



Universidade de Aveiro Departamento de Física
2015

Cátia Alexandra
Cardoso Azevedo

Evolução Morfológica e Hidrodinâmica a Curta e
Média Escala Temporal – Setor Costeiro entre Poço
da Cruz e Mira



Universidade de Aveiro Departamento de Física
2015

Cátia Alexandra
Cardoso Azevedo

Evolução Morfológica e Hidrodinâmica a Curta e
Média Escala Temporal – Setor Costeiro entre Poço
da Cruz e Mira

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Doutor Paulo A. Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Paulo Renato Enes Baganha Baptista, Investigador Auxiliar do CESAM da Universidade de Aveiro.

O presente trabalho foi financiado e realizado no âmbito do projeto RAIA.co, Observatório Marinho da Margem Ibérica e do Litoral, 0520_-RAIA_CO_1_E, POCTEP-FEDER.

o júri
o presidente

Professor Doutor José Manuel Henriques Castanheira

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Joaquim Pais Barbosa

Professor Associado da Faculdade de Ciências Naturais Engenharias e
Tecnologias, Universidade Lusófona do Porto

Professor Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Aproveito a oportunidade para agradecer aos meus orientadores, Professor Doutor Paulo Silva e Doutor Paulo Baptista pelo acompanhamento e disponibilidade durante o desenvolvimento deste trabalho, sem eles seria impossível.

À Ângela Bouzas pela disponibilidade e ajuda.

Um agradecimento especial aos meus Pais, pela oportunidade e confiança, o apoio incondicional e todo o carinho.

À minha irmã e à minha sobrinha pelo apoio e carinho.

Ao Jesus Reis, pelo incentivo, paciência e compreensão.

A todos os meus amigos pelo apoio e partilha de momentos ao longo deste percurso académico.

O meu obrigado a todos aqueles que me ajudaram durante esta etapa.

Palavras - chave

Eventos de temporal, morfodinâmica, erosão, recuperação.

Resumo

A costa noroeste de Portugal é caracterizada pela sua elevada fragilidade ao clima de agitação marítima que, em junção com o défice sedimentar sentido nas últimas décadas, a tornam vulnerável à erosão costeira. O objetivo geral deste trabalho pretende estabelecer a relação entre as condições de agitação marítima e a evolução morfológica entre as praias do Poço da Cruz e a Praia de Mira. Deste modo foram consideradas duas escalas temporais de análise: média escala temporal, ordem da década e, curta escala temporal, período final do inverno marítimo de 2014.

Na escala temporal média foram analisados dados topográficos adquiridos em campanhas de monitorização realizadas entre 2003 e 2015, e dados de clima de agitação simulados para um ponto ao largo da zona de estudo, para o mesmo período. Na análise de curta escala temporal, os dados topográficos foram adquiridos em levantamentos realizados entre março e abril de 2015 e os dados de clima de agitação são observados e provenientes da boia ondógrafo de Leixões.

Entre 2003 e 2015 a variabilidade morfológica observada no setor em estudo pode ser dividida em duas fases. A primeira de 2003 a 2010 com perdas de volume que atingem os 150 m³/m e a segunda, de 2011 até ao presente, com variações de volume absoluto relacionadas com a sazonalidade e respondendo ao clima de agitação. A divisão do segmento de costa em seções permitiu compreender que o setor não responde de maneira uniforme às condições de agitação, com o recuo mais acentuado da linha de costa a norte e menos a sul. A análise de curta escala mostra que H_s maiores, associadas a eventos de temporal, induzem perda de sedimento na face da praia e que, H_s menores - inferiores a 3 metros, proporcionam um aumento da cota altimétrica. Também neste período se observa uma resposta desigual à agitação marítima, nos diferentes perfis.

Keywords

Extreme storms, morphodynamic, coastline retreats, post-storm beach recovery.

Abstract

The northwest coast of Portugal is characterized by high fragility to sea waves climate that, in junction with the sedimentary deficit in recent decades, make it vulnerable to coastal erosion. This study aims to establish the relationship between the wave propagation conditions and morphological evolution between the beaches of Poço da Cruz and Praia de Mira. Were considered two time scales of analysis: average time scale, order of the decade and, short timescale, final period of the maritime winter 2014.

The average timescale analysis topographical data acquired in monitoring campaigns carried out between 2003 and 2015, and wave climate data simulated at point off the study area for the same period. In the short time scale analysis, the topographic data were acquired on surveys carried out between march and april 2015, and the wave climate data from the Leixões wave buoy.

Between 2003 and 2015 the morphological variability observed in the sector under study can be divided into two phases. The first, from 2003 to 2010, with volume losses up to $150 \text{ m}^3/\text{m}$ and the second from 2011 to the present, with absolute volume changes related to seasonality and responding to the wave climate. The division of coast segment into sections allows us to understand that the sector does not respond uniformly to the wave conditions, showing higher rates of beach erosion in the northern sections. The short scale analysis shows that higher H_s , associated with the temporal events, induce sediment loss in the beach face, and minor H_s - less than 3 meters, provide an increase in beach level. Also in this period we observe an uneven response to the wave propagation in different profiles.

Índice

Índice.....	i
Índice de Figuras	iii
Índice de Tabelas.....	vii
CAPÍTULO 1 - Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Estrutura de Leitura.....	4
CAPÍTULO 2 - Introdução Teórica	7
CAPÍTULO 3 - Zona de Estudo.....	9
3.1. Morfologia.....	9
3.2. Obras costeiras.....	10
3.3. Evolução da Linha de Costa.....	10
3.4. Parâmetros Hidrodinâmicos.....	12
CAPÍTULO 4 - Métodos e Dados	15
4.1. Média Escala Temporal	15
4.1.1. Dados Topográficos.....	15
4.1.1.1. Validação dos Dados Topográficos e Resultados Obtidos.....	18
4.1.2. Clima de Agitação.....	20
4.1.2.1. Validação dos Dados de Agitação Marítima.....	21
4.1.3. Eventos de Temporal.....	23
4.2. Curta Escala Temporal.....	24
4.2.1. Dados Topográficos.....	24
4.2.2. Clima de Agitação.....	25
CAPÍTULO 5 - Resultados e Discussão	27
5.1. Média Escala Temporal	27
5.1.1. Clima de Agitação Marítima	27
5.1.2. Eventos de Temporal.....	28
5.1.3. Variação Morfológica	31
5.1.3.1. Volumes.....	31
5.1.3.2. Áreas.....	34

5.1.3.3.	Perfis Transversais.....	35
5.1.3.4.	Declive dos Perfis Transversais	45
5.1.3.5.	Posição da Linha de Costa	46
5.2.	Curta escala Temporal.....	49
5.2.1.	Clima de Agitação Marítima e Vento	49
5.2.2.	Variabilidade Morfológica.....	50
5.2.2.1.	Perfis Topográficos.....	50
5.2.2.2.	Declives.....	55
5.2.2.3.	Isolinhas.....	56
CAPÍTULO 6 - Conclusão	59
6.1.	Considerações Finais	59
6.1.1.	Média Escala Temporal	59
6.1.2.	Curta Escala Temporal.....	60
6.2.	Desenvolvimentos Futuros.....	60
Referências Bibliográficas	63
Anexos	67

Índice de Figuras

Capítulo 1

Figura 1. 1 - Localização da área de estudo (adaptado Coelho *et al.*, 2009). 3

Capítulo 2

Figura 2. 1 - Perfil da zona costeira e terminologia associada (adaptado <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html>). 7

Capítulo 3

Figura 3. 1 - Fotografia aérea do troço costeiro em estudo; localização geográfica (Fonte: ArcGis). 9

Figura 3. 2 - Dique arenoso presente no troço costeiro em março de 2015. 10

Figura 3. 3 - Taxa de erosão/acreção (m/ano) para a zona de estudo (adaptado Maia, 2012). 11

Figura 3. 4 - Rosa de rumos com a representação das classes de direção de ondulação (dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, recolhidos entre 1993 e 2003, retirado de Coelho, 2005). 12

Capítulo 4

Figura 4. 1 - Sistema INSHORE adaptado a uma moto-quatro..... 15

Figura 4. 2 - Identificação das seções analisadas, S5 a S10; perfis transversais extraídos das divisórias das seções (PT5 a PT10). 17

Figura 4. 3 - Representação da área da restinga utilizada na validação dos dados topográficos.... 18

Figura 4. 4 - Fases do processamento de dados efetuados na obtenção do MDT; a) grelha de pontos; b) polígono delimitador da área levantada; c) interpolação com o método kriging; d) valores de MDT finais. 19

Figura 4. 5 - Localização do ponto SIMAR 1044062, simulado pelo WAM (Adaptado <http://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx>). 20

Figura 4. 6 - Gráfico representativo da validação dos dados do clima de agitação: H_s (em cima), T_p (no meio) e rumo (em baixo). 22

Figura 4. 7 - Observador a efetuar levantamento com o Sistema DGPS 24

Figura 4. 8 - Localização dos perfis no troço em estudo a); exemplo do percurso percorrido na obtenção dos dados de levantamento b). 25

Capítulo 5

Figura 5. 1 - Altura significativa (H_s) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015..... 27

Figura 5. 2 - Período médio (T_m) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015..... 27

Figura 5. 3 - Período de Pico (T_p) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015..... 28

Figura 5. 4 - Rumo da direção média de ondulação e altura significativa média associada, para o período de estudo. 28

Figura 5. 5 - Caracterização dos eventos de temporal no inverno marítimo a) número de eventos, b) persistência e c) altura significativa máxima, para o período em estudo. As linhas horizontais representam valores médios.....	29
Figura 5. 6 - Rumo da direção média de ondulação, ocorridos em eventos de temporal e altura significativa máxima associada.	30
Figura 5. 7 - Distribuição média anual do índice de potência de temporal (P_s) por ano, associada aos eventos de temporal para o período de estudo.	31
Figura 5. 8 - Distribuição do índice de potência de temporal (P_s) associada a cada temporal para o período em estudo.....	31
Figura 5. 9 - Variações do volume absoluto (m^3/m), a) tendência do volume entre 2003 e 2013 através de levantamentos efetuados nos meses novembro/dezembro; b) tendência sazonal do volume entre 2011 e 2015. As barras azuis representam os invernos marítimos.....	32
Figura 5. 10 - Variabilidade temporal da dispersão do erro relativamente à média dos volumes por secção.....	33
Figura 5. 11 - Variabilidade espacial dos volumes das secções em análise ao longo do período em estudo.....	34
Figura 5. 12 - Variações da área m^2 , a) tendência da área entre 2003 e 2013 através de levantamentos efetuados nos meses novembro/dezembro; b) tendência sazonal da área entre 2011 e 2015. As barras azuis representam os invernos marítimos.	35
Figura 5. 13 - Perfis transversais da secção 5 (PT5): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT5 ao longo do período em estudo.	37
Figura 5. 14 - Perfis transversais da secção 6 (PT6): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT6 ao longo do período em estudo.	39
Figura 5. 15 - Perfis transversais da secção 7 (PT7): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT7 ao longo do período em estudo.	40
Figura 5. 16 - Perfis transversais da secção 8 (PT8): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT8 ao longo do período em estudo.	41
Figura 5. 17 - Perfis transversais da secção 9 (PT9): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT9 ao longo do período em estudo.	42
Figura 5. 18 - Perfis transversais da secção 10 (PT10): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT10 ao longo do período em estudo.	43
Figura 5. 19 - Variabilidade temporal da dispersão do erro relativamente à média dos declives por secção.....	45
Figura 5. 20 - Variabilidade espacial dos declives do setor em análise ao longo do período em estudo.	46
Figura 5. 21 - Variação da posição da isolinha dos 3 metros: a) entre 2003-2009, b) entre 2009-2013 e c) entre 2013-2015.....	47

Figura 5. 22 - Elevação da superfície livre associada à maré astronómica, altura significativa das ondas (no meio) e velocidade do vento (em baixo).....	49
Figura 5. 23a - Perfil topográfico 4 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).....	50
Figura 5. 24 - Variabilidade da dispersão do erro relativamente à média dos declives: a) temporal e por secção e b) espacial por levantamento, no período em análise.	55
Figura 5. 25 - Variabilidade da face da praia, isolinhas de 1, 2, 3, 4 e 5 metros, de cima para baixo, respetivamente. Perfis: 4 (canto superior esquerdo), 5 (canto superior direito), 6 (canto inferior esquerdo), 7 (canto inferior direito).	56

Índice de Tabelas

Capítulo 4

Tabela 4. 1 - Datas dos levantamentos efetuados.	16
Tabela 4. 2 - Resultados da área e volume, obtidos nas diferentes interpolações.....	18
Tabela 4. 3 - Resultados obtidos na análise estatística efetuada aos dados de agitação marítima.	23

Anexos

Tabela A. 1 - Data dos eventos de temporal identificados entre outubro de 2003 e maio de 2015, com altura significativa máximo, persistência do evento e potencial de erosão associado.	67
Tabela A. 2 - Volume e área calculados através dos MDTs para cada secção e em cada levantamento	71

CAPÍTULO 1 - Introdução

A praia pode ser definida como uma zona de acumulação e transporte de sedimentos - geralmente areia, devido fundamentalmente à ação das ondas e do vento. Assim, e do ponto de vista da agitação marítima, o limite inferior do perfil ativo de uma praia é determinado pelo nível base de atuação da ondulação (profundidade de fecho) enquanto o limite superior, contempla a cota máxima alcançada pelo nível da água, durante eventos de tempestade e/ou marés vivas na alta praia, podendo ser considerado um eventual ataque ao primeiro obstáculo natural (exemplo: cordão dunar/arriba) ou artificial (exemplo: obra aderente). O cordão dunar frontal como elemento integrante de uma praia possui uma dinâmica própria associada à ação do vento.

As praias são portanto um meio controlado pela dinâmica marinha, mas condicionado também pela ação dos ventos. A principal contribuição de sedimentos (externa do sistema praia-duna) é proveniente da foz dos rios.

As variações morfodinâmicas do perfil de uma praia em função da energia e período da ondulação, tipo de sedimentos e inclinação da praia foram descritas por Wright e Short (1984) para praias micro-mareais, enquanto o efeito da maré foi caracterizado por Masselink e Short (1993).

A dinâmica costeira é um fenómeno natural com variabilidade temporal e espacial. Segundo Fortunato *et al.* (2008), a morfologia do litoral ocorre por ação da dinâmica sedimentar que, por sua vez, depende de diversos fatores:

- 1) Forçamento oceanográfico - ondulação, maré, sobre-elevação meteorológica e Nível médio do mar;
- 2) Sedimentos – natureza e disponibilidade;
- 3) Contexto geomorfológico - praias, arribas, estuários e ilhas barreira;
- 4) Intervenção antrópica.

A importância destes agentes não é constante - durante eventos de temporal podem ocorrer alterações morfológicas rápidas e significativas variáveis de local para local.

O fluxo de sedimentos entre a praia e a duna permite afirmar que estas fazem parte do mesmo sistema, e por isso, a sua evolução está ligada. A interação entre ambos os meios pode ser analisada em diferentes escalas temporais (Alcántara-Carrió *et al.*, 2005):

- 1) Largo prazo – escala de tempo geológico;
- 2) Médio prazo – da ordem de anos;
- 3) Curto prazo – alterações que acontecem no espaço de dias a meses;

Na escala de tempo intermédia (médio prazo) a ação antropogénica e os processos físicos desempenham um papel determinante na variação da morfodinâmica do sistema. A modificação do sistema costeiro devido a ação humana não é recente, mas é evidente que se intensificou nas últimas décadas. A expansão das áreas urbanas, industriais e portuárias, e ainda, o desenvolvimento do turismo, têm vindo a ocupar uma grande parte da faixa costeira que há algumas décadas ainda estava em estado natural, sendo, frequentemente, incompatíveis com a

dinâmica natural dos sistemas sedimentares e sem ter em conta os critérios geomorfológicos no modo como é feita a ocupação do espaço. Entre as principais ações humanas que causam desequilíbrios sedimentares está a construção de infraestruturas como: as barragens e respetivas bacias hidrográficas que impedem a erosão das vertentes com consequência da redução do transporte sedimentar pelos cursos fluviais; nas zonas costeiras os portos induzem alterações à deriva litoral provocando retenção a barlamar mas, acentuando a falta de sedimento a sotamar; as obras de proteção costeira, como os esporões, permitiram fixar a linha de costa em determinados troços costeiros, mas provocaram uma serie de desequilíbrios na sua evolução de médio prazo, relacionados com a progressiva deficiência sedimentar que se tem vindo a registar.

As alterações na morfodinâmica das zonas costeiras a curto prazo estão ligadas principalmente a processos físicos naturais, como a resposta instantânea da praia à ação direta das ondas e maré, bem como mudanças sazonais – verão e inverno marítimos; e resposta a eventos de temporal (Komar, 1998).

A vulnerabilidade e elevada fragilidade que os sistemas litorais apresentam incluem fatores naturais e antrópicos a diversas escalas temporais (aumento do NMM, diminuição do volume de sedimento disponível, a pressão antrópica) e têm transformado processos naturais, como o recuo de linha de costa e erosão costeira, em permanentes.

Pela sua diversidade ambiental, cultural e características sócio-económicas, o litoral Português é cada vez mais procurado, tanto a nível habitacional como turístico. Este facto, tem levado ao aumento da fragilidade do sistema costeiro e, conseqüentemente, à degradação de alguns setores costeiros. É então fundamental, mitigar o problema e encontrar forma de conservar este sistema que tanto nos dá. As alterações físicas do litoral são mais que evidentes, principalmente a erosão costeira e o recuo da linha de costa. O nível médio das águas do mar (NMM) tem vindo a aumentar desde 1900, aproximadamente 1,5 milímetros por ano, devido às alterações climáticas (Andrade & Freitas, 2002); a ocupação humana excessiva da zona costeira, mais de 65% da população portuguesa vive a menos de 60 quilómetros da costa; e ainda, a redução de sedimentos (Dias, 2005), são alguns dos pontos responsáveis dessas alterações.

1.1. Enquadramento

O segmento de praia em estudo situa-se na costa noroeste de Portugal continental, entre Caminha e o Cabo Mondego, Figura 1.1. A área de estudo faz parte de uma extensa planície costeira, de baixa altitude e de grande uniformidade topográfica. Todo o setor é arenoso interrompido por troços de natureza rochosa.

Com base em características geomorfológicas, a área de estudo pode ser dividida em dois trechos: um, de Caminha a Espinho, constituído por formações rochosas; e o segundo, de Ovar à Marinha Grande composto por costa arenosa exposta, vulnerável à ação das ondas, e protegido por dunas. As praias neste troço costeiro apresentam, em geral, um marcado carácter sazonal, condicionado pelas condições de agitação marítima. Durante o verão marítimo (abril a setembro), apresentam-se, largas e exibem bermas mais ou menos bem desenvolvidas e declive acentuado (perfil refletivo).

No inverno marítimo (outubro a março), as praias são significativamente mais estreitas, desprovidas de bermas e de declive suave (perfil dissipativo). No entanto, nos últimos anos, estas características têm vindo a sofrer alterações significativas, devido à falta de sedimentos disponíveis na corrente de deriva litoral e aos obstáculos que retêm os sedimentos a montante das zonas afetadas (APA, 2012).



Figura 1. 1 - Localização da área de estudo (adaptado Coelho et al., 2009).

Têm vindo a ser realizados diversos estudos no que diz respeito a alterações morfológicas, nomeadamente variação linha de costa, rebaixamento da cota altimétrica e diminuição do volume sedimentar.

Ferreira & Dias (1991) sugeriram que no decurso das últimas décadas, se verificou um aumento significativo das taxas médias de recuo de linha de costa, mostrando valores médios de recuo de 4.5 metros ao ano entre Espinho e Cortegaça (1980/89); 2.1 metros por ano no Furadouro (1958/1980) e 3.3 metros por ano entre Vagueira e Praia do Areão (1980/89). Anos mais tarde, Ferreira (1993) quantificou perdas de sedimento para o sistema, devido a erosão de praias e dunas, de cerca $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ /ano, no período 1980/90, entre Aveiro e Cabo Mondego.

A principal fonte de sedimento entre Ovar – Marinha Grande é o rio Douro, que, em regime natural, fornecia cerca de $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimento por ano. Este valor diminuiu para aproximadamente $0.25 \times 10^6 \text{ m}^3$ por ano (Oliveira, 1997), provocando um aumento da erosão costeira, uma vez que a capacidade de transporte ao longo da costa não sofreu alterações significativas. Coelho et al. (2009)

afirma que este déficit sedimentar é responsável por um recuo de costa que atingiu os 7 metros por ano em algumas zonas desta região.

A tendência de recuo da linha de costa é generalizada em praticamente todos os setores dos trechos em estudo. Contudo, os setores a norte da Barra de Aveiro, Furadouro – Torreira e Torreira - S. Jacinto apresentam acreção, com valores que rondam 1.9 metros por ano (2010/12) entre o Furadouro e a Torreira; 3.0 metros por ano (1958/2010) e 1.5 metros por ano (2010/12) entre a Torreira e S. Jacinto (Silva, 2012). De realçar que em 1958 foi construído o primeiro esporão do atual molhe norte do Porto de Aveiro (Dias *et al.* 1994) tendo sido prolongado em 1998, 2010 e 2012 justificando desde então os avanços da linha de costa a barlamar do mesmo. Estima-se que nos primeiros 8 anos após construção, o molhe norte do Porto de Aveiro terá retido, a norte, cerca de $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimento por ano (Abecasis *et al.* 1970, citado em Ferreira (1993)).

Mais recentemente o Relatório do Grupo de Trabalho para o Litoral 2015, admite que, em regime natural, o volume sedimentar proveniente do rio Douro e da ria de Aveiro seria suficiente para saturar a deriva litoral a sul de Espinho. No entanto, a situação atual é bem diferente. Com um déficit sedimentar extremamente elevado a sul da Foz do Douro, a erosão das praias passou a constituir uma fonte sedimentar ativa, de forma a compensar parcialmente esse déficit, provocando assim uma tendência de erosão acentuada, nomeadamente nos setores Espinho – Furadouro e Costa Nova – Mira.

1.2. Objetivos

O presente trabalho desenvolve-se no setor costeiro situado entre as praias do Poço da Cruz e a Praia de Mira e considera duas escalas de análise:

1. Evolução de média escala temporal: pretende estabelecer a relação entre as condições de agitação marítima ao longo da última década (regimes médios e extremos) e o balanço sedimentar, no troço costeiro considerado
2. Evolução de curta escala: caracterização da recuperação da praia, no período final do inverno marítimo de 2014, no que diz respeito à evolução dos parâmetros morfológicos da praia em função da agitação incidente e do vento.

Pretende ainda avaliar a variabilidade longitudinal da praia no troço costeiro em estudo.

1.3. Estrutura de Leitura

Após um breve enquadramento geral do tema e caracterização dos principais objetivos deste trabalho, inicia-se agora a sequência do trabalho desenvolvido e, de que forma este está apresentado nos capítulos que se seguem.

Assim, o presente trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos.

No capítulo dois é feita uma pequena introdução teórica sobre os aspetos base deste trabalho, definindo alguns conceitos relativos às morfologias existentes de praia.

No capítulo três é feita a caracterização da zona de estudo, tendo em conta a morfologia da zona e obras costeiras nela existentes. Apresenta-se também uma revisão bibliográfica da evolução de linha de costa, bem como os parâmetros hidrodinâmicos a que a área de estudo está sujeita.

A origem dos dados e posteriores métodos de processamento são apresentados no quarto capítulo. Este encontra-se subdividido em duas partes, uma vez que foi feita uma análise a duas escalas temporais, médio e curto prazo. São descritas as metodologias no tratamento de dados topográficos, bem como o seu sistema de aquisição, e o processamento dos dados de agitação marítima.

Os resultados obtidos e a sua discussão são apresentados no capítulo cinco. Inicialmente é descrito o clima de agitação, seguido da caracterização de ocorrência dos eventos de temporal e variação morfológica. Estes resultados são apresentados para as duas escalas temporais em análise.

Por fim, o capítulo seis apresenta em síntese as principais conclusões que se foram destacando ao longo do trabalho e sugestões para possíveis desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2 - Introdução Teórica

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos teóricos relativos à classificação e morfologias da zona costeira, essenciais no desenvolvimento deste trabalho.

São inúmeras as morfologias que uma praia do tipo arenosa pode adotar, e por isso, a sua classificação morfológica é fundamental. No entanto, a terminologia utilizada neste tipo de classificação nem sempre é unânime. Na Figura 2.1 estão representadas as características e terminologias adotadas na realização deste documento.

