Praia de Porto Santo, independentemente de se tratar de duna frontal ou secundária (primeira ou segunda duna). O limite interior desta faixa corresponde, na cartografia geológica, à linha que separa os depósitos de duna dos cambissolos que se estendem para o interior.

Na definição desta faixa, foi ainda necessário incorporar o conhecimento actual sobre a dinâmica litoral de forma a garantir que, num determinado horizonte temporal, a linha de costa não intersecte o limite terrestre desta faixa. No que diz respeito à tendência de evolução secular da Praia de Porto Santo, os estudos realizados no âmbito deste trabalho não permitem identificar uma tendência regressiva consistente. Esta tendência, a existir, será de pequena magnitude ( $\approx 0.15$  m/ano – [A]) e é mascarada pela elevada variabilidade sazonal e inter-anual, que induz deslocamentos da linha de água que podem exceder 30 m [B]. Estas oscilações de mesoescala estão relacionadas não só com variações do perfil de Inverno/Verão mas também com a transferência longilitoral de areia ao longo da Praia de Porto Santo em resposta a variações do rumo e da potência das ondas. A projecção do recuo associado à ocorrência de temporais baseou-se nos dados de campo disponíveis e em aproximações semi-empíricas (CEM, 2002). Os resultados apontam para uma erosão máxima de aproximadamente 25 m [C] associada ao reajuste do perfil para um temporal com um período de retorno de 100 anos. Relativamente aos efeitos associados à subida do nível do mar, estimativas baseadas na regra de Bruun, indicam uma redução da largura do sistema dunar da ordem dos 20 m em cenários de aceleração da elevação do nível médio do mar (IPCC, 2001 e Rahmstorf, 2007), podendo atingir 30 m [D] num cenário extremo para o horizonte temporal de 2100 anos e de 8 e 12 m [E] para o horizonte temporal de 2050.

No “pior cenário possível” obtêm-se recuos totais que resultam da soma das componentes anteriores:

Hipótese 1 - a tendência de erosão secular existe e relaciona-se na íntegra com o défice sedimentar:

Horizonte temporal de 2100:  $[A] \times 100 + [B] + [C] + [D] = 100$  m;

Horizonte temporal 2050:  $[A] \times 50 + [B] + [C] + [E] \approx 75$  m.

Hipótese 2 – a tendência de erosão secular existe e relaciona-se na íntegra com a elevação do nível médio do mar:

Horizonte temporal de 2100:  $[B] + [C] + [D] = 85$  m;

Horizonte temporal 2050:  $[B] + [C] + [E] = 67$  m.

No sentido de adoptar uma distância que assegure a satisfação do “critério da máxima precaução”, parece razoável indicar 85 m como largura da Faixa de Salvaguarda; a majoração deste valor para 100 m apenas seria justificada caso fosse possível relacionar de forma inequívoca a tendência de evolução secular da linha de costa com o défice sedimentar. A implantação desta distância implica a selecção de uma linha de referência que deverá coincidir com um elemento morfológico notável e relativamente estável face às variações sazonais do forçamento oceanográfico. Atendendo ao exposto anteriormente propõe-se a adopção do sopé da duna frontal (3.4 m (NM) ou 4.8 m (ZH)) como linha de referência, a partir da qual deverão ser contados 85 m para terra.

### **Proposta**

Da combinação dos critérios geomorfológico e dinâmico, resulta um limite terrestre para a faixa de salvaguarda que coincide com o limite interior do corpo dunar, excepto onde este distar menos de 85 m do sopé da duna frontal, casos em que prevalece a largura de 85 m.

Em termos de ordenamento, as propostas da faixa de salvaguarda deverão garantir este limite como critério mínimo, podendo ainda considerar, quando se justificar, troços de faixa de transição entre a referida faixa de salvaguarda, non-edificandi, e a área objecto de edificação, no interior da qual se definirão, caso a caso, restrições específicas de uso e ocupação do solo.

### **Bibliografia citada:**

IPCC (2007) - Summary for Policymakers. Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report.

Ramstorf, S. (2007) - A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise; Science Vol. 315, 368-370.

CEM (2002) – Coastal Engineer Manual . Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

FCUL, 18 de Setembro de 2008

César Andrade  
(Prof. Cat.)

Maria da Conceição Freitas  
(Prof. Ass.)

Rui Taborda  
(Prof. Aux.)

João Baptista P. Silva  
(Engº Geol.)

