

**Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo**

***Propriedades Sedimentológicas no Sistema Praia-Duna ao
Longo da Costa Noroeste Portuguesa, de Porto a Nazaré***

Nome: Jefferson Acioli Machado
Orientador: Paulo César Fonseca Giannini

Monografia de Trabalho de Formatura
TF19/05

São Paulo
2005

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Propriedades Sedimentológicas no Sistema Praia-
Duna ao Longo da Costa Noroeste Portuguesa, de
Porto a Nazaré**

Jefferson Acioli Machado



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini

Prof. Dr. André Oliveira Sawakuchi

Prof. Dr. Ian McReath

São Paulo

2005

DEDALUS - Acervo - IGC



30900018037

**Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo**

***Propriedades Sedimentológicas no Sistema Praia-Duna ao
Longo da Costa Noroeste Portuguesa, de Porto a Nazaré***



Nome: Jefferson Acioli Machado
Orientador: Paulo César Fonseca Giannini

Monografia de Trabalho de Formatura
TF19/05

São Paulo
2005

Jefferson A. Machado

TF
M149
JA.C

Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo

Propriedades Sedimentológicas no Sistema Frio-Duro no
Longo da Costa Noroeste Portuguesa, do Porto a Nazaré



Nome: Jefferson Azeiteiro
Orientador: Paulo César Fonseca Gomes

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso
1995

São Paulo
1995

Prof. Dr. A. M. A. ...
1995

ÍNDICE

	Pg.
Agradecimentos.....	03
Resumo.....	04
Abstract.....	05
1. Atividades realizadas: materiais e métodos.....	06
1.1. Compilação bibliográfica.....	06
1.2. Atividades de campo.....	06
1.3. Atividades de laboratório.....	09
1.4. Tratamento dos resultados.....	09
1.5. Cronograma de atividades.....	11
2. Apresentação e discussão de resultados parciais.....	12
2.1. Compilação bibliográfica.....	12
2.1.1. Características climáticas e hidrográficas da costa portuguesa.....	12
2.1.1.1. Circulação atmosférica e regime de ventos e ondas.....	12
2.1.1.2. Dinâmica sedimentar das desembocaduras.....	12
2.1.2. Fisiografia e contexto tectono-estrutural.....	16
2.1.3. Nível relativo do mar.....	17
2.2. Resultados de campo.....	18
2.2.1. Sistema praia-duna atual.....	18
2.2.2. Paleodunas eólicas.....	21
2.2.3. Subdivisão em gerações eólicas.....	22
2.3. Análise multivariada de agrupamento.....	22
2.3.1. Sedimentos de praia.....	22
2.3.2. Sedimentos de dunas e paleodunas.....	24
2.4. Análises granulométricas.....	24
2.4.1. Sedimentos de praias.....	27
2.4.2. Sedimentos de dunas.....	33
2.4.3. Sedimentos de paleodunas eólicas.....	36
2.5. Comparação entre praias, dunas e paleodunas: gráficos de dispersão baseados em granulometria.....	39
2.6. Análise de minerais pesados.....	41

2.6.1. Areias de praias.....	41
2.6.2. Areias de dunas.....	46
2.6.3. Areias de paleodunas.....	51
2.7. Comparação entre gerações de dunas eólicas.....	55
2.7.1. Setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz	55
2.7.2 Setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré.....	59
3. Conclusões finais.....	62
4. Referências bibliográficas.....	65
5. Anexos.....	67

Agradecimentos

Eu agradeço aos meus pais e ao meu irmão pelo apoio financeiro e afetivo ao longo de todo curso da graduação de Geologia. Sem eles, nada seria possível. Agradeço especialmente com muito carinho ao amigo e Prof. Dr. Paulo Fonseca Giannini, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), pela paciência, amizade, boa vontade, tanto durante o desenvolvimento do Trabalho de Formatura quanto no convívio pessoal.

Eu agradeço ainda a outro professor e também um grande amigo, o Professor Dr. André Sawakuchi ("Frutinha"), do IGc-USP, pelo auxílio técnico e paciência durante o desenvolvimento do meu Trabalho de Formatura. Sem ele, tudo seria mais complicado para mim.

Agradeço a Elaine, técnica do Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP, pela amizade e grande ajuda durante a etapa de atividades de laboratório.

Agradeço aos grandes amigos durante o curso de graduação, e colegas de trabalho, Daniel Klein e Shanty Navarro, pelo carinho, ajuda e paciência quando deles precisei.

Agradeço aos grandes companheiros do curso de graduação Cheng Isen, Fabio da Costa Bonfim ("Horácio"), Rafael Mota ("Kiki"), Ennos ("Rosa"), Marcelo ("Ceará"), Fabrício Barreto ("Micose"), Camila, Chaihrazéd e outros que são igualmente importantes para mim.

**Relatório Final de Trabalho de Formatura
Instituto de Geociências, USP, 2005**

**Trabalho de Formatura nº 19:
*Propriedades Sedimentológicas no Sistema Praia-Duna ao Longo
da Costa Noroeste Portuguesa, de Porto a Nazaré*
Formando: Jefferson Acioli Machado
Orientador: Paulo César Fonseca Giannini**

Resumo

Análise multivariada de agrupamento aplicada a resultados granulométricos em 18 amostras de face praial entre Porto e Nazaré indica dois grupos, cuja distribuição espacial é determinada pela interação entre compartimentação fisiográfica, dispersão sedimentar por deriva litorânea longitudinal, aporte dos rios Douro e Mondego e interferência antrópica, esta principalmente através dos molhes de Aveiro e Figueira da Foz. Os quatro trechos de praias deduzidos da análise multivariada e do comportamento longitudinal da granulometria apresentam padrão interno de variação granulométrica, sugestivo, segundo o “método de McLaren”, de deriva litorânea rumo sul, exceto por aparente inversão no trecho entre Torreiro e Palheiros da Tocha. Admitida deriva regional para sul, idéia dominante na bibliografia sobre a costa portuguesa, esta inversão pode estar relacionada à herança da dinâmica sedimentar: o crescimento rumo sul do esporão arenoso que delimitou a laguna do Aveiro, iniciado no século X e acelerado por indução antrópica a partir do século XV. O transporte sedimentar das praias para as dunas frontais é seletivo, deixando na área fonte a fração areia muito grossa. Apesar disso, o comportamento espacial das dunas frontais quanto a granulometria é semelhante ao de suas áreas fontes praiais. As praias com teor de minerais pesados acima de 2% e os depósitos costeiros eólicos atuais e antigos apresentam rumo sul decréscimo na concentração de minerais pesados, opacos, metaestáveis e granada e aumento de minerais pesados instáveis, andalusita e turmalina. Este fato pode ser considerado evidência da atuação da seleção hidráulica/aerodinâmica neste rumo desde os sistemas praia-duna antigos.

Abstract

Cluster analysis applied to grain size data taken from 18 beach-face sands samples, collected between Porto and Nazaré, indicates two distinct groups, whose spatial distribution is determined by the interaction of physiographic compartmentation, sedimentary dispersion by longshore currents, supply from Douro and Mondego rivers and the anthropic interference. The last one has been done mainly through the construction of Aveiro and Mondego harbour jetties. The four coastal sectors deduced from cluster analysis and grain-size longshore trends show patterns of internal granulometric variation compatible with transport to south, except by the apparent inversion on the sector Torreiro – Palheiros da Tocha. Considering the hypothesis of regional net longshore drift to south, a dominant idea in the literature about the Portuguese coast, this inversion can be attributed to the inheritance of sedimentary dynamics: the growth to south of the sandy barrier that isolated the Aveiro lagoon. This process began in the X century, and has been accelerated by human activities since the XV century. The sedimentary transport from beach to foredunes is selective, leaving on the beach source area the very coarse sand class. Despite of this, the longitudinal behaviour of the foredunes grain size is similar to the behaviour of the beaches' grain-size. The beaches with heavy mineral mass concentration higher than 2% and the active and inactive Quaternary coastal eolian dunes show decreasing concentrations of total heavy minerals, opaques, metastable components and garnet along heading south direction. They also show increasing concentrations of unstable components, andalusite and tourmaline. These mineralogical longshore trends can be considered as an evidence of the action of hydraulic and/or aerodynamic sorting toward south, happening since earlier times.

1. Atividades realizadas: materiais e métodos

1.1. Compilação bibliográfica

O desenvolvimento do Trabalho de Formatura envolveu levantamento bibliográfico acerca dos temas direta ou indiretamente relacionados com o tema, além da revisão mais minuciosa da bibliografia já utilizada durante a preparação do projeto inicial.

Dentre os temas pesquisados, os principais foram o macroambiente da sedimentação costeira e os modelos de evolução quaternária regional, com destaque para clima, regime de ventos e ondas, a dinâmica sedimentar das desembocaduras, as propostas prévias de setorização fisiográfica e tectono-estrutural e o contexto das variações da linha de costa no Quaternário português.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através da consulta a periódicos e arquivos cartográficos, pertencentes principalmente ao acervo das bibliotecas do Instituto de Geociências e do Instituto Oceanográfico da USP, em São Paulo - SP, além das páginas, na rede eletrônica mundial (*Internet*), da Faculdade de Geografia e Geofísica (FGG) da Universidade do Porto, da Agência Nacional de Água (ANG), do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra (CG-UC), do Porto de Aveiro e do Sistema Nacional de Informação do Recurso Litorâneo (SNRLIT), todos de Portugal.

1.2. Atividades de campo

As atividades de campo no trecho de costa entre Porto e Nazaré foram realizadas pelo orientador entre os dias 19 e 22 de julho de 2001, envolvendo caracterização qualitativa da morfodinâmica praial e da morfologia dunar e coleta sistemática de amostras na face praial e na crista ou linha mediana das dunas frontais incipientes (*sensu* Hesp 1988, conforme item 2.1.1). Amostraram-se também possíveis gerações de paleodunas eólicas, quando aflorantes nas proximidades da orla.

Procurou-se descrever e amostrar as principais praias contidas no trecho de costa estudado, à proporção de um par de amostras contíguas (duna frontal - face praial) por arco de praia estudado. Contemplou-se, desse modo, um total de 18 praias (Figura 1). Tomando-se como referência a subdivisão da costa noroeste portuguesa proposta por Carvalho (1988), conforme item 2.1.2, a distribuição norte-sul das praias amostradas, por setor costeiro, foi a seguinte: 1. Setor Minho-sul: Valadares, Francelos, Senhor das Pedras (Degulpilhares) e Miramar; 2. Setor do Aveiro: Espinho, Esmoriz (Barrinha), Furadouro, Torrão do Lameiro, Torreiro, São Jacinto, Palheiros de Mira, Palheiros da Tocha, Quiaios e Figueira da Foz. 3.

Setor entre a foz do Mondego e Nazaré: Hospital (Cova), Vieira de Leiria, São Pedro de Noel e Nazaré.

As dunas frontais encontradas apresentaram portes muito variados (poucos decímetros a vários metros de altura), sendo que, ao longo de todo trecho entre Gaia (praia de Valadares) e Esmoriz, os depósitos amostrados correspondem a dunas frontais artificiais, cultivadas e/ou recuperadas através de uso de cercas de areia (*sand fences*).

Foram também coletadas sete amostras de paleodunas eólicas na planície costeira adjacente às praias de Esmoriz (Cortegaça), Furadouro, Torrão do Lameiro, Torreiro, Palheiros da Tocha, Vieira de Leiria e São Pedro de Moel. Estas amostras foram agrupadas por critérios de campo, principalmente grau aparente de cimentação, segundo duas possíveis gerações (itens 2.2.2 e 2.2.3).



Figura 1. Mapa geológico de Portugal no trecho entre a foz do Mondego e Nazaré (praias de Valadares, 1972).



Figura 1. Mapa geológico de Portugal no trecho entre Porto e Nazaré (extraído de Teixeira 1972)

1.3 Atividades de laboratório

Os métodos utilizados para a obtenção dos resultados analíticos laboratoriais podem ser assim sintetizados:

- **Granulometria:** As amostras, em massas iniciais de cerca de 60 g, foram submetidas a pipetagem em cinco intervalos de 1ϕ (escala phi de Wentworth/Krumbein) entre silte grosso e argila (apenas para sedimentos com teor estimado de pelíticos superior a aproximadamente 5%, isto é, paleodunas), seguida de lavagem dos finos pelíticos, por elutriação, e peneiramento a vibrador mecânico, em intervalos de $0,5\phi$. Os produtos de peneiramento, após pesagem em balança analítica, foram embalados para arquivo.
- **Densimetria:** Os produtos de peneiramento correspondentes aos dois intervalos de $0,5\phi$ situados imediatamente abaixo (mais finos) do intervalo modal foram compostos e submetidos à análise densimétrica em bromofórmio (CHBr_3 , $d \sim 2,83$), empregando-se álcool como solvente. Em seguida, pesaram-se as frações de minerais leves e pesados em balança de precisão.
- **Separação magnética:** As frações de minerais pesados obtidas no ensaio de densimetria foram submetidas à separação magnética ao imã portátil. Em seguida, procedeu-se a confecção de lâminas de minerais pesados não magnéticos utilizando o bálsamo do Canadá como meio de imersão.
- **Contagem de minerais pesados:** as lâminas de grãos de minerais pesados foram examinadas ao microscópio petrográfico, onde se quantificaram por contagem os grãos de componentes opacos, dentre um total de 100 grãos, e, em seguida, os diferentes tipos de minerais transparentes não micáceos, até um total de pelo menos 100 grãos. Com as concentrações percentuais de minerais dentre os componentes pesados transparentes não micáceos, calculou-se o índice ZTR, somatório de minerais ultraestáveis, de acordo com a definição de Hubert (1962). De modo análogo, foram calculados índices somatórios de minerais mestaestáveis (estaurolita, pistachita, cianita, sillimanita, granada) e instáveis (hornblenda, andaluzita).

1.4. Tratamento dos resultados

Balances de massa em valores de distribuição percentual foram feitos, para cada amostra, ao término das análises granulométrica, densimétrica e magnética.

Os resultados de distribuição granulométrica em massa foram digitados na entrada de dados do programa *Momento4* (em Lotus 123 ou Excel), de autoria do orientador. Este

programa obtém parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose) calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson. Fornece também a distribuição porcentual em massa das classes de 1,0 Ø.

Aplicaram-se também aos resultados texturais e mineralógicos de praias, dunas e paleodunas testes gráfico-estatísticos simples como média e desvio padrão e exame de diagramas binários de dispersão (em função de coordenadas geográficas), procurando-se estabelecer características médias e/ou vetoriais de cada agrupamento de amostras e verificar tendências de variação espacial. As correlações auxiliaram na inferência de rumos de transporte sedimentar com influência efetiva na escala de amostragem adotada.

O exame do comportamento espacial dos resultados granulométricos e de minerais pesados seguiu dois passos básicos. O primeiro foi a identificação de segmentos costeiros com características sedimentológicas homogêneas e/ou com tendências contínuas de variação. As principais ferramentas gráfico-estatísticas utilizadas para auxiliar neste primeiro passo foram o exame visual dos dados em gráficos de dispersão em função da distância ao longo da costa e a realização de testes para determinar o coeficiente de correlação de Pearson (r) e o nível significância (α) da correlação. Adotou-se 80% como intervalo de confiança (IC) mínimo para a consideração da correlação, isto é, para $\alpha > 20\%$, a tendência visual inferida foi descartada para finalidades interpretativas. A análise multivariada por agrupamento (*cluster analysis*) determina sub-populações semelhantes quanto ao conjunto de variáveis investigadas e expressa graficamente o resultado através de dendrograma, no qual o eixo das ordenadas mede o grau de similaridade entre amostras agrupadas. No caso, o critério matemático-estatístico escolhido para agrupamento foi a distância euclidiana ao quadrado, com conexão completa. O uso da análise de agrupamento nesta pesquisa foi voltado à verificação de hipóteses de subdivisão da costa (Carvalho 1988, Granja & Carvalho 1994, Giannini *et al.* 2003), pressupostas segundo critérios geológicos e geomorfológicos. O ajuste estatístico entre a distribuição espacial dos grupos de amostras de praia determinados por análise multivariada e os setores fisiográficos esperados foi avaliado através do teste qui-quadrado (IC=90%).

Os testes estatísticos de correlação, análise multivariada e qui-quadrado foram todos realizados através do programa *Minitab Release* versão 13.3 e/ou 14.3.

O segundo passo para o estudo do comportamento espacial dos resultados foi a inferência do rumo provável de transporte litorâneo residual, em cada segmento previamente identificado, com uso qualitativo do método de McLaren & Bowles (1985). Neste método, que consiste no exame da distribuição espacial combinada de três parâmetros estatísticos da granulometria, diâmetro médio, desvio padrão e assimetria, admite-se a existência de duas

combinações de variações indicativas do rumo de transporte. Estas combinações são: “mais fino, mais selecionado, mais negativo” e “mais grosso, mais selecionado, mais positivo”.

Confeccionaram-se ainda diagramas binários de dispersão, para visualizar possíveis relações entre os parâmetros granulométricos (diâmetro médio, desvio padrão e assimetria) bem como para comparar amostras de praias, dunas e paleodunas. Diagramas de barras foram também construídos com a finalidade de confrontar granulometricamente e mineralogicamente as possíveis gerações de dunas eólicas.

1.5. Cronograma de atividades

A lista de atividades concluídas e seus respectivos prazos encontra-se resumida no Quadro I.

Quadro I. Cronograma de atividades realizadas do Trabalho de Formatura

ATIVIDADE PREVISTA	MÊS DO ANO – 2005									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Elaboração do pré-projeto	V									
2. Pesquisa bibliográfica	V	V	V							
3. Revisão de dados granulométricos		V	V							
4. Revisão de dados densimétricos		V	V							
5. Separação de minerais magnéticos			V	V						
6. Confeção de lâminas de grãos			V	V						
7. Tratamento de resultados				V	V			V	V	
8. Interpretação preliminar de resultados					V					
9. Confeção de relatório de progresso					V					
10. Análise de minerais pesados						V	V	V		
11. Interpretação final de resultados								V	V	
12. Confeção da monografia de TF								V	V	
13. Preparação de apresentação de TF										V

LEGENDA DA TABELA

V - ATIVIDADES PREVISTAS E CONCLUÍDAS

2. Apresentação e discussão de resultados

2.1. Compilação bibliográfica

2.1.1. Características climáticas e hidrográficas da costa portuguesa

2.1.1.1 Circulação atmosférica e regime de ventos e ondas

As variações sazonais dos processos morfogênicos no sistema praia-duna da costa noroeste portuguesa dependem da influência freqüente de ventos marítimos de NW e N (nortada), com ondas marítimas de *swell* de NW e, durante o inverno, de ventos interiores de NE e marítimos de oeste (Moreira 1988). Os ventos de inverno de oeste são freqüentemente acompanhados de umidade e, portanto, de aumento de coesão da areia, o que reduz sua influência na formação de dunas. Os de NE têm pequena influência na sedimentação eólica costeira, por não se tratar de ventos de *onshore*. Deste modo, a nortada, atuante especialmente no verão, é o vento mais determinante na sedimentação eólica costeira (Figura 2).

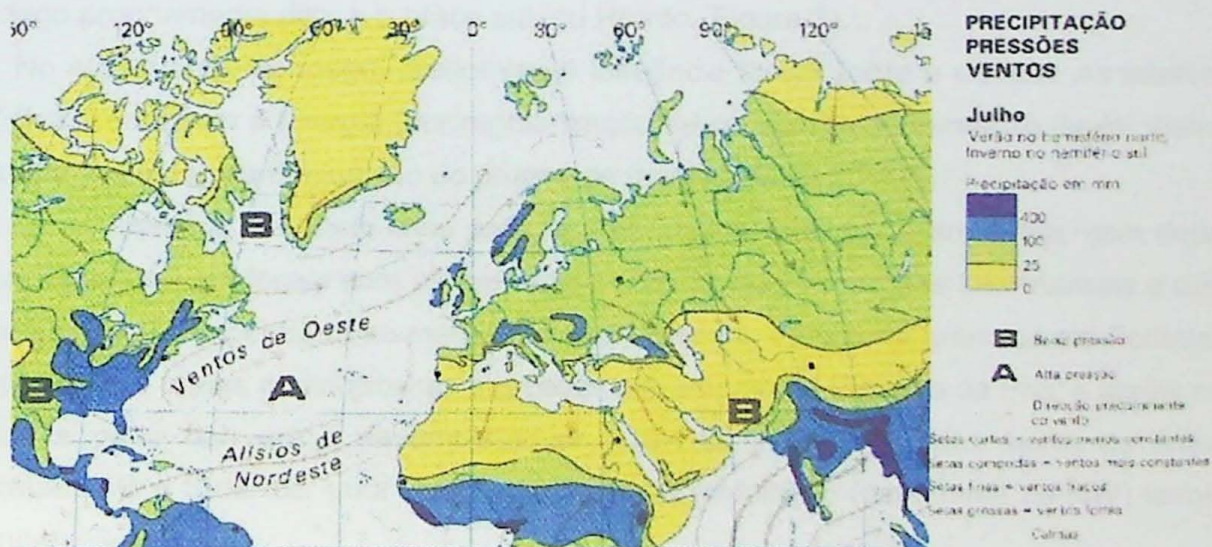


Figura 2 –Mapa de precipitação, pressões e ventos durante o verão na Península Ibérica (Fonte: Faculdade de Geografia e Geofísica (FGG) da Universidade do Porto de Portugal).

2.1.1.2. Dinâmica sedimentar das desembocaduras

Os principais rios que deságuam no Oceano Atlântico, no trecho entre Porto e Nazaré, são, de N para S, o Douro, o Vouga, o Mondego, o Lis e o Ribeira do Oeste, sendo os três primeiros os mais importantes em vazão (Tabela 1).

Tabela 1. Área, escoamento superficial (*run off*) e vazão das bacias hidrográficas que aportam no trecho de costa entre Porto e Nazaré.

Bacia hidrográfica	Área agregada (km ²)	Escoamento médio anual (mm/ano)	Vazão média anual (hm ³ /ano)
Douro	18570	495	9192
Vouga	2344	814	1908
Mondego	6658	515	3430
Lis	837	310	260
Ribeiras do Oeste	1665	181	200

(Fonte: Agência Nacional de Água – ANG, 2001)

O rio Douro deságua num estuário em forma de funil simples, através do qual fornece para o sistema costeiro sedimentos de distribuição granulométrica entre areia média e cascalho (SNRLIT 2005).

Com base em dados hidrodinâmicos e na granulometria e composição dos sedimentos superficiais, o estuário do rio Mondego divide-se em dois subsistemas: o braço norte, ou Mondego propriamente dito, e o braço sul, ou Pranto (Figura 3).

No subsistema Mondego, predomina a influência fluvial sobre a mareal. As intervenções antrópicas reduziram a energia (por regularização de caudais) e alimentação fluvial, bem como a energia mareal (pela diminuição do prisma de maré) (CG-UC, 2003).

Os sedimentos são mais finos para jusante, desde grânulos a areia fina, com deposição de lama (“lodos”) em locais com menor hidrodinâmica, como margens intermareais e docas. A descarga fluvial, concentrada na margem direita do canal, transporta grânulos até Fontela. Para jusante, carrega areias muito grossas a grossas até a ponte de Figueira da Foz, e areias médias a finas a partir daí, até a desembocadura (CG-UC, 2003). No setor norte do anteporto, imediatamente a S da foz, uma zona de sombra da ondulação (dominante de NW) favorece a sedimentação.

O subsistema Pranto, regido quase exclusivamente pela dinâmica de maré, é formado principalmente por bancos areno-argilosos (CG-UC, 2003).