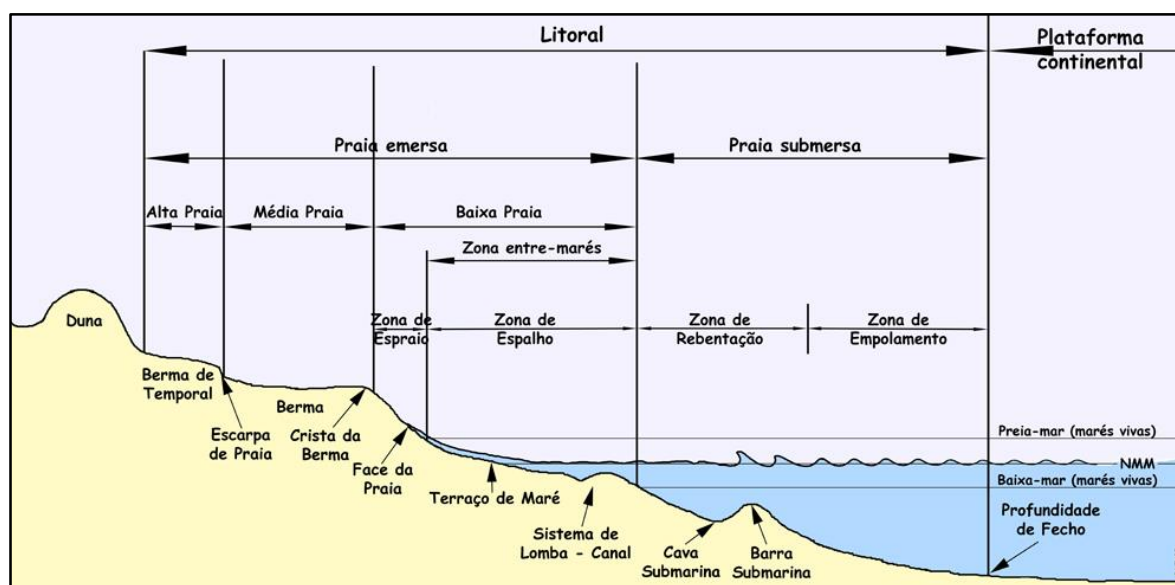


Figura 2.1 - Perfil da zona costeira e terminologia associada (adaptado <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html>).

De acordo com Ferreira (1998), **praia emersa** é a faixa compreendida entre o contacto da duna frontal e o nível da baixa-mar em maré viva e pode ser subdividida em três regiões: **alta praia**, definida como área de contacto entre a praia e o limite continental, geralmente aplanada e inclinada em direção ao mar; **média praia** é a zona intermédia da praia emersa sendo constituída por uma ou mais bermas, normalmente horizontais ou ligeiramente inclinadas para terra; **baixa praia** limitada inferiormente pelo nível de baixa-mar em maré viva - nela situa-se a face da praia caracterizada pela atuação das ondas durante o ciclo de maré. A **praia submersa** estende-se desde a linha máxima de baixa-mar em marés vivas até à profundidade de fecho (zona onde já não há influência das ondas nas alterações morfológicas).

A variabilidade anual do perfil de praia é elevada, por isso, segundo Wright e Short (1984), as praias podem ser classificadas, em três tipos: dissipativas, refletidas e intermédias. Praias com perfil dissipativo, frequentes no inverno marítimo (nível de energia das ondas elevado), são caracterizadas como largas, de sedimento fino, com baixo declive na zona de espalhamento e, geralmente, apresentam uma barra arenosa submersa. Praias refletivas, típicas no verão marítimo,

estão associadas a ambientes de baixa energia e são caracterizadas por areias grosseiras, e face de praia com declive acentuado. As praias intermediárias são encontradas desde praias de moderada a elevada energia, com ondas de períodos longos, areias finas a médias, e é comum a presença de barras submarinas (Masselink e Short, 1993).

A transição entre os tipos de praia acima referidos, de dissipativo para refletivo, é ainda um assunto em desenvolvimento. Wang et al. (2006) sugere que a recuperação parcial da praia acontece imediatamente após a passagem de um evento de tempestade. Segundo Baptista *et al.* (2006), os períodos de maior erosão estão relacionados com alturas significativas da ondulação mais elevadas; as alturas significativas menores, após inverno marítimo, promovem o aumento de volume da praia, que também depende da inclinação da face da praia.

CAPÍTULO 3 - Zona de Estudo

Neste capítulo é feita a caracterização da zona de estudo, através da morfologia da costa e obras costeiras realizadas. É descrita a evolução da linha de costa, bem como dos parâmetros hidrodinâmicos a que a região está sujeita.

3.1. Morfologia

A área de estudo localiza-se na costa ocidental portuguesa, mais propriamente, no distrito de Coimbra, a sul da entrada da laguna de Aveiro (Figura 3.1). Este troço do litoral está adjacente ao canal de Mira, parte integrante da laguna de Aveiro, e é constituído por sistemas dunares cuja cota máxima é de 16 metros. O cordão dunar existente apresenta uma largura variável (Ferreira, 1993), e mostra morfologias muito degradadas devido a atividades antropogénicas e aos processos erosivos (APA, 2012), apresentando corredores eólicos em algumas zonas do setor, escarpas acentuadas na zona mais a sul (Baptista *et al.*, 2014) e, mais a norte, a duna primária frontal foi completamente erodida.



Figura 3. 1 - Fotografia aérea do troço costeiro em estudo; localização geográfica (Fonte: ArcGis).

A praia mostra um comportamento sazonal pronunciado com diferentes estados morfodinâmicos, o que revela uma troca de sedimentos entre a baixa praia superior e inferior. Em condições de baixa energia, a praia apresenta uma berma, característica do perfil refletivo e originada devido ao transporte sedimentar promovido a partir de barras submersas pelo efeito da onda. Durante condições mais energéticas, estas características desaparecem e a praia adota um perfil dissipativo, com baixo declive. A berma anteriormente presente é transportada para o largo (Baptista *et al.*, 2014). Estudos realizados na zona (Rey e Bernardes, 2004) revelam uma redução permanente da altura da barra submersa após a construção das estruturas de defesa costeira do Poço da Cruz e do Areão (que dista 3,3 km do Poço da Cruz).

O setor é constituído por praia arenosa exposta, com uma extensão de aproximadamente 4 km, sendo analisado apenas o segmento que dista 2,8 km do esporão do Poço da Cruz.

No que diz respeito à sedimentologia na zona de estudo, Pinto (1993) recolheu amostras da face da praia, e do cordão dunar entre a Vagueira e a Praia de Mira, caracterizando-as como areias muito grosseiras a grosseira, moderadamente calibradas e aproximadamente simétricas; e areias médias, bem calibradas a muito bem calibradas, respetivamente. Tomás (1995) caracteriza as areias da face praia, na zona de estudo, como geralmente médias a grosseiras, bem calibradas e aproximadamente simétricas.

3.2. Obras costeiras

A zona de estudo está delimitada a norte e a sul pelos esporões do Poço da Cruz e de Mira, construídos, respetivamente, em 2003/2004 e na década de oitenta do século passado.

Em virtude da erosão da duna frontal foram construídos diques arenosos a partir do ano de 2011 e no início de 2015 na zona mais a norte do trecho, junto ao esporão do Poço da Cruz (Figura 3.2).



Figura 3. 2 - Dique arenoso presente no trecho costeiro em março de 2015.

3.3. Evolução da Linha de Costa

A análise da evolução da linha de costa/ erosão costeira não deve ser confundida com mudanças sazonais dos perfis de praia e por isso, o período de análise e a época de amostragem são fatores importantes a ter em conta.

A zona de estudo mostra uma tendência erosiva em todo o setor. Os resultados obtidos por Ferreira e Dias (1992) e Ferreira (1993) revelam um agravamento temporal e espacial da erosão costeira. Dias *et al.* (1994) quantificou o recuo de linha de costa em 1.8 metros por ano entre 1980/90. O Plano de Ordenamento da Orla Costeira de 2012 (POOC, 2012) apresenta valores de recuo da linha de costa a acentuarem-se com o passar dos anos, com valores entre os 0.6 metros por anos (1970 a 1998); 1.5 metros (1998 a 2006); atingindo os 5.2 metros de recuo por ano após a construção do esporão do Poço da Cruz em 2003.

Maia (2012) relacionou taxas de erosão/ acreção com a posição da linha de costa para os períodos entre 1998 – 2002 e 2002 – 2010 (Figura 3.3). Entre 1998 – 2002, antes da construção da obra de defesa costeira, o setor em estudo apresentava zonas de erosão e acreção, com o avanço da linha de costa a chegar aproximadamente aos 5 metros por ano e a ser predominante relativamente ao recuo. A situação inverte-se nos anos 2002 – 2010, com o aumento generalizado do recuo de costa em todo o setor, e intensificação a sotamar do esporão, com valores que chegam aos 10.0 metros por ano.

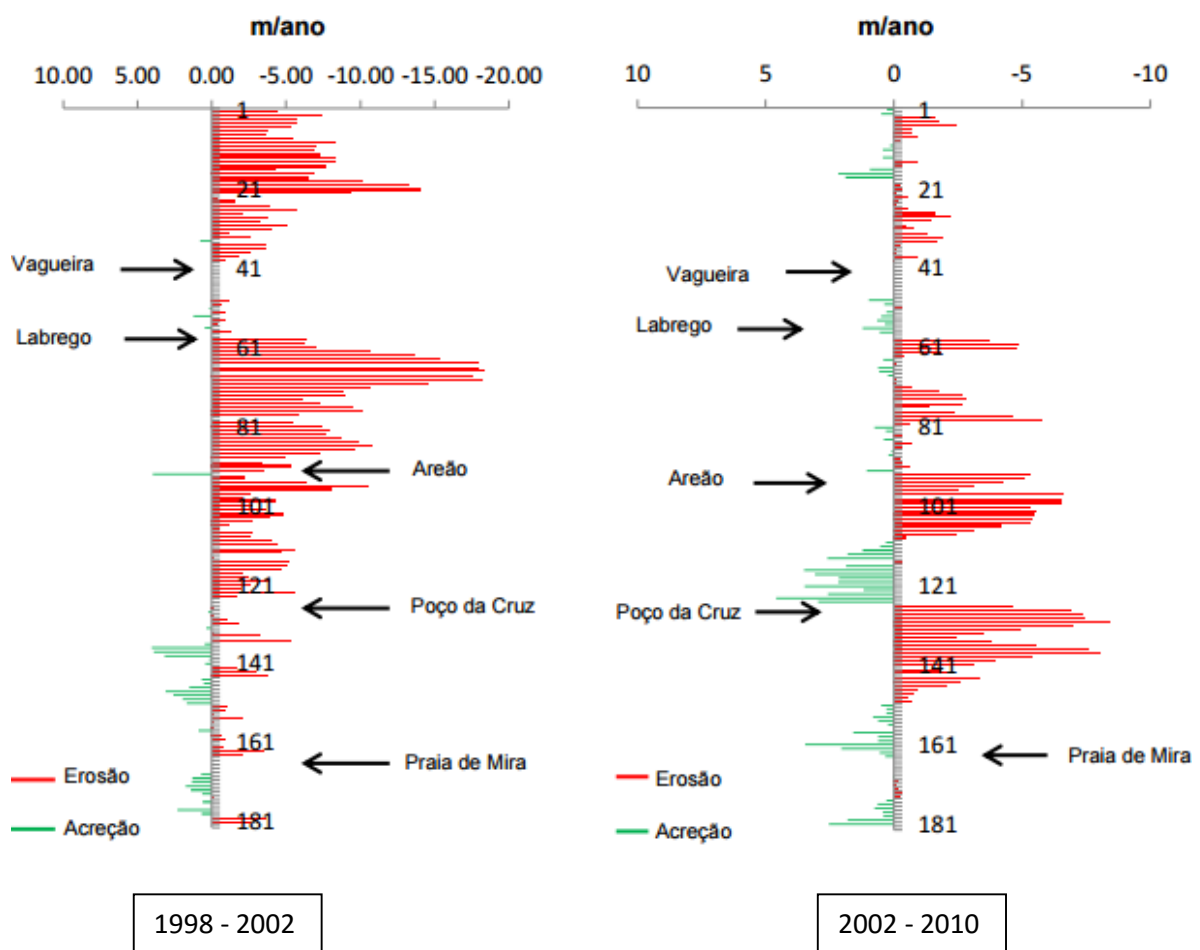


Figura 3.3 - Taxa de erosão/acrecção (m/ano) para a zona de estudo (adaptado Maia, 2012).

3.4. Parâmetros Hidrodinâmicos

O regime de agitação marítima na costa oeste portuguesa é caracterizado, como altamente energético, mas variável sazonalmente. Segundo Costa *et al.* (2001) e Vitorino *et al.* (2002), em termos médios, a altura significativa (H_s) varia entre 2 e 3 metros, o período (T_0) entre 7 e 8 segundos e o período de pico (T_p) entre 11 e 12 segundos. A ondulação é maioritariamente de WNW-NW, Figura 3.4 (Coelho, 2005 e Veloso-Gomes *et al.*, 2006). Sazonalmente, de acordo com Vitorino *et al.* (2002), entre maio e setembro a altura média significativa e o período médio são inferiores, a 3 metros e 8 segundos, respetivamente. No inverno, são frequentes alturas significativas entre os 3 e 4 metros e períodos entre os 8 e 9 segundos e temporais gerados no Atlântico Norte.

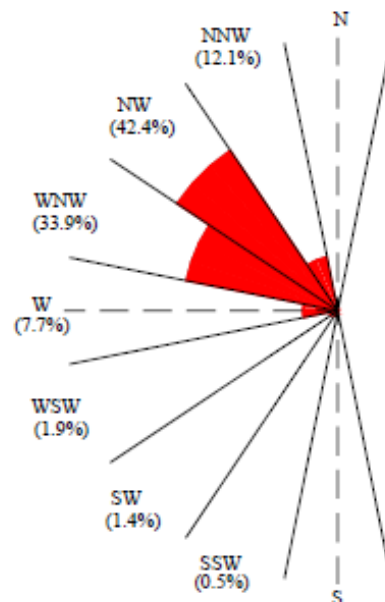


Figura 3.4 - Rosa de rumos com a representação das classes de direção de ondulação (dados do Instituto Hidrográfico para a bóia de Leixões, recolhidos entre 1993 e 2003, retirado de Coelho, 2005).

No que diz respeito a eventos extremos, Ferreira (1993) distingue duas estações tendo em conta a sua ocorrência, o verão (maio a setembro) e o inverno (outubro a março) marítimo. De acordo com Pita e Santos (1989) e Coelho (2005), mais de 90% dos eventos de temporal acontecem durante o inverno marítimo, principalmente nos meses de dezembro e Janeiro, com H_s máxima a variar entre 5 e 6 metros. O rumo de WNW assume maior relevo em regime de temporal, bem como o rumo de NW, associando-se às situações de maior altura de onda (Coelho, 2005); o T_p pode chegar aos 18 segundos. A agitação proveniente de SW ocorre principalmente no período de inverno com H_s a

variar entre 3 a 4 metros e T_0 de 9 a 10 segundos, mas não é raro a altura significativa atingir os 7 metros no caso de aproximações frontais associadas a depressões muito cavadas (Rosa *et al.*, 2012). O estudo levado a cabo por Pita e Santos (1989) sobre a distribuição de temporais ao longo do ano, entre 1956 e 1998, os autores identificaram 97 temporais, cerca de 3 temporais ao ano (tendo sido considerado um temporal sempre que H_s era igual ou superior a 5 metros). Mais recentemente, Pinto *et al.* (2014), num estudo feito entre 1993 e 2014, identifica o número médio de temporais por ano igual a 10.5 (considerando evento extremo quando H_s maior que 4 metros durante pelo menos 12 horas), reiterando ainda um aumento na frequência e intensidade dos temporais.

As marés na zona de estudo são semidiurnas regulares, com periodicidade de 12h 25m e o NMM corresponde aos + 2 metros, referido ao zero hidrográfico (ZH.). A amplitude da maré varia entre o 1 metro, em maré morta, e os 3 metros, em maré viva (Ferreira, 1993) e propaga-se de sul para norte, com uma velocidade média de 3 m/s.

O regime de ventos na costa ocidental portuguesa, segundo Coelho (2005), é caracterizado por ventos dominantes dos rumos dos quadrantes N e NW. O regime é muito irregular entre anos, mas uma das características mais constantes é o predomínio dos ventos de N (nortada) nos meses de verão. Ferreira (1993) indica que os ventos de maior velocidade média pertencem ao quadrante SW, com velocidades superiores a 20 km/h, sobretudo no inverno. A distribuição da intensidade do vento, ao longo do ano, possui uma variação sazonal marcada. Os meses que registam os menores valores de velocidade média do vento são julho e agosto, com 14.2 km/h. Os que registam os maiores valores são dezembro com 19.7 km/h, Janeiro com 19.5 km/h e fevereiro com 20.2 km/h, valores apontados pelo Roteiro da Costa de Portugal (IH, 1990).

CAPÍTULO 4 - Métodos e Dados

Para o desenvolvimento deste estudo foram analisados dados topográficos, adquiridos no âmbito de um programa de monitorização para o segmento em estudo. Foram analisadas 2 escalas temporais, uma à escala da década, entre 2003 e 2015 e outra, à escala sazonal, entre 5 de março e 10 de abril de 2015. A análise dos levantamentos topográficos foi efetuada em ArcGis da *Esri*, versão 10.2 e os dados obtidos foram posteriormente tratados em MATLAB da *Mathworks*, versão R2014a.

Foram também analisados dados do clima de agitação. Para a escala da década foram utilizados dados simulados num ponto ao largo da zona de estudo, disponibilizados pelos Puertos del Estado (Espanha) - <http://www.puertos.es/>. Para a curta escala temporal, os dados analisados são observados e provenientes da boia ondógrafo situada ao largo de Leixões na costa oeste de Portugal Continental, nas coordenadas 41°19'00N, 08°59'00W e a 83 metros de profundidade. A secção que se segue descreve a metodologia aplicada às 2 escalas temporais.

4.1. Média Escala Temporal

4.1.1. Dados Topográficos

Foram analisados dados adquiridos através do sistema INSHORE (sistema integrado de alta resolução operacional na monitorização da costa) adaptado a uma moto-quadro. Este sistema foi desenvolvido por Baptista *et al.* (2011) e consiste num conjunto de três antenas GPS e um sensor de distância a laser, inseridos numa estrutura metálica de forma triangular, como mostra a Figura 3.4.

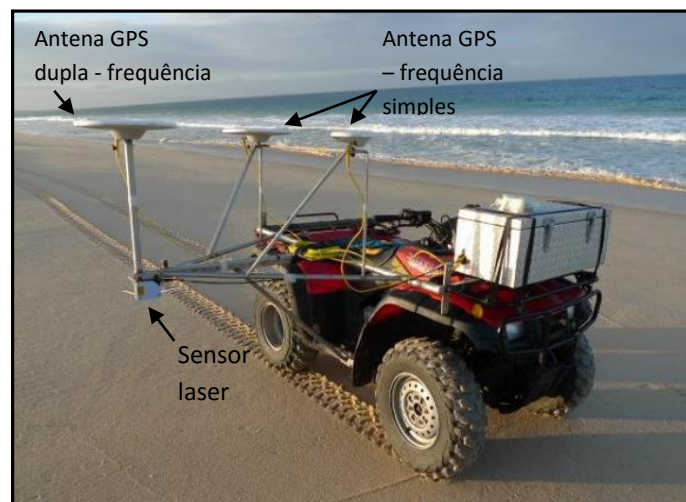


Figura 4. 1 - Sistema INSHORE adaptado a uma moto-quadro.

Os dois vértices da estrutura mais próximos do veículo contêm uma antena de GPS cada, de frequência simples, ligadas a dois recetores de GPS (que armazenam os dados recebidos do satélite). No vértice exterior está instalada uma antena GPS de dupla frequência, ligada a recetor de GPS. O sistema de posicionamento montado no veículo opera em modo diferencial relativamente a uma estação de referência GPS local. A precisão final do processamento GPS, efetuado por software dedicado (Cunha, 2002) é da ordem dos 0.05 m em todas as componentes espaciais (Baptista *et al.* 2011). Também no vértice exterior, abaixo da antena de GPS, está instalado um sensor de distância (laser) que mede a distância vertical ao chão, com um tempo de amostragem inferior a 1 milissegundo e precisão de ordem milimétrica. Este sistema permite determinar as coordenadas tridimensionais com um elevado nível de precisão.

O conjunto de dados foram obtidos através da realização de pequenas campanhas durante o período de análise, na zona de estudo. As campanhas foram realizadas sempre em baixa-mar. Na Tabela 4.1 estão apresentadas as datas dos levantamentos, 45 no total.

Tabela 4. 1 - Datas dos levantamentos efetuados.

2003	2006	2007	2008	2009	2010
29 Setembro	21 Dezembro	09 Março	14 Janeiro	24 Abril	02 Fevereiro
10 Novembro			12 Março	19 Dezembro	
2011	2012	2013	2014	2015	
20 Janeiro	12 Janeiro	14 Janeiro	03 Fevereiro	20 Janeiro	
20 Fevereiro	24 Fevereiro	31 Janeiro	28 Fevereiro	21 Fevereiro	
09 Março	25 Fevereiro	27 Fevereiro	15 Abril	20 Abril	
22 Março	26 Março	28 Fevereiro	16 Abril	06 Maio	
05 Abril	04 Junho	13 Maio			
17 Maio	15 Outubro	14 Maio			
14 Setembro	16 Outubro	15 Maio			
15 Outubro	17 Outubro	23 Julho			
29 Outubro	14 Novembro	07 Outubro			
13 Dezembro		18 Novembro			

Os dados obtidos do sistema INSHORE, foram filtrados de forma a eliminar nuvens de pontos em situação de paragem momentânea e também para eliminar segmentos do trajeto não necessários ao levantamento. Assim, os ficheiros resultantes contêm três colunas, as duas primeiras correspondem à latitude e longitude, ambas em coordenadas métricas e referenciadas ao Datum 73; e a terceira, à altitude referenciada ao NMM (+2 metros do ZH.)

O trecho em estudo foi dividido em 5 secções com aproximadamente 500 metros de comprimento (Figura 4.2), tendo em conta que, o comportamento da praia não é uniforme para todo o setor.



Figura 4. 2 - Identificação das secções analisadas, S5 a S10; perfis transversais extraídos das divisórias das secções (PT5 a PT10).

Posteriormente estes dados foram representados em ArcMap, uma das componentes do ArcGis, e processados de forma a obter modelos digitais do terreno (MDT). Baptista *et al.* (2008) sugere, que os métodos de interpolação que melhor representam uma superfície arenosa são:

- 1) TIN (Triangulated Irregular Network);
- 2) Kriging (Método de Krigagem);
- 3) MCS (Minimum Curvature Spline).

4.1.1.1. Validação dos Dados Topográficos e Resultados Obtidos

Antes de processar os dados do segmento em estudo, foi feito um teste de validação aos métodos TIN e Kriging, através do cálculo de volumes. Para isso, foram interpolados os dados topográficos da restinga do Douro, obtidos através de levantamentos efetuados na região pelo método multi-antena (Santos, 2014; Baptista *et al.*, 2008) e, posteriormente calculados os parâmetros geométricos, área e volume. Os valores obtidos foram comparados com Santos (2014).

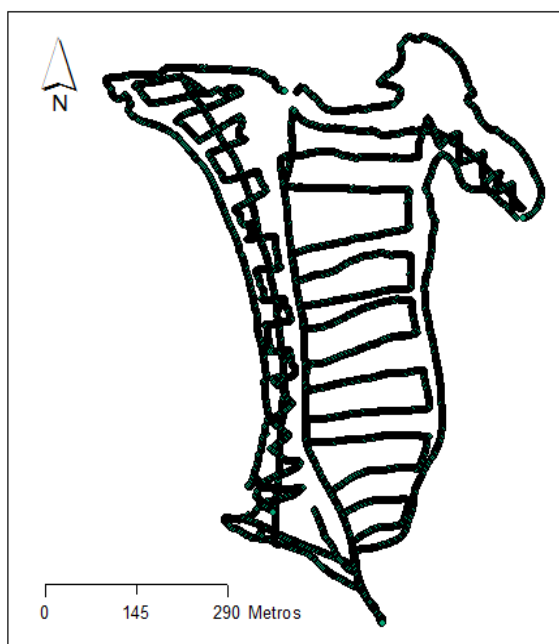


Figura 4. 3 - Representação da área da restinga utilizada na validação dos dados topográficos.

Na Tabela 4.2 estão apresentados os resultados obtidos para os dois métodos de interpolação e o de Santos (2014). O método de krigagem foi o que melhor resultado obteve, com um excesso percentual de apenas 0.9% dos dados reais apresentados.

Tabela 4. 2 - Resultados da área e volume, obtidos nas diferentes interpolações.

Método	Área (m²)	Volume (m³)
Kriging	241741.85	784665.9
TIN	247962.85	1166111.9
Santos (2014)	226836.81	777576.2

No caso de estudo foi utilizado o método Kriging linear, com um output igual a 1 metro, isto é, o ficheiro final é interpolado para que a distância entre as posições seja de apenas de 1 metro, aumentando significativamente o número de pontos e assim, todos os parâmetros calculados

serem mais precisos. Na Figura 4.4 estão representadas as várias fases de processamento efetuadas.

