



**III CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES
DE EXPRESSÃO PORTUGUESA
Maputo, 5 a 8 de Outubro de 2005**

MANUTENÇÃO E MELHORAMENTO DA PRAIA DO PORTO SANTO

Manuel Clímaco, Investigador Principal do LNEC
Filipa S. B. F. Oliveira, Investigadora Auxiliar do LNEC
Claudino Vicente, Investigador Coordenador do LNEC



Objectivos

- Esclarecer se as variações ocasionais da morfologia da praia correspondem a situações naturais e reversíveis ou a um processo erosivo de desequilíbrio permanente.
- Caracterizar a vulnerabilidade da praia face aos agentes naturais e à ocupação humana da sua orla.
- Identificar os problemas existentes.
- Propor medidas e intervenções destinadas a promover a manutenção e o melhoramento da praia.

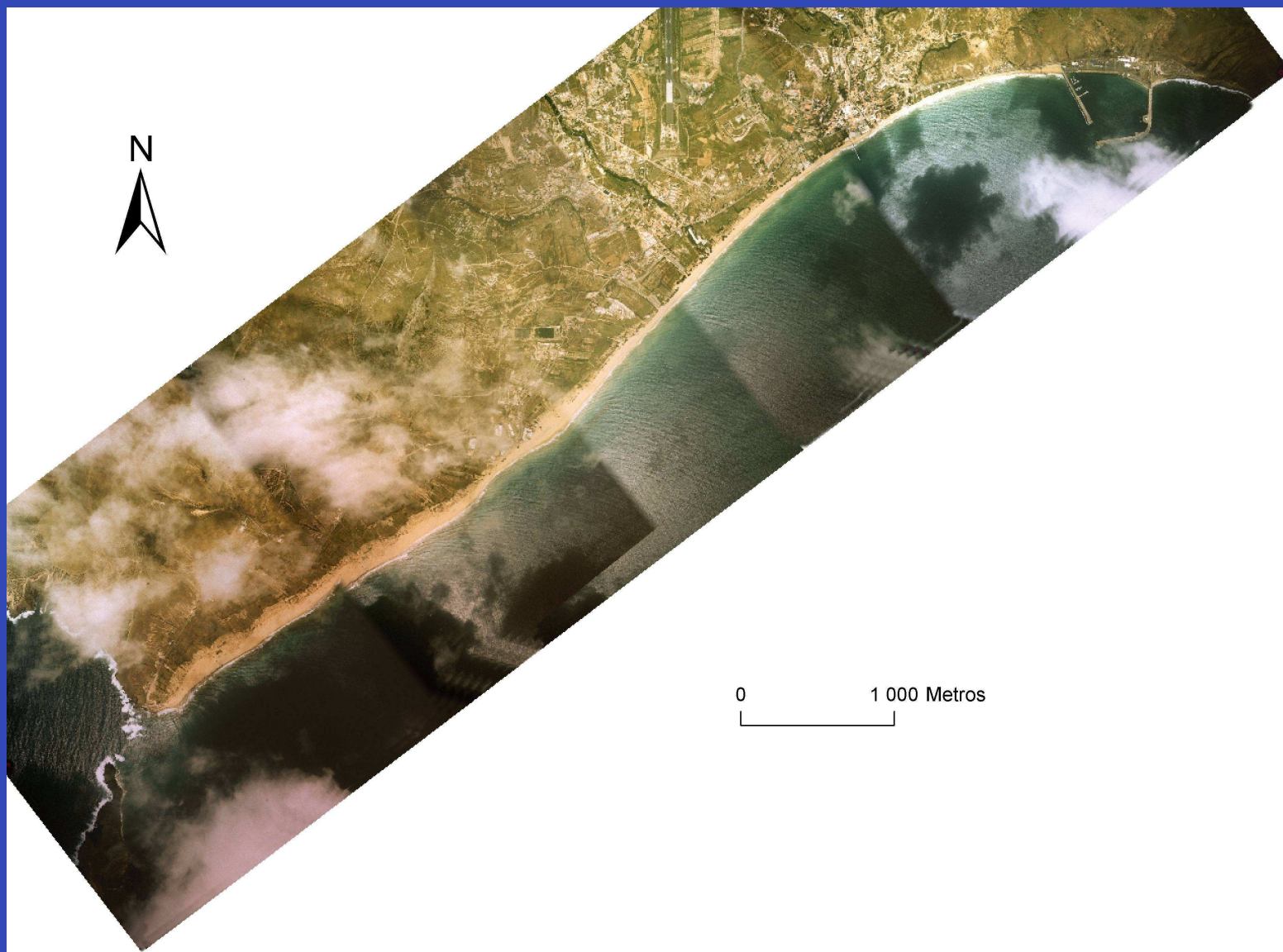


PRAIA DO PORTO SANTO





PRAIA DO PORTO SANTO (2003)





Condições Naturais

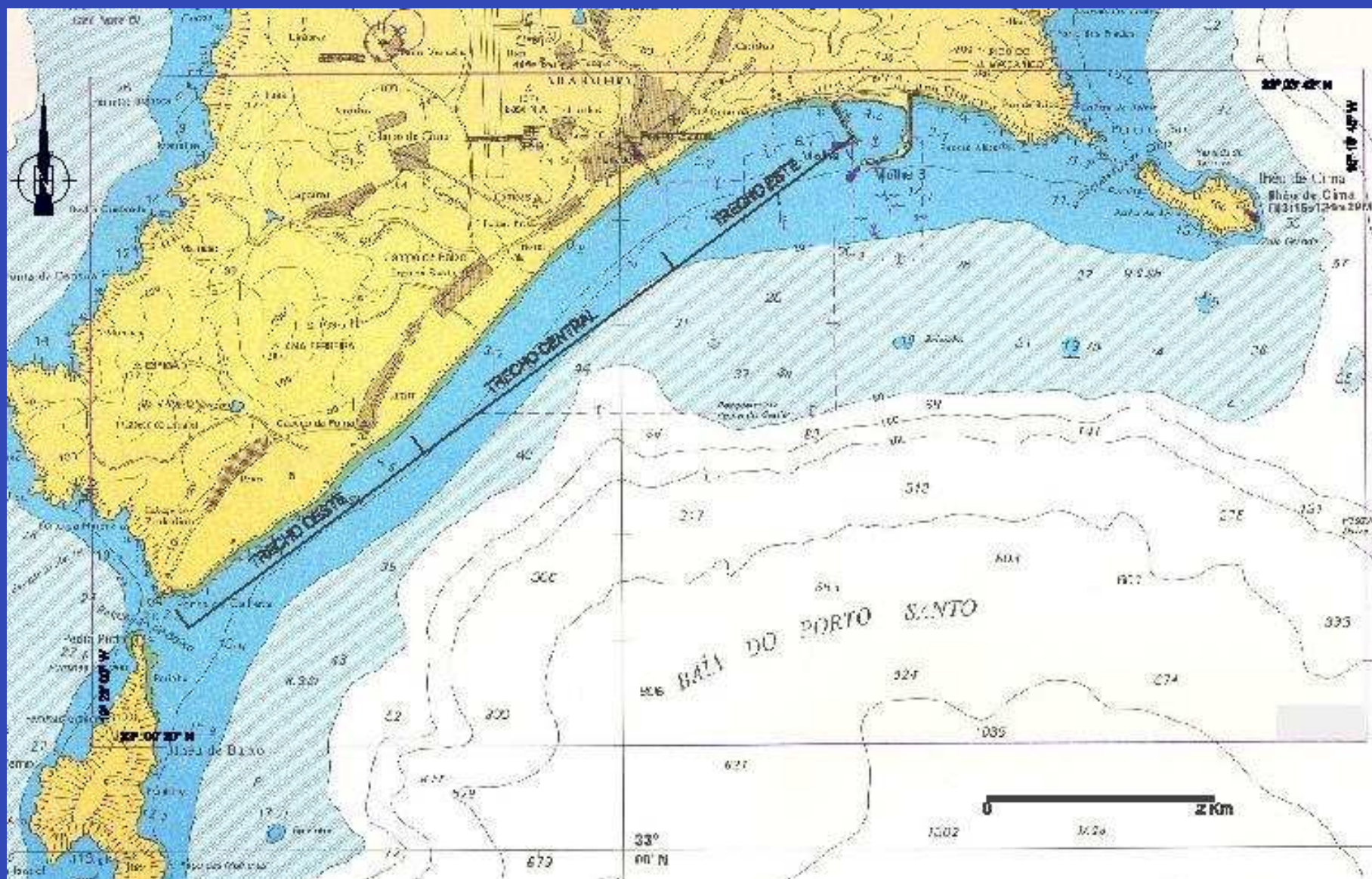
Areias

- Caracterização granulométrica, ao longo de toda a praia, com base em 50 amostras colhidas entre base da duna e a batimétrica 4.
- Grande homogeneidade das suas características granulométricas, quer em sentido transversal, quer longitudinal.
- Areias finas, com um diâmetro mediano de 0,25 mm.

