

JORGE TRINDADE

monitorização e análise de indicadores da dinâmica de praias expostas

Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais:
Dinâmicas, mudanças ambientais e ordenamento do território SLIF - 7
Centro de Estudos Geográficos - Universidade de Lisboa



Dezembro 2010



Ficha técnica:

Título: monitorização e análise de indicadores da dinâmica de praias expostas

Autor: Jorge Trindade

Unidade de Investigação: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Edição e Distribuição: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa

Design e Grafismo: Jorge Trindade

Impressão: David Barreira

Tiragem: 200 exemplares

ISBN: 978-972-636-207-4

O trabalho que agora se edita dá seguimento à linha editorial do SLIF – Núcleo de Investigação em Sistemas Litorais e Fluviais do Centro de Estudos Geográficos e baseia-se em parte na Dissertação de Doutoramento em Geografia Física intitulada *Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche – Cascais)*, apresentada por Jorge Trindade.

ÍNDICE GERAL

Índice geral	5
I. Introdução	7
1. Terminologia adoptada no estudo das praias	9
2. Processos hidrodinâmicos associados ao perfil de praia	12
2.1. Aproximação à linha de costa.....	12
2.1.1. Propagação das ondas.....	12
2.1.2. Dissipação energética.....	15
2.1.3. Pós-colapso das ondas.....	17
2.1.4. Transporte sedimentar	21
II. Aquisição de dados morfossedimentares	25
1. Sistemas de praia monitorizados.....	27
2. Implementação e monitorização.....	27
3. Fiabilidade e validação metodológica	32
3.1. Aquisição e tratamento de dados dGPS	32
3.2. Aquisição e tratamento de dados ET.....	38
3.3. Comparação de resultados entre técnicas	40
3.4. Determinação de volumetrias	42
4. Sedimentos de praia: tratamento e aquisição de dados.....	47
III. Morfodinâmica de praias	51
1. Enquadramento geomorfológico das praias	53
1.1. Praia de Sta. Rita.....	53
1.2. Praia Azul	56
1.2. Praia da Foz do Lizandro.....	58
2. Dinâmica planimétrica de praias	60
3. Dinâmica vertical máxima	68
4. Altitude da berma.....	71
5. Declive da face da praia.....	76
6. Balanço de volumes sedimentares.....	79
7. Textura dos sedimentos de praia	85
8. Estados e descritores morfológicos.....	93
8.1. Comportamento morfodinâmico da praia de Sta. Rita	99
8.2. Comportamento morfodinâmico da praia Azul	104

8.3. Comportamento morfodinâmico da praia da Foz do Lizandro	106
IV. Síntese	109
Bibliografia.....	115

I. INTRODUÇÃO

A característica mais evidente dos sistemas de praia é o seu elevado dinamismo morfológico. Este dinamismo deve-se à constituição das praias por material solto e não ancorado na vegetação como é o caso das dunas litorais.

A dinâmica dos sistemas de praia depende, em grande parte, das mudanças na quantidade e direcção da energia que chega ao sistema através do clima de agitação marítima local. Este é aqui entendido como o conjunto dos parâmetros que caracterizam a ondulação incidente no sistema, como sejam os parâmetros característicos das ondas (altura significativa, altura máxima, período médio, período máximo e direcção de propagação), a maré e as correntes longilitorais e transversais. Assim, uma mudança na altura, período ou direcção da ondulação incidente, incluindo a maré, terá consequências morfológicas ao longo de todo o perfil de praia. Estes serão adiante designados de elementos forçadores.

O sistema poderá atingir um perfil que se encontre em equilíbrio com as condições ambientais presentes, no entanto, trata-se de uma condição muito raramente observável em praias naturais. Nestes sistemas, a conjugação entre a escala em que variam os factores que explicam a sua morfologia (sub-horária) e a rápida resposta dos materiais constituintes da praia não permite que o sistema atinja o referido perfil de equilíbrio (Komar, 1998). Este encontra-se, assim, em constante mudança, reajustando o

seu declive e forma às mudanças nos parâmetros sedimentares e do clima de agitação marítima local, tratando-se de um mecanismo natural de dissipação de energia. Esta dinâmica aparentemente instável pode significar que o sistema se encontra em equilíbrio dinâmico com as condições ambientais em permanente mudança.

1. Terminologia adoptada no estudo das praias

O estudo da dinâmica de praias é, hoje, um tema de investigação pluridisciplinar com abordagens distintas e muitas vezes complementares ao mesmo objecto de estudo. A terminologia própria de cada abordagem torna, por vezes, difícil o entendimento entre os agentes da investigação, sendo necessária uma clarificação face a alguns termos mais utilizados neste trabalho.

Na figura 1 apresentam-se de forma sucinta alguns conceitos adoptados no âmbito deste trabalho e que definem o sistema praia. Este sistema litoral é entendido, neste estudo, como um sector costeiro constituído pela acumulação de materiais detríticos não consolidados terrígenos e biogénicos. Embora se considere a existência de duas componentes distintas do sistema, a sub-aérea e a submersa, o trabalho agora apresentado recairá essencialmente sobre o sector emerso do perfil de praia.

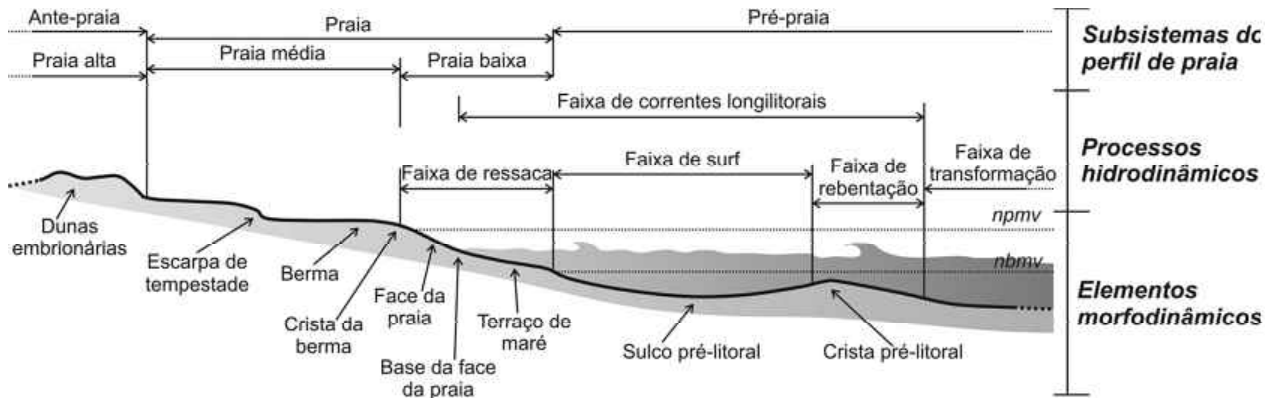


Figura 1 - Definição do sistema praia, incluindo os processos hidrodinâmicos dominantes e os elementos morfodinâmicos. *npmv* – nível da praia-mar viva; *nbmv* – nível da baixa-mar viva. (adaptado de Moreira, 1984; Komar, 1998; Short, 1999; Masselink & Hughes, 2003)

- **Pré-praia:** Faixa de baixo declive sempre submersa, estendendo-se para o largo a partir do nbmv;
- **Praia baixa:** Faixa de declive elevado localizado entre o ponto mais elevado atingido pela corrente de afluxo em maré alta e o ponto mais baixo do refluxo em maré baixa. Engloba a face da praia e, quando presentes, a crista da berma e o terraço de maré, podendo considerar-se que corresponde à faixa de ressaca;
- **Praia média:** Zona da praia, localizada atingida pelas correntes de afluxo e refluxo em condições de elevado hidrodinamismo, podendo por isso apresentar escarpas de tempestade.
- **Praia alta:** Superfície da praia emersa atingida pelas ondas em episódios de extremo hidrodinamismo, localizada entre o limite interno do sistema (ex: duna ou arriba) e a praia média e podendo conter dunas embrionárias colonizadas de forma descontínua;
- **Faixa de transformação:** Faixa litoral localizada entre o ponto em que se inicia a interacção das ondas de circulação livre com o fundo e a faixa de rebentação. No que respeita ao transporte sedimentar e à dinâmica morfológica do perfil, pode delimitar-se externamente pela profundidade de fecho;
- **Faixa de rebentação:** Sector do perfil de praia onde as ondas se tornam instáveis e entram em colapso, podendo coexistir mais do que uma linha de rebentação, dependendo da morfologia de fundo, do período e do comprimento da onda;
- **Faixa de surf:** Faixa da praia associada à ondulação pós-rebentação, estendendo-se entre a linha de rebentação mais

- próxima da linha de costa e a faixa de ressaca;
- Faixa de ressaca: Sector a barlamar da berma sujeito à alternância de correntes de afluxo e refluxo, normalmente correspondente à face da praia (*swash zone*);
 - Faixa de correntes longilitorais: Sector costeiro constituído pelas faixas de rebentação, de surf e parte externa da faixa de ressaca onde, pela incidência oblíqua das ondas, são geradas grande parte das correntes responsáveis pelo transporte sedimentar longilitoral;
 - Crista pré-litoral: Crista arenosa submersa, disposta em número variável paralelamente à linha de costa no sector submerso da praia. Corresponde a uma forma contínua ou descontínua, dependendo dos modos de circulação local, podendo ficar exposta em casos de baixa-mar viva extrema;
 - Sulco pré-litoral: Depressão paralela à linha de costa que separa o terraço de maré da crista pré litoral interna e/ou duas cristas sucessivas;
 - Terraço de maré: Sector do perfil de fraco ou nulo declive localizado na praia baixa, entre a base da face da praia e o sulco pré-litoral;
 - Base da face da praia: Ponto de separação entre a face da praia e o terraço de maré, por vezes atingido pela rebentação;
 - Face da praia: Sector declivoso e planar do perfil de praia normalmente localizado entre a crista da berma e o terraço de maré, encontrando-se sujeito à acção das correntes de afluxo e refluxo durante a baixa-mar;
 - Crista da berma: Extremidade barlamar da berma que delimita este sector sub-horizontal do perfil, na praia média, do sector mais declivoso associado à face da praia, na praia baixa;
 - Berma: Sector do perfil da praia média de reduzido declive, formado pela acumulação de sedimentos por acção das ondas. Pode apresentar um ligeiro aclive no sector sotamar. A presença de várias bermas no perfil é comum e testemunha a ocorrência de vários episódios de acreção.
 - Escarpa de tempestade: Corte vertical no perfil de praia associado à acção das ondas de tempestade. O seu posicionamento no perfil encontra-se frequentemente acima da face da praia, podendo o perfil exibir múltiplas escarpas associadas a eventos distintos.
 - Dunas embrionárias: Formas de acumulação eólica de materiais arenosos presentes na praia alta, normalmente de pequenas dimensões e descontínuas, podendo apresentar uma cobertura esparsa de vegetação.

2. Processos hidrodinâmicos associados ao perfil de praia

2.1. Aproximação à linha de costa

Grande parte da dinâmica sedimentar que influencia directamente a morfologia de praia à escala local ocorre nas faixas de transformação, de rebentação, de surf e de ressaca. Nestas faixas, a propagação da ondulação encontra-se sujeita a um conjunto de processos que alteram as características associadas à sua geração, excepto em casos em que o campo de geração é local.

Os processos que podem afectar as características intrínsecas das ondas durante a aproximação à linha de costa dividem-se em processos associados às condições de propagação das ondas e associados às condições de dissipação energética (fig. 2).

Existem ainda processos dependentes de fontes energéticas locais (vento) e processos de transferência energética através da interacção onda-onda, no entanto estes possuem menor expressividade no condicionamento da dinâmica da praia e não serão abordados. Embora sejam tratados e descritos de forma separada estes ocorrem quase sempre em simultâneo, não sendo por vezes possível distinguir o processo dominante em determinado momento.

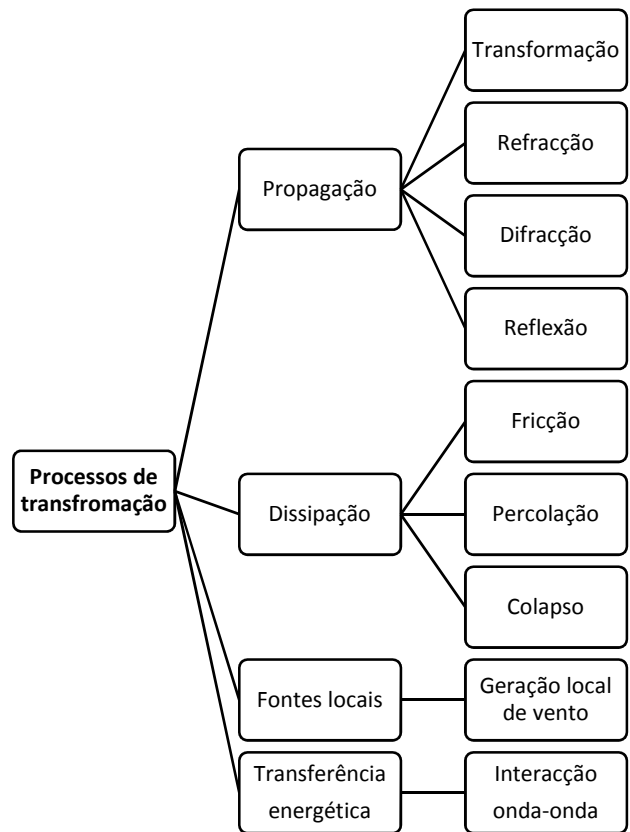


Figura 2 - Processos associados à transformação da onda com a aproximação à linha de costa, característicos das faixas de transformação e de rebentação.

2.1.1. Propagação das ondas

A modelação das modificações das propriedades das ondas na faixa de transformação pode ser efectuada com relativa precisão recorrendo à teoria linear de Airy e à teoria de Stokes. Parâmetros como o comprimento de onda (eq. 1, 2 e 3), a celeridade ou velocidade de fase (eq. 4, 5 e 6), a velocidade de grupo (eq. 7, 8 e 9) e a velocidade orbital máxima influenciam directamente a altura das ondas e, conseqüentemente, a distribuição de energia ao longo da linha de costa.

Quadro 1 – Parâmetros da onda. Baseado na teoria linear da ondulação ou teoria de Airy.

Notação: h – espessura da coluna de água; H – altura da onda; T – período da onda; π - 3,1416; ρ - densidade da água; g – força gravítica ($9,81\text{m/s}^2$); σ – frequência angular da onda $2\pi/T$; k – número de onda $2\pi/L$; x – distancia no eixo x , na direcção de propagação; z – profundidade; t – tempo.

	Águas profundas $\left(\frac{h}{L} > 0,5\right)$	Águas de transição $\left(0,05 < \frac{h}{L} < 0,5\right)$	Águas pouco profundas $\left(\frac{h}{L} < 0,05\right)$
Comprimento (L (m))	$L = \frac{gT^2}{2\pi}$ (1)	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$ (2)	$L = T\sqrt{gh}$ (3)
Velocidade de fase ou celeridade (C (m/s))	$C = \frac{g}{2\pi}T$ (4)	$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$ (5)	$C = \sqrt{gh}$ (6)
Velocidade de grupo (C_g (m/s))	$C_g = 0,5\left(\frac{gT}{2\pi}\right)$ (7)	$C_g = 0,5\left(\frac{g}{2\pi}\right)\left[1 + \frac{2\frac{2\pi}{T}h}{\sinh 2\sigma h}\right]$ (8)	$C_g = C$ (9)

Segundo Goda (2000), a relação entre a altura da onda de largo e a altura da onda na faixa de transformação ou coeficiente de transformação (K_s , eq. 10) pode ser expresso tendo em conta a velocidade de fase (C) da onda de largo e na faixa de transformação e o parâmetro de transformação da onda (n , eq. 11):

$$K_s = \left(\frac{1}{2n} \frac{C_0}{C}\right)^{0,5} \quad (10)$$

$$n = 0,5 \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right] \quad (11)$$

O cálculo do coeficiente de transformação das ondas representa uma fase inicial de modificação das características das ondas e exclui os processos de refração e difracção, bem como perdas energéticas associadas à fricção e percolação, características de sectores onde a interacção com o fundo é superior.

Um dos processos mais comuns, associado à propagação das ondas, é a refração. Consiste numa mudança na direcção do alinhamento das cristas das ondas com a aproximação oblíqua à linha de costa.

O processo de refração da ondulação ocorre sempre que existe uma redução na celeridade da onda (C , eqs. 5 e 6) provocada pela diminuição da altura da coluna de água. A incidência oblíqua das cristas das ondas provoca uma redução dissimétrica de C , ou seja, C será inferior nos

troços de crista em que a profundidade seja menor. Esta desigualdade na velocidade das cristas gera a sua curvatura e a consequente adaptação à morfologia do fundo.

No caso de um litoral exposto e de configuração relativamente rectilínea, a refacção da ondulação pode ser traduzida pela seguinte relação, admitindo que não existe reflexão ou dissipação de energia:

$$\text{sen } \alpha = \frac{C}{C_0} \text{sen } \alpha_0 \quad (12)$$

em que, α corresponde ao ângulo existente entre a linha da crista da onda incidente e a batimetria e o subscrito 0 representa os valores de profundidade. No entanto, em grande parte dos casos a refacção das ondas processa-se de forma diferenciada em sectores muito próximos, resultado de uma configuração do fundo complexa. A divergência ou convergência dos raios ortogonais à linha de crista de onda, resultado da existência de canhões ou esporões submersos ou irregularidades morfológicas da plataforma continental, promove uma diminuição, no caso da divergência, ou aumento, no caso da convergência, da altura das ondas.

A relação de dependência que se estabeleceu entre a refacção e a velocidade de fase implica, na maior parte dos casos, que este processo

esteja dependente do período da onda, uma vez que este parâmetro influencia em grande parte a celeridade. Assim, a variação no período da ondulação incidente é directamente proporcional à área afectada por este processo, significando que as ondas com períodos superiores refractam mais e tornam-se mais alinhadas com a linha de costa do que as ondas de períodos reduzidos.

O cálculo da altura da onda junto à linha de costa, utilizando o espaçamento entre raios ortogonais, representa um método expedito e de fácil aplicação, fornecendo dados essenciais sobre o processo de propagação das ondas em áreas onde não existe monitorização da ondulação incidente. No entanto, a utilização prudente desta técnica implica o conhecimento das suas limitações. Por exemplo, esta abordagem exclui o efeito de difracção provocado pelas diferenças de altura numa crista difractada. Este efeito é tanto mais importante quanto maior forem essas diferenças. Estas diferenças podem ser avaliadas indirectamente através da convergência dos ortogonais e da redução do seu espaçamento, podendo tornar-se nulo em função da configuração local do fundo. Assim, o conhecimento preciso da configuração do fundo é essencial na definição dos raios ortogonais.

O processo de difracção da ondulação consiste na transferência energética lateral ao longo de cada crista de onda, desencadeada pelas variações na sua altura. A existência de processos que produzem um forte gradiente de altura numa crista de onda desencadeia a difracção de energia

a partir do sector mais elevado da crista, atenuando o efeito dos processos que conduzem ao seu colapso.

A difracção das ondas induzida pela presença de um ponto de difracção pode ser traduzida pelo coeficiente de difracção (eq. 30):

$$K_d = \frac{H_d}{H} \quad (13)$$

em que, H é equivalente à altura da onda incidente não difractada e H_d corresponde à altura da onda difractada.

O processo de reflexão das ondas depende do ângulo da superfície sobre a qual se propagam, sendo esta relação directamente proporcional. A porosidade e a rugosidade da superfície e a relação entre a altura da onda incidente e o seu comprimento são parâmetros importantes na definição da altura de uma onda reflectida.

Em praias naturais este tipo de processos possui uma variabilidade definida pelos ritmos da dinâmica morfológica de cada sistema. A reflexão de ondas possui uma elevada dependência em relação ao tipo de perfil em presença, ou seja, os coeficientes de reflexão serão superiores em praias predominantemente reflectivas.

2.1.2. Dissipação energética

A fricção, a percolação e o colapso correspondem aos processos de dissipação energética (fig. 2) mais importantes na transformação das ondas com a aproximação à linha de costa.

Os processos de dissipação implicam perdas energéticas importantes e resultam numa diminuição na altura da onda incidente à medida que se propaga a ondulação na faixa de transformação. Neste contexto, as transferências de energia na faixa de transformação encontram-se sujeitas, por um lado, ao processo de fricção que é definido pela intensidade das forças tangenciais actuantes no contacto com o fundo e pela rugosidade do mesmo, e por outro lado, ao processo de percolação que é definido pela capacidade de percolação descendente e ascendente que os sedimentos do fundo possuem. Ambos dependem da altura e do período da onda e da altura da coluna de água e a sua eliminação na determinação destas transferências energéticas resultará numa sobreestimação da altura da onda na faixa de transformação.

O processo de colapso da crista da onda associado à rebentação ocorre quando as velocidades horizontais das partículas de água excedem a celeridade da onda. As partículas são projectadas para além da forma e originam a sua desintegração. O colapso da onda ocorre ainda quando a aceleração das partículas na crista é tal que estas tendem a separar-se da coluna de água

ou quando a superfície da onda se torna vertical (Le Méhauté, 1976; Short, 1999).

Trata-se de um processo muito importante no desencadeamento de transporte de sedimentos e de geração de correntes litorais através da libertação energética contida na ondulação incidente. Carter e Balsillie (1983) referem que, em condições de ondulação de baixa e média energia, a dissipação energética pode ser quase total (99%), sendo mais acentuada em sistemas onde se verifique uma ou várias cristas pré-litorais.

Existem vários critérios para determinar o ponto de rebentação ou de colapso e a altura que a onda assume nesse ponto. No primeiro caso, são utilizadas as características locais das ondas e a configuração batimétrica na faixa de transformação e de rebentação. No segundo caso, as características locais das ondas são substituídas pelas condições de largo e o declive utilizado é, normalmente, correspondente ao perfil de praia, revelando-se de grande importância no caso de não existirem dados da hidrodinâmica das faixas de transformação e de rebentação.

A forma mais simples de exprimir o ponto a partir do qual a ondulação entra em colapso corresponde a uma relação directa entre a altura da onda na rebentação (H_b) e a profundidade (h_b):

$$H_b = \gamma h_b \quad (14)$$

em que,, γ corresponde ao índice de colapso. O valor atribuído a γ não é consensual e pode variar entre 0,55 e 1,20 dependendo do declive da praia e do declive da onda ($\frac{H}{L}$) (Goda, 1970; Smith & Kraus, 1991; Black e Rosemberg, 1992; Nelson & Gonsalves, 1992).

Komar & Gaughan (1972) propuseram o cálculo da altura da onda na rebentação (eq. 15) incluindo o período (T_0) e a altura da onda de largo (H_0), bem como a incorporação de um coeficiente obtido a partir dos dados de laboratório e de campo publicados por Munk em 1949 e posteriormente validado por Weishar & Byrne (1978).

$$H_b = 0,39g^{0,2}(T * H_0^2)^{0,4} \quad (15)$$

A caracterização das formas que a onda assume na rebentação em praias naturais é virtualmente impossível de quantificar devido à sua elevada variabilidade no espaço e no tempo. A forma da onda durante o processo de colapso pode ser descrita através do parâmetro de similaridade de surf (ξ , eq. 16 e 17), dependendo do declive da praia e da relação ($\frac{H}{L}$).

$$\xi_0 = \frac{\tan \beta}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0,5}} \quad (16)$$

$$\xi_b = \frac{\tan \beta}{\left(\frac{H_b}{L_0}\right)^{0,5}} \quad (17)$$

em que, $\tan\beta$ corresponde ao declive da superfície de propagação, H é equivalente à altura da onda incidente não reflectida de largo (0) ou incidente (b) e L representa o comprimento da onda de largo.

Dentro do espectro de formas que as ondas na rebentação podem assumir distinguem-se três tipos: a rebentação progressiva (*spilling*), mergulhante (*plunging*) e de fundo (*surging*), representando esta ordem um aumento na solução de ξ .

A forma associada ao colapso progressivo das ondas ocorre tipicamente em perfis de baixo declive, com ondas de elevada altura e baixo comprimento ($\xi_0 < 0,5$; $\xi_b < 0,4$ – Battjes, 1974; Okazaki & Sunamura, 1991). Neste caso a relação $\left(\frac{H}{L}\right)$ produz um resultado elevado. A rebentação progressiva verifica-se quando existe uma tendência de aumento do declive da praia e com a diminuição dos valores de H em relação a L ($0,5 < \xi_0 < 3,3$; $0,4 < \xi_b < 2,0$ – Battjes, 1974; Okazaki & Sunamura, 1991). A rebentação de fundo ocorre em praias reflectivas com

ondulação incidente de grande comprimento de onda e altura reduzida ($\xi_0 > 3,3$; $\xi_0 > 2,0$ – Battjes, 1974; Okazaki & Sunamura, 1991). Assim, um aumento progressivo na solução de ξ (eq. 33 e 36) significa uma diminuição na quantidade de energia dissipada e um aumento de ondas reflectidas sobre o perfil de praia.

2.1.3. Pós-colapso das ondas

O processo de colapso das ondas na faixa de rebentação dá origem a uma elevação do nível médio local do mar face ao nível da maré (*setup*) que se propaga em direcção à linha de costa, da faixa de surf para a faixa de ressaca (fig. 3). A magnitude desta elevação aumenta em direcção à linha de costa, resultado da diminuição da

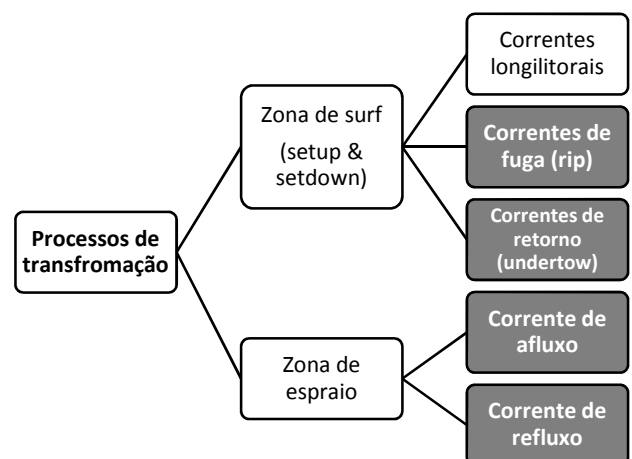


Figura 3 - Processos associados à transformação da onda com a aproximação à linha de costa, característicos das faixas de transformação e de rebentação. As correntes a sombreado representam uma dinâmica transversal à linha de costa por oposição à dinâmica paralela das correntes longilitorais.

profundidade (Guza & Thornton, 1981).

Os processos decorrentes deste tipo de hidrodinâmica resultam em correntes paralelas e em correntes transversais à linha de costa responsáveis por grande parte da dinâmica morfossedimentar que ocorre no sector emerso do perfil de praia (fig. 1). Em situações extremas, definem a magnitude da dinâmica erosiva na praia e/ou na base da duna, sendo por isso muito importantes na definição da vulnerabilidade do sistema (Ruggiero *et al.*, 2001).

A elevação do nível médio do mar face à altura da maré na faixa de surf (*setup* - η) depende (Guza & Thornton, 1981; Raubenheimer *et al.*, 2001; Hsu *et al.*, 2006):

- da altura da onda de largo, numa proporção directa;
- da profundidade na faixa de surf, numa proporção inversa;
- do declive na faixa de surf, numa proporção directa;
- das flutuações locais no nível da maré;
- da obliquidade da ondulação incidente, numa proporção inversa.

Grande parte das formulações que pretendem prever o valor de η resultante do colapso das ondas na faixa de rebentação tem por base estudos de laboratório, onde os parâmetros das ondas e da morfologia de fundo são controláveis e regulares. No entanto, os sistemas de praias naturais caracterizam-se pela elevada

irregularidade de alturas e comprimentos das ondas incidentes e pelas variações não lineares no declive nas faixas de rebentação, surf e ressaca.

Holman & Sallenger (1985) (eq. 18) e Gourlay (1992) (eq. 19) sugerem que η junto à linha de costa depende do parâmetro de similaridade de surf (ξ_0), da ondulação de largo (H_0) e de um coeficiente empírico de proporcionalidade $\left(\frac{\eta}{H_0}\right)$ que varia localmente, sendo estabelecido através do ajuste de uma recta de regressão.

$$\bar{\eta}_{max} = 0,45H_0\xi_0 \quad (18)$$

$$\eta_s = 0,35H_0\xi_0^{0,4} \quad (19)$$

Komar (1998) reorganiza a expressão de Holman & Sallenger (1985) com o objectivo de melhor representar os efeitos das tempestades em η , dando mais ênfase ao declive da praia (S), à altura das ondas de largo e ao seu período (eq. 20).

$$\eta_{max} = 0,18g^{0,5}S H_0^{0,5} T_0 \quad (20)$$

A elevação do nível médio relativamente ao nível da maré é responsável pela existência de diversos

tipos de correntes na faixa de surf (fig. 3). A existência de pelo menos uma linha de rebentação é condição essencial para se verificarem os referidos padrões de circulação na faixa de surf. Estas correntes são factores fundamentais no desencadeamento da dinâmica sedimentar da praia, aumentando a sua influência em episódios de elevada agitação marítima.

As correntes longilitorais são normalmente desencadeadas pela incidência oblíqua da ondulação de largo, no entanto, vários factores podem estar na sua génese. A intensidade energética e o desvio angular com que as ondas de largo atingem a faixa de rebentação, o nível da maré na faixa de surf e a presença de ventos locais determinam a frequência e magnitude das correntes longilitorais (Thornton & Kim, 1993; Whitford & Thornton, 1993). Os seus padrões de circulação são ainda condicionados pela morfologia do fundo. Em praias de tendência dissipativa, a velocidade de deslocação é máxima próximo da faixa de rebentação. Em praias que apresentam regularmente um sistema de cristas pré-litorais, a intensidade da corrente longilitoral é máxima sobre os sulcos pré-litorais

Komar (1979), citado em Komar (1998), descreve a velocidade das correntes longilitorais (eq. 21) em função da altura da onda na rebentação (H_b) e do seu desvio angular em relação à linha de costa (α_b).

$$\bar{v}_l = 1,17\sqrt{g H_b} \operatorname{sen}\alpha_b \operatorname{cos}\alpha_b \quad (21)$$

A função de Komar prevê a velocidade das correntes longilitorais no sector central da faixa de surf tendo sido validada com dados medidos em laboratório e em praias naturais. No entanto, não tem em consideração a presença de ventos de geração local como factor de amplificação da velocidade nem as variações locais na maré.

As correntes de fuga (*rip*) representam um fluxo concentrado de água transversal à linha de costa. Embora se registre um condicionamento na distribuição vertical das velocidades de circulação, induzido pela fricção e percolação no fundo, este fluxo não se encontra verticalmente limitado, ocorrendo em toda a coluna de água.

As correntes de fuga têm início no sector interno da faixa de surf e propagam-se em direcção à faixa de transformação, interrompendo localmente as linhas de rebentação. São normalmente compensadas por fluxos transversais contrários de menor magnitude e alimentados por correntes longilitorais presentes na faixa de surf, dando origem a células de circulação.

As células de circulação dependem da distribuição de alturas de ondas na faixa de rebentação. Um dos processos que mais contribui para o aumento das diferenças entre alturas de ondas nesta faixa é a refração das ondas através

da concentração energética das ondas em determinados sectores da praia. Segundo Short (1985), o espaçamento entre correntes de fuga parece aumentar com o aumento da altura da onda na rebentação e, conseqüentemente, com o aumento a largura da faixa de surf.

Outro factor que parece afectar determinantemente a intensidade das correntes de fuga é a maré. Brander (1999) e Brander & Short (2001) conduziram um conjunto de experiências numa praia natural medindo velocidades momentâneas das correntes de fuga. Os resultados revelaram uma forte dependência entre a velocidade de circulação interna das correntes e o estado da maré, sendo máxima durante a baixa-mar.

Como se referiu as correntes de fuga não apresentam, por definição, uma limitação vertical, facto que as distingue das correntes de retorno (*undertow*).

A frequência e magnitude das correntes de retorno são determinadas pelas diferenças de pressão existentes na faixa de surf, sendo condicionadas pela forma como a dissipação de energia das ondas após o colapso é distribuída ao longo da faixa de surf. Estas diferenças na dissipação energética implicam a existência de fluxos de água em direcção à linha de costa, compensados por correntes de fundo em direcção à linha de rebentação.

A dinâmica morfológica da faixa de ressaca encontra-se dependente da amplitude

momentânea da maré, do produto do colapso das ondas na faixa de rebentação e da conseqüente elevação no nível de água local na faixa de surf e das características dos sedimentos que a compõem.

O balanço das forças hidrodinâmicas em presença dita o tipo de dinâmica erosiva ou acrecionária ao longo do perfil de praia. É afectado pelas correntes de afluxo e refluxo que possuem magnitudes distintas, verificando-se velocidades no fluxo superiores na corrente de afluxo.

O balanço energético na faixa de ressaca é em parte determinado pelo tipo de perfil em presença, desempenhando o declive da face da praia elevada relevância. Os perfis próximos do estado reflectivo possuem uma resposta mais rápida e menos selectiva a ligeiras mudanças nos parâmetros hidrodinâmicos que os influenciam nesse momento, devido à fraca eficiência na dissipação da energia das ondas (Guza e Thornton, 1982).

De entre os vários processos hidrodinâmicos presentes na faixa de ressaca salienta-se:

- a turbulência associada à fase terminal de propagação das ondas após o colapso (Puleo *et al.*, 2000; Butt *et al.*, 2004);
- a infiltração e exfiltração (*exfiltration*) (Turner & Masselink, 1998);
- a advecção sedimentar devido a ressaltos hidráulicos condicionados pela

morfologia local (Jackson *et al.*, 2004);

- forças tangenciais ascendentes e descendentes, resultado das correntes de afluxo e refluxo.

A importância da previsão dos níveis de afluxo tendo por base parâmetros morfológicos e hidrodinâmicos, foi estabelecida por Holman (1986) e mais tarde confirmada por Nielsen & Hanslow (1991), sendo possível expressar a altura atingida pela corrente de afluxo no perfil de praia como a soma entre a elevação máxima relativamente ao nível da maré (eq. 22) e a altura atingida pela corrente afluxo (Komar, 1998):

$$R_{2\%}^T = \bar{\eta}_{max} + R_{2\%} = 0,36g^{0,5} \tan \beta H_0^{0,5} T \quad (22)$$

em que, $R_{2\%}^T$ corresponde ao valor da altura máxima do afluxo no perfil apenas excedido em 2% das ocorrências.

Mais tarde Stockdon *et al.* (2006) propuseram novas formulações empíricas para o limite altimétrico máximo atingido pela corrente de afluxo (*runup*), numa tentativa de melhorar o modelo de Holman (1986). No caso de $\xi_0 > 3$ a formulação genérica do *runup* corresponde à equação 23, sugerindo os autores que esta pode ser utilizada em todos os tipos de perfis excepto sob condições dissipativas ($\xi_0 < 3$). Neste caso, a

previsão da altura máxima da corrente de afluxo pode ser melhorada utilizando a equação (24).

$$R_{2\%} = 1,1 \left(0,35\beta_f (H_0 L_0)^{0,5} + \frac{[H_0 L_0 (0,563\beta_f^2 + 0,004)]^{0,5}}{2} \right) \quad (23)$$

$$R_{2\%} = 0,043(H_0 L_0)^{0,5} \quad (24)$$

em que, β_f corresponde ao declive do perfil de praia.

As formulações empíricas de Stockdon *et al.* (2006) resultam da análise de várias séries de dados de experiências realizadas entre os anos 1982 e 1997 nos Estados Unidos da América e na Holanda, cobrindo totalmente o espectro de estados possíveis do perfil de praia (reflectivo, intermédios e dissipativo).

2.1.4. Transporte sedimentar

O transporte sedimentar ao longo do perfil de praia ocorre através da acção de dois agentes fundamentais na dinâmica morfológica destes

sistemas litorais, a água e o vento. No entanto, a elevada quantidade de formulações que descrevem este movimento de partículas no litoral é um indicador do nível de incerteza existente face à forma como as propriedades físicas do meio actuam sobre os sedimentos definindo o seu repouso ou movimento.

As propriedades físicas regularmente consideradas para uma aproximação quantitativa ao transporte de partículas na sua dimensão espacial e temporal envolvem uma parametrização das propriedades físicas dos sedimentos, do(s) fluido(s) e das condições associadas ao movimento do fluido.

A movimentação de partículas nestes ambientes é iniciada sempre que a força do fluido água ou ar supera as forças da gravidade e de fricção associadas ao ponto de repouso de cada partícula.

Uma das propriedades dos sedimentos mais importantes, e também uma das mais estudadas, é a sua dimensão. No entanto, a sua densidade, forma e arredondamento são igualmente propriedades fundamentais na explicação da morfologia do perfil de praia.

As propriedades dos sedimentos de praia são determinadas, no essencial, por três factores que explicam os espectros encontrados em determinado sistema:

- ▶ A fonte sedimentar condiciona o fornecimento de sedimentos de

dimensões e densidades adequadas para o transporte na faixa litoral, tendo em conta as condições hidrodinâmicas características do local. Segundo as fontes sedimentares, grande parte das partículas presentes no perfil de praia podem ser consideradas terrígenas ou biogénicas;

- ▶ O nível energético da ondulação ao longo de todo o perfil é responsável pelo potencial de mobilização sedimentar, podendo originar diferenciações nos parâmetros texturais dos sedimentos inter e intra-sistemas de praia, conforme as características de exposição à ondulação dominante de determinado troço de litoral;
- ▶ O declive da plataforma continental interna influencia o trânsito sedimentar longilitoral e as trocas de sedimentos entre os perfis imerso e emerso, podendo determinar a quantidade de sedimentos exportados para fora do sistema.