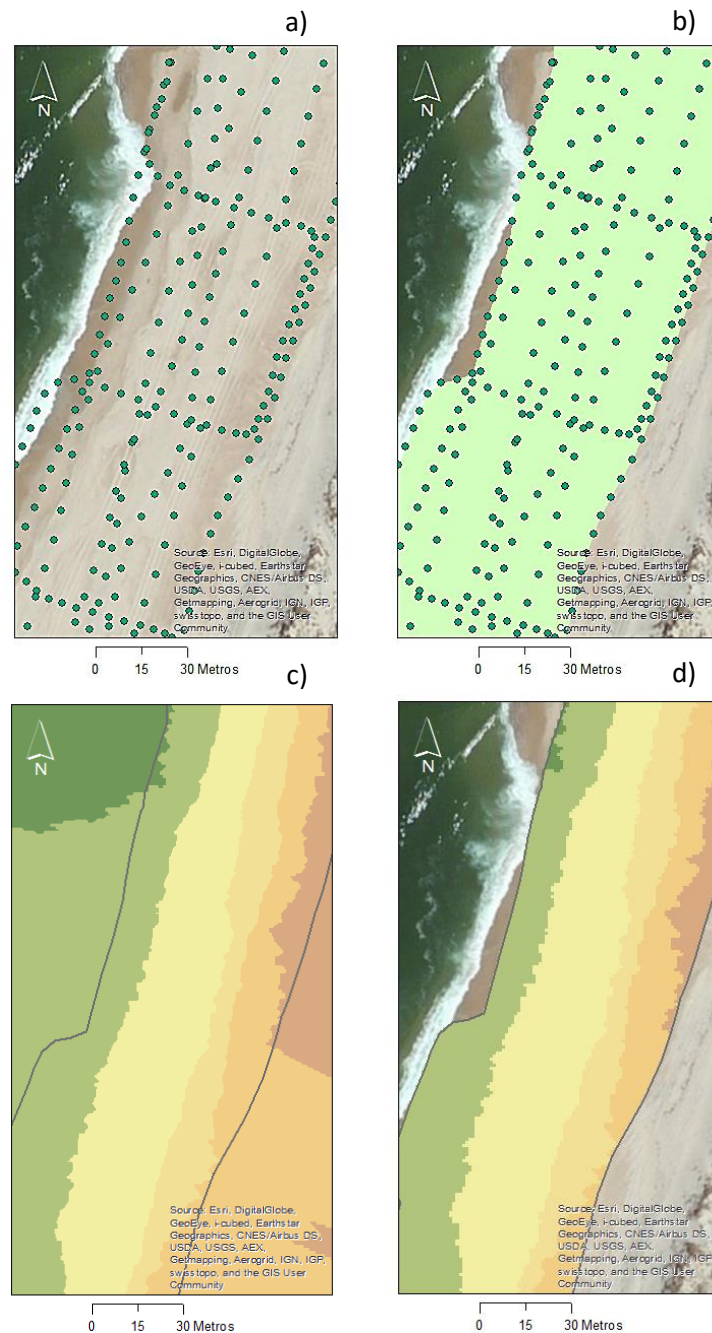


Figura 4.4 - Fases do processamento de dados efetuados na obtenção do MDT; a) grelha de pontos; b) polígono delimitador da área levantada; c) interpolação com o método kriging; d) valores de MDT finais.

A área e volume de cada secção foram calculados através da ferramenta *Surface Volume*, onde o limite mínimo de cálculo é o NMM, ou seja, apenas foram consideradas as cotas acima dos zero metros, e o limite máximo a base da duna. Estes procedimentos foram realizados para cada um dos 45 levantamentos. Através dos MDT foi possível retirar alguns dos parâmetros morfológicos

essenciais para este estudo, como a posição da base da duna, os perfis transversais de praia identificados de PT5 a PT10 na Figura 4.2 e, o declive da face da praia.

4.1.2. Clima de Agitação

Os dados de agitação utilizados neste estudo foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia de Espanha. São dados simulados pelos modelos numéricos HIRLAM e WAM, num ponto ao largo da zona de estudo, mais especificamente 9.00° W, 40.50° N (Figura 4.5). O HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) é um modelo atmosférico de alta resolução para a escala sinótica. O modelo WAM (WAVE Model) é um modelo de ondas de terceira geração que resolve a evolução do espectro bidimensional de ondas superficiais, através da integração da equação do transporte de energia (Soares *et al.* 2008). Pode ser usado à escala regional ou global, tanto para águas profundas como pouco profunda.

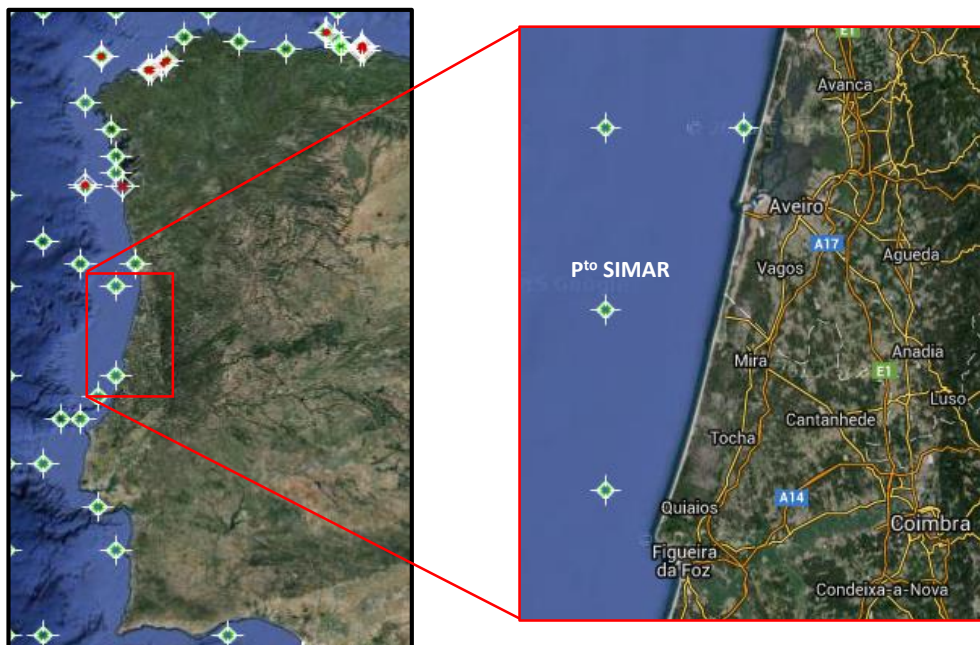


Figura 4. 5 - Localização do ponto SIMAR 1044062, simulado pelo WAM (Adaptado <http://www.puertos.es/en-us/oceanografia/Pages/portus.aspx>).

Os parâmetros analisados foram a altura Significativa (H_s), o período médio (T_0), o período de pico (T_p) e a direção de ondulação (Rumo):

- Altura significativa: altura média de um terço das ondas mais elevadas que ocorrem num dado período de tempo. É utilizada em estudos de onda, onde é necessário quantificar uma única altura de onda que represente um estado particular do mar;
- Período da onda: intervalo de tempo, em segundos, que decorre entre a passagem de duas cristas, ou duas cavas, consecutivas num dado ponto;
- Período de pico: período correspondente à frequência com maior densidade espectral, isto é, ondas mais energéticas.

Os dados disponibilizados têm um intervalo de aquisição de 3h, passando a ser horário a partir de 14 de outubro de 2008.

4.1.2.1. Validação dos Dados de Agitação Marítima

De forma a ser feita a validação dos dados obtidos pelo modelo utilizado neste estudo, foi realizada a análise estatística entre dados observados da boia ondógrafo de Leixões e os dados simulados num ponto ao largo de Leixões, de coordenadas 9.00° W 42.25° N (mais próximo da boia de Leixões – ponto SIMAR 1044065, cedido pelos Puertos del Estado), para o período compreendido entre outubro de 2010 e outubro 2011.

A análise foi feita aos parâmetros altura significativa, período de pico e direção de ondulação (rumo), recorrendo aos seguintes critérios:

1. Erro médio absoluto, Bias:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta'_i) \quad (1)$$

Onde $\theta'_i = (\theta_{i,m} - \theta_{i,o})$, representa o desvio entre o valor simulado e o valor observado no mesmo local, $\theta_{i,m}$ é o valor simulado e $\theta_{i,o}$ o valor observado, no instante de tempo i . n o número de dados.

O Bias, ou erro sistemático, permite avaliar o enviesamento dos dados. Sendo positivo, significa que os valores de previsão sobrestimam os valores observados, se for negativo, os valores simulados subestimam os observados. Quando o valor é igual a zero não há enviesamento e por isso, quanto mais próximo de zero for, melhor é a previsão. Este parâmetro por si só pode não ser um bom indicador da qualidade dos resultados, uma vez que, os valores negativos poderão anular os positivos resultando num Bias nulo quando na realidade os valores simulados podem estar afastados das observações.

2. Erro médio quadrático, EMQ:

$$EMQ = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta'_i)^2} \quad (2)$$

Erro Médio Quadrático avalia a diferença entre uma série de dados simulados e a série correspondente medida. O EMQ mede a média do quadrado do erro, sendo o resultado o valor que a série simulada difere da série medida. O EMQ é melhor quanto mais próximo de zero estiver.

3. Coeficiente de Correlação Linear, R:

$$R = \frac{n \sum \theta_{i,m} \theta_{i,o} - (\sum \theta_{i,m})(\sum \theta_{i,o})}{\sqrt{n(\sum \theta_{i,m}^2) - (\sum \theta_{i,m})^2} \sqrt{n(\sum \theta_{i,o}^2) - (\sum \theta_{i,o})^2}} \quad (3)$$

É obtido através da regressão linear e quantifica a relação linear entre duas variáveis.

A Figura 4.6 compara valores de H_s , T_p e rumo simulados com os valores observados para o ponto em análise.

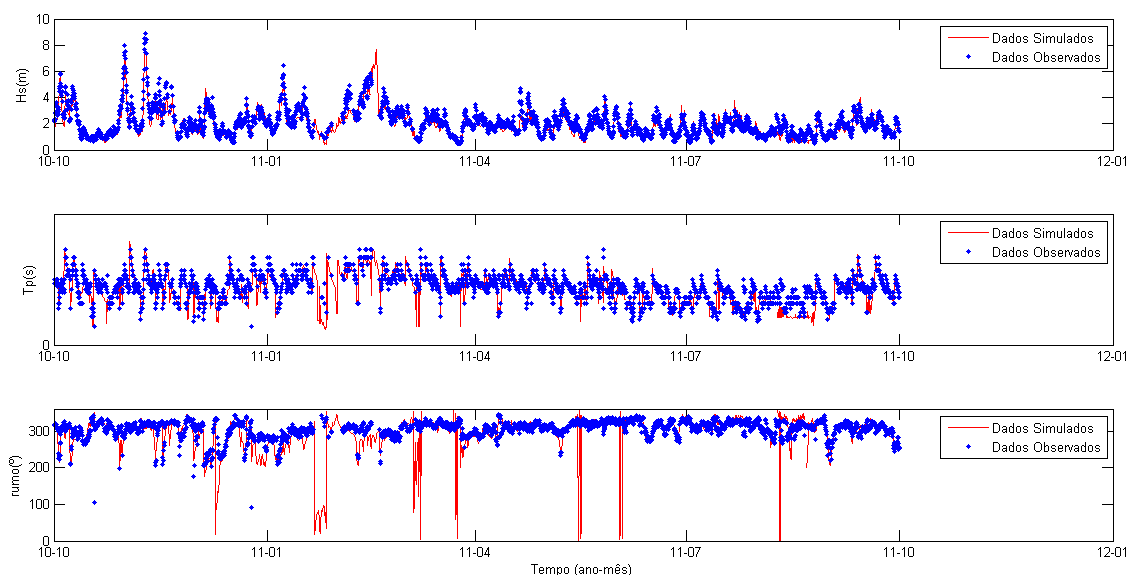


Figura 4. 6 - Gráfico representativo da validação dos dados do clima de agitação: H_s (em cima), T_p (no meio) e rumo (em baixo).

Através do gráfico da Figura 4.6 é possível observar uma concordância dos dados no que diz respeito à altura significativa, uma vez que os dados simulados são maioritariamente coincidentes com os dados observados. Também para o período de pico o modelo representa bem os dados observados, embora apresente algumas falhas. No que diz respeito à direção de ondulação, em geral, o modelo apresenta concordância com os dados observados, com exceção dos rumos entre N e NE, que não são realistas.

Recorrendo à análise estatística, apresentada na Tabela 4.3, comprova-se a conformidade dos dados relativamente ao parâmetro H_s , com os valores simulados a serem subestimados relativamente aos observados. Constata-se também um elevado desfasamento entre os dados na componente direcional de ondulação. Os valores obtidos para H_s e T_p são semelhantes aos de Dodet *et al.* (2010), também apresentados na Tabela 4.3 e que consideraram o período entre janeiro de 1993 e janeiro de 1995. No que diz respeito ao rumo, embora os resultados obtidos por Dodet *et al.* (2010) apresentem discrepância, os do presente caso de estudo diferem mais. É de realçar que os modelos numéricos utilizados nos dois estudos são diferentes, no estudo de Dodet *et al.* (2010) o modelo utilizado foi WW3, enquanto neste caso de estudo foi o WAM, o que justifica as diferenças.

Tabela 4. 3 - Resultados obtidos na análise estatística efetuada aos dados de agitação marítima.

	Parâmetros	Hs (m)	Tp (s)	Rumo (°)
Caso de estudo	Bias	-0.16	-0.36	-7.06
	EMQ	0.37	1.69	35.14
	COEF_COR		0.65	
Dodet <i>et al.</i> (2010)	Bias	-0.12	-0.29	2.73
	EMQ	0.48	1.51	15.74

4.1.3. Eventos de Temporal

As condições extremas de agitação marítima têm grande impacto nas zonas costeiras. Para a caracterização deste tipo de eventos, existem vários critérios, que variam consoante as condições de agitação de um determinado local e os critérios que cada autor adota. Zhang et al. (2000) e Li et al. (2009) aplicam um critério quantitativo no qual definem um evento de temporal quando os três critérios seguintes se verificam:

- 1) Existe pelo menos um registo acima do limiar de temporal, que corresponde a $H_{s_{pico}} = H_s + 2\sigma$;
- 2) O evento continua quando a altura significativa permanece acima do limiar de duração, que corresponde a $H_{s_{dur}} = H_s + \sigma$;
- 3) Duas tempestades consecutivas são distintas quando o intervalo entre eventos é maior que 3 horas e, quando o intervalo entre picos máximos é superior a 30 horas.

σ representa o desvio padrão da serie, neste caso H_s .

Aplicados os critérios, foram quantificados o número de eventos e a sua duração, bem como as características de cada evento (altura significativa máxima e média, altura do ano e período de pico).

De forma a avaliar a potência erosiva dos eventos, foi calculado o índice de potência de temporal, definido por Dolan e Davies (1994):

$$Ps = D \times H_{s_{m\acute{a}x}}^2 \quad (4)$$

Onde Ps é o índice de potência de temporal ($m^2 h$), D é a duração do evento de temporal (h) e $H_{s_{m\acute{a}x}}$ é a altura significativa máxima atingida em cada evento (m).

4.2. Curta Escala Temporal

4.2.1. Dados Topográficos

Para a realização deste estudo foram analisados dados topográficos adquiridos através do DGPS (Differential Global Positioning System). Este tipo de sistema é constituído por uma antena GPS fixa a um bastão, na base do qual está adaptado uma roda, como mostra na Figura 4.7. O bastão é transportado na vertical para que a distância da antena ao chão permaneça constante, o que permite obter elevada precisão no levantamento da topografia do terreno (Baptista *et al.*, 2008). A antena está conectada a um recetor de GPS que é também ele, transportado pelo observador e está referida a uma estação de referência local. Os dados foram posteriormente processados usando *software* dedicado GPSRTK (Cunha, 2002) por meio de um algoritmo de ambiguidade fixa, com uma precisão das posições finais próxima dos 0.05 m.

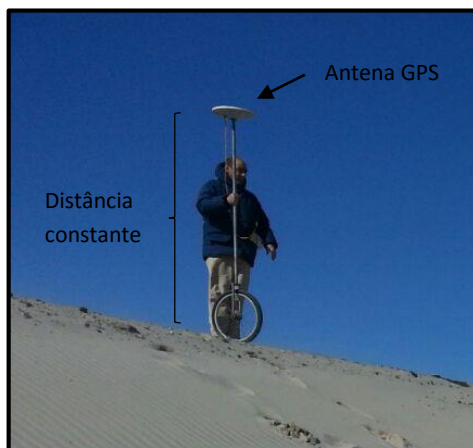


Figura 4. 7 - Observador a efetuar levantamento com o Sistema DGPS

Foram efetuados nove levantamentos topográficos no segmento de troço em estudo, em sete perfis perpendiculares à costa, distanciados entre si de aproximadamente 500 metros, indicados na Figura 4.8 a) pelos pontos P4 a P10 (estes perfis são distintos dos referidos na secção 4.1.1). Os levantamentos incluem a praia emersa e a duna frontal, e têm como referência inicial uma estaca situada na parte anterior da duna, Figura 4.8 b). Nos perfis P9 e P10 a ausência de duna frontal foi colmatada com um dique arenoso, dados incluídos nos levantamentos. Os levantamentos foram realizados no fim do inverno marítimo e período de transição, nos dias 5, 7, 10, 13,15, 19,21 e 27 de março, e no dia 10 de abril de 2015.

Para seu processamento e análise utilizou-se posteriormente o software MATLAB, de forma a serem obtidos alguns parâmetros morfológicos como a posição da base da duna, a largura da praia, bem como o seu declive e a evolução da linha de costa.



Figura 4. 8 - Localização dos perfis no trecho em estudo a); exemplo do percurso percorrido na obtenção dos dados de levantamento b).

4.2.2. Clima de Agitação

Os parâmetros hidrodinâmicos analisados no desenvolvimento deste trabalho foram a altura significativa das ondas (H_s), a direção de ondulação (rumo) e a elevação da superfície livre da maré. Em termos climáticos, o parâmetro analisado foi o vento.

Os dados do clima de agitação marítima foram disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico, sendo dados medidos ao largo e adquiridos na boia de Leixões. Os dados da maré astronómica, para a zona em estudo, foram disponibilizados pelo CESAM, bem como os dados do vento medidos em Aveiro.

CAPÍTULO 5 - Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos e posterior análise dos mesmos. O capítulo divide-se em duas secções. Na primeira, será feita a caracterização da agitação marítima, com ênfase nos eventos de temporal, para o período de estudo e, na segunda, serão analisados os resultados dos dados topográficos.

5.1. Média Escala Temporal

5.1.1. Clima de Agitação Marítima

Na Figura 5.1 está representada a altura significativa para o período em análise. Nela, são observáveis maiores alturas na transição de ano civil – correspondente ao inverno marítimo, e menores, durante o verão, podendo ser feita claramente uma distinção sazonal. Para o inverno obteve-se valores máximos de H_s variáveis, principalmente entre 5 e 9 metros, com os invernos de 2003, 2004 e 2013 a atingir valores de H_s próximos dos 12 metros. No verão as alturas significativas são inferiores a 5 metros.

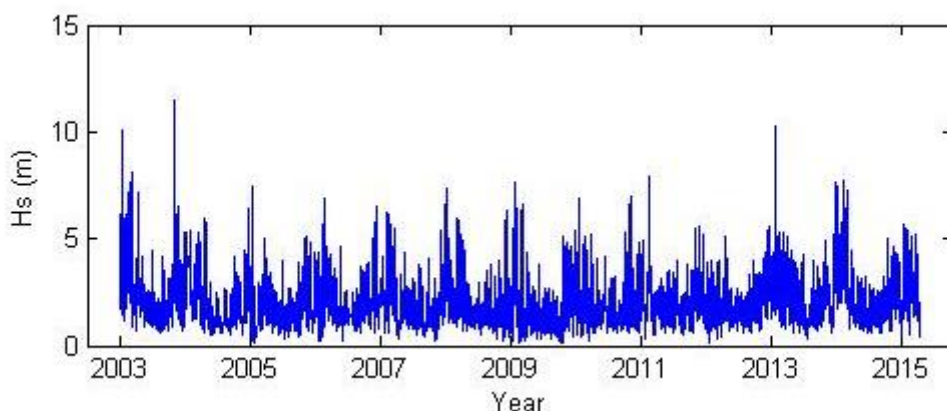


Figura 5. 1 - Altura significativa (H_s) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015.

O período médio, representado na Figura 5.2, oscila maioritariamente entre os 4 e os 9 segundos no verão, e entre os 5 e os 13 segundo no inverno. A sazonalidade das duas estações é bem descrita.

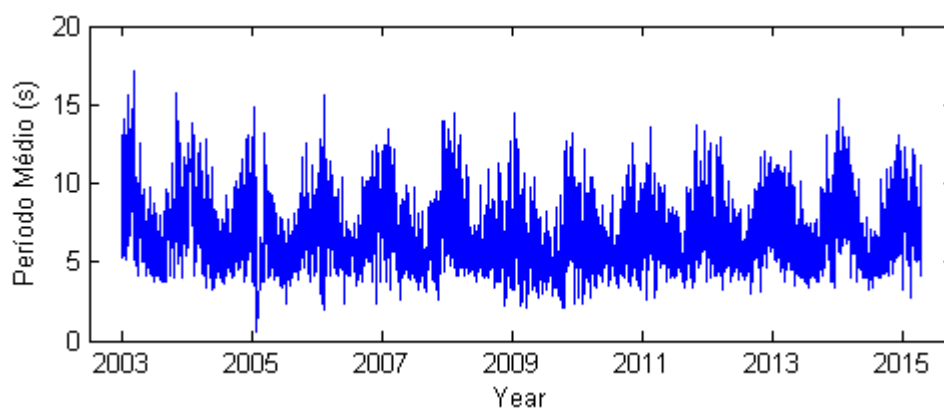


Figura 5. 2 - Período médio (T_m) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015.

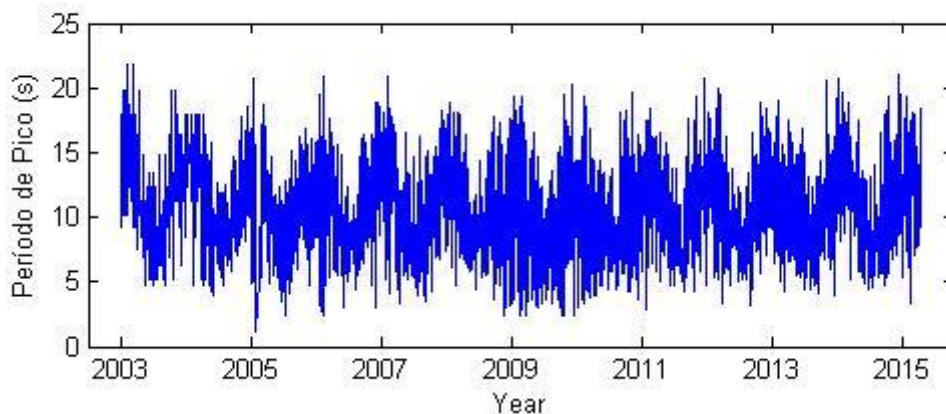


Figura 5.3 - Período de Pico (T_p) para o período compreendido entre janeiro de 2003 e maio de 2015.

No que diz respeito ao período de pico (Figura 5.3), é também distinguida a sazonalidade inverno/verão, com valores superiores no inverno - entre os 15 e 22 segundos, e inferiores no verão – entre 10 e 13 segundos.

O rumo, representado na Figura 5.4, evidencia direções de ondulação provenientes, maioritariamente, dos quadrantes NW e WNW, onde predominam as alturas significativas até 4 metros. H_s superiores a 8 metros estão associadas a rumos do quadrante NW. As direções de ondulação do quadrante NE são irrealistas para a zona de estudo, como referido anteriormente.

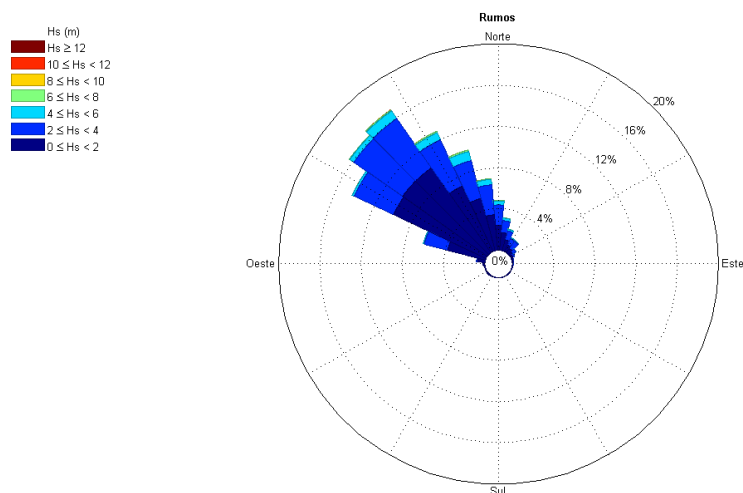


Figura 5.4 - Rumo da direção média de ondulação e altura significativa média associada, para o período de estudo.

5.1.2. Eventos de Temporal

A caracterização dos eventos através do método referido na secção 4.1.2 definiu valores de altura significativa limiar igual a $H_{s_{pico}} = 4.1$ metros e, altura significativa de duração próxima de $H_{s_{dur}} = 3.0$ metros. Foram identificados 144 eventos de temporal entre outubro de 2003 e maio de 2015 (Tabela A.1),

dos quais, aproximadamente 89% aconteceram durante os meses de inverno marítimo - outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Neste estudo os eventos de temporal serão analisados por ano climatológico, isto é, serão analisados os invernos marítimos de 2003 a 2014, onde inverno marítimo de 2003 corresponde a outubro, novembro e dezembro de 2003 e janeiro, fevereiro e março de 2004, e assim sucessivamente. Na Figura 5.5 apresenta-se a caracterização dos eventos de temporal em termos de número de eventos, sua persistência e altura significativa máxima média associada, por ano. Foram identificados 128 eventos de temporal (Tabela A.1), aos quais corresponde uma média de 11.6 eventos por ano (Figura 5.5a).