Marés

- Tipo semi-diurno regular.
- Preia-mar e baixa-mar de águas vivas de 2,4 e 0,3 m acima do ZH.
- Nível médio de 1,4 m acima do ZH.

PRAIA DO PORTO SANTO





Condições Naturais

Morfologia

- **Trecho Oeste**, com 2,6 km de extensão e largura média de 65 m, compreendido entre a ponta da Calheta e o Cabeço da Ponta. Nas proximidades da Ponta da Calheta, a camada de areia da praia é pouco espessa, sendo frequentemente descoberta a plataforma do substrato rochoso, denominada lajedo.
- **Trecho Central**, com 2,7 km de extensão e largura média de 70 m, compreendido entre o Cabeço da Ponta e a foz da ribeira da Fontinha. Neste trecho, onde desaguam o ribeiro Salgado e o ribeiro Cochino, o contorno superior da praia apoia-se em grande parte num sistema dunar.
- **Trecho Este**, com 2,1 km de extensão e largura média inferior a 40 m, compreendido entre a foz da ribeira da Fontinha e o porto. Neste trecho, onde desaguam as ribeiras da Fontinha, Tanque e Atalho, está implantada a ponte-cais de Vila Baleira.





Evolução Morfológica (1976 – 2003)

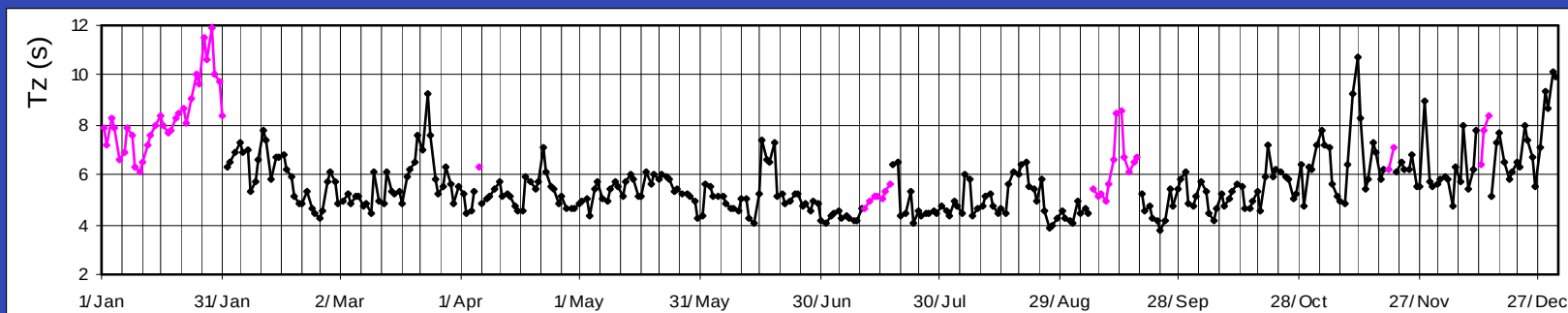
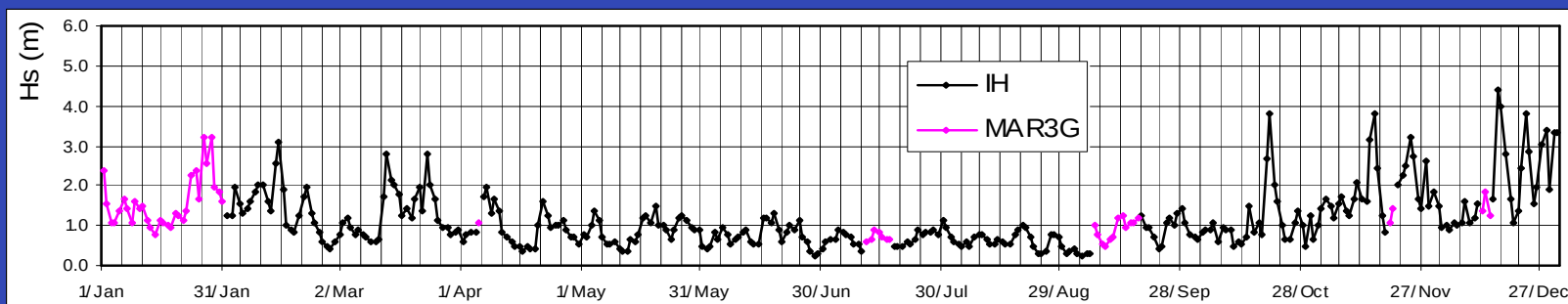
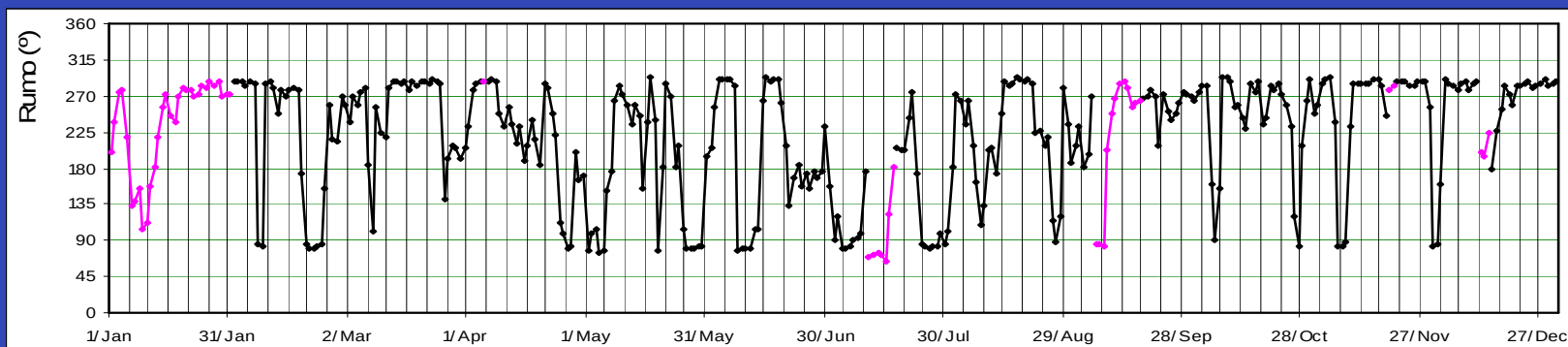
- Perda global de areias de cerca de 350 000 m³, entre as duas datas, correspondente ao saldo de uma erosão de 700 000 m³ e de um assoreamento de 350 000 m³.
- Perdas de areia afectando os três trechos de praia de forma desigual, sendo o trecho Este o mais prejudicado e o Central o mais poupado às erosões.
- Coexistência em qualquer dos trechos de zonas de erosão e de assoreamento. O trecho Este foi o que perdeu mais areia embora seja também o que teve maior assoreamento, o qual se concentrou junto do molhe Oeste do porto.
- Processo erosivo moderado, apesar do valor significativo das perdas, por se estar em presença de uma praia de grande comprimento e que dispõe, portanto, de uma volumosa massa de areias.
- Alteração morfológica mais visível consistindo numa acumulação de areias, com avanço da linha de água, no extremo nascente da praia, junto do porto, resultante da construção desta infra-estrutura.