A disposição das partículas no espaço e a porosidade a elas associada condicionam em conjunto a forma como as ondas e correntes interagem com o fundo, podendo definir localmente a distribuição dos fluxos energéticos associados à incidência de ondas e a velocidade das correntes longilitorais no caso dessa incidência ser oblíqua à linha de costa (Bodge,

1989; Kamphuis *et al.*, 1986; Komar & Inman, 1970; Osborne & Greenwood, 1993). Assim, para além das propriedades dos sedimentos, existem também um conjunto de características do fluido água ou ar relevantes para compreender a mobilidade sedimentar, nomeadamente a sua densidade, a sua viscosidade e as propriedades associadas ao seu movimento como a velocidade, a aceleração e o tipo de fluxo, laminar ou turbulento (Masselink & Hughes, 2003).

O modo de transporte dos sedimentos ao longo do litoral é condicionado pela actuação simultânea de várias forças que, combinadas, definem o início do movimento das partículas sedimentares. De entre as mais importantes podem salientar-se a força da gravidade, actuando no plano vertical descendente relativamente ao centro de gravidade da partícula, a força de elevação, actuando no sentido contrário, e a força de arraste, actuando tangencialmente ao plano horizontal.

Os modos de transporte de sedimentos podem dividir-se entre transporte em suspensão e transporte de carga de fundo, distinguindo-se, no essencial, pela regularidade com que as partículas estão em contacto com o fundo.

No caso do transporte de carga de fundo, as partículas movimentam-se por rolamento ou arrastamento, implicando um contacto permanente com o fundo, ou por saltação, contactando com o fundo de forma intermitente. O transporte de sedimentos em suspensão

implica um movimento das partículas sem contacto permanente com o fundo, resultado da elevada turbulência do fluido (Fredse & Deigaard, 1992).

II. AQUISIÇÃO DE DADOS MORFOSEDIMENTARES

1. Sistemas de praia monitorizados

A escolha dos sistemas de praia a estudar deve ser criteriosa. Os sistemas de praia a monitorizar devem possuir vários atributos que se passam a enumerar de seguida:

- ▶ os sistemas escolhidos devem ser diversificados e representativos em dimensão e tipo dos que ocorrem neste sector de litoral;
- ▶ o número de sistemas estudados deve ser adequado:
 - à capacidade logística e à reduzida disponibilidade de pessoal para a realização das campanhas de monitorização;
 - ao tempo disponível para a monitorização, condicionado pela duração das baixas-mar vivas por mês;
- ▶ as praias estudadas devem ser acessíveis, devido ao transporte de material de monitorização, nem sempre de fácil manuseamento;
- ▶ os sistemas devem proporcionar condições para a instalação de estruturas permanentes de referência à monitorização, com risco reduzido de perda destes pontos.

Decidiu-se pela escolha dos sistemas da praia de S^{ta}. Rita, da praia Azul e da praia da Foz do Lizandro por assegurarem as condições pré-estabelecidas.

Estes sistemas de praia localizam-se no sector intermédio da faixa costeira Peniche – Cascais (fig. 4) e serão adiante caracterizados de forma mais aprofundada.

2. Implementação e monitorização

A monitorização constitui uma forma de quantificar a dinâmica das praias, ilustrando os factores e processos a ela associados que se pretendem estudar. A quantificação dessa dinâmica é essencial para o conhecimento do espectro de estados energéticos que o sistema pode atingir e como reage a impulsos distintos. A amplitude das mudanças registadas é um indicador fundamental na prevenção de riscos no litoral e nas acções de gestão local deste tipo de sistemas.

A escala a que se pretende a análise condiciona as técnicas a utilizar na aquisição dos dados. Por exemplo, as respostas dos sistemas de praia aos elementos forçadores variam, na escala temporal, entre as dezenas de segundos (conjuntos de ondas) e as dezenas de anos (ciclos nos parâmetros atmosféricos que determinam os padrões de ondulação), ou, especialmente, entre as dezenas de centímetros (*ripples*) e as dezenas de quilómetros, quando se consideram os sistemas de praia como elementos constituintes de uma célula litoral.

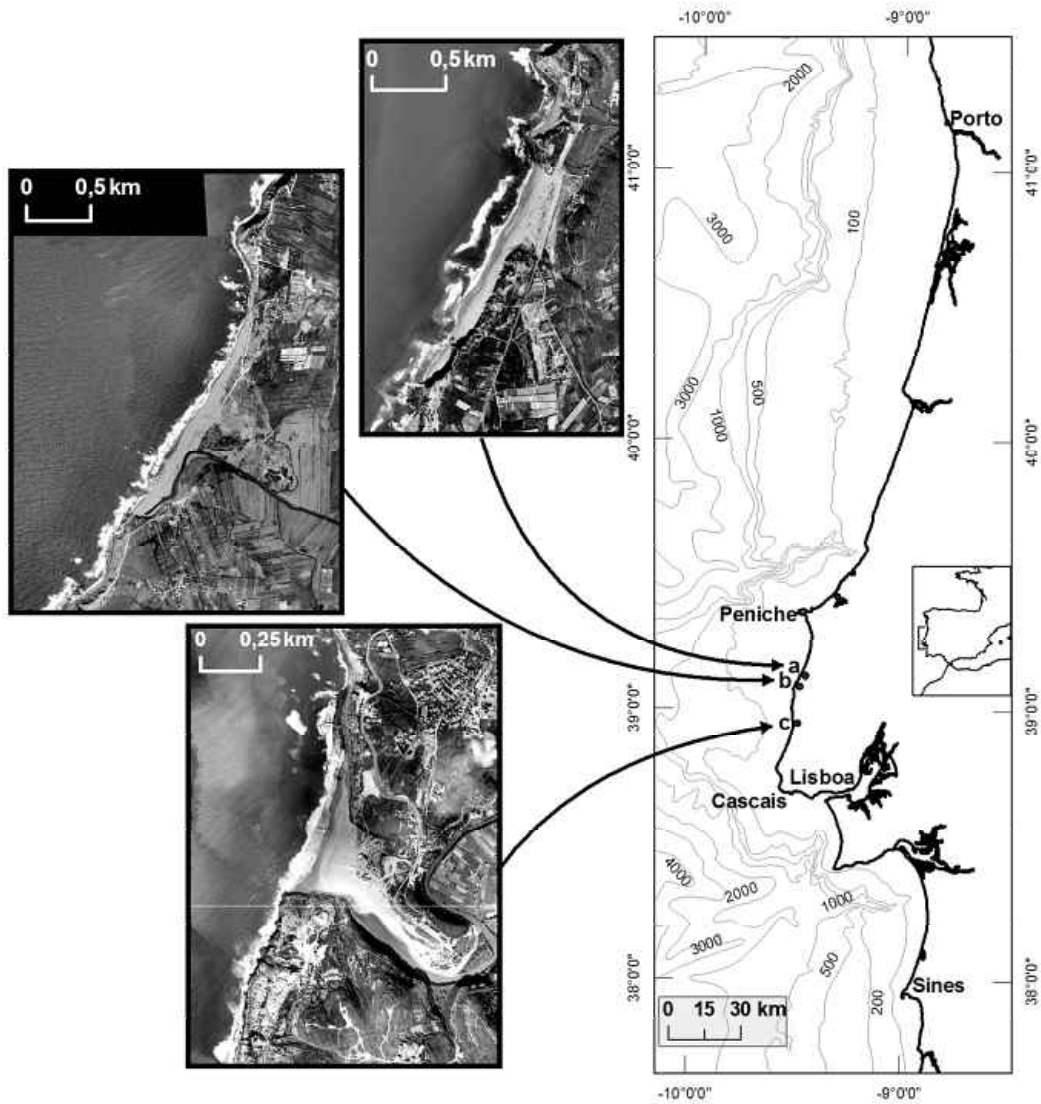


Figura 4 – Localização dos sistemas de praia de Sta. Rita (a), Azul (b) e Foz do Lizandro (c).

Para registar a dinâmica morfológica do sistema pode optar-se pela realização de perfis de praia sequenciais. Os transeptos de praia representam uma das maneiras mais elementares e já clássicas de descrição da forma transversal deste sistema litoral. A fiabilidade dos resultados relativamente à magnitude da dinâmica do sistema e o baixo custo das campanhas tornam-nos numa técnica expedita de aquisição de dados pontuais da morfologia da praia emersa, apesar de consumidora de tempo.

O levantamento sequencial de perfis transversais permite, quando sobrepostos, a comparação de vários parâmetros de caracterização, nomeadamente da largura da praia, da sua forma, do seu declive e das variações volumétricas a que o sistema está sujeito. Estas duas últimas variáveis são particularmente importantes porque, em conjunto com os dados da ondulação incidente e da dinâmica sedimentar, permitem deduzir muitos dos processos actuaes na praia.

A monitorização da dinâmica morfológica das praias através de transeptos consiste na aquisição de um conjunto de pontos de posicionamento horizontal e vertical, alinhados transversalmente à orientação da linha de costa. Os perfis encontram-se ancorados em pontos fixos no terreno onde, normalmente, já não existe influência da hidrodinâmica marinha. Desta forma, os perfis são sobreponíveis durante os sucessivos levantamentos. O número e posição dependem do objectivo do estudo, no entanto, tendem-se a incluir as áreas morfológicamente mais activas (Trindade *et al.*, 2006a).

A escala espacio-temporal em que ocorre o fenómeno que se pretende medir condiciona toda a estratégia de implementação de um programa de monitorização. Este pretende-se detalhado em relação a todas as modificações ocorridas no sistema, mas também realista em relação à disponibilidade de equipamentos, à logística envolvida e ao tempo necessário para efectuar as medições.

Tendo em conta estes condicionalismos, foi necessário determinar a periodicidade dos levantamentos e, em cada praia, o posicionamento, a quantidade, o espaçamento e a extensão dos perfis (Quadro 1).

Procurou-se monitorizar todos os sistemas quinzenalmente, coincidindo as campanhas com as marés vivas da lua nova e da lua cheia. A elevada amplitude da maré permitiu quase sempre que os perfis fossem prolongados até

cotas inferiores ao nível médio das águas do mar. Entre 2004 e 2006 foram monitorizados 279 perfis, recorrendo inicialmente a um sistema de posicionamento global com correcção diferencial pós-processamento (dGPS), único equipamento disponível à data, e posteriormente a uma estação total. As lacunas existentes na realização das campanhas ficaram a dever-se à inclusão de dados do período experimental de implantação do programa de monitorização (2004), que se verificou serem perfeitamente fiáveis, e à impossibilidade de monitorização em segurança, garantindo o registo de pontos abaixo do nível médio do mar em todos os perfis.

Quadro 1 – Perfis de praia.

Praias	Posição	nº	Extensão média (m)	Distância média entre perfis (m)
S ^{ta} . Rita	Central	5	136,467	35,805
Azul	Central	6	112,586	36,000
Lizandro	Central	5	184,180	25,000

Tornou-se também necessário adequar o posicionamento dos perfis em relação à dimensão do sistema e ao objecto da monitorização. No caso das praias estudadas, procurou-se obter dados detalhados, concentrando as medições no sector central das praias (fig. 5). Neste sector, o espectro direccionado da ondulação incidente é provavelmente mais alargado, uma vez que a presença de vários pontos de refração das ondas nos limites rochosos das referidas praias estreita o espectro direccionado nos limites do sistema e

pode corresponder a um factor adicional de dissipação energética.

O número de perfis a monitorizar (Quadro 1) foi determinado pelo tempo de levantamento dos pontos de cada transepto na faixa entre marés (≈ 20 minutos), durante as marés vivas quinzenais.

O tempo de levantamento dos pontos dependeu essencialmente do tipo de aparelho utilizado (dGPS ou estação total) e da complexidade morfológica presente na faixa entre marés.

Utilizou-se o critério morfológico para o levantamento dos pontos ao longo de cada perfil, concentrando o levantamento de pontos junto de sectores onde a variação do declive era superior e dispersando o mesmo em áreas planas e com menor variação morfológica.

A representatividade da área monitorizada em relação à dimensão do sistema constitui um factor a ter em conta no planeamento das campanhas. No caso das praias em estudo este valor representou sempre mais de 22% da área

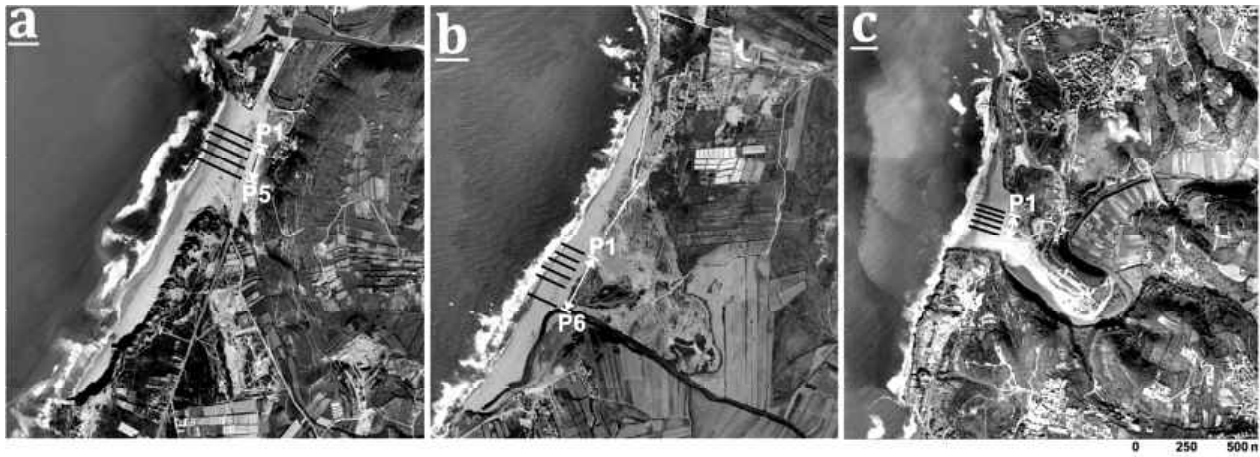


Figura 5 – Localização dos perfis nas áreas de estudo.
a – Praia de S^{ta}. Rita; b – Praia Azul; c – Praia da Foz do Lizandro.

Inicialmente todas as praias foram monitorizadas ao longo de cinco perfis, denominados de norte para sul de P1 a P5 (fig. 5). Na praia Azul foi necessário, posteriormente, acrescentar um transepto devido à maior extensão deste sistema. O perfil adicional foi localizado a sul do P5, próximo de um sector onde ocorrem frequentemente galgamentos oceânicos.

total da praia (Quadro 2), tendo atingido 29,2% na praia de S^{ta}. Rita.

Quadro 2 – Área monitorizada por sistema de praia.

Praias	Área monitorizada (m ²)	Praia (m ²)	Área monitorizada no sistema (%)
S ^{ta} . Rita	33 003,24	113 019,27	29,2
Azul	32 055,51	140 304,22	22,9
Lizandro	23 751,23	93 126,07	25,5

O espaçamento entre perfis foi condicionado pela necessidade de registar a dinâmica da berma e da face da praia, nomeadamente no que diz respeito à formação de crescentes de praia. Embora se procurasse um espaçamento fixo entre perfis da ordem dos 20m, tal facto não foi possível devido a constrangimentos na escolha/colocação dos pontos de ancoragem, tendo-se privilegiado elementos já existentes para ancorar e orientar os perfis (Quadro 1 e fig. 5).

Na praia de S^{ta}. Rita procurou-se aproveitar a existência de postes de electricidade, localizados na base do sector sotavento da duna, e de uma vedação do parque de estacionamento contíguo à praia como pontos de referência na orientação dos perfis (fig. 6). Posteriormente, os postes de electricidade foram retirados por se encontrarem em risco de destruição por acção do mar. A georreferenciação dos pontos de ancoragem, obtida nos levantamentos anteriores, permitiu a recolocação de estacas de forma a orientar o perfil segundo os pontos de ancoragem anteriores.

A falta de estruturas pré-existentes na praia Azul obrigou à instalação de quatro pontos de ancoragem permanentes na duna, cuja forma quadrangular com 20m de lado serviu de base ao P3 e ao P4. A partir destes pontos foi possível orientar e posicionar quatro pontos base a norte e quatro a sul, determinando os pontos de orientação do P1, P2, P5 e P6 (fig. 6).

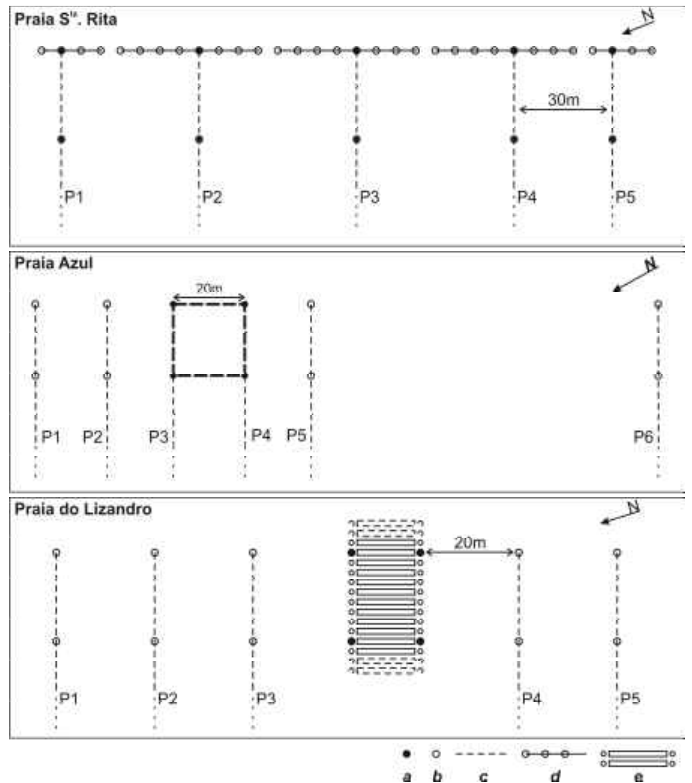


Figura 6 – Esquema de posicionamento dos pontos de ancoragem e orientação dos perfis. *a* – ponto fixo de ancoragem; *b* – ponto de ancoragem alinhado; *c* – perfil de praia; *d* – vedação do parque de estacionamento; *e* – passadiço de praia.

O passadiço central de acesso à praia, disposto transversalmente à linha de costa, serviu de ponto de alinhamento dos cinco perfis da praia do Lizandro (fig. 6). Os perfis encontram-se alinhados paralelamente ao passadiço, dispondo-se em intervalos regulares de 20m medidos a partir deste para norte (P1, P2 e P3) e para sul (P4 e P5).

3. Fiabilidade e validação metodológica

3.1. Aquisição e tratamento de dados dGPS

As metodologias mais utilizadas para monitorizar praias recorrem normalmente a técnicas de elevada fiabilidade de medição directa sobre a superfície a monitorizar (GPS – *global positioning system* – ou estação total) ou de medição remota, utilizando aeronaves ou satélites (fotografias aéreas, ortofotomapas e radares ou lasers altimétricos).

O dGPS e a estação total encontram-se entre os equipamentos mais utilizados na monitorização de sistemas litorais arenosos, possuindo vantagens e desvantagens no seu uso (Baptista, 2006; Trindade *et al.*, 2006b) (Quadro 3).

Salientam-se o baixo custo das campanhas e a reduzida necessidade de recursos humanos como vantagens comuns às duas técnicas. A obrigatoriedade de contacto visual entre o aparelho e o prisma para a realização das medições é, provavelmente, um os maiores obstáculos à utilização da estação total, facto parcialmente atenuado pela rapidez na medição dos pontos (tipicamente < 5s) e pela elevada fiabilidade das medições.

O processamento dos dados do dGPS implica numa primeira fase a sua correcção diferencial e, posteriormente, a conversão dos dados corrigidos do sistema de coordenadas globais GPS para um sistema local.

O dGPS utilizado nos levantamentos até ao início de 2006 (marca: Ashtech Reliance, sub-meter system) possui leitura de 12 canais paralelos (L1, código C/A) e é capaz de recolher dados em modo estático e cinemático, sendo a fiabilidade anunciada pelo fabricante nas coordenadas horizontais de 35cm a 50cm após a correcção diferencial.

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens na utilização do dGPS e da estação total na monitorização de sistemas litorais arenosos. (extraído de TRINDADE *et al.*, 2006b)

dGPS (pós-processamento)	Estação total
<ul style="list-style-type: none"> • Necessário um indivíduo para realizar a monitorização; • Levantamento 24h por dia, independentemente das condições atmosféricas; • Dispensa trabalho de campo prévio; • O erro registado durante a campanha não é constante 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessários pelo menos dois indivíduos para realizar a monitorização; • Obrigatoriedade de contacto visual entre o aparelho e o prisma; • Necessita determinação prévia das coordenadas dos pontos de referência; • Medição de elevada fiabilidade;
<ul style="list-style-type: none"> • Indisponibilidade de dados corrigidos em tempo real; 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados em tempo real;
<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo das campanhas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo das campanhas;

As coordenadas obtidas em cada leitura correspondem ao centro de fase da antena. Desta forma, é necessário introduzir a distância do centro de fase à base da antena e a dimensão do bastão de transporte para que se determine correctamente e de forma automática as coordenadas do ponto junto ao solo.

Os dados da estação itinerante, relativos aos perfis de praia, foram adquiridos em modo cinemático, correspondendo a cada ponto um tempo de permanência de 60 segundos com um intervalo de aquisição de 1 segundo.

Entre todos os parâmetros controláveis durante a aquisição dos dados, o número de satélites e o PDOP (*Positional Dilution Of Precision*) são os mais importantes, sendo possível criar no receptor um limite para além do qual não são recolhidos dados.

O PDOP corresponde a um valor numérico de ajuste geométrico da constelação de satélites visíveis no horizonte. Esta função de ajuste varia ao longo do tempo à medida que as relações geométricas entre os satélites se alteram, resultado das suas órbitas independentes. Quanto mais baixo o valor do PDOP mais precisos serão os dados recolhidos, sendo que normalmente existe uma estreita dependência entre o número de satélites disponíveis e o valor do PDOP.

Tendo em conta o tipo de receptor e a fiabilidade prevista pelo fabricante, tentou-se obter sempre os dados mais precisos, estabelecendo o limite máximo do PDOP no valor 3 e o limite mínimo de 6 satélites disponíveis para o levantamento dos pontos ao longo dos perfis de praia.

Os dados adquiridos foram posteriormente corrigidos com os dados de uma estação base através do *software* Reliance Processor 4.0, fornecido pelo fabricante.

O conceito de correcção de dados baseia-se na noção de que os erros de posicionamento do receptor base, registados num determinado ponto conhecido e a determinada hora, são correlativos dos erros da área envolvente.

Estes erros de leitura devem-se essencialmente ao efeito de retardação e refração ionosférica e troposférica na transmissão das ondas rádio entre os satélites e a unidade receptora, mas também podem estar relacionados com a reflexão do sinal em superfícies próximas do receptor, com erros nas órbitas dos satélites ou com erros nos relógios do receptor ou dos satélites.

A indisponibilidade de um segundo aparelho que funcionasse como estação base, posicionada num ponto com coordenadas conhecidas nas proximidades da área de estudo, obrigou à utilização dos dados de uma estação base pública.

As duas estações base mais próximas das áreas de estudo, que disponibilizavam dados diários para correcção, localizam-se em Cascais, junto ao marégrafo (estação base do Instituto Geográfico Português - IGEO), e em Lisboa, no Instituto Superior Técnico (IST) (Quadro 4).

A estação de Cascais encontra-se mais próxima do que a estação de Lisboa (2 a 3 km), no entanto a análise do posicionamento corrigido dos pontos de ancoragem nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Lizandro, adquirido em modo estático durante 30 minutos, mostra uma relação não linear entre a

distância à estação base e a fiabilidade dos dados do levantamento (Fig. 7).

Quadro 4 – Distância aproximada entre as estações base e as áreas de estudo e intervalo de aquisição dos dados para correcção.

	Cascais – IGEO (km)	Lisboa – IST (km)
Praia de S ^{ta} Rita	54	52
Praia Azul	45	47
Praia do Lizandro	28	33
Intervalo de aquisição disponibilizado (s)	30	2

O desvio padrão, normalmente utilizado para medir a dispersão dos pontos durante a aquisição de um posicionamento, diminui entre a praia do Lizandro e a praia Azul, indicando um aumento na fiabilidade *x*, *y* e *z*.

Por outro lado, o valor mais elevado do desvio padrão regista-se na determinação da latitude na praia do Lizandro, a mais próxima das estações base. A disponibilidade de satélites e o valor do PDOP durante os levantamentos não foi constante, beneficiando os posicionamentos adquiridos na praia Azul (fig. 7). Assim, neste caso, a fiabilidade no posicionamento parece depender, em grande medida, do aumento na disponibilidade de satélites e da diminuição do valor do PDOP e não da distância à estação base. Optou-se, assim, pela estação base do IST por possuir o menor intervalo de aquisição de dados disponibilizado.

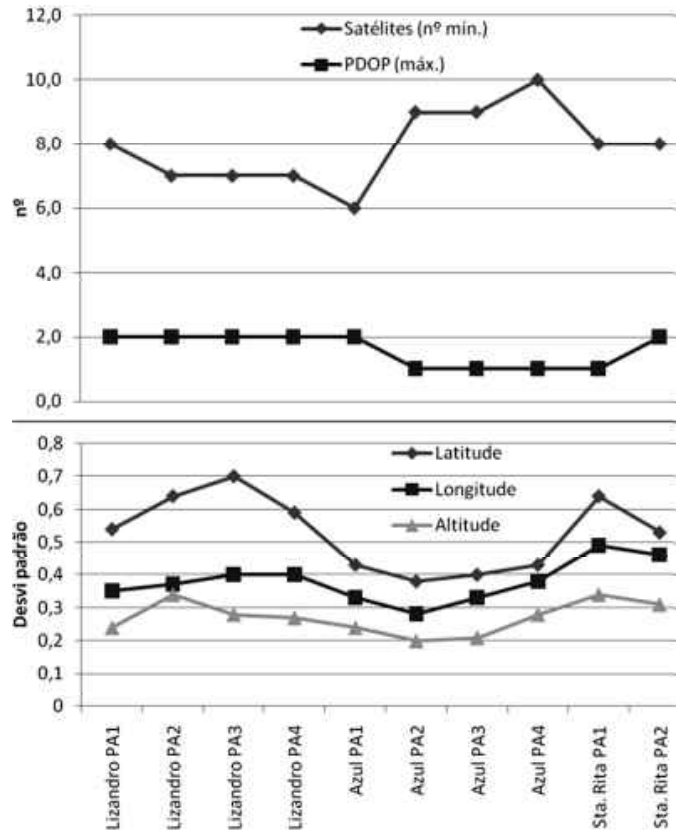


Figura 7 – Dados dGPS dos pontos de ancoragem (PA), adquiridos em 12-01-2006.

A utilização do *software* Reliance Processor 4.0 torna a correcção dos dados da estação itinerante num processo relativamente simples e expedito. Inicialmente, consiste na conversão dos ficheiros da estação base, publicados no formato “universal” RINEX, em ficheiros de formato ASHTECH. A informação disponibilizada pela estação do IST é composta por dois ficheiros, correspondentes às observações (*.01o) e à navegação (*.01n) durante uma hora. Após a obtenção dos ficheiros em formato ASHTECH é possível calcular as correcções aos dados recolhidos em cada campanha pela determinação dos erros identificados na estação base.

Segundo USACE (2003), a correcção diferencial das posições GPS é determinante na sua fiabilidade, podendo resultar na eliminação de erros grosseiros de posicionamento. Em termos absolutos, a recolha de pontos sem correcção diferencial é mais precisa na determinação das coordenadas planimétricas (x, y) do que na altimetria (z). Esta variação pode ser significativa, podendo registar-se valores de incerteza de x e y entre os 10m e os 30m (USACE, 2003).

Com o objectivo de quantificar essas diferenças realizaram-se duas campanhas com dGPS na praia do Lizandro nos dias 30-01-2006 e 25-05-2006. Os dados recolhidos e tratados confirmam a tendência anteriormente descrita, podendo verificar-se que as distâncias entre valores com e sem correcção diferencial são bastante superiores no caso das posições verticais (Quadro 5).

A maior disponibilidade de satélites e o valor de PDOP mais baixo verificados no dia 25-05-2006 influenciaram a diminuição das diferenças médias e do desvio à média encontrados nos dados de posicionamento horizontal após a sua correcção (Quadro 5). As diferenças no posicionamento não são constantes ao longo das campanhas e a utilização de dados não corrigidos anula todos os procedimentos de alinhamento dos perfis na praia, não garantindo a sobreposição de medições entre campanhas e, por isso a comparação de resultados.

Quadro 5 – Distâncias no posicionamento horizontal (n) e vertical (v) entre dados dGPS com e sem correcção diferencial, nas campanhas de 30 de Janeiro e 25 de Maio de 2006.

	Méd. (m)	Mín. (m)	Máx. (m)	σ (m)	Sat. (nº)	PDOP (nº)
30-01-2006 _n	8,1	0,6	19,9	4,7	7,5	1,3
30-01-2006 _v	11,4	0,8	33,9	9,2	7,5	1,3
25-05-2006 _n	2,6	0,7	5,1	1,0	8,9	1,2
25-05-2006 _v	22,1	14,8	30,9	4,5	8,9	1,2

Após a correcção dos dados é necessário proceder à conversão das coordenadas corrigidas em World Geodetic System 84 (WGS84) para os *datum* planimétrico e altimétrico locais.

O *datum* geodésico global WGS84 é utilizado pelo sistema GPS para a determinação de coordenadas geográficas e altimetria num elipsóide próprio. O elipsóide WGS84 tem como base o modelo gravitacional da Terra e caracteriza-se por possuir o mesmo potencial gravítico em qualquer ponto da sua superfície.

Optou-se por utilizar o *datum* local associado ao sistema de quadrícula quilométrica de projecção Gauss sobre o elipsóide Internacional (Heyford), posicionada pelo *datum* de Lisboa. Este sistema, também conhecido pelo sistema de coordenadas militares, deriva do sistema Hayford-Gauss-Lisboa, estabelecido no território na década de 30.

O sistema de coordenadas militares possui a sua origem num ponto fictício, a Sudoeste de Portugal continental. Este ponto é o resultado da translação do ponto central, localizado no vértice geodésico da Melriça, para Oeste (200 000m) e

para sul (300 000m) (Catalão, 1997; Gaspar, 2000; IGEOE, 1998).

A transformação das coordenadas WGS84 em coordenadas militares foi realizada com o auxílio da ferramenta disponibilizada no sítio do Instituto Geográfico do Exército ([http:// www.igeoe.pt / coordenadas / trans.aspx](http://www.igeoe.pt/coordenadas/trans.aspx)).

Os parâmetros de transformação não são divulgados pelo Instituto, mas grande parte das transformações seguem os modelos de Molodensky ou de Bursa-Wolf, sendo de esperar uma incerteza inferior a 1m no território de Portugal continental, contabilizada no posicionamento horizontal. Como se verá mais adiante, esta diferença esperada parece não se reflectir de forma evidente nos resultados do posicionamento GPS corrigido e transformado para o sistema de coordenadas militares.

O posicionamento vertical foi também alvo de conversão das altitudes elipsoidais medidas pelo dGPS em altitudes ortométricas, relativas ao *datum* vertical estabelecido pelo marégrafo de Cascais.

A utilização do método geométrico para determinação da posição local do geóide, medindo directamente as distâncias entre as diferentes superfícies, torna obrigatório o conhecimento da ondulação local do elipsóide de referência (WGS84) relativamente ao geóide.

À escala global, as diferenças entre a posição do geóide e do elipsóide podem atingir mais de

100m (Featherstone *et al.*, 1998). Porém, em áreas restrictas ($\pm 1\text{km}^2$), a modelação do elipsóide torna-se mais simplificada, negligenciando-se os efeitos da ondulação do geóide e assumindo-se que possui uma superfície plana à escala local (Featherstone *et al.*, 1998; Marreiros, 2002 citado por Baptista, 2006; USACE, 1996). A modelação destes dois elementos é essencial para a determinação da altitude ortométrica de cada ponto, podendo esta ser expressa da seguinte forma:

$$H \approx h - N \quad (25)$$

em que, H é a altitude ortométrica do ponto de referência com coordenadas conhecidas, tendo-se recorrido aos vértices geodésicos mais próximos dos locais de estudo, h é a altitude local do elipsóide, medida com a estação itinerante no vértice geodésico em modo estático durante 30 minutos e N a altitude local do geóide, a subtrair a todos os dados recolhidos ao longo dos perfis.

No caso da praia de S^{ta}. Rita e da praia do Lizandro, os vértices geodésicos mais próximos localizam-se respectivamente a 950m (vértice geodésico de Valongo) e a 750m (vértice geodésico de São Julião), tornando possível esta abordagem na conversão do posicionamento vertical durante as campanhas (Quadro 6).

Quadro 6 – Altitudes ortométrica, do elipsóide WGS84 e do geóide nas praias de S^{ta}. Rita e do Lizandro. *d* – distância aproximada aos pontos de ancoragem.

	S ^{ta} . Rita (v. g. Valongo)	Lizandro (v. g. São Julião)
x (m)	95187,9	89005,2
y (m)	245471,4	219434,6
H (m)	112,5	90,7
h (m)	166,4	144,2
N (m)	53,9	53,5
d (m)	950	750

Apesar de constituir uma área restrita, a praia Azul não possui um vértice geodésico junto do local de levantamento (Quadro 7), facto que obrigou a interpolar a ondulação local do geóide. A altitude local do geóide foi aferida através da medição directa com dGPS, em modo estático durante 30 minutos, dos pontos conhecidos mais próximos.

Os dados de *N* foram então calculados individualmente e, posteriormente, interpolados por regressão polinomial de primeira ordem (fig. 8), pressupondo que em pequenas áreas a superfície do geóide é plana (Featherstone *et al.*, 1998).

Foram ainda determinados os valores residuais de *N* nos vértices geodésicos resultado do método de interpolação utilizado (Quadro 7), verificando-se diferenças nos valores interpolados de ordem centimétrica ou melhor numa área de cerca de 14km².

Os resultados obtidos parecem estar de acordo com a projecção do modelo do geóide do território de Portugal proposto por Catalão *et al.*

(2003) e com os resultados obtidos por Antunes *et al.* (2003) para o baixo vale do Tejo.

Quadro 7 – Coordenadas e altitudes ortométrica (*H*), do elipsóide WGS84 (*h*) e do geóide (*N*) próximo da praia Azul. *d* – distância aproximada aos pontos de ancoragem; Δ – valor residual da interpolação por regressão polinomial de 1^a ordem.

	Alto da				
	Vela	Poço	Sequeira	Covas	Casalinho
x (m)	91336,3	92797,0	93381,5	91553,53	89997,37
y (m)	240385,3	238940,3	236908,9	236640,4	236264,96
H (m)	78,5	69,1	48,9	54,1	91,86
h (m)	132,3	123,0	102,7	107,8	145,587
N (m)	53,8	53,8	53,8	53,8	53,727
Δ (m)	0,0057	-0,0100	0,0085	-0,0052	0,0011
d (m)	1878	1973	3045	2054	2471

Apesar de constituir um método simples e expedito quando aplicado a áreas restritas, com um reduzido número de pontos conhecidos, existem algumas limitações a ter em conta quando se determina a altitude do geóide através do método geométrico.

As medições iniciais da altitude elipsoidal e ortométrica dependem da fiabilidade dos instrumentos utilizados.

As imprecisões associadas a estas medições podem distorcer o modelo geométrico do geóide, transmitindo os erros a todas as medições efectuadas posteriormente com dGPS. No entanto, estima-se que a influência deste tipo de erros não compromete a coerência dos dados obtidos, uma vez que os mesmos não são cumulativos, mas servem de referência constante para o cálculo das altitudes ortométricas durante as campanhas de monitorização.

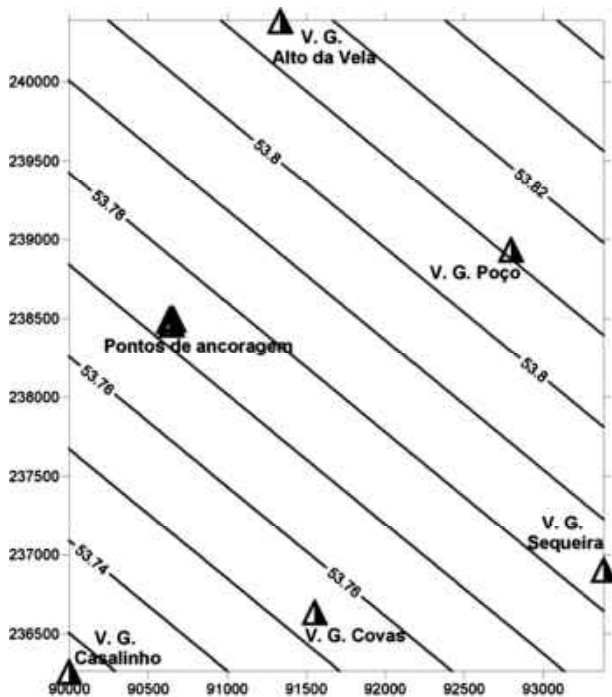


Figura 8 – Ondulação local do geóide (N), junto à praia Azul.

Por definição, a interpolação associada ao modelo local do geóide apenas pode ser aplicada à área contida entre os pontos conhecidos que serviram de base para o cálculo do valor inicial de N , ou seja, a extrapolação do modelo para áreas contíguas sem medições de h , acarreta imprecisões grosseiras associadas à não linearidade da variação da superfície do geóide.

3.2. Aquisição e tratamento de dados ET

A estação total utilizada desde o início de 2006 (marca: NIKON DTM-522), possui uma fiabilidade divulgada pelo fabricante de $4 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ multiplicada pela distância de medição.

A fiabilidade divulgada é muitas vezes aferida em condições óptimas de utilização, correspondendo aos valores máximos de exactidão que o aparelho pode disponibilizar.

Os levantamentos no litoral possuem várias fontes de erro que induzem um nível de incerteza superior ao divulgado pelo fabricante.

Como já se referiu, existem erros associados às limitações de medição dos aparelhos empregues a que acrescem imprecisões relacionadas com o operador do aparelho e com o portador da mira.

Embora o alcance da lente seja suficiente para realizar medições a mais de um quilómetro, a definição do ponto que representa o centro da mira diminui com a distância, introduzindo variações nos valores angulares verticais e horizontais.