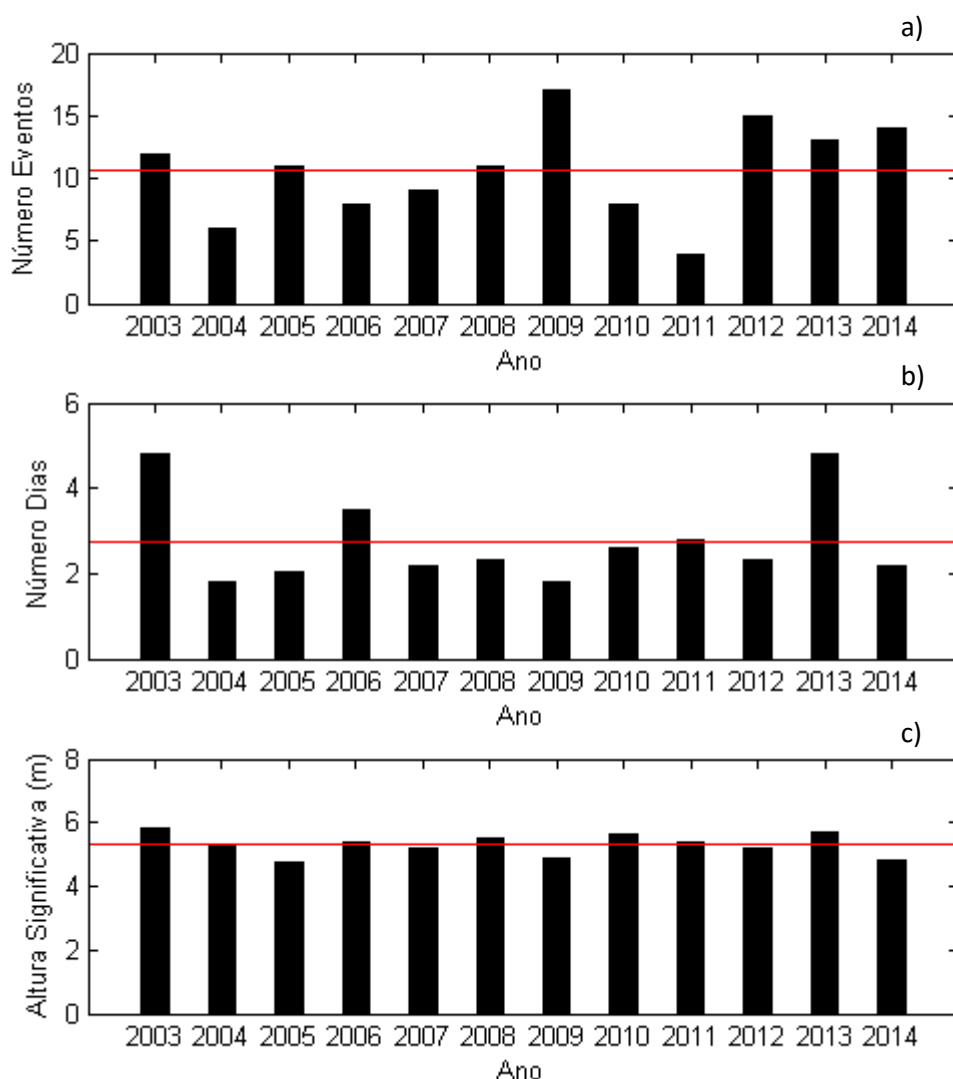


Figura 5.5 - Caracterização dos eventos de temporal no inverno marítimo a) número de eventos, b) persistência e c) altura significativa máxima, para o período em estudo. As linhas horizontais representam valores médios.

O ano com maior número de eventos foi 2009, com 17 eventos, e 2011 foi o ano com menor, 4 eventos de temporal (Figura 5.5a). Entre 2006 e 2009 a média anual aumentou gradual e

consecutivamente, passando de 8 eventos para o número máximo registado neste estudo (Figura 5.5a). Entre 2009 e 2011 há um decréscimo acentuado do número de eventos, voltando em 2012 a ser atingido um pico de ocorrências, mantendo-se acima da média em 2013 e 2014.

Em termos de persistência (Figura 5.5b), os anos em que a duração dos eventos foi maior foram os de 2003 e 2013, coincidindo com um número de ocorrência também acima da média (Figura 5.5a). Ambos os anos apresentam uma média de duração dos eventos superior 4 dias. Dos anos em estudo, em mais de 66% dos casos, a média de duração de eventos de temporal por ano é inferior a 3 dias (Figura 5.5b).

A média anual de altura significativa máxima, atingida em cada evento, está representada na Figura 5.5c. A média da altura significativa máxima dos anos em estudo foi próxima dos 5.3 metros, com as maiores alturas a serem atingidas nos anos 2003 e 2013 com cerca de 5.7 metros, coincidentes com os anos em que os eventos tiveram maior duração. Os anos 2005, 2009, 2012 e 2014 apresentaram os menores valores de altura significativa, próxima dos 4.8 metros. Os restantes anos apresentam valores semelhantes ao valor médio.

Na ocorrência de eventos de temporal as direções de ondulação representadas na Figura 5.6 abrem o leque de direções em relação à média anual (Figura 5.4), mantendo-se predominante os rumos de NW e WNW, mas com o rumo de NNW a ganhar relevo. As alturas significativas mais elevadas mantêm-se associadas a rumos de NW.

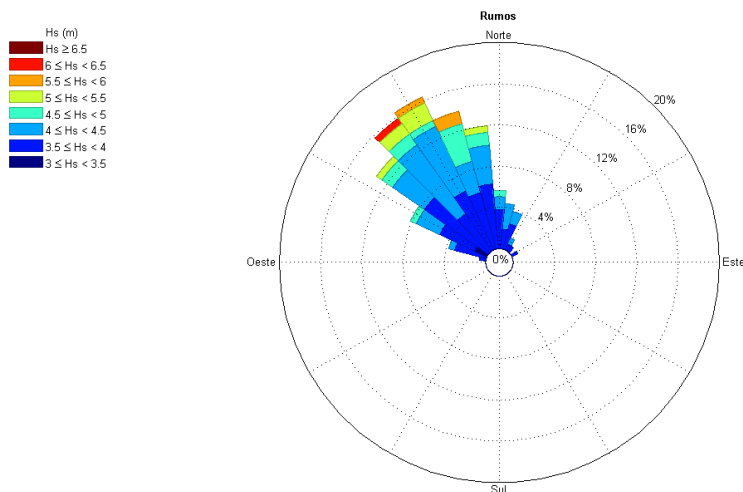


Figura 5.6 - Rumo da direção média de ondulação, ocorridos em eventos de temporal e altura significativa máxima associada.

No que diz respeito ao Índice de Potência do Temporal - P_s , este foi representado através da média anual (Figura 5.7), mas também por evento (Figura 5.8), para assim se conseguir ter maior sensibilidade da intensidade associada a cada evento.

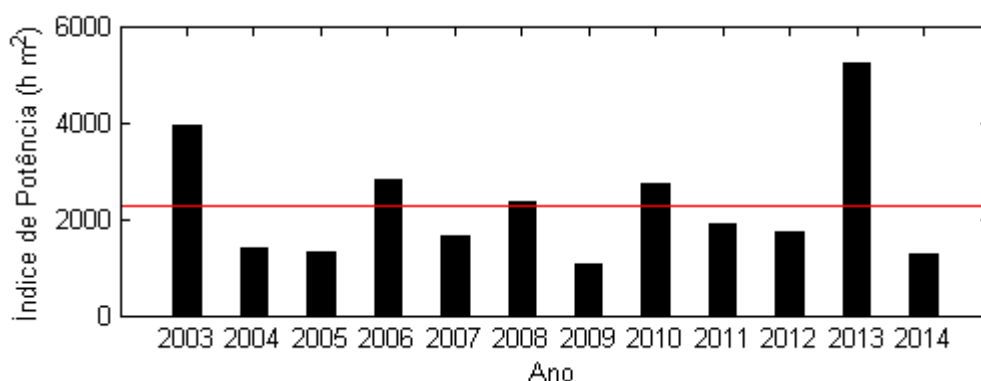


Figura 5.7 - Distribuição média anual do índice de potência de temporal (P_s) por ano, associada aos eventos de temporal para o período de estudo.

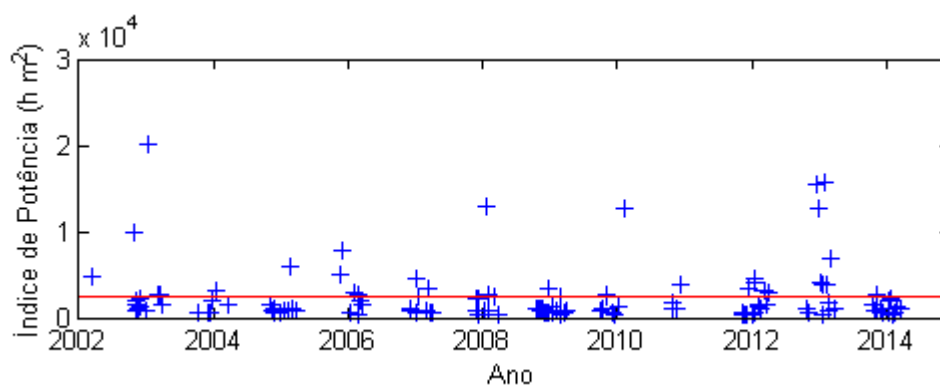


Figura 5.8 - Distribuição do índice de potência de temporal (P_s) associada a cada temporal para o período em estudo.

O ano de 2013 foi o que obteve a média anual do P_s mais elevada, seguido de 2003. Também os anos de 2006 e 2010 registaram valores de P_s acima da média temporal. Na Figura 5.8 está representada a potência para cada evento, onde cerca de 78% dos eventos apresenta valores abaixo da média. Embora a média de P_s tenha sido a mais elevada em 2013 (Figura 5.7), foi no ano de 2003 que ocorreu o evento com maior potência de erosão, atingindo os $20 \times 10^3 \text{ m}^2\text{h}$ (Figura 5.8). De realçar que nos anos 2008 e 2010, a ocorrência de apenas um evento com valor de P_s acima da média (Figura 5.8) fez elevar a média anual, ficando acima da média dos anos em estudo (Figura 5.7). Sendo este um índice de potência de temporal, os anos em que terá havido mais variações na morfologia das praias seriam 2003, 2008, 2010 e 2013.

5.1.3. Variação Morfológica

5.1.3.1. Volumes

A caracterização morfológica do setor em estudo foi feita através do cálculo de volumes dos MDT. Na Figura 5.9 está representado o volume absoluto da praia para o período em análise. Uma vez que a serie temporal apresenta uma distribuição não homogénea de campanhas, a representação

dos volumes foi dividida em duas figuras; na Figura 5.9a) foram representadas apenas as campanhas realizadas em novembro/dezembro de cada ano, de forma a obter uma tendência geral da evolução dos volumes; na Figura 5.9b) foram representados todos os levantamentos realizados desde 2011, apresentando com detalhe a evolução sazonal dos volumes para todo o setor em estudo. De realçar que a partir de 2011 foi realizada, em média, uma campanha por mês, ao passo que até então apenas se realizava uma campanha por ano (Tabela 4.1).

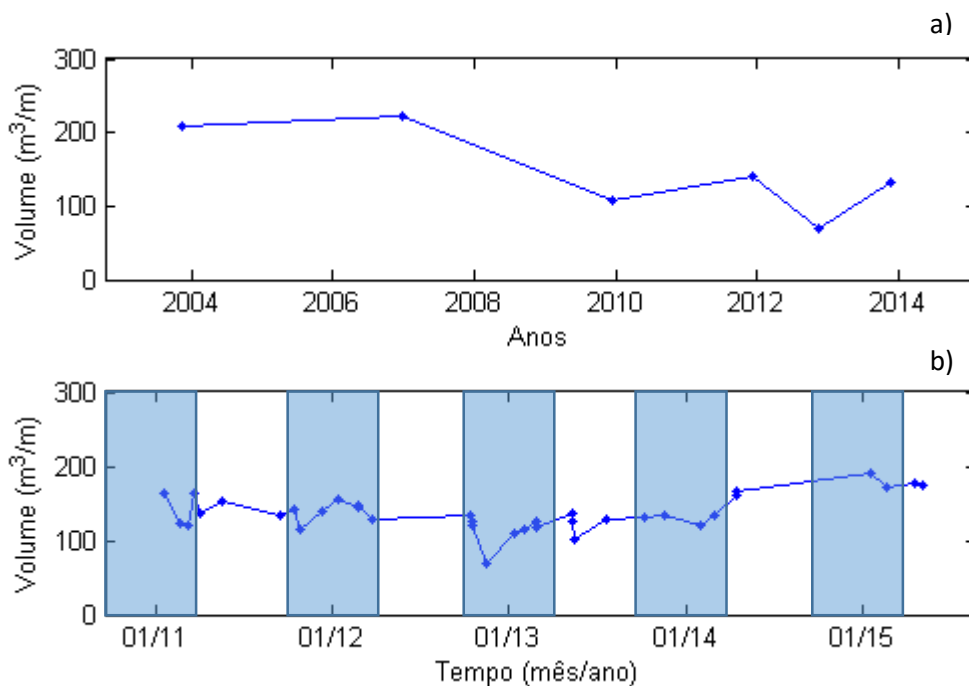


Figura 5. 9 - Variações do volume absoluto (m^3/m), a) tendência do volume entre 2003 e 2013 através de levantamentos efetuados nos meses novembro/dezembro; b) tendência sazonal do volume entre 2011 e 2015. As barras azuis representam os invernos marítimos.

Na Figura 5.9a) verifica-se uma variação acentuada do volume entre os anos 2006 e 2009, com uma diminuição de aproximadamente $110 m^3/m$, e oscilações a partir de 2009; entre 2009 e 2011, o volume absoluto do setor aumenta cerca de $30 m^3/m$, decaindo novamente em finais de 2012 com uma perda de cerca de $70 m^3/m$. Nos finais de 2013 o volume aumenta, recuperando o volume perdido em 2012 ($70 m^3/m$). Relacionando estas variações com os eventos de temporal, apesar do espaçamento elevado entre levantamentos (Tabela 4.1), verifica-se: o inverno marítimo de 2008 apresenta um índice de potência acima da média; há um crescente aumento na ocorrência de eventos desde 2006 até 2009. Estes factos podem justificar assim a perda significativa de volume da praia até 2009. Novamente entre os invernos marítimos de 2011 e 2012, o decréscimo de volume absoluto associa-se ao aumento significativo da ocorrência de eventos em 2012. O índice de potência de temporal mostra-se acima da média para muitos desses eventos (Figura 5.8). No período compreendido entre 2011 e 2015 (Figura 5.9b) as variações do volume apresentam uma tendência. Nos últimos meses de cada ano – início do inverno marítimo, são visíveis diminuições do volume e, de seguida, ligeiros aumentos, voltando a diminuir com a aproximação do inverno marítimo seguinte. Ainda na Figura 5.9b) entre 2014 e 2015 é evidenciado um aumento de volume

consecutivo. O facto de não terem sido efetuados levantamentos no início do inverno marítimo de 2014, e apenas em janeiro de 2015, não nos permite caracterizar a sazonalidade para este período. Se compararmos os volumes finais e iniciais, dos invernos 2011/12 e 2012/13, a variação é aproximadamente nula. Nestes intervalos as oscilações observadas no volume devem-se a eventos de temporal, como é o exemplo de dezembro de 2012 (Tabela A.1). No inverno 2013/14 observa-se um aumento do volume da praia entre início e o fim do inverno marítimo. Este aumento está, provavelmente, associado ao recuo da base da duna (a praia foi alimentada com sedimento da duna), uma vez que este inverno marítimo (2013) está associado a temporais mais persistentes (Figura 5.5b), com maiores alturas significativas (Figura 5.5c) e maiores potências erosivas da serie temporal (Figura 5.7).

O cálculo dos volumes foi também efetuado para as várias secções do setor indicadas na Figura 4.2 (Tabela A.2). Os resultados ilustrados na Figura 5.10 mostram os valores médios do volume absoluto e a barra de variabilidade dos valores nos anos em estudo.

A secção S10, situada no limite norte do setor, e portanto a sotamar do esporão do Poço da Cruz, é a que apresenta maior oscilação de volumes (cerca de $70 \text{ m}^3/\text{m}$), ao longo do tempo e a S5, localizada a cerca de 2.8 km a sotamar do esporão do Poço da Cruz, é a que apresenta menor (cerca de $40 \text{ m}^3/\text{m}$). A variação média do volume médio ao longo das secções é cerca de $10 \text{ m}^3/\text{m}$, mostrando uniformidade entre as secções (Figura 5.0). A média dos volumes está mais próxima dos valores mínimos, mostrando que na maioria dos levantamentos o volume da secção se mantinha 'constante' (mais pequeno).

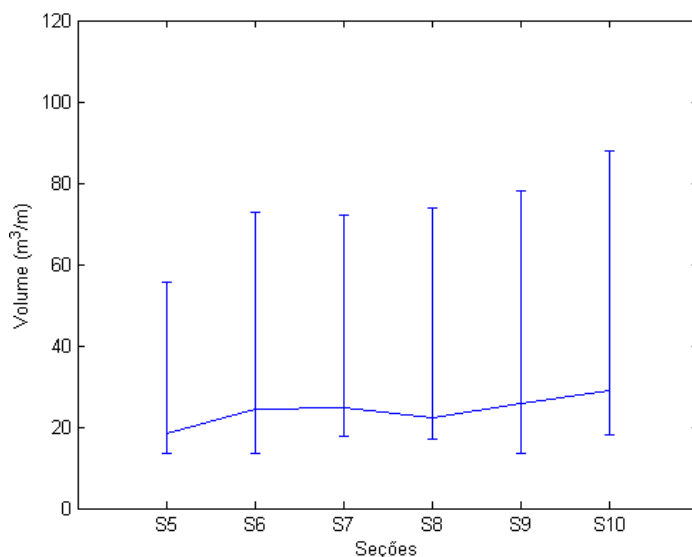


Figura 5. 10 - Variabilidade temporal da dispersão do erro relativamente à média dos volumes por secção.

Foi também analisada a variabilidade espacial dos volumes das secções ao longo do tempo (Figura 5.11). Na generalidade, a média mostra valores crescentes e decrescentes de volume consoante a data do levantamento (mês). Observa-se que há meses em que a dispersão é menor e outros em

que é maior. Os meses com menor dispersão de valores, são os que apresentam o valor médio mais pequeno (por exemplo dezembro de 2009 e novembro de 2013), mostrando uma tendência nas secções de valores de volume mais pequenos.

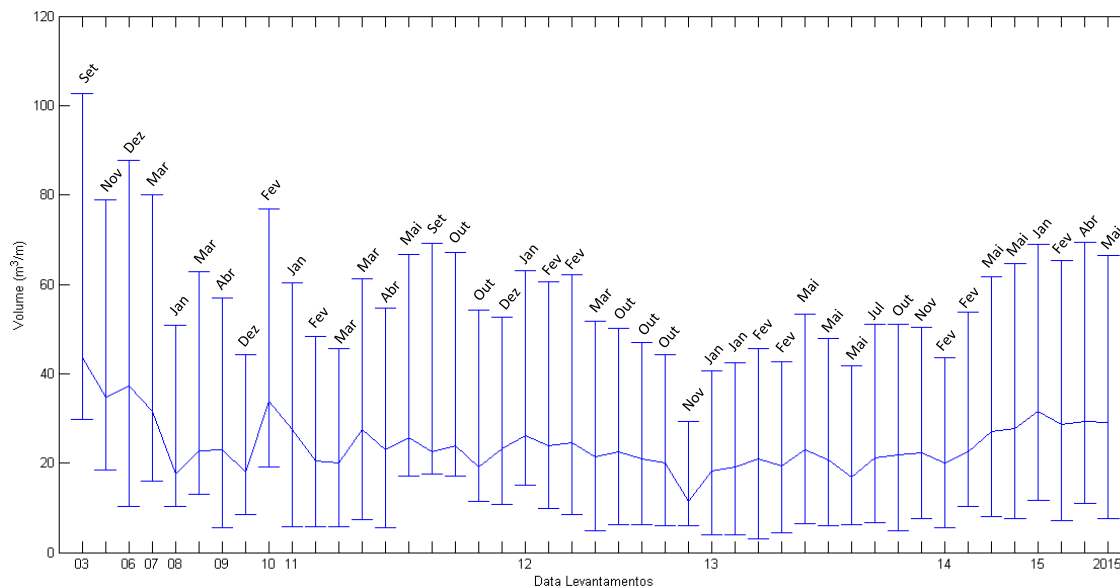


Figura 5. 11 - Variabilidade espacial dos volumes das secções em análise ao longo do período em estudo.

5.1.3.2. Áreas

A variação da área do segmento em estudo foi representada ao longo do período em análise, Figura 5.12. Também no caso da área a representação foi feita de forma a obter a tendência geral da sua evolução ao longo dos anos em estudo (Figura 5.12a) e de forma mais detalhada, para obter a evolução sazonal, avaliando o período entre 2011 e 2015 (Figura 5.12b).

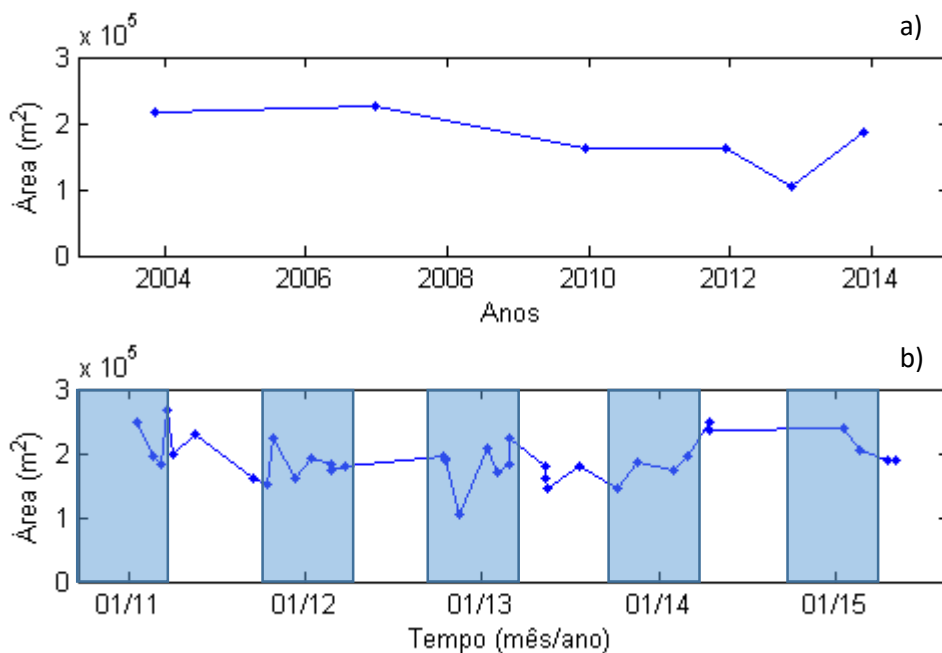


Figura 5.12 - Variações da área m², a) tendência da área entre 2003 e 2013 através de levantamentos efetuados nos meses novembro/dezembro; b) tendência sazonal da área entre 2011 e 2015. As barras azuis representam os invernos marítimos.

Na Figura 5.12a) verifica-se uma diminuição da área, entre os anos 2003 a 2009, e 2011/2012, esta última mais acentuada e num menor espaço de tempo, o que mostra concordância com as variações do volume (Figura 5.9a). De realçar que na área a variação é menos acentuada que no volume. Nas variações entre 2011 e 2013 (Figura 5.12b) os valores da área oscilam, aumentando e diminuindo, mantendo-se no entanto constante entre meses homólogos, sugerindo variação sazonais, mas evidenciando respostas a eventos de temporal, em termos de diminuição de área, nomeadamente finais de 2012. No inverno 2013/14 o valor da área aumenta entre o início e o final do inverno marítimo, corroborando o recuo da duna nesse período, como referido na secção 5.3.1.1.

5.1.3.3. Perfis Transversais

Os perfis transversais de uma praia permitem identificar, as morfologias características que uma praia possui ao longo do ano. Ao analisar estes perfis num determinado local e ao longo de um período de tempo, consegue-se definir a evolução da praia e a sua resposta ao clima de agitação. A variabilidade da face da praia devido a um ciclo de maré pode também ser analisada com base em perfis transversais.

A partir dos MDTs foram extraídos os perfis transversais em seis pontos do segmento de praia em estudo. Estes foram extraídos nos limites das diferentes seções consideradas para o cálculo de volume/área. Os perfis são delimitados inferiormente pela face da praia - limite mínimo de aquisição durante o levantamento e por isso variável consoante o MDT e superiormente pela base da duna.

Para representação gráfica considerou-se os levantamentos realizados no início do inverno marítimo, nomeadamente entre outubro e dezembro (Figuras 5.13a - 5.18a) e na fase média terminal do inverno marítimo em fevereiro (Figuras 5.13b – 5.18b) ao longo dos anos em estudo. A posição da base da duna, associada a cada perfil e estimada a partir do MDT, foi também representada (Figura 5.13c – 5.18c). Neste capítulo serão analisados os perfis de todas seções denominados PT5 a PT10 (Figura 4.2).

De uma maneira geral, são notáveis as variações que ocorrem durante o inverno marítimo, havendo erosão em todos os perfis de secção analisados, ao longo dos anos de estudo. Com exceção dos perfis da secção 5, todos os outros apresentam um recuo de cerca de 40 metros, entre 2003/2006 e 2009, não recuperando até à data. As bermas estão representadas em alguns dos perfis representativos do início do inverno marítimo em cada uma das seções analisadas, desaparecendo em fevereiro, assumindo a praia um comportamento dissipativo característico de inverno. A cota da base da duna diminui em quase todas as seções, passando de aproximadamente de 7 metros, no início deste estudo, para 5 metros no presente. A posição da base da duna mostra uma tendência nítida, recuando gradualmente e progressivamente no tempo à medida que nos deslocamos para norte. De realçar a ausência da alta praia na morfologia da zona de estudo na maioria dos perfis.