Condições Naturais

Agitação Marítima

Séries cronológicas de 2002



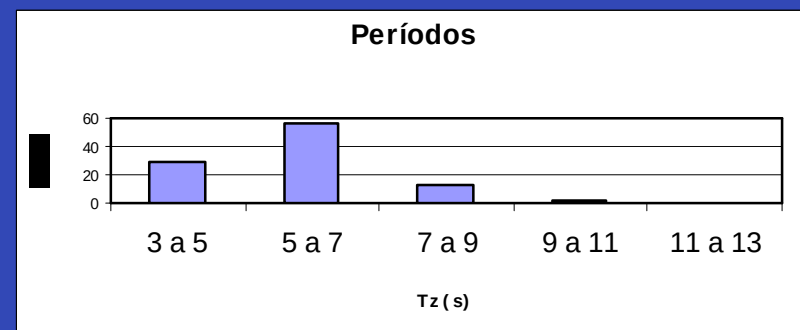
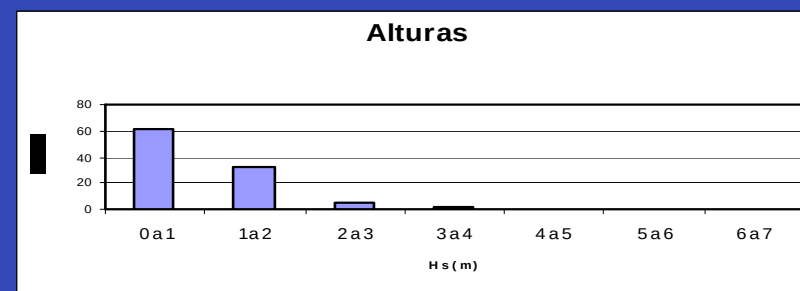
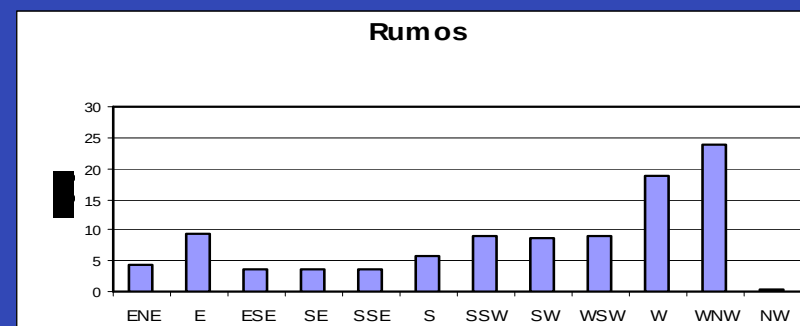


Condições Naturais

Agitação Marítima

- Predominam os rumos de W e WNW com cerca de 43% das ocorrências apresentando os rumos WSW, SW e SSW frequências idênticas entre si, na ordem dos 9%. Os sectores SSE a NE apresentam frequências da ordem dos 5% ou inferiores, com excepção do E que ultrapassa os 9%.
- Regime relativamente suave: as alturas significativas inferiores a 1,0 m são as mais frequentes, com incidência de 60%; segue-se o escalão de 1 a 2 m, com 33 % das ocorrências; e apenas 7% das ondas ultrapassa os 2,0 m.
- Períodos mais frequentes na gama dos 5 a 7 s, com 56% das ocorrências. Seguem-se os períodos de 3 a 5 s com 29% e os períodos de 7 a 9 s com 13%.

Clima anual de agitação marítima ao largo do Porto Santo





Condições Naturais

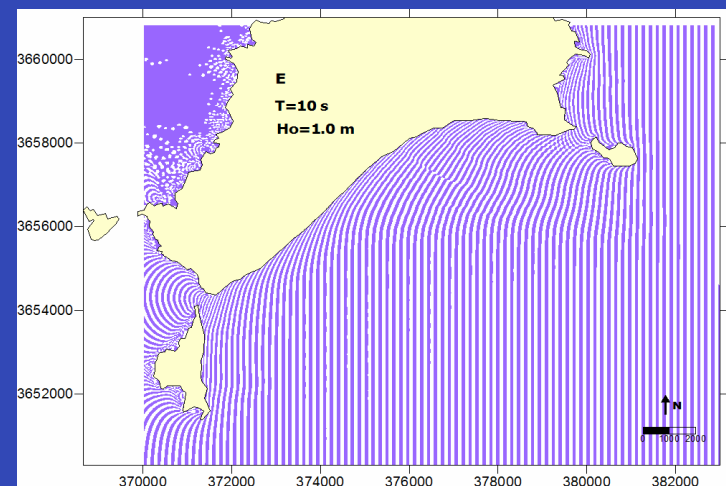
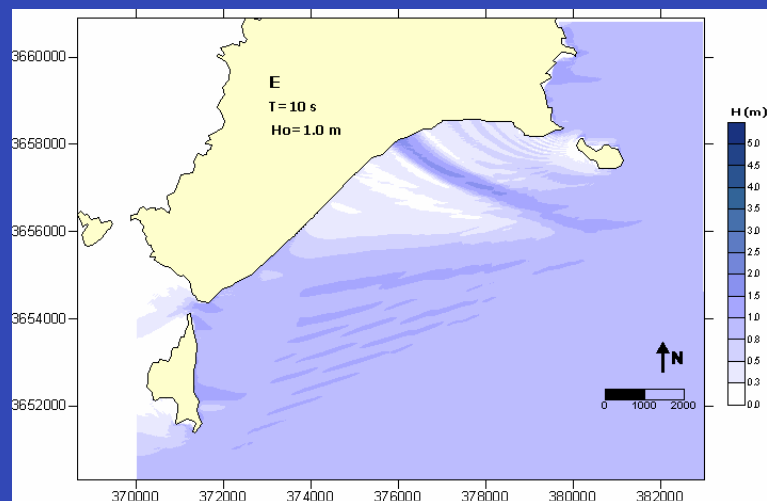
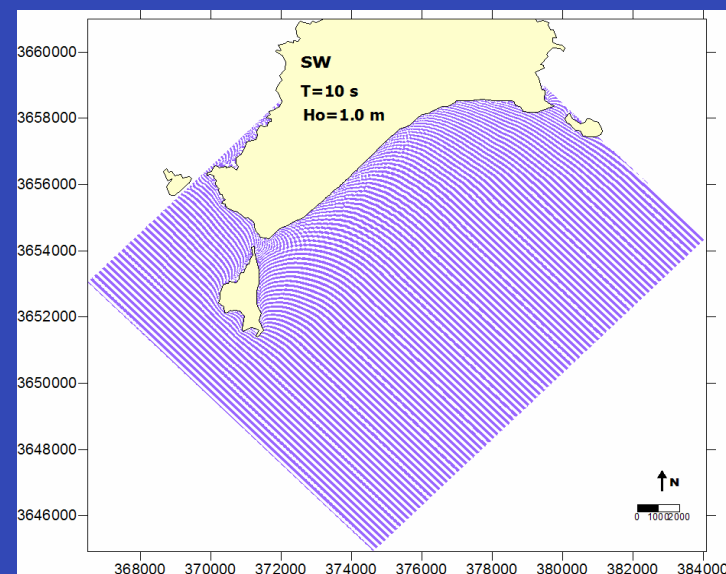
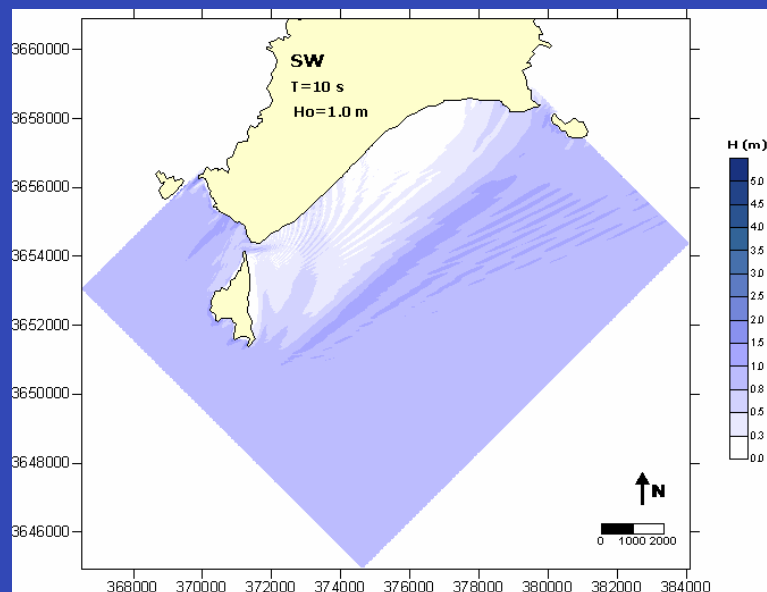
Propagação da Agitação Marítima

- As ondas que atingem a costa sul da Ilha do Porto Santo sofrem alterações significativas dos rumos e alturas, no seu percurso desde o largo até à praia, devido aos fenómenos de refacção, difracção e empolamento.
- Como os modelos de evolução de linha de costa necessitam de dados de agitação marítima bastante mais próximos da costa, transferiu-se a série cronológica das grandes profundidades para vários pontos localizados sobre a batimétrica 10 da praia.
- Na propagação das ondas representativas do regime ao largo consideraram-se: 99 ondas elementares correspondentes à combinação de 11 rumos, 3 alturas e 3 períodos. Estas ondas cobriam toda a gama de ocorrência destes parâmetros ao largo da costa.