O portador da mira pode também influenciar as medições ao controlar o enterramento do bastão da mira na areia da praia. Esta fonte de erro produz efeitos semelhantes à anterior na determinação dos ângulos. O portador da mira pode ainda influenciar a inclinação do bastão, introduzindo uma fonte de erro adicional na medição da distância entre a estação total e a mira.

Existe ainda uma fonte de erro potencial associada à metodologia empregue no levantamento dos pontos ao longo do perfil. No presente estudo utilizou-se o critério morfológico em detrimento da equidistância entre pontos

para a monitorização dos perfis. Este tipo de metodologia garante a sobreposição de perfis mas inviabiliza a coincidência na medição de cada ponto ao longo das campanhas.

A realização de testes adicionais nos locais de levantamento para determinação do erro esperado é essencial na definição da fiabilidade das medições. Neste sentido, foram realizadas 80 medições em 4 pontos de controlo localizados na praia do Lizandro a distâncias diferentes da estação total e sobre o piso móvel (composto por areia da praia e sem estabilização do prisma) e sobre piso duro (com o prisma estabilizado) (Quadro 8). As distâncias a que se procedeu à medição sistemática de pontos são representativas das condições de medição durante as campanhas, variando entre 12m e 530m.

O erro máximo esperado é de 4,7cm na determinação das coordenadas horizontais e de 2,6cm no posicionamento vertical. Estes valores são semelhantes aos divulgados em vários estudos de controlo de dados que realizam a monitorização da dinâmica de praias e dunas através de uma estação total (Gomes & Garcia, 2002; Huang *et al.*, 2002; Sá-Pires *et al.*, 2002).

A curtas distâncias (até 100m), pode afirmar-se que existe uma clara influência do tipo de piso sobre o qual são realizadas as campanhas. Os erros esperados na determinação das coordenadas x , y e z são sempre superiores em piso móvel e sem estabilização do prisma

(Quadro 8). Neste tipo de piso, a determinação das coordenadas horizontais apresenta maior dispersão em torno da média ($x_0=1,929$; $y_0=1,757$) quando comparada com os valores da altimetria ($z_0=0,186$), sugerindo uma maior influência da inclinação do bastão em relação ao enterramento do mesmo na areia da praia.

Quadro 8 – Erros esperados em medições com estação total NIKON DTM-522 sobre piso duro e em areia de praia (intervalo de confiança = 95%).

	Prisma estável em piso duro		Prisma móvel sobre areia de praia	
	Distância (m)	12	530	92
x_{95} (cm)	0,1	3,9	4,0	3,0
x_{σ} (cm)	0,1	1,9	1,9	1,5
y_{95} (cm)	0,1	0,6	3,6	4,7
y_{σ} (cm)	0,1	0,3	1,8	2,3
z_{95} (cm)	0,1	2,6	0,4	1,4
z_{σ} (cm)	0,03	1,3	0,2	0,7

A relação verificada quanto ao tipo de piso em curtas distâncias parece não se confirmar em medições x , y e z a mais de 500m. Com o aumento da distância de medição x e y deixam de ter uma relação clara com o tipo de piso e z apresenta resultados mais satisfatórios nas piores condições de medição, ou seja sobre a areia de praia e sem estabilização do prisma. Tal facto encontra-se relacionado com a inclusão de mais um factor de incerteza relacionado com a diluição da definição do ponto central da mira no óculo da estação total. Possivelmente o aumento dos factores que contribuem para o erro na medição e, principalmente, da sua magnitude faz aumentar o cariz aleatório dos mesmos.

Salienta-se, no entanto, que os erros esperados se encontram em qualquer situação abaixo dos 5cm, denunciando a elevada fiabilidade das medições.

3.3. Comparação de resultados entre técnicas

A utilização de duas técnicas distintas (dGPS e estação total) na monitorização dos perfis de praia exige que se afira a comparabilidade dos resultados obtidos e que se valide a metodologia empregue.

A forma mais simples de comparar os resultados das duas técnicas consiste em proceder a medições simultâneas no local de estudo, empregando a metodologia utilizada durante as campanhas de monitorização.

Durante a campanha de 30-01-2006 procedeu-se a um levantamento de controlo na praia do Lizandro, utilizando o dGPS e a estação total em simultâneo para medir cada ponto ao longo dos 5 perfis. Os dados do dGPS foram adquiridos com uma média de 7,5 satélites e um PDOP médio de 1,3. Os posicionamentos obtidos foram alvo da correcção diferencial, tendo por base dados da estação de Lisboa (IST), da conversão das coordenadas originais WGS84 para o sistema local de coordenadas militares e da transformação das altitudes elipsoidais em altitudes ortométricas, segundo o valor já referido de $N = 53,479\text{m}$. Desta forma, os dados

recolhidos com os dois aparelhos ficaram associados ao mesmo sistema de coordenadas (Gauss – Elipsóide Internacional) e ao mesmo *datum* (Lisboa).

Posteriormente determinaram-se todas as distâncias entre os 57 pontos nos vários perfis, com base nos dados dos posicionamentos horizontais com dGPS e estação total (Quadro 9).

Para a determinação das distâncias entre pontos recorreu-se à ferramenta *Hawth's Tools for ArcGis*. Por fim, foram comparadas as altimetrias de cada ponto, determinadas através das duas técnicas (Quadro 10).

As diferenças no posicionamento horizontal entre as técnicas dGPS e estação total são, em média inferiores a 0,226m ($\pm 0,216$). A diminuição dos valores médios das diferenças entre o P1 e o P5 fica a dever-se ao aumento, durante a campanha, do número de satélites e à diminuição do valor do PDOP, o que contribuiu para a recolha de dados mais precisos.

Os resultados obtidos nas diferenças altimétricas são ligeiramente menos satisfatórios. Em média não são de esperar imprecisões na determinação da altitude ortométrica com dGPS superiores a 0,397m. Este valor pode melhorar significativamente se o número de satélites disponíveis for superior a 7, facto verificado nas medições de P2 a P5

A impossibilidade de leitura da portadora L2, especialmente quando associada à capacidade de

Quadro 9 – Distância inclinada entre pontos por perfil na praia do Lizandro, 30-01-2006 (valores em metros). P^x – ponto inicial de medição de distância; $P^{x'}$ – ponto final de medição de distância; Δ – diferença absoluta entre pontos.

P^x	$P^{x'}$	P1			P2			P3			P4			P5		
		dGPS x,y	ET x,y	Δ z	dGPS x,y	ET x,y	Δ z	dGPS x,y	ET x,y	Δ z	dGPS x,y	ET x,y	Δ z	dGPS x,y	ET x,y	Δ z
0	1	21,730	21,536	0,193	22,871	22,521	0,350	23,675	23,638	0,037	73,015	72,952	0,063	74,135	73,862	0,274
1	2	20,219	20,691	0,472	17,244	17,404	0,160	13,152	13,065	0,086	16,315	16,472	0,157	15,693	15,978	0,285
2	3	8,063	7,946	0,118	6,901	6,946	0,045	10,506	10,550	0,044	13,717	13,699	0,019	22,966	22,750	0,216
3	4	7,830	7,040	0,790	6,350	6,568	0,218	7,211	7,604	0,393	17,144	17,387	0,243	18,002	18,054	0,052
4	5	4,792	5,056	0,264	3,927	4,094	0,167	6,213	5,937	0,276	8,333	7,902	0,431	6,355	6,331	0,024
5	6	9,514	9,140	0,374	88,646	88,075	0,571	5,322	5,068	0,254	74,677	74,666	0,011	4,531	4,593	0,062
6	7	16,468	16,463	0,004	27,764	27,735	0,029	9,244	9,024	0,220	34,858	35,080	0,222	16,807	16,506	0,301
7	8	16,392	16,237	0,155	21,695	21,751	0,056	24,313	24,312	0,002	18,706	18,808	0,102	30,352	30,392	0,039
8	9	14,337	14,385	0,048	25,982	26,223	0,241	23,877	23,942	0,066	18,170	18,122	0,048	17,828	17,702	0,126
9	10	3,039	3,159	0,120	11,598	11,476	0,122	23,163	23,003	0,160	7,937	7,568	0,369	-	-	-
10	11	1,616	1,356	0,260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	12	11,804	11,866	0,061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	13	8,500	8,421	0,079	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			\bar{x}	0,226			0,196			0,154			0,167			0,153
			σ	0,216			0,165			0,128			0,147			0,115

Quadro 10 – Diferenças no posicionamento vertical com dGPS e estação total na praia do Lizandro, 30-01-2006 (valores em metros).

P^x	P1			P2			P3			P4			P5		
	dGPS z	ET z	Δ z	dGPS z	ET z	Δ z	dGPS z	ET z	Δ z	dGPS z	ET z	Δ z	dGPS z	ET z	Δ z
0	-1,096	-1,103	0,007	-1,414	-1,196	0,218	-1,417	-1,183	0,234	-1,470	-1,268	0,202	-1,356	-1,123	0,233
1	-0,075	0,109	0,184	0,105	0,219	0,114	0,237	0,306	0,069	0,007	0,307	0,300	0,025	0,386	0,361
2	0,496	0,722	0,226	0,506	0,638	0,132	0,570	0,643	0,073	0,633	0,813	0,180	0,642	0,921	0,279
3	0,813	1,370	0,557	1,068	1,072	0,004	1,180	1,293	0,113	1,396	1,583	0,187	1,901	1,973	0,072
4	2,312	2,333	0,021	2,083	1,897	0,186	2,179	2,230	0,051	2,442	2,964	0,522	3,345	2,810	0,535
5	2,581	3,266	0,685	2,719	2,692	0,027	3,047	3,220	0,173	3,840	3,231	0,609	3,512	3,239	0,273
6	3,957	3,865	0,092	3,738	3,621	0,117	4,062	3,655	0,407	3,433	3,687	0,254	3,614	3,502	0,112
7	4,560	4,907	0,347	4,179	4,263	0,084	4,524	4,207	0,317	3,929	3,845	0,084	3,744	3,637	0,107
8	5,006	5,557	0,551	4,614	5,095	0,481	4,748	4,717	0,031	3,975	4,096	0,121	3,580	3,318	0,262
9	5,447	6,144	0,697	4,858	5,144	0,286	4,876	4,808	0,068	3,845	3,794	0,051	3,484	3,091	0,393
10	5,962	6,583	0,621	5,048	5,502	0,454	5,002	5,123	0,121	3,531	3,364	0,167	-	-	-
11	6,465	6,878	0,413	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6,647	6,868	0,221	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	6,257	7,195	0,938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		\bar{x}	0,397			0,191			0,151			0,243			0,263
		σ	0,286			0,159			0,121			0,175			0,144

resolução de ambiguidades *On-the-Fly*, diminui a fiabilidade na determinação das posições no terreno, uma vez que os erros resultantes da refração ionosférica não são eliminados. No entanto, o nível de incerteza na determinação dos pontos até ao início de 2006 apresentada nos quadros 9 e 10 e, conseqüentemente, as diferenças posicionais entre as técnicas utilizadas, julgam-se aceitáveis, tendo em conta a

magnitude das mudanças morfológicas a que estes sistemas estão sujeitos.

A indisponibilidade de instrumentação que permitisse monitorizar a praia imersa até à profundidade de fecho tornou impossível caracterizar directamente uma boa parte da dinâmica morfossedimentar do sistema,

nomeadamente o posicionamento e volume das cristas pré-litorais.

3.4. Determinação de volumetrias

O cálculo do volume, a partir dos dados pontuais alinhados transversalmente à linha de costa, exige que se tenha especial atenção aos limites do perfil de praia utilizados e à escolha do método de interpolação a utilizar na transformação dos perfis bidimensionais em tridimensionais.

O sector do perfil de praia considerado para o cálculo dos volumes foi delimitado, na base, pelo zero do nível médio do mar (nmm), referente ao *datum* de Cascais, e no topo pelo ponto de não mobilidade relativa (Ferreira, 1998) das areias por influência da hidrodinâmica marinha. A definição deste ponto tem como objectivo estabelecer uma separação entre processos predominantemente marinhos e processos eólicos, uma vez que os perfis se prolongaram até ao sector sotavento da duna nas praias de S^{ta}. Rita e Azul. Assim, a determinação do ponto de não mobilidade relativa baseou-se no sector da praia onde se deixam de observar modificações significativas associadas à hidrodinâmica marinha (Fig. 9).

No caso das praias de S^{ta}. Rita e Azul, este ponto corresponde ao limite entre a praia e a base do primeiro cordão dunar ou cordão dunar frontal. Na praia da Foz do Lizandro foi considerado todo o perfil acima dos zero metros (nmm), uma vez

que o limite interno da área monitorizada se encontra localizado na praia alta (Fig. 9).

Para a determinação do volume de cada perfil foi necessário assumir a sua largura, acrescentando assim o elemento tridimensional aos perfis. A largura assumida do perfil foi de 1m, tendo este valor sido utilizado em todas as campanhas conjuntamente com a altitude (z) e a distância (x) ao início do perfil.

Os dados x, y e z permitiam construir modelos tridimensionais dos perfis essenciais ao cálculo dos volumes, tendo sido testadas várias técnicas de interpolação espacial automática, com o programa *Surfer* (Golden Software), a fim de escolher aquela que melhor representava a realidade medida.

A interpolação espacial de dados corresponde a um processo de estimativa de atributos, em áreas sem amostragem, a partir de dados medidos no terreno. Assume-se que a proximidade dos valores reais é um factor determinante no cálculo dos valores estimados.

O resultado da aplicação das técnicas de interpolação depende em grande parte da quantidade e da distribuição espacial dos dados originais.

A escolha da técnica correcta é, assim, de grande importância, tanto mais que a utilização de diferentes algoritmos por parte das diferentes técnicas torna impossível a comparação directa dos resultados.

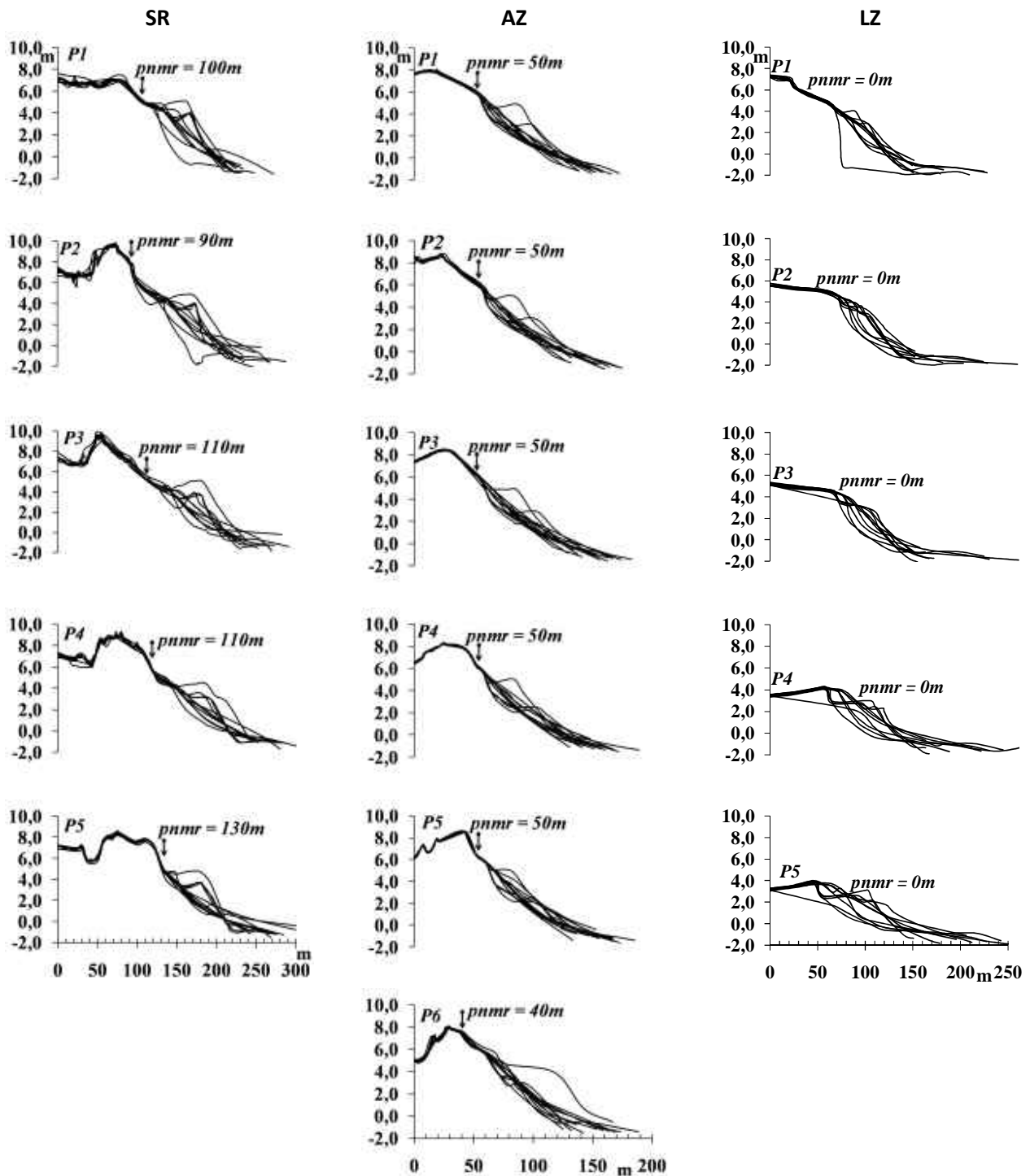


Figura 9 – Localização do ponto de não mobilidade relativa (pnmr) nas praias de Sta. Rita (SR), Azul (AZ) e Foz do Lizandro (LZ).

Foram consideradas as técnicas da média ponderada pelo inverso da distância, da krigagem, do vizinho mais próximo e da média móvel, sempre como interpoladores exactos, ou

seja, assumindo as posições dos pontos originais nos modelos gerados.

Os valores interpolados segundo a média ponderada pelo inverso da distância (\widehat{Z}_j) são influenciados pelos valores dos pontos vizinhos, numa lógica de proximidade. A influência da proximidade nos resultados é estabelecida através do expoente aplicado ao cálculo, ou seja quanto maior o expoente utilizado mais influência se atribui à distância entre pontos (Yilmaz, 2007). O expoente utilizado no presente caso correspondeu a dois.

$$\widehat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (26)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2}$$

em que, \widehat{Z}_j representa o valor interpolado j e \widehat{Z}_i os pontos vizinhos, β corresponde ao expoente da distância, h_{ij} representa a distância ponderada entre o ponto estimado j e o ponto vizinho i , d_{ij} corresponde à distância entre o ponto estimado j e o ponto vizinho i e δ representa o parâmetro de ponderação da distância.

A técnica de krigagem (λ) utiliza o mesmo princípio de proximidade. No entanto, o factor de ponderação baseia-se na correlação espacial dos dados. Este factor de desagregação (Soares, 2000) é determinado por uma matriz de covariâncias que agrupa as amostras mais

correlacionadas, diminuindo o seu peso individual no modelo.

$$[\lambda] = [K]^{-1} \cdot [M] \quad (27)$$

em que, K corresponde ao factor de desagregação e M refere-se à distância.

Optou-se pela krigagem normal (Soares, 2000) para comparar os resultados, tendo sido utilizado um modelo de variograma composto por uma função de ajuste linear.

A krigagem normal é o algoritmo mais utilizado em geoestatística. Ao contrário da krigagem simples, este é influenciado pelas médias locais e, conseqüentemente, reproduz de forma mais fiável a realidade (Soares, 2000; Nicolau, 2002).

A interpolação de valores segundo a técnica do vizinho mais próximo atribui directamente ao ponto a estimar o valor real espacialmente mais próximo, não assumindo qualquer tendência espacial. A obtenção de dados por interpolação será tanto mais precisa quanto mais regular o espaçamento dos dados.

A média móvel utiliza a média aritmética como estimador aplicada aos vizinhos mais próximos e numa elipse de distância pré-estabelecida. Em grande parte dos casos é usado um círculo como forma de busca de pontos num raio predeterminado (Yilmaz, 2007). No entanto, nos

casos em que a distribuição dos dados é longitudinal, como é o caso dos perfis de praia, torna-se necessário favorecer um eixo em detrimento de outro, originando assim uma busca de pontos limitada por uma elipse. No presente caso adoptou-se uma elipse definida por dois raios de 20 e 100 metros, respectivamente.

A comparação de resultados de cada praia exige que o espaçamento da quadrícula seja constante.

A distância entre linhas no modelo tridimensional foi estabelecida com base nos valores médios de distância entre os pontos e de comprimento de todos os perfis realizados numa praia (Quadro 11), entre os zero metros (nmm) e o ponto de não mobilidade relativa.

As quadrículas geradas possuem, assim, 8,627m X 1m, na praia de S^{ta}. Rita, 8,004m X 1m, na praia Azul, e 10,784m X 1m, na praia da Foz do Lizandro (Quadro 11).

Quadro 11 – Distância entre linhas nos modelos tridimensionais.

Praias	Distância média entre pontos (m)	Comprimento médio dos perfis (m)	Distância entre linhas na rede (m)
S ^{ta} . Rita	15,819	136,467	8,627
Azul	14,066	112,586	8,004
Lizandro	17,079	184,180	10,784

A quantificação das incertezas associadas à aplicação das várias técnicas de interpolação aos

dados originais foi efectuada através da determinação dos valores residuais.

A análise pontual dos resíduos implica um aumento progressivo da incerteza em relação ao comportamento dos modelos interpoladores à medida que um ponto extrapolado se afasta do ponto medido que lhe deu origem.

Os resíduos, ou as diferenças entre os pontos originais e os pontos interpolados, permitiram diferenciar a aplicação das técnicas de interpolação espacial aos dados recolhidos nos três sistemas, nas campanhas de Fevereiro e Maio de 2006.

Ao escolher as referidas campanhas para testar a aplicação dos interpoladores espaciais tentou-se retratar dois tipos de perfil que regularmente ocorrem nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro, ou seja, o perfil intermédio com acumulação de sedimentos na berma (campanha de Fevereiro) e perfil dissipativo (campanha de Maio). Tendo como base estes valores foi calculado o resíduo médio (Quadro 12) e os desvios à média dos resíduos (Quadro 13).

Os valores médios de desvio em relação aos dados originais são mais elevados quando é considerada a média móvel como interpolador espacial. As diferenças altimétricas pontuais podem ultrapassar 2,6m (Quadro 12) e em média, nas seis campanhas analisadas, a diferença é superior a 1m. Esta técnica de interpolação espacial apresenta também os

valores mais elevados de desvio em relação à tendência central (Quadro 13).

A média ponderada pelo inverso da distância apresenta resultados de ordem submétrica, diferenciando-se bastante da técnica anterior. No entanto, com a krigagem são obtidos os valores médios e de dispersão média dos resíduos mais baixos. Em média, podem esperar-se resíduos de cerca de 19mm com a aplicação do método de interpolação da krigagem (Quadros 12 e 13).

As diferenças altimétricas registadas entre os valores originais e os valores interpolados têm,

naturalmente, influencia nos resultados dos volumes calculados para cada perfil, acrescentando incerteza à análise da dinâmica sedimentar das praias.

Seguindo o pressuposto já assumido de comparação dos resultados das várias técnicas de interpolação, foram calculados os resíduos volumétricos entre a superfície interpolada com os valores originais e a superfície interpolada, tendo em conta os seus resíduos altimétricos (Quadro 14).

A elevada amplitude nos valores dos resíduos

Quadro 12 – Valores residuais médios.

		Média ponderada (inverso da distância) (m)	Krigagem (m)	Vizinho mais próximo (m)	Média móvel (m)
Praia de S ^{ta} . Rita	Fev-06	0,098774059	0,014813435	0,000609137	2,682203169
	Mai-06	0,060442567	0,029747516	0,029513117	1,860887711
Praia Azul	Fev-06	0,064093363	0,004771859	0,035153723	1,926528559
	Mai-06	0,116490871	0,047197787	0,033755417	0,934932789
Praia da Foz do Lizandro	Fev-06	0,023406196	0,004322651	0,050692013	0,009126075
	Mai-06	0,030528618	0,012887820	0,080404838	0,098172498
	Média	0,065622612	0,018956845	0,038354708	1,251975134

Quadro 13 – Desvio padrão dos valores residuais.

		Média ponderada (inverso da distância) (m)	Krigagem (m)	Vizinho mais próximo (m)	Média móvel (m)
Praia de S ^{ta} . Rita	Fev-06	0,092717392	0,025230266	0,001362072	0,371250957
	Mai-06	0,114036932	0,098743320	0,099530391	1,123682649
Praia Azul	Fev-06	0,110924260	0,021669166	0,078606114	1,025621291
	Mai-06	0,244184027	0,126234639	0,187212175	1,622997865
Praia da Foz do Lizandro	Fev-06	0,091171439	0,064668762	0,101766260	1,663483245
	Mai-06	0,151088090	0,122066579	0,123014204	1,589170500
	Desvio médio	0,134020357	0,076435455	0,098581869	1,232701085

volumétricos (Quadro 14) demonstra a importância que as várias técnicas de interpolação possuem na fiabilidade dos dados.

A média móvel é o interpolador com resultados menos satisfatórios. Embora nenhuma das técnicas utilizadas possua resíduos submétricos, a krigagem é a que se destaca pelas menores variações médias e máximas.

Confirmam-se assim os resultados obtidos na análise dos resíduos altimétricos (Quadros 12 e 13), sendo a krigagem o interpolador que melhor expressa as tendências na dinâmica sedimentar dos sistemas da praia de S^{ta}. Rita, praia Azul e praia da Foz do Lizandro.

Quadro 14 – Volumes residuais entre as campanhas de Fevereiro e Maio de 2006.

Praias		Média ponderada (inverso da distância)	Krigagem	Vizinho mais próximo	Média móvel
		(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
S ^{ta} . Rita	Fev-06	-9,397	-1,615	-0,027	-105,318
	Mai-06	5,726	-2,744	-2,268	-109,857
Azul	Fev-06	-5,628	-0,526	1,397	-105,331
	Mai-06	-14,445	-3,444	-0,254	-138,264
Foz do Lizandro	Fev-06	5,088	1,224	5,159	-6,604
	Mai-06	0,569	1,133	-7,401	25,064
Variação mínima		0,569	0,526	0,027	6,604
Variação máxima		14,445	3,444	7,401	138,264
Variação média		6,809	1,781	2,751	81,740
Diferença acumulada		40,853	10,687	16,505	490,438

4. Sedimentos de praia: tratamento e aquisição de dados

A dinâmica da praia depende, entre outros factores, das mudanças constantes nos parâmetros texturais característicos dos sedimentos desse sistema. A avaliação dessas mudanças permite inferir a persistência ou alternância de processos de transporte sedimentar.

Modificações de curto prazo nos padrões locais do clima de agitação marítima, no declive do perfil de praia e, a longo prazo, nas fontes sedimentares podem alterar por completo os tipos de transporte sedimentar predominantes.

A monitorização dos parâmetros sedimentares das praias torna-se, assim, essencial na caracterização da dinâmica do sistema e na avaliação dos modos de transporte sedimentar predominantes.

Os sedimentos de praia são frequentemente caracterizados de forma simplista através de parâmetros gerais como a média ou a mediana granulométrica, sem que se tenha em consideração a variabilidade espácio-temporal das suas características.

A avaliação desta variabilidade é essencial para que se registre a totalidade dos espectros granulométricos de cada sistema, particularmente os que se encontram relacionados com a ocorrência de episódios mais

energéticos e a sua relação com a morfologia registada.

A implementação do programa de monitorização sedimentar nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro decorreu entre os meses de Março de 2004 e 2007 e incluiu a colheita de 225 amostras.

No processo de amostragem recorreu-se à raspagem superficial de cerca de 200g de sedimentos.

A amostragem decorreu em simultâneo com a realização dos perfis transversais de praia e ao longo do perfil central (P3) da área monitorizada.

O perfil de amostragem foi efectuado nos elementos morfológicos mais activos da praia, ou seja, na crista da berma, na face da praia, na base da face da praia e no terraço de maré, dependendo o programa de amostragem da acessibilidade a estes elementos morfológicos no sector emerso da praia.

O espaçamento entre os pontos de recolha dos sedimentos dependeu da existência e da posição momentânea dos elementos morfológicos amostrados. A face da praia foi o único elemento com amostragem durante todas as campanhas realizadas nas três praias.

As lacunas nas amostragens ficaram a dever-se, por um lado, à altura da maré e, por outro, ao tipo de perfil registado à data das campanhas. A altura da maré durante a baixa-mar viva influenciou a amostragem, tornando inacessível o

terraço de maré e/ou a base da face da praia, sectores do perfil com um número mais elevado de lacunas de amostragem. A aproximação do sistema a condições dissipativas, resultado de episódios mais energéticos, suprimiu parte dos elementos morfológicos, tornando impossível a colheita de sedimentos na berma, base da face da praia ou no terraço de maré.

Após a colheita, as amostras foram sujeitas ao procedimento laboratorial, realizado no Laboratório de Geografia Física do Centro de Estudos Geográficos, com o objectivo de caracterizar a distribuição granulométrica em classes pré-definidas, o cálculo dos parâmetros estatísticos característicos das amostras e a avaliação das condições de transporte e deposição de cada amostragem.

As amostras foram quarteadas em porções de 60g e lavadas em água desionizada de pH neutro.

Após a lavagem inicial, as amostras foram secas a 60°C e pesadas com uma precisão de 0,01g.

A crivagem a seco de 225 amostras de sedimentos realizou-se numa coluna de crivos distribuídos em intervalos de 0,5Ø, entre os diâmetros -2,0Ø (4,0mm) e 4,5Ø (0,044mm).

A crivagem dos sedimentos permite caracterizar a distribuição absoluta dos vários diâmetros dos grãos presentes na amostra segundo a dimensão dos seus eixos intermédios. No entanto, a análise dos resultados pode ser condicionada por alguns pressupostos inerentes à técnica utilizada.

O processo de crivagem de sedimentos com auxílio de agitadores mecânicos força a distribuição dos grãos por dimensão em intervalos de classe pré-definidos, assumindo que os sedimentos possuem a mesma densidade e a mesma forma. Este facto pode ser significativo se existir uma elevada variabilidade composicional das amostras, porque a forma e a densidade das partículas influenciam as propriedades hidrodinâmicas de cada partícula e, conseqüentemente, o seu tempo de deposição (Blott & Pye, 2006; Flemming, 2007).

Os sedimentos presentes nas praias do litoral ocidental de Portugal são constituídos predominantemente por grãos de quartzo, reflectindo a composição das principais fontes de sedimentos das grandes bacias hidrográficas da Península Ibérica. A densidade dos grãos é, assim, um pressuposto da técnica que não terá influência significativa nos resultados obtidos.

Os parâmetros característicos dos sedimentos média, desvio padrão (calibração), assimetria e curtose, foram calculados segundo o método dos momentos (Friedman & Sanders, 1978), com o auxílio da folha de cálculo SEDMAC/SEDPC (Henriques, 2004). Optou-se por apresentar os resultados da caracterização em unidades de calibre, convertendo os valores para unidades métricas para utilização nas formulações descritoras do comportamento do perfil de praia e dos processos que nele actuam.

O uso destes parâmetros estatísticos apenas é possível em populações com uma distribuição de valores próxima da curva log-normal (Horn & Walton, 2007). As areias de praia correspondem frequentemente a materiais bem a muito bem calibrados e possuem em geral uma distribuição unimodal, facto que as aproxima deste tipo de distribuição

III. **MORFODINÂMICA DE PRAIAS**

1. Enquadramento geomorfológico das praias

As condições geomorfológicas que determinam a formação das praias influenciam a sua forma planimétrica, a sua largura e comprimento, a sua exposição à ondulação, a curvatura local da linha de costa, o tipo de circulação nas faixas de transformação, surf e ressaca e, em última análise, a dinâmica do sistema de praia (Roy *et al.*, 1994; Short, 1999).

O modelado pré-existente à instalação de uma praia pode resultar de processos erosivos no substrato (plataformas rochosas de sopé herdadas ou antigos fundos de vale encaixados) ou representar áreas de acumulação de sedimentos (antigas planícies aluviais ou lagunas costeiras). Este modelado determina, em primeiro lugar, a quantidade de sedimentos que podem ser depositados, por captação à deriva litoral, entre a antiga superfície e a superfície da praia, relativamente a determinado nível médio do mar (Cowell & Thom, 1994).

A influência do modelado pré-existente mantém-se independentemente da disponibilidade sedimentar, significando que modelados pré-existentes distintos determinarão a formação de sistemas litorais, nomeadamente praias, com geometrias diferentes e, conseqüentemente dinâmicas diferenciadas, mesmo que as condições de fornecimento sedimentar aos sistemas sejam iguais.

A morfologia pré-existente condiciona o desenvolvimento dos sistemas de praia, através

do controlo que possui sobre os processos de deposição das partículas em movimento na deriva litoral ou nos estuários. As plataformas continentais internas horizontais ou sub-horizontais tendem a originar processos de transformação de ondas longínquos, com grande parte da dispersão energética a efectuar-se em faixas afastadas da linha de costa, criando aí condições para a deposição dos materiais. Quando se verifica o oposto, ou seja, quando a plataforma continental interna possui gradientes elevados, grande parte dos sedimentos é transportada para o largo e depositada em áreas da plataforma continental mais profundas.

Apesar de possuírem orientações da linha de costa semelhantes, os sistemas da praia de S^{ta}. Rita, da praia Azul e da praia da Foz do Lizandro possuem características distintas quanto ao tipo e dimensão do sistema (Quadro 15) e quanto às condições de evolução geomorfológica que originaram este tipo de sistemas litorais.

1.1. Praia de S^{ta}. Rita

A praia de S^{ta}. Rita corresponde a um sistema litoral compósito, com uma componente de praia-duna, a norte, e outra de praia-arriba, a sul (Quadro 15 e fig. 10). Grande parte deste sistema compósito assenta sobre uma pequena depressão diapírica (Trindade, 2001), onde aflora

um complexo pelítico-carbonatado-evaporítico de idade hetangiana, composto por argilas gipsíferas e salíferas de caris extrusivo e denominado por Choffat de Margas de Dagorda (Manuppella *et al.*, 1999). O arranjo estrutural que esta formação confere aos materiais das unidades do Vimeiro (calcários compactos bioclásticos kimeridgianos) e da Praia da Amoreira e Porto Novo (arenitos, margas e arenitos) condiciona a morfologia e, conseqüentemente, a forma planimétrica trapezoidal do sector norte do sistema (fig. 10).

A linha de arriba, talhada na formação da Praia da Amoreira e Porto Novo, é interrompida neste sector devido à presença da referida depressão diapírica, tornando possível a acumulação de sedimentos. Estes sedimentos e o abrigo do local em relação à ondulação dominante de NW permitiram o desenvolvimento de uma restinga e a constituição de um sistema lagunar de barreira, que existiria ainda no séc. IX. A intervenção continuada nas vertentes, através da desflorestação, levou ao aumento do transporte de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica do Rio Alcabrichel, ao assoreamento do sistema lagunar de S^{ta}. Rita, há cerca de 4 séculos, e à sua substituição pelo sistema actual de praia-duna (Trindade, 2001).

A existência do promontório de Porto Novo a norte da praia de S^{ta}. Rita representa um ponto de refacção/difracção da ondulação, principalmente da que chega dos octantes N a WNW, podendo, pela proximidade à praia e à

área de monitorização, representar um factor explicativo do comportamento morfodinâmico do perfil no sector norte da praia.

A praia de S^{ta}. Rita possui um campo dunar actual altamente degradado pelo pisoteio e pela presença de superfícies de deflação que cortam o topo da duna branca (Fig. 5.1). Este campo de dunas, com altitude máxima de cerca de 10m, ocupa cerca de 25% da totalidade do sistema cuja dinâmica pode ser considerada como resultante de factores actuais. Os restantes 75% correspondem ao sector da praia emersa (Quadro 15), fonte de sedimentos para as dunas.

Quadro 15 – Definição do tipo e características dos sistemas de praia em análise.

	Praia de S^{ta}. Rita	Praia Azul	Praia da Foz do Lizandro
Tipo de sistema actual	Praia – Duna / Praia – Arriba Restinga /	Praia – Duna Planície	Praia – Duna
Sistema pré-existente	Laguna costeira	aluvial ampla / Ria	Estuário estreito
Declive da plataforma continental interna (0m → -40m)	0,33°	0,36°	0,61°
Praia emersa	113 019,27m ²	140 304,22m ²	93 126,07m ²
Dunas actuais	37 741,53m ²	429 481,09m ²	27 479,61m ²
Dunas herdadas	355 566,12m ²	--	--
Área emersa do sistema actual	150 760,80m ²	569 785,31m ²	120 605,68m ²



Figura 10 – Componentes do sistema e elementos de degradação do campo dunar da praia de S^{ta}. Rita. **a** – duna degradada por pisoteio; **b** – dunas embrionárias; **c** – colonização recente de *Elymus farctus* no limite interno da praia alta (ortofotomapa de 2004).

1.2. Praia Azul

A orientação da exposição da linha de costa na Praia Azul (N300,5) é semelhante à praia de S^{ta}. Rita (N298,0). No entanto, o sistema distingue-se pela sua dimensão (Quadro 15). Corresponde a um dos maiores sistemas com componente praia-duna existentes na faixa costeira entre Peniche e Cascais (569 785,31m², Quadro 15), sendo apenas superado em área pelo sistema da Praia da Consolação (≈1 675 700m²), a sul de Peniche.

A área emersa total do sistema actual da praia Azul (Quadro 15) destaca-se das praias de S^{ta}. Rita e da Foz do Lizandro pela extensão que ocupa. O sistema composto da praia de S^{ta}. Rita representa 26,46% da área ocupada pelo sistema da praia Azul, enquanto a dimensão do sistema praia - duna da Foz do Lizandro ocupa apenas 21,17%.

A elevada amplitude da planície aluvial e do vale pré-existente e a disponibilidade sedimentar ditam a configuração actual deste sistema, que atinge a altitude máxima de 25m no topo norte do campo dunar. Ao contrário da praia de S^{ta}. Rita, este campo dunar estende-se para o interior, alongando-se pelo vale do rio Sizandro por cerca de 1km (Fig. 11, Quadro 15). Salienta-se, no entanto, que apesar de não existirem constrangimentos estruturais que limitem o avanço das areias para o interior, o campo dunar encontra-se confinado a montante pelas

actividades agrícolas que se desenvolvem da planície aluvial do vale do rio Sizandro.