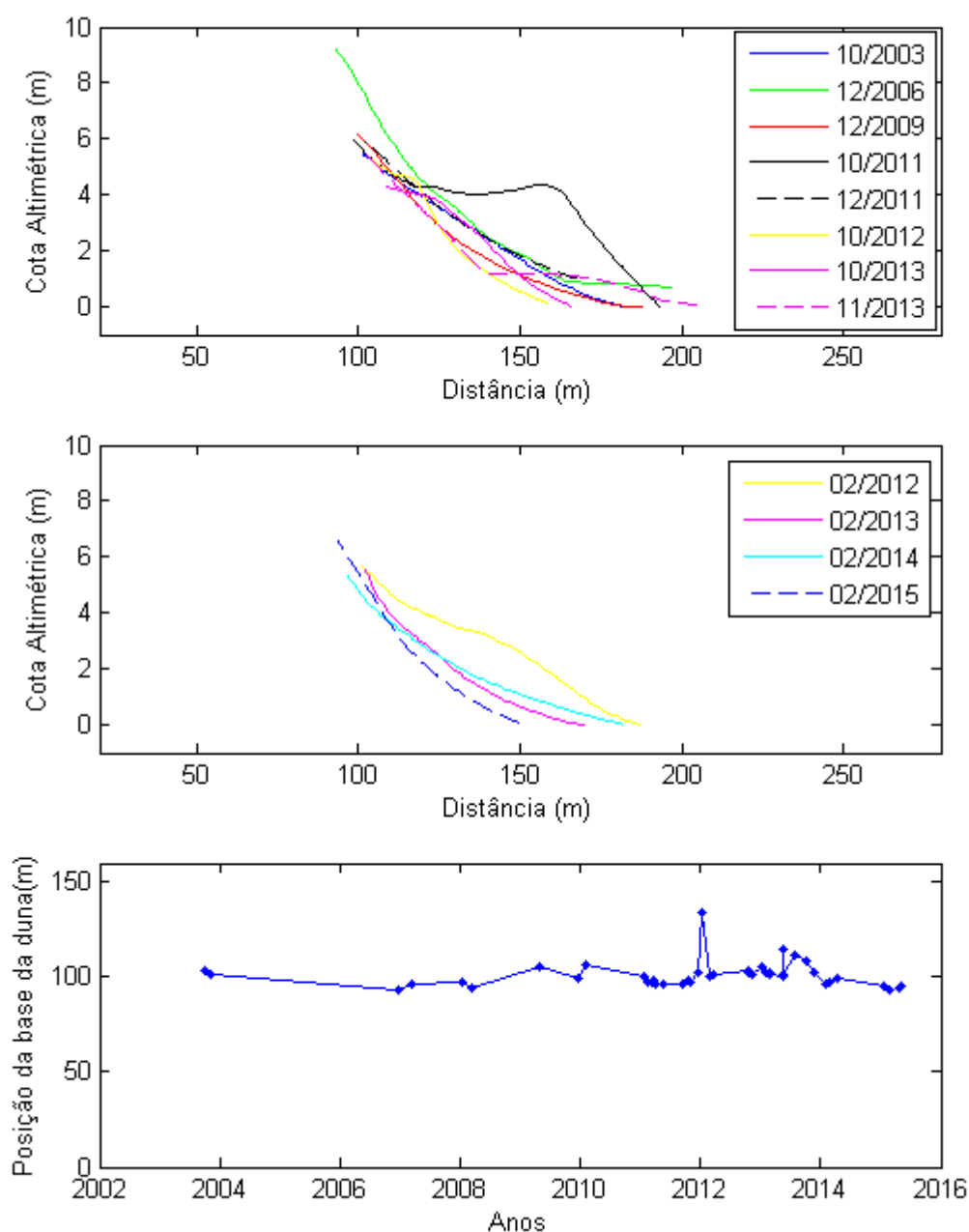


Figura 5. 13 - Perfis transversais da secção 5 (PT5): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT5 ao longo do período em estudo.

Os perfis da secção 5 mostram um recuo progressivo da face da praia entre 2006 e 2012 e, um avanço em 2013 (Figura 5.13a). Entre outubro e dezembro de 2011, é clara a supressão da berma, sendo atingido o perfil de inverno característico. A cota da base da duna em 2006 é bastante superior à dos outros anos. Considerando os perfis relativos aos meses de fevereiro, entre 2012 e 2015, verifica-se o recuo progressivo da face da praia ao longo dos anos (Figura 5.13b). Apenas o ano de 2012 se afasta da tendência geral do declive da face da praia, demonstrando ser inferior (Figura 5.13b). Os perfis apresentam, portanto, semelhante morfologia nos dois períodos

representados (outubro/dezembro e fevereiro). A posição da base da duna sofreu oscilações reduzidas, mostrando apenas um avanço de 20 metros no ano de 2012, que poderá ser justificado pela construção do dique arenoso em meados de 2011. Estas oscilações podem ser caracterizadas como sazonais, uma vez que as posições foram restabelecidas na estação seguinte. Entre 2003 e 2015 a posição da base da duna manteve-se estável, indicando que nesta secção, a praia não migrou para o interior.

Na secção 6, os perfis obtidos mostram um recuo progressivo e significativo da face da praia entre 2003 e 2009, mantendo-se depois mais ou menos estável (Figura 5.14a). Também nesta secção é perceptível a transição entre o tipo de praia refletivo e dissipativo, com a presença de uma berma (outubro de 2011 e 2013) e seu desaparecimento nos meses seguintes. A cota da base da duna em 2006 volta a ser bastante superior à dos outros anos, nesta secção. Relativamente ao mês de fevereiro (Figura 5.14b), os perfis apresentam novamente uma tendência no declive, puramente dissipativo, entre 2012 e 2015, mostrando no entanto um recuo entre 2012 e 2013, que se acentua um pouco em 2014 e avança em 2015. A posição da base da duna nesta secção sofreu um recuo de aproximadamente 30 metros, entre 2003 e 2015 (Figura 5.14c). De realçar o acentuado recuo ocorrido entre 2013/14.

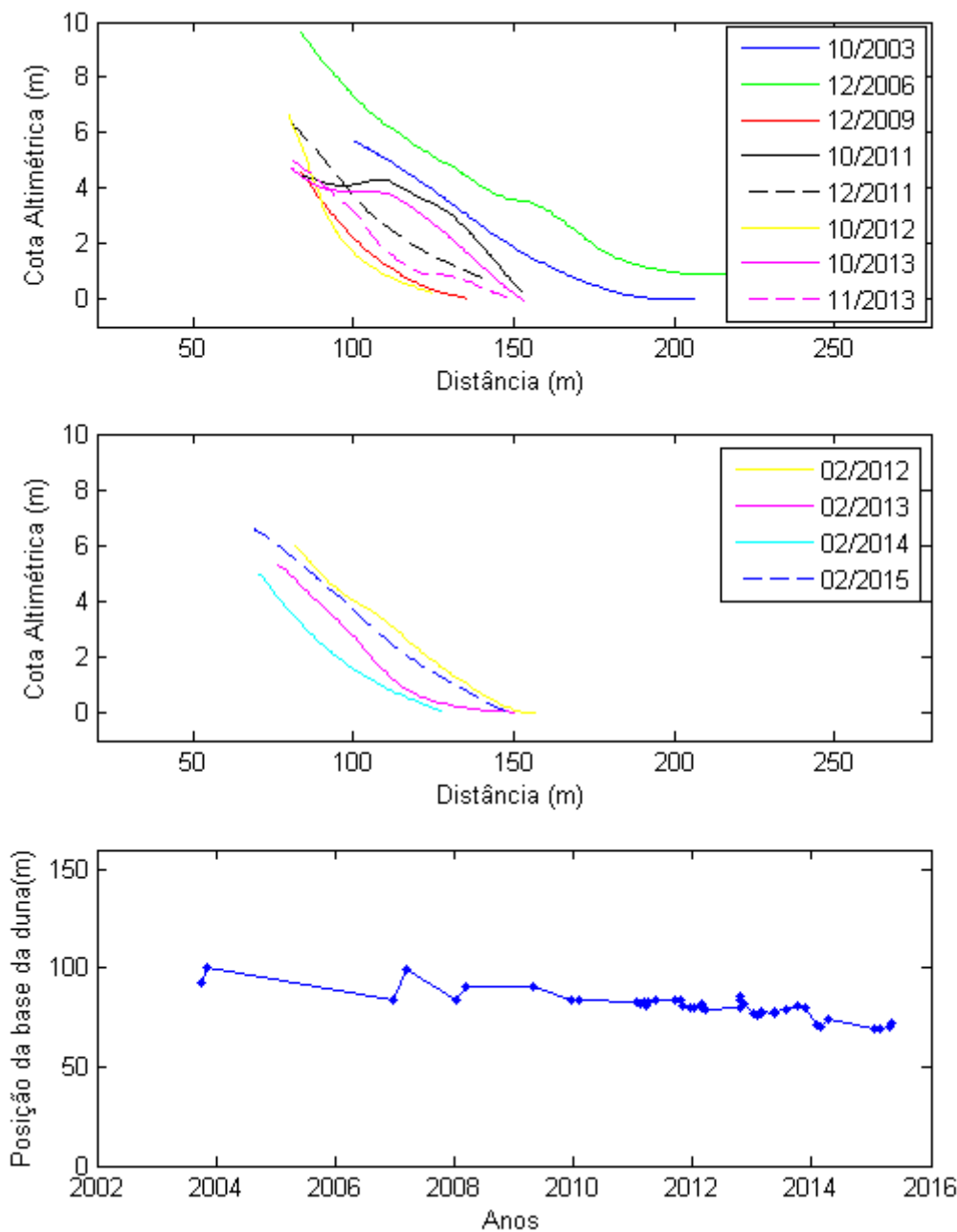


Figura 5. 14 - Perfis transversais da secção 6 (PT6): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT6 ao longo do período em estudo.

Na secção 7, os perfis obtidos mostram um recuo significativo da face da praia entre 2003/2006 e 2009, recuperando em 2011 e mantendo-se depois mais ou menos estável (Figura 5.15a). Também nesta secção é perceptível a transição entre o tipo de praia refletivo e dissipativo (outubro de 2013), com a presença de uma berma e seu desaparecimento. Nesta secção, os perfis de início de inverno marítimo apresentam cotas de duna inferiores às das outras secções. De realçar, que a cota da base da duna no perfil de 2006 está em concordância com a dos outros perfis da secção 7. No que diz respeito ao mês de fevereiro (Figura 5.15b), os perfis apresentam novamente um declive

puramente dissipativo, entre 2012 e 2015, mostrando uma diminuição suave em 2014. Apenas o perfil de 2015 apresenta o recuo da face da praia. A posição da base da duna nesta secção sofreu um recuo de aproximadamente 40 metros, entre 2003 e 2015, com um recuo acentuado no inverno marítimo de 2013.

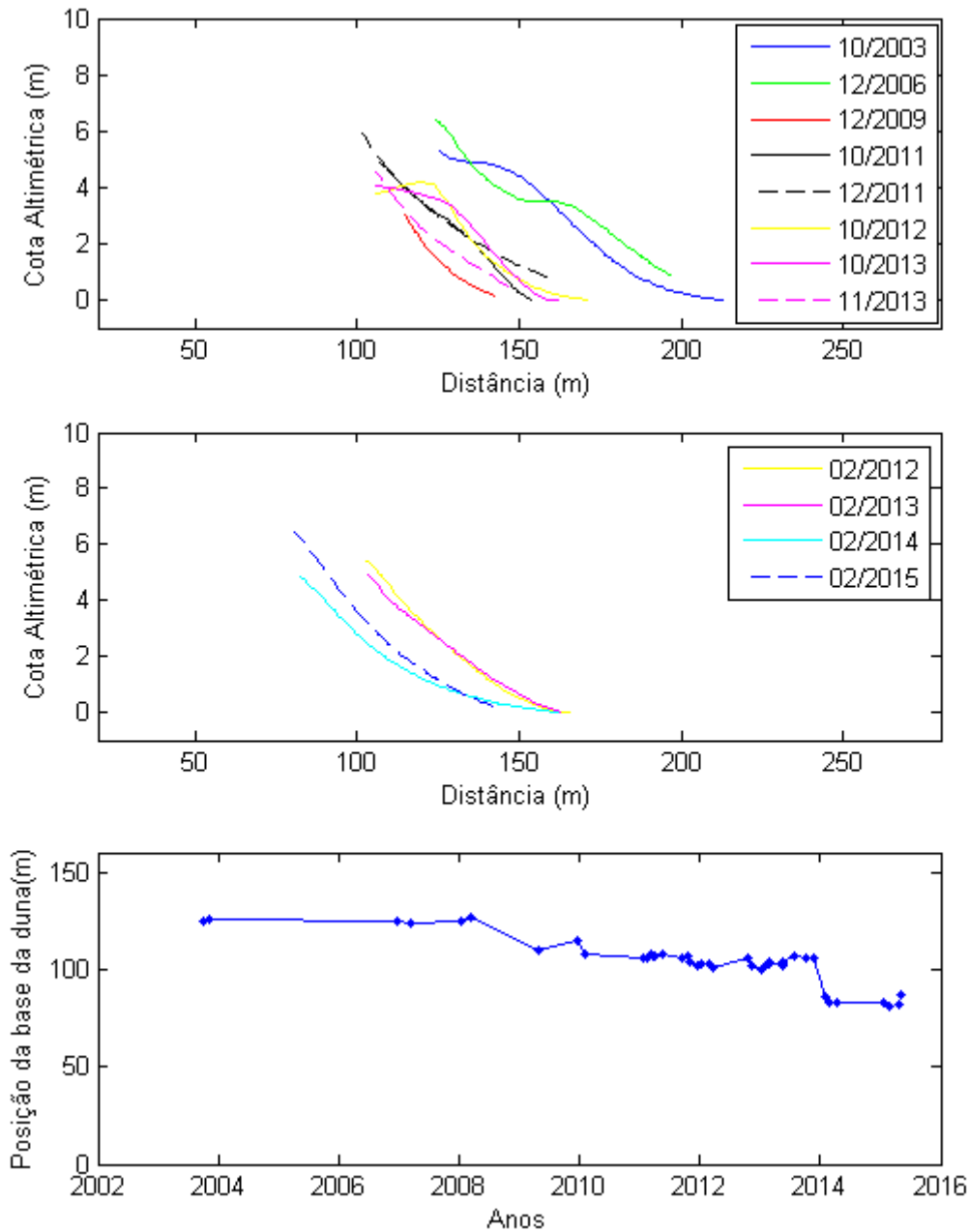


Figura 5. 15 - Perfis transversais da secção 7 (PT7): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT7 ao longo do período em estudo.

Na secção 8, os perfis transversais entre 2003/2006 e 2009 apresentam um recuo de aproximadamente 50 metros, mantendo no entanto a morfologia da praia (Figura 5.16a). Em 2011, houve um avanço em direção ao mar, voltando a recuar em 2012 e 2013. Nesta secção também é perceptível a transição entre o tipo de praia refletivo e dissipativo, com a presença de uma berma em outubro de 2011 e seu desaparecimento em dezembro do mesmo ano. Entre outubro e novembro de 2013 a situação inverte-se. Em outubro o perfil encontra-se no tipo dissipativo e apresenta em novembro uma berma. Relativamente ao mês de fevereiro (Figura 5.16b) há uma tendência estável no declive dos perfis, comparativamente aos meses de início de inverno

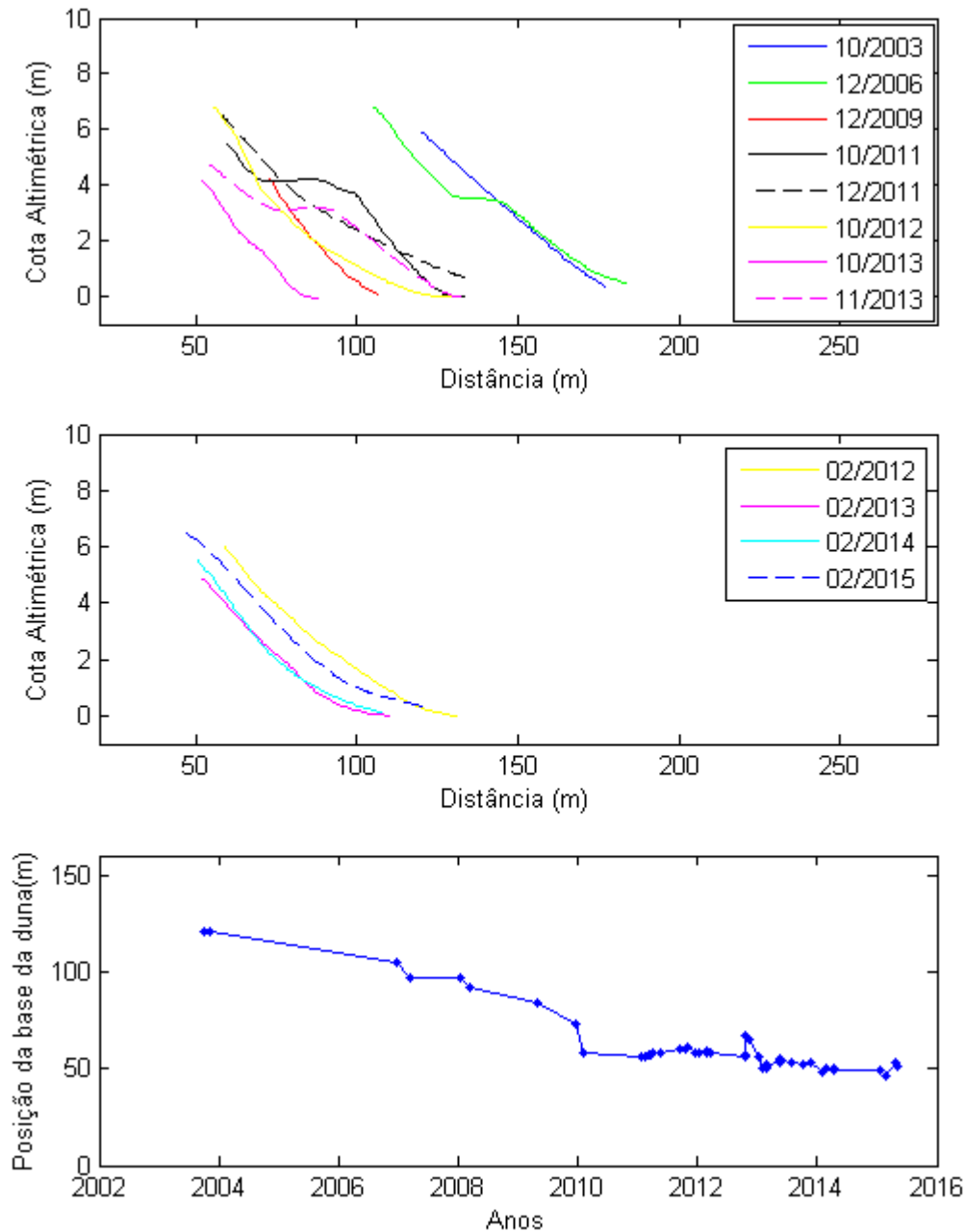


Figura 5. 16 - Perfis transversais da secção 8 (PT8): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT8 ao longo do período em estudo.

marítimo. O recuo da face da praia acontece entre 2012 e 2013, mantendo-se constante em 2014 e avançando em 2015. A posição da base da duna, nesta secção, sofreu um recuo de aproximadamente 70 metros, com decréscimo acentuado até 2010, mantendo-se depois aproximadamente estável, apenas com oscilações sazonais (Figura 5.16c).

Os perfis das secções 9 (Figura 5.17a) e 10 (Figura 5.18a) são os que apresentam maior variabilidade na posição da praia, com um recuo progressivo total que excede os 100 metros, entre 2003 e 2015.

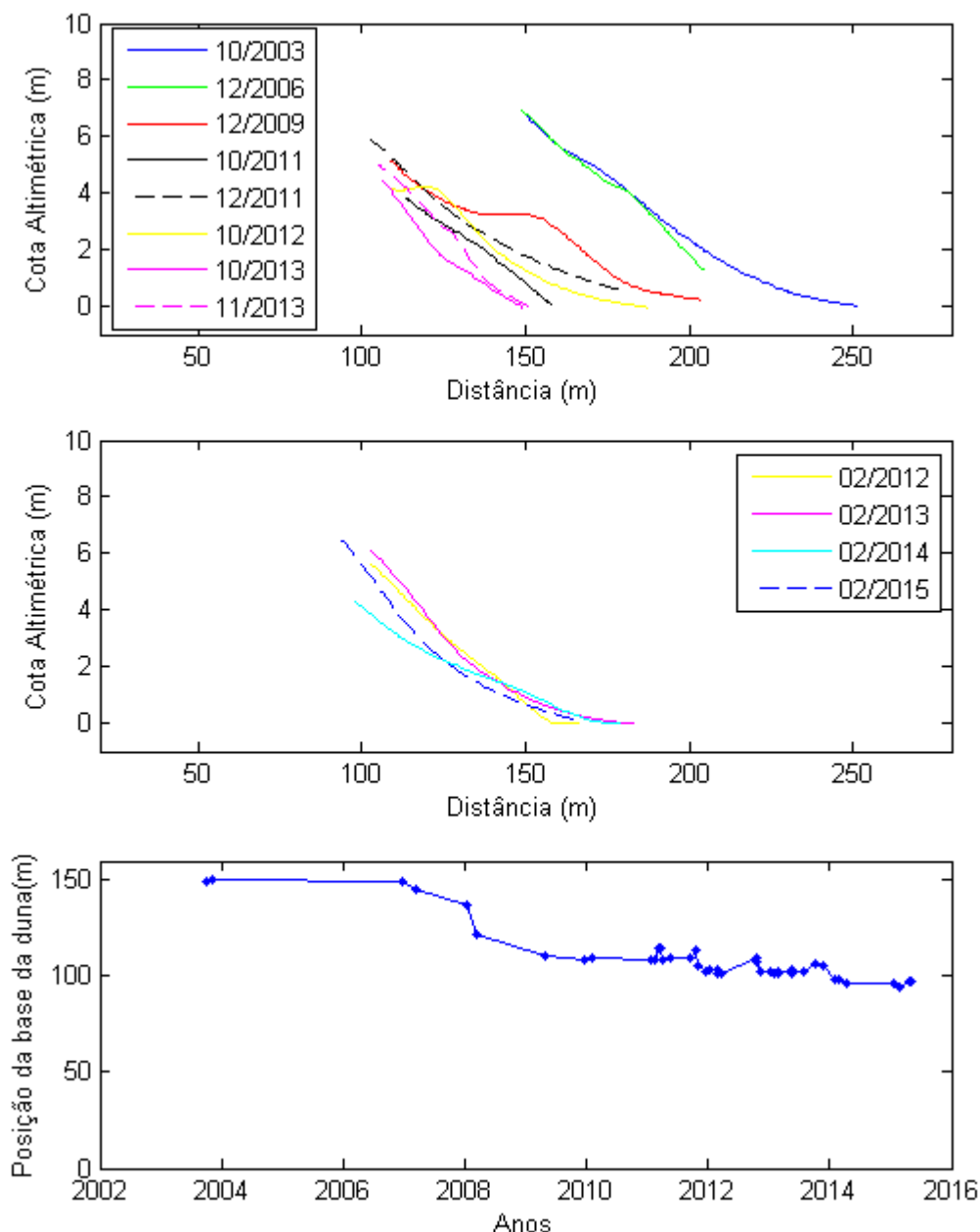


Figura 5. 17 - Perfis transversais da secção 9 (PT9): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT9 ao longo do período em estudo.

Na secção 9, os perfis transversais entre 2003 e 2009 apresentam um recuo de aproximadamente 50 metros (Figura 5.17a). Entre outubro e dezembro de 2011, nota-se um suavizar do declive do perfil e um avanço de cerca de 40 metros da posição da praia. Em 2013 a face da praia mostra um recuo de 100 metros em relação ao primeiro levantamento (2003). Nos meses de fevereiro (Figura 5.17b) há uma tendência estável no declive dos perfis, comparativamente aos meses de início de inverno marítimo, apenas com o perfil de 2014 a afastar-se da tendência geral, com diminuição ligeira do perfil.