Condições Naturais Agitação Marítima

Diagramas de propagação da agitação marítima





Condições Naturais

Agitação Marítima

Agitação marítima no sopé da praia

- O rumo SE ao largo incide quase frontalmente na praia, com uma distribuição de alturas bastante uniforme ao longo do seu desenvolvimento e sem redução relativamente ao seu valor ao largo.
- O rumo S, incide na praia com alguma obliquidade a que corresponde capacidade de transporte para E. As suas alturas continuam a ser pouco afectadas pela propagação desde o largo.
- Para os rumos de SW e W acentua-se a obliquidade da incidência das ondas, beneficiando a praia de uma significativa redução das alturas das ondas que a atingem, devido à protecção que lhe é conferida pelo ilhéu de Baixo. Verifica-se, no entanto, alguma penetração de energia pelo Boqueirão de Baixo que apenas afecta o trecho das imediações da Calheta.
- Para os rumos de E e ENE as condições são aproximadamente simétricas das correspondentes aos rumos SW e W. Acentua-se a obliquidade da incidência das ondas e atenuam-se as suas alturas devido à protecção conferida pelo ilhéu de Cima. Verifica-se, paralelamente, alguma penetração de energia pelo Boqueirão de Cima.



Condições Naturais

Agitação Marítima

O conjunto de resultados permitiu a elaboração de tabelas de transferência da agitação marítima entre o largo e a batimétrica 10, abrangendo o contorno geral da praia. Obtiveram-se, desta forma, 12 séries cronológicas locais, distribuídas entre a ponta da Calheta e o extremo Este da baía do Porto Santo. Ficou-se, desta forma, a dispor dos dados necessários para as posteriores aplicações dos modelos morfo-sedimentares destinados a simular a dinâmica e equilíbrio sedimentar da praia e a testar soluções de intervenção.

Ocupação e Intervenções Humanas (1966 e 1999)





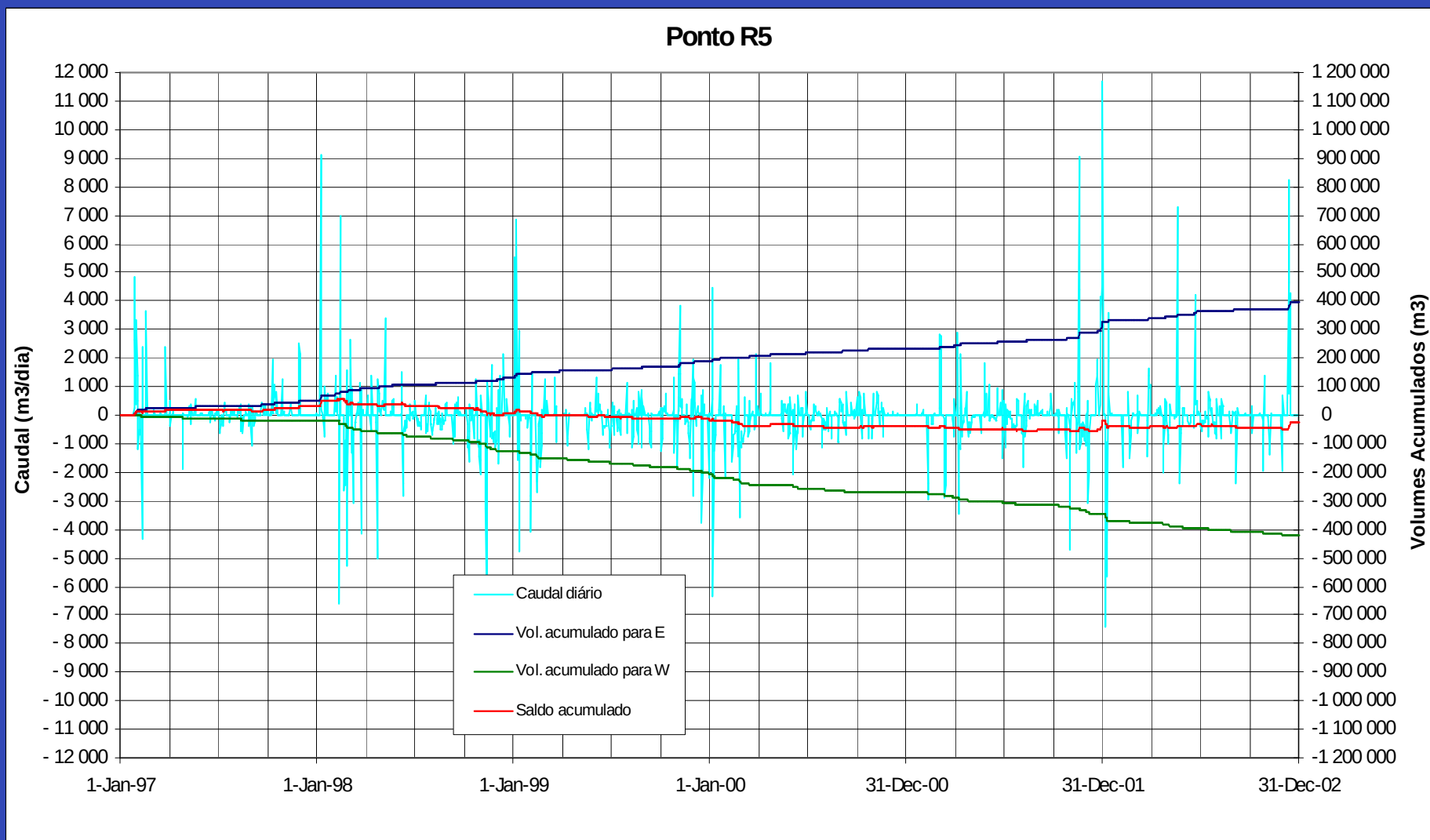
Ocupação e Intervenções Humanas

- O Plano de Ordenamento local evidencia um progressivo aumento da pressão para construir na orla costeira da praia do Porto Santo. Têm particular importância as infra-estruturas e edificações localizadas demasiado próximo da linha de água, susceptíveis de interferir com o livre processamento dos fenómenos que condicionam a dinâmica e equilíbrio da praia.
- A falta de respeito por uma margem de segurança que preserve o funcionamento natural da parte superior da praia, pode impedir a sua total recuperação após ocorrências excepcionais de níveis e agitação marítima, dando origem a situações de degradação permanente.
- O trecho Oeste é o menos afectado pela ocupação humana. O central, embora pouco dotado de infra-estruturas balneares, apresenta ocupação mais acentuada que o anterior, com forte tendência expansiva. O trecho Este é o mais densamente ocupado, destacando-se as construções urbanas da frente marítima de Vila Baleira e o porto.
- Para além das construções na orla da praia, é relevante a acentuada regularização dos ribeiros que desagüam da praia, realizada para controlo da intensa erosão das bacias hidrográficas. A contribuição sedimentar destes ribeiros para a alimentação da praia, que era no passado de cerca de 10 000 m³ de areia por ano, deve estar hoje fortemente reduzida devido às numerosas obras de correcção torrencial.



Dinâmica Sedimentar

- A caracterização da movimentação aluvionar da praia foi efectuada com base nos modelos matemáticos de evolução de linha de costa Litmod e Litpack. Simulou-se o equilíbrio longitudinal da praia para a situação de 1976, que representa condições próximas do equilíbrio natural, anteriores a intervenções humanas relevantes.
- Para que uma praia como a do Porto Santo tenha subsistido, apesar das limitadas fontes aluvionares que a alimentam e repõem as suas perdas, é forçoso que as movimentações de areia longitudinais e em perfil apresentem resultantes de transporte, a longo prazo, próximas de zero. Isso não impede que intervenções humanas de apreciável dimensão, como a construção do porto, possam ter provocado reajustamentos da morfologia de equilíbrio nas suas zonas de influência.