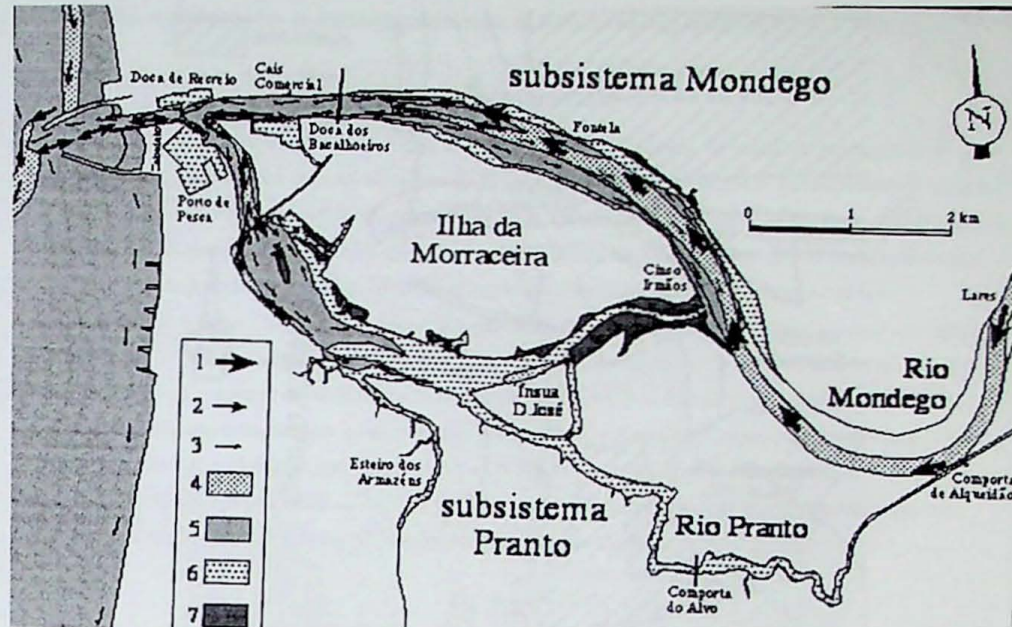


Figura 3- Competência máxima de transporte por tração (1, 2, 3) e composição dominante do fundo (4 a 7) no estuário do Mondego e litoral adjacente: 1- grânulo; 2- areia muito grossa; 3- areia média; 4- fundos de grânulo a areia grossa; 5- fundos de areia média a fina; 6- planícies "lodosas" (lamosas); 7- sapal (Fonte: Centro de Geociências da Univ. Coimbra, 2003).

O molhe norte portuário da desembocadura do rio Mondego impede a passagem de sedimentos transportados pela deriva litorânea vinda do norte. A regressão da linha de costa nas praias a norte deste molhe, no trecho entre Palheiros da Mira e Quiaios, foi de 500 metros em duas décadas (1958 a 1978). Ao sul da desembocadura do rio Mondego, a inanição sedimentar levou à transgressão de 140m, entre 1958 e 1982, na praia da Cova ou Hospital (Figura 4) (CG-UC, 2003).

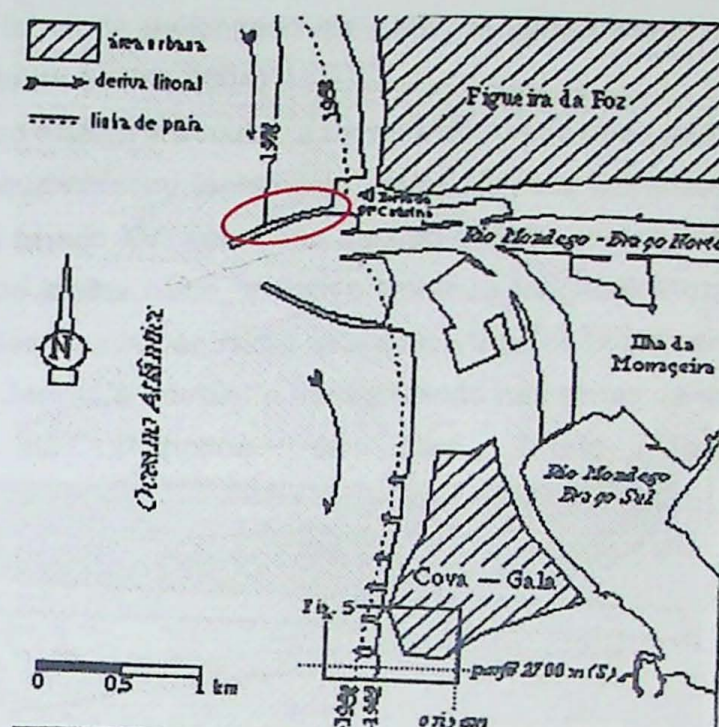


Figura 4- Desembocadura do rio Mondego e litoral adjacente, com indicação da posição da linha média de costa antes (1958) e depois (1978 a norte e 1982 a sul) da construção do molhe norte do Porto de Figueira da Foz, em destaque com círculo vermelho (Fonte: Centro de Geociências da Univ. Coimbra, 2003).

O rio Vouga, hoje com desembocadura em corpo de água lagunar (laguna do Aveiro), era no século IX um estuário em mar aberto, com importantes instalações portuárias na região de Ovar. Numerosas evidências indicam um aumento de suprimento terrígeno para a plataforma portuguesa no século X, seguido de redução durante o Pequeno Ótimo Climático (séculos XI a XV). A partir do século XV, houve novo aumento de suprimentos terrígenos, ocasionado por desflorestamentos e aumento no uso de terra para agricultura (Dias *et al.* 2000).

O crescimento rumo sul do esporão ou barreira arenosa que delimitou a laguna do Aveiro iniciou-se portanto no século X, acelerando-se a partir do século XV, por indução antrópica. No final desse século, a ponta sul da barreira já se encontrava na latitude de Costa Nova (imediatamente a sul de São Jacinto). No ano de 1756, a barreira, em seu prolongamento rumo sul, atingiu a região de Mira e fechou completamente o corpo estuarino-lagunar, levando à interrupção da atividade portuária local. Em 1802, os engenheiros Reinaldo Oudinot e Luiz Gomes Carvalho, visando reiniciar a atividade do porto, optaram por abrir um canal entre São Jacinto e Costa Nova, obra que foi terminada em 1808. Em 1859, após assoreamento deste canal, o engenheiro Silvério Pereira da Silva coordenou a construção do molhe norte com extensão de 400 metros, e o prolongamento do molhe sul, de modo a fixar a desembocadura

artificial. O molhe norte foi ainda prolongado em 1987, quando passou a ter 600 metros de extensão (Figura 5) (Porto de Aveiro, 2004).

Em escala de tempo milenar a secular, a barreira do Aveiro pode portanto ser dividida em dois trechos. A porção que cresceu lentamente, entre Esmoriz e Torreira, e a que cresceu rapidamente, a partir do século XV, entre São Jacinto e Palheiros da Mira. Nos últimos 150 anos, sob a presença do molhe norte, a deriva litorânea longitudinal rumo sul provocou a acumulação de sedimentos a barlar, razão pela qual a linha de costa vem regredindo entre a desembocadura de São Jacinto e Torreiro e transgredindo nas zonas de *deficit* de sedimentos costeiros a sul, até Palheiros da Mira (Porto de Aveiro, 2004).

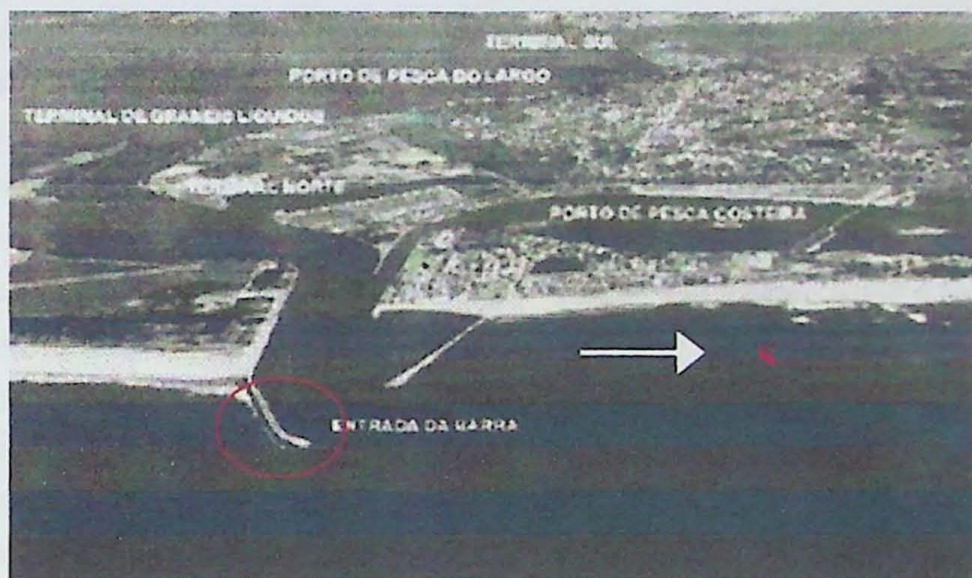


Figura 5- Vista geral da entrada do canal de São Jacinto para o porto de Aveiro. Em destaque em círculo vermelho, o molhe norte, com sua extensão de 600 m, impede o transporte de sedimentos para sul pela deriva litorânea, provocando inanição sedimentar e visível recuo erosivo da linha de costa a sul. A costa sob transgressão estende-se da praia da Barra, em Costa Nova (núcleo urbano visível na fotografia), a Palheiros da Mira (Fonte: Porto de Aveiro, 2005).

2.1.2. Fisiografia e contexto tectono-estrutural

Sob o aspecto fisiográfico e tectono-estrutural, a costa portuguesa pode ser subdividida em quatro setores principais. Segundo Carvalho (1988), o setor costeiro do Minho compreende-se entre as grandes rias de Vigo e Pontevedra, na Espanha, e a desembocadura do rio Aveiro, na região imediatamente a norte de Espinho. Representa desse modo a transição entre a costa de vales incisos afogados, típica da Galícia, e o litoral de lagunas e barreiras, que marca a região entre Espinho e a foz do rio Mondego. No setor costeiro do Minho, a planície é estreita (menos de 5 km em média) e afloramentos rochosos baixos interrompem a face litorânea e a

zona costa afora, tornando a costa recortada segundo enseadas de poucas centenas de metros de extensão. Ainda de acordo com Carvalho (1988), a costa do Minho pode ser dividida em dois compartimentos: o norte, entre Moledo e Viana do Castelo, é mais acidentado, sendo formado por praias de bolso cascalhosas entre dois grandes estuários; o sul, entre Viana do Castelo e Espinho, apresenta praias mais largas e contínuas, adjacentes a paleodunas eólicas. O segundo setor da costa noroeste portuguesa, a sul, é o litoral de barreiras e lagunas que caracteriza a região do Aveiro, entre Espinho e Figueira da Foz. A planície costeira, estreita no Espinho, alarga-se gradualmente até Aveiro. O terceiro setor, entre cabo Mondego e Nazaré, destaca-se por sua individualidade fisiográfico-tectônica. Ele é limitado entre a extensão atlântica da serra da Boa Viagem, a norte, e a intersecção com a costa de um alinhamento estrutural que se estende por cerca de 300 km em direção SW-NE, do vale submarino da Nazaré a Gouveia (Ribeiro *et al.* 1979). Este setor é formado por praias arenosas com idêntica orientação (NNE) em relação ao compartimento do Aveiro, porém mais extensas. O quarto setor, entre Nazaré e Setúbal, conhecido como *costa ocidental* ou Estremadura, é marcado por costões rochosos e cabos proeminentes (Peniche, das Rocas, Raso e Espichel), nos arredores dos estuários dos rios Tejo (Lisboa) e Sado (Setúbal). Este setor de costa rochosa representa a extensão atlântica da serra da Estrela, alongada segundo NW. Entre esta serra e o Ribatejo, destaca-se na mesma direção o lineamento estrutural do rio Tejo. A neotectônica, muito evidente na morfologia de rios e estuários, bem como na sismicidade elevada, tem sido cogitada para ajudar a explicar suposta tendência de elevação secular do nível do mar em maior parte do país (Granja & Carvalho, 1994, 1995; Granja & de Groot, 1996).

O sistema deposicional eólico faz-se presente em toda costa noroeste de Portugal, entre Viana do Castelo e Peniche. Adquire características bastante distintas e maior desenvolvimento a sul de Aveiro. De acordo com Granja *et al.* (1995), as fácies dunares presentes nesta área restringem-se a dunas frontais, de idade recente, e dunas parabólicas, datadas de 1145 ± 235 A.P.. No setor entre a foz do Mondego e Nazaré, dunas eólicas fixas, de cronologia mal definida, sobrepõem-se a depósitos juro-cretácicos com estruturas diapíricas (Helena M. P. Granja, Univ. Minho, *comunicação pessoal*).

2.1.3. Nível relativo do mar

A única curva de variação do nível relativo do mar em Portugal é a proposta por Dias (1985 *apud* Dias *et al.* 2000), ilustrada na Figura 6. Esta curva é baseada principalmente em evidências submersas, correlacionadas a níveis do mar dezenas de metros mais baixos que o atual. Assim, a porção da curva correspondente ao Holoceno e, especialmente, aos últimos 5 mil anos, quando se supõe um nível do mar não foi muito distinto do atual, é pobremente

embasada. Na costa noroeste portuguesa, onde se dispõe das únicas datações de sedimentos costeiros holocênicos em Portugal (Granja & Carvalho 1993, 1995), todos emersos, não houve, curiosamente, nenhuma tentativa de esboço de curva de nível relativo do mar.

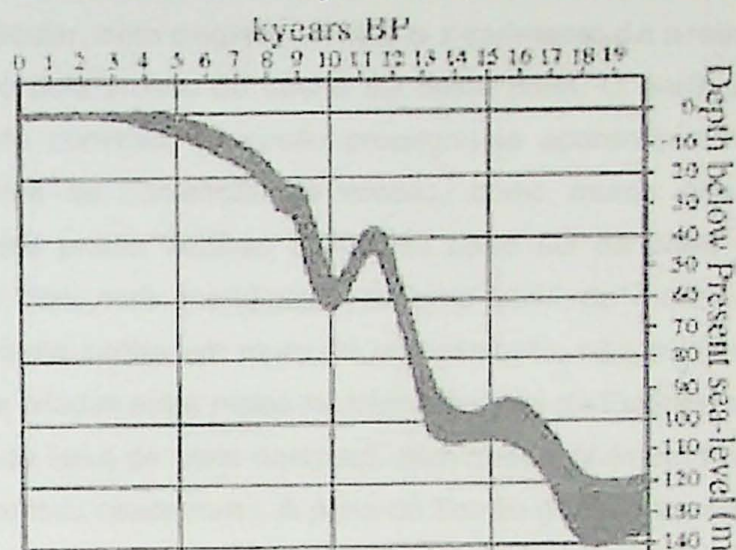


Figura 6 – Curva de variação do nível do mar na parte da costa portuguesa desde o Último Máximo Glacial (18 ka AP). Unidades das coordenadas: milhares de anos (ka) antes do presente versus profundidade do mar abaixo do nível atual (m). Fonte: Dias *et al.* (2000).

2.2. Resultados de campo

2.2.1. Sistema praia-duna atual

No setor costeiro do Minho-sul de Carvalho (1988) foram descritas e amostradas quatro praias: Valadares, Francelos, Senhor das Pedras (Degulpilhares) e Miramar. O pós-praia (entre o pé das dunas frontais e o limite superior da face praial ou zona de espraiamento médio de preamar) é largo (80 a 120 m, em média), com berma aparentemente horizontal. As ilhas e promontórios de face litorânea, sustentados por granitos e gnaisses ricos em mica (descritos por Teixeira 1972 como *granitos predominantemente alcalinos, de duas micas, às vezes gnaissóides ou porfiróides*), tornam-se mais baixos e menos extensos rumo sul, o que é acompanhado por melhora aparente da seleção granulométrica e redução da declividade da face praial superior. O desnível entre praia emersa e paleodunas ao interior é mais evidente a sul de Miramar, onde a parte externa da planície costeira, na escala de quilômetros, passa a ser caracterizada por uma rampa de areias eólicas vegetadas com mergulho para a costa e presença de ondulações de extensão decamétrica e altura métrica. Esta característica mantém-se nos dois setores costeiros vizinhos a sul.

No setor costeiro do Aveiro, foram visitadas e amostradas as praias de Espinho, Esmoriz (Barrinha), Furadouro, Torrão do Lameiro, Torreiro, São Jacinto, Palheiros de Mira, Palheiros da Tocha, Quiaios e Figueira da Foz. Na praia do Espinho, um ancoradouro em forma de promontório semicircular, com degraus, afetou o suprimento de areias pela deriva litorânea, como é evidenciado pela erosão do trecho sul desta praia. O perfil de pós-praia é íngreme, linear a ligeiramente convexo. A erosão propagou-se aparentemente para outros setores, encontrando-se *obras de contenção de erosão*, como muros e/ou sucessões de moles transversais, nas três praias vizinhas a sul. Na parte sul da praia da Barrinha (centro de Esmoriz), entre os dois mais meridionais de uma série de moles transversais, as ondas arrebatam diretamente contra um muro de enrocamento, não existindo mais praia arenosa. Nas praias artificiais criadas entre moles no trecho que vai do Espinho a Furadouro, observa-se nítido alargamento da faixa de areia rumo sul, com desenvolvimento preferencial (em altura e largura) de dunas frontais nesse rumo. A praia do Torrão do Lameiro caracteriza-se pelo berma duplo, com mergulho suave invertido (para o mar) devido à sedimentação eólica, e concentração de minerais pesados escuros no terço superior da face praial. A praia do Torreiro situa-se a barlar do molhe transversal norte da desembocadura artificial da laguna do Aveiro (canal de São Jacinto). Ela apresenta perfil mais suave e morfodinâmica mais dissipativa que as praias vizinhas a norte. Nesta praia, a barreira à retaguarda das dunas, é até 10m mais baixa que a faixa de dunas frontais. Desse modo, para chegar à praia, vindo do interior por uma distância de uma a três centenas de metros, é preciso subir na topografia. Esta curiosa situação repete-se em pelo menos duas praias a sul: Palheiros da Tocha e Quiaios. Estas três praias têm em comum o crescimento regressivo recente relacionado às suas posições a barlar de grandes obras de engenharia costeira. Assim, é possível que a configuração topográfica transversal à costa reflita o aumento decadal de aporte sedimentar localmente induzido pelo homem. As praias de São Jacinto, Palheiros de Mira, Palheiros da Tocha e Quiaios apresentam berma típico, com mergulho nítido para o interior. Na praia de Palheiros de Mira, berma e face praial, esta íngreme (ângulo superior a 10 graus), apresentam quase 100m de largura cada uma. Ao interior da berma ocorre uma zona de tormenta declivosa e também extensa (mais de 40m), aos pés das dunas frontais. Construções da primeira metade do século XX encontram-se em pleno pós-praia, parcialmente invadidas pelas dunas, um indício da transgressão a sotamar do canal de São Jacinto. A praia de Palheiros da Tocha é larga (mais de 250m), com dunas frontais pouco desenvolvidas (até 3m de altura, por 25m de largura). A face praial, com cerca de 30m de largura, apresenta mergulho íngreme (maior que 10 graus). Ocorre depressão entre a berma e o pé das dunas frontais, caracterizando um perfil côncavo para a praia emersa. A praia de Quiaios é similar a anterior, exceto quanto à largura inferior a 100m, ao cordão de dunas frontais mais elevado (maior que 5 m) e ao regime mais dissipativo, com face praial suave. A

praia de Figueira da Foz, imediatamente a norte da desembocadura do rio Mondego, é embaiada, em virtude do afloramento de cristas de camadas metassedimentares, oblíquas à costa, mergulhando para sul. De modo geral, a praia é relativamente estreita (80m de largura total), bastante reflexiva, com berma. As dunas estão ausentes, mas podem ter existido antes da construção de muros de enrocamento e urbanização.

No setor entre a foz do Mondego e Nazaré, estudaram-se e amostraram-se as praias do Hospital (da Cova), Vieira de Leiria, São Pedro de Moel e Nazaré. A praia do Hospital situa-se a sul do cabo Mondego, com uma série de moles transversais construídos para tentar conter a erosão suscitada pelo bloqueio à deriva longitudinal exercido pelos molhes guia-corrente do rio Mondego. Apresenta cerca de 3 km de extensão e 70m de largura entre o limite externo do berma e as dunas frontais mais interiores. O perfil transversal é tipicamente escalonado, descendente para o mar. Desse modo, além da berma, extensa e suave, ocorrem três patamares de dunas eólicas, correspondendo o mais interno deles a dunas frontais mais altas e dômicas, estabelecidas. Este perfil contrasta com o encontrado em praias tipicamente progradantes como Torreira e Quiaios. A morfodinâmica é intermediária refletiva. A praia de Vieira de Leiria é refletiva de alta energia, com berma de 30m de largura e face praial muito íngreme (10 a 20 graus em média, formando escarpas subverticais localmente). Pode haver mais de uma berma, sendo a mais externa de crista embaiada. As praias de São Pedro de Moel e Nazaré são praias largas (aproximadamente 160m), refletivas, delimitadas entre afloramentos alongados, paralelos à costa, de camadas sedimentares basculadas do Juro-Cretáceo. A primeira, de maior energia, é cortada por um arroio sub-paralelo à linha de costa e margeada por paleodunas avermelhadas com mais de 50m de elevação, com dunas frontais irregularmente distribuídas ao longo de sua extensão. A segunda, no remanso a sul de um grande promontório de rochas sedimentares, é de baixa energia, sem dunas eólicas, e com perfil côncavo pronunciado.

Dunas frontais foram amostradas em todas as praias visitadas dos setores Minho-sul, Espinho-Mondego (Aveiro) e Mondego-Nazaré. Ao longo de todo o trecho entre Gaia (Valadares) e Esmoriz pôde-se conhecer as dunas frontais *artificiais*, cultivadas através do uso de cercas de areia (*sand fences*). O objetivo destas cercas é manter e recuperar as dunas frontais destruídas durante as últimas décadas pela ocupação por veranistas e, principalmente, pela prática de *motocross*.

2.2.2. Paleodunas eólicas

Foram também coletadas sete amostras de paleodunas eólicas na planície costeira adjacente às praias de Esmoriz (Cortegaça), Furadouro, Torrão do Lameiro, Torreiro, Palheiros da Tocha, Vieira de Leiria e São Pedro de Moel. A maioria das paleodunas amostradas é formada por areias brancas com pedogênese incipiente e densamente vegetadas, freqüentemente reflorestadas por *Pinus*. Em alguns pontos, entretanto, observam-se paleodunas avermelhadas. Em São Pedro de Muel, estas paleodunas, em parte sobre rochas mesozóicas, formam falésias altas ao interior da praia, podendo ter sido afetadas por linhas de costa mais avançadas que a atual.

No setor fisiográfico mais setentrional do trecho costeiro estudado, não foram observadas e amostradas paleodunas. No setor fisiográfico intermediário, entre Espinho e Figueira da Foz, foram amostradas paleodunas brancas em quatro localidades e paleodunas vermelhas em duas. Paleodunas brancas foram amostradas nos arredores das praias de Esmoriz, Furadouro, Torreiro, Palheiros da Tocha e paleodunas vermelhas, em Torreiro e Torrão de Lameiro. Este setor abrange os segmentos Torreiro-sul e Tocha-norte de Granja *et al.* (1995) onde os depósitos eólicos datados até o momento são todos do Holoceno. No setor, Torreiro é a única localidade onde foram coletadas amostras das três gerações, prestando-se portanto para comparações mais refinadas entre elas.

Ao sul, no setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré, amostraram-se paleodunas brancas em duas localidades e paleoduna vermelha em uma. As paleodunas brancas foram amostradas em Vieira de Leiria e São Pedro de Moel. E a paleoduna vermelha foi amostrada em São Pedro de Moel. Neste setor, não se dispõe de informações bibliográficas sobre cronologia das paleodunas. São Pedro de Moel é a única localidade do setor onde foram coletadas amostras das três gerações.

Ainda em relação ao sistema eólico, é interessante destacar a morfologia e as dimensões das formas de leito, observadas através de sobrevôo da região e da análise de informações altimétricas contidas nas cartas geológicas da região (Teixeira 1972). O sistema atinge seu maior desenvolvimento em área no trecho que se estende entre as lagunas de Aveiro e o promontório de Peniche. Ao longo do mesmo trecho de costa, é possível observar ondulações regulares, assimétricas, na superfície do terreno, com espaçamento da ordem de dezenas de metros e orientação oblíqua à costa (SW-NE). Esta geometria pode ser interpretada como resultante da preservação de formas barcanóides dirigidas para SE. Na parte norte deste trecho (a norte de Figueira da Foz), a faixa de depósitos eólicos é mais larga, com as paleodunas quaternárias freqüentemente alcançando distâncias de mais de 10 km ao interior. Tanto no trecho entre Aveiro e Figueira da Foz, como de Figueira da Foz a Nazaré, observa-se

tendência rumo sul para aumento da altitude alcançada pelas paleodunas, passando de aproximadamente 30 m para mais de 50 m. As paleodunas com maiores altitudes ocorrem em Quiaios, imediatamente a norte do cabo Mondego (57 m), e a sul de Pataias, próximo a São Pedro de Moel e Nazaré (96 m).