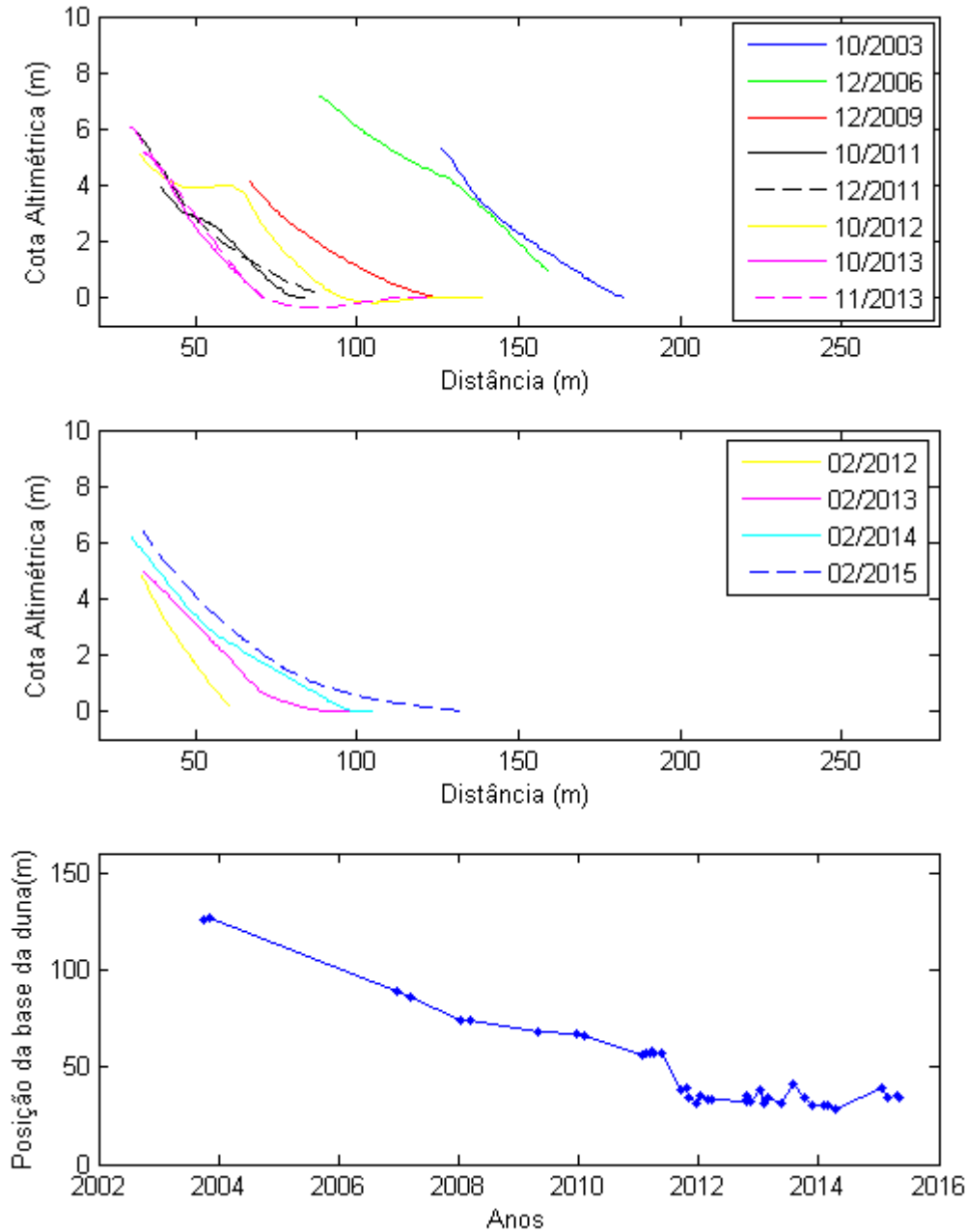


Figura 5. 18 - Perfis transversais da secção 10 (PT10): a) levantamentos realizados entre outubro e dezembro no período de estudo e b) levantamentos realizados em fevereiro no período em estudo; c) variação da posição da base da duna do PT10 ao longo do período em estudo.

Na secção 10, Figura 5.18a), o recuo acentuado entre 2003/2006 e 2009, demonstrado nos outros perfis, também aqui é evidenciado. Entre 2009 e 2011 o recuo de PT10 foi de aproximadamente 40 metros, avançando em 2012, mas voltando a recuar nos anos seguintes. A recuperação da praia em 2012 pode ser justificada pela construção de diques arenosos no ano de 2011. De realçar que entre outubro de 2011 e fevereiro de 2012 a praia emersa foi restringida a menos de 50 metros, mostrando que este perfil foi o que mais recuo de todo o segmento em estudo. Os perfis dos meses homólogos de fevereiro, ao contrário de todas as outras secções, mostram um avanço da face da praia entre 2012 e 2015 de aproximadamente 70 metros (Figura 5.18b). A posição da base da duna nesta secção foi a que mais recuo no período de estudo, com um recuo que excede os 90 metros (Figura 5.18c).

Relacionando os resultados obtidos nesta secção com os eventos de temporal (secção 5.1.2), observa-se, na generalidade, que os anos de maior recuo são os anos com o número mais elevado de eventos de temporal. Ainda assim, o impacto destes eventos nas secções é desigual. Os eventos ocorridos no início do estudo afetaram mais as secções a norte, e os eventos mais recentes, são responsáveis pelas variações mais a sul.

No mês de fevereiro não foi possível avaliar o recuo dos perfis, em todo o período de estudo, uma vez que as datas de levantamentos coincidentes apenas existem desde 2012. Os resultados obtidos para os anos analisados, apresentam as morfologias características de um perfil dissipativo e, recuos da praia moderados com o decorrer dos anos. Com exceção dos perfis da secção 10 (PT10), 9 (PT9) e 8 (PT8), todos os outros mostram um recuo da praia mais intenso nos anos 2013 e 2014 que, associando aos invernos marítimos correspondentes, 2012 e 2013 (Figura 5.5) respetivamente, é justificado pela elevada ocorrência de eventos, associada a alturas significativas acima da média. Se relacionarmos os valores do índice de potência com a diminuição dos volumes das secções (Tabela A2) estes mostram coerência.

As posições da base da duna ao longo das secções apresentam uma tendência espacial e temporal. Isto é, à medida que nos deslocamos para norte o recuo da duna aumenta progressivamente, por exemplo, entre 2003 e 2015 o recuo na secção 6 foi de 30 metros, na secção 8 de 70 metros e na secção 10 de aproximadamente de 100 metros. A tendência temporal da posição da base da duna para as secções mais a norte mostra recuos mais intensos nos primeiros anos de estudo entre 2003 e 2008/10 e menos intenso nos anos seguintes. Na maioria das secções, no inverno marítimo de 2013, observa-se um pico na posição da base da duna, associado ao seu recuo, coerente com a análise de eventos de temporal, que mostra o ano de 2013 como o mais intenso. A diminuição da cota entre 2006 e 2009, na maioria das secções, tem a ver com o colapso progressivo da duna frontal, associado à migração da praia para o interior.

5.1.3.4. Declive dos Perfis Transversais

Posteriormente foram determinados os declives dos perfis transversais de praia para cada secção e em todos os levantamentos. A média e o seu desvio estão representados na Figura 5.19 e 5.20; a primeira para cada secção e a segunda para cada levantamento. De uma forma geral, o declive dos diferentes perfis (Figura 5.19) varia entre 0.05 e 0.25, com a média mais próxima do declive mínimo, indicando por isso perfis maioritariamente dissipativos, facto que pode ser influenciado pela maioria dos levantamentos ter sido efetuado entre setembro e abril (apanhando maioritariamente o inverno).

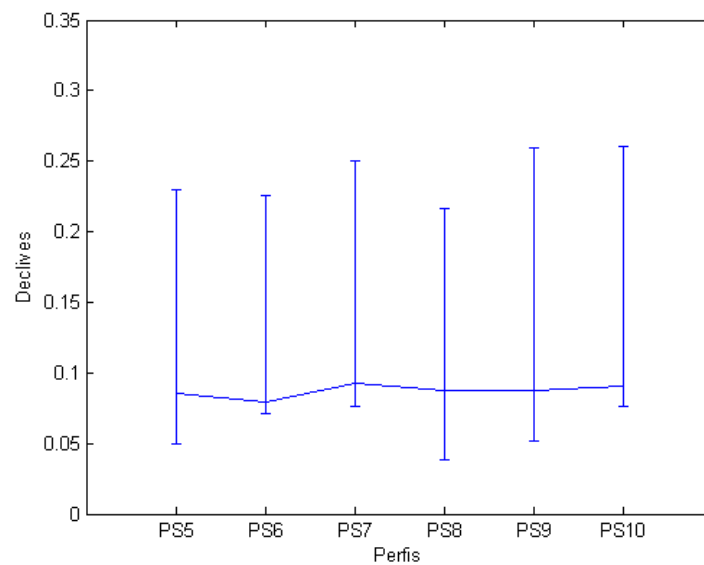


Figura 5. 19 - Variabilidade temporal da dispersão do erro relativamente à média dos declives por secção.

No que diz respeito à variação do declive dos perfis em todo o segmento e ao longo do período de estudo (Figura 5.20), as oscilações são mais acentuadas do que por secções. A média aumenta durante o verão marítimo e diminui no inverno, mostrando uma sazonalidade. Março de 2011 apresenta a média de declive mais baixa e julho de 2013 a mais alta. 2011 e 2013 são os anos com maior variabilidade morfológica. O ano de 2012 foi o que obteve declives mais constantes, perto de 0.1, mostrando uma praia de variabilidade morfológica pouco acentuada.

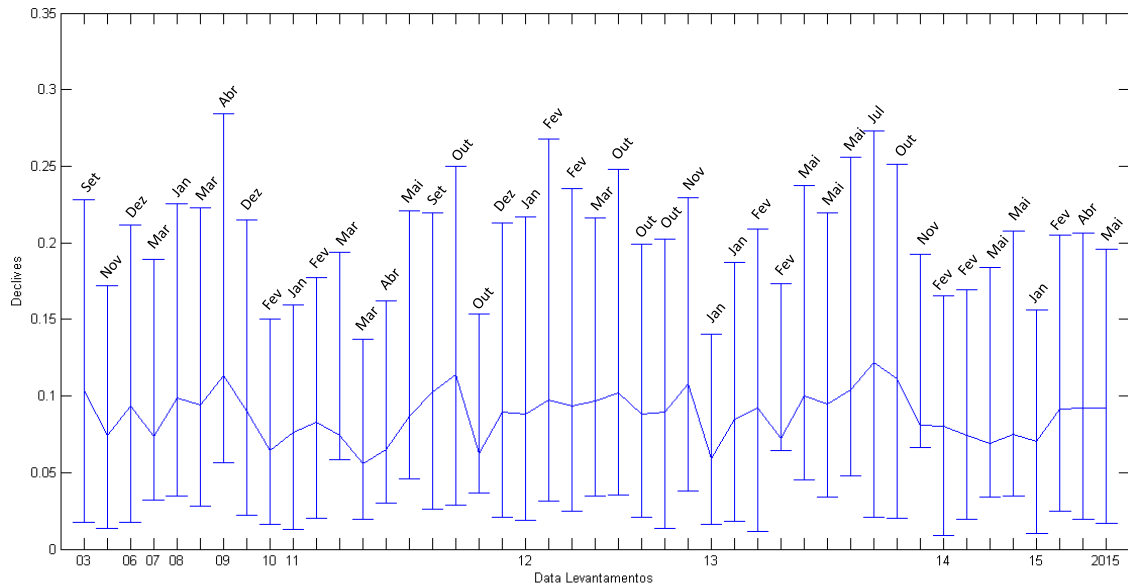


Figura 5. 20 - Variabilidade espacial dos declives do setor em análise ao longo do período em estudo.

5.1.3.5. Posição da Linha de Costa

Com o recuo da linha de costa, já provado por vários autores, a resposta da praia emersa, mais propriamente na média praia, permite avaliar as alterações morfológicas sofridas. O comportamento da isolinha dos 3 metros ao longo do período em análise, no segmento em estudo está representado na Figura 5.21. No gráfico da Figura 5.21a) está representado o intervalo entre 2003 e final de 2009. Verifica-se o recuo generalizado da isolinha em todo o segmento, sendo este mais acentuado a norte e menos a sul. Entre 2009 e 2013 (Figura 5.21b) é também evidente um recuo da isolinha, mas o comportamento altera-se, continuando o recuo a norte mais acentuado que a sul mas, na zona intermédia do setor as isolinhas sobrepõe-se, dando a indicação de que a variabilidade é nula e portanto, não havendo recuo. Na Figura 5.21c), está evidenciado um recuo menos acentuado, do que nos anos anteriores. No entanto, a posição da isolinha dos 3 metros sofreu uma ligeira rotação no sentido horário, o que pode significar que o recuo sofrido a norte, está a colmatar a sul, através de transporte longitudinal.

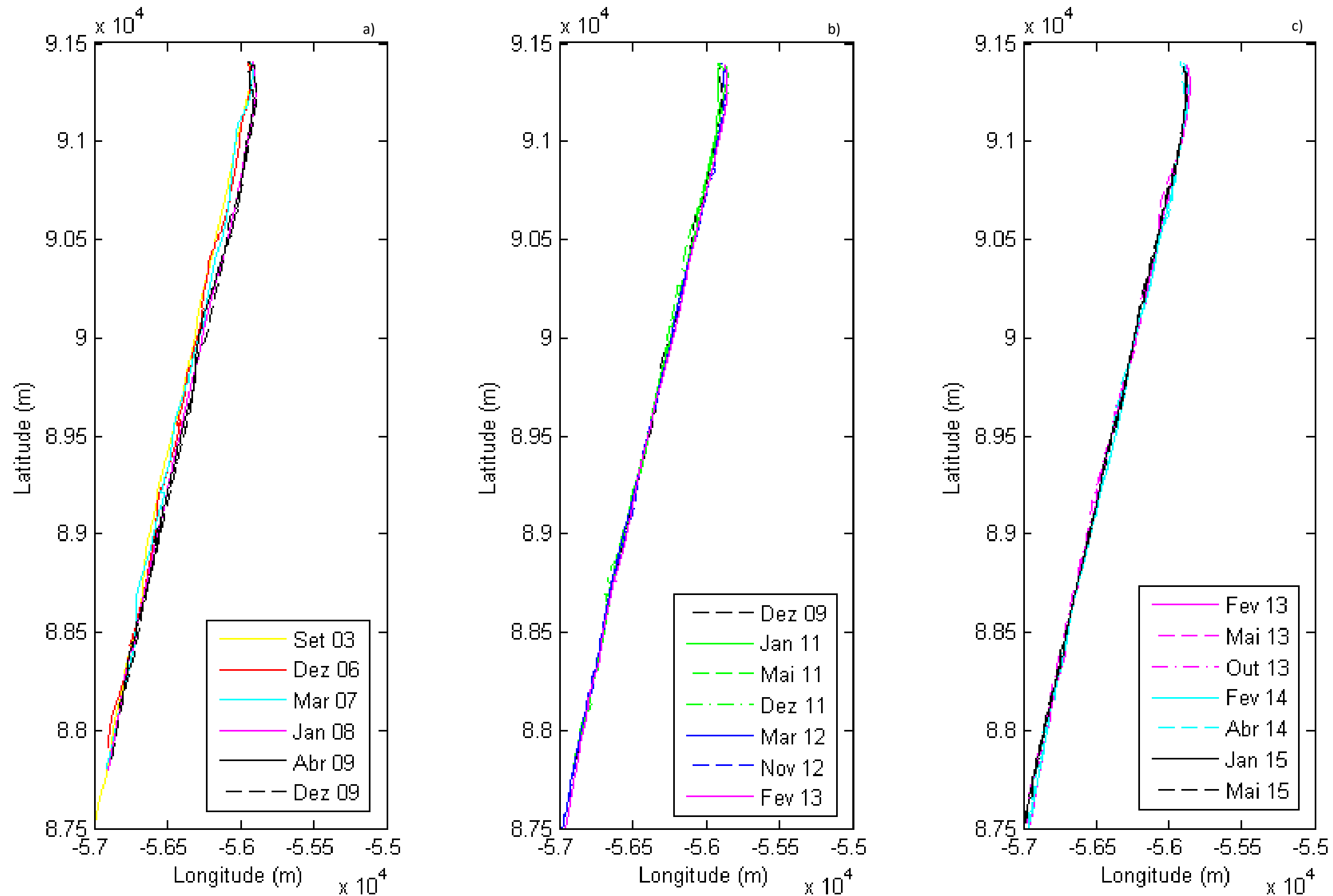


Figura 5. 21 - Variação da posição da isolinha dos 3 metros: a) entre 2003-2009, b) entre 2009-2013 e c) entre 2013-2015.

5.2. Curta escala Temporal

5.2.1. Clima de Agitação Marítima e Vento

O nível da superfície livre associada à maré astronómica, e os valores de Hs e da intensidade do vento medidos no período em análise, compreendido entre março e abril de 2015, estão representados nos gráficos da Figura 5.22.

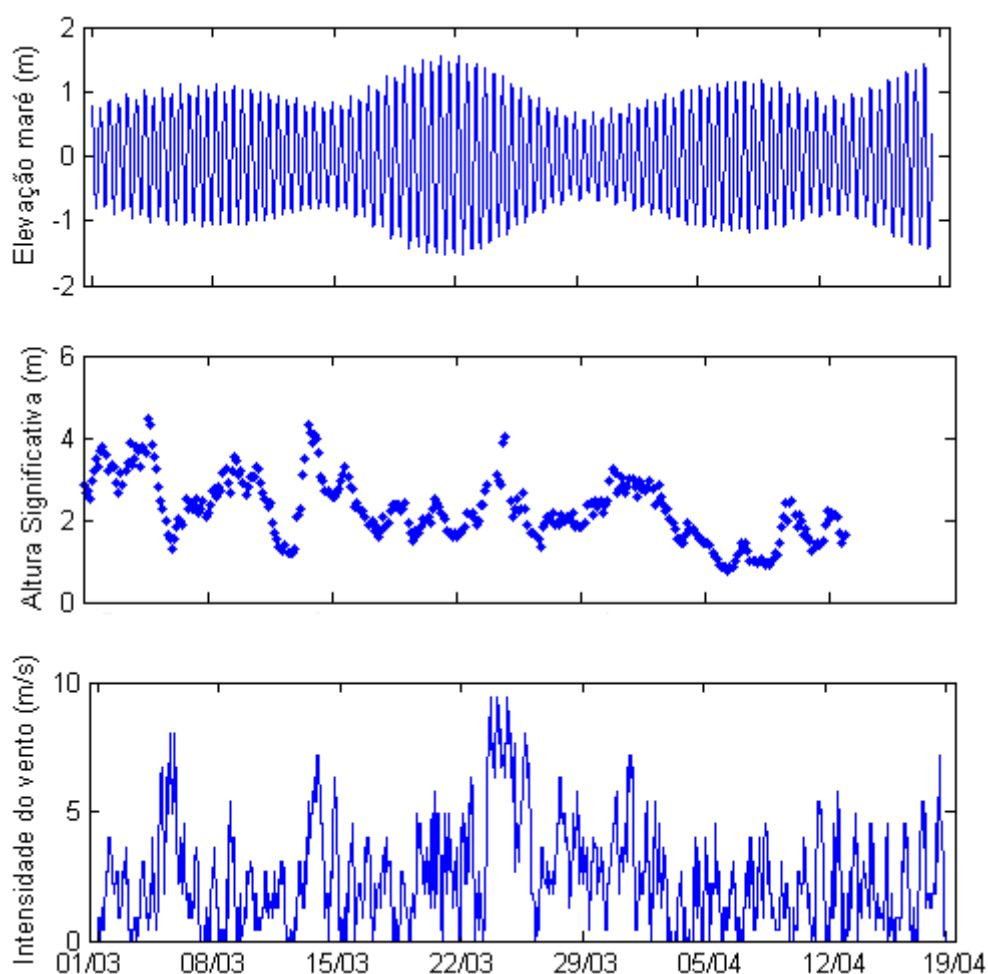


Figura 5. 22 - Elevação da superfície livre associada à maré astronómica, altura significativa das ondas (no meio) e velocidade do vento (em baixo).

A amplitude da elevação da superfície de maré varia entre o valor médio de 1.5 metros, em maré viva, e 1 metros em maré morta.

A altura significativa das ondas tem um valor médio de aproximadamente 2 metros. Foram registados três períodos com valores máximos de Hs superiores a 4 metros nos dias 3, 13 e 24 de março – este último coincidente com a maré viva. De acordo com Pinto et al. (2014) o evento do

dia 13 pode ser considerado como um evento de temporal, com duração de 15 horas e o valor máximo de Hs aproximadamente igual a 4.5 metros.

A velocidade do vento apresenta valores médios de 3 m/s, com máximos de 8, 7 e 9.5 m/s, observados nos dias 5, 13 e 24 de março, respetivamente.

5.2.2. Variabilidade Morfológica

A descrição da variabilidade morfológica do setor em estudo foi feita através dos perfis transversais extraídos nos locais denominados de P4 a P10 (Figura 4.8). Avaliando as variações da cota altimétrica ao longo do tempo e os declives associados.

5.2.2.1. Perfis Topográficos

A caracterização dos perfis foi feita através da comparação de cotas para cada perfil individual, ao longo do período em análise. A Figura 5.23a -g representa o perfil topográfico inicial da praia para cada setor (gráficos à esquerda) e a sua evolução ao longo do tempo de monitorização (gráficos à direita). Neste último, os pontos representam as datas em que se realizaram os levantamentos topográficos. Tal como referido na seção 4.2.1 as datas dos levantamentos correspondem aos dias 5, 7, 10, 13,15, 19,21 e 27 de Março, e no dia 10 de Abril. Em cada gráfico as setas indicam os eventos de temporal dos dias 3, 13 e 24 de março (seta a bold indica que o temporal coincidente com marés vivas).

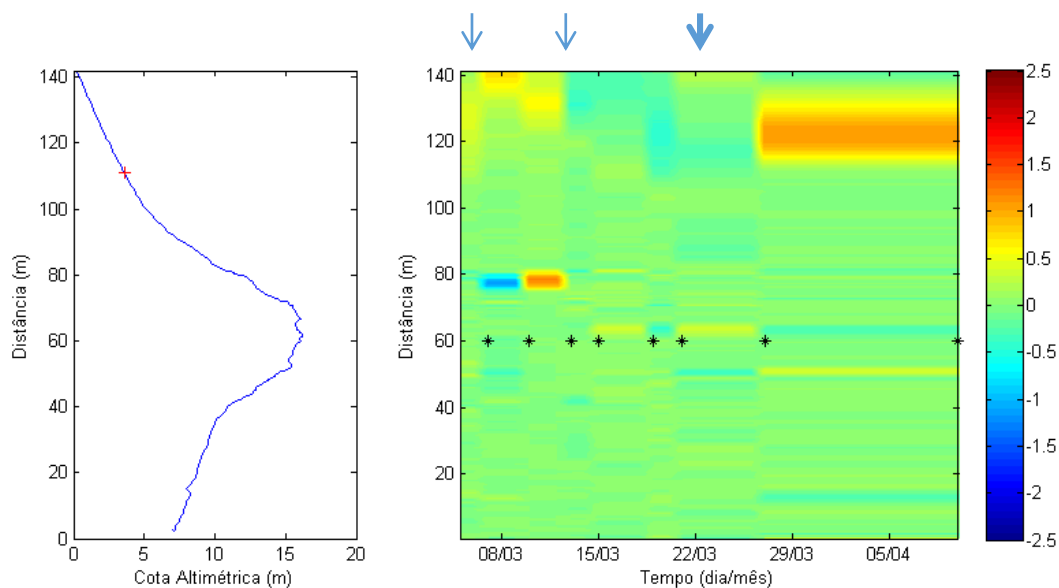


Figura 5. 23a - Perfil topográfico 4 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

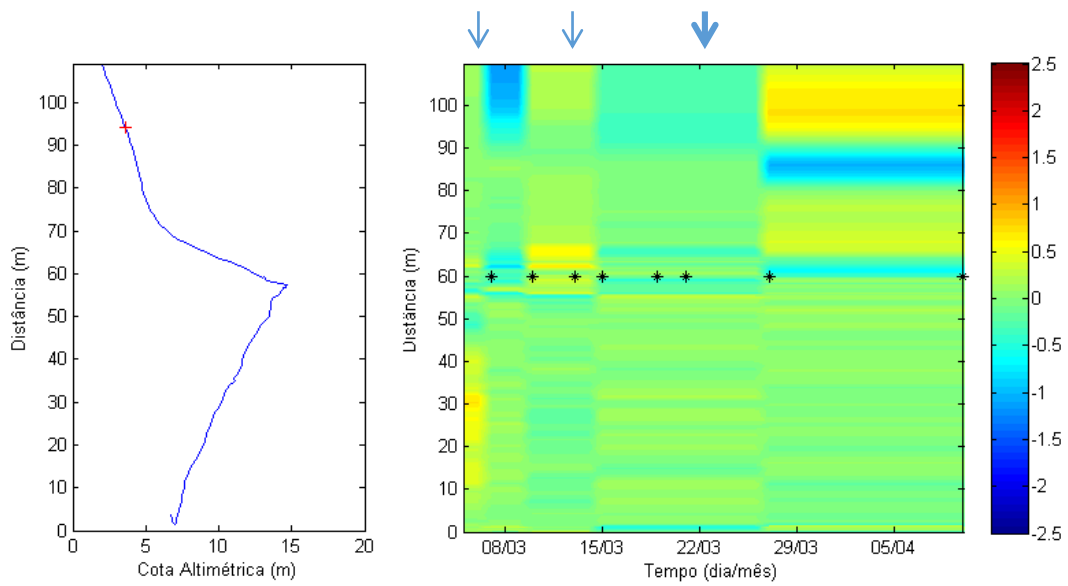


Figura 5. 23b - Perfil topográfico 5 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