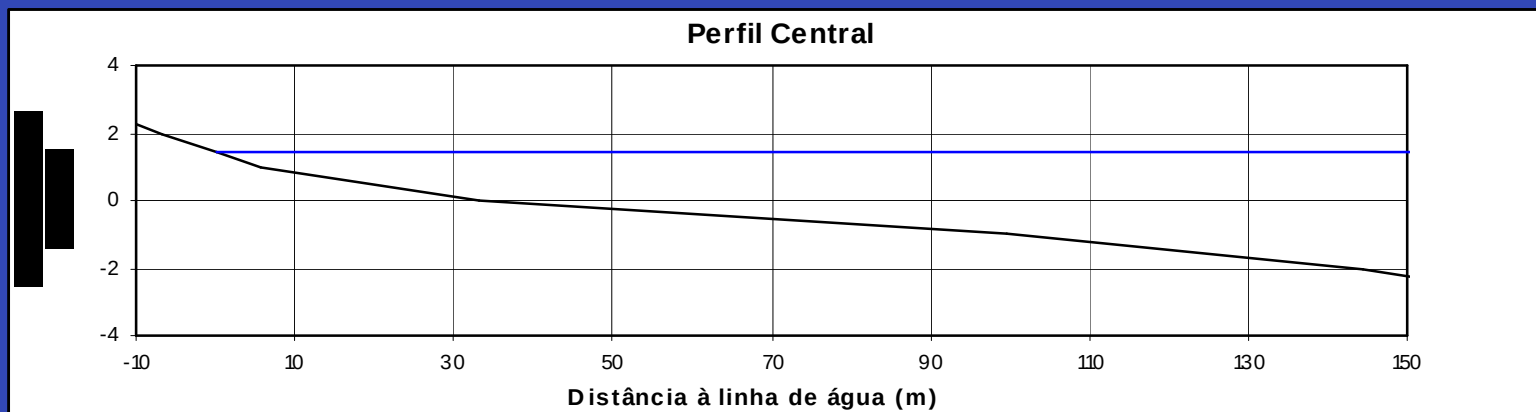
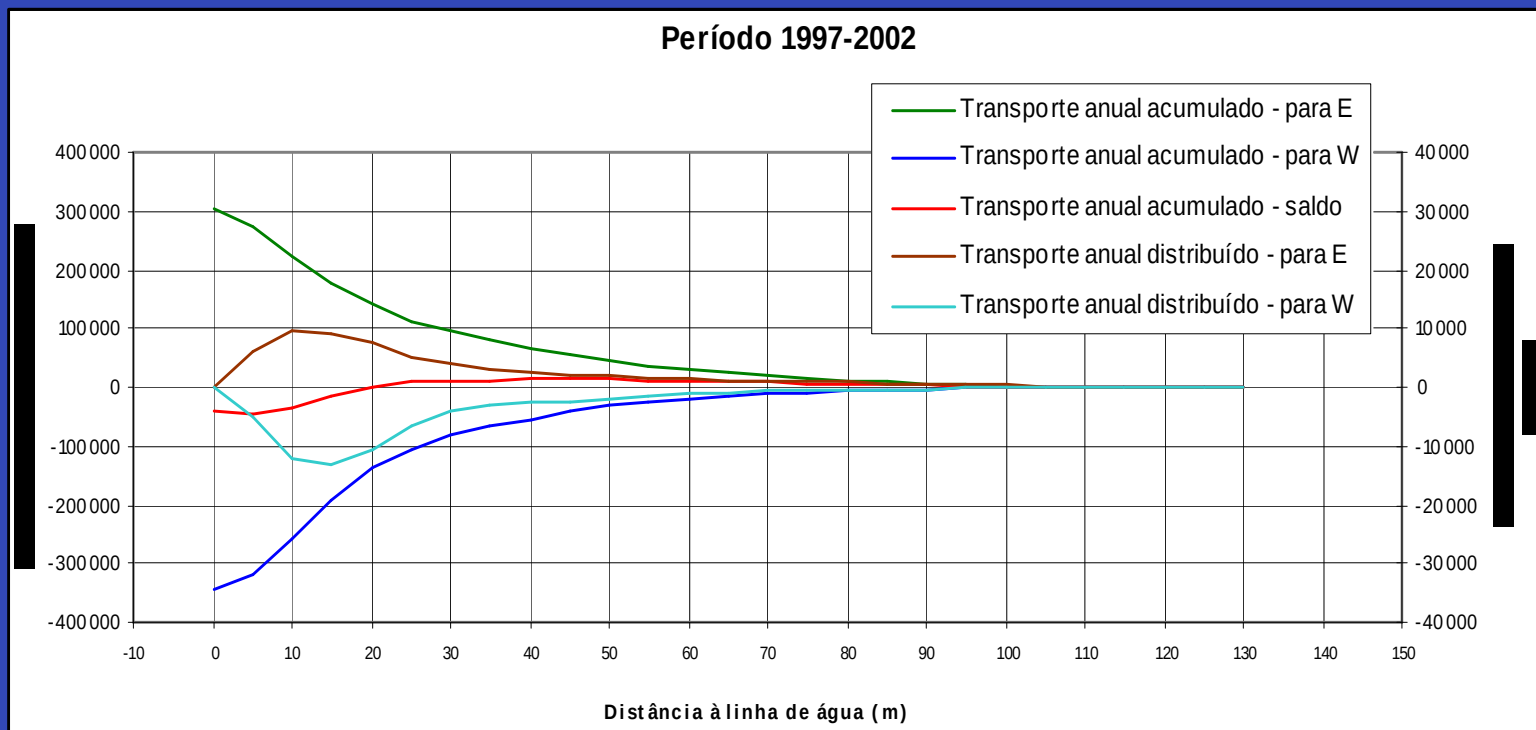


As simulações permitiram caracterizar o transporte sólido litoral ao longo da praia, tendo ressaltado:

- Um padrão moderado de movimentação.
- Caudais máximos diários que podem atingir 12 000 m³ /dia.
- Movimentação acumulada nos dois sentidos da praia, nos seis anos analisados, atingindo valores próximos de 800 000 m³, a que corresponde uma média de 130 000 m³ /ano.
- Movimentação da ordem dos 65 000 m³ /ano em cada sentido, com saldo a longo prazo praticamente nulo.



Distribuição do transporte no perfil da praia





Dinâmica Sedimentar

Distribuição do transporte no perfil da praia

- A cota limite de transporte e o comprimento activo da praia, são aproximadamente 1,5 m abaixo do ZH e 90 m, respectivamente.
- Dado que a agitação marítima apresenta pequenas alturas, a maior intensidade de transporte, que corresponde à faixa de rebentação, ocorre em pequenas profundidades.