2.2.3. Subdivisão em gerações eólicas

A atuação direta ou indireta dos agentes climáticos e bióticos sobre depósitos sedimentares quaternários pode produzir modificações físico-químicas e assim alterar a composição mineralógica, a textura, a estrutura, a consistência e a cor. Segundo Colman & Dethier (1986 *apud* Suguio 1999), o intemperismo químico inicia-se logo após a deposição e sua intensidade de atuação encontra-se em função aproximadamente linear com o tempo. Desse modo, o grau de intemperismo químico será mais alto em sedimentos mais antigos.

Na impossibilidade de datar por métodos absolutos as diferentes gerações de dunas encontradas na costa noroeste portuguesa neste projeto, procurou-se avaliar a viabilidade do uso do grau de intemperismo químico e/ou pedogênese e eodiagênese como critérios para a caracterização sedimentológica destas gerações e para o estabelecimento de idades relativas. Como hipótese inicial de campo, considerou-se que as paleodunas avermelhadas, mais cimentadas, seriam as mais antigas, seguidas pelas paleodunas brancas e finalmente pelas dunas frontais ativas, estabelecidas e incipientes. Há que se destacar a similaridade, quanto aos aspectos de campo, entre as paleodunas vermelhas e brancas da costa noroeste portuguesa, e as gerações 2 e 3, respectivamente, do centro-sul catarinense (Giannini 1993; Giannini & Suguio 1994). As idades da geração 2, obtidas por luminescência, são predominantemente da primeira metade do Holoceno, anteriores ou contemporâneas ao máximo transgressivo, enquanto as da unidade 3 concentram-se nos últimos três milênios, posteriores a esse máximo (Sawakuchi *et al.* 2003).

2.3. Análise multivariada de agrupamento com variáveis sedimentológicas

2.3.1. Sedimentos de praia

As variáveis granulométricas utilizadas para a análise multivariada de agrupamento das amostras de praia foram a porcentagem em massa de areia muito grossa, o diâmetro médio (ϕ) e o desvio padrão (ϕ) (Tabela 2.3.1a).

Tabela 2.3.1.a. Códigos, locais e distâncias de amostragem de praia e respectivos dados granulométricos utilizados na análise estatística multivariada de agrupamento.

Código da amostra	Nome do local	Distância N-S em km	Diâmetro médio (phi)	Desvio padrão (phi)	Areia muito grossa (%)
1	Valadares	0	-0,44	0,85	32,53
2	Francelos	2	0,00	0,74	20,64
3	Degulpilhares	3	-0,64	0,73	40,42
4	Miramar	6	-0,69	0,61	45,93
5	Espinho	15	0,71	0,33	1,46
6	Esmoriz	18	1,28	0,36	0,09
7	Furadouro	32	1,00	0,60	1,28
8	Torreiro	44	1,11	0,42	2,19
9	São Jacinto	69	0,55	0,74	10,86
10	Palheiros da Mira	100	0,08	0,95	21,83
11	Palheiros da Tocha	113	-0,72	0,65	28,26
12	Quiaios	125	-0,64	0,71	35,67
13	Figueira da Foz	133	-0,59	0,68	19,35
14	Hospital	144	1,53	0,45	0,00
15	Vieira de Leiria	164	1,10	0,59	2,13
16	São Pedro de Moel	187	0,58	0,42	11,11
17	Nazaré	204	0,26	0,68	44,60

Segundo o resultado desta análise, expresso em gráfico de dendrograma “observações x similaridade” (Figura 2.3.1.a), as praias da costa noroeste portuguesa podem ser divididas em dois grupos, quanto aos critérios granulométricos utilizados.

O primeiro corresponde às praias com mais de 19% de areia muito grossa, diâmetro médio (phi) menor que 0,26 e desvio padrão (phi) maior que 0,61. Incluem-se aí as praias situadas nos trechos entre Valadares e Miramar (ou extremo norte) e entre São Jacinto e Figueira da Foz (ou meio-sul), mais a praia de Nazaré.

O segundo grupo corresponde às praias com menos de 11% de areia muito grossa, diâmetro médio (phi) maior que 0,58 e desvio padrão (phi) menor que 0,74. Abrange as praias compreendidas nos trechos entre Espinho e Torreiro (ou meio-norte) e entre Hospital e São Pedro de Moel (ou extremo sul).

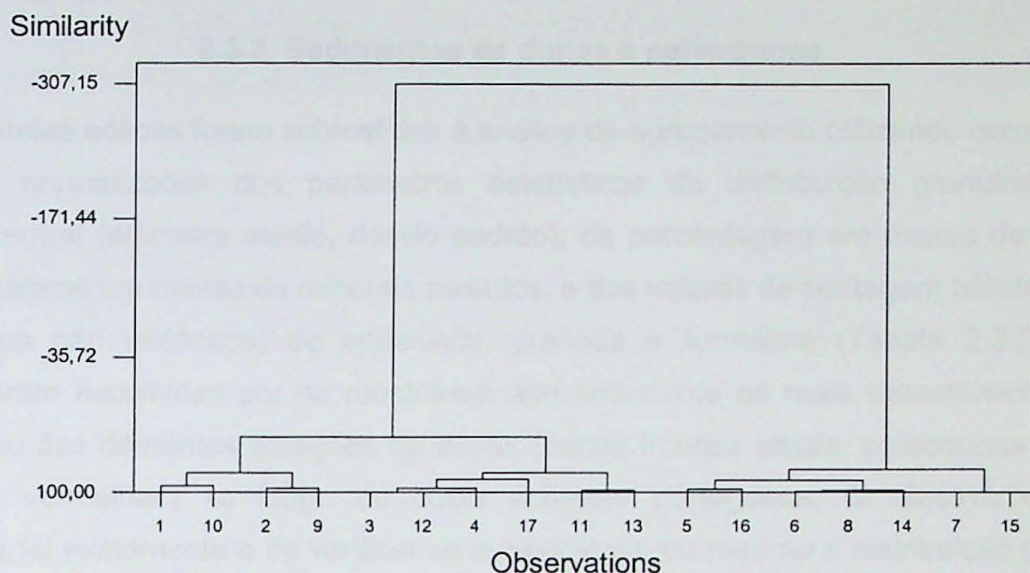


Figura 2.3.1.a. Gráfico dendrograma de análise multivariada de agrupamento (observações x similaridade) em amostras de praia, utilizando as variáveis normalizadas diâmetro médio (ϕ), desvio padrão (ϕ) e teor de areia muito grossa (%).

A somatória qui-quadrado (anexo) calculada para estimar o ajuste estatístico entre o agrupamento granulométrico das amostras de praias e os setores fisiográficos da costa noroeste portuguesa previamente admitidos foi de 13,904, para grau de liberdade igual a 3, com nível de significância (α) de 3%. Este resultado, para o intervalo de confiança adotado de 90%, significa confirmação da hipótese de associação entre os agrupamentos granulométricos de praias e seus respectivos setores fisiográficos, com probabilidade (α) de apenas 3% de estar-se aceitando uma hipótese de associação falsa.

A praia de Nazaré, situada no extremo sul do trecho estudado, mas incluída pela análise multivariada juntamente com praias dos setores norte e meio-sul, constitui exceção para a associação entre granulometria e fisiografia. A hipótese aqui adotada para explicar esta exceção é a de retorno da atuação da deriva litorânea vinda do norte, a sotamar (a sul) de um longo trecho de sombra hidrodinâmica e de influência do aporte mais fino do rio Mondego.

Variáveis relativas a minerais pesados nas frações areia fina e areia média não foram utilizadas na análise de agrupamento devido à grande variação nos teores em massa destes minerais, o que impossibilitou sua quantificação em todas as amostras. Apesar disso, o fato de amostras com teores superiores a 1%, encontrados em menos da metade das praias estudadas, estarem todos localizadas dentro do setor fisiográfico a norte do Espinho, pode ser

interpretado como uma confirmação da compartimentação sugerida dentro do primeiro grupo da análise multivariada .

2.3.2. Sedimentos de dunas e paleodunas

As areias eólicas foram submetidas à análise de agrupamento utilizando como variáveis os valores normalizados dos parâmetros estatísticos de distribuição granulométrica de tendência central (diâmetro médio, desvio padrão), da porcentagem em massa de areia fina, das porcentagens em massa de minerais pesados, e dos valores de contagem (dentre pesados transparentes não micáceos) de andalusita, granada e turmalina (Tabela 2.3.2.a). Estas variáveis foram escolhidas por se mostrarem aparentemente as mais determinantes para o agrupamento das diferentes gerações de dunas (dunas frontais atuais, paleodunas brancas e paleodunas vermelhas) ao longo da costa noroeste portuguesa. O objetivo da análise multivariada foi exatamente o de verificar se a cronologia, ou mesmo a distribuição geográfica, dos depósitos eólicos têm reflexos nos padrões sedimentológicos.

Tabela 2.3.2.a. Códigos, locais e gerações de dunas e paleodunas eólicas e respectivos dados granulométricos e mineralógicos utilizados na análise estatística multivariada de agrupamento.

Código da amostra	Nome do local	Geração da duna	Diâmetro médio (phi)	Desvio padrão (phi)	Areia fina (%)	Minerais pesados (%)	Andalusita (%)	Granada (%)
1	Valadares	Dunas atuais	1,07	0,32	0,40	22	12,70	58,20
2	Francelos	Dunas atuais	1,38	0,39	5,22	42	15,10	47,20
3	Degupilhares	Dunas atuais	1,07	0,41	1,21	50	42,00	13,00
4	Miramar	Dunas atuais	0,95	0,36	0,46	36	16,80	46,50
5	Esmoriz	Dunas atuais	1,57	0,55	16,33	21	32,00	29,00
6	Furadouro	Dunas atuais	1,48	0,41	10,56	27	1,80	69,40
7	Torreiro	Dunas atuais	1,46	0,34	5,07	23	66,70	0,00
8	São Jacinto	Dunas atuais	1,55	0,33	7,83	4	66,00	4,00
9	Palheiros da Mira	Dunas atuais	1,76	0,45	28,88	11	25,90	27,80
10	Palheiros da Tocha	Dunas atuais	1,06	0,44	1,41	3	27,03	6,93
11	Quiaios	Dunas atuais	1,06	0,44	1,41	4	35,00	14,00
12	Hospital	Dunas atuais	1,83	0,35	30,33	5	55,00	8,00
13	Vieira de Leiria	Dunas atuais	1,68	0,41	19,19	8	69,70	0,90
14	São Pedro Moel	Dunas atuais	1,07	0,60	5,55	2	37,60	0,00
15	Esmoriz	Paleodunas brancas	1,49	0,44	11,53	60	4,00	74,30
16	Furadouro	Paleodunas brancas	1,47	0,40	12,84	13	30,30	25,70
17	Torrão do Lameiro	Paleodunas brancas	1,28	0,51	4,40	15	34,00	30,20
18	Torreiro	Paleodunas brancas	1,46	0,46	11,67	27	33,70	13,50
19	Torreiro	Paleodunas vermelhas	1,19	0,64	9,45	10	38,00	5,00
20	Hospital	Paleodunas brancas	1,39	0,45	9,11	2	35,00	10,00
21	Vieira de Leiria	Paleodunas brancas	1,86	0,42	31,91	7	57,40	2,00
22	São Pedro de Moel	Paleodunas brancas	1,37	0,46	8,91	2	44,00	8,20
23	São Pedro de Moel	Paleodunas vermelhas	1,50	0,78	23,12	4	46,42	2,67

Segundo os resultados da análise de agrupamento (Figura 2.3.2.a), os depósitos eólicos da costa noroeste portuguesa podem ser divididos, quanto aos critérios sedimentológicos utilizados, em três grupos.

O primeiro corresponde às dunas frontais ativas entre Valadares e Furadouro, exceto Esmoriz, mais a paleoduna branca de Esmoriz. Parece assim fortemente determinado pelo setor geográfico a norte de Espinho. Em termos de valores médios comparativos, este grupo caracteriza-se por diâmetro mais grosso (1,240 phi), seleção ligeiramente melhor (0,388 phi de desvio padrão), baixa concentração de areia fina (4,90 %) e alto teor em massa de minerais pesados (39,50 %), pobres em andalusita (15,40%) e ricos em granada (51,40%) .

O segundo grupo corresponde às dunas frontais entre Torreiro e Quiaios, mais as de Esmoriz e de São Pedro de Moel, e às paleodunas brancas e vermelhas localizadas entre Furadouro e São Pedro de Moel, exceto Vieira de Leiria. Restringe-se assim a dunas e paleodunas dos setores fisiográficos de Espinho a Figueira da Foz e de Figueira da Foz a Nazaré. Este grupo caracteriza-se por diâmetro médio intermediário (1,403 phi), pior seleção (0,490 phi de desvio padrão), concentração moderada de areia fina (10,78 %), e teor intermediário de minerais pesados (10,07 %), com proporções relativamente equilibradas entre andalusita (39,40%) e granada (12,64%) .

O terceiro grupo abrange apenas as dunas frontais e paleodunas brancas de Vieira de Leiria, mais as dunas frontais ativas de Hospital. Coincide com região na vizinhança sul do rio Mondego, onde o sistema praia-duna sofre supostamente forte influência do aporte deste rio. Caracteriza-se, em valores médios comparativos, por diâmetro médio mais fino (1,790 phi), grau de seleção intermediário (0,393 phi de desvio padrão), alta concentração de areia fina (27,38 %) e baixo teor em massa de minerais pesados (6,67%), com andalusita francamente dominante (60,70%) e granada muito subordinada (3,63%).

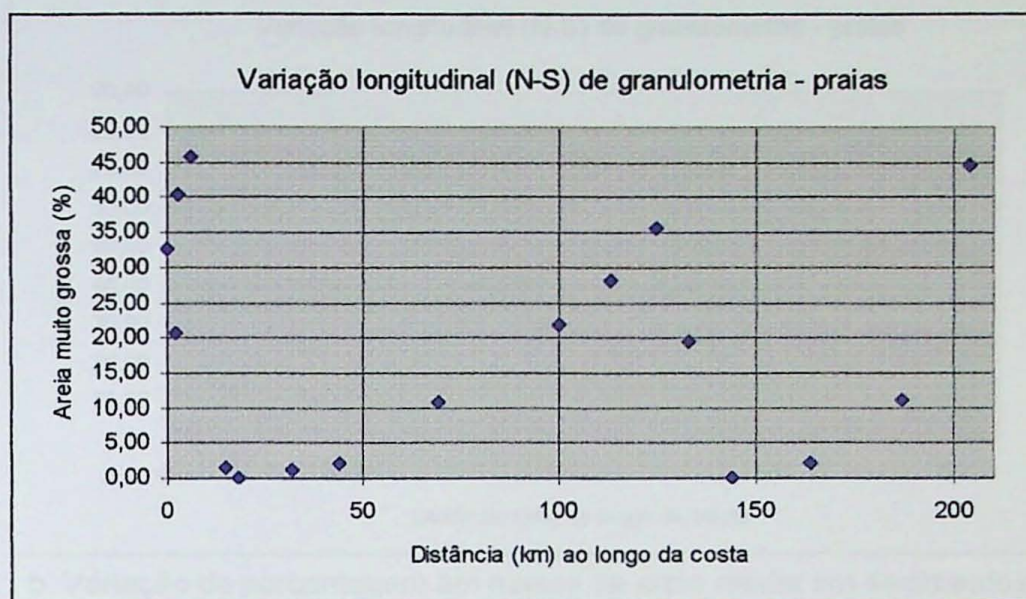


Figura 2.4.1.a – Variação da percentagem em massa de areia muito grossa em sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

O gráfico de variação longitudinal do teor de areia média (Figura 2.4.1.b) também permite subdividir o trecho de costa estudado, pelo critério visual, em quatro setores. O primeiro trecho, entre Valadares e Torreiro (km 0 a 44), apresenta tendência de aumento rumo sul ($r = 0,764$ com $\alpha = 0,027$), enquanto no segundo trecho, entre Torreiro e Figueira da Foz (km 44 a 133) e no quarto, entre Hospital e Nazaré (km 144 a 204), observa-se tendência de diminuição nesse mesmo rumo (respectivamente, $r = -0,956$, $\alpha = 0,003$ e $r = -0,941$, $\alpha = 0,059$). O terceiro trecho, entre Figueira da Foz e Hospital (km 133 a 144) é formado por apenas três amostras com baixo teor de areia média (<3%), sem tendência de variação estatisticamente significativa.

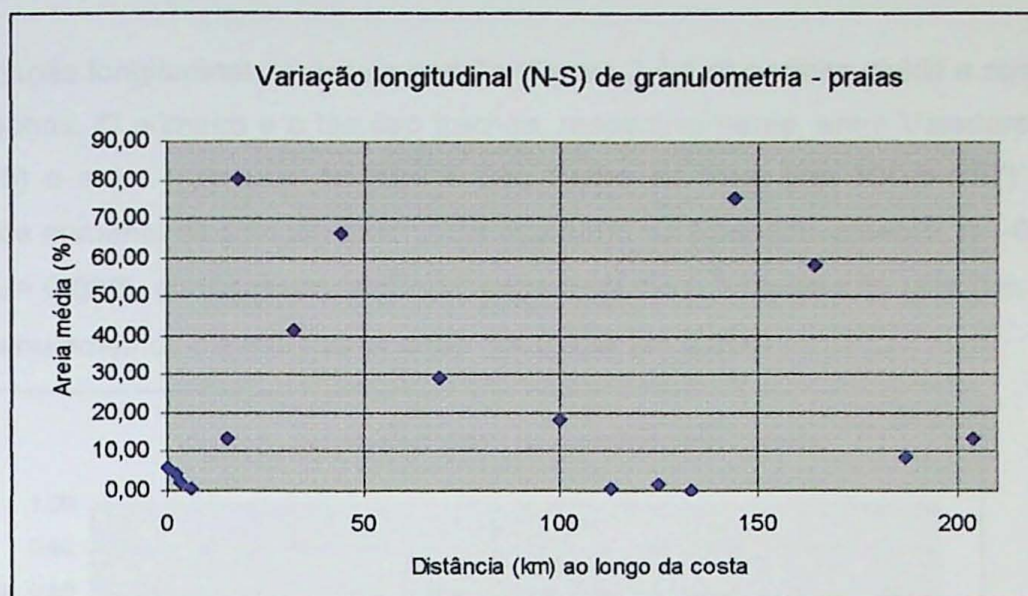


Figura 2.4.1 b. Variação da porcentagem em massa de areia média em sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa, norte para sul.

O gráfico de variação do diâmetro médio analítico (Figura 2.4.1.c) nos sedimentos de praias pode-se dividir em quatro trechos. O primeiro e o quarto trechos, respectivamente, entre Valadares e Torreiro (km 0 a 44) e entre Figueira da Foz e Nazaré (km 144 a 204), apresentam tendências de engrossamento (respectivamente, $r=0,802$, $\alpha=0,017$ e $r=-0,999$, $\alpha=0,001$). O segundo e o terceiro trechos, entre Torreiro e Palheiros da Tocha (km 44 a 113) e entre Palheiros da Tocha e Figueira da Foz (km 113 a 144), apresentam tendência de afinamento rumo sul (respectivamente, $r=-0,962$, $\alpha=0,035$ e $r=0,808$, $\alpha=0,192$).

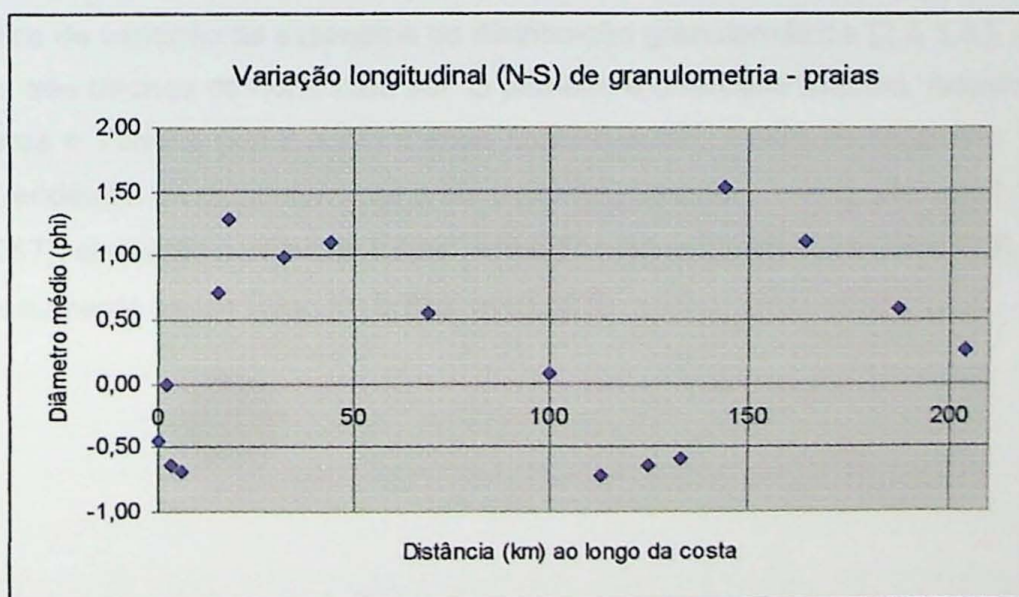


Figura 2.4.1.c. Variação do diâmetro médio em sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

A variação longitudinal de desvio padrão (Figura 2.4.1.d) permite dividir a costa estudada em três trechos. O primeiro e o terceiro trechos, respectivamente, entre Valadares e Espinho (km 0 a 15) e entre Palheiros da Mira e São Pedro de Moel (km 100 a 187) apresentam tendência de aumento da seleção granulométrica rumo sul (respectivamente, $r = -0,996$, $\alpha = 0$ e $r = -0,826$, $\alpha = 0,022$), enquanto no segundo, entre Espinho e Palheiros da Mira (km 15 a 100), a seleção granulométrica diminui nesse rumo ($r = 0,939$, $\alpha = 0,006$).

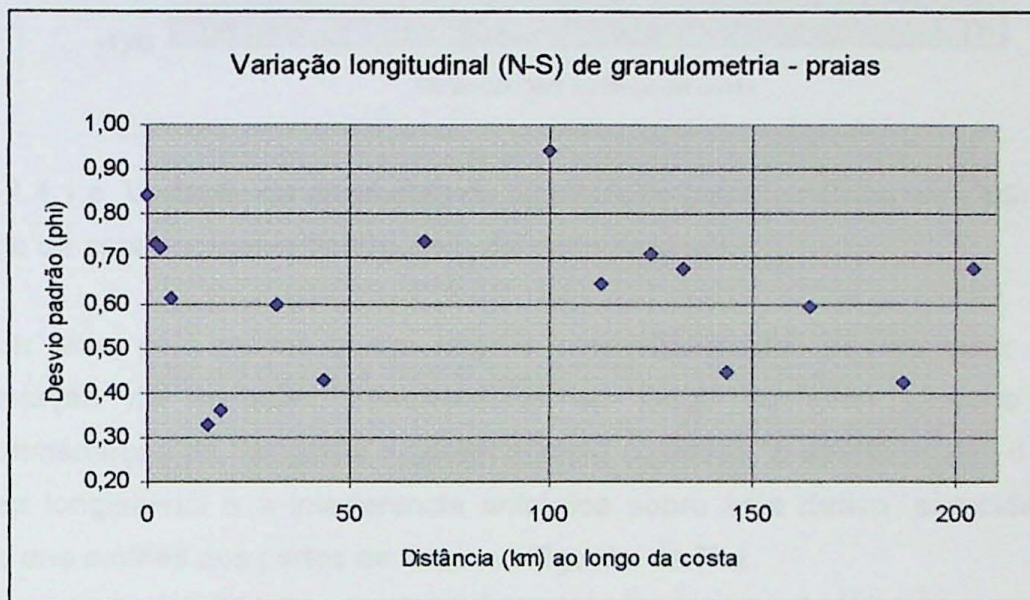


Figura 2.4.1.d. Variação do desvio padrão da distribuição granulométrica em sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

No gráfico de variação da assimetria da distribuição granulométrica (2.4.1.e.), podem ser reconhecidos três trechos de norte para sul. O primeiro e o terceiro trechos, respectivamente, entre Valadares e Torreiro (km 0 a 44) e entre Quiaios e São Pedro de Moel (km 125 a 187) apresentam tendência de diminuição rumo sul (respectivamente, $r = -0,524$, $\alpha = 0,183$ e $r = -0,868$, $\alpha = 0,057$), enquanto o segundo trecho, entre Torreiro e Quiaios (km 44 a 125), apresenta tendência de aumento nesse rumo ($r = 0,993$, $\alpha = 0,021$).