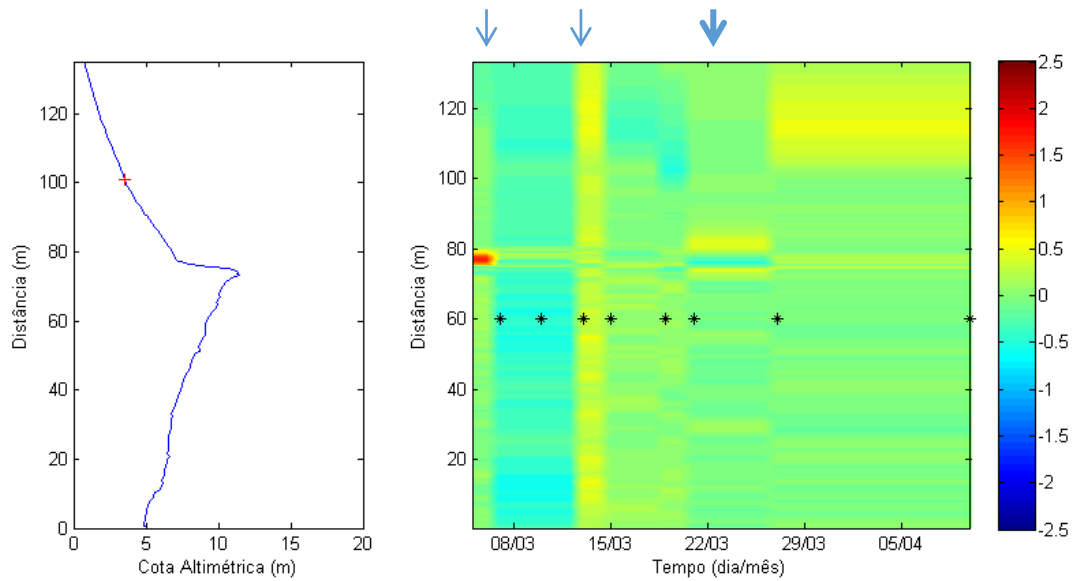


Figura 5. 23c - Perfil topográfico 6 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

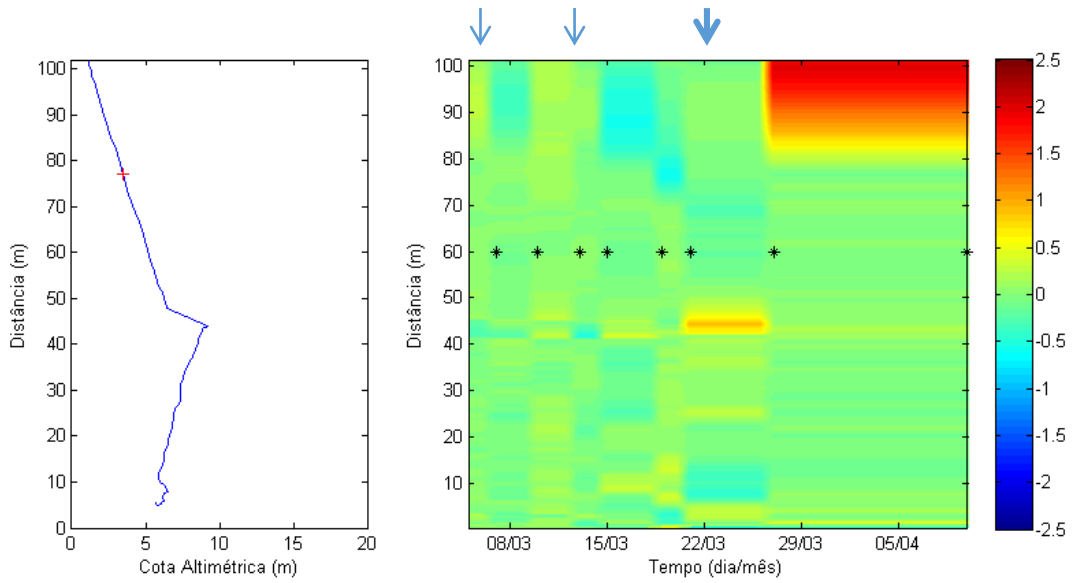


Figura 5. 23d - Perfil topográfico 7 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

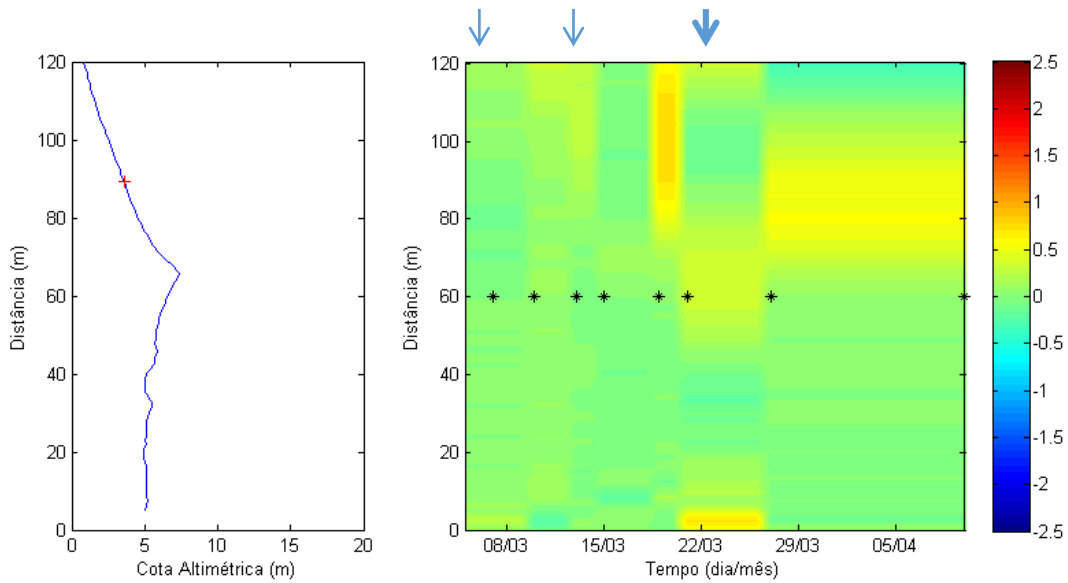


Figura 5. 23e - Perfil topográfico 8 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

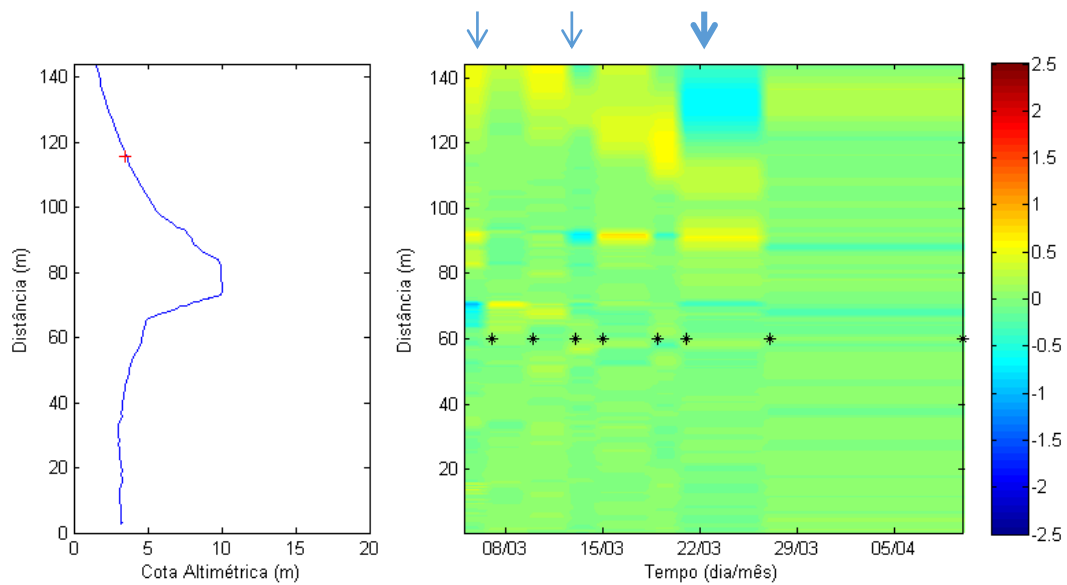


Figura 5. 23f - Perfil topográfico 9 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

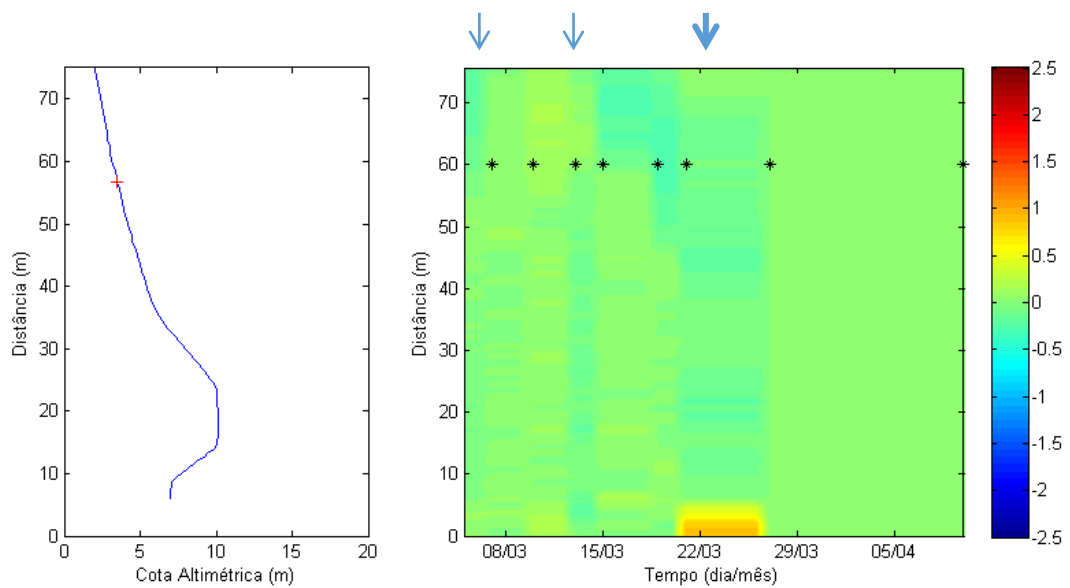


Figura 5. 23g - Perfil topográfico 10 em função da distância – a origem representa a estaca colocada na parte anterior da duna. O ponto vermelho representa o pico máximo atingido pela maré astronómica (gráfico à esquerda); Diferenças de cota altimétrica (m) para o período em análise no perfil (gráfico à direita).

A análise da Figura 5.23a-g mostra que, em geral, as variações da topografia da praia ocorrem sobretudo na face da praia, que está sujeita ao espraio da ondas e, são muito pequenas na face posterior da duna.

No perfil 4 é observável uma variação na face da praia e da crista da duna, na forma de acreção, nos primeiros levantamentos, seguida de uma pequena perda de sedimento na parte baixa da praia. Nos últimos levantamentos, observa-se uma mancha de acreção intensa que atinge uma parte mais intermédia na face da praia. As variações observadas na face posterior da duna durante os primeiros quatro levantamentos podem dever-se a erros de medição dada a inclinação do perfil.

No gráfico do perfil 5 são visíveis alterações na morfologia da praia emersa e topo da duna, como também na parte de trás da duna, embora com menor intensidade. A erosão visível entre o terceiro e segundo levantamento na face da praia poderá estar relacionada com a altura significativa superior a 3 metros ocorrida nesse intervalo de tempo. Entre os dois últimos levantamentos, observam-se alterações da morfologia desde o topo da duna à face da praia, podendo relacionar a acreção representada na face da praia, com o transporte da parte superior da mesma (erosão entre os 80 e 90 metros).

O perfil 6 apresenta modificações ligeiras na morfologia da praia, com erosão na face da praia e acreção na crista da duna, nos primeiros dias de levantamentos. Seguido de sedimentação no 4º dia de levantamento, em todo o perfil. Nos últimos levantamentos é observável uma ligeira acreção na zona baixa da praia, também representada nos perfis anteriores.

O perfil 7 apresenta valores de acreção no topo da duna entre os dias 21 e 25 de março. A justificação para este facto, uma vez que não há alteração na face da praia, pode estar na intensificação do vento nesses mesmos dias (Figura 5.22), proporcionando um transporte eólico forte. Novamente na data dos últimos levantamentos, é visível acreção na parte baixa da praia, mostrando coerência com os outros perfis. Se relacionarmos com o clima de agitação, a face da praia sofreu erosão em resposta ao primeiro e segundo temporal registados, mas para o terceiro essa erosão não foi tão significativa.

O gráfico do perfil 8 apresenta uma menor variabilidade morfológica, com valores de acreção inferiores aos dos outros perfis, mas com coerência local. Novamente, observou-se acreção no topo da duna entre os dias 21 e 25 de março, e na face da praia nos últimos levantamentos. De realçar que toda a face da praia sofreu acreção – até à base da duna, contrariamente aos restantes perfis, onde a acreção se verificou apenas na parte baixa da praia, o que se deve, provavelmente, ao facto da praia ser mais dissipativa neste perfil.

No caso dos perfis 9 e 10, com a existência do dique arenoso e o facto de à data dos primeiros levantamentos este ainda estar em fase final de construção, apenas será considerado como realista a variação da face da praia.

No perfil 9 são visíveis valores ligeiros de acreção e erosão ao longo do período em estudo, com os valores de acreção nos primeiros levantamentos, e erosão entre 21 a 25 de março. A diminuição da intensidade destes processos pode ser justificado pelo efeito sombra do esporão.

No perfil 10 as variações morfológicas são praticamente nulas, sendo ainda assim visíveis valores de erosão na face da praia entre os dias 15 e 25 de março. De notar, que nos últimos levantamentos não são observáveis mudanças, contrariando a tendência dos perfis anteriores. As poucas alterações são coerentes com a localização deste perfil, uma vez que se encontra na zona de sombra do esporão do Poço da Cruz. A forte acreção da parte posterior da duna verificada entre 21 e 26 de março resultou do deslizamento da parte posterior do dique em construção.

5.2.2.2. Declives

O declive de cada perfil foi determinado e representado através da sua média e desvios, tendo em conta as variações espaciais e temporais. Na Figura 5.24a) estão representadas as variações dos perfis ao longo do tempo, e à direita as variações temporais (Figura 5.24b). No gráfico das variações

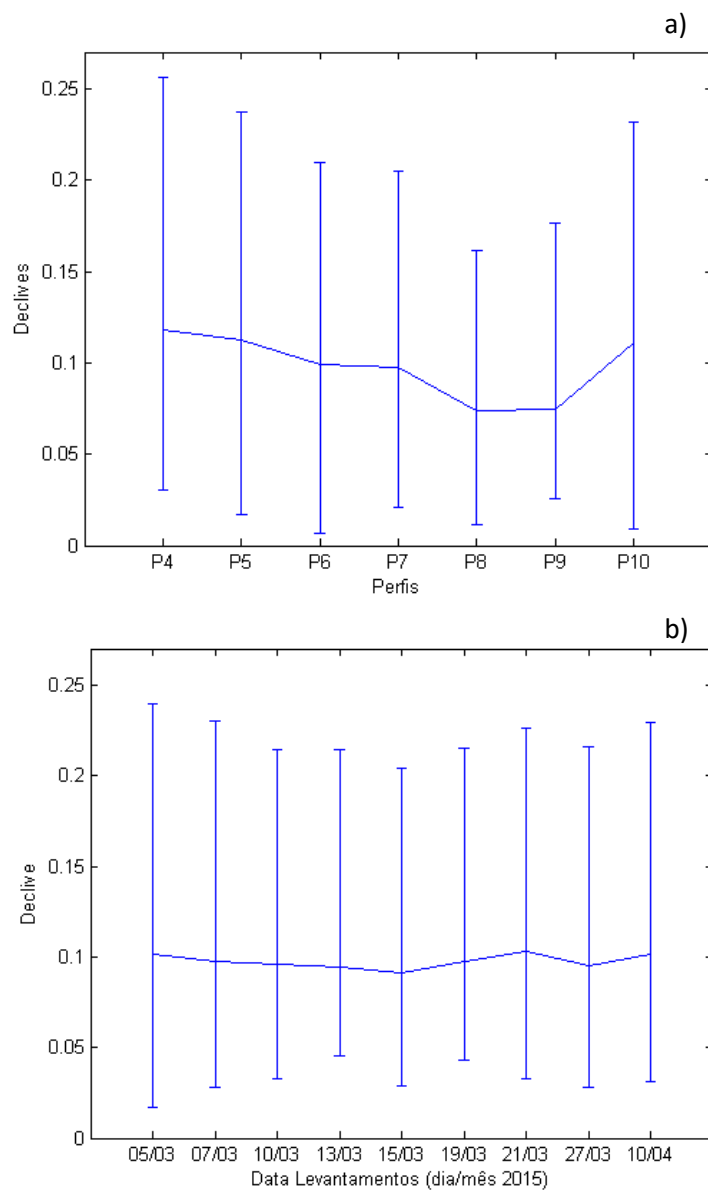


Figura 5. 24 - Variabilidade da dispersão do erro relativamente à média dos declives: a) temporal e por secção e b) espacial por levantamento, no período em análise.

espaciais é observável que, à medida que avançamos para norte, o declive médio da face da praia diminui, com exceção do perfil 10. De uma maneira geral, os declives sugerem que a praia se encontra em transição entre os perfis típicos de verão e inverno, uma vez que a média é idêntica ao valor médio. De realçar que a amplitude da dispersão dos resultados é menor para os perfis mais dissipativos, o que significa que a praia nesses perfis possui uma menor capacidade de recuperação sedimentar no período de estudo.

No que diz respeito às variações temporais (Figura 5.24b), o declive dos perfis à medida que se avança no período de estudo, mantém-se mais ou menos estável, com um ligeiro aumento entre os levantamentos do dia 15 a 21 de março, voltando a diminuir até ao final da análise. Esta variação já foi referenciada na caracterização dos perfis, sendo detetada acreção na baixa praia, devido à baixa ondulação que se fez sentir entre 15 e 21 de março.

5.2.2.3. Isolinhas

Na Figura 5.25 estão representadas as posições das isolinhas dos 1, 2, 3, 4 e 5 metros, ao longo do tempo, para os perfis estudados. Em cada gráfico as setas indicam os eventos de temporal dos dias 3, 13 e 24 de março (seta a bold indica que o temporal coincidente com marés vivas).

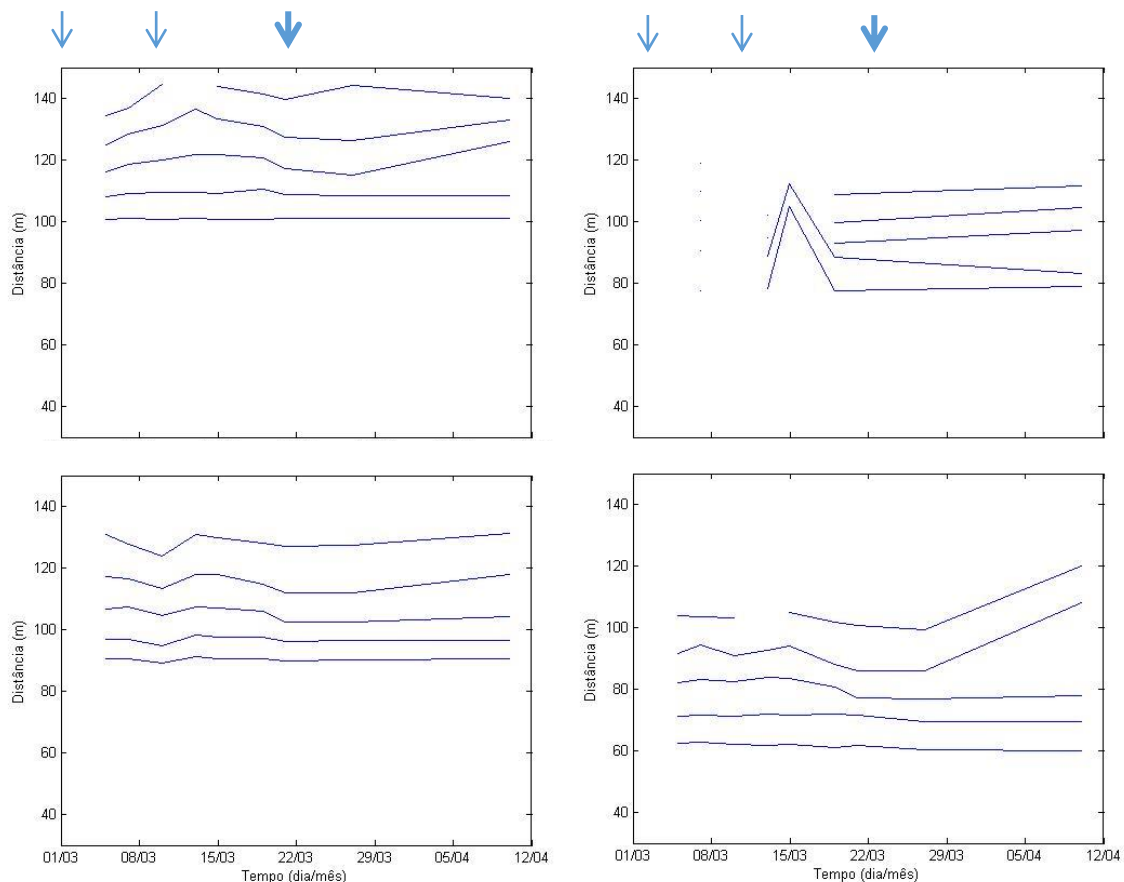


Figura 5. 25 - Variabilidade da face da praia, isolinhas de 1, 2, 3, 4 e 5 metros, de cima para baixo, respetivamente. Perfis: 4 (canto superior esquerdo), 5 (canto superior direito), 6 (canto inferior esquerdo), 7 (canto inferior direito).

A Figura 5.25 mostra que as isolinhas dos primeiros 3 metros apresentam uma maior variabilidade do que as restantes, o que era de prever uma vez que a ação da água nesses locais faz-se sentir com a subida e descida da maré. Esta variabilidade traduz-se em avanços e recuos da linha de costa, associados à acreção/erosão verificada na Figura 5.23. Após o evento de temporal de 13 março e até 22 de março, verificou-se um recuo da posição das isolinhas dos 1, 2 e 3 m em todos os perfis; posteriormente, após o dia 25 de março, verifica-se uma migração das isolinhas do 1, 2 e 3 metros, estando em coerência com a sedimentação ilustrada nos contour's e sendo justificada pelo decréscimo da altura significativa da ondulação (recuperação da praia).

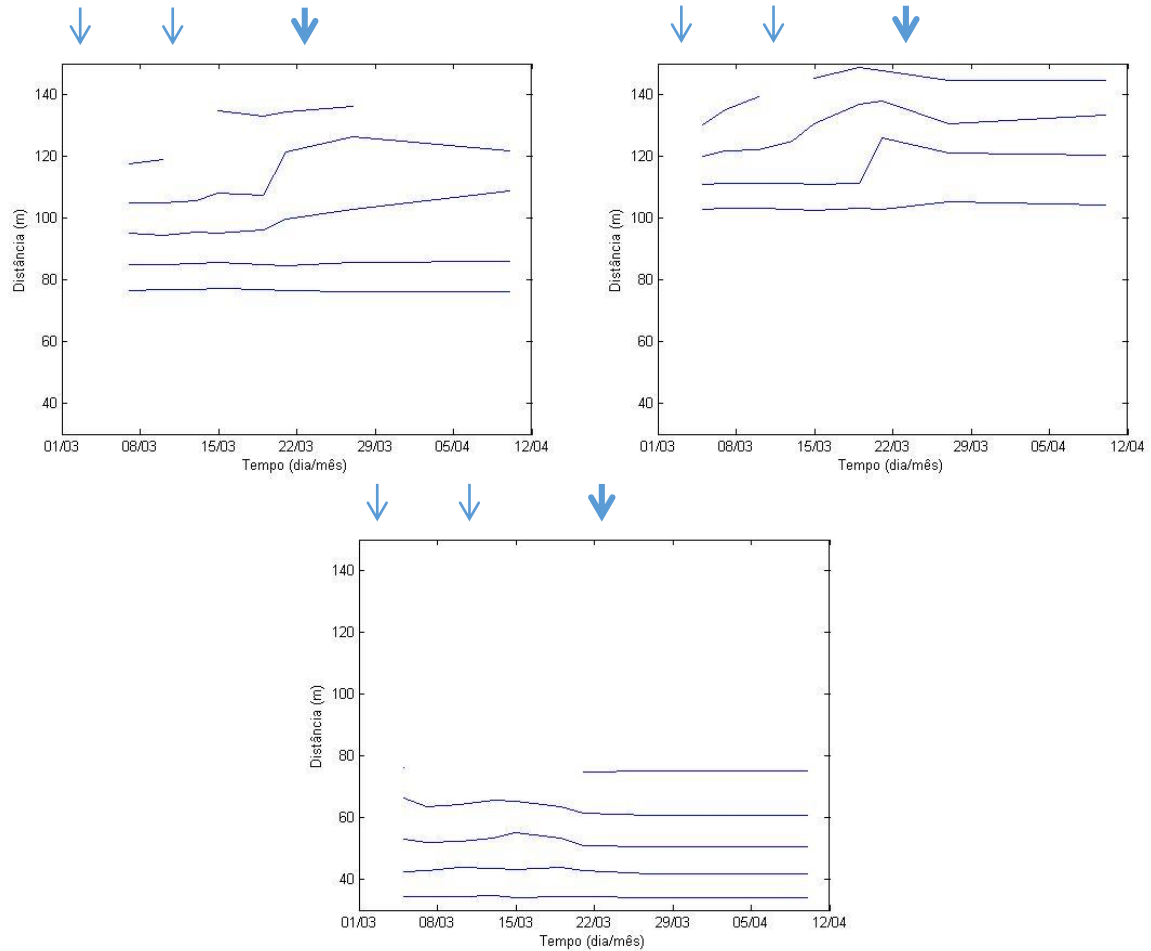


Figura 5.25 – (cont.) Perfis: 8 (canto superior esquerdo), 9 (canto superior direito) e 10 (em baixo).