## ANEXO IV

### Capacidade de Carga e Domínio Público Hídrico

## Definição de linhas de referência para avaliação da capacidade de carga e delimitação do DPH na Praia de Porto Santo

No contexto dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do Projecto “Plano de Urbanização para a Frente Mar Campo de Baixo / Ponta da Calheta - Porto Santo” apresenta-se a metodologia que serviu de base para a definição de: I) limite externo (do lado do mar) do areal, útil em termos de ocupação da praia para efeitos balneares – necessário para o cálculo da capacidade de carga; II) linha de base para delimitação do domínio público hídrico.

- I) **Capacidade de carga da praia** – considerou-se que a área útil corresponde à superfície seca do areal, em condição de maré desfavorável e com espraio de ondas típica dos meses de verão marítimo. Adoptou-se a cota média da preia-mar de águas vivas (2.4 m – ZH, de acordo com elementos de maré constantes na carta náutica 36401 – Ilha do Porto Santo, Instituto Hidrográfico, 2001) e o espraio determinado a partir da expressão proposta por em Masselink & Hughes (2003):

$$R = 0.36 g^{\frac{1}{2}} \tan(\beta) H_0^{\frac{1}{2}} T [1]$$

onde R corresponde ao espraio (m), g a aceleração da gravidade ( $\text{ms}^{-2}$ ),  $\beta$  a inclinação da face de praia ( $^{\circ}$ ),  $H_0$  a altura da onda (m) e T o período (s).

- II) Utilizaram-se as características médias de ondas típicas dos meses de Verão ( $H_0 = 0.72$  m e  $T = 5$  s, de acordo com os elementos que constam em LNEC, 2004) e valores de inclinação da face de praia medidas no terreno ( $6$  a  $8^{\circ}$ ) e extraídos dos perfis que constam da documentação técnica da monitorização realizada em Julho de 2007 ( $4$  a  $9^{\circ}$ ). Para as inclinações consideradas mais representativas da face de praia, o espraio obtido é da ordem de 0.60 m. Deste modo, **propõe-se a cota de 1.6 m NM (3.0 m ZH) para a definição do limite externo da praia seca.**
- III) **Delimitação do DPH** - De acordo com o Decreto-Lei n.º 468/71 de 5 de Novembro “O leito das águas do mar ... é limitado pela linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais. Essa linha é definida, para cada local, em função do espraio das vagas em condições médias de agitação do mar ....”. Importa pois definir a cota que corresponde ao efeito conjugado de uma maré extrema com o espraio das ondas em

condições médias de agitação. Na ausência de dados de campo que permitam materializar, ao longo da Praia de Porto Santo, aquela linha, optou-se por utilizar uma abordagem semi-empírica que depende fortemente da qualidade da informação de base disponível e que representa uma aproximação regional ao problema.

Usando a equação [1] e as condições médias anuais das ondas ao largo de Porto Santo ( $H_0 = 0.98$  m e  $T = 6$  s, de acordo com os elementos que constam em LNEC, 2004), obtém-se um valor de espraio da ordem de 0.8 m. A componente astronómica da maré em preia-mar máxima é, de acordo com elementos de maré constantes na carta náutica, de 2.9 m (ZH). Contudo, este nível é perturbado por variações nas condições meteorológicas e decorrentes da subida no nível médio do mar. De acordo com LNEC (2004) deve adicionar-se à componente astronómica da maré uma sobreelevação de 0.6 m para acomodar estas perturbações.

A cota resultante do somatório destas componentes (maré astronómica, espraio das ondas e sobreelevação do nível do mar) é, neste caso, de 2.9 m NM (4.3 ZH). Para facilitar a sua implantação, sugere-se como **linha de base para delimitação do DPH a curva de nível correspondente a 3.4 m NM (4.8 ZH)** que, na generalidade do levantamento topográfico de 2008, corresponde ao sopé da face barlavento da duna frontal, um objecto planimétrico facilmente identificável, no terreno, na fotografia aérea e na cartografia.

#### **Bibliografia citada:**

Masselink, G. & Hughes, M. (2003) - Introduction to coastal processes and geomorphology. Hodder Arnold, UK, 354p.

LNEC (2004) – Manutenção e melhoramento da Praia do Porto Santo. Relatório 2: Estudo da dinâmica e equilíbrio sedimentar. Relatório técnico 170/04, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 194 p.

FCUL, 22 de Julho de 2008

César Andrade  
(Prof. Cat.)

Maria da Conceição Freitas  
(Prof. Ass.)

Rui Taborda  
(Prof. Aux.)

## ANEXO V

### Representação cartográfica

## Representação cartográfica

---

### Faixa de Salvaguarda



FS-Distância.dwg

### Unidades Geomorfológicas



Geomorfologia\_final.dwg