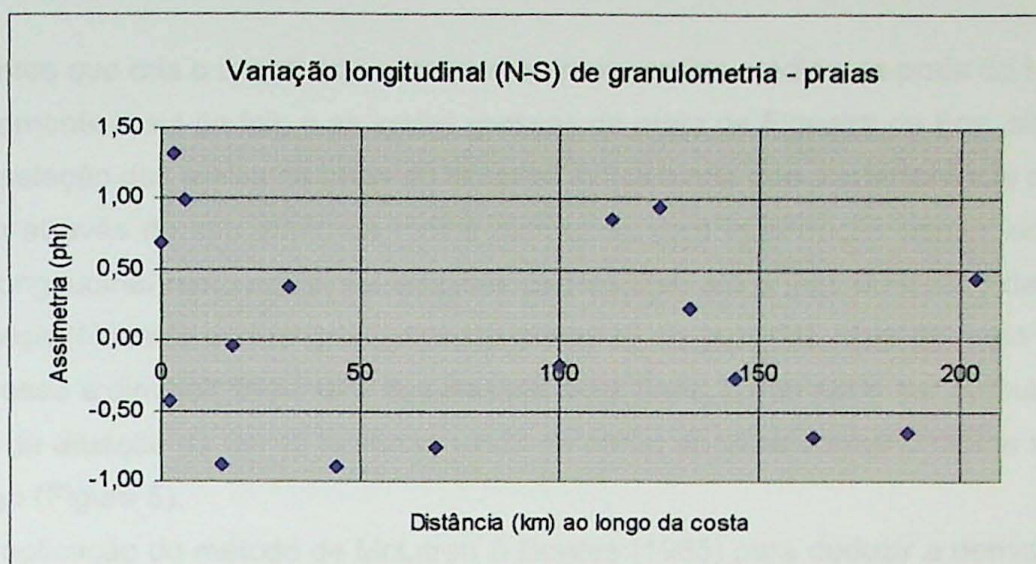


Figura 2.4.1.e. Variação da assimetria da distribuição granulométrica em sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

Em tese, pelo menos quatro fatores inter-relacionados podem estar determinando a segmentação da variação granulométrica ao longo do setor costeiro investigado: a compartimentação da fisiografia e geomorfologia costeiras, o aporte fluvial, o efeito da deriva litorânea longitudinal e a interferência antrópica sobre esta deriva, exercida principalmente através dos molhes dos portos de Aveiro e Figueira da Foz.

Em relação à fisiografia, cabe observar que a segmentação costeira detectada na maioria das variáveis granulométricas coincide grosso modo com a compartimentação da costa noroeste referida no item 2.1.2. Assim, o primeiro trecho a sul corresponde ao setor costeiro entre Nazaré e o cabo Mondego. O segundo e o terceiro trechos integram a costa do Aveiro. E o quarto trecho correlaciona-se à parte sul do setor costeiro que se estende do Espinho até o rio Minho.

Quanto ao aporte fluvial, observa-se sua influência, de modo mais contundente, nas praias situadas a sul das desembocaduras dos dois rios maiores do trecho amostrado, Douro e Mondego. Nas praias a sul do rio Douro, entre Porto e Miramar, a influência do fornecimento de sedimentos fluviais grossos e mal selecionados deste rio pode ser presumida através das características granulométricas singulares destas praias tais como o teor relativamente mais alto de grânulo e areia muito grossa, o diâmetro médio grosso (menor que 0 phi), a seleção relativamente ruim (maior que 0,61 phi) e o baixo teor relativo de areia média (menor que 6%). Há que se considerar, todavia, que pelo menos uma parte destas características pode estar ligada à proximidade entre rocha fonte cristalina e linha da costa, nestas praias. Já o rio Mondego fornece à costa sedimentos enriquecidos em areia média e fina, portanto mais finos que os transportados de norte pela deriva litorânea longitudinal. É a influência destes

sedimentos que cria o acentuado contraste entre as areias médias da praia do Hospital, situada imediatamente a sul da foz, e as areias grossas da praia de Figueira da Foz, situada a norte. A melhor seleção das areias da praia do Hospital indica ainda que a interferência deste rio se faça também através de seu efeito de molhe hidráulico, com interrupção parcial do transporte por deriva longitudinal rumo sul. A sul da praia do Hospital, até o final do trecho da costa noroeste portuguesa (Nazaré) ocorre gradualmente aumento no teor das classes areia muito grossa e areia grossa e diminuição no teor das classes mais finas, o que pode ser atribuído à volta junto à costa da atuação da deriva litorânea vinda de norte, após contornar o molhe hidráulico do rio Mondego (Figura 5).

A aplicação do método de McLaren & Bowles (1985) para deduzir a deriva longitudinal na costa noroeste portuguesa mostrou-se muito produtiva, uma vez que, em todos os trechos identificados pelas tendências visuais das variáveis diâmetro médio e desvio padrão de amostras de praia, a variação combinada dos três parâmetros coincide com um dos dois padrões mais seguros indicados por aqueles autores. Assim, o primeiro trecho à norte, situado entre a praia logo a sul da foz do rio Douro (Valadares) e Torreiro, e o terceiro trecho, entre Palheiros da Tocha e Figueira da Foz, apresentam o padrão “mais fino, mais selecionado, mais negativo” rumo sul. O segundo trecho entre Torreiro e Palheiros da Tocha apresenta o padrão “mais fino, mais selecionado, mais negativo” rumo norte. O quarto trecho entre Figueira da Foz e São Pedro de Moel apresentam o padrão “mais grosso, mais selecionado, mais positivo” no rumo sul.

Admitida deriva litorânea regional para sul, idéia bastante aceita na bibliografia sobre a costa portuguesa, o padrão de variação granulométrica aparentemente sugestivo de deriva invertida, rumo norte, entre Torreiro e Palheiros da Tocha, pode ser herança da dinâmica sedimentar pretérita existente em tempo histórico (anterior ao século XV, segundo Dias *et al.* 2000), na qual houve um crescimento rumo sul do esporão ou barreira arenosa que delimitou a laguna do Aveiro. Este processo iniciou-se no século X, acelerando-se a partir do século XV, por indução antrópica. No final do século XV, a ponta sul da barreira já se encontrava na latitude de Costa Nova (imediatamente a sul de São Jacinto).

Já a mudança de padrão de variação, sem inversão de deriva, e o afinamento brusco de diâmetro médio na região imediatamente à sul de Figueira da Foz, estaria relacionada, ao maior fornecimento, em escala sub-regional, de sedimentos relativamente finos (frações areias média e fina), relacionados ao aporte do rio Mondego. Este aporte diminuiria gradualmente rumo sul, até São Pedro de Moel, onde a importância das frações entre areia muito grossa e areia média, ligadas à deriva litorânea regional, se restabelece claramente.

2.4.2. Sedimentos de dunas

A distribuição granulométrica nas dunas frontais estudadas concentra-se nas frações areia média e areia grossa (Figura 2.4.2.a). As variações nas proporções em massa destas frações imitam o comportamento da fração areia muito grossa nas praias adjacentes. Os ventos regionais demonstram, entretanto, baixa competência para o transporte de areia muito grossa, pois a concentração desta fração nas dunas frontais é ínfima ($<2\%$), mesmo junto às praias em que ela ocorre em alta porcentagem (30% a 45%).

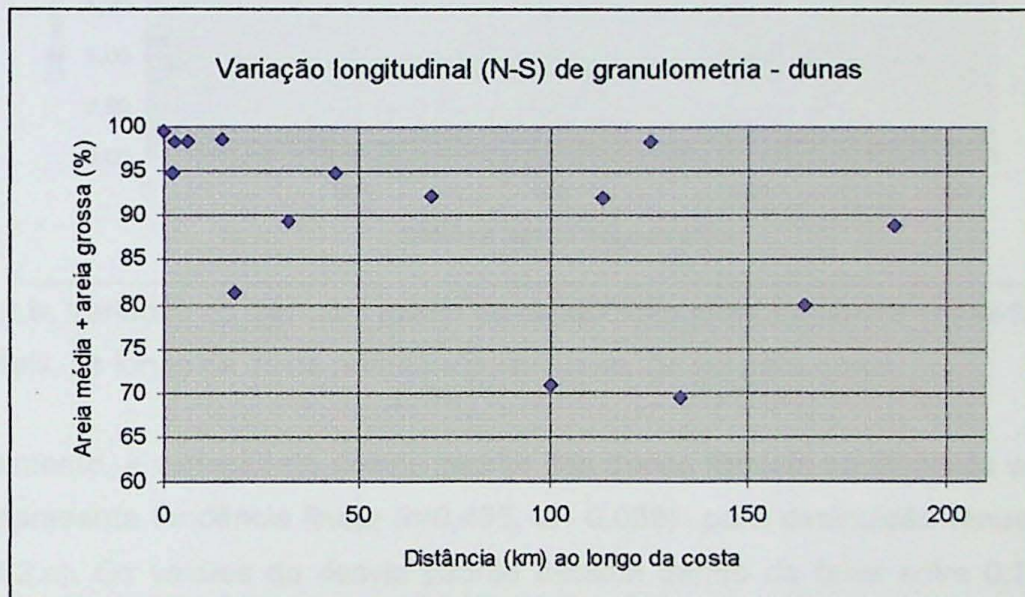


Figura 2.4.2.a. Variação da porcentagem em massa de areia média mais areia grossa em sedimentos de dunas frontais, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

No gráfico de diâmetro médio (Figura 2.4.2.b), observam-se duas nuvens de pontos, relativas a dunas com diâmetro médio mais fino que $1,35 \phi$, e mais grosso que $1,1 \phi$. A tendência linear de engrossamento rumo norte é nítida somente entre as dunas de diâmetro médio mais fino que $1,35 \phi$ ($r=0,720$ com $\alpha=0,029$).

Na comparação entre praias e dunas quanto à variação longitudinal de diâmetro médio (Figuras 2.4.1.c e 2.4.2.b), a coincidência de localização entre os agrupamentos com diâmetro médio mais grosso evidencia mais uma vez a influência da área fonte praias na granulometria das dunas. O fato de o diâmetro médio das dunas ser sistematicamente mais fino que nas praias adjacentes confirma, por sua vez, a seletividade do vento no transporte sedimentar. O afinamento de diâmetro médio das dunas para sul pode refletir tanto o efeito direto dos ventos *onshore* de N e NW ("nortada") no transporte eólico, com afinamento seletivo progressivo no

rumo do vento preferencial, como um eventual afinamento das areias de praia para sul (todavia pouco evidente no gráfico da Figura 2.4.2.b).

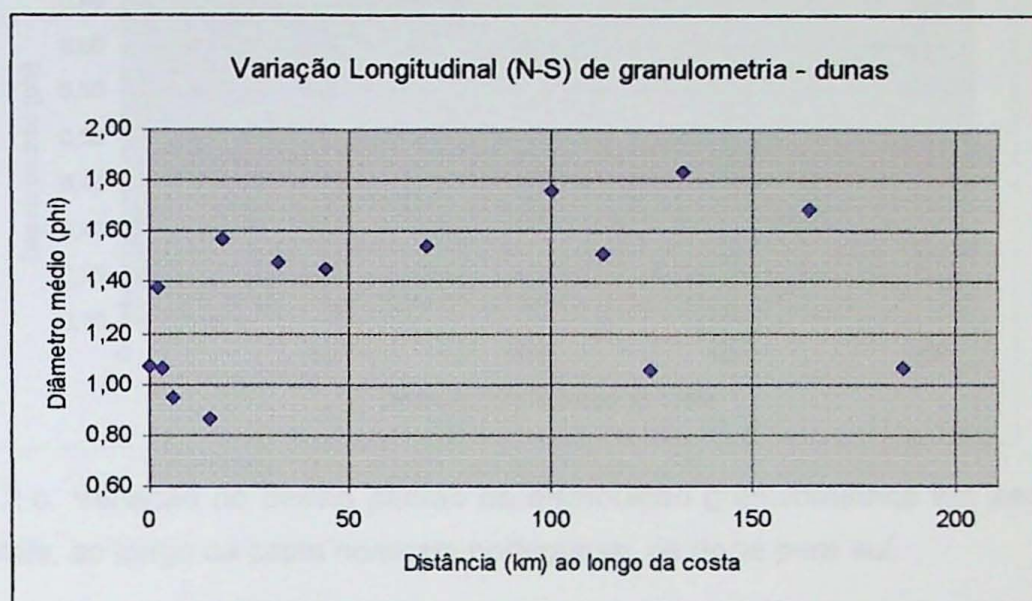


Figura 2.4.2.b. Variação no diâmetro médio da distribuição granulométrica em sedimentos de dunas frontais, ao longo da costa noroeste portuguesa, de sul para norte.

Visualmente, a variação do desvio padrão das dunas frontais ao longo do setor costeiro estudado apresenta tendência linear ($r=0,455$, $\alpha=0,088$) para diminuição tênue rumo norte (Figura 2.4.2.c). Os valores do desvio padrão oscilam dentro da faixa entre 0,3 e 0,6, com tendência sistemática para desvio padrão menor nas dunas que nas praias adjacentes. Comparada às frequências de classe e ao diâmetro médio, o desvio padrão aparenta correlação muito menos evidente entre praia e duna, no que se refere à variação longitudinal. A piora de seleção rumo sul ($r=0,455$ com $\alpha=0,088$) pode ser considerada indício de que o transporte eólico seletivo exercido diretamente pela nortada seja pouco efetivo nas dunas frontais.

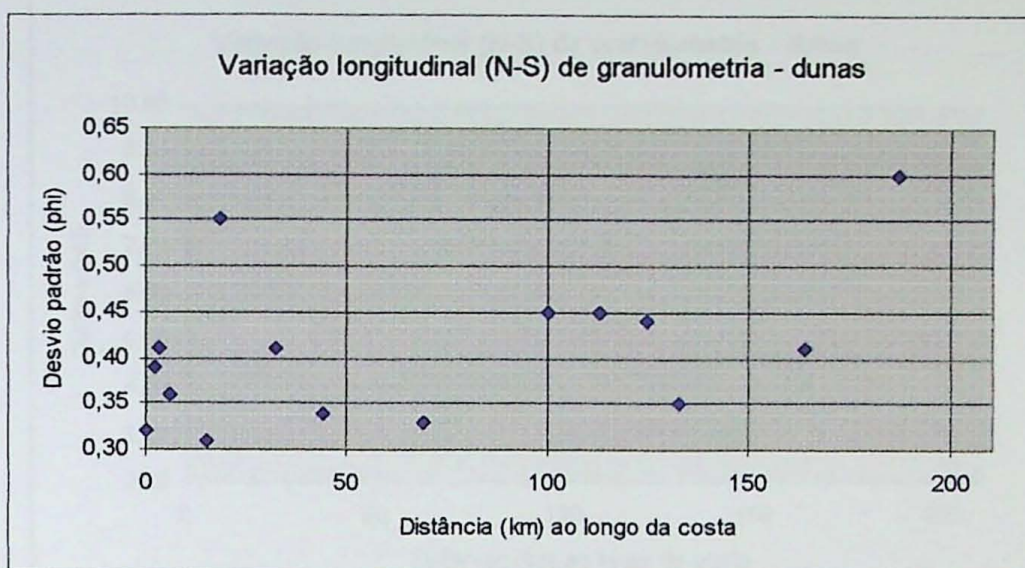


Figura 2.4.2.c. Variação no desvio padrão da distribuição granulométrica em sedimentos de dunas frontais, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

O comportamento espacial da assimetria (phi) e da curtose em dunas frontais ao longo da costa (Figuras 2.4.2.d e 2.4.2.e) não permite detectar tendências estatisticamente significativas ($r = -0,091$, $\alpha = 0,747$ e $r = -0,185$, $\alpha = 0,508$, respectivamente).

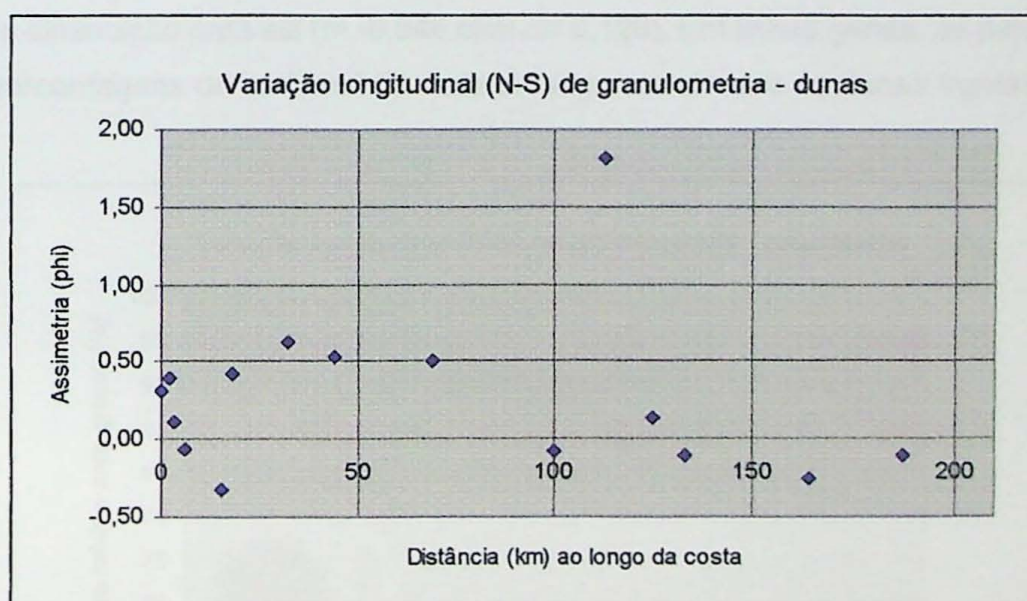


Figura 2.4.2.d. Variação na assimetria da distribuição granulométrica em sedimentos de dunas frontais, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

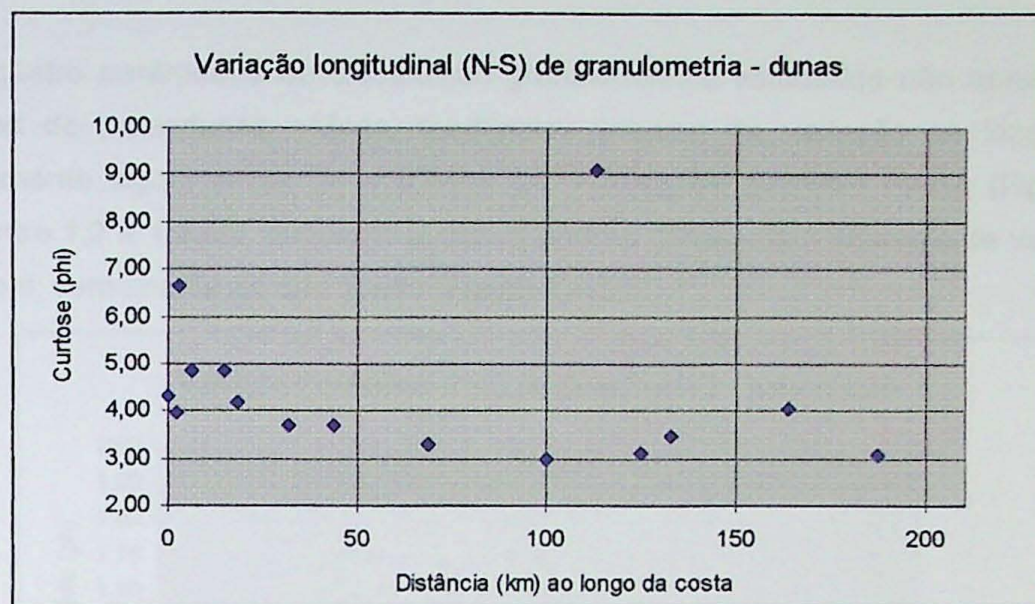


Figura 2.4.2.e. Variação na curtose da distribuição granulométrica em sedimentos de dunas frontais, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

2.4.3. Sedimentos de paleodunas eólicas

A percentagem em massa de areia média mais areia grossa nas paleodunas eólicas estudadas (Figura 2.4.3.a) revela valores elevados, entre 65% e 90%, com tendência linear razoável de diminuição para sul ($r = -0,548$ com $\alpha = 0,126$). Em linhas gerais, as paleodunas têm menores percentagens de areia média mais areia grossa do que as dunas frontais de mesma área.

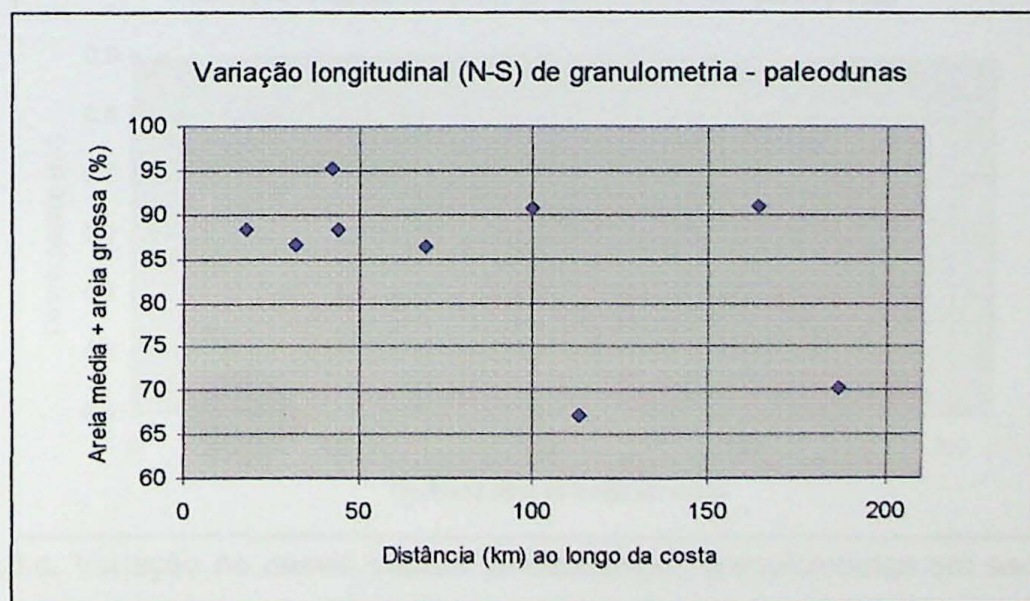


Figura 2.4.3.a. Variação da percentagem em massa de areia média mais areia grossa em sedimentos de paleodunas eólicas, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

Os quatro parâmetros de distribuição granulométrica estudados não apresentam, nos sedimentos de paleodunas eólicas, tendências lineares de variação ao longo da costa estatisticamente significativas ($|r| < 0,346$). Os valores de diâmetro médio (Figura 2.4.3.b) oscilam entre 1,2 e 1,9 phi, enquanto o desvio padrão apresentam intervalo de variação entre 0,4 e 0,8 phi, semelhante ao das dunas (Figura 2.4.3.c).