Segundo Hoffmann (1989), o vale do sector terminal do rio Sizandro seria, há cerca de 5000 anos um estuário aberto, tipo ria, estendendo-se a superfície inundada pelo mar cerca de 16 – 18km para montante da actual foz.

Resultados de datações de sondagens realizadas em São Pedro da Cadeira posicionam a foz do rio Sizandro a 6km da actual desembocadura, há cerca de 2ka BP. Assim, pode presumir-se que o início da formação da actual planície aluvial no sector terminal do rio e, conseqüentemente, do sistema praia – duna, será posterior a 2ka BP.

Actualmente, a dinâmica do perfil emerso da praia é condicionada pela presença de um pequeno promontório, cuja influência é limitada no espaço ao extremo norte do sistema (Fig. 11). Pode considerar-se, com alguma segurança, que grande parte da praia, e principalmente o sector monitorizado (Fig. 11), se encontra livre da influência que este elemento morfológico possa ter na hidrodinâmica local.

Parte do campo dunar da praia Azul encontra-se ocupado por uma área sujeita a inundação (Fig. 11 e 12). A submersão desta depressão, que representa 8,07% da totalidade do campo dunar, depende do nível hidrométrico do rio Sizandro, da altura da toalha freática (nível piezométrico) e da altura das ondas incidentes na praia, através da ocorrência de galgamentos oceânicos.

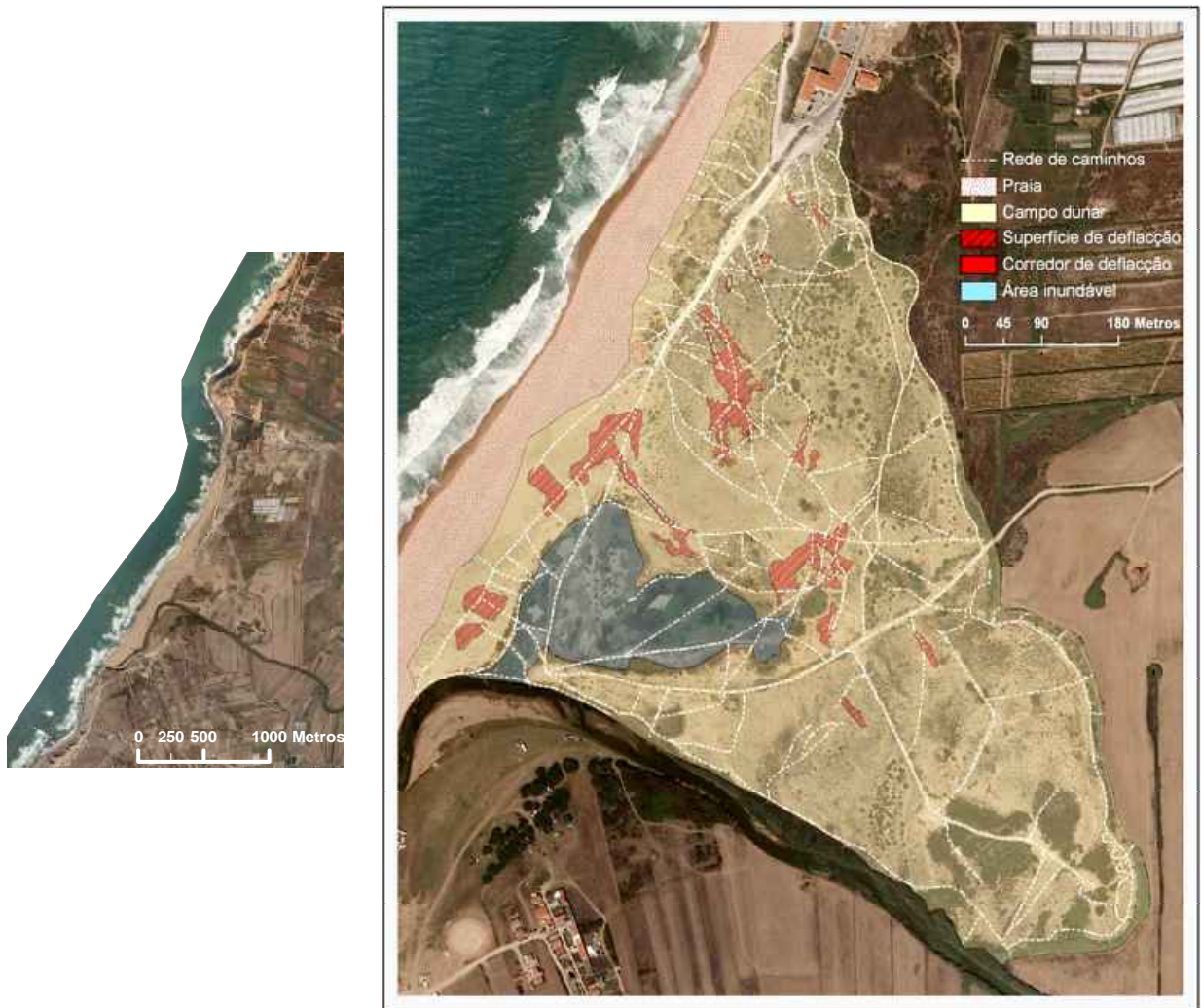


Figura 11 – Componentes do sistema e elementos de degradação do campo dunar da praia Azul (ortofotomapa de 2004).



Figura 12 – Sector inundável do campo dunar da praia Azul. Foto datada de 11.01.2005.

Embora sejam frequentes, os galgamentos oceânicos não possuem, muitas vezes, a magnitude necessária para inundar este sector do campo dunar, estando este mais dependente dos níveis hidrométrico e piezométrico locais que possuem um ritmo marcadamente sazonal.

1.2. Praia da Foz do Lizandro

A praia da Foz do Lizandro ocupa o sector terminal do vale assoreado do rio Lizandro, sendo limitada a norte e a sul por arribas de comando variável que não excede 50m.

Talhadas em calcários margosos cenomanianos e arenitos albianos (Grés da Praia de Banhos), as arribas e as vertentes do interior do pequeno estuário conferem ao sistema uma forma em funil exposta a W (Fig. 13).

A linha de costa no sistema da Foz do Lizandro não ultrapassa os 750m de comprimento possuindo uma largura variável entre 250m e 500m. Este sistema possui uma extensão arenosa intermitente para norte, ao longo da arriba, cobrindo a plataforma rochosa de sopé sempre que existe disponibilidade sedimentar ou que as condições de ondulação sejam favoráveis ao transporte de sedimentos de norte para sul.

A dinâmica morfológica deste sistema, tal como dos restantes, é dominada pelo clima de agitação

marítima. Exposta à ondulação dominante de NW e aos temporais de W, não é claro o papel que a plataforma rochosa de sopé localizada a norte possui na deflacção das ondas, quer pela extensão em profundidade, até agora parcialmente desconhecida, quer pela existência de saliências rochosas associadas ao afloramento de um filão de dolerito de direcção perpendicular à linha de costa (Fig. 14).

A praia da Foz do Lizandro evolui ainda por acção da dinâmica do rio Lizandro e pela acção antrópica, através de trabalhos de regularização artificial do perfil reflectivo na época balnear (Trindade *et al.*, 2006b).

O predomínio da hidrodinâmica marinha sobre a do rio Lizandro pode ser comprovado pelo dinamismo da sua foz, que se encontra bloqueada por uma crista arenosa durante a maior parte do ano, e pela sua posição no extremo sul do sistema (Fig. 13), sugerindo a importância que a ondulação dominante de NW possui na mobilização de sedimentos nesta praia.

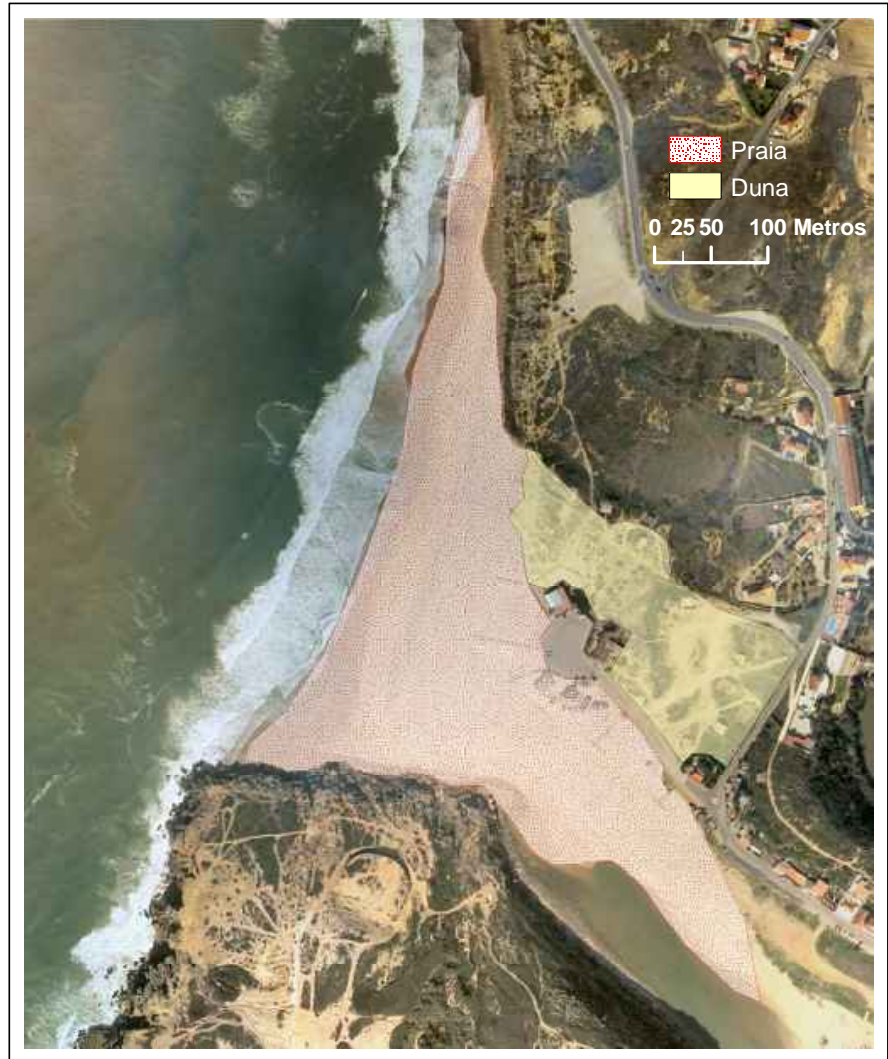


Figura 13 – Componentes do sistema e elementos de degradação do campo dunar da praia da Foz do Lizandro (ortofotomapa de 2004).



Figura 14 – Posicionamento da saliência rochosa do filão de dolerito a norte da praia da Foz do Lizandro.

2. Dinâmica planimétrica de praias

A forma planimétrica de uma praia depende, em primeiro lugar, do regime de ondas que chegam à linha de costa. A predominância de rumos e alturas determina a forma como as cristas das ondas são refractadas e difractadas e, conseqüentemente, influencia a distribuição energética ao longo do litoral (Komar, 1998). Esta diferenciação na distribuição da energia das ondas é muitas vezes promovida pela presença de promontórios que focalizam a convergência de cristas de ondas, influenciando a capacidade de transporte ao longo da linha de costa entre o promontório, com maior dissipação energética, e os sistemas de praia associados.

A área afectada pelo processo de refração depende directamente do período da onda, o que implica uma variação local no espaço e no tempo dos efeitos deste processo, reflectindo-se na dinâmica planimétrica da praia.

A frequência e magnitude dos avanços e recuos sucessivos da linha de costa e as modificações constantes nos parâmetros morfométricos do plano da praia são também influenciados pelas características das fontes de sedimentos que contribuem para a sua alimentação, pelos ritmos de erosão/acrecção e de transporte de sedimentos de e para fora do sistema.

O estudo da dinâmica do plano de praia é importante para compreender os ritmos de erosão/acumulação do sistema e essencial na avaliação dos limites métricos de área disponível

para os vários usos da praia ou para a instalação de estruturas de apoio permanentes ou temporárias.

A monitorização sistemática das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro permitiu determinar, com elevada fiabilidade, o posicionamento horizontal momentâneo do nível médio do mar associado ao *datum* vertical de Cascais. Foi ainda possível determinar a posição exacta da berma de praia, sempre que este elemento morfológico se encontrava presente. Salienta-se a relevância dos dados recolhidos entre o Inverno marítimo 2005/2006 e de parte do Verão marítimo de 2006 pela elevada frequência de medições. A estes dados juntaram-se os correspondentes às monitorizações do ano de 2004, que excluem o sistema da praia Azul.

O posicionamento horizontal médio do nível médio do mar (*nmm*) observado em relação ao ponto de não mobilidade relativa (*pnmr* – Fig. 15) variou entre 72m, na praia Azul, e 129m, na praia da Foz do Lizandro. A praia de S^{ta}. Rita obteve o valor intermédio de 88m.

A distância *pnmr*→*nmm* máxima foi atingida na praia da Foz do Lizandro no perfil localizado no extremo sul da área de monitorização (P5, 19.10.2005) e corresponde a 180m. As praias Azul e de S^{ta}. Rita registaram distâncias máximas de 114m (P6 – 16.01.2006) e 134m (P2 – 31.03.2006), respectivamente.

A praia da Foz do Lizandro registou também as maiores distâncias médias entre o *pnmr* e a

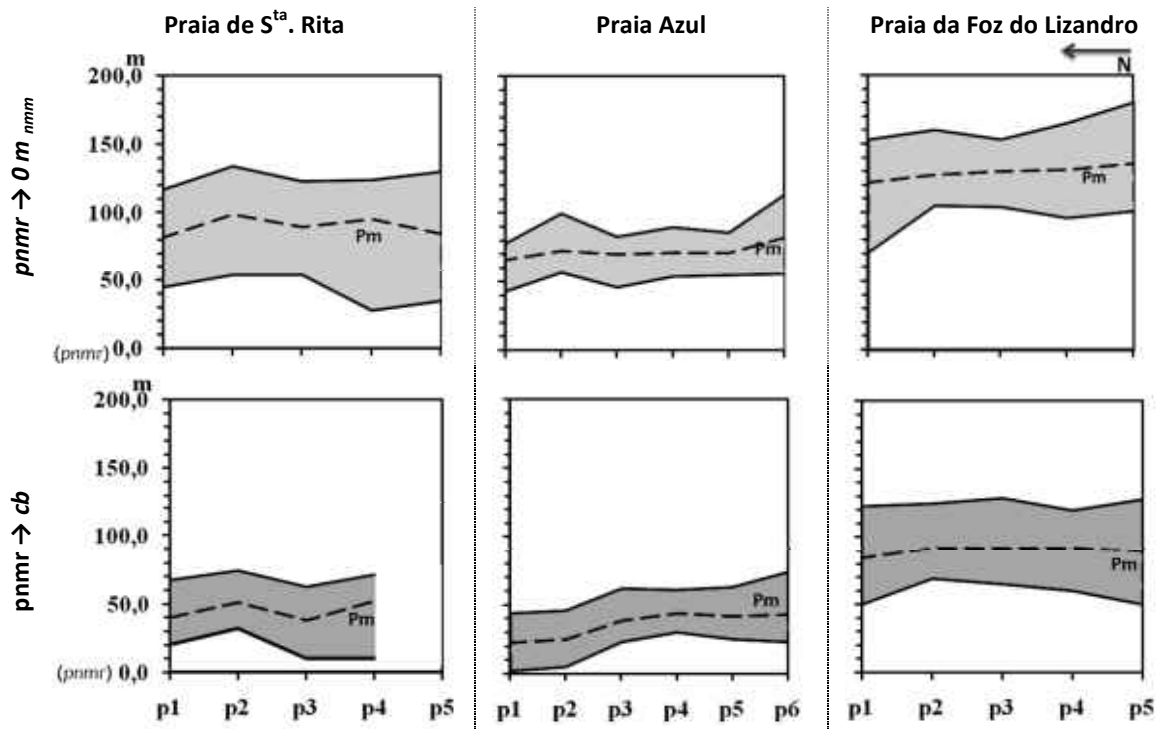


Figura 15 – Dinâmica planimétrica das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro. *pnmr* – ponto de não mobilidade relativa; *cb* – crista da berma; *nmm* – nível médio do mar; *Pm* – posição média. (Localização dos perfis na Fig. 5)

berma (praia de S^{ta}. Rita = 45m; praia Azul = 36m; praia da Foz do Lizandro = 90m), embora não tenha sido possível determinar os valores no perfil 5 por insuficiência de dados. As distâncias máximas observadas correspondem a 75m, 74m e 129m nas praias de S^{ta}. Rita (P2 – 14 e 28.05.2006), Azul (P6 – 16.01.2006) e Foz do Lizandro (P3 – 19.10.2005), respectivamente.

As variabilidades máximas absolutas *pnmr*→*nmm* registadas são superiores nas praias de S^{ta}. Rita e Foz do Lizandro, observando-se variações inferiores na praia Azul (Fig. 16). A praia Azul regista, de resto, os valores mais aproximados de variabilidade máxima global entre *pnmr*→*nmm* e *pnmr*→*cb*, 71m e 72m respectivamente.

A análise da distribuição espacial da variabilidade máxima registada durante o período de monitorização revelou comportamentos diferenciados entre os vários sistemas (Fig. 17). Pode afirmar-se que existe uma tendência para o aumento da variabilidade nas distâncias *pnmr*→*nmm* e *pnmr*→*cb* de norte para sul, nos sistemas em análise. Os quocientes de variabilidade máxima *pnmr*→*nmm* dos perfis localizados no sector sul das áreas monitorizadas (P4, P5 e P6) são 1,2 (praia de S^{ta}. Rita) e 1,1 (praia Azul e Foz do Lizandro) em relação aos perfis localizados a norte (P1 e P2). No caso das distâncias horizontais *pnmr*→*cb* os mesmos quocientes assumem os valores de 1,1 (praia da

Foz do Lizandro e praia Azul) e 1,4 (praia de S^{ta}. Rita).

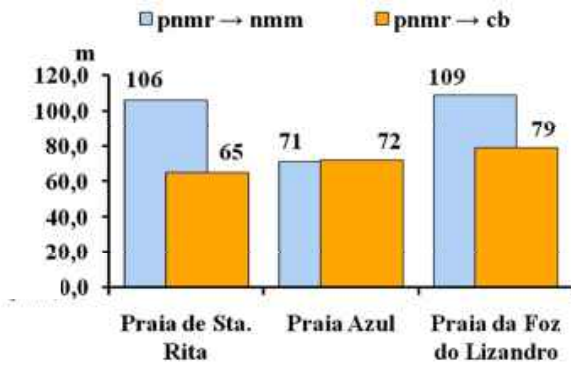


Figura 16 – Variabilidade máxima global da posição do nível médio do mar (*nmm*) e da crista da berma (*cb*) em relação ao ponto de não mobilidade relativa (*pnmr*).

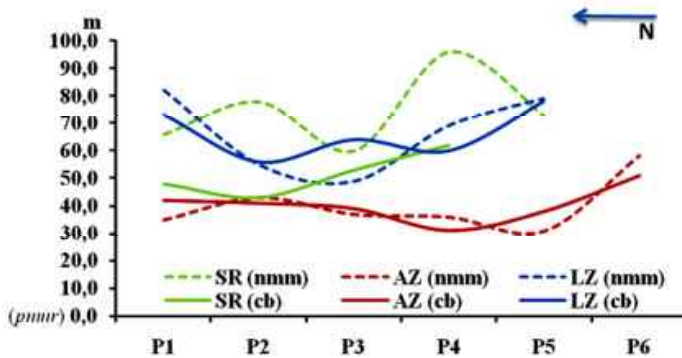


Figura 17 – Variabilidade máxima por perfil da posição do nível médio do mar (*nmm*) e da crista da berma (*cb*) em relação ao ponto de não mobilidade relativa (*pnmr*). SR – praia da S^{ta}. Rita; AZ – praia Azul; LZ – praia da Foz do Lizandro.

Dos dados expostos, pode concluir-se que o sistema da Foz do Lizandro possui a maior distância transversal de área emersa associada à dinâmica marinha, destacando-se dos restantes sistemas. Este sistema regista uma tendência de incremento da área exposta à referida dinâmica

entre os perfis 1 (norte) e 5 (sul), evidenciando não só uma diminuição da influência dos pontos de refração existentes a norte deste sistema, mas também a aproximação ao estuário do rio Lizandro, localizada 50m a sul do perfil 5. Esta influência bipartida na dinâmica sedimentar longitudinal é particularmente evidente nos extremos norte e sul da área monitorizada onde a variabilidade máxima é mais elevada e quase equivalente (Fig. 17), tendo em conta os quocientes obtidos nas distâncias *pnmr*→*nmm* e *pnmr*→*cb*.

A praia Azul corresponde ao sistema com menor largura da praia emersa associada à dinâmica marinha, registando, no entanto, algumas diferenças entre os sectores norte e sul da área monitorizada. Estas diferenças são particularmente evidentes nas distâncias *pnmr*→*cb* e seguem a tendência geral do sistema de crescimento progressivo da área atribuível à praia emersa para sul (Fig. 5 e 11), incluindo a faixa entre-marés. Salienta-se a relevância dos dados obtidos neste e nos restantes sistemas, podendo assumir-se uma correspondência entre a concentração de sedimentos a sul nos sistemas estudados e a direcção do transporte sedimentar associado à deriva litoral.

Realça-se, por último, que, conforme esperado, as variabilidades mais elevadas registam-se nas distâncias *pnmr*→*nmm*, sendo equivalentes na praia Azul. Este facto confirma que os processos associados à hidrodinâmica marinha actuam com igual ou maior frequência e intensidade no sector

mais baixo do perfil de praia emersa, tornando-o morfologicamente mais dinâmico. A praia de S^{ta}. Rita regista, neste domínio, a maior diferença entre as variabilidades nas distâncias horizontais $pnmr \rightarrow nmm$ e $pnmr \rightarrow cb$ (Fig. 16).

A variação temporal do posicionamento planimétrico $pnmr \rightarrow nmm$ reflecte a forma como os sistemas respondem ao regime de ondas que apresenta, na costa oeste, um contraste entre o Inverno e o Verão marítimos. A determinação destas variações é um indicador importante na detecção de ciclicidades associadas ao ritmo de recuo e avanço da linha de costa ao longo do ano. Pode também fornecer elementos relevantes sobre a resposta de cada sistema a condições de hidrodinâmica marinha de largo semelhantes, através da variabilidade máxima registada entre cada campanha.

A monitorização das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro entre 2004 e 2006 permitiu identificar uma sucessão temporal de posicionamentos horizontais do nível médio do mar (Fig. 18). No conjunto, assume-se que os dados recolhidos são representativos do intervalo temporal em que decorreu a monitorização destes sistemas, fundamentalmente pela elevada frequência de medições.

Uma característica observada no conjunto de todas as distâncias medidas ao longo do tempo nos três sistemas é a inexistência de uma tendência comum (Fig. 18) que justifique, de forma clara, uma relação directa com as

condições de maior agitação marítima registadas ao largo durante o Inverno marítimo, nos meses em que decorreu a monitorização.

Tendo como referência o conjunto de dados recolhidos entre Setembro de 2005 e Novembro de 2006, pode verificar-se que o ajuste da curva polinomial de 2^a ordem (Fig. 18) nem sempre fornece resultados estatisticamente expressivos, como é o caso da distribuição dos resultados da praia Azul ($R^2=0,21$). No entanto, os sistemas de S^{ta}. Rita e da Foz do Lizandro possuem tendências bem definidas, com significado estatístico (SR $R^2 = 0,54$; LZ $R^2 = 0,56$) e caracterizam-se por dinâmicas opostas ao longo do tempo.

No caso do sistema de S^{ta}. Rita, a aproximação ao Verão marítimo origina um crescimento da área da praia e, conseqüentemente, um afastamento entre o nmm e o $pnmr$. Neste sistema, as medições efectuadas durante o mês de Dezembro distinguem-se como as posições mais recuadas.

A praia da Foz do Lizandro apresenta, pelo contrário, uma tendência de recuo planimétrico na posição do nmm , verificando-se a sua aproximação ao $pnmr$ na transição entre o Inverno e o Verão marítimo.

A oposição nas tendências temporais do posicionamento do nmm entre os dois sistemas é, assim, mais evidente durante o Inverno marítimo até Abril. A partir deste mês regista-se uma diminuição considerável da H_s das ondas de largo, registadas nas bóias de Leixões e de Sines

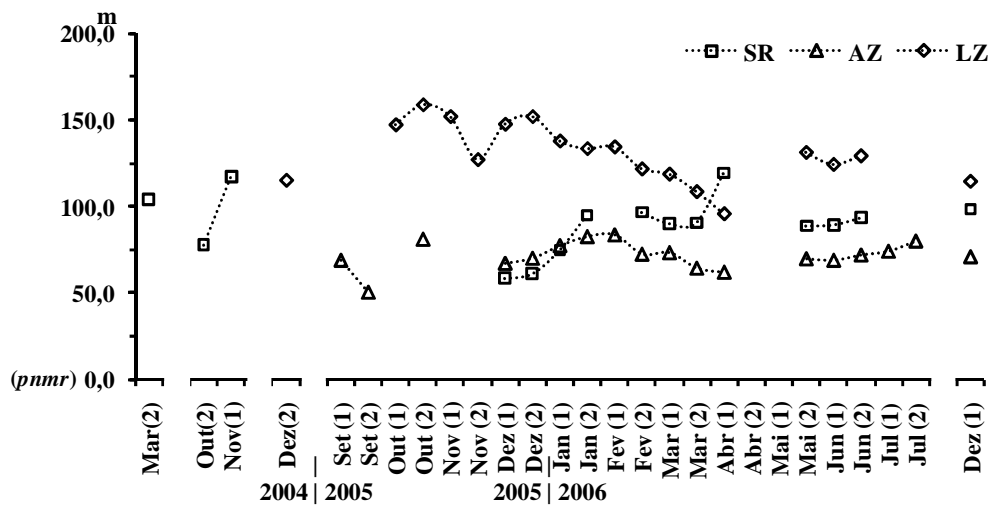


Figura 18 – Variação temporal do posicionamento do nível médio do mar (0m) em relação ao ponto de não mobilidade relativa. (1) – primeira quinzena, (2) – segunda quinzena.

(Fig. 19), caracterizando-se os meses de Verão marítimo pela baixa amplitude de variação da posição horizontal do *nmm* entre campanhas.

A monitorização destes sistemas de praia permitiu ainda verificar a existência de ciclos de avanço e recuo planimétrico do *nmm* (Fig. 18), diferenciados no tempo e particularmente evidentes na praia da Foz do Lizandro. Neste sistema foi possível identificar dois ciclos distintos de recuperação posicional do *nmm*, o primeiro de cerca de dois meses [Out(2) – Dez(2), Fig. 18] e o segundo de cinco meses [Dez(2) – Mai(2), Fig. 18]. Em ambos os casos não se registou uma recuperação posicional completa, correspondendo os posicionamentos médios mais distantes do *pnmr* a 159m [Out(2)], 152m [Dez(2)] e 131m[Mai(2)].

A praia Azul apresenta vários ciclos que, tal como acontece no sistema da Foz do Lizandro, possuem

uma frequência mais elevada no início do Inverno marítimo [Set(1) – Out(2); Out(2) – Jan(2) , Fig. 18] e mais reduzida nos meses subsequentes [Jan(2) – Jul(2) , Fig. 18]. Verificou-se a recuperação posicional do *nmm* completa, não existindo diferenças significativas entre os posicionamentos médios mais distantes do *pnmr* [Out(2) – 81m; Jan(2) – 82m; Jul(2) - 80m].

Os dados recolhidos no sistema de S^{ta}. Rita não permitiram uma avaliação segura da recuperação posicional do *nmm*, identificando-se apenas um ponto destacado em relação ao *pnmr* [Abr(1) – 119m]. Salienta-se, no entanto, a elevada amplitude de valores registados nos pontos mais próximos do *pnmr* anterior [Dez(1) – 59m] e subsequente [Mai(2) – 89m].

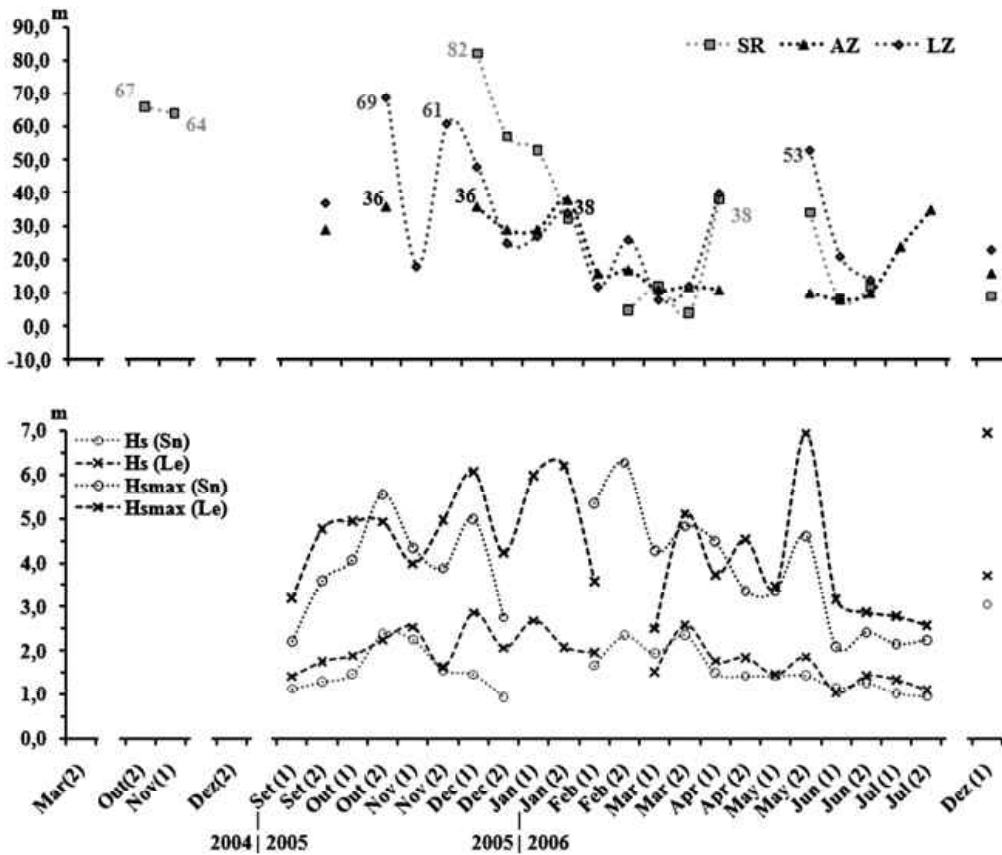


Figura 19 – a) Variabilidade máxima do posicionamento entre campanhas do *nmm* (0m) em relação ao *pnmr*; b) Altura significativa média quinzenal (Hs) e pico de altura significativa quinzenal (Hsmax), em Leixões (Le) e Sines (Sn).

De entre os três sistemas analisados, a variabilidade planimétrica máxima registada entre campanhas ocorreu na Praia de S^{ta}. Rita (Fig. 19a), tendo-se observado 82m de variação na distância *pnmr*→*nmm*, entre as campanhas de 30.10.2004 (P5=129m) e 04.12.2005 (P5=47m). O hiato temporal existente entre estas campanhas contrasta com a periodicidade das medições efectuadas entre Dezembro de 2005 e Julho de 2006, obrigando a que se considere a variabilidade registada com alguma prudência. No entanto, não deixa de ser significativo que o pico de variabilidade registado no sistema de S^{ta}. Rita suceda e seja procedido dos valores mais

elevados da série, que caracterizam os meses de Outubro e Novembro de 2004 [Out(2) P2= 66m; Nov(1) P2= 64m] e Dezembro de 2005 e o início de Janeiro de 2006 [Dez(2) P4=57m; Jan(1) P4=53m].

Dentro da série temporal analisada pode afirmar-se que os meses entre Outubro e Janeiro se encontram associados aos valores de variabilidade máxima mais elevados registados nos três sistemas em estudo. Nesta altura as praias Azul e Foz do Lizandro apresentam também picos de variabilidade máxima entre campanhas [AZ – Jan(2) P6=38m; LZ – Out(2)

P5=69m], coincidentes com a ocorrência de temporais registados nas bóias ondógrafo de Leixões e de Sines (Fig. 19b).

O pico de variabilidade registado no sistema de S^{ta}. Rita representou um recuo de 64% da distância *pnmr*→*nmm* registada na campanha anterior.

Mesmo considerando intervalos de tempo mais reduzidos, considera-se que a relevância dos dados apresentados é elevada. Os episódios mais dinâmicos ocorridos na primeira quinzena de Novembro e segunda quinzena de Dezembro de 2005 e primeira quinzena de Janeiro de 2006 ficaram associados a avanços e recuos do *nmm* muito significativos, nomeadamente, 119% [Nov(1) – avanço em 14 dias], 67% [Dez(2) – recuo em 13 dias] e 204% [Jan(1) – avanço em 18 dias] das distâncias *pnmr*→*nmm* registadas nas campanhas anteriores.

Na praia Azul, o pico de variabilidade máxima de 38m (Fig. 19a), ocorrido entre as campanhas de Janeiro, representou uma dinamização, em 14 dias, de 50% do P6 medido em 02.01.2006. O segundo valor mais elevado de 36m, atingido por duas vezes (Fig. 19a), implicou um distanciamento da posição do *nmm* face ao *pnmr* de cerca de 67% [P4 Out(2) – 19.09.2005 a 18.10.2005] do valor registado na campanha anterior, em 29 dias, e uma aproximação entre o *nmm* e o *pnmr* de 43% do mesmo valor [P3 Dez(2) – 18.10.2005 a 03.12.2005], em 46 dias.

O pico de variabilidade máxima na dinâmica planimétrica do sistema da Foz do Lizandro foi observado em 19.10.2005 [P5 Out(2) – 180m], por comparação com a campanha de 13.12.2004 [P5 Dez(2) – 111m], correspondendo a 69m (Fig. 19a) de variação no posicionamento do *nmm* relativamente ao *pnmr*. O valor relativo (62%) do sector do perfil mobilizado em relação às medições efectuadas na campanha de Dezembro de 2004 é muito semelhante ao obtido no sistema de S^{ta}. Rita, tendo em conta a separação temporal entre campanhas. O segundo valor mais elevado encontra-se muito próximo do pico de variabilidade máxima e implicou o recuo de 61m (Fig. 19a) do *nmm* em 12 dias, entre as campanhas de 04.11.2005 e 16.11.2005.

O quadro 16 apresenta as taxas médias de movimentação planimétrica da posição do *nmm*. A taxa é expressa em metros por dia entre campanhas, apresentando-se os valores médios finais característicos dos períodos em que existiu uma aproximação ao *pnmr*, implicando um encurtamento da forma da praia, e os períodos em que se verificou um afastamento em relação ao mesmo ponto de referência.

O período de referência para o cálculo das taxas de movimentação exclui os dados da monitorização realizada durante o ano de 2004 e final de 2006, tentando assim diminuir a influência da baixa periodicidade de levantamentos nos resultados.

Dos dados obtidos verifica-se que, em termos médios, não existem diferenças muito significativas entre os três sistemas. A praia da Foz do Lizandro apresenta-se como a mais dinâmica, atingindo taxas de movimentação próximas dos 2m/dia.

Estes valores contrastam com o sistema da Praia Azul, onde as respostas aos processos morfodinâmicos são mais lentas (1,2m/dia) e com amplitudes de valores mais reduzidas.

No caso da praia da Foz do Lizandro pode afirmar-se que, durante o período de monitorização [Set(1) – Jul(2)], o ritmo de recuo do *nmm*, por aproximação ao ponto de referência, foi superior à taxa de recuperação do sistema. Como se pode verificar no quadro 16, os meses de Novembro e Dezembro de 2005 foram os mais activos com as taxas de recuo e afastamento mais elevadas [Nov(2) = -5,1m/d; Dez(1) = 3,0m/d].

Mais uma vez o contraste com a praia Azul é evidente por oposição, ou seja, na praia Azul os processos responsáveis pelo recuo da posição do *nmm* actuam de forma mais lenta do que aqueles que estão na base do alargamento do plano da praia. A magnitude de valores atingidos é também mais reduzida, como seria de esperar face aos dados médios apresentados [Jan(2) = 2,7m/d; Jul(1) = -1,8m/d].

Quadro 16 – Taxas de movimentação planimétrica da posição do *nmm*, entre Setembro de 2005 e Julho de 2006.

	Praia de S ^{ta} . Rita (m/d)	Praia Azul (m/d)	Praia da Foz do Lizandro (m/d)		
2005	Set (2)		-1,0		
	Out (1)				
	Out (2)		1,2	2,4	
	Nov (1)			-1,1	
	Nov (2)			-5,1	
	Dez (1)		-0,8	3,0	
	Dez (2)	-4,4	2,2	1,9	
	2006	Jan (1)	2,9	1,7	-1,4
		Jan (2)	2,5	2,7	-2,8
		Fev (1)		-1,1	0,8
		Fev (2)	0,2	-1,2	-1,9
		Mar (1)	-0,9	0,8	-0,5
Mar (2)		-0,3	-0,8	-0,9	
Abr (1)		2,5	-0,7	-2,9	
Abr (2)					
Mai (1)					
Mai (2)		-0,8	0,2	1,2	
Jun (1)	0,6	-0,7	-1,6		
Jun (2)	0,7	0,6	0,8		
Jul (1)		-1,8			
Jul (2)		2,2			
Taxa média de aproximação ao <i>pnmr</i>					
	-1,6	-1,0	-2,0		
Taxa média de afastamento ao <i>pnmr</i>					
	1,6	1,5	1,4		
Taxa média					
	1,6	1,2	1,9		

Na praia de S^{ta}. Rita observou-se uma equivalência nos valores que caracterizam as taxas de recuo e avanço das posições sucessivas do *nmm* face ao *pnmr*. A igualdade de valores registados não significa menor magnitude nas taxas de avanço e recuo da posição do *nmm*, mas antes uma dinâmica bastante significativa entre os meses de Dezembro de 2005 e Janeiro de 2006 (Quadro 16).