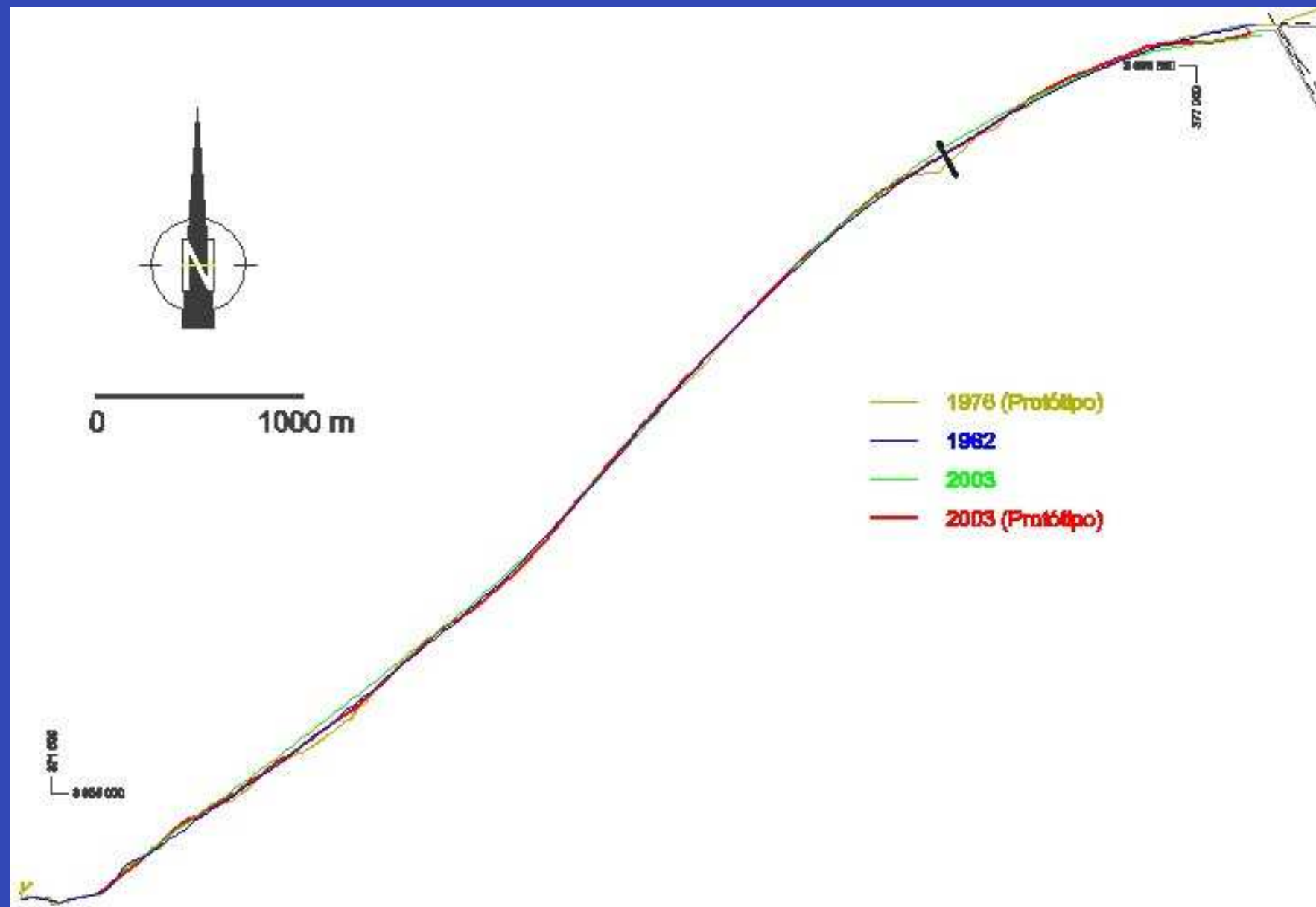


Simulação da evolução da linha de costa de 1976 a 2003 com os modelos Litmod e Litpack

- Reproduziu-se, para a calibração dos modelos, a evolução sofrida pela praia entre 1976 e 2003. A simulação consistiu em fazer actuar sobre a morfologia daquela data a série cronológica de 6 anos de dados de agitação marítima disponível, de forma repetida, até se perfazer um período de 20 anos de evolução.
- Ao longo deste período foram consideradas na modelação as seguintes alterações e intervenções com significado para a dinâmica sedimentar da praia:
 - Redução de 85% dos afluxos sólidos dos ribeiros, diminuindo a partir de 1976, de 10 000 m³/ano para 1 500 m³/ano;
 - Construção do porto entre 1979 e 1987;
 - Extracção de areia e lajedo ao longo da extensão total da praia, que se estimou em 20 000 m³;
 - Extracção de areia, em 1990, por ocasião das limpezas de crude, que se estimou em 30 000 m³.

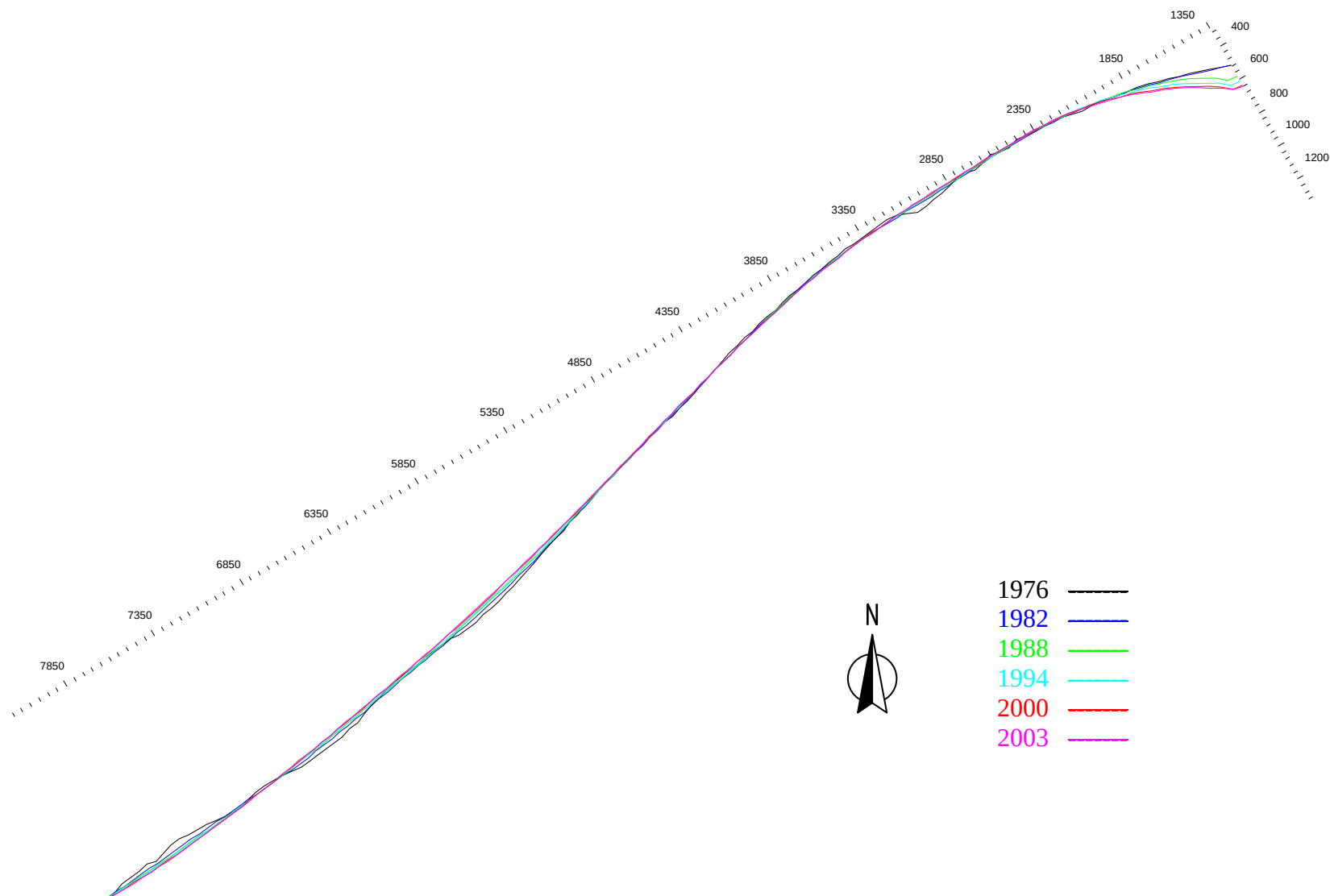


Simulação da Evolução da Linha de Costa de 1976 a 2003 com o Modelo Litmod





Simulação da Evolução da Linha de Costa de 1976 a 2003 com o Modelo Litpack





Simulação da Dinâmica Sedimentar

- Os resultados da simulação da evolução da linha de costa desde 1976, obtidos com os modelos Litmod e o módulo Litline do modelo Litpack, traduziram satisfatoriamente a evolução moderada que ocorreu na praia do Porto Santo. O aspecto mais significativo foi a reprodução do avanço da linha de água na zona adjacente ao molhe Oeste do porto, resultante dos efeitos de retenção e difracção das obras exteriores.
- Foram também analisadas, com o módulo Litprof do modelo Litpack, as alterações morfológicas do perfil da praia resultantes do intenso transporte transversal promovido pelas ondas de temporal. Dos resultados destaca-se a maior vulnerabilidade à acção erosiva do trecho Este no seu estado actual.