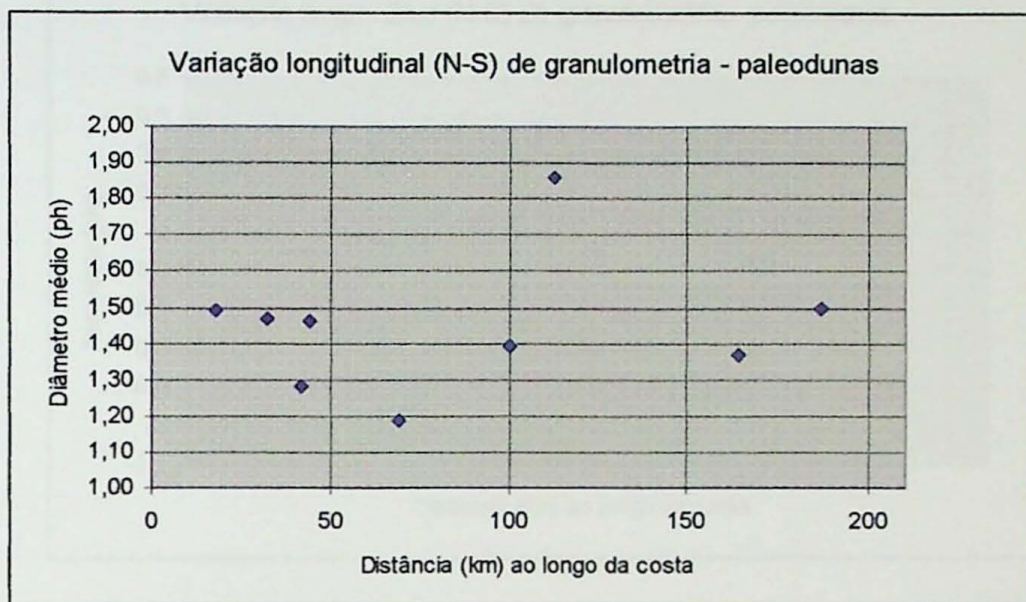


Figura 2.4.3.b. Variação no diâmetro médio da distribuição granulométrica em sedimentos de paleodunas eólicas, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

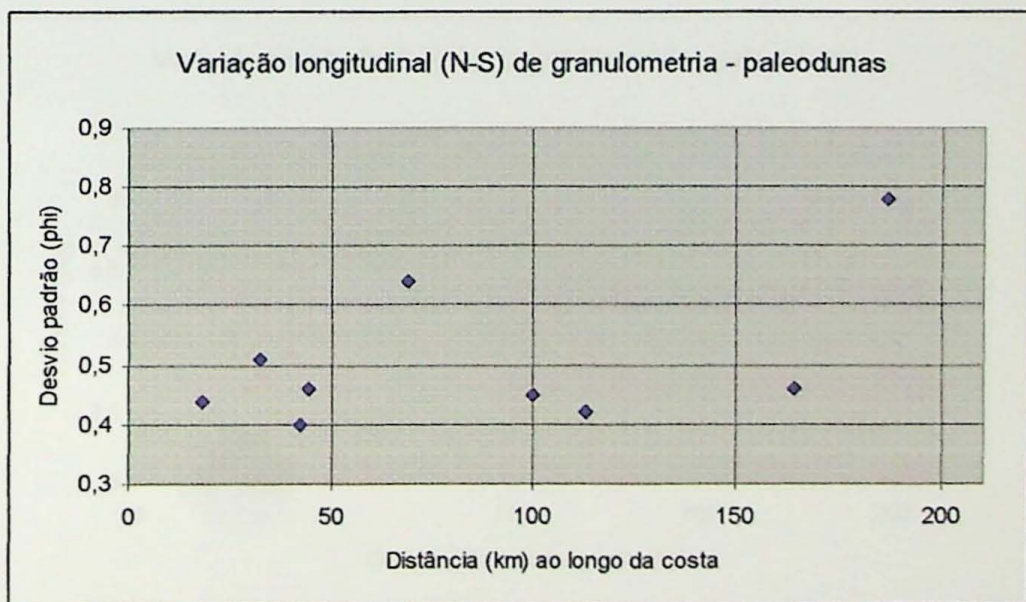


Figura 2.4.3.c. Variação no desvio padrão da distribuição granulométrica em sedimentos de paleodunas eólicas, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

A assimetria da distribuição granulométrica (Figura 2.4.3.d) varia entre 0,6 e $-0,2$ phi, à exceção da paleoduna vermelha de São Pedro de Moel (PT-17 pd₂), que apresenta valor mais negativo (em torno de $-1,0$ phi). A curtose (Figura 2.4.3.e) varia aproximadamente entre 3 e 5 phi, sendo semelhante a das dunas (2.4.2.e). A exceção é a paleoduna branca de São Pedro de Moel (PT-17 pd₁), com curtose menor que 2,0 phi.

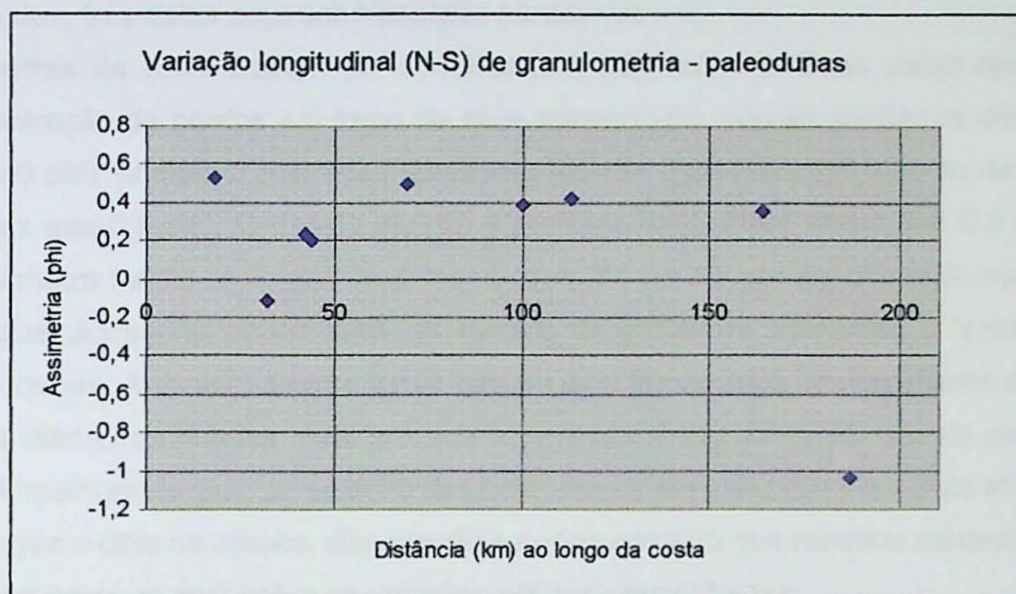


Figura 2.4.3.d. Variação na assimetria da distribuição granulométrica em sedimentos de paleodunas eólicas, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

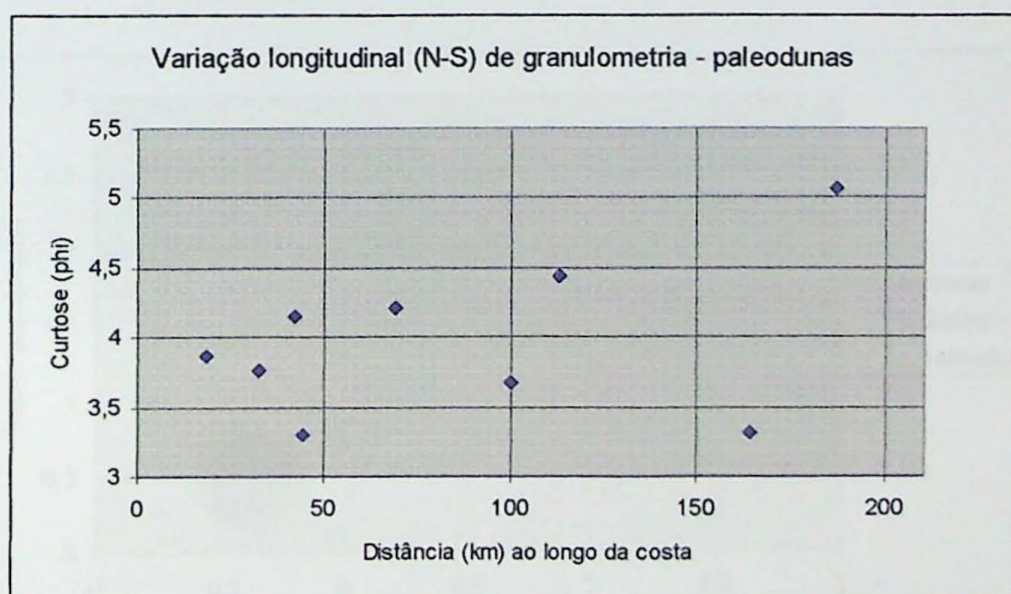


Figura 2.4.3.e. Variação na curtose da distribuição granulométrica em sedimentos de paleodunas eólicas, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

2.5. Comparação entre praias, dunas e paleodunas: gráficos de dispersão baseados em granulometria

A análise de dispersão de pontos referentes a amostras de praias, dunas e paleodunas no diagrama diâmetro médio x desvio padrão (Figura 2.5.a) permite verificar a existência de cinco nuvens de pontos, três delas com sobreposição parcial entre si.

As amostras de praia podem ser divididas em três nuvens. Duas delas apresentam grande concentração de pontos em torno de seus respectivos valores medianos de diâmetro médio ($-0,5$ e 0 phi), enquanto a terceira apresenta grande dispersão nos valores de diâmetro médio (maiores que $0,5$ phi). O desvio padrão é predominantemente maior que $0,5$ nas duas nuvens de diâmetro médio mais grosso e menor que $0,5$ na nuvem de diâmetro médio mais fino. A sobreposição parcial ocorre entre as nuvens de amostras referentes a "praias finas", dunas e paleodunas. A distinção entre estas três nuvens faz-se pelo deslocamento da nuvem praial para os diâmetros médios mais grossos e pela tendência de maior desvio padrão nas paleodunas. A melhora do grau de seleção das paleodunas para as praias e dunas atuais pode ser indício de que o ciclo de erosão, dissecação e aporte costeiro que resultou na deposição do sistema praia-duna atual agiu sobre sedimentos eólicos preexistentes.

Quanto à distribuição geográfica, a nuvem de amostras de praia com diâmetro médio menor que $0,5$ phi inclui as praias próximas à desembocadura do rio Douro e as praias a norte da foz do rio Mondego.

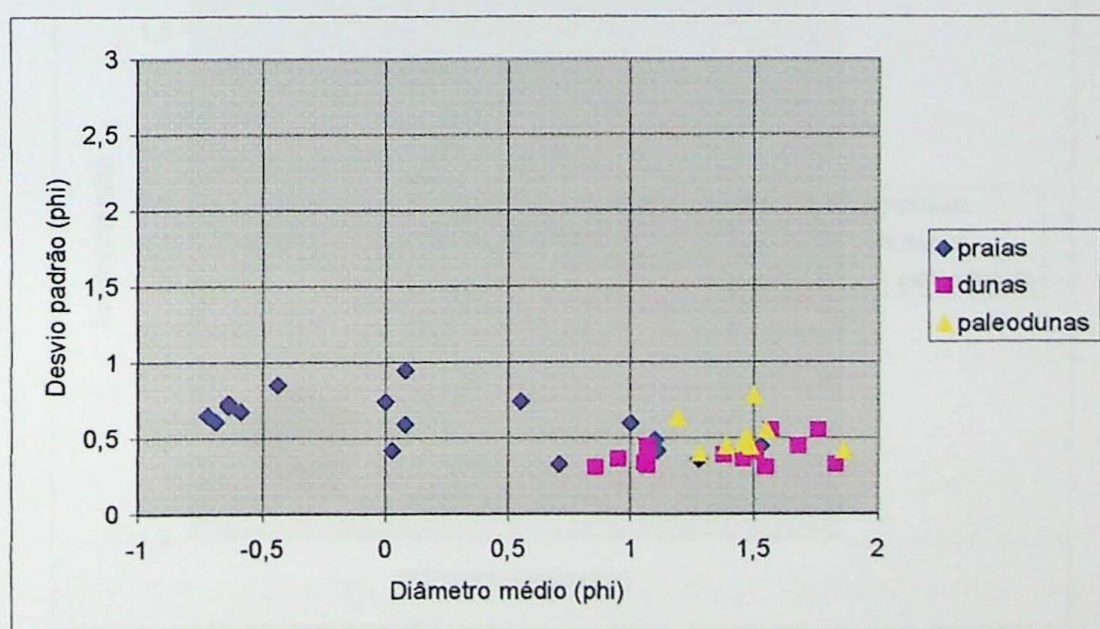


Figura 2.5.a. Gráfico de diâmetro médio versus desvio padrão, para análise de dispersão de amostras de praias, dunas e paleodunas da costa noroeste portuguesa.

A dispersão de pontos entre amostras de praias, dunas e paleodunas com base no diagrama diâmetro médio x assimetria (Figura 2.5.b) caracteriza-se pela existência de seis nuvens principais, sendo três de amostras de praias, duas de amostras de dunas e uma de amostras de paleodunas. A exemplo do verificado no diagrama de diâmetro médio x desvio padrão, só não se observa sobreposição nas duas nuvens de amostras praias mais grossas.

As três nuvens de amostras de praias distinguem-se principalmente pelo diâmetro médio, sendo separadas por lacunas de pontos entre $-0,4$ e 0 phi e entre $0,3$ e $0,5$ phi. Nestas amostras, existe clara correlação inversa entre assimetria e diâmetro médio, expressos em phi.

As duas nuvens de amostras de dunas dividem-se pelo diâmetro médio maior ou menor que $1,05$ phi, enquanto a nuvem de amostras de paleodunas caracteriza-se pelo intervalo mais estreito de variação do diâmetro médio, entre $1,19$ e $1,86$ phi.

A superposição entre a nuvem de amostras de praias mais grossas e a nuvem de amostras de dunas mais finas ocorre no sistema praia-duna dos setores Hospital (km 144), Torreiro (km 44) e Esmoriz (km 18), todos caracterizados pela elevada proporção em massa da fração areia média tanto na praia como na duna. Supõe-se, portanto, que a nortada tenha competência suficiente para transportar grande parte desta fração das praias para as dunas frontais adjacentes. Estas mesmas dunas e praias não apresentam sobreposição com a nuvem de paleodunas.

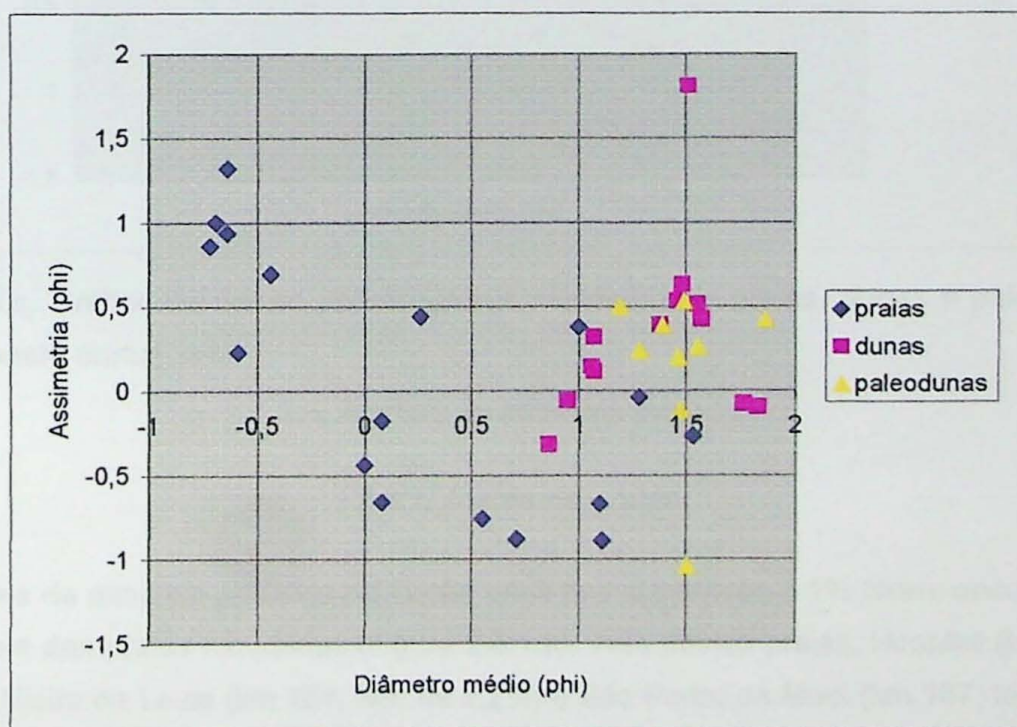


Figura 2.5.b. Gráfico de diâmetro médio versus assimetria de praias, dunas e paleodunas da costa noroeste portuguesa.

O gráfico de dispersão de pontos entre desvio padrão e assimetria (Figura 2.5.c) apresenta apenas quatro nuvens, duas de amostras de praia, uma de amostras de dunas e outra de amostras de paleodunas.

As duas nuvens de amostras de praias distinguem-se entre si principalmente pela assimetria, maior ou menor que 0 phi. Observa-se também tendência para menores desvios padrão na nuvem de amostras de praia com assimetria negativa. Ambas as nuvens são razoavelmente distintas também dos agrupamentos referentes a depósitos eólicos.

As nuvens de amostras de dunas e paleodunas apresentam sobreposição, com tendência de desvios padrão ligeiramente maiores nos depósitos mais antigos.

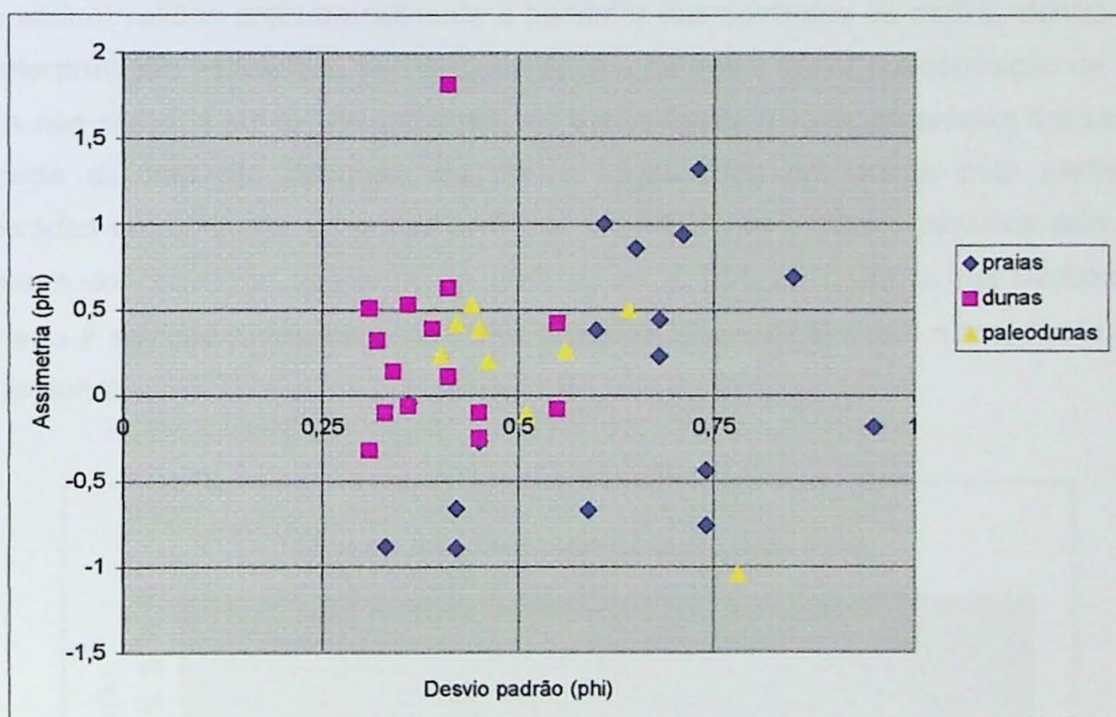


Figura 2.5.c. Gráfico de desvio padrão versus assimetria de praias, dunas e paleodunas da costa noroeste portuguesa.

2.6. Análise de minerais pesados

2.6.1. Areias de praias

Teores de minerais pesados na fração areia fina superiores a 1% foram encontrados em apenas sete das praias estudadas (Figura 2.6.1.a). Três destas praias, Hospital (km 144, teor de 3,0%), Vieira de Leiria (km 164, teor de 2,2%) e São Pedro de Moel (km 187, teor de 1,3%) situam-se dentro do setor fisiográfico entre Nazaré e cabo Mondego, na parte sul da área estudada. Outras duas praias, São Jacinto (km 69, teor de 35%) e Palheiros de Mira (km 100, teor de 2,6%), ocorrem no setor fisiográfico do Aveiro, nas vizinhanças a norte e a sul,

respectivamente, da desembocadura lagunar. E outras duas praias, Valadares (km 0, teor de 48%) e Francelos (km 2, teor de 12%), encontram-se imediatamente a sul da desembocadura do rio Douro, portanto dentro do setor fisiográfico a norte do Espinho.

As praias com teores relativamente elevados de minerais pesados de cada um dos setores fisiográficos da costa noroeste portuguesa têm como características em comum os fatos de serem praias vizinhas entre si e de se localizarem nas proximidades (geralmente a sul) de grandes desembocaduras fluviais (Douro e Mondego) ou lagunares (Aveiro) e de apresentarem, no setor, concentração decrescente rumo sul. Estas características conduzem à interpretação de que a distribuição dos minerais pesados é controlada pela renovação de aporte primário, a partir dos grandes rios, e pela dispersão através da deriva litorânea rumo sul: os minerais mais densos seriam retidos preferencialmente a barlamar das correntes de deriva, dentro de cada setor. Interpretação alternativa, não excludente, é a de que a maior concentração de minerais pesados nas praias a sul de desembocaduras esteja ligada à vocação erosiva dessas praias, em virtude da inanição (bloqueio de deriva longitudinal) provocada pelo efeito molhe. Consideradas em conjunto, as praias com teor em massa de minerais pesados acima de 2% apresentam concentração descendente rumo sul ($r = -0,861$, $\alpha = 0,06$), o que também estaria relacionado à seleção hidráulica pela deriva litorânea longitudinal neste rumo, neste caso em escala regional.

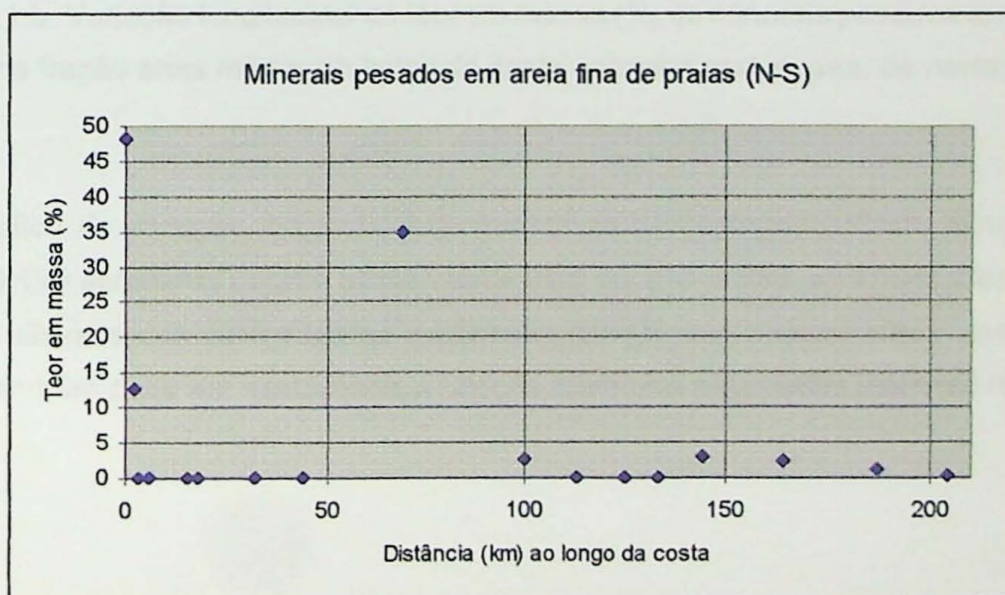


Figura 2.6.1.a. Variação longitudinal do teor em massa (%) de minerais pesados em sedimentos de praias na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

No que se refere à segunda fração granulométrica investigada, a de areia média, foram encontrados teores em massa de minerais pesados superiores a 1% em apenas seis praias

(Figura 2.6.1.b): Nazaré, Hospital, Palheiros da Tocha, Palheiros de Mira, Torreiro e Francelos. Cabe ressaltar que quatro destas praias (Nazaré, Hospital, Palheiros de Mira e Francelos) incluem-se também entre as que tiveram teor elevado de pesados na fração areia fina. A ausência de minerais de densidade elevada pode ser atribuída tanto à indisponibilidade destes minerais na rocha fonte primária, nessa granulometria, como à sua retenção preferencial, por seleção hidráulica, nos rios que drenam estas rochas.