3. Dinâmica vertical máxima

A resposta dos sistemas de praia aos processos responsáveis pela sua dinâmica pode ser medida com elevada fiabilidade e interpretada através da análise de um conjunto de parâmetros resultantes da monitorização sistemática de perfis de praia (USACE, 2002). Entre estes parâmetros encontram-se os geométricos, já analisados no ponto anterior, as variações verticais máximas, o volume e o declive dos elementos morfológicos mais activos da praia. A determinação e a comparação entre estes parâmetros constituem uma das metodologias mais utilizadas na avaliação da dinâmica das praias, definindo a sua variabilidade morfológica. Os referidos parâmetros correspondem ainda a uma base empírica para a modelação numérica interpretativa dos processos envolvidos e para previsão do comportamento do sistema sob condições hidrodinâmicas e sedimentares distintas das que se verificaram durante as medições.

A utilização de perfis de praia na caracterização de determinado sistema está também na base da avaliação do balanço sedimentar do mesmo. É possível determinar a tendência erosiva ou de acreção de determinada praia se a quantidade de dados disponíveis for representativa do sistema estudado.

A determinação do balanço no volume de sedimentos da praia emersa a várias escalas temporais constitui uma ferramenta importante

na determinação da frequência de ocorrência de movimentações de sedimentos relevantes para o estudo que se pretende, mas também na avaliação da magnitude do transporte sedimentar.

A definição das modificações no plano vertical de uma sucessão de perfis monitorizados por sobreposição espacial ao longo do tempo fornece informações sobre a alternância entre perfis originados por erosão ou acumulação do sector emerso da praia.

A variação máxima registada durante as campanhas de monitorização dos sistemas de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro estabelece uma medida de limite extremo monitorizado de movimentação de sedimentos entre a praia emersa e o sector imerso do perfil, podendo ser utilizado para comparar o comportamento dos três sistemas face a condições semelhantes de agitação marítima de largo. Esta comparação deixa de lado as particularidades morfológicas que condicionam os processos de transformação das ondas junto a cada praia analisada.

Entre 2004 e 2006, foi possível monitorizar com elevada frequência os sistemas de S^{ta}. Rita, praia Azul e Foz do Lizandro, especialmente entre o Inverno marítimo de 2005 e o Verão marítimo de 2006.

A figura 20 apresenta as deslocações verticais máximas observadas nos três sistemas em análise, calculadas a partir da diferença altimétrica máxima encontrada no conjunto de todas as medições em cada perfil de cada praia.

Os valores apresentados correspondem, em todos os casos, a distâncias verticais exactas, ou seja, sem sobre ou subestimação, uma vez que foi possível estabelecer sempre um valor com base nos dados do perfil.

Desta figura ressalta a quase ausência de

representação de cristas pré-litorais e das depressões ou sulcos associados. Este facto não significa sua inexistência, mas antes a impossibilidade do seu registo topográfico devido às condições de medição abaixo da altura de maré prevista. A elevada hidrodinâmica que caracterizou os trabalhos de monitorização dentro de água tornou muitas vezes impossível a recolha de dados abaixo do *nmm* por falta de estabilização horizontal e vertical da antena do dGPS ou do prisma. Assim, a identificação da presença e quantidade de cristas pré-litorais foi

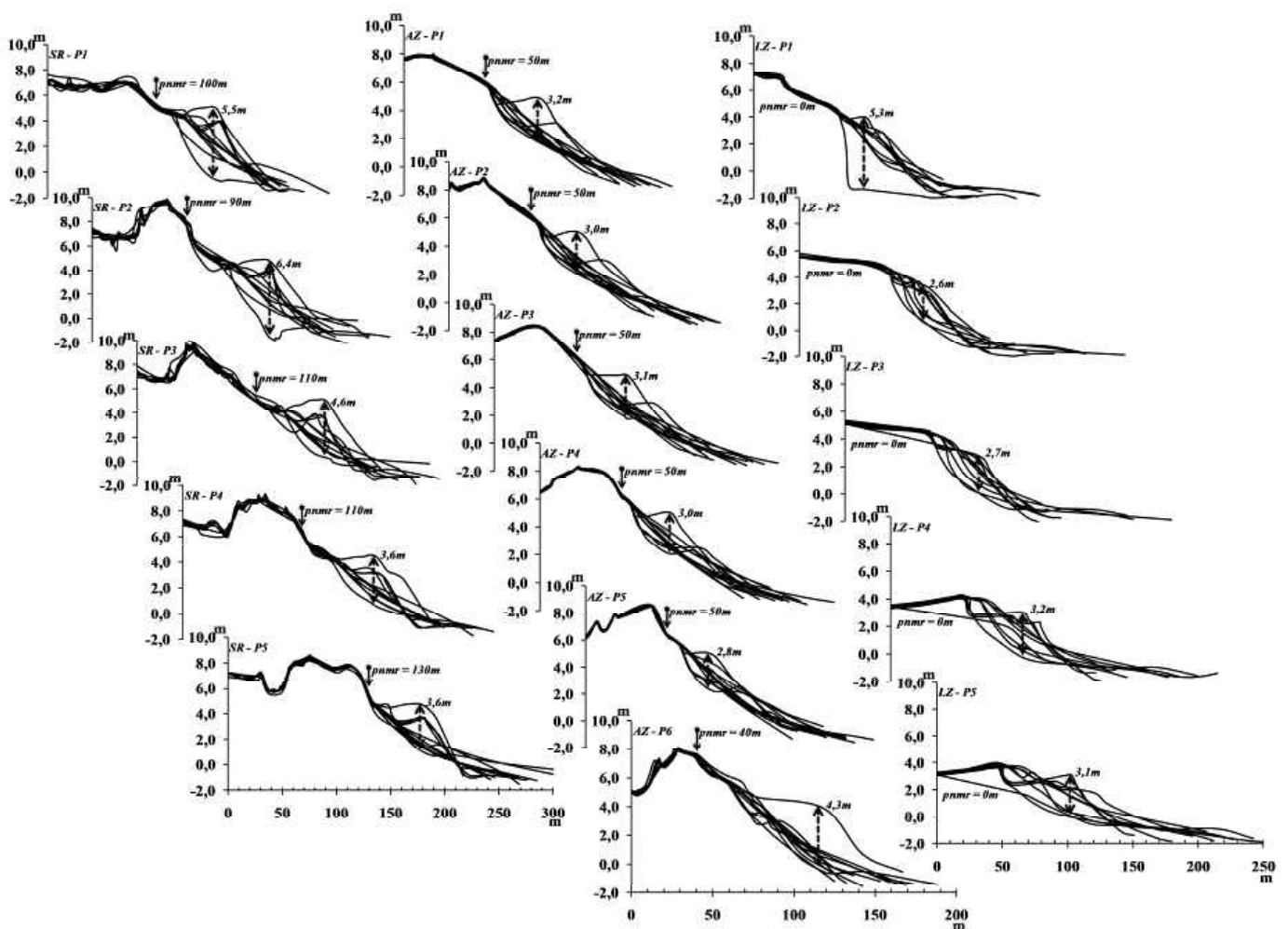


Figura 20 – Variação vertical máxima por perfil na praia de Rita (SR), entre 21.03.2004 e 28.11.2006, na praia Azul (AZ), entre 22.08.2005 e 29.11.2006, e na praia da Foz do Lizandro (LZ), entre 13.12.2004 e 27.11.2006.

aferida indirectamente pela contagem do número de linhas de rebentação em maré baixa viva.

Os valores mais elevados das diferenças altimétricas máximas foram registados no sistema de S^{ta}. Rita, atingindo 6,4m (P2) e 5,5m (P1). As amplitudes altimétricas máximas mais baixas registaram-se na praia da Foz do Lizandro, onde se verificaram apenas 2,6m (P2) e 2,7m (P3). Salienta-se, assim, que as diferenças observadas entre as praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro são consideradas bastante significativas, tendo em conta as condições semelhantes de agitação marítima de largo que estão na base desta dinâmica.

Os valores obtidos são semelhantes aos divulgados por Ferreira (1998) para o sector a norte da Figueira da Foz, entre as praias expostas da Vagueira Norte e Quiaios, onde as diferenças máximas variam entre 2,2m e mais de 5m. Os sistemas de praia estudados por Ferreira (1998) são, no entanto, distintos das praias do litoral rochoso entre Peniche e Cascais por representarem 40km de areal contínuo, interrompido pontualmente por 5 esporões.

A variação vertical extrema registada nas praias estudadas resulta, no essencial, das trocas de sedimentos entre a berma e a(s) crista(s), sendo possível associar o ponto mais elevado à presença de uma berma de praia em todos os casos analisados.

Na praia Azul, os extremos registados estão sempre associados a diferenças altimétricas entre perfis próximos do reflectivo, com presença de berma, e do dissipativo. Realça-se o valor de P6 que se revelou bastante superior aos restantes perfis analisados nesta praia. O posicionamento de P6, destacado 100m para sul de P5 (Fig. 5), justifica os resultados distintos em relação a um grupo de perfis (P1 a P5) equidistantes de 20m.

A praia da Foz do Lizandro apresenta igualmente os perfis próximos do reflectivo, com berma, e do dissipativo como referências para o cálculo da diferença vertical máxima por perfil. No entanto, existe a excepção do P1, onde estas diferenças estão relacionadas com uma escarpa de erosão medida na campanha de 29.03.2006, originada pela ocorrência de um temporal.

Na praia de S^{ta}. Rita os valores apresentados estão relacionados com a transição entre um perfil próximo do reflectivo com berma e um sistema de lomba-canal (*ridge and runnel*) a norte (P1 e P2) que passa a perfil dissipativo em direcção a sul (P4 e P5).

As diferenças altimétricas observadas entre os perfis de praia realizados nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro encontram-se associadas, por continuidade morfológica, ao declive da face da praia. Este descritor morfológico do perfil de praia é fundamental na análise das modificações verticais do perfil, na distinção entre diferentes sistemas de praia, a avaliação das respostas do perfil a diferentes condições de ondulação

incidente e no cálculo e modelação dos processos actuantes na praia.

4. Altitude da berma

A existência de bermas de praia no perfil emerso pode assumir diversas formas de continuidade espacial e temporal. A sua ocorrência enquanto forma de acumulação depende da disponibilidade e dimensão dos sedimentos e dos parâmetros hidrodinâmicos das marés e das ondas, que podem actuar como força construtiva ou destrutiva da forma. Segundo Komar (1998), a formação das bermas de praia está associada ao transporte de sedimentos do perfil imerso para o sector emerso em condições de reduzida agitação marítima.

Grande parte dos parâmetros considerados na explicação da formação e dinâmica das bermas de praia encontram-se associados à hidrodinâmica marinha, como a altura das ondas, o comprimento (período) e as flutuações do nível do mar associadas às marés vivas (Austin & Masselink, 2006; Bascom, 1953; King, 1972; Strahler, 1966; Sunamura, 1975; Takeda & Sunamura, 1982). O papel da dimensão dos grãos de areia da face da praia e da berma como condicionantes da rugosidade do fundo e da formação de bermas de praia foi salientado por Sunamura (1989). Masselink e Hughes (2003) e

Komar (1998) referem que as praias com sedimentos mais grosseiros tendem a possuir bermas mais individualizadas da restante morfologia do perfil de praia, relacionando a menor ocorrência das bermas de praia em sistemas com sedimentos mais finos com a tendência que estes apresentam para exibir perfis mais dissipativos, sem distinção clara entre a morfologia da praia alta e da face da praia. No entanto, os estudos de Sunamura (1975) e Takeda e Sunamura (1982) revelaram que os dois parâmetros são independentes entre as classes dimensionais analisadas, mostrando que a relação entre as características texturais dos sedimentos e a formação e dinâmica das bermas de praia são ainda pouco conhecidas.

O estudo da dinâmica da berma e a previsão do seu comportamento é fundamental, por representar a primeira linha de defesa face à erosão na praia alta e na base das dunas. No entanto, a sua função enquanto elemento de defesa do sistema apenas é eficiente em condições médias de agitação e durante as primeiras fases dos temporais, após os quais pode desaparecer ou reposicionar-se a altitudes superiores.

A elevada dinâmica da berma de praia encontra-se, assim, dependente da altura atingida pela corrente de afluxo na faixa de ressaca, representando, normalmente, um bom indicador da energia das ondas em determinado local. No entanto, esta relação encerra um paradoxo entre a relação linear de crescimento em altura da

berma com o aumento da hidrodinâmica e, conseqüentemente, com a altura atingida pela corrente de afluxo, e a sua destruição durante os eventos mais energéticos (Komar, 1998).

Um dos parâmetros mais utilizados para caracterizar a dinâmica das bermas é a sua altitude ou altura, na ausência de um referencial de base. No caso dos sistemas analisados, a altitude da berma registada durante o período de monitorização variou entre 2,40m e 4,95m, ambos os valores registados na praia Azul (Quadro 17).

Salienta-se o elevado número de campanhas em que não foi detectada a presença da berma de praia, especialmente nos meses de Inverno marítimo caracterizados por condições de agitação marítima mais severas. Exceptuando a segunda quinzena de Dezembro de 2005 na praia Azul, não existe qualquer evidência de bermas de praia entre o final do mês de Novembro e o início do mês de Fevereiro, nos sistemas analisados (Quadro 17). Nas praias Azul e Foz do Lizandro este período estende-se até ao início do mês de Abril.

Outro aspecto muito importante que a ocorrência de bermas nas praias estudadas revela é a diferença bem marcada de altitudes entre o Inverno (Outubro a Março) e o Verão (Abril a Setembro) marítimo. Em média registaram-se altitudes absolutas de bermas de praia mais elevadas, durante os meses de Inverno (4,30m) enquanto o Verão se caracterizou pela existência

deste tipo de morfologia a cotas mais baixas (3,41m). Os extremos altimétricos confirmam esta tendência (Quadro 17), observando-se em todos os sistemas os valores máximos no Inverno e os valores mínimos no Verão marítimos.

Quadro 17 – Altitude da berma (Z_{berma}).
SB – sem berma.

		SR	AZ	LZ
		Z_{berma} (m)	Z_{berma} (m)	Z_{berma} (m)
2004	Mar(2)	4,86	--	--
	Out(2)	SB	--	--
	Nov(1)	SB	--	--
	Dez(2)	--	--	SB
2005	Set (1)	--	3,86	--
	Set (2)	--	3,90	3,95
	Out (1)	--	--	--
	Out (2)	--	SB	4,39
	Nov (1)	--	--	4,49
	Nov (2)	--	--	SB
	Dez (1)	SB	SB	SB
	Dez (2)	SB	3,12	SB
	Jan (1)	SB	SB	SB
	Jan (2)	SB	SB	SB
2006	Fev (1)	--	SB	SB
	Fev (2)	4,07	SB	SB
	Mar (1)	4,57	SB	SB
	Mar (2)	4,63	SB	SB
	Abr (1)	4,68	SB	SB
	Abr (2)	--	--	--
	Mai (1)	--	--	--
	Mai (2)	SB	2,40	2,56
	Jun (1)	SB	SB	2,87
	Jun (2)	3,75	3,54	3,06
	Jul (1)	--	3,56	--
Jul (2)	--	2,86	--	
Dez (1)	SB	4,95	3,63	

A previsão dos valores da altitude das bermas de praia (B_h) pode ser descrita através da formulação de Takeda e Sunamura (1982):

$$B_h = 0,125H_b^{5/8}(gT^2)^{3/8} \quad (28)$$

em que, T corresponde ao período das ondas de largo e H_b representa a altura da onda na rebentação, obtida no presente estudo através da aplicação da equação 15.

A altura da onda na rebentação (eq. 15) tem por base os parâmetros médios de H_s e T_z da bóia de Sines, registados durante a semana anterior à data de cada monitorização. Segundo os autores da equação 28, o coeficiente empírico 0,125 deve ser utilizado desde que sejam considerados valores médios de agitação marítima e que as alturas registadas estejam referenciadas ao nível médio do mar.

Nos quadros 18, 19 e 20 apresentam-se os parâmetros utilizados no cálculo de B_h , distribuídos pelos três sistemas em análise nas campanhas onde se observou a presença de bermas de praia.

A resolução da equação 58 (quadros 18, 19 e 20) mostra uma subestimação sistemática dos valores da altitude da berma, quando comparada com os resultados absolutos observados durante as campanhas de monitorização (Quadro 17). Em média, a diferença absoluta entre os dados estimados e medidos é de 1,61m. Este desajuste por subestimação foi também observado nas praias da Tocha e do Areão (Ferreira, 1998) e no Arco da Caparica (Teixeira, 1990 *in* Ferreira, 1998). Os autores atribuem estas diferenças absolutas a várias ordens de factores determinantes na dinâmica das bermas de praia:

- oscilações nos níveis de maré acima dos quais o afluxo da onda pós-colapso actuou;
- ocorrência de ondas singulares com capacidade mobilizadora a altitudes mais elevadas do que as ondas consideradas na resolução da equação 28, ou seja ondas associadas ao espectro médio;
- altura da onda na rebentação sobre a face da praia insuficiente para que se relacione directamente as variações morfológicas com as condições hidrodinâmicas.

Quadro 18 – Parametrização da altitude da berma de praia na praia de S^{ta}. Rita, por campanha. H_o – Altura significativa média da semana anterior à realização da campanha, na bóia de Sines; T_z – Período médio da semana anterior à realização da campanha, na bóia de Sines; H_b – Altura da onda na rebentação.

		H_o (m)	T_z (m)	H_b (m)	B_h (m)
2004	Mar(2)	2,16	8,83	2,72	2,82
	Fev (2)	1,51	7,77	1,95	2,08
	Mar (1)	1,68	6,71	2,00	1,89
2006	Mar (2)	1,64	8,39	2,14	2,34
	Abr (1)	2,65	8,76	3,20	3,10
	Jun (2)	1,16	5,90	1,41	1,38

Quadro 19 – Parametrização da altitude da berma de praia na praia Azul, por campanha.

		H_o (m)	T_z (m)	H_b (m)	B_h (m)
2005	Set (1)	1,17	5,52	1,38	1,30
	Set (2)	1,20	6,41	1,50	1,53
	Dez (2)	1,01	6,08	1,28	1,33
2006	Mai (2)	0,84	5,38	1,05	1,07
	Jun (2)	1,11	5,63	1,33	1,29
	Jul (1)	1,44	5,47	1,63	1,43
	Jul (2)	1,09	4,97	1,25	1,13
	Dez (1)	3,70	8,69	4,16	3,63

Quadro 20 – Parametrização da altitude da berma de praia da Foz do Lizandro, por campanha.

		H_0 (m)	T_z (m)	H_b (m)	B_h (m)
2005	Set (2)	1,15	6,23	1,43	1,45
	Out (2)	1,73	7,72	2,16	2,21
	Nov (1)	3,04	8,50	3,52	3,22
2006	Mai (2)	0,85	5,11	1,04	1,03
	Jun (1)	2,09	6,99	2,42	2,20
	Jun (2)	1,04	5,49	1,26	1,22
	Dez (1)	3,53	8,10	3,90	3,31

O desajuste entre os dois parâmetros de altura da berma (absoluta e prevista), bem como a relação entre a altura absoluta da berma e os parâmetros hidrodinâmicos mais importantes na explicação da sua génese e dinâmica encontram-se representados na figura 21.

Observa-se a existência de uma relação positiva de entre os vários conjuntos de dados sendo evidente que os parâmetros hidrodinâmicos descritos possuem uma elevada capacidade de determinar a posição altimétrica da berma, especialmente nos posicionamentos mais baixos onde a concentração de dados parece ser mais significativa (Fig. 21).

Apesar da subestimação identificada, pode considerar-se que a fórmula de Sunamura e Takeda (eq. 28) explica de forma satisfatória a distribuição dos dados, correlacionando-se de forma muito significativa com os resultados absolutos ($r = 0,71$, Quadro 21).

Considerando a correlação encontrada entre Z_{berma} e B_h , os resultados revelam-se igualmente significativos, sendo mais expressivos na praia de S^{ta}. Rita (Quadro 21).

Salienta-se ainda a relação existente entre os conjuntos de dados de B_h / H_0 e B_h / H_b , que, como seria de esperar, é máxima e condicionada pela forma como é calculado B_h , mas também as correlações obtidas entre $B_h / R_{2\%}$ ($r = 0,75$, Quadro 21) e $Z_{berma} / R_{2\%}$ ($r = 0,70$, Quadro 21). No último caso, os parâmetros altimétricos monitorizados da berma e determinados do nível máximo atingido pela corrente de afluxo mostram uma clara interdependência. De resto, esta dependência entre altitude da berma e os parâmetros hidrodinâmicos pode também ser observada pelas correlações obtidas entre $Z_{berma} /$

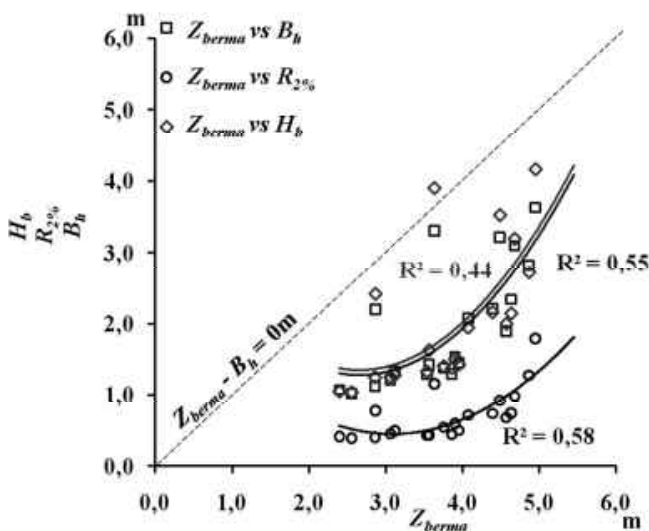


Figura 21 – Relação entre a altitude absoluta da berma (Z_{berma}) e a altitude prevista da berma (B_h), o nível máximo da corrente de afluxo ($R_{2\%}$) e a altura da onda na rebentação (H_b).

H_0 ($r = 0,58$, Quadro 21) e Z_{berma} / H_b ($r = 0,63$, Quadro 21).

Quadro 21 – Matriz de correlações de parâmetros hidrodinâmicos, morfológicos e sedimentológicos. $R_{2\%}$ – altura máxima da corrente de afluxo (*runup*); S – declive da face da praia; $D_{médio}$ – diâmetro médio dos grãos de areia da berma.

	Z_{berma} (SR / AZ / LZ)	B_h	H_0	H_b	S	$R_{2\%}$
B_h (SR / AZ / LZ)	0,71 (0,81 / 0,64 / 0,58)	--				
H_0	0,58	0,96	--			
H_b	0,63	0,98	1,00	--		
S	0,14	-0,18	-0,22	-0,21	--	
$R_{2\%}$	0,70	0,75	0,69	0,47	0,72	--
$D_{médio}$	-0,15	0,09	0,15	-0,50	0,13	-0,22

Tendo por base as correlações muito significativas e os desajustes altimétricos observados entre Z_{berma} e B_h , tentou-se uma adaptação da fórmula inicial de Sunamura e Takeda às características observadas nas praias em estudo, tendo em vista um melhoramento dos resultados de correlação e das diferenças altimétricas absolutas / previstas.

A formulação de Sunamura e Takeda para a determinação da altitude da berma de praia (eq. 58) foi construída a partir de dados de praias naturais de regime micromareal, sendo por isso presumível que parte do desajuste já referido resulte das diferenças na amplitude de maré que serviu de base à formulação e as marés registadas em Portugal, cujo regime é mesomareal. Na indisponibilidade de medições contínuas realizadas em vários ciclos de maré, foi adicionado à formulação inicial um termo que

reflecte a altura da maré alta anterior (M_{nmm}) à campanha de medição, por corresponder, com grande probabilidade, ao último ciclo hidrodinâmico com capacidade de mobilização de sedimentos da berma de praia. Assim:

$$B_h' = 0,125H_b^{\frac{5}{8}}(gT^2)^{\frac{3}{8}} + M_{nmm} \quad (29)$$

O termo M_{nmm} é expresso em metros acima do nível médio do mar, sendo por isso necessário subtrair 2,08m à altura prevista da maré no dia da campanha, uma vez que a amplitude de maré tem como referencial de base o zero hidrográfico.

A determinação de B_h' (eq. 29) para o período de monitorização e a comparação de resultados entre a fórmula de Sunamura e Takeda (eq. 28) revelam um melhor ajuste da primeira aos dados de campo, pela maior proximidade à linha central de igualdade de dados (Fig. 22).

A correlação entre B_h' e Z_{berma} é mais significativa ($r = 0,78$) do que registada com o recurso a B_h e a diferença média entre o parâmetro absoluto e previsto diminui de 1,61m para 0,49m (Quadro 22).

A introdução do termo M na equação 29 foi proposta por Ferreira (1998) como resposta à desadequação entre os valores observados de altitude da berma de praia e os previstos. No caso

das praias da Tocha e do Areão, o autor teve ainda a necessidade de utilizar o período de pico, substituindo o período médio da fórmula inicial de Sunamura e Takeda, bem como reajustar o coeficiente empírico de 0,125 para o valor 0,131 para assim obter o melhor ajuste entre os dois conjuntos de dados.

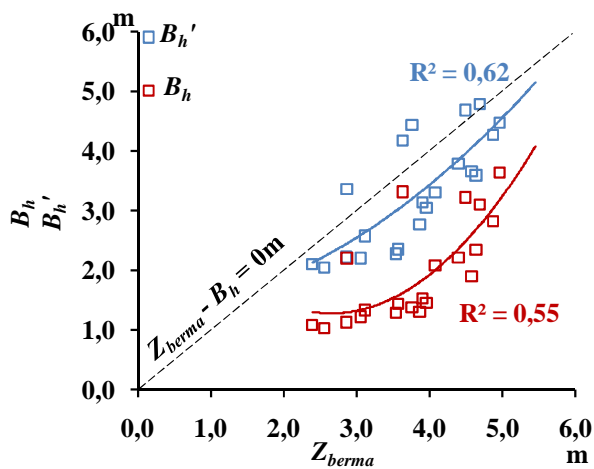


Figura 22 – Relação entre Z_{berma} , B_h e B_h' .

Nos dados recolhidos ao longo do período de monitorização nos sistemas de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro, a substituição dos valores do período médio pelo período de pico ocorrido antes da realização das campanhas aumenta muito significativamente o valor estimado, resultando numa solução com resultados pouco satisfatórios. Por outro lado, a modificação do coeficiente empírico para valores próximos dos referidos por Ferreira (1998) diminui ligeiramente a diferença média Z_{berma} / B_h' , no entanto, esta modificação em relação à fórmula inicial

acrescenta uma maior variabilidade de previsões em relação ao valor real sem que o coeficiente de correlação entre as duas séries se modifique, pelo que se decidiu não modificar o parâmetro período médio e o coeficiente empírico estabelecidos inicialmente por Sunamura e Takeda (1982).

Quadro 22 – Distribuição de altitudes absolutas e previstas de bermas de praia e balanço de diferenças altimétricas, nos sistemas de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro.

		Z_{berma} (m)	B_h (m)	$Z_{berma} - B_h$ (m)	B_h' (m)	$Z_{berma} - B_h'$ (m)	
SR	2004	Mar(2)	4,86	2,82	2,05	4,27	0,60
		Fev (2)	4,07	2,08	1,99	3,32	0,75
		Mar (1)	4,57	1,89	2,67	3,66	0,90
	2006	Mar (2)	4,63	2,34	2,29	3,60	1,03
		Abr (1)	4,68	3,10	1,58	4,79	-0,11
		Jun (2)	3,75	1,38	2,38	4,44	-0,68
AZ	2005	Set (1)	3,86	1,30	2,56	2,78	1,08
		Set (2)	3,90	1,53	2,37	3,15	0,75
		Dez (2)	3,12	1,33	1,79	2,58	0,54
	2006	Mai (2)	2,40	1,07	1,32	2,11	0,28
		Jun (2)	3,54	1,29	2,25	2,29	1,25
		Jul (1)	3,56	1,43	2,13	2,36	1,20
		Jul (2)	2,86	1,13	1,73	2,23	0,63
		Dez (1)	4,95	3,63	1,32	4,48	0,47
LZ	2005	Set (2)	3,95	1,45	2,50	3,05	0,90
		Out (2)	4,39	2,21	2,18	3,80	0,59
		Nov (1)	4,49	3,22	1,27	4,69	-0,20
	2006	Mai (2)	2,56	1,03	1,53	2,06	0,50
		Jun (1)	2,87	2,20	0,67	3,37	-0,50
		Jun (2)	3,06	1,22	1,84	2,21	0,85
	Dez (1)	3,63	3,31	0,32	4,18	-0,55	
Média					1,61	0,49	
Var. máx.					2,67	1,93	
Correl. $Z_{berma}/B_h - B_h'$				0,71	0,78		

5. Declive da face da praia

Os factores mais frequentemente atribuíveis à dinâmica da face da praia, expressa pelo seu declive, são a altura da onda na rebentação, a

dimensão e as características texturais dos sedimentos da praia ou o período e altura do espraio (Bascom, 1959; Bagnold, 1940; McLean & Kirk, 1969; King, 1972; Emery & Gale, 1951; Komar and McDougal, 1994).

Na figura 23 encontram-se representados os declives médios da face da praia nos perfis monitorizados em cada praia.

A praia da Foz do Lizandro apresenta a face da praia mais inclinada, tendo sido determinado um pendor médio referente a todos os dados recolhidos de $5,01^\circ$. Os restantes sistemas possuem valores aproximados de $4,25^\circ$, na praia de S^{ta}. Rita, e $4,00^\circ$, na praia Azul.

Apesar das diferenças médias de pendor entre os sistemas serem pouco expressivas, esta distinção é clara quando é analisada a distribuição dos declives médios por perfil (Fig. 23).

Na praia da Foz do Lizandro ocorrem os declives médios por perfil mais elevados e com uma forte diferenciação espacial de norte para sul. Neste sistema, os valores do declive da face da praia variam, em média entre $6,09^\circ$ (P1) e $3,82^\circ$ (P5).

A praia de S^{ta}. Rita também apresenta uma diferenciação espacial bem marcada e de tendência semelhante ao sistema da Foz do Lizandro, caracterizando-se por uma variação dos valores da inclinação da face da praia entre $4,93^\circ$ (P1) e $3,29^\circ$ (P4).

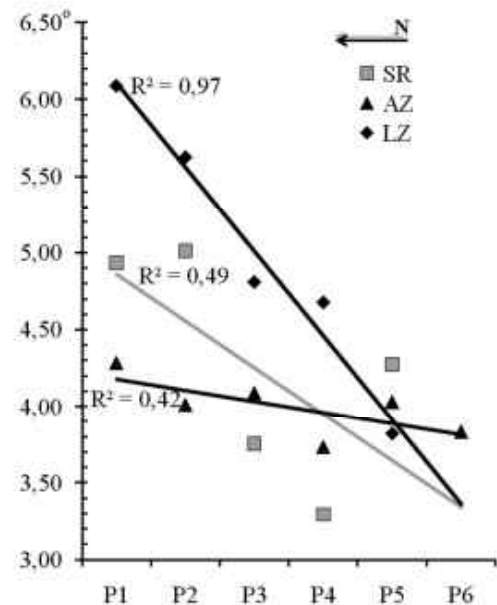


Figura 23 – Declives médios da face da praia por perfil, nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro.

Na praia Azul, esta distinção longilitoral é a mais ténue, variando os valores de pendor entre $4,28^\circ$ (P1) e $3,83^\circ$ (P6).

A distinção norte – sul entre os declives médios da face da praia nos sistemas da Foz do Lizandro e S^{ta}. Rita encontra-se relacionada com a existência de constrangimentos importantes a norte destes sistemas na transformação das ondas de largo que, associados à direcção dominante da ondulação de NW, originam declives frequentemente próximos do reflectivo a norte, onde a dissipação energética em torno dos pontos de refracção é mais intensa e o perfil de praia se encontra mais abrigado da direcção dominante das ondas.

Acresce que o sistema da Foz do Lizandro possui, no seu extremo sul, o estuário do rio Lizandro. A proximidade deste estuário à área monitorizada influencia os resultados médios do declive da face da praia no sentido da sua forte diminuição para sul, resultado da dinâmica bipartida estuarina e marinha relativamente à dinâmica planimétrica da praia.

Por oposição, os perfis localizados a sul registam pendores médios mais baixos, característicos de uma morfologia mais dissipativa, por se encontrarem mais expostos às ondas de NW a W. Ao contrário do sector norte, o efeito de sombra dos pontos de deflexão das ondas mais frequentes é menor, aumentando a energia dissipada directamente sobre todo o perfil de praia.

A distribuição dos declives da face da praia ao longo do período de monitorização encontra-se expressa no quadro 23. Neste quadro figuram o declive médio por campanha, obtido pela média aritmética dos pendores observados em todos os perfis, o declive máximo observado e o perfil correspondente. Estabelece-se também uma classificação relacionada com estes dois parâmetros, baseada nas observações de campo e onde se associa a face da praia à presença de uma berma de acumulação (perfil predominantemente convexo), de uma escarpa de erosão (perfil concavo) ou a um perfil rectilíneo próximo do dissipativo.

Quadro 23 – Declive da face da praia, entre 2004 e 2006.
 $\tan\beta$ – declive médio; $\tan\beta_{\max}$ – declive máximo; B – face da praia associada a berma; E – face da praia associada com escarpa de erosão; D – face da praia com perfil próximo do dissipativo; p_n – referência do perfil máximo.

		<i>Praia de S^{ta}.</i>					
		<i>Rita</i>		<i>Praia Azul</i>		<i>Praia da Foz do Lizandro</i>	
		$\tan\beta$ (°)	$\tan\beta_{\max}$ (°)	$\tan\beta$ (°)	$\tan\beta_{\max}$ (°)	$\tan\beta$ (°)	$\tan\beta_{\max}$ (°)
2004	Mar(2)	4,95 _B	7,61 _{B (P1)}				
	Out(2)	6,67 _E	10,00 _{E (P1)}				
	Nov(1)	3,17 _D	4,02 _{D (P3)}				
	Dez(2)					6,64 _E	9,54 _{E (P3)}
2005	Set (1)			5,61 _B	9,60 _{E (P2)}		
	Set (2)			6,31 _B	7,98 _{B (P3)}	3,68 _B	4,57 _{E (P2)}
	Out (1)						
	Out (2)			3,34 _D	4,59 _{D (P1)}	4,93 _B	6,62 _{E (P2)}
	Nov (1)					2,00 _D	2,88 _{B (P5)}
	Nov (2)					3,89 _E	7,07 _{E (P4)}
	Dez (1)	3,25 _D	4,89 _{E (P2)}	3,84 _D	4,75 _{D (P3)}	2,52 _D	3,21 _{D (P2)}
	Dez (2)	5,30 _E	9,86 _{E (P5)}	3,67 _D	4,53 _{B (P1)}	5,44 _E	10,33 _{E (P1)}
2006	Jan (1)	3,88 _D	4,54 _{D (P5)}	4,29 _D	6,31 _{D (P5)}	5,07 _E	14,34 _{E (P1)}
	Jan (2)	2,79 _D	3,69 _{D (P1)}	4,56 _D	5,82 _{D (P2)}	3,80 _D	7,22 _{E (P2)}
	Fev (1)			2,69 _D	2,78 _{D (P5)}	4,66 _E	6,32 _{E (P2)}
	Fev (2)	2,69 _D	3,07 _{B (P1)}	4,24 _D	5,09 _{D (P6)}	4,15 _E	4,94 _{E (P2)}
	Mar (1)	3,97 _D	5,35 _{B (P2)}	4,69 _D	6,36 _{D (P1)}	5,71 _E	7,77 _{E (P2)}
	Mar (2)	3,94 _D	4,46 _{B (P2)}	4,67 _D	5,90 _{D (P1)}	6,14 _E	10,91 _{E (P2)}
	Abr (1)	2,62 _D	3,42 _{B (P2)}	4,09 _D	4,73 _{D (P1)}	10,31 _E	18,42 _{E (P1)}
	Abr (2)						
	Mai (1)						
	Mai (2)	6,92 _E	10,30 _{E (P2)}	3,41 _B	4,67 _{B (P5)}	3,83 _B	8,39 _{E (P1)}
	Jun (1)	6,20 _E	11,32 _{E (P2)}	3,71 _D	4,25 _{D (P3)}	4,01 _B	5,12 _{E (P2)}
	Jun (2)	4,66 _B	6,01 _{E (P5)}	2,54 _D	3,19 _{B (P5)}	3,70 _B	5,60 _{E (P5)}
	Jul (1)			3,33 _B	5,34 _{B (P6)}		
Jul (2)			3,12 _B	4,86 _{B (P1)}			
Dez (1)	2,79 _D	3,13 _{D (P1)}	4,37 _B	6,15 _{E (P3)}	2,94 _B	5,85 _{E (P1)}	
	<i>E</i>	6,27	11,32	--	9,60	5,78	18,42
	<i>B</i>	4,80	7,61	4,36	7,98	3,85	2,88
	<i>D</i>	3,23	4,54	3,86	6,36	2,78	3,21

No caso dos pendores médios, a classificação é atribuída por predomínio de formas. Os pendores máximos são classificados de forma directa através da forma observada no perfil com a inclinação máxima da respectiva campanha.

A praia de S^{ta}. Rita representa o único sistema onde se pode observar um contraste nítido entre os declives da face da praia obtidos durante o Inverno marítimo e os respeitantes ao Verão.

Entre os meses de Dezembro e Março é possível observar pendores muito reduzidos, na maioria associados a perfis próximo do dissipativo (quadro 23).

Apesar dos baixos valores de inclinação média observados poderem estar relacionados com as condições hidrodinâmicas mais energéticas do Inverno marítimo, é possível verificar que boa parte dos declives máximos está associada à presença pontual de uma berma, indicando que a transição de sedimentos entre berma e a crista pré-litoral não se processa uniformemente ao longo da praia. Salienta-se, de resto, que a formação pontual de uma berma, durante o Inverno marítimo, associada a perfis predominantemente dissipativos foi frequentemente observada neste sistema, localizando-se sempre nos perfis mais a norte, ao abrigo do promontório existente no extremo norte da praia.