Problemas Existentes

- Erosão moderada da praia nas últimas décadas correspondendo o trecho mais afectado à frente marítima de Vila Baleira. As frequentes situações de descobrimento do substrato de lajedo, no extremo Oeste da praia, não constituem um problema pois resultam das normais oscilações do regime de transporte de areias.
- Embora a erosão seja moderada, não se deve ignorar, por resultar de um processo que vai continuar a progredir lentamente, dado o carácter irreversível do controlo da erosão das bacias hidrográficas dos ribeiros que drenam para a praia.
- Crescente ocupação da orla da praia com construções, que por estarem localizadas, em muitos casos, demasiado perto da linha de água, tendem a afectar a sua estabilidade.



Alternativas de Intervenção

- **Alternativa 1** - Alimentação artificial de 500 000 m³.
- **Alternativa 2** - Alimentação artificial de 750 000 m³.
- **Alternativa 3** - Alimentação artificial de 1000 000 m³.
- **Alternativa 4** - Alimentação artificial de 550 000 m³ e esporão de contenção.

A alimentação artificial deverá incidir sobre um trecho de 1,5 km, na frente marítima de Vila Baleira.

Este tipo de intervenção tem uma forte justificação no caso presente, dada a importância de manter a configuração e morfologia natural da praia, as características moderadas da agitação marítima e da dinâmica sedimentar e, ainda, as boas condições de contenção natural da areia entre as saliências rochosas dos extremos da praia.



Análise Comparativa de Alternativas

Local	SITUAÇÕES DE ALARGAMENTO DA PRAIA APÓS O INÍCIO DO ENCHIMENTO (m)											
	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3			Alternativa 4		
	(500 000 m ³)			(750 000 m ³)			(1 000 000 m ³)			(550 000 m ³ com esporão)		
	6 meses	10 anos	22 anos	6 meses	10 anos	22 anos	6 meses	10 anos	22 anos	6 meses	10 anos	22 anos
Extremo W da zona de alimentação	34	16	9	50	27	18	67	37	28	35	17	12
Ponte-Cais	36	24	14	54	39	26	72	54	38	37	27	27
450 m a E da Ponte-Cais	36	27	21	54	42	33	72	56	44	38	37	35
Extremo E da zona de alimentação	34	22	26	51	33	36	67	43	47	45	33	34
Média	35	22	18	52	35	28	70	48	39	39	29	27



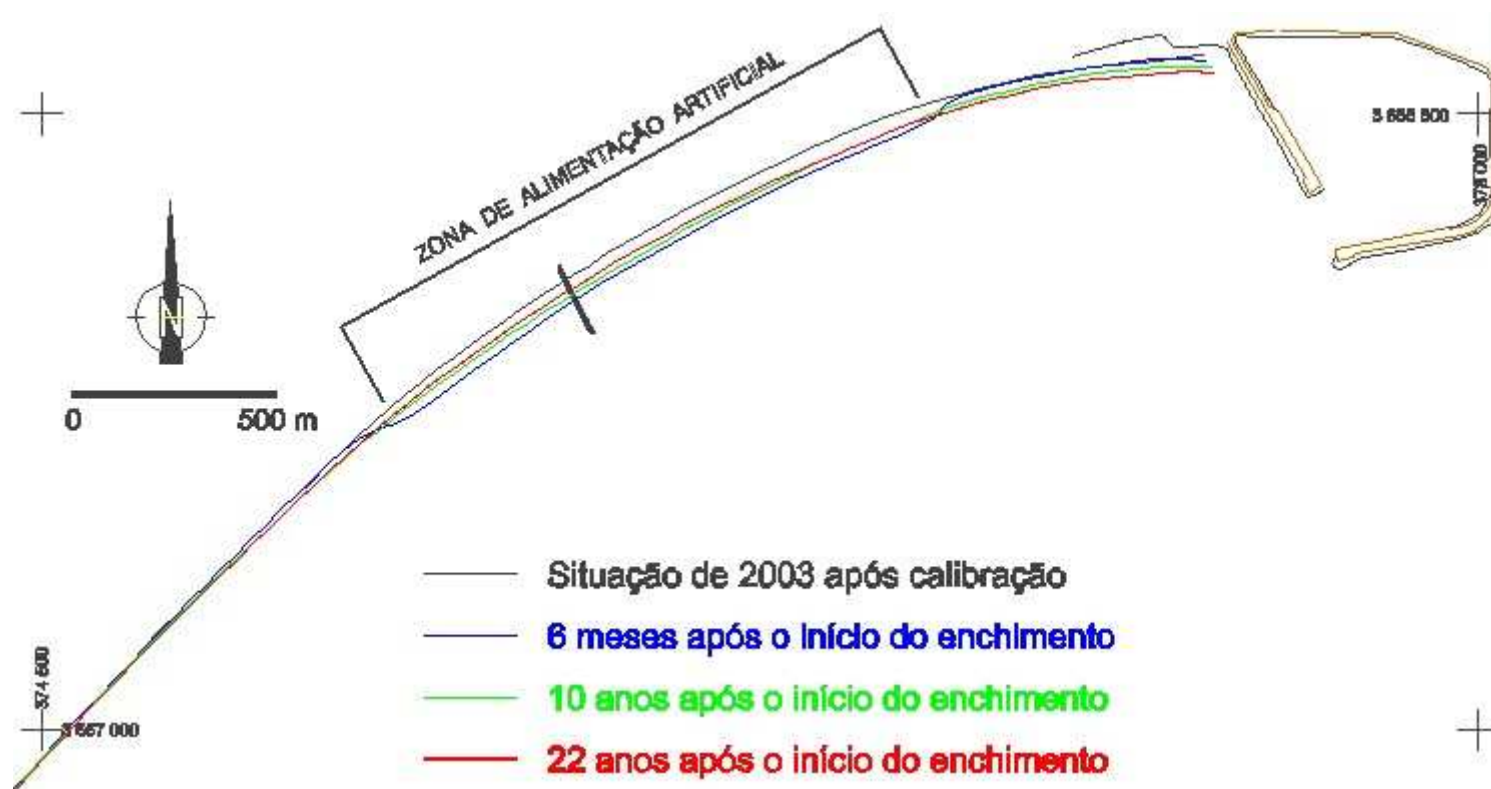
Análise Comparativa de Alternativas

- Resultados semelhantes para as alternativas baseadas exclusivamente em alimentação artificial, consistindo as diferenças apenas no maior ou menor alargamento da praia. Aumento, como seria de esperar, do alargamento da praia à medida que crescem os volumes de recarga. Alargamento não uniforme, crescendo gradualmente de Oeste para Este.
- Boa estabilidade dos alargamentos conseguidos com os diferentes volumes de recarga. Alguma dispersão das areias para as zonas adjacentes, especialmente para Este até à zona do porto, com gradual recuo da zona alimentada, o que era esperado.
- Inexistência de problemas de assoreamento do porto, decorrentes dos alargamentos da praia. O avanço da linha de água na zona do enraizamento do molhe Oeste atinge apenas poucas dezenas de metros.
- Possibilidade de limitar a fuga de areia do enchimento para Este, aumentando a eficácia no alargamento, através da construção de uma obra transversal de retenção, constituída por um esporão implantado no limite Este da zona de recarga.