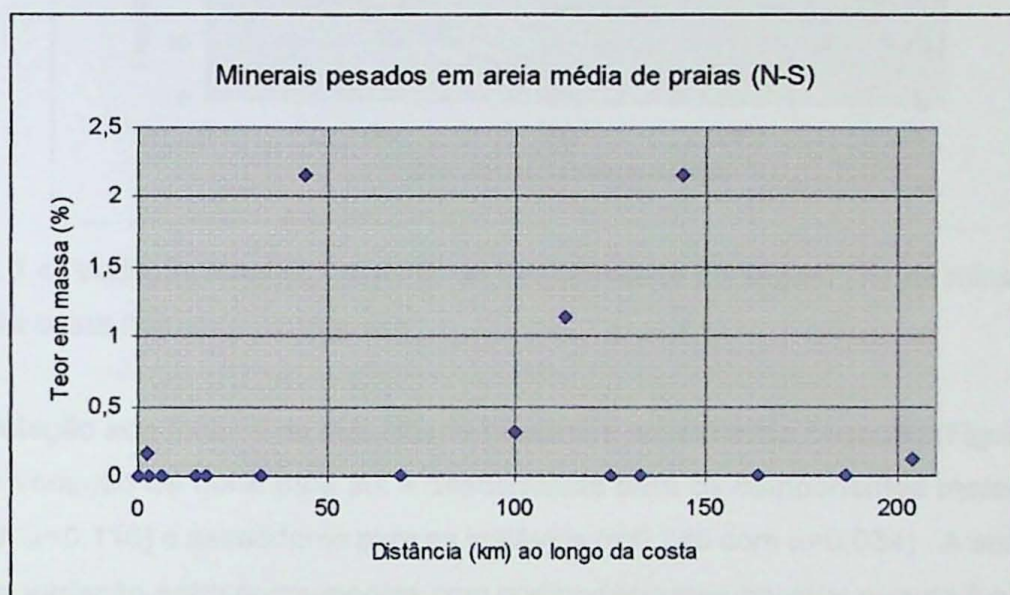


Figura 2.6.1.b. Variação longitudinal do teor em massa (%) de minerais pesados em sedimentos de praias na fração areia média, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

O gráfico de variação longitudinal de frequência de contagem (%) de minerais opacos (Figura 2.6.1.c) apresenta padrão descendente para sul ($r = -0,880$, $\alpha = 0,004$). Considerando a densidade elevada dos componentes opacos em relação aos transparentes, este padrão de variação também pode ser relacionado à seleção hidráulica pela deriva litorânea residual rumo sul.

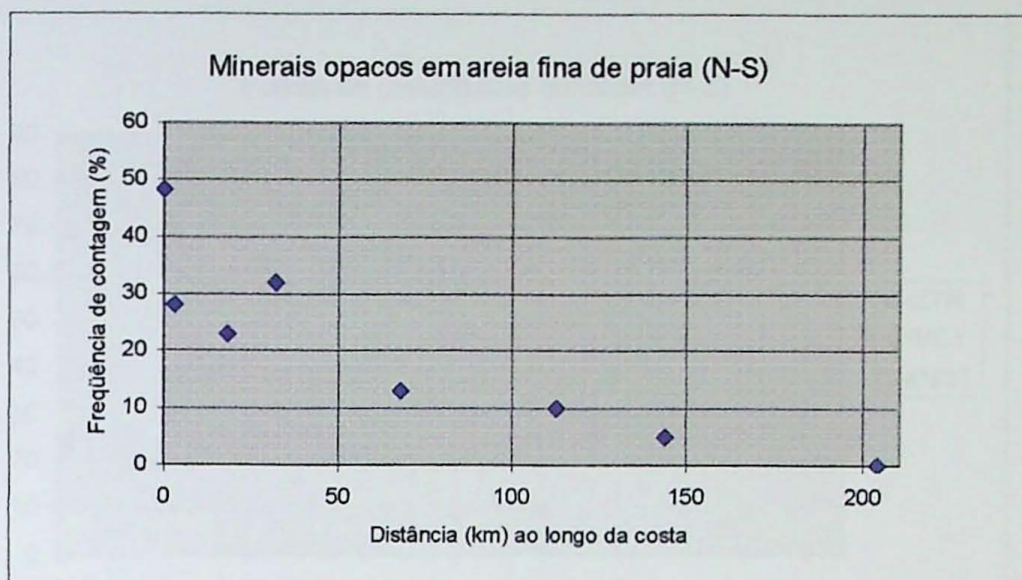


Figura 2.6.1.c. Variação longitudinal (N-S) de frequência de contagem (%) de minerais opacos, ao longo da costa noroeste portuguesa.

Em relação aos índices de maturidade baseados em minerais pesados (Figura 2.6.2.d), o padrão de variação de norte para sul é descendente para os componentes metaestáveis ($r = -0,600$ com $\alpha=0,116$) e ascendente para os instáveis ($r=0,745$ com $\alpha=0,034$). A semelhança de padrões de variação entre componentes com comportamentos opostos quanto à estabilidade é um forte indício de que a abundância dos minerais não é determinada pela destruição físico-química seletiva dos componentes mais instáveis. Desse modo, razão mais provável dos padrões encontrados parece ser, mais uma vez, a seleção hidráulica, através da qual os minerais de menor densidade (turmalina e andalusita, respectivamente os minerais ultraestável e instável mais abundantes) são preferencialmente transportados pela deriva longitudinal rumo sul, em relação aos mais densos (neste caso, dominados por minerais ultraestáveis e metaestáveis: zircão, rutilo e granada). Para testar esta hipótese, foram construídos gráficos de variação de minerais pesados transparentes agrupados quanto à densidade (Figuras 2.6.1.d e 2.6.1.e).

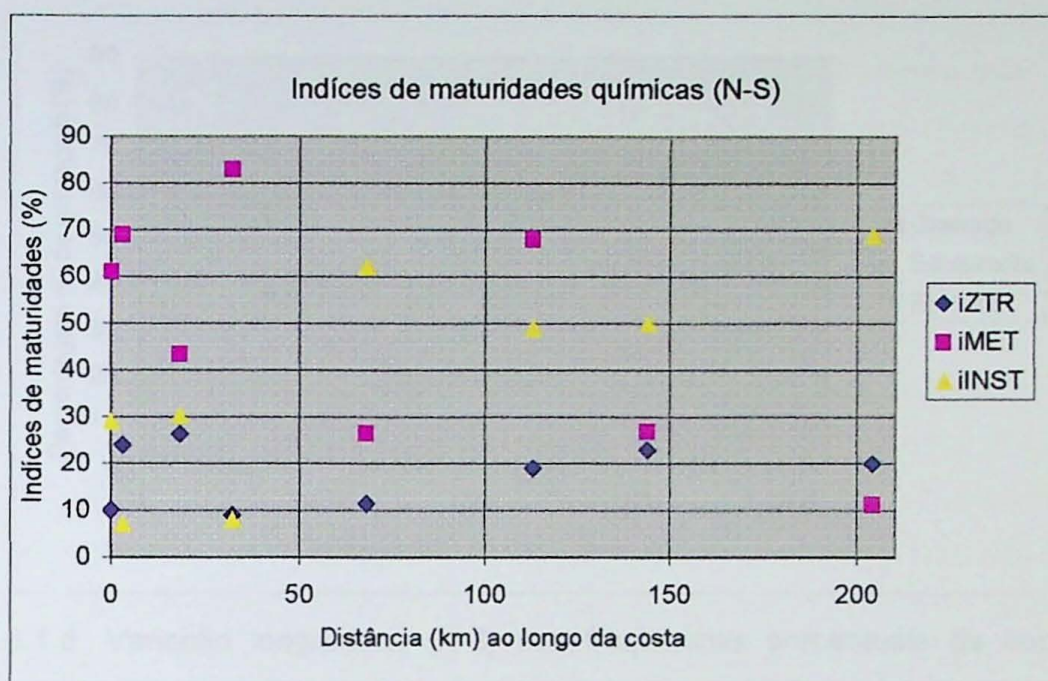


Figura 2.6.1.d. Variação de índices de maturidade química de minerais pesados transparentes (%) em sedimentos de praias na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

Para os minerais pesados transparentes com densidade maior ou igual a $3,35 \text{ g/cm}^3$ (granada, estauroлита, epídoto: Figura 2.6.1.d), o padrão de variação, descendente para sul, é especialmente claro no caso da granada ($r = -0,757$ com $\alpha = 0,030$), que é o componente metaestável mais denso e mais abundante nas praias estudadas. Em contraposição, o gráfico de variação longitudinal dos componentes com densidade menor que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (andalusita e turmalina: Figura 2.6.1.e) apresenta claro padrão ascendente nesse rumo, especialmente evidente no caso da andalusita ($r = 0,873$ com $\alpha = 0,005$). Associado a isso, o coeficiente de correlação inversa entre granada e turmalina é extremamente elevado ($r = -0,944$ com $\alpha = 0,00$). Desse modo, apresenta-se bastante reforçada a idéia de seleção hidráulica pela deriva litorânea longitudinal residual rumo sul, com transporte seletivo preferencial nesse rumo de componentes menos densos.

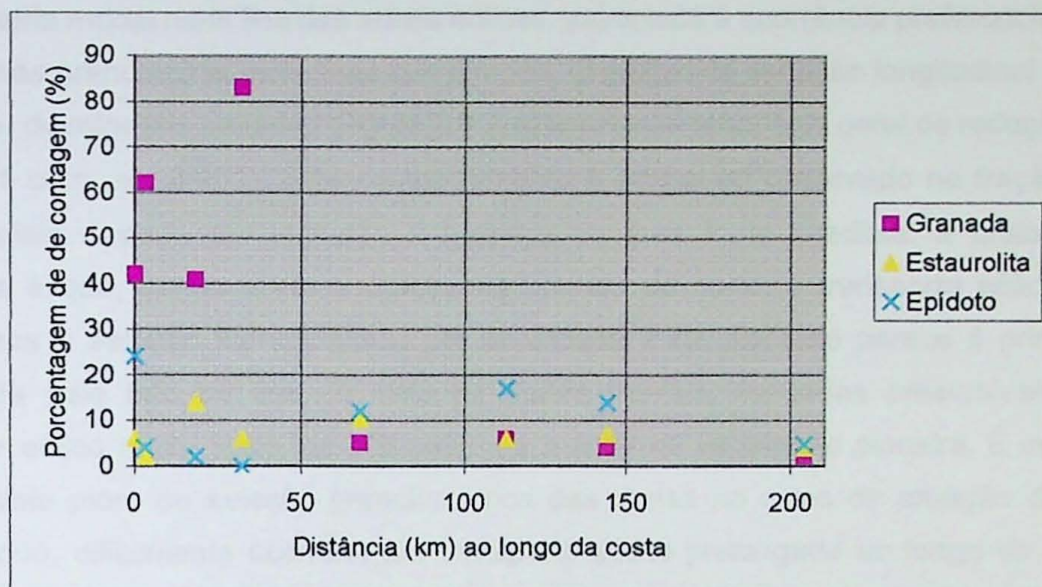


Figura 2.6.1.d. Variação longitudinal (N-S) nas frequências percentuais de contagem de minerais pesados transparentes com densidades maiores que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (granada, estaurolita, epídoto) na fração areia fina de sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa.

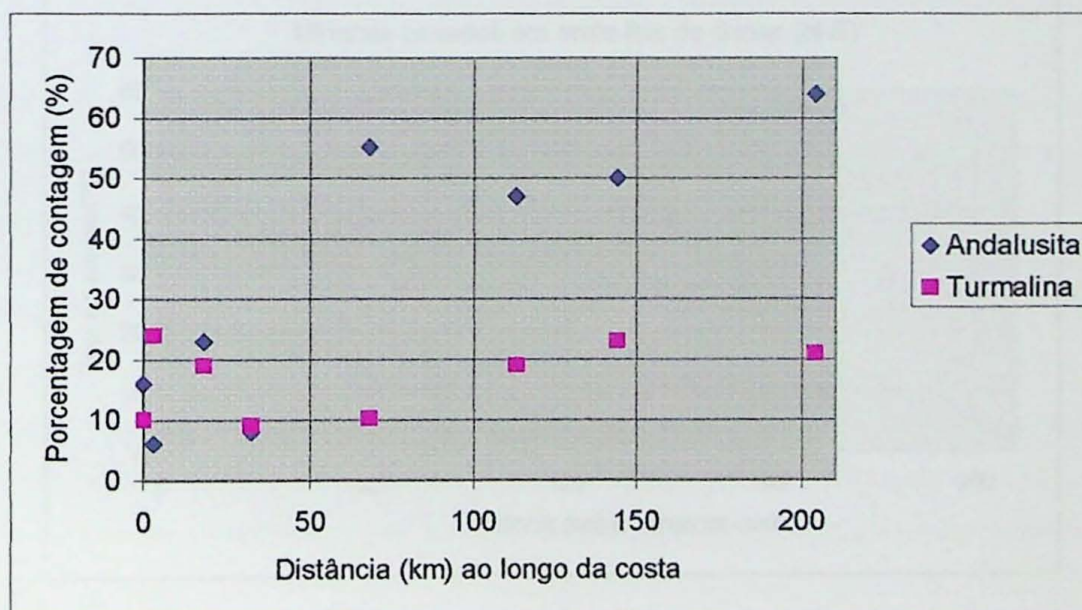


Figura 2.6.1.e. Variação longitudinal (N-S) nas frequências percentuais de contagem de minerais de pesados transparentes com densidades menores $3,35 \text{ g/cm}^3$ (andalusita e turmalina) na fração areia fina de sedimentos de praia, ao longo da costa noroeste portuguesa.

2.6.2. Areias de dunas

Os teores em massa de minerais pesados na fração areia fina das dunas frontais estudadas são em média superiores ao das praias adjacentes, o que pode ser atribuído à

granulometria modal mais fina das areias eólicas, associada à ocorrência preferencial de grãos pesados nas granulações mais finas que a moda. O gráfico de variação longitudinal de teor em massa (%) de minerais pesados (Figura 2.6.2.a) apresenta tendência geral de redução para sul ($r = -0,761$ com $\alpha = 0,000$). Este comportamento é similar ao observado na fração fina das areias praias e pode ser atribuído à herança da área fonte imediata, a praia. Hipótese alternativa é que, sendo o vento dominante oriundo do norte, o transporte eólico para sul determinaria a seleção hidrodinâmica por densidade. Esta hipótese parece à primeira vista complicada pelo fato de que se trata de dunas frontais, formadas presumivelmente por transporte eólico muito curto, da pós-praia até a linha de vegetação pioneira. É inviabilizada também pela piora de seleção granulométrica das dunas no rumo de atuação da nortada. Desse modo, dificilmente ocorreria um transporte eólico prolongado ao longo da costa. Por outro lado, é bastante provável que ao longo prazo, por repetição sucessiva de processo, o transporte eólico rumo sul, em pequena escala, e a erosão das dunas pelas ondas, com redeposição por correntes de deriva para sul, atuem combinadamente.

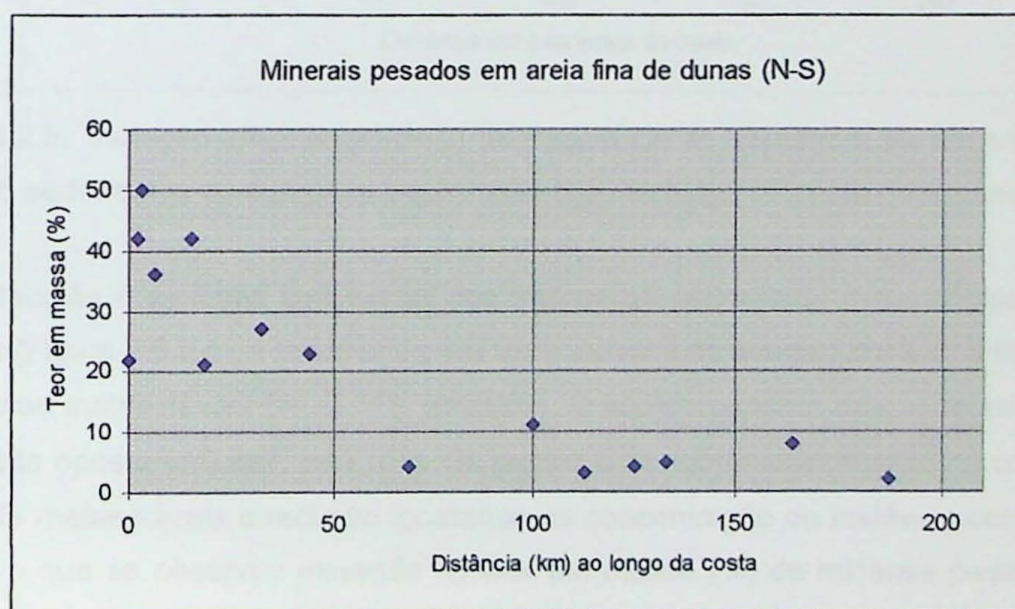


Figura 2.6.2.a. Variação do teor em massa (%) de minerais pesados em sedimentos de dunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

O gráfico de variação longitudinal de frequência de contagem de minerais opacos em sedimentos de dunas na fração areia fina (Figura 2.6.2.b) permite detectar três trechos no setor costeiro estudado. O primeiro trecho, entre Valadares e Torreiro (km 0 a 44) e o terceiro trecho, entre Palheiros da Tocha e Vieira de Leiria (km 113 a 164) apresentam padrão descendente rumo sul ($r = -0,779$, $\alpha = 0,039$ e $r = -0,846$, $\alpha = 0,154$, respectivamente). O segundo trecho, entre

Torreiro e Palheiros da Tocha (km 44 a 113), exibe padrão ascendente no mesmo rumo ($r=0,918$, $\alpha=0,082$). O padrão encontrado no primeiro e no terceiro trechos pode ser atribuído à seleção hidráulica para sul, com redução de componentes opacos nesse rumo devido a sua alta densidade, seja por efeito da deriva litorânea herdado das areias de praia, seja por este efeito combinado com o transporte eólico dominante para sul.

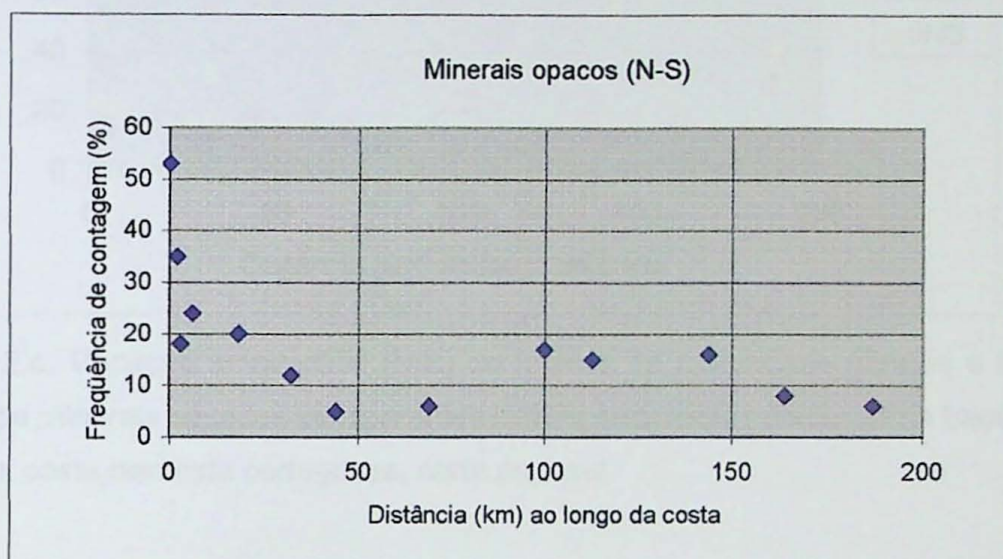


Figura 2.6.2.b. Variação longitudinal (N-S) de frequência de contagem de minerais pesados opacos em sedimentos de dunas na fração areia fina, ao longo da costa portuguesa.

Em relação à variação longitudinal dos índices de maturidade mineralógica nas dunas estudadas (Figura 2.6.2.c), a tendência geral mais visível é de queda para sul na frequência de componentes metaestáveis ($r= -0,514$, $\alpha=0,087$). O comportamento dos minerais instáveis é grosso modo oposto ($r=0,437$, $\alpha=0,153$). Os pontos com aumento localizado na concentração de minerais metaestáveis e redução localizada na concentração de instáveis coincidem com aqueles em que se observou elevação no teor em massa (%) de minerais pesados (Figura 2.6.2.a). A variação contínua entre Palheiros da Tocha e Vieira de Leiria (km 113 a 164), detectada naquele gráfico, também está presente aqui.

Como a maioria dos minerais pesados metaestáveis encontrados nos sedimentos das dunas, principalmente granada e estauroлита, possui densidade maior que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (Figura 2.6.2.d), enquanto o principal instável, andalusita, possui densidade menor que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (Figura 2.6.2.e), a variação destes índices pode mais uma vez ser explicada em termos de equivalente hidráulico e/ou aerodinâmico.

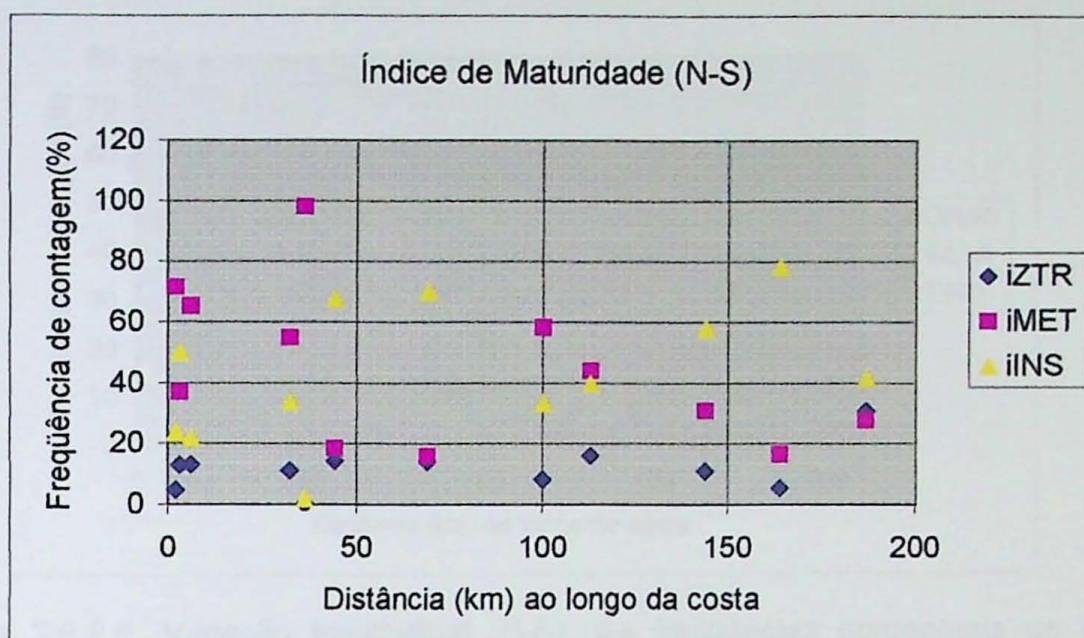


Figura 2.6.2.c. Variação longitudinal (N-S) de índices de maturidade (diretos e inversos) de contagem de minerais pesados transparentes (%) em sedimentos de dunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa, norte para sul.

O gráfico de variação longitudinal de frequência de contagem de minerais pesados transparentes com densidades maiores que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (Figura 2.6.2.d) evidencia que a granada, o mais denso dos três componentes desta categoria, apresenta tendência geral de decréscimo rumo sul ($r = -0,662$, $\alpha = 0,010$). Considerando que a queda de granada rumo sul nos trechos extremos reflita a influência da deriva longitudinal na área fonte praial.

No trecho entre Torreiro e São Jacinto (km 44 a 66) apresenta uma grande anomalia negativa da frequência de granada podendo estar relacionado ao molhe do Porto de Aveiro (Figura 5) e/ou ao processo do crescimento rumo sul do esporão ou barreira arenosa que delimitou a laguna do Aveiro.