CAPÍTULO 6 - Conclusão

6.1. Considerações Finais

O segmento de praia em estudo é caracterizado como de elevada fragilidade ao clima de agitação marítima, sendo por isso, considerado como tendo elevado risco de erosão costeira. O presente trabalho teve como principal objetivo estabelecer a relação entre as condições de agitação marítima e a evolução do balanço sedimentar, no troço costeiro entre o Poço da Cruz e a Praia de Mira. Este estudo foi dividido em duas escalas temporais: médio prazo, que contempla a última década e, curto prazo, incidente apenas num período de um mês. Na evolução de média escala temporal são avaliadas as alterações morfológicas devidas a eventos extremos de temporal, enquanto na evolução de curta escala, é caracterizada a resposta da praia pós-temporal, tendo em conta a agitação incidente e o vento.

6.1.1. Média Escala Temporal

A caracterização dos eventos de temporal permitiu definir 144 eventos extremos entre outubro de 2003 e maio de 2015, sendo 2009 o ano com maior número de ocorrência e 2012 o menor. A altura significativa máxima atingida em cada evento foi, em média, 5.3 metros e a direção de ondulação predominante proveniente dos quadrantes NW e WNW. O índice de potência de temporal mostrou o ano de 2013 como o mais erosivo, embora tenha sido em 2003 que ocorreu o temporal com maior potência de erosão, cerca de $20 \times 10^3 \text{ m}^2\text{h}$.

A variabilidade morfológica observada no setor em estudo pode ser dividida em duas fases. A primeira de 2003 a 2010 e a segunda, de 2011 até ao presente. Os resultados obtidos através do cálculo de volumes mostram uma variação acentuada dos mesmos, na primeira fase, com valores que atingem os $150 \text{ m}^3/\text{m}$. Na segunda fase são também visíveis variações de volume absoluto mas, relacionadas com a sazonalidade, mostrando uma tendência de estabilidade com diminuições de volume no início do inverno e depois crescente, respondendo à agitação marítima. As áreas da zona de estudo apresentam valores bem correlacionados com o volume. A diminuição do volume absoluto da praia entre 2003 e 2011 deveu-se à construção do esporão do Poço da Cruz e à subsequente retenção de areias a barlar do mesmo, podendo a colmatação do esporão, ter contribuído para estabilização do volume da praia a partir de 2011. Entre 2013/14 é observado o aumento do volume da praia, entre o início e o fim do inverno marítimo. Através dos resultados obtidos para a posição da base da duna neste período, pode-se associar este aumento à erosão da duna.

A divisão do segmento de costa em seções permitiu compreender que o setor não responde de maneira uniforme às condições de agitação, embora as morfologias da praia não se alterem significativamente, mostrando perfis mais refletidos no início do inverno marítimo (outubro) e perfis completamente dissipativos no fim (fevereiro). Com exceção da secção 5, todas as outras seções apresentaram um recuo da face da praia e base da duna (migração da praia para o interior) ao longo do tempo em estudo, com valores mais elevados a norte do que a sul. A tabela de volumes apresentada em anexo e a determinação da posição da isolinha dos 3 metros, permitiu

compreender que o recuo mais acentuado da base da duna a norte deveu-se à construção do esporão. A sul verificou-se menos recuo, que pode ser justificado pelo transporte longitudinal ocorrente no troço. Nos anos mais recentes, aproximadamente desde 2012, o troço a sul demonstrou um recuo da base da duna mais acentuado que nos anos anteriores, associado à rotação no sentido horário. Ainda assim, os valores do volume por secção são superiores na zona sul do troço e inferiores na zona norte.

A periodicidade dos levantamentos a partir de 2011 permitiu relacionar mais facilmente as variações morfológicas da praia com os eventos de temporal. Até 2010, os levantamentos eram muito espaçados dificultando o estudo e impossibilitando uma análise mais detalhada e concreta dos resultados obtidos, sendo uma falha importante uma vez que foi durante os anos de 2006 e 2010 que houve maiores variações.

6.1.2. Curta Escala Temporal

A análise dos levantamentos topográficos realizados no troço costeiro entre o Poço da Cruz e a Praia de Mira mostra que a face da praia é a zona que mais variabilidade morfológica sofre, como a maioria dos perfis mostram, variando entre erosão e acreção, consoante os parâmetros hidrodinâmicos. Alturas significativas da ondulação maiores, associadas a eventos de temporal, induzem perda de sedimento na face da praia, como por exemplo, a observada entre os dias 13 e 22 de março. Alturas significativas menores - inferiores a 3 metros, proporcionam um aumento da cota altimétrica, como mostram os valores obtidos nos últimos levantamentos.

A resposta dos perfis às variações da agitação marítima é desigual no troço costeiro. Os perfis localizados junto ao esporão de Poço da Cruz, mais a norte (9 e 10), foram os que sofreram menores alterações. Nestes perfis está presente um comportamento mais dissipativo da praia, em que a recuperação sedimentar é menos evidente e a erosão sedimentar também não é tão pronunciada (o gráfico das isolinhas na Figura 5.25 mostra uma maior estabilidade, comparativamente aos outros perfis). A localização desses perfis na zona de sombra do esporão (mais abrigados da agitação marítima incidente do quadrante NW) e o facto, da existência de um dique pode contribuir para a alimentação da praia sub-aérea e gerar estes resultados. No domínio mais a sul do troço costeiro, verifica-se uma melhor resposta da praia às condições de agitação, do ponto de vista da recuperação sedimentar (possivelmente em virtude da maior disponibilidade sedimentar). Nesses mesmos perfis a erosão da face da praia parece também ser mais evidente quando as condições de agitação são mais energéticas.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Este trabalho, de uma forma geral, mostrou alterações na dinâmica sedimentar no troço em estudo. Os resultados obtidos indicam que o processo de ajustamento do segmento à construção ainda não terminou, observando-se um ajustamento da linha de costa através da sua rotação. Por essa razão,

é de esperar que no futuro próximo as zonas a sul sejam as que sofreram maior impacto devido aos temporais.

Desta forma propõe-se:

- Um acompanhamento e monitorização mais focado em eventos extremos - levantamentos topográficos antes e depois de eventos de temporal, de forma a poder desenvolver um método de previsão de potencial erosão, tendo em conta as características morfológicas das praias.
- O caracterizar com fiabilidade as variações volumétricas definindo a origem do sedimento que alimenta o balanço sedimentar – erosão às dunas, seria um ponto bastante importante uma vez que a zona de estudo foi fustigada pelo recuo da praia.
- Acompanhar o setor analisado de forma a avaliar e perceber as taxas de rotação da praia e os riscos associados.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente, 2012. *Demarcação do Leito e da Margem das Águas do Mar na Orla Costeira Ovar-Marinha Grande*.

Alcántara-Carrió, J, Costas, S., Delgado, I., Alejo, I., Alonso, I., Hernández, L., 2005. *Factores que Controlan la Interacción Sedimentaria en el Sistema Duna-Playa*. Universitat de València.

Andrade, C., Freitas, M., 2002. *Climate change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation: SIAM Project*. 173-219.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Taborda, R., 2006. *Large Scale Morphodynamics Characterisation of Exposed Sandy Beaches by DGPS*. Journal of Coastal Research, SI 39, 355 – 359.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Cunha, T., Dias, J., 2008. *Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS*. J. Coast. Res. 24 (6), 1516–1528.

Baptista, P., Bernardes, C., Cunha, T.R., 2011. *The Validation Analysis of the INSHORE System - A Precise and Efficient Coastal Survey System*. Environ. Monit. Assess. 179 (1–4), 589–604.

Baptista, P., Coelho, C., Pereira, C., Bernardes, C., Veloso-Gomes F., 2014. *Beach morphology and shoreline evolution: Monitoring and modelling medium-term responses (Portuguese NW coast study site)*. Coastal Engineering 84 (2014) 23–37.

Coelho, C., 2005. *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404 pp.

Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., 2009. *Potential Effects of Climate Change on Northwest Portuguese Coastal Zones*. ICES Journal of Marine Science, 66: pp. 1497–1507.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J., 2001. *Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa*. Proceedings of 2ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, International Navigation Association PIANC, Sines, Portugal.

Cunha, T., 2002. *High Precision Navigation Integrating Satellite Information – GPS – And Inertial System Data*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto. 215 p. Citado em Baptista et al., 2008.

Dias, J.A. (2005). *Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos e Naturais*. Encontros Científicos - Turismo, Gestão, Fiscalidade, 1: pp. 7-27.

Dias, J. M. A., Ferreira, Ó., Pereira, A. R., 1994. *Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré*. http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_EspinhoNazare.html (acedido em 28 novembro 2015).

Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R., 2010. *Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades*. *Ocean Modelling*, 31: 120-131.

Dolan, R., Davies, R.E., 1994. Coastal storm hazards. *J. Coast. Res.* SI 12, 103–114. Citado por Senechal *et al.*, 2015.

Ferreira, Ó., 1993. *Caracterização dos Principais Fatores Condicionantes do Balanço Sedimentar e da Evolução da Linha de Costa entre Aveiro e O Cabo Mondego*. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa.

Ferreira, Ó., Dias, J. M. A., 1991. *Evolução Recente de Alguns Troços do Litoral entre Espinho e o Cabo Mondego*. Actas do 2º Simpósio sobre a Proteção e Valorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz, IHRH. Oporto, 85-95.

Ferreira, Ó., Dias, J. M. A., 1992. *Dune Erosion and Shoreline Retreat Between Aveiro and Cape Mondego (Portugal). Prediction of future evolution*. Proceedings of the international coastal congress, pp: 187–200.

Fortunato, A., Oliveira, F., Oliveira, A., Sancho, F., Freire, P., 2008. *Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Proteção*. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8 (1), pp. 45-63.

IH, 1990. *Roteiro da Costa de Portugal*. 2ª edição; Ministério da Defesa Nacional, Marinha. Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Komar, P. D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation*, 2nd edn. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. pp. 544.

Li, F., Roncevich, L., Bicknell, C., Lowry, R., Ilich, K., 2009. *Storm Waves and Their Temporal and Directional Distribution, Perth, 1994-2008*. 5th Western Australian State - Coastal Conference 2009, 9 p.

Maia, A., 2012. *Evolução litoral entre a Vagueira e a Praia de Mira - análise geoeconómica*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 72 p.

Masselink, G., Short, A.D., 1993. *The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model*. *Journal of Coastal Research*, 9(3). 785-800.

Oliveira, I., 1997. *Proteger ou não proteger ou sobre a viabilidade de diferentes opções face à erosão da costa oeste portuguesa*, Coleção de ideias sobre a zona costeira de Portugal, pp. 205–227, Associação Eurocoast-Portugal, Portugal (in Portuguese). Citado em Coelho *et al.*, 2009.

Pinto, J., Mota, P., Costa, R., 2014. *Evolução da Climatologia de Agitação Marítima em Portugal Continental*. Atas das 3^{as} Jornadas Eng Hidrográfica, Instituto Hidrográfico.

Pinto, L., 1993. *Morfosedimentogénese e Ambiente da Ria de Mira*. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa. 186 p. Citado em Ferreira, Ó., 1998.

Pita, C. A., Santos, J. A., 1989. *Análise dos Temporais da Costa oeste de Portugal Continental (1956 a 1988)*. Relatório PO_WAVES 1/89-A, 29 p.

POOC, 2012. Plano de ordenamento da orla costeira Ovar – Marinha Grande (Portuguese coastal management plan). Consorcio CEDRU/Universidade de Aveiro. Instituto da Água, I.P. Citado em Baptista *et al.* 2014.

Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral, 2014. *Gestão da Zona Costeira – O Desafio da Mudança*. Pp: 22- 38.

Rey, S., Bernardes, C., 2004. *Short-term Morphodynamics of Intertidal Bars. The case of Areão Beach*. J. Coast. Res. 39, 588–593.

Rosa, T. L., Barata, A., Geadas Cabaço, J., Teles, M., 2012. *Intervenções de Dragagem na Barra de Aveiro (Portugal) e de Protecção da Zona Costeira a sul*. Journal of Integrated Coastal Zone Management 12(1):57-78.

Santos, C., 2014. *Evolução Morfodinâmica da Restinga do Douro a Várias Escalas Temporais*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Silva, P., 2012. *A tendência da linha de costa entre as praias de Maceda e S. Jacinto*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Soares, M., Bernardino, M., Rusu, L., Pilar, P., 2008. *Implementação de um Sistema de Previsão da Agitação Marítima para os Portos de Leixões e Sines*. O Sector Marítimo Português, pp: 397 – 411.

Tomás, J., 1995. *Caraterização Morfológica e Textural do Litoral entre Espinho e Cabo Mondego*. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa. 195 p. Citado em Ferreira, Ó., 1998.

Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J., Drago, T., 2002. *Winter dynamics on the northern Portuguese shelf*. Part 1: physical processes. Prog. Oceanogr. 52, 129 – 153.

Wang, P., Kirby, J.H., Haber, J.D., Horwitz, M.H., Knorr, P.O., Krock, J.R., 2006. *Morphological and sedimentological impacts of Hurricane Ivan and immediate poststorm beach recovery along the Northwestern Florida Barrier-Island Coasts*. Journal of Coastal Research, 22(0), 000–000

Wright, L.D., Short, A.D., 1984. *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis*. Marine Geology, 56: 93-118.

Zhang, K., Douglas, B. C., Leatherman, S. P., 2000. *Twentieth – Century storm activity along the U.S. East Coast*. Journal of Climate 13: 1748-1761.

Anexos

Tabela A. 1 – Data dos eventos de temporal identificados entre outubro de 2003 e maio de 2015, com altura significativa máxima, persistência do evento e potencial de erosão associado.

Data	H _{smáx} (m)	Duração (h)	P _s (m ² h)
2003/10/30	11.5	75	9919
2003/11/03	4.7	39	862
2003/11/07	6.1	54	2009
2003/11/12	4.8	69	1590
2003/11/15	6.1	30	1116
2003/11/26	6.5	54	2282
2003/11/30	4.6	57	1206
2003/12/28	5.3	30	843
2004/01/08	5.4	693	20208
2004/03/10	4.7	126	2783
2004/03/19	5.3	93	2612
2004/03/31	4.8	69	1590
2004/04/18	6	111	3996
2004/05/05	5.8	45	1514
2004/10/09	4.2	30	529
2004/12/01	4.5	30	608
2004/12/17	4.3	30	555
2004/12/25	6.4	51	2089
2005/01/18	7.5	57	3206
2005/03/25	5	60	1500
2005/04/08	4.1	24	403
2005/11/01	5	60	1500
2005/11/12	5.1	33	858
2005/11/26	4.2	27	476
2005/12/01	4.8	42	968
2005/12/31	4.4	33	639
2006/01/15	4.4	42	813
2006/02/13	4.2	42	741
2006/02/16	6.9	123	5856
2006/03/03	4.6	51	1079
2006/03/23	4.3	45	832
2006/03/26	4.3	39	721
2006/05/21	4.6	30	635
2006/11/23	5.8	147	4945
2006/12/02	6.5	183	7732
2007/01/09	4.2	33	582

2007/02/08	6.2	75	2883
2007/02/20	4.1	24	403
2007/02/21	6.1	72	2679
2007/03/04	4.6	93	1968
2007/03/19	5.5	48	1452
2007/05/19	4.4	54	1045
2007/09/25	4.1	21	353
2007/12/01	4.7	42	928
2007/12/09	5.4	39	1137
2008/01/01	7.4	84	4600
2008/01/11	4.3	33	610
2008/01/13	5	96	2400
2008/03/03	4.7	36	795
2008/03/09	6	93	3348
2008/03/22	5.2	21	568
2008/03/30	4.1	30	504
2008/04/10	4.9	15	360
2008/04/18	4.5	72	1458
2008/11/24	4.7	34	751
2008/11/28	5.9	64	2228
2008/12/09	4.4	13	252
2008/12/12	4.8	13	300
2008/12/13	6.3	57	2302
2009/01/15	4.7	33	729
2009/01/17	7.6	224	12938
2009/02/01	4.5	36	749
2009/02/04	6.4	66	2744
2009/03/04	6.6	57	2483
2009/03/28	4.4	20	387
2009/10/21	5.1	43	1118
2009/11/04	4.6	46	973
2009/11/07	4.8	39	899
2009/11/13	4.5	57	1154
2009/11/22	4.5	48	972
2009/12/02	4.4	27	523
2009/12/05	4.2	30	529
2009/12/09	4.6	30	635
2009/12/24	5.4	21	612
2009/12/27	5.4	118	3441
2010/01/12	4.4	30	600
2010/01/13	6.9	27	1285
2010/02/05	4.7	38	839

2010/02/02	5.1	96	2497
2010/02/27	4.5	15	324
2010/03/25	4.4	35	678
2010/03/29	5.2	27	730
2010/05/03	4.1	6	118
2010/06/14	4.2	10	176
2010/10/03	5.3	33	927
2010/10/08	4.5	51	1033
2010/10/30	6.6	56	2439
2010/11/08	7	52	2597
2010/12/05	4.3	31	573
2010/12/22	4.8	12	276
2011/01/03	4.9	58	1393
2011/02/09	7.9	203	12669
2011/10/26	5.2	41	1109
2011/11/02	5.5	58	1754
2011/11/22	5.6	31	972
2011/12/12	5.2	139	3759
2012/04/18	5.1	36	936
2012/04/25	4.1	33	555
2012/11/10	4.1	34	572
2012/11/17	4.1	17	286
2012/11/23	4.2	18	318
2012/11/30	4.4	24	465
2012/12/13	5.6	107	3356
2012/12/31	4.2	24	423
2013/01/12	4.4	33	639
2013/01/18	10.3	43	4562
2013/01/20	6.7	92	4130
2013/02/05	5.1	55	1431
2013/02/10	5.3	42	1180
2013/02/22	4.5	46	931
2013/03/07	5.3	109	3062
2013/03/21	4.4	75	1452
2013/03/29	5.1	112	2913
2013/04/09	4.1	40	672
2013/04/18	4.1	23	387
2013/04/26	4.5	34	689
2013/06/23	4.3	25	462
2013/10/27	4.9	46	1104
2013/11/04	4.2	29	512
2013/12/18	7.6	267	15422

2013/12/30	7.5	225	12656
2014/01/13	5.2	152	4110
2014/01/22	4.2	23	406
2014/01/25	5.8	112	3768
2014/02/01	7.7	265	15712
2014/02/13	6.4	91	3727
2014/02/17	4.6	40	846
2014/02/23	4.6	80	1693
2014/02/28	7.3	129	6874
2014/03/24	4.5	46	952
2014/10/15	5	61	1525
2014/11/03	4.1	43	723
2014/11/07	4.2	43	776
2014/11/11	4.6	125	2645
2014/11/28	4.4	58	1123
2014/12/11	4.3	37	684
2015/01/15	5.7	61	1982
2015/01/18	5.3	22	618
2015/01/20	5.5	70	2117
2015/01/29	5.4	67	1954
2015/02/03	4.5	22	445
2015/02/16	4.5	26	527
2015/02/23	5.1	53	1379
2015/03/23	5.2	37	1028

Tabela A. 2 – Volume e área calculados através dos MDTs para cada secção e em cada levantamento

Data Levantamento		Área S10	Volume S10	Área S9	Volume S9	Área S8	Volume S8	Área S7	Volume S7	Área S6	Volume S6	Área S5	Volume S5
29/09/2003	1	21095	39097.44	38480	107092.99	40550	132252	39747	143617.55	44075	146598.34	48526	165123.35
10/11/2003	2	19146	45730.26	30620	85993.09	41244	110214.45	38654	121058.86	38104	97433.73	47829	123743.22
21/12/2006	3	19720	75372.97	27375	79725.9	37066	120098.92	33015	86216.28	53414	122200.5	55444	141503.37
09/03/2007	4	15209	43409.91	43425	136216.23	24629	50543.61	29653	75916.3	34712	96529.39	47902	126518.39
14/01/2008	5	18283	34692.62	18312	30246.96	14196	20375.36	18934	39410.8	26324	78831.09	30008	92661.7
12/03/2008	6	26862	52542.87	32362	64162.39	16453	27859.46	27658	59210.24	28606	68365.49	40623	111929.28
24/04/2009	7	29352	63334.1	37849	54803.48	25456	61683.29	31333	95188.47	27138	63143.99	36707	49069.31
19/12/2009	8	15788	26699.26	36552	73204.84	28735	56419.65	29704	57281.99	22806	35417.29	29153	54942.73
02/02/2010	9	25043	41066.98	49506	118955.15	46214	114633.69	46348	73691.95	50744	100721.95	53558	120138.2
20/01/2011	10	22853	60461.51	42596	90458.25	43293	77482.8	44443	69634.11	43632	70594.69	50527	92065.98
20/02/2011	11	29022	52401.45	28923	41679.92	35482	77841.98	27982	42070.82	32689	54763.64	40059	76747.73
09/03/2011	12	23049	58528.86	26162	51884.46	37581	70278.6	31490	40395.84	29428	44634.82	34756	71772.69
22/03/2011	13	26141	56264.78	40173	82949.11	53576	92436.43	54664	68840.51	47201	66699.11	44059	94374.08
05/04/2011	14	21026	51575.92	31974	68951.72	39370	73535.18	31561	48677.34	32445	52845.05	41350	88993.19
17/05/2011	15	19036	23686.1	29396	68320.27	42734	115126.8	43345	69769.65	41089	56419.64	52572	96922.97
14/09/2011	16	10386	13823.93	20196	37116.61	29305	71398.09	25130	49044.24	29912	76101.29	45416	130709.92
15/10/2011	17	10817	18578.88	21322	41764.09	30592	77481.38	22724	56366.37	28806	83903.24	36963	121612.81
29/10/2011	18	22926	21306.54	34841	44969.63	37983	53564.95	38626	42875.07	34937	61011.11	55508	98101.42
13/12/2011	19	15284	34669.86	30003	75405.83	28686	82140.36	27318	58114.31	29331	66006.76	31375	73865.87
12/01/2012	20	33057	30582.24	27720	62780.83	32391	72244.36	26564	69989.47	36822	103932.12	34213	97939.54
24/02/2012	21	30417	39332.54	20900	43161.73	31654	73705.95	29694	60492.56	33279	82176.11	37632	102702.25
25/02/2012	22	25547	44569.98	21977	46594.73	30189	72981.25	26789	56319.32	33854	85630.68	36440	105231.5
26/03/2012	23	29565	47749.98	27718	46168.97	28488	64030.07	25497	48484.67	30982	68362.92	36582	84849
15/10/2012	24	39793	77283.25	32238	65477.38	27603	45353.41	29051	48344.56	31097	68410.04	34195	72102.63
16/10/2012	25	37488	68485.57	31952	63434.75	28003	44675.25	25876	41418.38	30619	60849.94	36671	72986.95
17/10/2012	26	30856	67939.7	32418	63122.42	28362	43604.57	23640	39417.01	41432	61073.93	34063	60504.88
14/11/2012	27	22015	50262.63	20944	38631.62	14853	20056.36	11509	15206.51	19398	37487.85	16722	30840.8

14/01/2013	28	33721	53021.94	37431	59052.07	32630	46408.2	30541	40067.46	39220	62360.9	35258	46897.55
31/01/2013	29	19905	41875.65	34787	65833.84	31963	55269.16	25333	45208.78	29658	62015.54	27441	49317.38
27/02/2013	30	27103	50441.53	35022	68737.92	31305	57947.55	29350	54151.65	28851	63194.56	31681	59067.45
28/02/2013	31	34079	42098.7	41084	65034.82	37391	50880.1	35124	51288.51	38393	63977.35	36843	53675.74
13/05/2013	32	20457	57394.63	30839	84960.43	26246	66312.01	31962	46161.8	28286	62191.93	41347	67587.23
14/05/2013	33	19623	54267.5	28005	75773.11	24580	56082.06	27359	41068.89	24927	57250.33	35034	64234.52
15/05/2013	34	18481	46998.51	25931	69716.28	22576	43231.06	25165	29545.69	23114	44241.51	31245	49106.25
23/07/2013	35	24934	40979.72	47760	48705.5	22201	49388.06	23892	51921.38	30846	82803.06	30853	83519.61
07/10/2013	36	21538	56325.99	25644	59653.72	20679	47721.69	21888	51004.68	28380	81683.82	28377	72400.16
18/11/2013	37	40815	78603.23	24759	47584.18	28259	66434.25	22312	40934.22	34063	66784.46	34840	73261.18
03/02/2014	38	27752	65671.25	31953	60619.18	30338	55011.29	31473	65800.94	24037	40249.55	28764	48860.63
28/02/2014	39	40190	84846.5	28173	57216.47	34456	58127.72	42224	87749.89	21403	33951.99	28615	55292
15/04/2014	40	43229	97396.39	45662	67496.644	46277	64505.79	34136	92748.33	35874	77348.97	43267	53258.71
16/04/2014	41	46837	103453.45	43316	70961.77	41994	64825.44	32034	91098.56	34345	77684.43	36590	56297.21
20/01/2015	42	26962	55618.6	42076	92328.72	51683	104986.68	41381	101755.85	43032	101282.44	33108	74013.56
21/02/2015	43	29783	60129.04	35868	75501.71	38533	93276.59	33421	83926.52	37042	102508.44	30042	66745.28
20/04/2015	44	23718	51462.76	38171	106377.98	39212	111862.8	36017	89969.31	29400	78041.31	23160	55396.55
06/05/2015	45	24636	59825.95	38204	104931.49	34397	103829	34824	81669.31	29541	72242.35	27627	64726.86