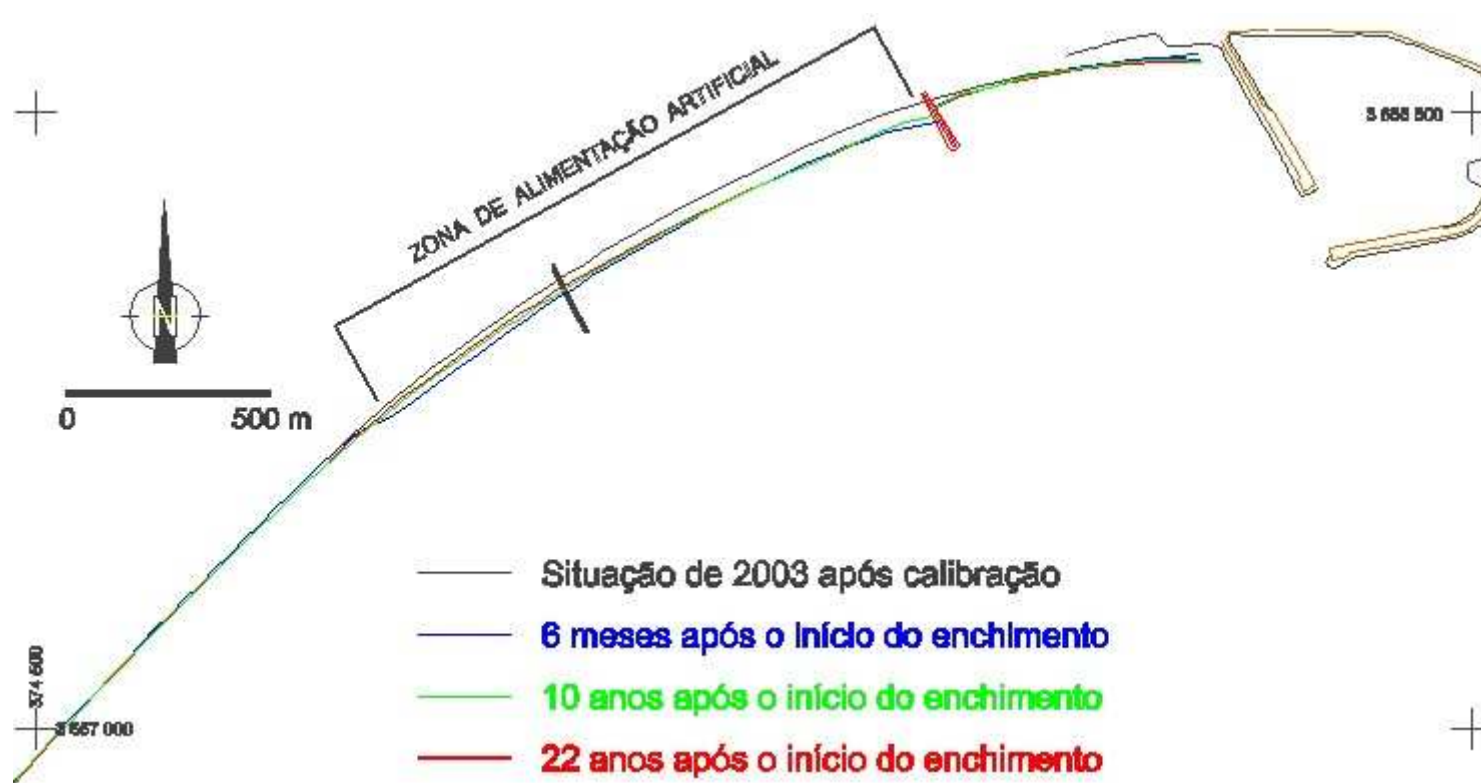
Simulação da Alternativa 2 - Alimentação artificial de 750 000 m³

Solução Recomendada





Simulação da Alternativa 4 - Alimentação artificial de 550 000 m³ e Esporão de contenção



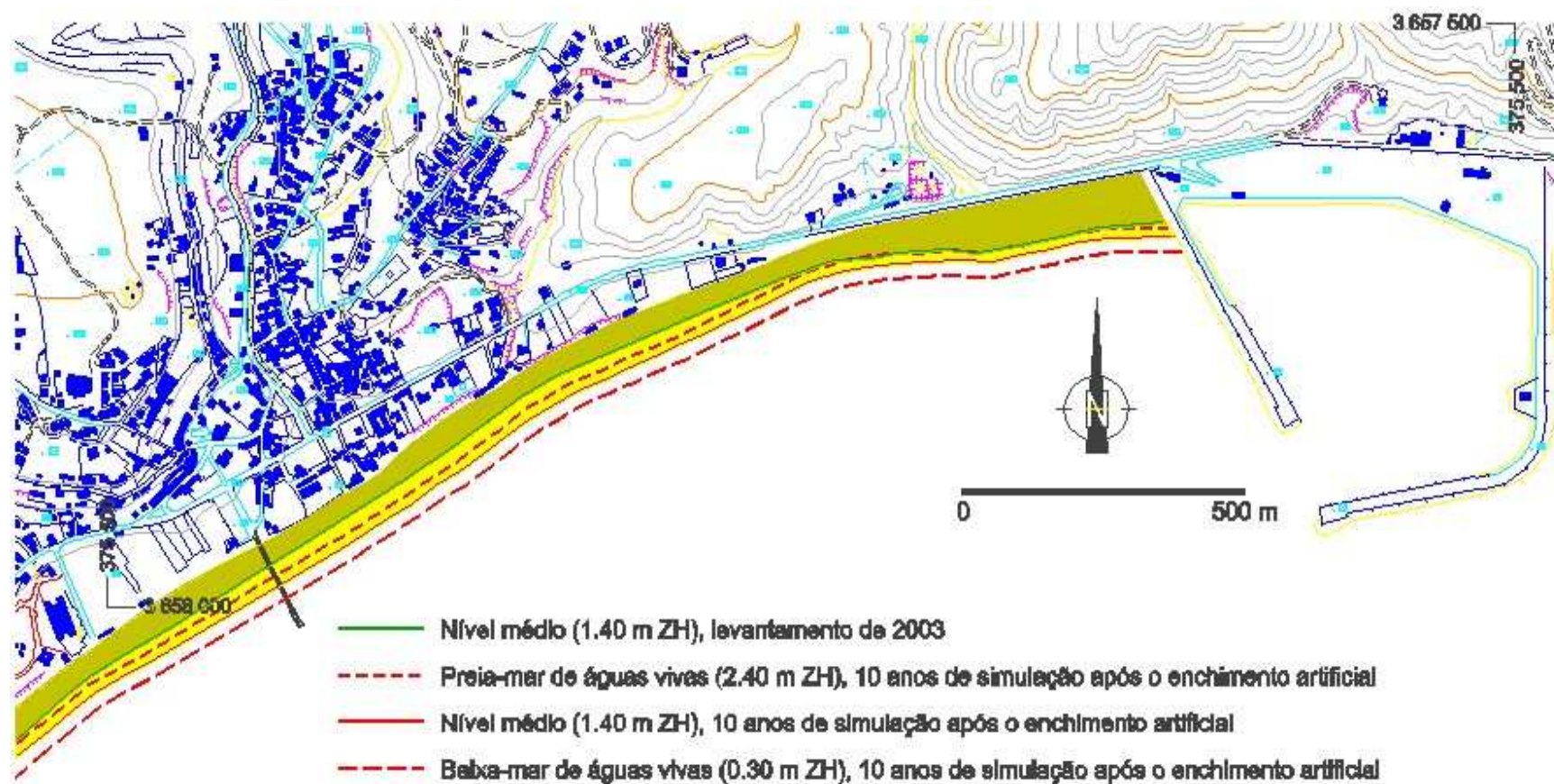


Solução Recomendada

- A comparação dos resultados levou a recomendar a Alternativa 2, correspondente ao volume de enchimento de 750 000 m³. O respectivo alargamento será suficiente para: compensar as erosões moderadas em curso, colocar o contorno das obras marginais na frente de Vila Baleira fora do alcance das ondas e proporcionar boas condições balneares nas próximas décadas.
- Embora a utilização de um esporão de contenção permitisse aumentar a eficácia do enchimento, considerou-se que esta opção tem o inconveniente de artificializar a praia, só se justificando no caso de haver grandes dificuldades de obtenção de areias de empréstimo com as características adequadas.
- Para a solução recomendada obtiveram-se alargamentos médios, no trecho de 1,5 km da frente alimentada, da ordem dos 30 m.



Alargamento da Praia para a Solução Recomendada, Após 10 Anos





Aspectos Complementares

- Foram ainda analisados outros aspectos considerados relevantes, relacionados com a obtenção de areias de empréstimo para a alimentação artificial e com o acompanhamento das evoluções morfológicas da praia.
- Dado o elevado volume de areias necessário para o enchimento tornou-se indispensável delinear uma *Campanha de Prospeção de Areias de Empréstimo*, centrada na parte Este da baía do Porto Santo.
- Para acompanhamento quer da evolução em curso quer da que ocorrerá após a intervenção proposta, foi elaborado um *Plano de Monitorização* contemplando os aspectos de agitação marítima, evolução morfológica e granulometria das areias.



MANUTENÇÃO E MELHORAMENTO DA PRAIA DO PORTO SANTO

- Agradece-se ao Governo Regional da Madeira, através da Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes, a permissão para apresentação desta comunicação.
- Refere-se que este estudo foi co-financiado pela União Europeia, através do Projecto Olitora do Programa de Iniciativa Comunitária INTERREG III - B (Açores - Madeira - Canárias).