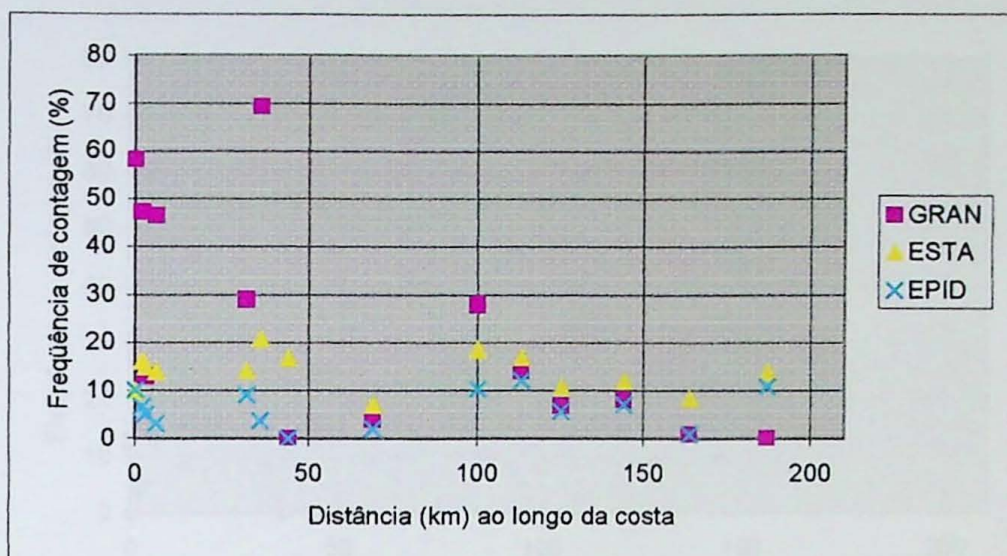


Figura 2.6.2.d. Variação longitudinal (N-S) nas frequências percentuais de contagem de minerais pesados transparentes com densidades maiores que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (granada, estauroлита, epídoto) nos sedimentos de dunas estudadas ao longo da costa noroeste portuguesa.

O gráfico de variação longitudinal de frequência de contagem de minerais pesados transparentes com densidades menores que $3,35 \text{ g/cm}^3$ nas dunas estudadas (Figura 2.6.2.e) evidencia tendência geral de crescimento para sul ($r=0,556$, $\alpha=0,039$), padrão que seria determinado pelo transporte litorâneo longitudinal e/ou eólico nesse rumo. O trecho entre Torreiro e São Jacinto (km 44 a 66) apresenta uma grande anomalia positiva da frequência de andalusita, inversa em relação ao da granada. Em São Pedro de Moel (km187), a grande anomalia negativa da frequência de andalusita deve estar relacionada à volta da atuação junto á linha de costa da deriva litorânea vinda do norte (Figura 3).

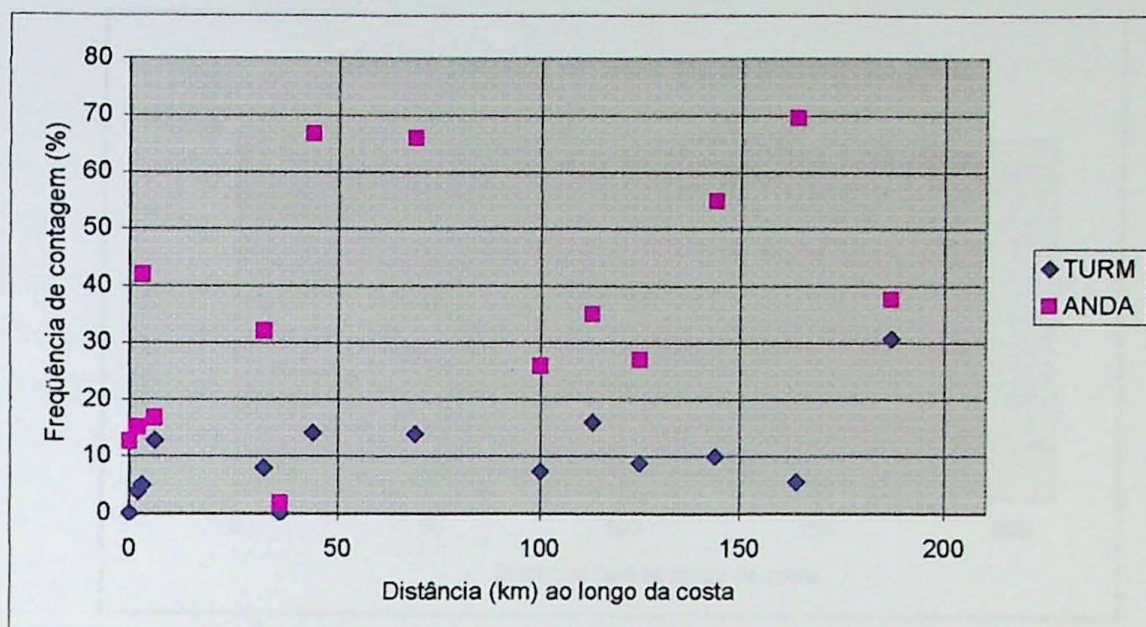


Figura 2.6.2.e. Variação longitudinal (N-S) nas frequências percentuais de contagem de minerais pesados transparentes com densidades menores que $3,35 \text{ g/cm}^3$ (andalusita e turmalina) nos sedimentos de dunas na fração areia fina ao longo da costa noroeste portuguesa.

A alta correlação inversa entre granada e turmalina ($r = -0,855$, $\alpha = 0,00$) confirma a forte contraposição no comportamento de minerais pesados mais e menos densos ao longo da costa noroeste portuguesa, mais uma evidência de crescente seleção hidráulica para sul no sistema praia-duna.

2.6.3. Areias de paleodunas

O gráfico de variação de teor em massa de minerais pesados em sedimentos de paleodunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa (Figura 2.6.3.a) apresenta o mesmo padrão geral descendente rumo sul ($r = -0,667$, $\alpha = 0,050$) detectado nas praias e dunas. Este fato pode ser considerado evidência de que a seleção hidráulica/aerodinâmica ao longo do transporte sedimentar resultante para sul já atuava nos sistemas praia-duna antigos.

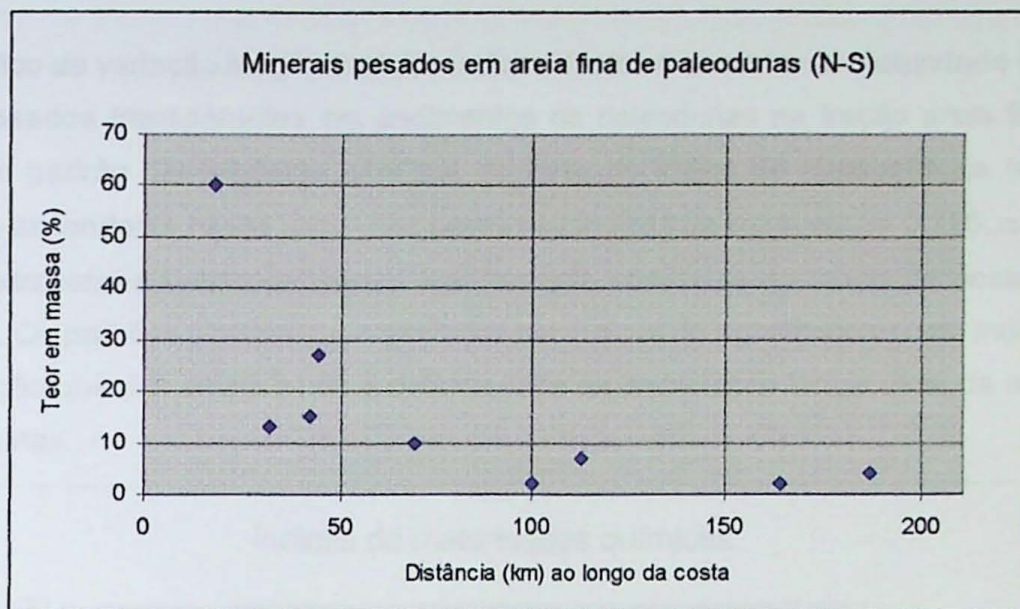


Figura 2.6.3.a. Variação do teor em massa (%) de minerais pesados em sedimentos de paleodunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa, de norte para sul.

Afirmativa semelhante pode ser feita em relação ao gráfico de variação longitudinal (N-S) de freqüência de contagem de minerais pesados opacos em sedimentos de paleodunas (Figura 2.6.3.b), também com padrão descendente rumo sul ($r = -0,591$, $\alpha = 0,094$).

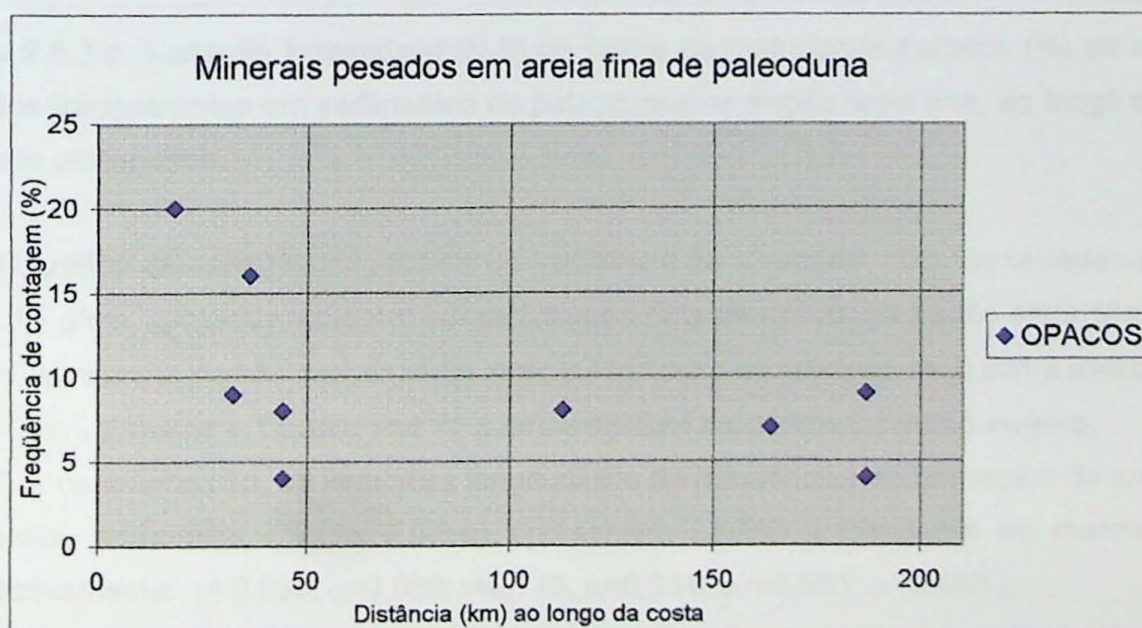


Figura 2.6.3.b. Variação longitudinal (N-S) de freqüência de contagem (%) de minerais pesados opacos em sedimentos de paleodunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa.

O gráfico de variação longitudinal dos índices diretos e inversos de maturidade química de minerais pesados transparentes em sedimentos de paleodunas na fração areia fina (Figura 2.6.3.c) tem padrão descendente para sul, no caso do índice de metaestáveis ($r = -0,668$, $\alpha = 0,049$), e ascendente nesse rumo, nos casos dos índices de instáveis ($r = 0,726$, $\alpha = 0,027$). O índice de ultraestáveis permanece praticamente constante ao longo da costa noroeste portuguesa. Os padrões similares apresentados por índices de significado oposto indicam que a decomposição química seletiva não é determinante na distribuição longitudinal da mineralogia das paleodunas.

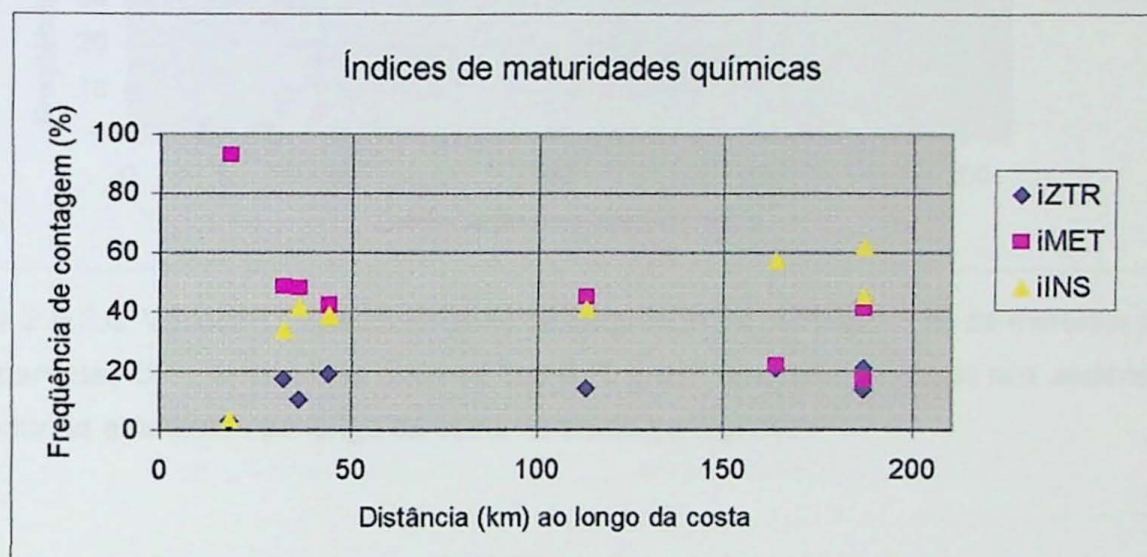


Figura 2.6.3.c. Variação longitudinal (N-S) de índice de maturidade química (%) de minerais pesados transparentes em sedimentos de paleodunas na fração areia fina, ao longo da costa noroeste portuguesa.

O gráfico de variação longitudinal de frequência de contagem com densidades maiores que $3,75 \text{ g/cm}^3$ (granada, epídoto) em sedimentos de paleodunas na fração areia fina (Figura 2.6.3.d) apresenta padrão descendente rumo sul (no caso da granada, $r = -0,631$ e $\alpha = 0,068$). No trecho entre Esmoriz e Torreiro (km 18 a 44), o epídoto apresenta o padrão inverso.

Em contraposição, as variações longitudinais de frequências de contagem de turmalina, andalusita, estaurolita (Figura 2.6.3.e) apresentam padrão ascendente no mesmo rumo (respectivamente: $r = 0,990$, $\alpha = 0,000$; $r = 0,713$, $\alpha = 0,031$; e $r = 0,551$, $\alpha = 0,160$).

Nas areias de paleodunas eólicas, evidencia-se elevada correlação inversa entre granada e andalusita ($r = -0,918$, $\alpha = 0,000$).

A queda na concentração de granada e o aumento na concentração de minerais tipicamente mais leves rumo sul são compatíveis com o transporte sedimentar residual para sul

pela paleoderiva litorânea, combinada ou não à ação dos paleoventos que depositaram em última instância estas antigas areias de praia.

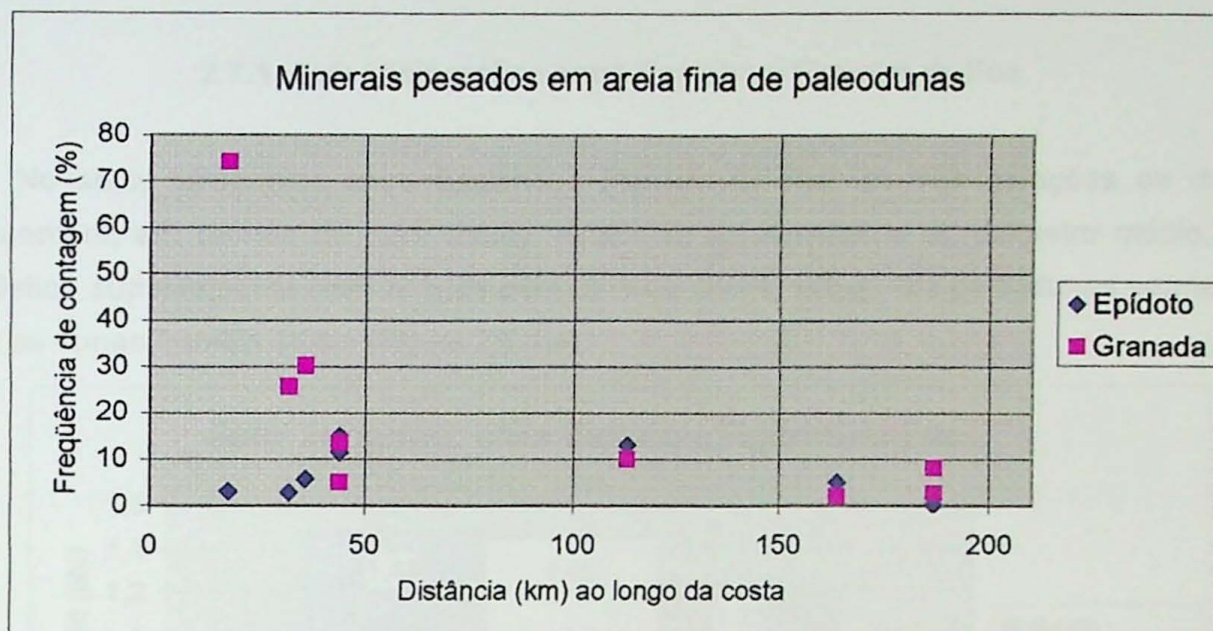


Figura 2.6.3.d. Variação longitudinal (N-S) de frequência de contagem (%) de minerais pesados transparentes com densidades maiores que $3,75 \text{ g/cm}^3$ (granada, epídoto) nos sedimentos de paleodunas estudadas ao longo da costa noroeste portuguesa.

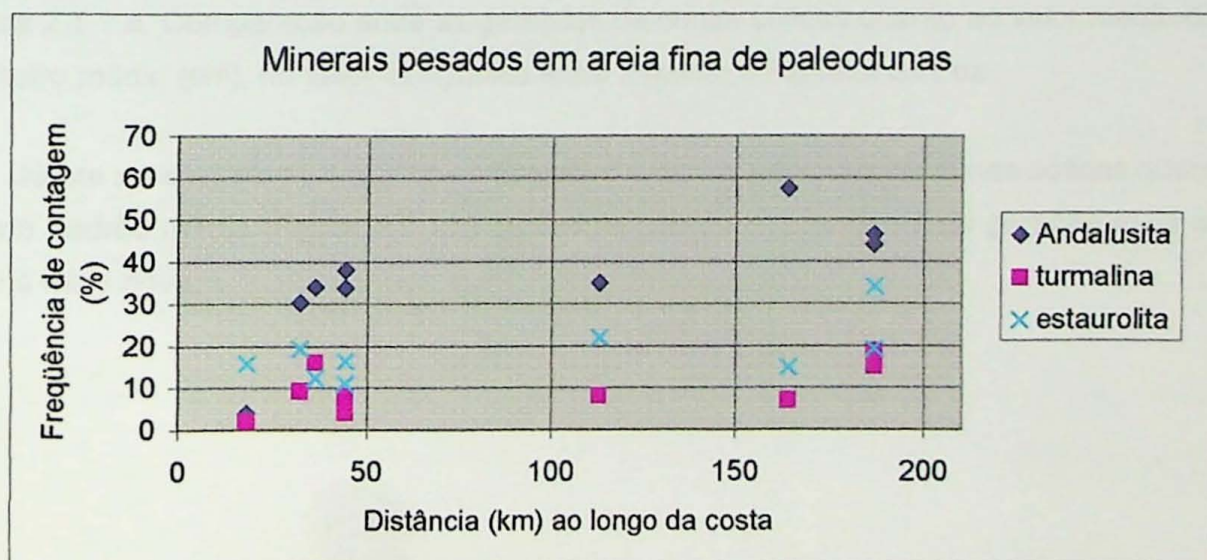


Figura 2.6.3.e. Variação longitudinal (N-S) de frequência de contagem (%) de minerais pesados transparentes com densidades maiores que $3,75 \text{ g/cm}^3$ (andalusita, turmalina, estaurolita) nos sedimentos de paleodunas estudadas ao longo da costa noroeste portuguesa.

2.7. Comparação entre gerações de dunas eólicas

2.7.1. Setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz

No setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz, as três gerações de dunas apresentam, em termos de valor médio, tendência de afinamento do diâmetro médio, dos depósitos supostamente mais antigos para os mais novos, isto é, das paleodunas vermelhas para as dunas frontais atuais (Figura 2.7.1.a).

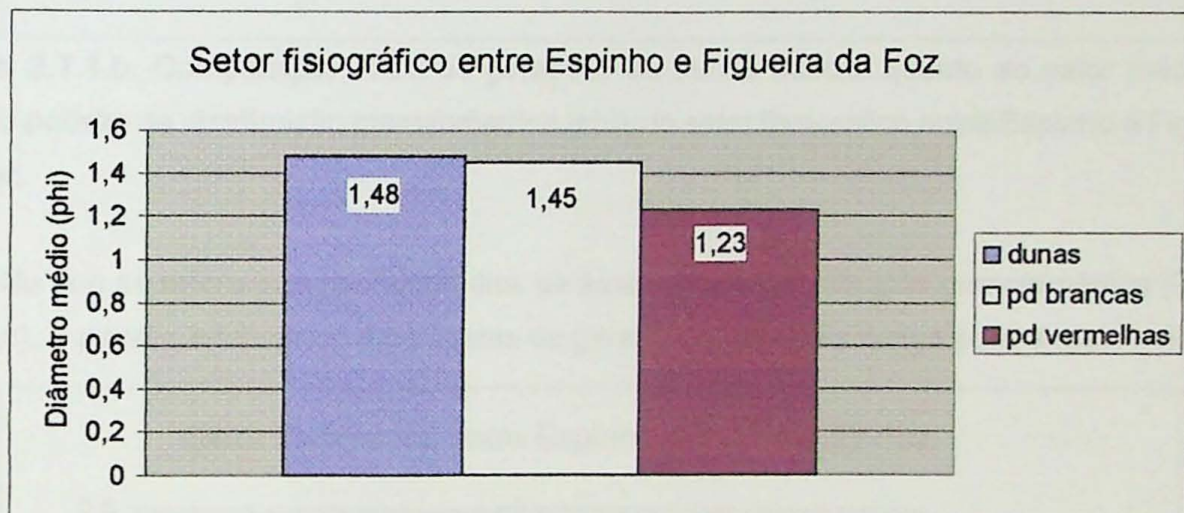


Figura 2.7.1.a. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio do diâmetro médio (phi), no setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz

Neste mesmo setor, o gráfico comparativo entre as gerações de dunas eólicas quanto ao desvio padrão médio (Figura 2.7.1.b) apresenta padrão descendente da geração mais antiga para a mais nova.

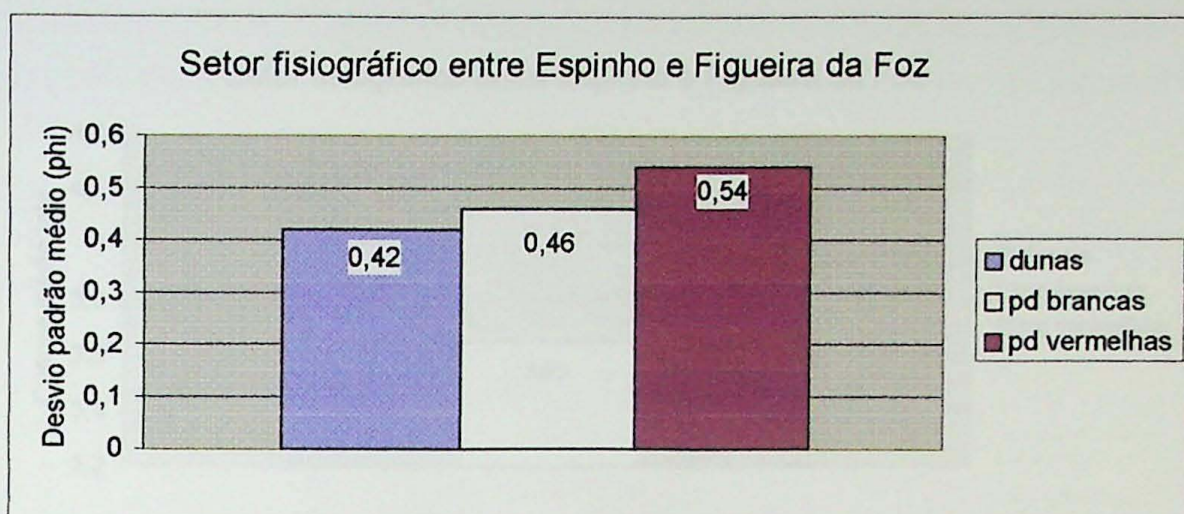


Figura 2.7.1.b. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio do desvio padrão da distribuição granulométrica (phi), no setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz.

No que se refere aos valores médios de assimetria da distribuição granulométrica (Figura 2.7.1.c), o padrão encontrado é crescente da geração eólica mais antiga para a mais nova.