A diferenciação sazonal do pendor da face da praia no sistema da Foz do Lizandro e na praia Azul não é clara. No caso da praia da Foz do Lizandro existe geralmente uma elevada variabilidade de declives entre campanhas, que culmina no início de Abril de 2006, com o pendor médio mais elevado. Na praia Azul não se verificam modificações muito significativas ao longo do ano, à excepção dos valores registados em Setembro de 2005, associados à presença de uma berma.

Como seria de esperar, existe uma diminuição clara da inclinação da face da praia, nos três sistemas estudados, entre os perfis que registam escarpas de erosão e os que se encontram próximos do dissipativo (quadro 23).

6. Balanço de volumes sedimentares

A determinação dos volumes dos perfis monitorizados seguiu a metodologia apresentada no ponto 3.4. Como se referiu nesse ponto, os volumes de todos os perfis foram calculados tendo por base o nível fixo de referência do *datum* de Cascais (*nmm*). O limite superior de cada perfil foi definido pelo ponto de não mobilidade relativa, que assume, em alguns casos, valores distintos entre perfis da mesma praia (ver ponto 3.4.).

Como consequência da imposição destes limites, a determinação dos volumes em cada sistema é influenciada pela extensão (distância horizontal inclinada) dos perfis. Esta constatação é válida para a totalidade do espectro de dados, ou seja, a dependência entre os dois valores é não só observável nos valores médios, mas também os valores absolutos mínimos, máximos e no indicador de variação máxima observada.

Na figura 24 são apresentados os resultados do cálculo das volumetrias médias e variabilidades extremas em cada perfil por praia analisada. A

variabilidade máxima observada é determinada através da diferença entre o valor máximo e mínimo de volume de cada perfil.

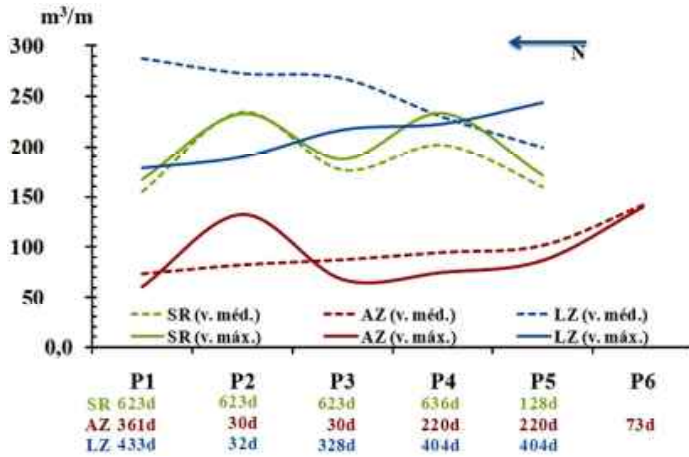


Figura 24 – Variabilidade volumétrica máxima (v. máx.) e volumes médios (v. méd.) por perfil. SR – praia de S^{ta}. Rita; AZ – praia Azul; LZ – praia da Foz do Lizandro. Em x representam-se os dias (d) entre a medição máxima e mínima de volume.

Tendo em conta a dimensão dos sistemas analisados e a relativa semelhança nas áreas monitorizadas (SR = 33033,24m²; AZ = 32055,51m²; LZ = 23751,23 m² – Quadro 2) pode referir-se que existem diferenças significativas na distribuição espacial da variabilidade volumétrica máxima entre as praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro.

O sistema da Foz do Lizandro apresenta, em P5, o quantitativo de variabilidade mais elevado (24,38m³/m, Fig. 24) dos três sistemas. À excepção de P2, os valores volumétricos máximo e mínimo não possuem qualquer relação temporal, sendo impossível estabelecer uma ligação imediata de continuidade entre as

morfologias que deram origem aos respectivos volumes (Fig. 24). Em P2, pelo contrário, regista-se uma variação de volumes de 18,935m³/m em 32 dias, entre as campanhas de 02.12.2005 e 03.01.2006.

O indicador de variabilidade entre perfis caracteriza-se por um aumento gradual para sul, contrastando com o volume médio de sedimentos. Como já foi referido, o P4 e, particularmente, o P5 localizam-se muito próximo do estuário do rio Lizandro, encontrando-se expostos à dinâmica do rio em episódios de elevado caudal e aos galgamentos oceânicos para o interior do estuário. Estes eventos originam, em pouco tempo, escarpas de erosão na frente de praia que se prolongam para ao interior do estuário. Este tipo de morfologia de praia foi observado durante os levantamentos de campo em 29.03.2006 e 27.11.2006, ultrapassando 1,20m de altura da face da escarpa de erosão.

Esta dinâmica mista, característica de uma área de interface como é um estuário, reflecte-se também nas altitudes mais baixas que constantemente são medidas nos perfis P4 e P5, por comparação aos perfis mais a norte, resultando na diminuição progressiva para sul do volume médio estimado por perfil (Fig. 24).

Contrastando com a praia da Foz do Lizandro, as praias de S^{ta}. Rita e Azul apresentam valores de variabilidade volumétrica máxima diferenciados

por perfil, ao longo das respectivas áreas monitorizadas.

Na praia de S^{ta}. Rita é clara uma alternância entre sectores do sistema com menor variabilidade enquanto outros apresentam variações volumétricas mais significativas. Este facto foi já observado na figura 15, onde o posicionamento planimétrico do nível do mar exhibe a mesma oscilação de valores. Os valores mais elevados de variabilidade volumétrica máxima são atingidos em P2 (23,260m³/m) e P4 (23,314m³/m).

Os resultados da variabilidade extrema e média nos volumes de S^{ta}. Rita encontram-se relacionados com a regular alternância entre formas de tipo berma, contínua ou com descontinuidades longilitorais em crescente (beach cusps), e formas associadas a perfis próximo do dissipativo. A existência de crescentes de praia é frequente, tendo sido possível identificar a sua presença em várias ocasiões, durante as campanhas de monitorização (17.12.2005; 17.01.2006; 15.02.2006; 01.03.2006; 16.03.1006).

Assinala-se ainda que o alinhamento dos perfis que registaram maior variabilidade volumétrica (P2 e P4), corresponderam quase sempre à saliência mais elevada do crescente, enquanto P1, P3 e P5 registaram valores associados ao ponto mais recuado da curvatura do crescente de praia.

O sistema da praia Azul apresenta também diferenças nos volumes extremos dos perfis

localizados mais a norte (P1, P2 e P3), sem que o comportamento volumétrico médio dos volumes confirme esta oscilação nas diferenças máximas. A variabilidade máxima mais elevada é atingida em P6 (139,98m³/m), onde se atingem também os volumes mais altos. O crescimento dos valores dos volumes médios para sul é, de resto, coincidente com a tendência de aumento da largura da praia na mesma direcção (Fig. 13).

Neste sistema, P2 e P3 registam a transição entre volumetrias extremas mais rápida das três praias estudadas. Em 30 dias, entre as campanhas de monitorização de 03.12.2005 e 02.01.2006, existe uma diferença volumétrica máxima de 132,61m³/m, em P2, e de 67,45m³/m, em P3.

No quadro 24 apresentam-se os volumes sedimentares médios e máximos por campanha realizada nos três sistemas estudados. Os volumes médios resultam do cálculo da média aritmética do conjunto dos resultados absolutos obtidos nos 5 (praia de S^{ta}. Rita e Foz do Lizandro) ou 6 (praia Azul) perfis realizados em cada campanha.

Os dados obtidos (quadro 24) permitem atestar da elevada variação temporal nas quantidades de sedimentos armazenados no perfil emerso das praias, acima do nível médio do mar.

Em termos médios, estas diferenças são mais expressivas no caso da praia de S^{ta}. Rita por representar o sistema com maior amplitude entre os valores médios. O quociente entre o valor

médio máximo (271,99m³/m, quadro 24) e médio mínimo (82,06m³/m, quadro 24) é de 3,3.

Quadro 24 – Volumes sedimentares médios (v. méd.) por campanha e diferença máxima dos perfis (dif. máx.) entre campanhas na praia de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro.

	<i>Praia de S^{ta}. Rita</i>		<i>Praia Azul</i>		<i>Praia da Foz do Lizandro</i>	
	v. méd. (m ³ /m)	dif. máx (m ³ /m)	v. méd. (m ³ /m)	dif. máx (m ³ /m)	v. méd. (m ³ /m)	dif. máx (m ³ /m)
2004	Mar(2)	271,99				
	Out(2)	139,85	-193,64			
	Nov(1)	188,17	74,29			
	Dez(2)					249,51
2005	Set (1)			117,00		
	Set (2)			104,15	-36,11	367,40 102,98
	Out (1)					
	Out (2)			101,64	28,61	346,98 148,13
	Nov (1)					285,88 -84,76
	Nov (2)					253,81 -110,50
	Dez (1)	82,06	-161,06	64,90	-82,25	223,83 -87,86
	Dez (2)	101,94	74,76	98,95	56,11	265,54 80,62
2006	Jan (1)	135,16	86,81	141,02	76,50	326,96 178,44
	Jan (2)	174,48	79,01	108,81	-81,19	205,80 -183,94
	Fev (1)			112,87	-70,95	211,10 44,16
	Fev (2)	187,94	29,17	87,94	-47,71	282,35 128,43
	Mar (1)	174,90	-26,45	90,59	32,81	267,57 -52,45
	Mar (2)	191,86	28,75	79,35	-26,54	205,38 -84,31
	Abr (1)	230,84	54,03	71,25	-27,59	246,00 92,98
	Abr (2)					
	Mai (1)					
	Mai (2)	255,71	41,45	78,74	19,89	234,42 -94,82
	Jun (1)	233,46	-53,75	84,34	8,93	225,36 -79,18
	Jun (2)	227,28	-42,58	82,37	12,29	221,59 -32,58
	Jul (1)			90,71	-22,12	
	Jul (2)			104,13	43,91	
	Dez (1)	190,32	-61,02	100,51	-38,66	159,26 -83,22

Esta amplitude de valores distingue-se dos resultados das restantes praias, menos dinâmicas no que respeita à variação volumétrica média. Assim, os resultados obtidos revelam que a praia Azul é o sistema com variações de volumes médios mais baixas. Neste sistema, o volume médio máximo representa cerca do dobro do

volume médio mínimo calculado (quociente = 2,2), correspondendo a um valor próximo do obtido na praia da Foz do Lizandro (quociente = 2,3).

Observa-se que os picos de variação máxima do volume por sistema estão concentrados essencialmente entre os meses de Dezembro de 2005 e Fevereiro de 2006 [(Fev(1))], sendo antecidos e/ou sucedidos por valores mais reduzidos mas bastante significativos, no quadro das medições efectuadas.

A excepção encontra-se na praia de S^{ta}. Rita, onde o pico de variação é atingido em Outubro de 2004 [Out(2) = 193,64m³/m, Quadro 24]. Neste caso, bem como em Dezembro de 2005 [Dez(1) = 161,06m³/m, Quadro 24], os resultados obtidos referem-se a campanhas muito distanciadas no tempo [Mar(2), 2004 – Out(2), 2004 = 209 dias; Nov(2), 2004 – Dez(1), 2005 = 400 dias], não sendo possível estabelecer uma relação de continuidade temporal entre campanhas. Assim, excluindo as diferenças máximas baseadas em dados anteriores a Dezembro de 2005, a praia de S^{ta}. Rita atinge o máximo de variação volumétrica entre campanhas próximas no tempo na monitorização de 04.01.2006 [Jan(1)], com valores muito próximos nas campanhas anterior e posterior. Durante este período [Dez(2) – Jan(2)], a elevada dinâmica do sistema encontra-se associada à acreção da praia emersa, tendo sido registado um aumento no volume deduzido dos perfis de 240,58m³/m. Salienta-se a relevância deste valor, uma vez que representa 46,7% do

total de volumes máximos movimentados entre Dezembro de 2005 e Junho de 2006.

A diferença máxima registada na praia Azul foi de $-82,25\text{m}^3/\text{m}$ [Dez(1), Quadro 24], tendo sido seguida de valores elevados durante os 2 meses seguintes. Entre Dezembro e o início de Fevereiro registou-se um total de movimentação de areias de $366,99\text{m}^3/\text{m}$, ou seja, cerca de 54,5% do total de movimentações máximas de sedimentos registadas nos perfis entre Setembro de 2005 e Julho de 2006.

Ao contrário de S^{ta}. Rita, este período de elevada actividade morfossedimentar na praia Azul caracteriza-se por uma alternância entre dinâmicas erosivas e de acreção, saldando-se as diferenças volumétricas máximas pelo valor de $-101,78\text{m}^3/\text{m}$.

A praia da Foz do Lizandro atingiu a diferença volumétrica máxima entre campanhas com o valor de $-183,94\text{m}^3/\text{m}$ em Janeiro [Jan(2), Quadro 24]. Tendo em conta apenas os valores mais elevados da série, registados em Janeiro, pode afirmar-se que a dinâmica de sedimentos neste mês representou cerca de 22,9% ($362,39\text{m}^3/\text{m}$) do total de sedimentos movimentados entre Setembro de 2005 e Junho de 2006 ($1586,14\text{m}^3/\text{m}$).

Apesar do valor obtido na foz do Lizandro ser menos representativo do que as percentagens registadas nas praias de S^{ta}. Rita e Azul, é evidente, tal como nos restantes sistemas, o contraste entre o Inverno e o Verão marítimo,

nos dados das diferenças volumétricas máximas (Quadro 24).

Os contrastes entre o Inverno e o Verão marítimo (2005/2006) tornam-se ainda mais claros com a determinação do balanço de volumes sedimentares médios ao longo do período de monitorização das três praias (Fig. 25), e pela determinação da sua variação cumulativa através do somatório de balanços médios positivos (acreção) e negativos (erosão), registados entre campanhas.

Na figura 25 é notória uma diferença entre as medições realizadas até ao final de Março de 2006 e os valores obtidos no período subsequente. Entre o final do mês de Novembro de 2005 e Março de 2006, verifica-se uma elevada variação no balanço de armazenamento de areias dos perfis monitorizados entre campanhas. Neste período, destacam-se os meses de Dezembro de 2005 e o início de Janeiro de 2006 por possuírem variações de elevada amplitude, com assinaturas semelhantes nos três sistemas.

A praia de da Foz do Lizandro apresenta o saldo mais negativo entre campanhas [(Jan(2) - $121,17\text{m}^3/\text{m}$)]. A par deste valor, os saldos absolutos obtidos no início de Novembro de 2005 ($61,10\text{m}^3/\text{m}$) e final de Março de 2006 ($62,19\text{m}^3/\text{m}$) condicionam de forma muito significativa o balanço cumulativo final de volumes sedimentares armazenados em relação

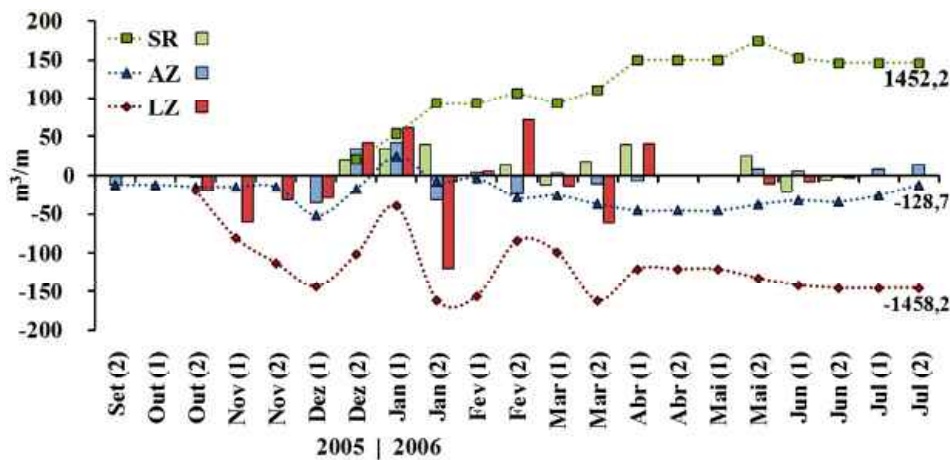


Figura 25 – Balanço absoluto e cumulativo de volumes sedimentares médios entre campanhas.

ao início das campanhas de monitorização (145,82m³/m).

A quantidade de materiais mobilizados nos períodos caracterizados pelo domínio da acreção de sedimentos na praia [Dez(2); Jan(1); Fev(2); Abr(1) – Fig. 25] não é suficiente para a total compensação volumétrica do sistema. Sublinha-se mais uma vez o contraste, particularmente nítido neste sistema, entre a variabilidade dos valores dos volumes sedimentares do Inverno e Verão marítimos.

Este contraste também pode ser verificado na praia Azul, ocorrendo o período máximo de variabilidade entre Novembro e Janeiro (Fig. 25). A amplitude de variação nos quantitativos de armazenamento de sedimentos é bastante mais reduzida do que a verificada na praia da Foz do Lizandro.

Neste sistema, as variações no armazenamento de sedimentos ocorrem quase sempre no

domínio do déficit sedimentar, no entanto, os valores obtidos são os que se aproximam mais do balanço nulo e, portanto, do equilíbrio dinâmico do sistema.

A praia de S^{ta}. Rita possui o comportamento oposto ao verificado no sistema da Foz do Lizandro, verificando-se uma tendência dominante da acreção sobre a erosão. Tal como nos restantes sistemas estudados, pode verificar-se que os períodos com variação mais significativa nos volumes sedimentares se encontram associados ao Inverno marítimo, nomeadamente nos meses de Dezembro e Janeiro, com um total de movimentação sedimentar adicionado ao perfil emerso de 92,42m³/m, e ao longo do mês de Março, com a acreção de 55,94m³/m de areia.

A relação entre as mudanças no armazenamento de sedimentos ao longo do período estudado e a ondulação podem ser observadas na figura 26. Tal como no caso da figura anterior, consideram-

se todas as diferenças absolutas ocorridas durante a monitorização das praias em que existe uma elevada periodicidade de campanhas realizadas, ou seja entre 2005 e 2006.

Como já tinha sido observado no Quadro 20 e na Figura 25 a praia da Foz do Lizandro possui os valores mais elevados de variação nos volumes sedimentares entre campanhas e este facto reflecte-se na elevada dispersão de pontos observada na Figura 26.

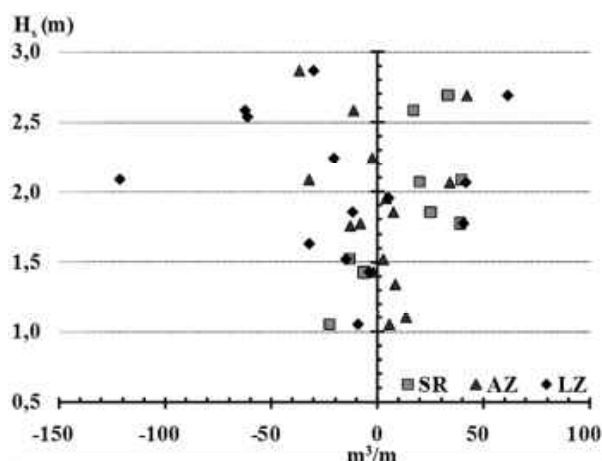


Figura 26 – Balanço de volumes sedimentares absolutos entre campanhas vs altura significativa média quinzenal em Leixões (H_s).

A inexistência de uma relação linear entre a altura das ondas de largo e a dinâmica nos volumes sedimentares torna impossível estabelecer um limiar de altura de ondas a partir do qual existe uma mudança entre o déficit e a acreção sedimentar. De facto, a figura 26 mostra

como o aumento nos valores da altura significativa de largo representam apenas um aumento na capacidade de mobilização de sedimentos, podendo o incremento na hidrodinâmica mobilizar sedimentos no sentido da praia imersa, originando erosão na praia emersa, ou vice-versa.

7. Textura dos sedimentos de praia

As características dos sedimentos das praias são um factor determinante na dinâmica destes sistemas pela influência que possuem sobre a distribuição dos declives ao longo do perfil.

As modificações nas características texturais das areias de praia e nos estatísticos que as descrevem, ao longo de um determinado período de monitorização e sobre diferentes elementos morfológicos da praia, fornecem informações essenciais sobre a forma como a energia hidrodinâmica associada ao transporte sedimentar se distribui ao longo do sistema (Guillén & Hoekstra, 1996; Medina *et al.*, 1994; Stauble & Bass, 1999). Neste sentido, os elementos morfológicos mais utilizados na caracterização do sistema são os mais dinâmicos, normalmente localizados na faixa entre marés (Dingler & Reiss, 2002; Sénéchal *et al.*, 2002; Kulkarni *et al.*, 2004).

No caso das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro, a colheita de amostras sedimentares superficiais seguiu um critério morfológico. Evita-se, assim, a utilização de critérios métricos fixos para caracterizar as areias de praia, por se revelarem pouco sensíveis à elevada dinâmica morfológica destes sistemas.

A determinação dos parâmetros texturais deve ser representativa do sistema em análise. Os resultados dos estatísticos sedimentares característicos de um sistema de praia podem ser influenciados pelo número reduzido de amostras utilizadas no seu cálculo, essencialmente porque se trata de um ambiente altamente dinâmico. No caso das amostragens realizadas na praia de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro pode afirmar-se e a oscilação dos valores da média granulométrica por sistema devido à quantidade de amostras utilizadas para o seu cálculo é muito significativa nas primeiras quinze amostragens.

Tomando como indicador de estabilidade dos resultados as variações inferiores a 0,01 ϕ , pode afirmar-se que todos os sistemas apresentam resultados estáveis (Fig. 27). A estabilidade completa dos resultados foi atingida com 16 amostragens, na praia de S^{ta}. Rita, com 34 amostras, na praia Azul, e 39 amostras, na praia da Foz do Lizandro.

Tendo em conta a totalidade de colheitas realizadas entre 2004 e 2006, as areias presentes nos sistemas analisados podem ser classificadas como médias a grosseiras (Fig. 28), possuindo uma distribuição unimodal em todas as amostragens analisadas. Salienta-se que, apesar da classificação das areias abranger dois grupos dimensionais, as diferenças entre os valores médios característicos de cada sistema são muito baixas. Assim, a praia Azul possui os sedimentos mais grosseiros (0,85 ϕ), contrastando com as areias mais finas das praias de S^{ta}. Rita (1,00 ϕ) e da Foz do Lizandro (1,16 ϕ). Os resultados na Praia

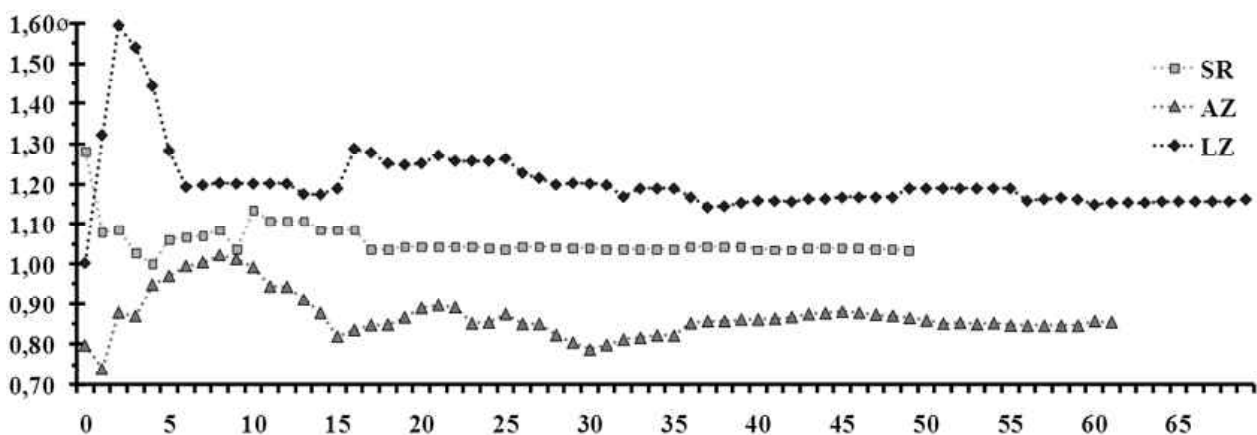


Figura 27 – Relação entre a média granulométrica e o número de amostragens, por sistema.

Azul e na Praia da Foz do Lizandro diferem ligeiramente dos apresentados por Trindade e Ramos-Pereira (2009), por abrangerem um período de monitorização mais alargado, no entanto, considera-se que as diferenças não são significativas e confirmam a tendência de diferenciação entre sistemas, já identificada no primeiro trabalho.

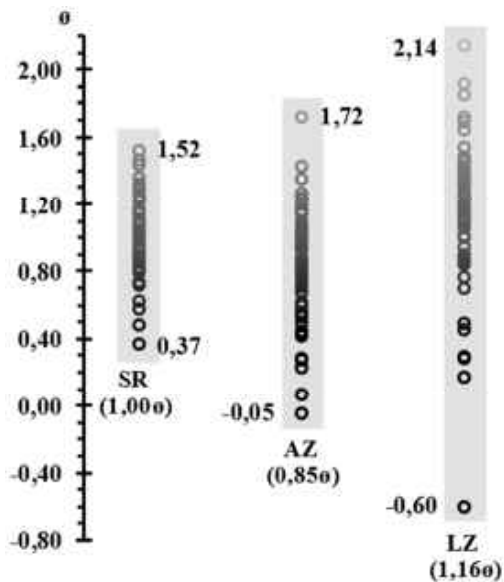


Figura 28 – Distribuição das médias granulométricas nas praias de S^{ta}. Rita (SR), Azul (AZ) e Foz do Lizandro (LZ).

A baixa amplitude de valores registados no sistema de S^{ta}. Rita ($\pm 1,15\phi$ – Fig. 28) contrasta com o espectro dimensional atingido na praia da Foz do Lizandro ($\pm 2,74\phi$ – Fig. 28). Note-se, no entanto, que o diâmetro médio mais grosseiro ($-0,60\phi$) registado na base da face da praia da Foz do Lizandro corresponde a uma ocorrência

isolada (11.10.2005) que se diferencia bastante dos restantes pontos. Excluindo o registo de 11.10.2005, pode afirmar-se que a amplitude de dimensões médias das areias registadas ao longo do período de monitorização é semelhante nas praias Azul ($\pm 1,77\phi$) e da Foz do Lizandro ($\pm 1,97\phi$).

As areias presentes nos três sistemas analisados correspondem a sedimentos bem calibrados, variando o parâmetro de selecção entre $0,45\phi$ (praia Azul) e $0,49\phi$ (praia da Foz do Lizandro). No sistema de S^{ta}. Rita o valor deste parâmetro é de $0,46\phi$.

Como tinha já sido referido por Trindade e Ramos-Pereira (2009), os resultados médios de cada sistema não revelam uma tendência regional que possa ser atribuída à deriva litoral, ou seja não é clara uma diferenciação linear longilitoral atribuível ao transporte de sedimentos pela corrente de deriva. Esta diferenciação entre sistemas parece relacionar-se com fontes locais de fornecimento sedimentar.

Para além da deriva litoral, o fornecimento de sedimentos aos troços de litoral com sistemas de praia pode ser assegurado pelos sedimentos da plataforma continental interna, pelo desmantelamento do produto da dinâmica das arribas próximas dos sistemas e pela rede de drenagem.

Pouco se sabe sobre as características e distribuição espacial dos sedimentos da plataforma continental interna entre Peniche e

Cascais, particularmente à escala de estudo do sistema de praia. Os trabalhos realizados por Vanney e Mougenot (1981), para a caracterização dos sedimentos da plataforma continental, identificaram extensas áreas cobertas por afloramentos rochosos no Esporão da Estremadura intercaladas com algumas bolsas de sedimentos localizadas nos sectores mais deprimidos da plataforma continental próxima, entre 0m e -50m.

A reduzida dimensão das bacias hidrográficas que drenam para o litoral entre Peniche e Cascais, o seu regime hidrológico irregular e altamente dependente da precipitação e os materiais predominantemente carbonatados e margosos que constituem as bacias hidrográficas pressupõem que o contributo sedimentar relativo à fracção arenosa que caracteriza a dimensão média das areias dos sistemas analisados será reduzido.

Acresce, ainda, que a proximidade da foz ou estuários de sistemas de drenagem não representa um factor diferenciador relativamente ao fornecimento de sedimentos. Todas as praias estudadas estão associadas a rios importantes na faixa de litoral entre Peniche e Cascais, nomeadamente o estuário do rio Alcabrichel, na praia de S^{ta}. Rita, do rio Sizandro, na praia Azul, e do rio Lizandro, na praia da Foz do Lizandro.

Segundo Neves (2006), a constituição litológica das arribas junto às praias de S^{ta}. Rita e Azul é dominada por materiais arenosos,

conglomeráticos e margosos, classificados pelo autor como rochas predominantemente brandas (60%). Estes materiais distinguem-se das litologias das arribas que limitam a norte e a sul a praia da Foz do Lizandro, onde predominam os calcários margosos, as dolomias e as margas.

A constituição distinta dos materiais aflorantes próximos dos sistemas estudados podem, assim, explicar parte das diferenças existentes nas dimensões médias das areias, existindo menor disponibilidade de sedimentos grosseiros junto da praia da Foz do Lizandro, por oposição às restantes praias.

A definição do valor médio dos estatísticos texturais mais importantes de cada sistema representa um importante ponto de referência que caracteriza globalmente as praias estudadas, especialmente se aferidos a partir de diferentes morfologias e de amostragens colhidas ao longo de um período que permita uma diferenciação temporal. No entanto, estes valores médios de referência pouco acrescentam à caracterização dos elementos morfológicos mais activos do perfil de praia.

A importância da discriminação dos parâmetros texturais ao longo do perfil emerso de praia, especialmente na faixa entre marés, pode espelhar a forma como os sistemas respondem aos agentes forçadores, evidenciando uma maior ou menor exposição aos mesmos por parte das diferentes morfologias estudadas.

Na figura 29 encontram-se representados os quatro primeiros momentos característicos dos elementos morfológicos mais dinâmicos do perfil

de praia emerso, nomeadamente o terraço de maré, a base da face da praia, a face da praia e a berma.

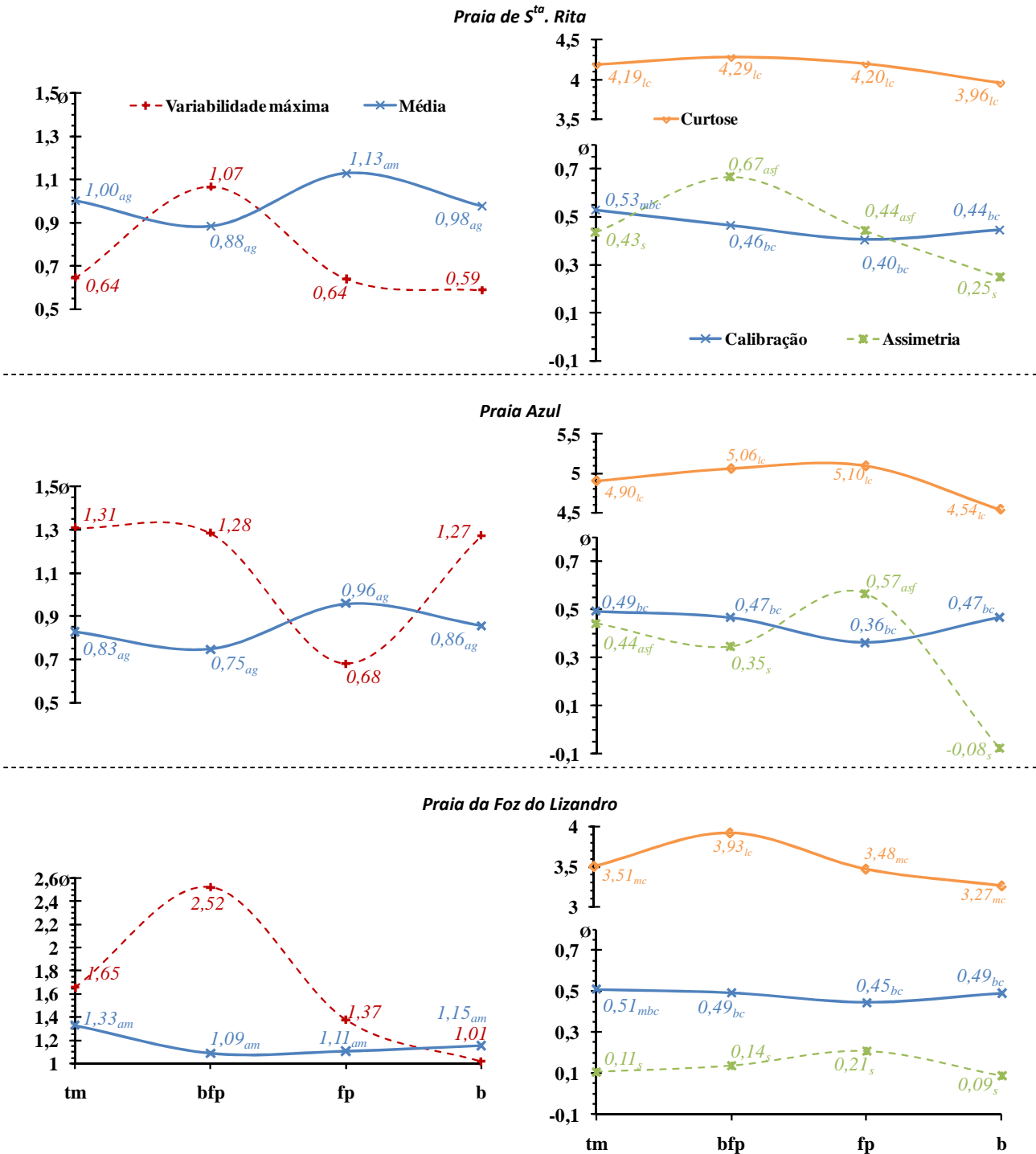


Figura 29 – Média, variabilidade máxima das médias, calibração, assimetria e curtose granulométrica do terraço de maré (tm), base da face da praia (bfp), face da praia (fp) e berma (b), nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro. *ag* – areia grossa; *am* – areia média, *bc* – areia bem calibrada; *mbc* – areia moderadamente bem calibrada; *s* – distribuição simétrica; *asf* – distribuição assimétrica por enriquecimento em partículas finas; *mc* – distribuição mesocurtica; *lc* – distribuição leptocúrtica. Nota: os valores da assimetria são adimensionais.

A distribuição das médias por morfologia confirma de forma clara o que tinha já sido adiantado em relação às diferenças entre os sistemas estudados. Independentemente da morfologia analisada, as areias da praia Azul correspondem a sedimentos grosseiros, contrastando com a praia da Foz do Lizandro, que possui sempre areias médias na faixa entre marés.

Apesar de existirem diferenças entre a dimensão dos sedimentos entre as praias estudadas, a determinação dos estatísticos texturais revelou várias semelhanças entre as morfologias do perfil emerso.

Os três sistemas possuem o calibre médio mais elevado de areias centrado na base da face da praia, distinguindo-se claramente dos restantes elementos morfológicos nos sistemas de S^{ta}. Rita e Azul, mas menos evidente na praia da Foz do Lizandro (Fig. 29).

A transição entre a base da face da praia e a face da praia encontra-se bem marcada nos calibres médios de S^{ta}. Rita e da praia Azul, mas, mais uma vez, o sistema da Foz do Lizandro não evidencia uma distinção clara entre estas morfologias. No entanto, a análise da variabilidade máxima das médias registadas ao longo da monitorização destes sistemas de praia revela uma tendência comum de diminuição muito significativa do espectro granulométrico médio presente na base da face da praia (SR – 1,07 ϕ ; AZ – 1,28 ϕ ; LZ –

2,52 ϕ) e na face da praia (SR – 0,64 ϕ ; AZ – 0,68 ϕ ; LZ – 1,37 ϕ).

O segundo momento estatístico evidencia também um decréscimo, ainda que pouco expressivo, nos três sistemas analisados, podendo afirmar-se que os sedimentos da base da face da praia possuem menor calibração quando comparados com o ponto médio da face da praia.

A existência de uma assinatura estatística clara entre estas duas morfologias indica a existência de uma mudança fundamental nos processos envolvidos no transporte de sedimentos, particularmente na energia do agente.

A base da face da praia corresponde a um sector do perfil frequentemente sujeito a elevada hidrodinâmica. Este contacto entre o terraço de maré, caracterizado por possuir inclinações reduzidas, e a face da praia, onde são atingidas as maiores inclinações do perfil emerso, corresponde ao ponto de colapso das ondas em maré alta e das ondas reformadas após o colapso, que encontram nesta mudança súbita de declive um factor eficaz de dissipação energética (Guillién e Hoekstra, 1996, 1997; Komar, 1998).

Assim, a frequência com que a base da face da praia se encontra exposta a condições de elevada hidrodinâmica confere às características texturais dos sedimentos uma diferenciação em relação à face da praia no sentido do maior diâmetro médio global, maior variabilidade nas dimensões médias por campanha e menor calibração das

areias. Esta tendência foi descrita por Bascom (1959), referindo-se o autor ao ponto de máxima turbulência como correspondendo ao contacto entre o ponto de colapso das ondas e a corrente de refluxo.

A diminuição do calibre dos sedimentos na face da praia e o aumento no carácter selectivo do transporte (Fig. 29) corresponde a um resultado esperado. Este sector do perfil de praia corresponde, em termos hidrodinâmicos, à faixa de ressaca onde as correntes de afluxo e refluxo, de direcção perpendicular ou oblíqua à linha de costa, se caracterizam por uma diminuição progressiva da velocidade do fluxo em direcção ao topo (Masselink e Hughes, 1998) e cujos processos foram já descritos no ponto 2.3. Esta diminuição de velocidade do fluxo origina uma diminuição da capacidade de mobilização sedimentar, sendo apenas transportadas as fracções mais finas do espectro de sedimentos disponível para mobilização.

Os resultados das colheitas de sedimentos ao longo do perfil de praia emerso mostram ainda, nas praias de S^{ta}. Rita e Azul, um aumento na dimensão média dos grãos de areia entre a face da praia e a berma (Fig. 29). Comparativamente, as modificações no calibre das areias da praia da Foz do Lizandro, entre a face da praia e a berma, são quase nulas, registando-se uma diminuição da média granulométrica. Apesar desta discrepância na tendência das médias entre estes elementos morfológicos é possível verificar que nos três sistemas a transição entre a face da praia

e a berma implica uma ligeira diminuição na calibração dos materiais e um decréscimo, por vezes muito significativo, nos valores da assimetria e da curtose. O terceiro e o quarto momento estatístico indicam, assim, um enriquecimento em grãos grosseiros relativamente aos valores registados na face da praia e uma diminuição na calibração dos mesmos em relação ao que se verifica no sector central da distribuição estatística.

A figura 30 mostra a relação entre os dois estatísticos na face da praia e na berma. Apesar de grande parte da população se encontrar associada a uma distribuição simétrica e mesocúrtica, existem observações que se destacam da distribuição normal. Nestas, o valor da curtose dos dois elementos morfológicos indica um achatamento de tipo leptocúrtico, implicando uma menor calibração dos grãos neste sector da curva em relação ao sector central. No entanto, a assimetria tende para sentidos opostos na face da praia e na berma, revelando que a última possui um enriquecimento em partículas grosseiras relativamente à distribuição central.

Segundo Bascom (1951) este tipo de tendência está relacionada com episódios mais energéticos de galgamento da berma, onde existe capacidade de transporte de partículas na corrente de afluxo, ficando estas retidas no sector mais elevado do perfil. A maior turbulência destes fluxos implicará uma menor selectividade do agente ao mesmo tempo que a menor frequência com que ocorrem

conserva os sedimentos depositados na berma e, mobilização pelo vento.
 no caso da fracção mais fina, disponíveis para a

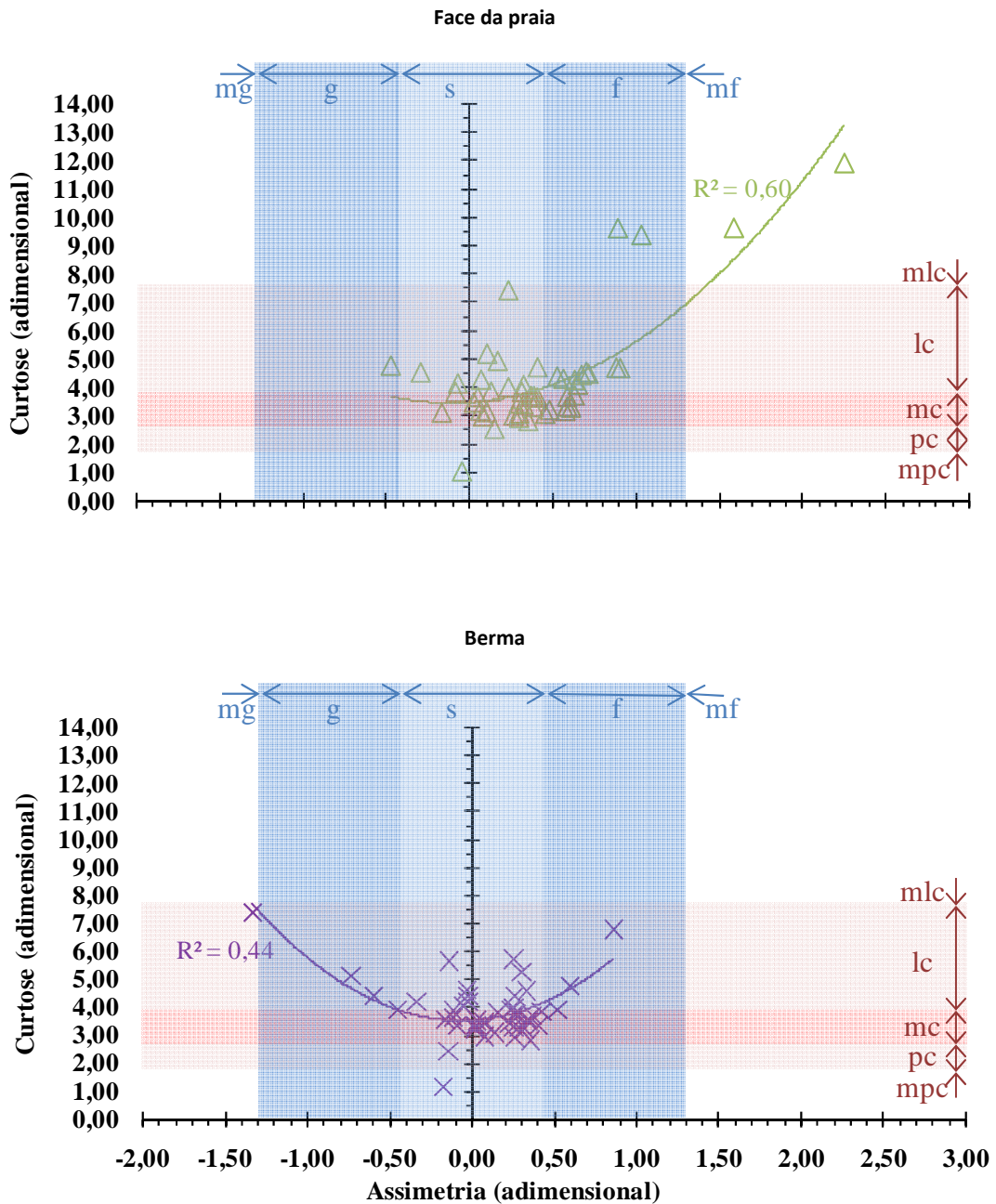


Figura 30 – Relação entre a assimetria e a curtose dos sedimentos da face da praia e da berma. Simetria da distribuição (Friedman e Sanders, 1979): s – simétrica; g – assimétrica por enriquecimento em grosseiros; mg – muito assimétrica por enriquecimento em grosseiros; f – assimétrica por enriquecimento em finos; mf – muito assimétrica por enriquecimento em finos. Achatamento da curva (Friedman e Sanders, 1979): mc – mesocúrtica; lc – leptocúrtica; mlc – muito leptocúrtica; pc – platicúrtica; muito platicúrtica.

8. Estados e descritores morfológicos

Como se referiu anteriormente, a morfologia presente numa praia pode ser explicada pela actuação dos agentes hidrodinâmicos, como as ondas e a maré, e pelas características dos sedimentos presentes no sistema. De entre estes factores, as mudanças nos parâmetros das ondas incidentes, com a altura, o período ou a direcção, podem explicar grande parte das trocas de sedimentos entre o perfil emerso e imerso, ou seja entre a(s) berma(s) de praia e a(s) crista(s).

As trocas de sedimentos entre os sectores emerso e imerso do perfil de praia podem ser encaradas como uma dinâmica cíclica do sistema, mas não necessariamente sazonal. A ocorrência de perfis com a presença de uma berma bem definida, próximos do reflectivo, ou com uma ou várias cristas, próximos do dissipativo, podem ocorrer de forma sequencial e numa escala temporal reduzida e ao longo do ano (Short, 1979; Nordstrom, 1980). A ocorrência de temporais possui um papel fundamental nos ritmos e celeridade da mudança na morfologia do perfil, podendo-se registar a transição berma – crista por erosão do perfil sub-aéreo em poucas horas. É, no entanto, importante salientar que a dinâmica do perfil de praia depende em grande medida do regime anual de ondulação.

A relação H_0/L_0 que define o declive da onda de largo é um factor muito importante a ter em conta quando se procede à quantificação da dinâmica morfológica do sistema praia. Valores

elevados de H_0/L_0 , ou seja, alturas elevadas e comprimentos de onda curtos, tendem a promover a formação de sistemas de cristas, através do transporte de sedimentos para o sector imerso do perfil, enquanto o oposto tende a promover a deposição no perfil emerso e a construção de bermas de praia.

A determinação do condicionamento que a maré possui na dinâmica morfossedimentar da praia e a sua importância face à ondulação é essencial porque a sua ocorrência e amplitude determinam a escala temporal de actuação dos processos hidrodinâmicos nas faixas de surf e de ressaca. Assim, o aumento da importância da dinâmica da maré face à altura das ondas diminui a importância do transporte sedimentar e dos processos que normalmente actuam nas faixas de surf e de ressaca, resultando na quasi-ausência de morfologias típicas do perfil de praia, como bermas, crescentes ou cristas (Masselink e Short, 1993; Masselink e Huges, 2003; Barnabeu *et al.* 2003).

As características dos sedimentos também influenciam a dinâmica morfossedimentar berma – crista. As suas propriedades hidrodinâmicas dependem da densidade e da forma das partículas, que, assim, determinam o tempo de permanência em suspensão e a disponibilidade para o transporte.

Uma das classificações mais utilizadas na dinâmica de praias corresponde à proposta de Wright & Short (1984), baseada no índice

adimensional de velocidade de sedimentação (dimensionless fall velocity – Ω , Gourlay, 1968; Dean, 1973; Dalrymple & Thompson, 1977):

$$\Omega = \frac{H_0}{w_s T} \quad (30)$$

em que, H_0 corresponde à altura da onda de largo, w_s é igual à velocidade de sedimentação das areias e T indica o período das ondas.

O índice Ω pode ser considerado como uma medida do tempo de transporte de partículas ao longo da coluna de água, reflectindo a relação H_0/L_0 já descrita anteriormente e incorporando as propriedades hidrodinâmicas dos sedimentos. Na formulação do índice Ω (eq. 30), o numerador caracteriza a energia hidrodinâmica aplicada nos sedimentos em suspensão e o denominador a distância vertical percorrida por uma partícula durante um período de onda. Assim, os resultados mais elevados de Ω são obtidos quando partículas mais finas, com baixa velocidade de sedimentação, são mobilizadas por ondas com valores reduzidos de T e elevados de H_0 . Nesta situação, os sedimentos mais finos permanecem mais tempo em suspensão e, portanto, possuem maior susceptibilidade de serem transportados ao longo do perfil (componente de transporte transversal) ou ao longo da linha de costa (componente de transporte longilitoral).

No quadro 25 apresenta-se uma síntese do tipo de morfologia, dinâmica sedimentar e hidrodinâmica característica de cada estado morfodinâmico reconhecido por Wright e Short (1984). A classificação de Wright e Short (1984) compreende a identificação de vários tipos morfodinâmicos, que variam entre o reflectivo ($\Omega < 1,5$) e o dissipativo ($\Omega > 5,5$), passando pelos estados intermédios ($1,5 < \Omega < 5,5$).

As morfologias das faixas de surf e de ressaca nos estados intermédios são variadas e dependem, no essencial, da forma como a(s) crista(s) se dispõe(m) ao longo da linha de costa e como condiciona(m) o colapso das ondas incidentes (quadro 25).

Na aplicação do índice adimensional de velocidade de sedimentação (Ω) às praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro, tentou-se que os parâmetros necessários para a sua determinação se aproximassem tanto quanto possível das condições hidrodinâmicas e sedimentares observadas durante a realização das campanhas de monitorização. Assim, optou-se por calcular Ω utilizando o período médio (T_z) e a altura significativa da onda (H_0), registados durante a semana anterior à data de cada monitorização, na bóia ondógrafo de Sines. Tal como referido por Masselink e Hughes (2003), H_0 da equação 54 foi substituído por H_b , através da aplicação da fórmula de Komar e Gaughan (1972) (eq. 37). w_s foi calculado através da fórmula:

$$w_s = 273 D_{50}^{1,1} \quad (31)$$

em que, D_{50} corresponde ao diâmetro mediano dos grãos (Benavente *et al.*, 2002), tendo sido consideradas as amostragens de sedimentos do terraço de maré, base da face da praia e face da praia, por campanha.

Baseando-se no índice Ω , Masselink e Short (1993) propuseram uma classificação do comportamento morfodinâmico das praias incluindo um indicador que traduz a influência dos ciclos de maré no transporte de sedimentos entre o perfil emerso e o sector imerso do perfil de praia. A amplitude relativa de maré (*Relative Tide Range* - RTR) pode ser traduzida da seguinte forma:

$$RTR = \frac{MSR}{H_b} \quad (32)$$

em que, MSR corresponde à amplitude média da maré viva e H_b a altura da onda na rebentação. A classificação decorrente da aplicação conjunta de Ω e RTR resultou na identificação de 9 tipos morfodinâmicos de praias, entre o perfil ultra-dissipativo e reflectivo, baseada em observações em praias com regime de macro-maré. No quadro 26 apresenta-se a classificação de Masselink e Short (1993), para valores de RTR inferiores a 3.

No caso das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro, expostas à ondulação dominante e sujeitas a um regime mesomarial semi-diurno, não se esperam valores de RTR superiores a 3, correspondendo o valor médio para o período estudado a 1,51 ($MSR = 2,98\text{m}$; $H_b = 2,15\text{m}$). Neste tipo de praias ($RTR < 3$), a influência que a maré possui no posicionamento das faixas de surf e ressaca é reduzida e por isso a sobreposição espacial de processos associados a estas diferentes faixas é limitada (Masselink e Turner, 1999; Masselink e Hughes, 2003). Pelo contrário, em praias onde a amplitude de maré é importante na translação das diferentes faixas hidrodinâmicas ($3 < RTR < 15$ e, especialmente, $RTR > 15$) existe uma elevada sobreposição dos processos correspondentes ao longo do perfil intermareal (Masselink e Turner, 1999).

Seguindo o critério estabelecido para o cálculo do índice Ω , procurou-se determinar RTR com base em H_o registada na bóia ondógrafo de Sines, durante a semana anterior à data de cada monitorização, transformada para H_b com o auxílio da equação 59. MSR corresponde à média do período de referência (Janeiro, 2004 a Junho de 2007).

A figura 31 apresenta a distribuição conjunta de RTR e Ω nas praias estudadas. Como se esperava, os resultados da monitorização das praias mostram uma clara dominância da ondulação, com valores de RTR sempre inferiores a 3.

Quadro 25 – Classificação do estado morfodinâmico das praias. (Wright & Short, 1984; Short, 1999; Masselink & Hughes, 2003)

Designação	Reflectivo (R)	Intermédio			Dissipativo (D)
		Terraço de maré baixa ou sistema de lomba canal (Low tide terrace or ridge and runnel) (TMB)	Cristas transversais (Transverse bar and beach) (BT)	Cristas e praia com morfologias em crescente (Rhythmic bar and beach) (BPC)	
Ω	< 1,5	≈ 2	≈ 3	≈ 4	≈ 5 > 5,5
Morfologia	(i) faixa de ressaca estreita e muito inclinada; ausência de cristas e sulcos pré-litorais; (iii) transporte de sedimentos em direcção à praia emersa.	(i) Presença de uma crista emersa no nível da maré baixa, contrastando com uma face de fuga e praia muito inclinada; (ii) transversais de contacto crista emersa / obliquos à costa; (iii) canais profundos de fuga apresentam um pequeno canal longilitoral (runnel), encontrados por pequenos transversais de fuga, não considerando que existe morfologia rítmica.	(i) Alternância bem marcada entre canais de fuga e cristas crescentes de praia; (ii) transversais ou Topo longilitoral da crista com secções mais profundas (canais das cristas); (iii) correntes de fuga sectores mais elevados e estreitos; (iiii) Erosão praia com saliências de canais predominante nos sectores alinhados com a crista e as cavas alinhadas com os canais de correntes de fuga; (iv) Mecanismos de sectores ao abrigo das secções menos profundas da crista.	(i) Crista com formas rítmicas em fase com os longilitorais contínuas alinhadas com os respectivos sulcos e com a linha de costa; (ii) Face da praia com morfologias do tipo multicrista / pequenas sistema multicrista / sulco paralelo à linha de costa; (iv) Elevada amplitude das correntes de afluxo mobilizam sedimentos ao longo de todo o perfil de praia; (vi) O transporte sedimentar efectua-se quase exclusivamente no sentido do mar.	(i) Faixas de surf e de ressaca extensas; (ii) Declives muito reduzidos entre a base da duna e o nível de maré baixa; (iii) Faixa de ressaca desprovida de elementos morfológicos; (iv) Faixa de surf apresenta um sistema multicrista / sulco paralelo à linha de costa; (v) Elevada amplitude das correntes de afluxo mobilizam sedimentos ao longo de todo o perfil de praia; (vi) O transporte sedimentar efectua-se quase exclusivamente no sentido do mar.
Hidrodinâmica	(i) Colapso das ondas sobre a face da praia; (ii) Grande dissipação energética aplicada na face da praia, devido à inexistência de uma faixa de surf.	(i) Baixos níveis de dissipação energética sobre a crista; (ii) Em maré alta, o colapso das ondas pode centrar-se na face da praia, sem que a crista influencie o posicionamento da linha de rebentação.	(i) Elevada dissipação energética sobre a crista; (ii) Elevada dissipação energética na crista; (iii) Mecanismos duplo de sectores profundos da crista; (iiii) Colapso directamente sobre a face da praia nas secções mais profundas. circulação sobre as cristas, recirculando a água de volta para o mar.	(i) Reformação de ondas nos sulcos pré-litorais após o colapso na crista; (ii) Morfológicamente mais estáveis.	(i) Elevada energia hidrodinâmica; (ii) Várias linhas de rebentação; (iii) Morfológicamente mais estáveis.

Quadro 26 – Classificação do tipo de morfologia de praia em função de Ω e de RTR (adaptado de Masselink e Short, 1993).

Reflectivo (<i>Reflective</i>)	Intermédio com crista pré-litoral (<i>Barred</i>)		Dissipativo multi-crista pré-litoral (<i>Barred-dissipative</i>)
	Proeminente	Incipiente	
$\Omega < 2$ $RTR < 3$	$[2 - 5[$ < 1	$[2 - 5[$ $[1 - 3[$	> 5 < 3
(i) presença de crescentes de praia; (ii) face da praia com elevada inclinação.	(i) crescentes de praia bem definidos e face da praia inclinada; (ii) crista e sulco pré-litoral com formas bem definidas e proeminentes.	(i) crescentes de praia bem definidos e face da praia inclinada; (ii) crista e sulco pré-litoral com formas incipientes.	(i) Perfil intermareal com reduzida inclinação; (ii) presença de múltiplas cristas incipientes.

Na figura 31 é evidente que o aumento de Ω se encontra fortemente relacionado com a diminuição de RTR , uma vez que ambos os índices dependem da altura da onda na rebentação.

A classificação morfodinâmica das praias estudadas mostra que estas se encontram entre os domínios intermédio com crista pré-litoral incipiente e dissipativo (Fig. 31), sem que se atinja o estado morfodinâmico reflectivo. No entanto, a distribuição dos resultados resulta numa diferenciação pouco clara entre os sistemas estudados, que possuem uma tendência na distribuição dos dados semelhante e repartida pelas mesmas classes morfodinâmicas.

Para clarificar a diferenciação entre as praias estudadas face ao seu comportamento morfodinâmico, utilizou-se o índice Ω , permitindo desta forma uma definição dos seus estados morfodinâmicos médios, as amplitudes máximas do valor Ω ocorridas durante o período de

monitorização e, principalmente, os estados morfodinâmicos modais de cada sistema (Fig. 32 e 33).

Adicionalmente, recorreu-se ao cálculo dos parâmetros *Surf Similarity* (Battjes, 1974) e *Surf Scaling* (Wright e Short, 1984).

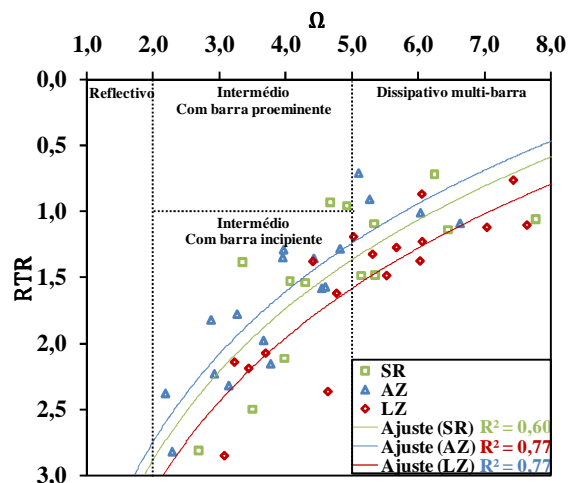


Figura 31 – RTR vs Ω nas praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro.

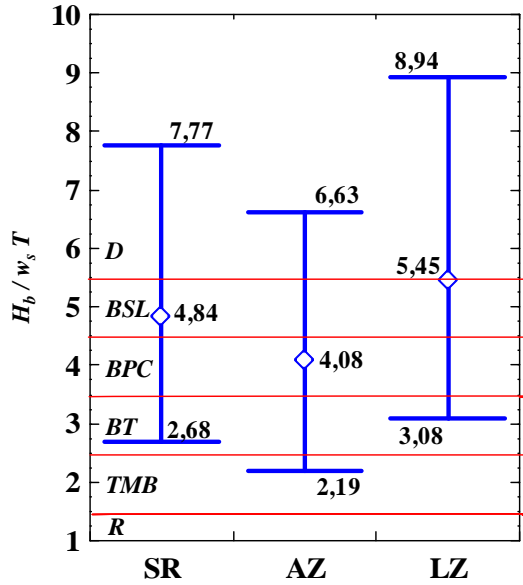


Figura 32 – Amplitude e média de valores Ω , nas praias de S^{ta}. Rita (SR), Azul (AZ) e Foz do Lizandro (LZ).

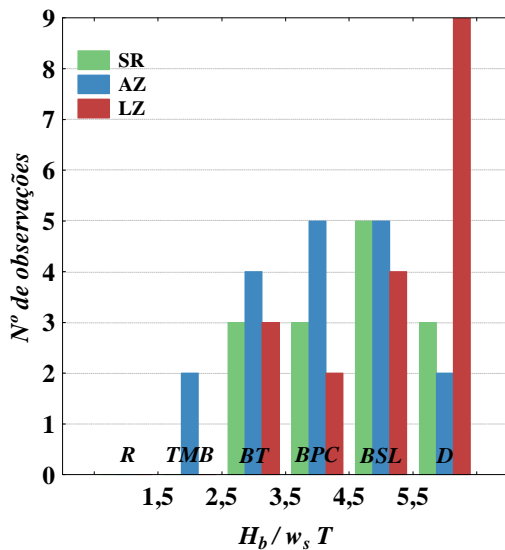


Figura 33 – Frequência absoluta de valores Ω , nas praias de S^{ta}. Rita (SR), Azul (AZ) e Foz do Lizandro (LZ).

O primeiro parâmetro adimensional, já apresentado no ponto 2.1.2, permite uma classificação quantitativa do tipo de ondas na rebentação em determinado momento,

expressando-se com a formulação apresentada na eq. 16 e 17.

O parâmetro *Surf Scaling*, também adimensional, determina a importância relativa dos estados morfodinâmicos dissipativos e reflectivos, podendo ser determinado pela função de Guza e Inman (1975) (eq. 61):

$$\varepsilon = \frac{4\pi^2 H_b}{g T^2 \tan^2 \beta} \quad (33)$$

Segundo os autores, os estados dissipativos prevalecem quando $\varepsilon > 20$, encontrando-se os estados reflectivos associados a $\varepsilon < 2,5$. Nos estados morfodinâmicos intermédios ambas as condições podem ocorrer, correspondendo a valores de ε entre 2,5 e 20.

O parâmetros H_b e T presentes em ξ (eq. 16 e 17) e ε (eq. 63), foram determinados segundo os critérios adoptados em Ω (eq. 30).

ε é particularmente importante na definição da variação espacial dos estados morfodinâmicos ao longo da área monitorizada em cada praia, sendo calculado por perfil. A substituição, neste contexto, de Ω por ε justifica-se porque o primeiro é calculado apenas com dados de um perfil granulométrico de praia por campanha, não sendo possível a diferenciação textural dos sedimentos entre os vários perfis topográficos realizados em cada monitorização. Pelo contrário,

o parâmetro *Surf Scaling* recorre, entre outros valores, ao declive da praia para a determinação do seu estado morfodinâmico, facto que torna possível a sua utilização em todos os perfis medidos.

No geral pode afirmar-se que as praias estudadas apresentam valores médios do índice adimensional de velocidade de sedimentação (Ω) bastante elevados (Fig. 32). Os resultados médios obtidos centram-se em classes que representam elevados níveis de dissipação energética ao longo do perfil.

A diferenciação entre sistemas relativamente ao estado morfodinâmico médio (Ω) e modal (Fig. 32 e 33) é, no entanto, clara e reflecte o elevado condicionamento que as características texturais que cada sistema impõem à classificação de Wright e Short (1984). Em grande parte das campanhas, a monitorização de cada sistema ocorreu com intervalos de apenas um a dois dias e, conseqüentemente, uma boa parte dos dados da hidrodinâmica utilizados (bóia ondógrafo de Sines) para o cálculo de Ω são coincidentes na semana anterior às medições, originando valores muito próximos de H_b e T_z (Quadro 27).

8.1. Comportamento morfodinâmico da praia de S^{ta}. Rita

Os resultados obtidos na praia de S^{ta}. Rita com o cálculo de Ω apontam para o estado médio e modal coincidentes de cristas e sulcos

longilitorais (*BSL* – Quadro 27; Fig. 5.27 e 5.28). As variações entre classes morfodinâmicas variam ao longo do período de monitorização entre cristas transversais (*BT* – Quadro – 27) e o estado dissipativo. Parece existir uma assinatura sazonal nos dados recolhidos uma vez que os resultados associados ao Verão marítimo são em geral mais reduzidos do que o período do Inverno marítimo (Quadro 27).

Das observações realizadas durante as campanhas é importante registar o elevado número de vezes em que foram observadas no sector emerso do perfil formas em crescente, sendo por isso prudente uma classificação deste sistema entre os estados morfodinâmicos de cristas e praia com morfologias em crescente (*BPC* – Quadro 27) e cristas e sulcos longilitorais (*BSL* – Quadro 27).

A avaliação das variações espaciais no estado morfodinâmico da praia por perfil revelou um comportamento diferenciado entre os cinco perfis.

Como se pode observar na figura 34, os perfis mais a norte (P1 e P2) exibem valores médios de ε mais reduzidos quando comparados com os perfis do sector sul da área monitorizada. Estes valores encontram-se num dos limiares da classificação de Guza e Inman (1975) e apontam para um estado morfodinâmico entre o intermédio e o dissipativo, predominando, de forma muito clara a rebentação de tipo mergulhante (ε e ξ – Fig. 34).

Quadro 27 – Índice adimensional de velocidade de sedimentação, respectivos parâmetros de cálculo e estado morfodinâmico observado.

		SR				AZ				LZ			
		H_b (m)	T_z (s)	w_s	Ω	H_b (m)	T_z (s)	w_s	Ω	H_b (m)	T_z (s)	w_s	Ω
2004	Mar(2)	2,72	8,83	0,0572	5,33								
	Out(2)	--	--	--	--								
	Nov(1)	2,80	7,42	0,0486	7,77								
	Dez(2)									2,16	7,70	0,0634	4,41
2005	Set (1)					1,38	5,52	0,0662	3,77				
	Set (2)					1,50	6,41	0,0640	3,67	1,43	6,23	0,0621	3,70
	Out (1)												
	Out (2)					2,19	7,71	0,0641	4,42	2,16	7,72	0,0464	6,03
	Nov (1)									3,52	8,50	0,0464	8,94
	Nov (2)									2,49	7,30	0,0679	5,03
	Dez (1)	2,00	6,35	0,0590	5,35	1,88	6,03	0,0685	4,54	1,83	5,97	0,0643	4,77
	Dez (2)	1,19	5,96	0,0571	3,49	1,28	6,08	0,0671	3,14	1,39	6,28	0,0684	3,23
2006	Jan (1)	2,61	6,90	0,0587	6,45	2,72	6,95	0,0590	6,63	2,70	6,95	0,0507	7,65
	Jan (2)	3,11	8,79	0,0719	4,92	2,93	8,81	0,0551	6,03	2,65	8,60	0,0438	7,04
	Fev (1)					2,31	7,58	0,0633	4,82	2,33	7,51	0,0547	5,68
	Fev (2)	1,95	7,77	0,0617	4,06	1,67	7,42	0,0688	3,27	1,36	6,79	0,0580	3,45
	Mar (1)	2,00	6,71	0,0580	5,14	1,89	5,83	0,0704	4,60	2,00	6,71	0,0539	5,53
	Mar (2)	2,14	8,39	0,0763	3,35	2,30	8,34	0,0695	3,97	2,24	8,45	0,0499	5,32
	Abr (1)	3,20	8,76	0,0781	4,67	3,26	8,70	0,0712	5,26	3,42	8,82	0,0641	6,06
	Abr (2)												
	Mai (1)												
	Mai (2)	1,06	5,16	0,0763	2,68	1,05	5,38	0,0857	2,29	1,04	5,11	0,0662	3,08
	Jun (1)	1,93	6,56	0,0686	4,29	2,20	6,65	0,0836	3,96	2,42	6,99	0,0571	6,07
	Jun (2)	1,41	5,90	0,0599	3,98	1,33	5,63	0,0810	2,92	1,26	5,49	0,0492	4,64
	Jul (1)					1,63	5,47	0,1036	2,87				
	Jul (2)					1,25	4,97	0,1149	2,19				
	Dez (1)	4,14	8,48	0,0782	6,24	4,16	8,69	0,0940	5,10	3,90	8,10	0,0647	7,44

Os valores médios obtidos no sector sul (P3 e P4) são distintos, sendo caracterizados pela presença de perfis dissipativos, associados a uma faixa de rebentação de tipo progressiva.

Esta distinção evidencia a forma como a ondulação actuou de forma diferenciada ao longo do período de monitorização sobre o perfil, neste sector da praia. A presença do promontório de

Porto Novo tem uma influência decisiva nos resultados uma vez que a sua posição, a norte e muito próxima dos perfis P1 e P2, origina uma situação de abrigo face à ondulação de NW que domina neste sector. Consequentemente, boa parte da energia das ondas é dissipada em torno do promontório, chegando à praia sob a forma de ondulação de tipo mergulhante.

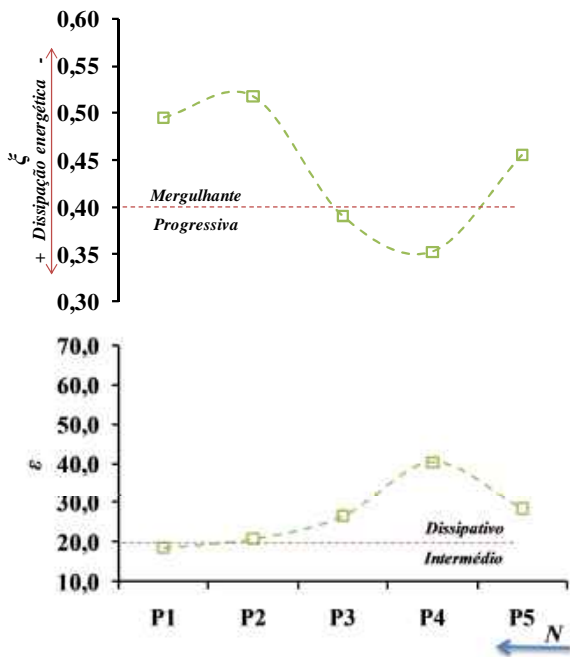


Figura 34 – Valores médios de ξ e ε por perfil, na praia de S^{ta}. Rita (localização dos perfis na figura 5).

O sector sul encontra-se exposto à ondulação dominante e, principalmente, aos temporais mais frequentes de NW, pelo que predominam os perfis de tipo dissipativo. Nesse sector da praia de S^{ta}. Rita a dissipação energética, resultado dos processos de transformação das ondas, realiza-se ao longo do perfil de praia sem a interferência do promontório, resultando em valores mais reduzidos de ξ , associados a ondas na rebentação de tipo progressivo.

A consequência desta diferenciação na actuação das ondas é a existência de uma dissimetria quase permanente na largura da praia. O sector norte da praia apresenta-se frequentemente mais recuado e com um perfil emerso regularmente mais declivoso, contrastando com

o sector sul da área monitorizada, que possui mais área emersa, independentemente do tipo de morfologia existente.

Ao longo do período de monitorização existe, como seria de esperar, uma resposta muito clara do índice adimensional de velocidade de sedimentação das três praias às condições de agitação marítima de largo, correspondendo os picos de valores de Ω aos temporais registados (Fig. 35). Condições de agitação marítima mais energéticas originam uma resposta do sistema no sentido do estado dissipativo.

O sistema de S^{ta}. Rita atingiu o estado dissipativo (Ω) nos episódios de 28.10.2004, 01.01.2006 e 27.11.2006 (Fig. 35). Nos restantes eventos, 27.03.2006 e 22.05.2006, o índice Ω quedou-se por valores característicos de estados intermédios.

A ausência de dados anteriores à monitorização de Outubro de 2004 deixam dúvidas relativamente ao tipo de morfologia pré-existente, sendo impossível determinar se os resultados espelham o episódio de 28.10.2004 ou se os dados obtidos de velocidade de sedimentação (w_s – eq. 31) resultam de episódios anteriores.

De entre os restantes episódios identificados, os temporais de Março e Maio de 2006 são os menos severos (Fig. 35), fornecendo dados de H_b e T ao índice Ω menos significativos, quando comparados com as situações de Janeiro e Novembro de 2006.

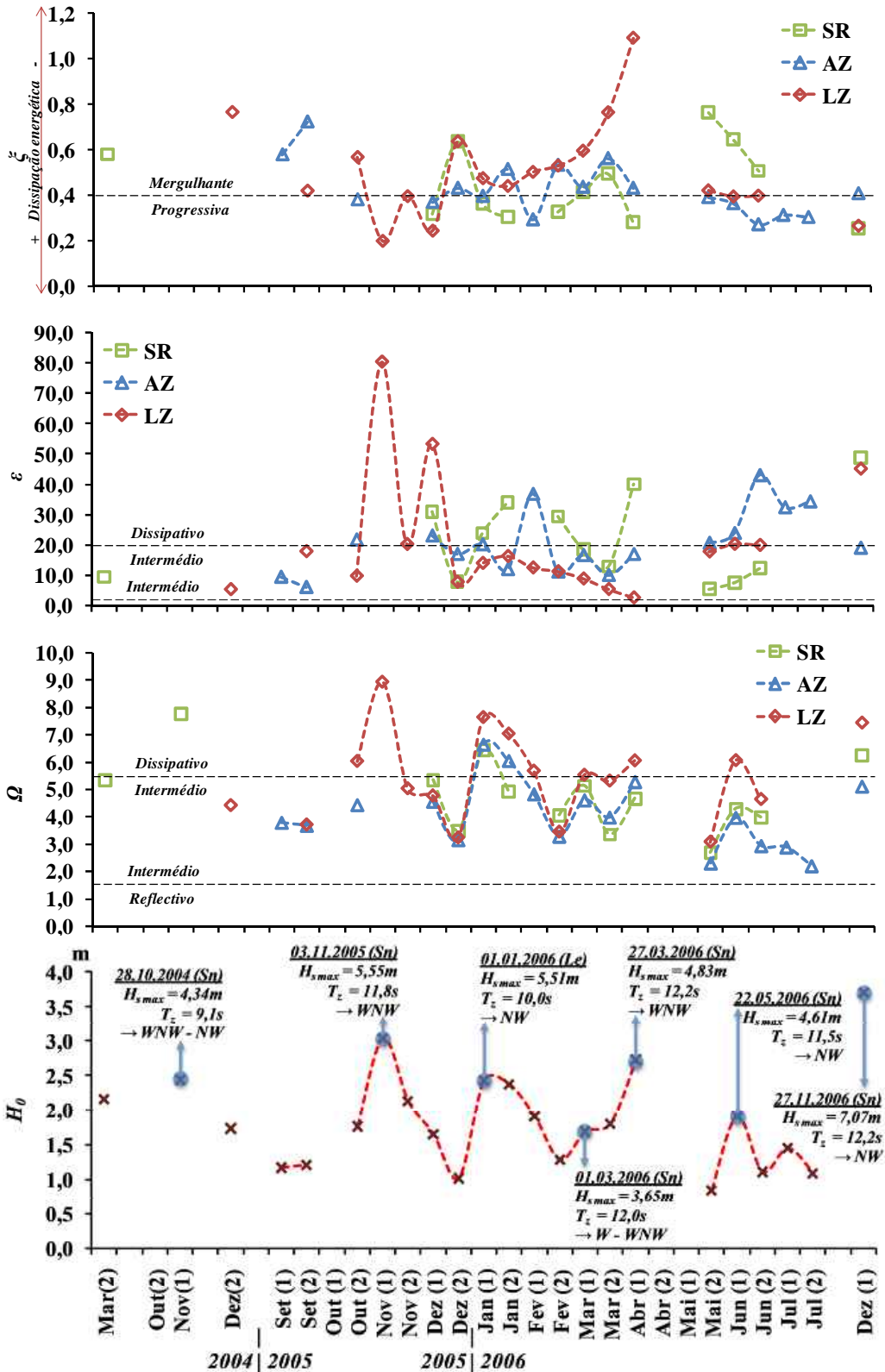


Figura 35 – Valores de Ω , ϵ e ξ e altura significativa média da onda em Sines, registada na semana anterior à data de cada monitorização. Nota: Adicionalmente revelam-se os parâmetros dos temporais associados aos picos de ondulação registados em Sines (Sn) e, na ausência de registos, em Leixões (Le).

No que respeita ao descritor *Surf Scaling* (ϵ), a praia de S^{ta}. Rita exhibe um comportamento de alternância entre os estados morfodinâmicos intermédio, mais frequente, e dissipativo (Fig. 35). Esta tendência de alternância entre estados morfodinâmicos e a tendência para o aumento de ϵ com a ocorrência de temporais é semelhante à identificada com a utilização do índice Ω , variando os valores de ϵ entre 5,4 e 48,9.

Os valores mais elevados de ϵ dos meses de Janeiro, Abril e Dezembro de 2006 encontram-se directamente relacionados com o registo de episódios mais energéticos ocorridos nos dias anteriores a cada campanha e já identificados no caso do índice Ω .

A distribuição temporal de ξ (Fig. 35) também evidencia uma forte relação com a ocorrência de eventos mais energéticos, registando-se sempre uma descida nos valores calculados do parâmetro *Surf Similarity* coincidente com os temporais identificados.

Os valores de ξ na praia de S^{ta}. Rita variam entre 0,25 e 0,76, associando-se mais frequentemente a ondas na rebentação de tipo mergulhante.

Com o objectivo de prever a forma como evolui o perfil sob diferentes condições de agitação marítima de largo, procedeu-se à determinação de Ω' segundo a equação 60, tendo por base os valores previstos de alturas de ondas na rebentação (eq. 15), deduzidos de alturas de largo em intervalos de 0,5m, os valores previstos de T_z para cada altura de onda de largo, e os

valores mínimo, médio e máximo de w_s observados no sistema.

A determinação de valores de Ω' limita-se a condições de agitação marítima na rebentação inferiores a 3m, uma vez que as observações de campo nunca revelaram valores superiores.

Na figura 36 apresenta-se a previsão de valores de Ω' para o sistema se S^{ta}. Rita.

Baseado nos dados recolhidos neste sistema pode afirmar-se, com uma margem aceitável de incerteza, que muito dificilmente este sistema atingirá o estado morfodinâmico reflectivo (Fig. 36). É importante referir que, mesmo tendo em conta a dimensão mais grosseira observada ($w_s = 0,0698$), os valores de Ω' são superiores ao limite intermédio – reflectivo.

Sob condições médias de dimensão das areias da praia de S^{ta}. Rita, o estado dissipativo é atingido com alturas ondas na rebentação próximas dos 2m (Fig. 36), não sendo de esperar a ocorrência dos estados morfodinâmicos terraço de maré baixa ou sistema de lomba canal (*TMB*) e cristas transversais (*BT*). Wright & Short (1983), citados em Komar (1998), referem que grande parte dos sistemas de praia não atinge a totalidade do espectro de estados morfodinâmicos previstos na sua classificação, dependendo o seu comportamento das características dos sedimentos, que controlam o declive do perfil de praia, e da agitação marítima local.

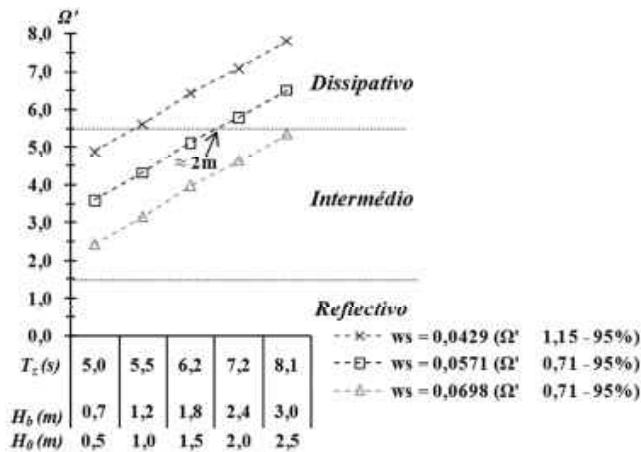


Figura 36 – Valores previstos do índice adimensional de velocidade de sedimentação (Ω'), com base em w_s mínimo, médio e máximo registado em S^{ta}. Rita.

8.2. Comportamento morfodinâmico da praia Azul

A praia Azul exibe o valor mais reduzido de Ω , caracterizando-se pelos estados morfodinâmicos modais entre os tipos cristas e praia com morfologias em crescente (BPC) e cristas e sulcos longilitorais (BSL), este último mais frequentemente observado durante as campanhas de monitorização (Fig. 32 e 33). Tal como no caso da praia de S^{ta}. Rita, também na praia Azul parece existir uma assinatura sazonal nos resultados de Ω (Quadro 27 e Fig. 5.30), mais reduzidos no Verão marítimo.

Salienta-se o papel que a dimensão dos grãos possui nos resultados de Ω dos três sistemas (Quadro 27 e Fig. 35). A praia Azul possui, em média, os sedimentos mais grosseiros de entre os

três sistemas analisados (Fig. 28) e, por isso, menos susceptíveis de serem mobilizados. Este facto resulta, naturalmente, numa velocidade de sedimentação média mais rápida e numa movimentação sedimentar transversal e longilitoral mais limitada no espaço, características que podem estar associadas a valores de Ω mais reduzidos.

A avaliação da distribuição espacial do comportamento morfodinâmico da praia Azul, baseada na determinação dos valores médios de ε por perfil, revelou um comportamento relativamente uniforme ao longo da área monitorizada, denunciado pela reduzida amplitude de valores médios de ε quando comparada com o sistema de S^{ta}. Rita (Fig. 34 e Fig. 37).

A extensão do sistema, o posicionamento dos perfis monitorizados relativamente aos limites norte e sul da praia e a ausência de um promontório nas proximidades podem justificar a relativa estabilidade dos valores de ε . A estes factores pode ser acrescentado o facto de o sistema ser dominado pela acção da hidrodinâmica marinha, diferenciando-se, por exemplo, da Foz do Lizandro, onde a acção da hidrodinâmica estuarina é importante na dinâmica planimétrica e volumétrica do sistema.

A amplitude de valores de ξ é, também, bastante inferior à registada em S^{ta}. Rita, indicando um predomínio de ondas de tipo mergulhante (Fig. 37).

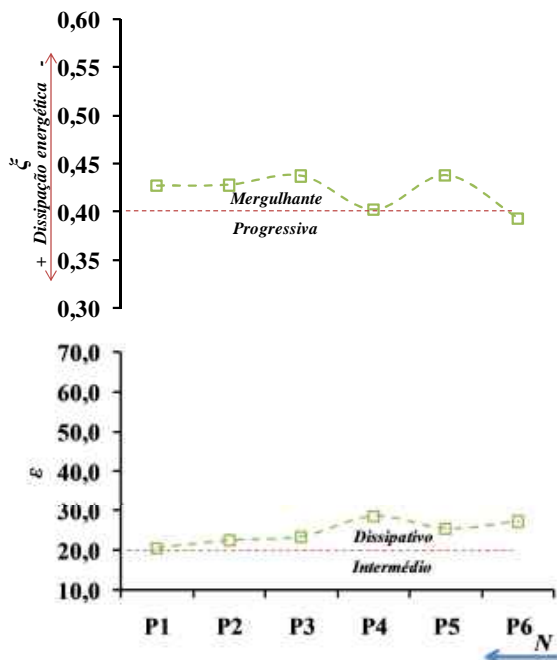


Figura 37 – Valores médios de ξ e ϵ por perfil, na praia de Azul (localização dos perfis na figura 5).

Tal como se verificou na praia de S^{ta}. Rita existe uma relação estreita entre a distribuição de alturas significativas médias de ondas de largo e de Ω , ao longo do período de medições (Fig. 35). A resposta da praia Azul aos episódios mais energéticos é, de resto, semelhante à ocorrida na praia de S^{ta}. Rita.

A distribuição temporal do parâmetro adimensional *Surf Scaling* (ϵ) na praia Azul mostra uma tendência de alternância entre os estados dissipativo e intermédio em razão de igualdade (Fig. 35). Esta distribuição revela ainda que a amplitude de valores de ϵ na praia Azul (6,0 - 42,9) pode considerar-se semelhante à que ocorre na praia de S^{ta}. Rita (5,4 - 48,9).

Os valores de ξ no sistema da praia Azul estão associados à constante alternância entre os tipos de ondas mergulhante e progressiva, sem que exista uma tendência bem definida sobre o tipo predominante de onda na rebentação.

A previsão de evolução do perfil sob diferentes condições de agitação marítima (Ω'), determinada pela metodologia já expressa no caso de S^{ta}. Rita, forneceu alguns resultados que permitem diferenciar este sistema dos restantes.

Sob condições médias de dimensão dos sedimentos, são necessários 3m de ondulação para que seja atingido o estado dissipativo na praia Azul (Fig. 38).

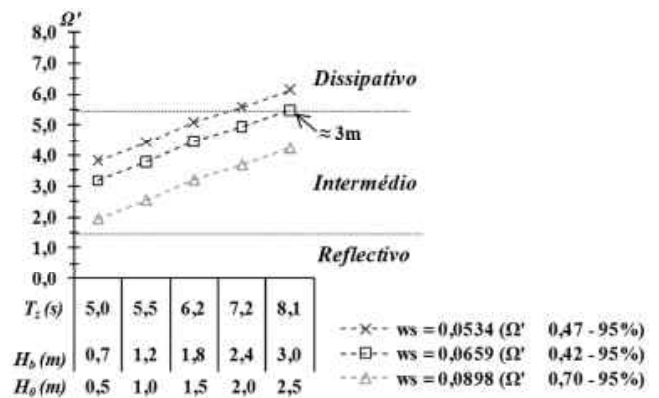


Figura 38 – Valores previstos do índice adimensional de velocidade de sedimentação (Ω'), com base em w_s mínimo, médio e máximo registado na praia Azul.

Tendo em conta a margem de incerteza obtida, não pode ser excluída a possibilidade de este sistema atingir o estado morfodinâmico reflectivo. A previsão de resultados Ω' baseada na amostragem de grãos mais grosseiros ($w_s =$

0,0898 – Fig. 38), sob condições de reduzida hidrodinâmica ($T_z = 5,0s$; $H_b = 0,7m$ – Fig. 38), resultou no valor 1,93 muito próximo do limite entre os estados intermédio e reflectivo.

8.3. Comportamento morfodinâmico da praia da Foz do Lizandro

A praia da Foz do Lizandro apresenta o valor médio do índice adimensional de velocidade de sedimentação mais elevado (Fig. 32), muito próximo do comportamento dissipativo ($\Omega > 5,5$). Os resultados médios obtidos neste sistema são concordantes com os valores médios da dimensão dos grãos nos sistemas estudados. A praia da Foz do Lizandro possui os sedimentos mais finos (Fig. 28) e, por isso, mais susceptíveis à mobilização em condições idênticas de H_b e T_z (Quadro 27). A predominância de grãos mais finos diminui a velocidade de sedimentação (w_s), que é quase sempre a mais reduzida entre as praias estudadas (Quadro 27), aumentando o tempo que as partículas permanecem em suspensão e as possibilidades de migrarem para profundidades superiores.

O condicionamento imposto pela dimensão das partículas nos resultados de Ω , na praia da Foz do Lizandro, resulta na definição do comportamento modal da praia como sendo de tipo dissipativo (Fig. 33). Das 18 campanhas realizadas nesta

praia, metade evidenciaram resultados e morfologias dissipativas.

Na figura 39 apresenta-se a distribuição espacial dos valores médios de ϵ e ξ no sistema da Foz do Lizandro.

Ao contrário da praia Azul, mas à semelhança da praia de S^{ta}. Rita, existe uma clara diferenciação nos resultados dos dois parâmetros por perfil. Embora os valores médios de ϵ apontem sempre para morfologias de tipo dissipativo, este comportamento é mais vincado no sector sul da praia onde se atingem os resultados mais elevados de entre os três sistemas.

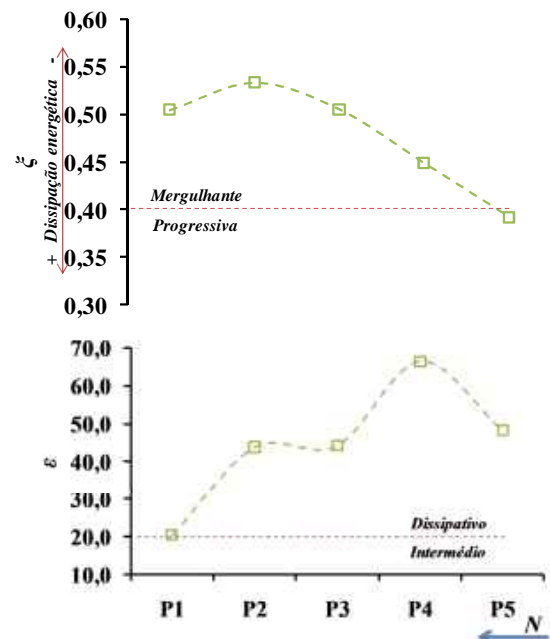


Figura 39 – Valores médios de ξ e ϵ por perfil, na praia da Foz do Lizandro (localização dos perfis na figura 5).

A diferenciação norte – sul no parâmetro ε é acompanhada na distribuição espacial de ξ , verificando-se valores mais elevados a norte que se tornam progressivamente mais reduzidos para sul.

Esta distinção foi já observada relativamente à dinâmica planimétrica, à variação dos declives da face da praia e à variabilidade volumétrica deste sistema, sendo atribuído à influência mista da hidrodinâmica marinha, através da ocorrência de galgamentos oceânicos para o interior do estuário, e da dinâmica do rio em episódios de elevado caudal. Nestas situações os perfis localizados mais a sul possuem declives de menor inclinação influenciando os resultados de ε e ξ (Fig. 39).

Na figura 40 apresentam-se as previsões de evolução do parâmetro adimensional Ω , sob diferentes condições hidrodinâmicas, tendo por base as dimensões de grãos de areia máxima, média e mínima, determinados pela metodologia já expressa no caso de S^{ta} . Rita.

A determinação de Ω' permite afirmar que o estado dissipativo é atingido, neste sistema, com cerca de 2,4m de altura de ondas na rebentação, não sendo de esperar a ocorrência dos estados reflectivo e terraço de maré ou lomba canal (Quadro 25).

Salienta-se o facto de Ω' previsto com base nos sedimentos mais finos registados neste sistema durante as campanhas de monitorização, representar estados quasi-dissipativos a

dissipativos com alturas de onda mínimas (Fig. 40).

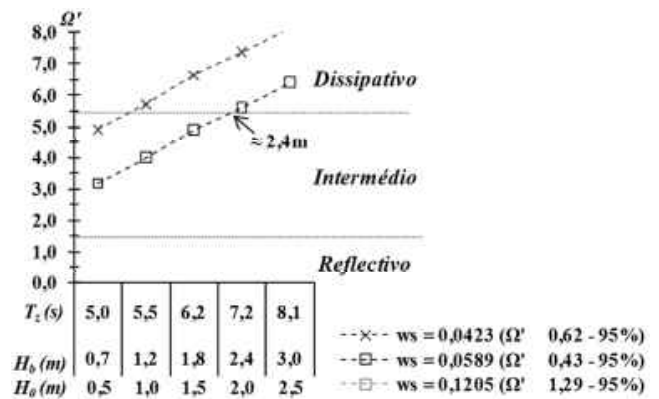


Figura 40 – Valores previstos do índice adimensional de velocidade de sedimentação (Ω'), com base em w_s mínimo, médio e máximo registado na praia da Foz do Lizandro.

Outro facto importante revelado pela figura 40 é a ausência de representação da curva de previsão relativa aos sedimentos mais grosseiros. Os resultados de Ω' associados a $w_s=0,1205$ forneceram sempre valores negativos, tendo em conta o espectro de valores de H_b e T_z considerados como de elevada probabilidade de ocorrência neste sistema (Fig. 40). A existência de valores negativos de Ω' indica que uma parte do espectro granulométrico registado neste sistema não pode ser movimentado com as classes de parâmetros consideradas, sendo necessários valores mais elevados de H_b e T_z para o seu transporte.

IV. SÍNTESE

Uma das primeiras preocupações surgidas no decurso deste trabalho prendeu-se com a validação metodológica e com o teste de algumas técnicas utilizadas. Esta temática, ainda pouco debatida, é essencial na interpretação posterior dos dados recolhidos.

O uso de vários instrumentos para a determinação de posicionamentos ao longo dos 279 perfis realizados nas três praias estudadas obrigou à avaliação da fiabilidade de cada unidade e da comparabilidade de resultados obtidos por técnicas de levantamento diferentes. Salienta-se os resultados absolutos de comparabilidade obtidos durante a realização de duas campanhas de monitorização. As diferenças máximas entre medições são em média inferiores a 0,226m no posicionamento horizontal e a 0,397m na vertical considerando-se estas aceitáveis face à magnitude das mudanças morfológicas que caracterizam estes sistemas. Embora boa parte das imprecisões associadas aos dados em análise resultem dos levantamentos de campo existem também fontes de erro relacionadas com os métodos de processamento dos dados. No caso do cálculo dos volumes sedimentares, a escolha do método de interpolação e a análise dos resíduos daí decorrentes revelou-se crucial para a obtenção de resultados fiáveis. A interpolação via krigagem obteve os menores valores de volumes residuais, não sendo de esperar diferenças superiores a 3,444 m³ por perfil.

O estudo das praias de S^{ta}. Rita, Azul e Foz do Lizandro permitiu caracterizar detalhadamente e com elevada fiabilidade o seu comportamento morfodinâmico. Este traduziu-se na avaliação da dinâmica da forma planimétrica das praias, das variações verticais máximas, das variações da altitude da berma e do declive da face da praia e do balanço dos volumes sedimentares da praia emersa.

A variabilidade máxima da forma planimétrica das praias estudadas permitiu avaliar as variações locais cíclicas da área da praia emersa associadas à dinâmica marinha, existindo diferenças significativas entre os sistemas e entre os perfis de cada sistema. As praias de S^{ta}. Rita e da Foz do Lizandro apresentam-se como as mais dinâmicas do ponto de vista planimétrico. Nestes sistemas, a variabilidade da posição do nível médio do mar ultrapassa a centena de metros, podendo atingir-se taxas de movimentação planimétrica máxima de 4,4m/dia em S^{ta}. Rita e de 5,1m/dia na Foz do Lizandro, durante o Inverno marítimo.

A avaliação das variações verticais máximas por sistema revelou comportamentos diferenciados entre os sistemas estudados, apontando S^{ta}. Rita como a praia onde o transporte de sedimentos entre o sector emerso e submerso do perfil é mais significativo devido à variação máxima registada (6,4m). Contrastando com esta praia, a praia da Foz do Lizandro registou modificações altimétricas máximas mais baixas de apenas 2,6m. Grande parte destas modificações devem-se ao ritmo de transição sedimentar entre a(s)

crista(s) pré-litoral(is) e a berma cuja altitude variou entre 2,4m e 4,95m. No estudo efectuado sobre a altitude da berma foi possível distinguir as bermas de Inverno, localizadas a altitudes superiores, das bermas de Verão a cotas mais baixas. A previsão dos valores altimétricos da berma segundo a formulação de Takeda & Sunamura revelou uma elevada correlação com os dados observados, ainda que os resultados tendessem para uma subestimação sistemática. O erro de previsão foi atenuado adaptando a referida formulação através da adição do valor da maré alta anterior a cada medição.

A análise comparativa dos volumes sedimentares dos perfis em cada sistema estudado revelou uma elevada variabilidade ao longo do período de monitorização. Na praia de S^{ta}. Rita foi determinado um quociente de 3,3 entre os volumes médio mínimo e máximo. Nas praias Azul e Foz do Lizandro o volume médio máximo foi superior ao dobro do volume médio mínimo, encontrando-se os picos de variação entre os meses de Dezembro e Fevereiro. Grande parte do trânsito sedimentar entre o perfil emerso e submerso da praia ocorre, de resto entre estes meses por contraste com os meses do Verão marítimo. A elevada variabilidade registada durante o Inverno marítimo tem, no entanto, significados distintos no que se refere ao balanço cumulativo. A praia de S^{ta}. Rita e da Foz do Lizandro possuem comportamentos opostos ao longo do período de monitorização, apresentando a primeira um balanço cumulativo

francamente positivo. A praia da Foz do Lizandro apresenta, pelo contrário, um domínio da erosão sobre a acreção. A praia Azul apresenta um balanço ligeiramente negativo.

As variações nas características dos sedimentos entre as praias analisadas apontam para um condicionamento local da dimensão característica dos grãos de areia de cada praia, em detrimento da influência que a deriva litoral possa ter na redistribuição de sedimentos ao longo da linha de costa. A assinatura estatística da base da face da praia e da face da praia permitiu distinguir claramente os dois sectores face aos processos envolvidos no transporte de sedimentos, com uma diminuição nas médias granulométricas e nas suas variações ao longo do período de monitorização e um aumento na calibração dos sedimentos do primeiro para o segundo sector do perfil, nos três sistemas analisados.

A utilização do índice adimensional de velocidade de sedimentação, do indicador de amplitude relativa de maré e dos parâmetros *surf similarity* e *surf scaling* permitiram caracterizar as praias estudadas face ao comportamento morfodinâmico dominante e quanto ao tipo de ondas na rebentação. Concluiu-se que existe um claro predomínio da ondulação sobre a maré, no que diz respeito aos agentes envolvidos na dinâmica das praias. Ficou também claro que os sistemas estudados dificilmente atingirão o estado reflectivo. Os valores médios do índice adimensional de velocidade de sedimentação revelaram-se bastante elevados.

Na praia de S^{ta}. Rita verificou-se uma tendência geral para a diminuição dos valores do índice adimensional de velocidade de sedimentação entre o Inverno e o Verão marítimos bem como uma diferenciação clara entre os perfis localizados junto do promontório de Porto Novo e os que se encontram mais distantes. Os primeiros com um comportamento entre o intermédio e o dissipativo e uma faixa de rebentação de tipo mergulhante e os segundos claramente dissipativos e com ondas na rebentação de tipo progressivo. O posicionamento do promontório é, assim, muito importante na explicação dos valores obtidos sendo possível distinguir a área que se encontra ao seu abrigo face à direcção dominante das ondas incidentes.

Tal como no caso da praia de S^{ta}. Rita também na praia Azul existe uma assinatura sazonal nos dados do índice adimensional de velocidade de sedimentação. No entanto, o seu

comportamento morfodinâmico é relativamente uniforme entre perfis, justificado pela ausência de pontos que perturbem a aproximação das ondas à linha de costa.

A praia da Foz do Lizandro apresenta-se como o sistema cujo comportamento morfodinâmico mais se aproxima do estado dissipativo. À semelhança da praia de S^{ta}. Rita, verificou-se uma clara distinção neste comportamento entre os sectores Norte e Sul da praia. Atribuiu-se esta diferenciação à dinâmica mista existente no sector Sul, associada à hidrodinâmica marinha, através da elevada frequência com que ocorrem galgamentos oceânicos durante o Inverno marítimo, e fluvial durante episódios de elevado caudal.

BIBLIOGRAFIA

- ANTUNES, C., PAIL, R., & CATALÃO, J. (2003) – Point mass method applied to the regional gravimetric determination of the geoid. *Studia Geophysica & Geodeatica*, 47, p.495 – 509;
- AUSTIN, M. J. & MASSELINK, G. (2006) – Observations of morphological change and sediment transport on a steep gravel beach. *Marine Geology*, 229, p.59–77;
- BAGNOLD, R. (1940) - Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank. *Journal of Institution of Civil Engineering*, 15, p.27 – 52;
- BAPTISTA, P. (2006). *O sistema de posicionamento global aplicado ao estudo de litorais arenosos*. Tese de Doutoramento. Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, 278p. + anexos;
- BARNABEU, A.; MEDINA, R. & VIDAL, C. (2003) - A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences. *Marine Geology*, 197, p.95 – 116;
- BASCOM, W. (1953) – Characteristics of natural beaches. *Proc. of the 4th Coastal Engineering Conference*, ASCE, p.163–180;
- BASCOM, W. (1959) – The Relationship Between Sand Size and Beach-Face Slope. *American Geophysical Union Transactions*, Vol. 32, No. 6, p.866 – 874;
- BATTJES, J. (1974) – Surf Similarity. *Proceedings of the 14th International Coastal Engineering Conference*, ASCE, p.466 – 480;
- BENAVENTE, J.; DEL RÍO, L.; ANFUSO, G.; GRACIA, F. J. & REYES, J. L. (2002) – Utility of Morphodynamic Characterisation in the Prediction of Beach Damage by Storms. *Journal of Coastal Research*, SI 36, p.56-64;
- Black, K. & Rosemberg, M. (1992) - Semi-empirical treatment of wave transformation outside and inside the breaker line. *Coastal Engineering*, 16, p.313 - 345;
- BLOTT, S. & PYE, K. (2006) – Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: an experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape. *Sedimentology*, 53, p.671 – 685;
- BODGE, K. (1989) – A literature review of the distribution of longshore sediment transport across the surf zone. *Journal of Coastal Research*, 5, p.307–328;
- BRANDER, R. (1999) - Field observations on the morphodynamic evolution of a low-energy rip current system, *Marine Geology*, 66, p. 199 - 217;
- BRANDER, R. & SHORT, A. (2001) - Flow kinematics of low-energy rip current systems. *Journal of Coastal Research*, 17(2), p.468 – 481;
- Butt, T.; Russell, P.; Puleo, J.; Miles, J. & Masselink, G. (2004) - The influence of bore turbulence in the swash and inner surf zones. *Continental Shelf Research*, 24, p. 757 – 771;
- CARTER, R. & BALSILLIE, J. (1983) - A note in the amount of wave energy transmitted over nearshore sand bars. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, p.213 - 222;
- CATALÃO, J. (1997) – *Projeções cartográficas*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 77p. (<http://enggeografica.fc.ul.pt/documentos/> consultado em 17-07-2007);
- CATALÃO, J.; VASCONCELOS, M.; KOL, H. & SEVILLA, M. (2003) – Geóide em Portugal - novos resultados. *Actas III Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. LIDEL, p.320 - 328
- COWELL, P. & THOM, B. (1994) – *Morphodynamics of coastal evolution*. in CARTER, R. & WOODROFFE, C. (eds.) *Coastal evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University, Cambridge, p.33 – 86;
- DALRYMPLE, R. & THOMPSON, W. (1977) - Study of equilibrium beach profiles. *Proceedings of the 15th International Conference on Coastal Engineering*, Honolulu, Hawaii, p. 1277 - 1296;
- DEAN, R. (1973) - Heuristic models of sand transport in the surfzone. In: *Proc. Conf. on Engr. Dynamics in the Surf Zone*, Sydney, p. 208 - 214;
- DINGLER, J. R. & REISS, T.E. (2002) – Changes to Monterey Bay beaches from the end of the 1982–83 El Niño through the 1997–98 El Niño. *Marine Geology*, 181, p.249 – 263;
- EMERY, K. & GALE, J. (1951) - Swash and swash marks. *Transactions American Geophysics Union*, 32, p.31 – 36;
- FEATHERSTONE, W.; DENTITH, M. & KIRBY, J. (1998) – Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS. *Survey Review*, 34(267), p.278 – 296;
- FERREIRA, Ó. (1998) – *Morfodinâmica de praias expostas: aplicação ao sector costeiro de Aveiro - Cabo Mondego*. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve, Faro, 337p.;

- FLEMMING, B. (2007) – The influence of grain-size analysis methods and sediment mixing on curve shapes and textural parameters: Implications for sediment trend analysis. *Sedimentary Geology*, 202, p.425 – 435;
- FREDSØE, J. & DEIGAARD, R. (1992) – Mechanics of coastal sediment transport. World Scientific Publishing, *Advanced Series on Ocean Engineering*, Vol. 3, 369p.
- GASPAR, J. (2000) – *Cartas e projecções cartográficas*. Lidel, Lisboa, 292p.
- GODA, Y. (1970) - A synthesis of breaker indices. *Transactions of the Japanese Society of Civil Engineering*, 13, p.227 - 230;
- GODA Y. (2000) - *Random Seas and Design of Maritime Structures (2nd Edition)*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 443p.
- GOMES, N. & GARCIA, J. (2002) – Beach/Dune morphology survey errors in aeolian sand transport monitoring. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*. Vol. I, p.121 – 126;
- GOURLAY, M. (1968) - *Beach and dune erosion tests*. Rep. M935/M936, Delft Hydraulics Laboratory, Delft, Netherlands;
- GOURLAY, M. (1992) - Heron Island dredge spoil dump monitoring. *Reef Research*, Vol.2, No.3, p.4 - 5;
- GUILLÉN, J. & HOEKSTRA, P. (1996) – The “equilibrium” distribution of grain size fractions and its implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model. *Marine Geology*, 135, p.15–33;
- GUILLÉN, J. & HOEKSTRA, P. (1997) – Sediment distribution in the near-shore zone: grain size fractions in response to shoreface nourishment (Island Terschelling, the Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45, p.639 – 652;
- GUZA, R. & INMAN, D. (1975) – Edge waves and beach cusps, *Journal of Geophysical Research*, 80(21), p.2997 – 3012;
- GUZA, R & THORNTON, E. (1981) - Wave set-up on a natural beach. *Journal Geophysical Research*, 86, p.4133 - 4137;
- GUZA, R. & THORNTON, E. (1982) – Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 87, (C1), p.483 - 491;
- HOFFMANN, G. (1989) – Estratigrafia Holocénica da linha de costa nos vales dos rios Sizandro (Portugal) e Guadiana (Portugal e Espanha). *Geolis*, Vol. III, Fasc. 1 e 2, p.137 – 143;
- HOLMAN, R. (1986) - Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Engineering*, 9, p.527 – 544;
- HOLMAN, R. & SALLENGER, JR, (1985) - Setup and swash on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 90, p.945 – 953;
- HORN, D. & WALTON, S. (2007) - Spatial and temporal variations of sediment size on a mixed sand and gravel beach. *Sedimentary Geology*, 202, p.509 – 528;
- HSU, T.; HSU, J.; WENG, W.; WANG, S. & OU, S. (2006) – Wave setup and setdown generated by obliquely incident waves. *Coastal Engineering*, 53, p.865 – 877;
- HUANG, J.; JACKSON, D. & COOPER, J. (2002) – Morphological monitoring of a high energy beach system using GPS and Total Station techniques, Runkerry, Co. Antrim, Northern Ireland. *Journal of Coastal Research*, SI 36, p.390 – 398;
- IGEOE (1998) – *Sistemas de referência*. Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 86p.;
- JACKSON, N., MASSELINK, G. & NORDSTROM, K. (2004) - The role of bore collapse and local shear stresses on the spatial distribution of sediment load in the uprush of an intermediate state beach. *Marine Geology*, 203, p.109 - 118.
- KAMPHUIS, J.; DAVIES, M.; NAIRN, R. & SAYAO, O. (1986) – Calculation of littoral sand transport rate. *Coastal Engineering*, 10(1), p. 1 – 21;
- KING, C. (1972) – *Beaches and Coasts*. London: Edward Arnold, 448p.;
- KOMAR, P. (1998) – *Beach processes and sedimentation* (2nd Edition). Prentice-Hall, New Jersey, 544p.;
- KOMAR, P. & INMAN, D. (1970) – Longshore sand transport on beaches. *Journal of Geophysical Research*, 75(30), p.5514 – 5527;
- KOMAR, P. & GAUGHAN M. (1972) - Airy wave theory and breaker height prediction. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Coastal Engineering ASCE*, p.405 - 418;
- KOMAR, P. & McDOUGAL, W. (1994) – The analysis of exponential beach profiles. *Journal of Coastal Research*, 10, p.59 – 69;

- KULKARNI, C.D.; LEVOY, F.; MONFORT O. & MILES, J. (2004) – Morphological variations of a mixed sediment beachface (Teignmouth, UK). *Continental Shelf Research*, 24, p.1203 – 1218;
- LE MÉHAUTÉ, B. (1976) – *An introduction to hydrodynamics and water waves*. Springer Verlag, New York;
- MANUPPELLA, G.; ANTUNES, M.; PAIS, J.; RAMALHO, M. & REY, J. (1999) – *Notícia explicativa da folha 30-A (Lourinhã) da Carta Geológica de Portugal*. Esc. 1 / 50 000. Serviços Geológicos de Portugal;
- MASSELINK, G. & HUGHES, M. (1998) - Field investigation of sediment transport in the swash zone. *Continental Shelf Research*, 18, p.1179 – 1199;
- MASSELINK, G. & HUGHES, M. (2003) – *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Hodder Arnold press, London, 354p.;
- 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, p.785 – 800;
- MASSELINK, G. & TURNER, I. (1999) – The effect of tides on beach morphodynamics. in Short, A. (Eds.) – *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons Ltd, U.K., p.204 – 229;
- MCLEAN, R. & KIRK, R. (1969) - Relationships between grain size, size-sorting and foreshore slope on mixed sandshingle beaches. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 12, p.138 - 155;
- MEDINA, R.; LOSADA, M.; LOSADA, I. & VIDAL, C. (1994) – Temporal and spatial relationship between sediment grain size and beach profile. *Marine Geology*, 118, p.195 – 206;
- MOREIRA, M. E. (1984) – *Glossário de termos usados em Geomorfologia litoral*. Centro de Estudos Geográficos, Linha de ação de Geografia das Regiões Tropicais, relat. nº 15, Lisboa, 167p.;
- NELSON, R. & GONSALVES, J. (1992) - Surf zone transformation of wave height to water depth ratios. *Coastal Engineering*, 17, p. 49 - 70;
- NICOLAU, R. (2002) – *Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação. Uma aplicação a Portugal continental*. Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 356p. + anexos;
- NIELSEN, P. & HANSLAW, D. (1991) - Wave run-up distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, 7, p.1139 – 1152;
- NORDSTROM, K. F. (1980) – Cyclic and seasonal beach response: a comparison of Oceanside and bayside beaches. *Physical Geography*, 1, p.177 – 196;
- OKAZAKI, S. & SUNAMURA, T. (1991) - Re-examination of breakertype classification on uniformly inclined laboratory beaches. *Journal of Coastal Research*, 7, p.559 – 564;
- OSBORNE, P.; & GREENWOOD, B. (1993) - Sediment suspension under waves and currents: time scales and vertical structures. *Sedimentology*, 40, p.599 – 622;
- PULEO, J.; BEACH, R.; HOLMAN, R. & ALLEN, J. (2000) - Swash zone sediment suspension and transport and the importance of bore-generated turbulence. *Journal of Geophysical Research*, 105, p.17021 - 17044;
- RAUBENHEIMER, B.; GUZA, R. & ELGAR, S. (2001) - Field observations of wave-driven setdown and setup. *Journal of Geophysical Research*, 106, p.4629 – 4638;
- ROY, P.; COWELL, P.; FERLAND, M. & THOM, B. (1994) – *Wave-dominated coasts*. in Carter, R. & Woodroffe, C. (eds.) *Coastal evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge University, Cambridge, p.121 – 186;
- RUGGIERO, P.; KOMAR, P.; MARRA, J.; MCDUGAL, W. & BEACH, R. (2001) - Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17, p.407 – 419;
- SÁ-PIRES, C., MORRIS, B., MATIAS, A., & VILA-CONCEJO, A. (2002) – Monitoring program to determine cross-shore changes in beach morphology. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. I, p.127 – 134;
- SÉNÉCHAL, N.; BONNETON, P. & DUPUIS, H. (2002) – Field experiment on secondary wave generation on a barred beach and the consequent evolution of energy dissipation on the beach face. *Coastal Engineering*, 46, p.233–247;
- SHORT, A. D. (1979) – Three dimensional beach-stage model. *Journal of Geology*, 87, p.553 – 571;
- SHORT, A. (1985) - Rip current type, spacing and persistence, Narrabeen beach, Australia. *Marine Geology*, 65, p.47 – 71;
- SHORT, A. (Eds.) (1999) – *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons Ltd, U.K., 392p.;

- SMITH, E. & KRAUS, N. (1991) - Laboratory study of wave breaking over bars and artificial reefs. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering ASCE*, 117, p.307-325;
- SOARES, A. (2000) – *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. IST Press, Lisboa, 206p.;
- STAUBLE, D. K. & BASS, G. P. (1999) – Sediment dynamics and profile interactions of a beach nourishment project. *Coastal sediments '99*, ASCE, Reston, Virginia, p.2566 – 2581;
- STOCKDON, H.; HOLMAN, R.; HOWD, P. & SALLENGER JR., A. (2006) – Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53, p.573 – 588;
- STRAHLER, A. N. (1966) – Tidal cycle of changes on an equilibrium beach. *Journal of Geology*, 74, p.247 – 268;
- SUNAMURA, T. (1975) – A study of beach ridge formation in laboratory. *Geographical Review of Japan*, 48, p.761 – 767;
- SUNAMURA, T. (1989) – Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling. LAKHAN, V. & TAKEDA, I. & SUNAMURA, T. (1982) – Formation and height of berms. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, 3, p.145 – 157;
- THORNTON, E. & KIM, C. (1993) - Longshore current and wave height modulation at tidal frequency inside the surf zone. *Journal Geophysical Research*, 98, p.16509 – 16520;
- TRINDADE, J. (2001) – *Evolução geomorfológica do sector terminal da baía do Rio Alcabrichel (A-dos-Cunhados --- Praia de Porto Novo) – Lourinhã*. Tese de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 117p.;
- TRINDADE, J.; RAMOS-PEREIRA, A. R.; METROGOS, R. (2006a) – Aquisição de dados sobre a dinâmica de praias em diversas escalas temporais. Exemplos do litoral da Estremadura. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. III, p. 85 - 91;
- TRINDADE, J.; RAMOS-PEREIRA, A.; NEVES, M.; BORGES, B. & PAIXÃO, R. (2006b) – Monitorização da morfodinâmica de praias com DGPS e Estação Total. Comparação de resultados. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. V, Lisboa, p.293 – 301;
- TRINDADE, J. & RAMOS-PEREIRA, A. (2009) – Sediment textural distribution on beach profiles in a rocky coast. (Estremadura – Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 56, p.138 – 142;
- USACE (1996) – *NAVSTAR global positioning system surveying*. EM 1110-1-1003. Dep. of the Army, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, 113p.;
- TURNER, I. & MASSELINK, G. (1998) - Swash infiltration exfiltration and sediment transport. *Journal of Geophysical Research*, 103, p.30813 - 30824;
- VANNEY, J. & MOUGENOT, D. (1981) – La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: analyse géomorphologique. *Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal*, Vol. 28, 145p.;
- WEISHAR, L. & BYRNE, R. (1978) - *Field study of breaking wave characteristics*. Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, New York, p.487 – 506;
- WHITFORD, D. & THORNTON, E. (1993) - Comparison of wind and wave forcing of longshore currents, *Continental Shelf Research*, 13, p.1205 - 1218;
- WRIGHT, L. & SHORT, A. (1984) – Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, p.93-118.
- YILMAZ, H. (2007) – The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study. *Earth surface Processes and Landforms*, 32(9), p.1346 – 1361;