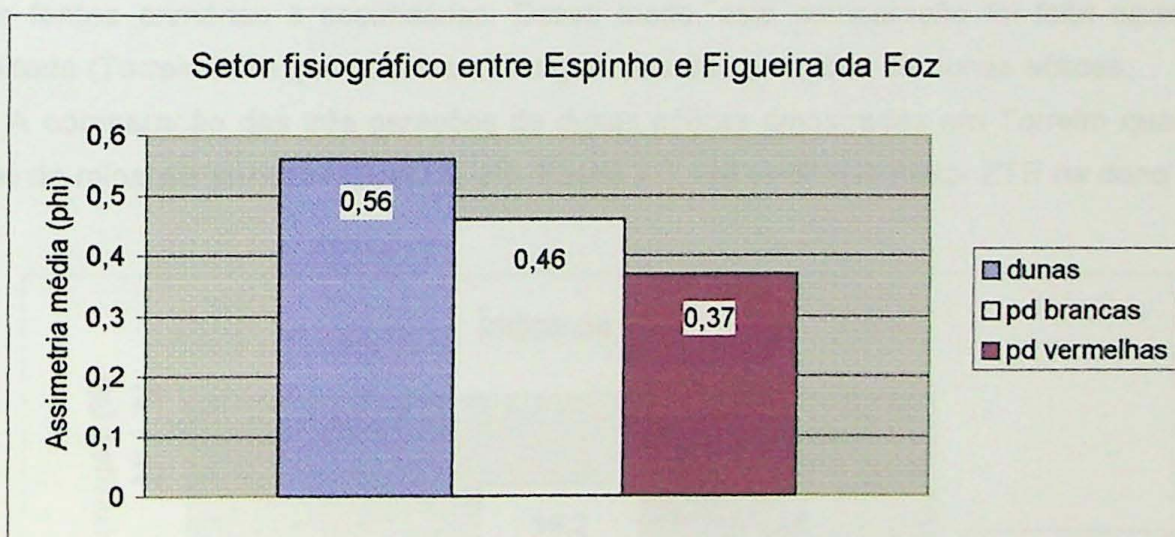


Figura 2.7.1.c. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio da assimetria da distribuição granulométrica (phi), no setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz.

A curtose média (Figura 2.7.1.d) não apresenta padrão regular de variação dos depósitos mais antigos para os mais novos, encontrando-se o menor valor nas paleodunas de idade supostamente intermediária.

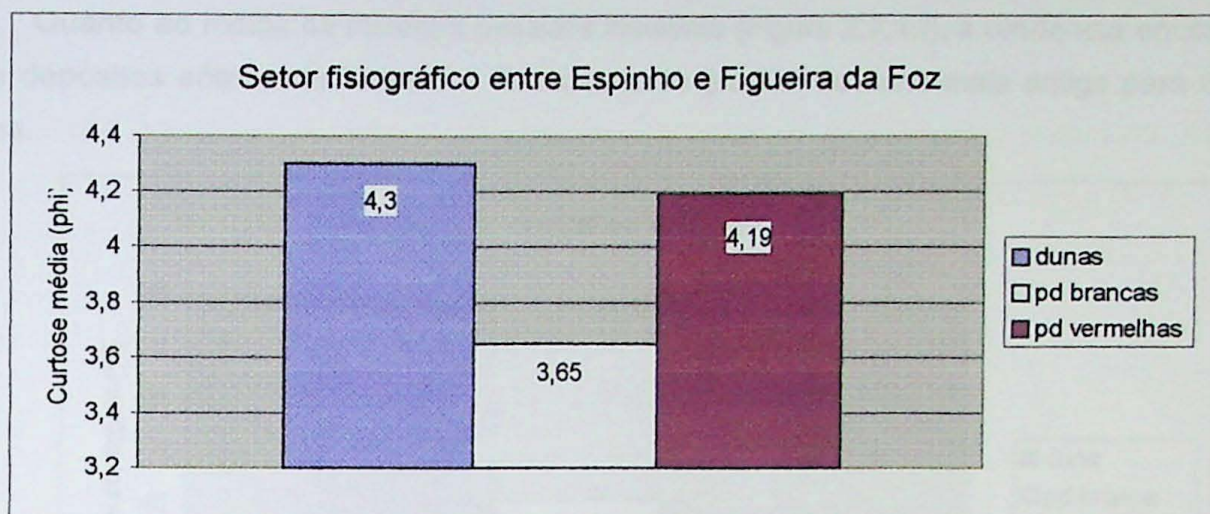


Figura 2.7.1.d. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio da curtose da distribuição granulométrica (phi), no setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz.

Evitou-se aplicar a comparação entre índices de maturidade mineralógica baseados em minerais pesados para o setor fisiográfico como todo, em vista da possível heterogeneidade de áreas fontes primárias e secundárias. Desse modo, esta comparação foi feita apenas na localidade (Torreiro) em que houve amostragem das três gerações de dunas eólicas.

A comparação das três gerações de dunas eólicas amostradas em Torreiro quanto ao índice de minerais pesados ultraestáveis (Figura 2.7.1.e) evidencia maior ZTR na duna frontal ativa.

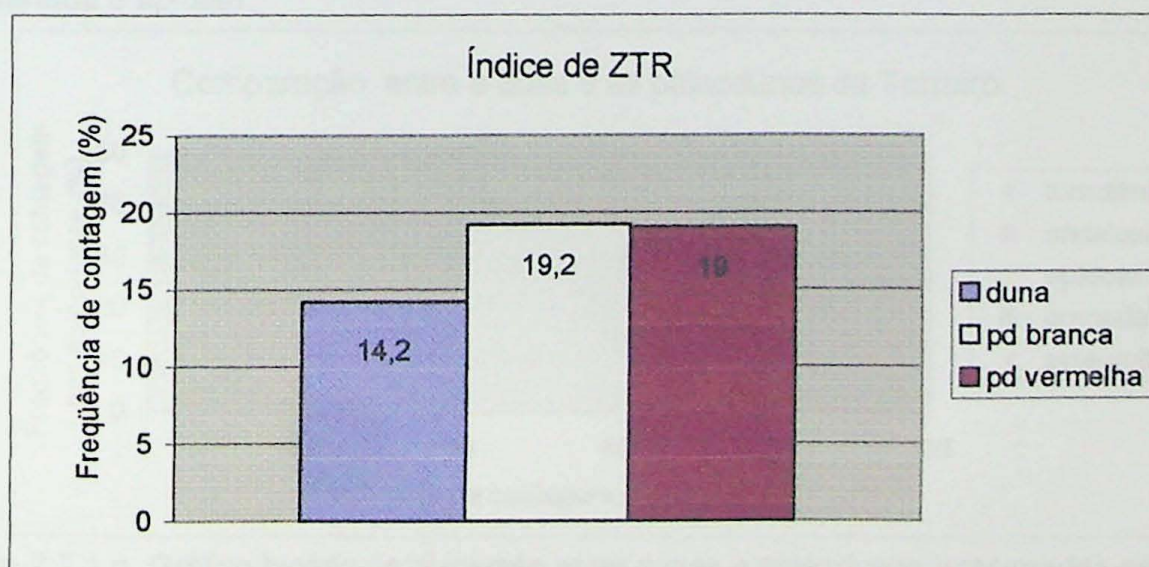


Figura 2.7.1.e. Comparação entre as gerações de dunas eólicas de Torreiro (km 44) quanto ao valor médio do índice somatório de minerais ultrestáveis (ZTR).

Quanto ao índice de minerais pesados instáveis (Figura 2.7.1.f), a tendência encontrada nos depósitos eólicos de Torreiro é de incremento gradual da duna mais antiga para a mais nova.

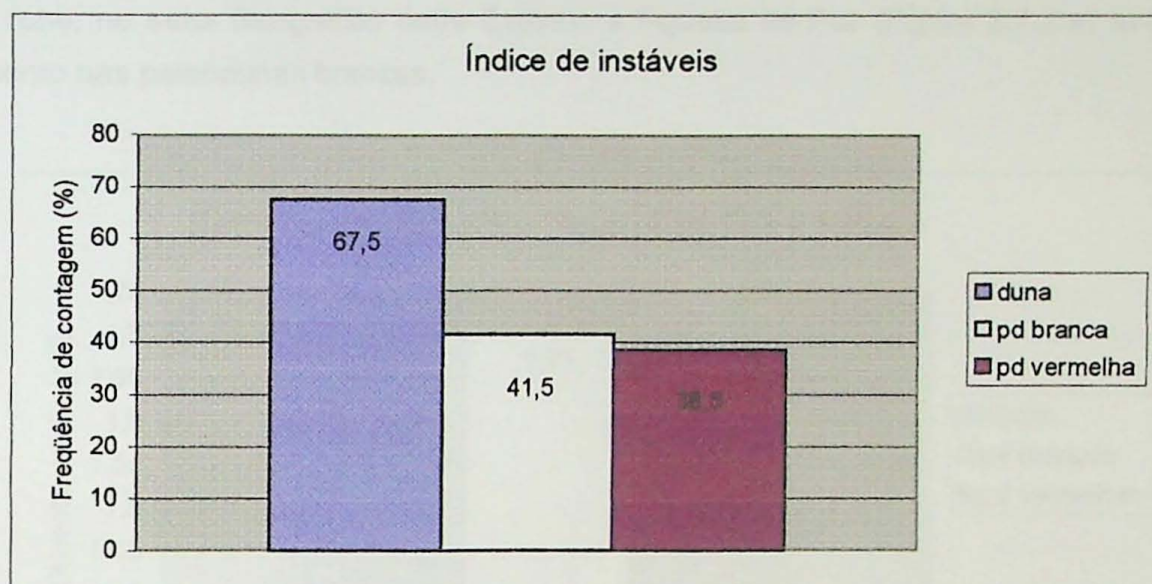


Figura 2.7.1.f. Comparação entre as gerações de dunas eólicas de Torreiro (km 44) quanto ao valor médio do índice somatório de minerais pesados instáveis.

Quando se comparam as dunas e paleodunas de Torreiro quanto à frequência porcentual de contagem dos minerais pesados transparentes mais comuns (Figura 2.7.1.g), nota-se tendência de empobrecimento das paleodunas em andalusita e estaurolita e de enriquecimento em granada e epídoto.

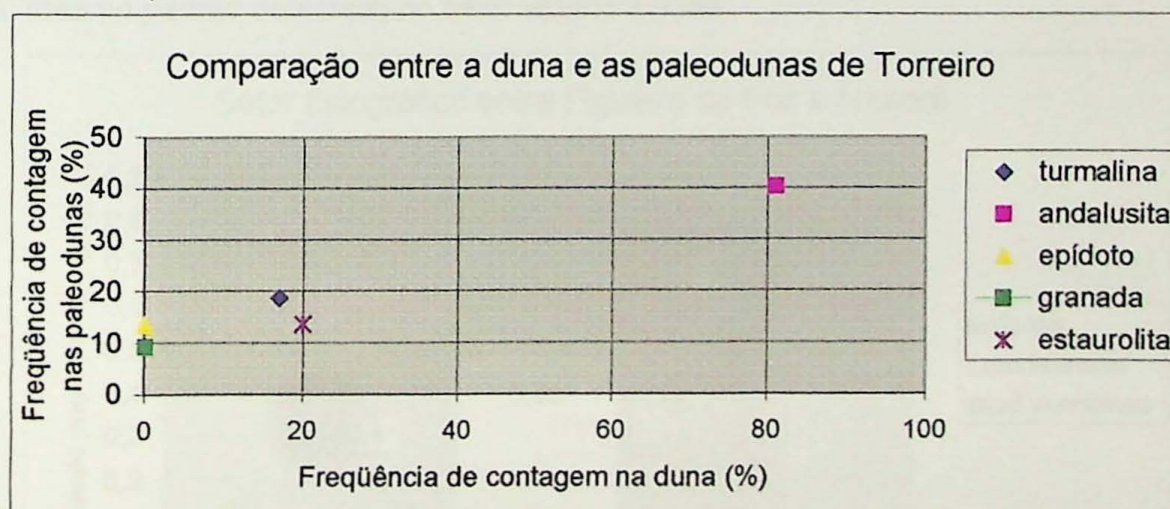


Figura 2.7.1.g. Gráfico binário de dispersão entre dunas e paleodunas, amostradas na região de Torreiro (km 44), para frequências de contagem dos cinco minerais pesados predominantes. Notar presença exclusiva de granada e epídoto nas dunas antigas e maior concentração de andalusita nas dunas atuais.

2.7.2. Setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré

O gráfico comparativo entre as gerações de dunas quanto ao valor médio do diâmetro médio (ϕ), no setor fisiográfico entre Espinho e Figueira da Foz (Figura 2.7.2.a) evidencia afinamento nas paleodunas brancas.

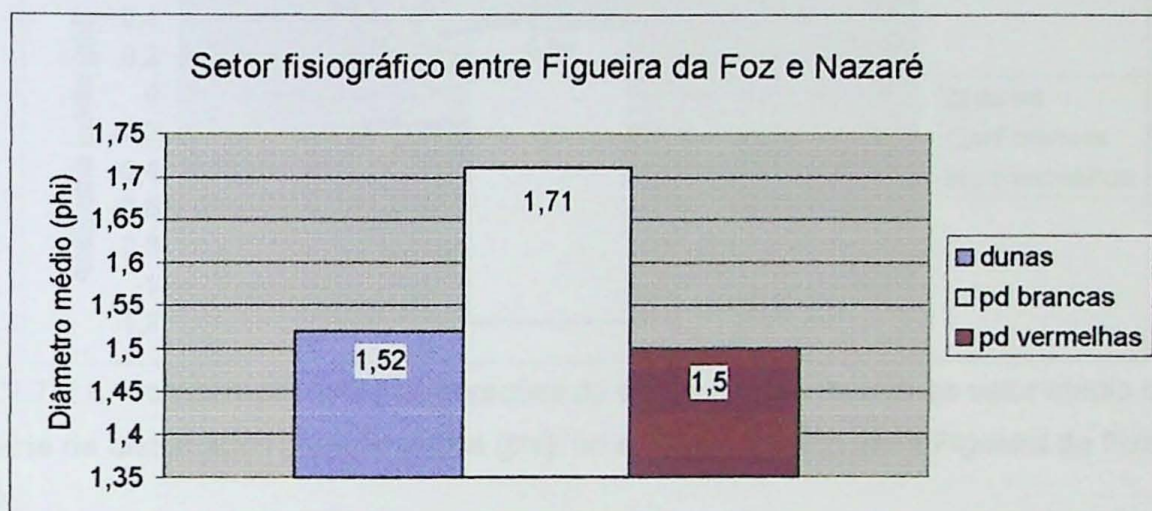


Figura 2.7.2.a. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio do diâmetro médio (ϕ), no setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré.

No que se refere ao desvio padrão médio (Figura 2.7.2.b), o padrão de variação em função da idade é de decréscimo regular da geração supostamente mais antiga para as dunas atuais, mesmo padrão detectado no setor vizinho a norte.

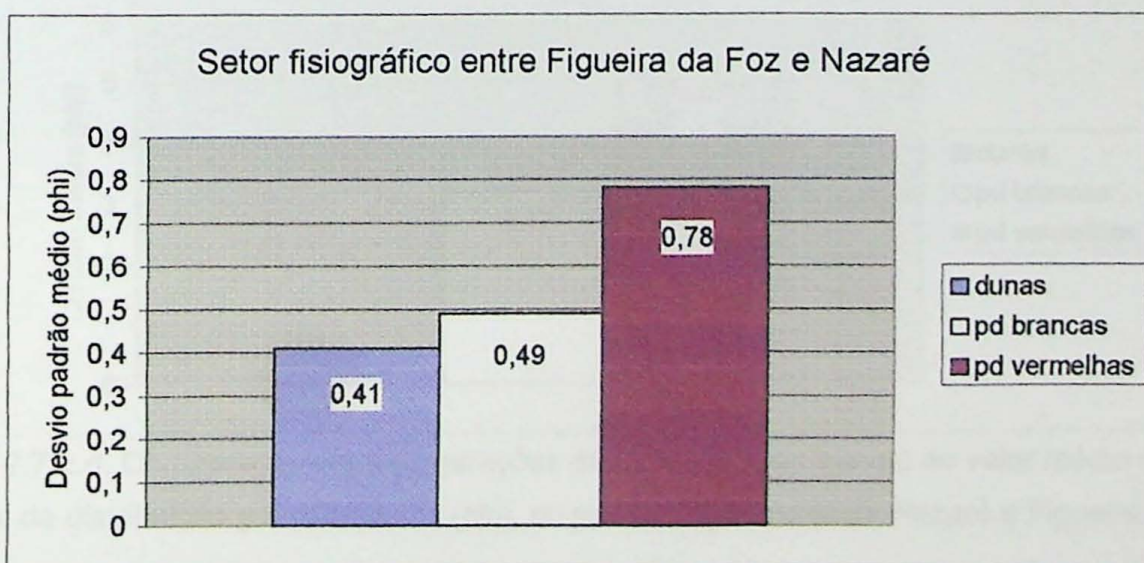


Figura 2.7.2.b. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio do desvio padrão da distribuição granulométrica (ϕ), no setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré.

A assimetria média exhibe padrão irregular, com valor positivo na geração intermediária e valores negativos nas demais (Figura 2.7.2.c).

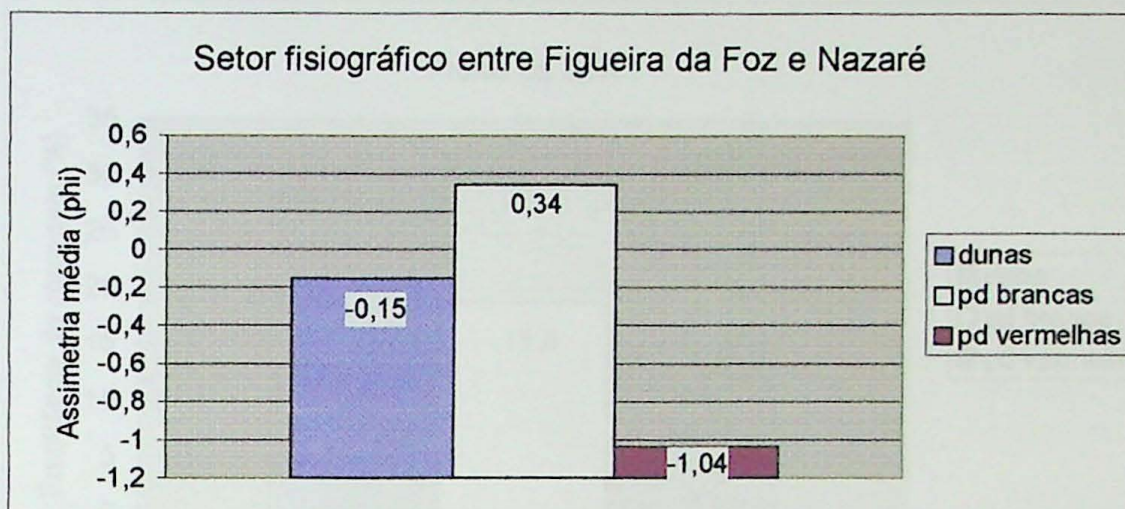


Figura 2.7.2.c. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio da assimetria da distribuição granulométrica (ϕ), no setor fisiográfico entre Figueira da Foz e Nazaré.

Padrão irregular é encontrado também na variação da curtose média, com valor mais leptocúrtico nas paleodunas mais antigas (Figura 2.7.2.d).

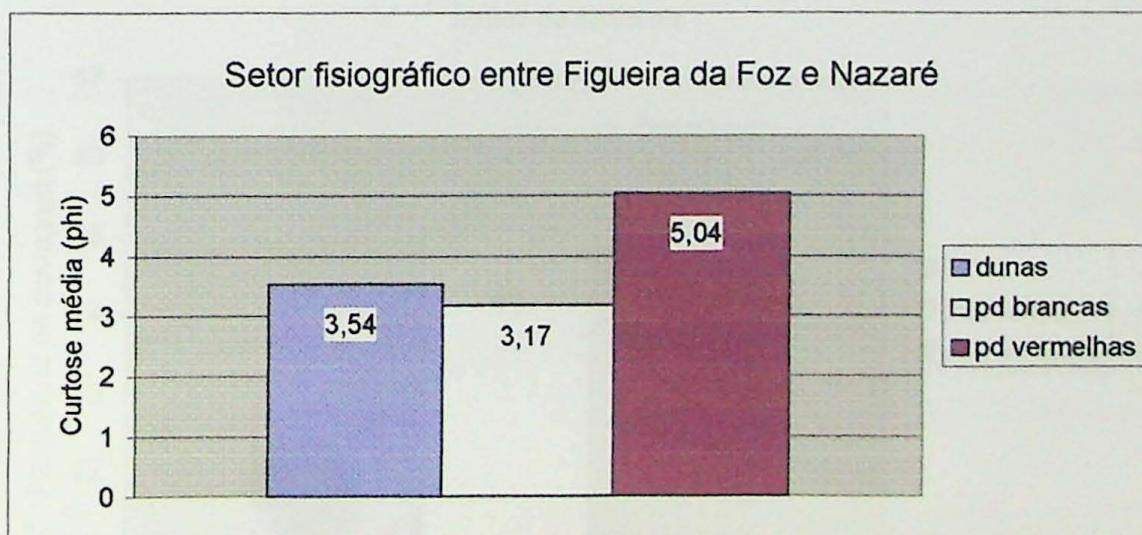


Figura 2.7.2.d. Comparação entre as gerações de dunas eólicas quanto ao valor médio da curtose da distribuição granulométrica (ϕ), no setor fisiográfico entre Nazaré e Figueira da Foz.

A comparação de índices de maturidade mineralógica foi aplicada apenas na localidade (São Pedro de Moel) em que houve amostragem das três gerações de dunas eólicas. O gráfico

comparativo de índice de minerais pesados ultraestáveis (ZTR) nesta localidade (Figura 2.7.2.e) apresenta redução do índice ZTR com aumento da idade da duna.

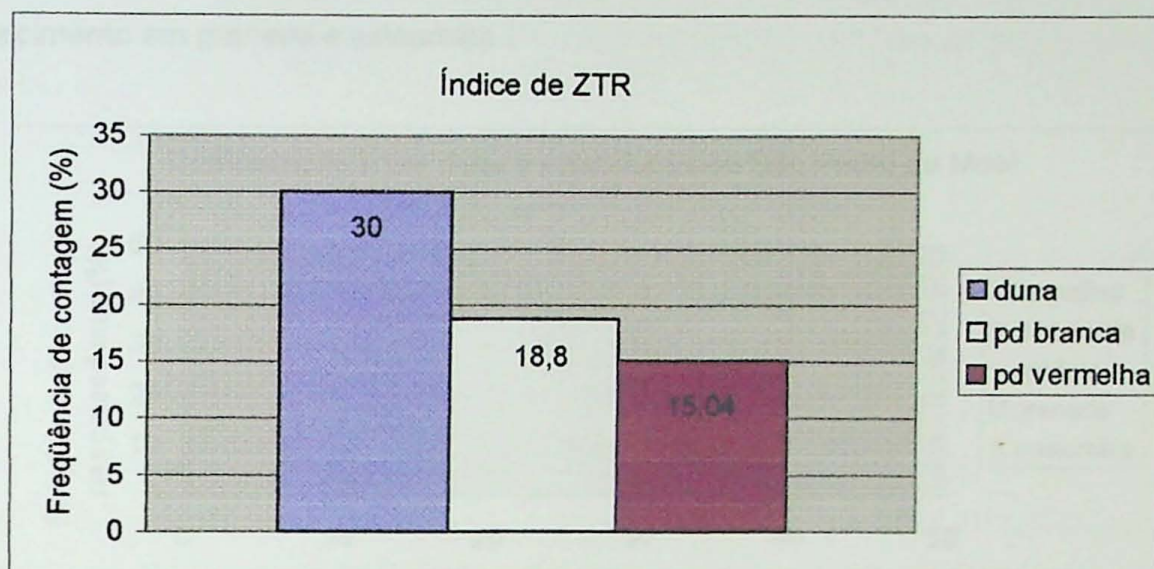


Figura 2.7.2.e. Comparação entre as gerações de dunas eólicas de São Pedro de Moel (km 187) quanto ao valor médio do índice somatório de minerais ultraestáveis (ZTR).

Comportamento inverso é encontrado no gráfico comparativo de índice de minerais pesados instáveis (Figura 2.7.2.f).

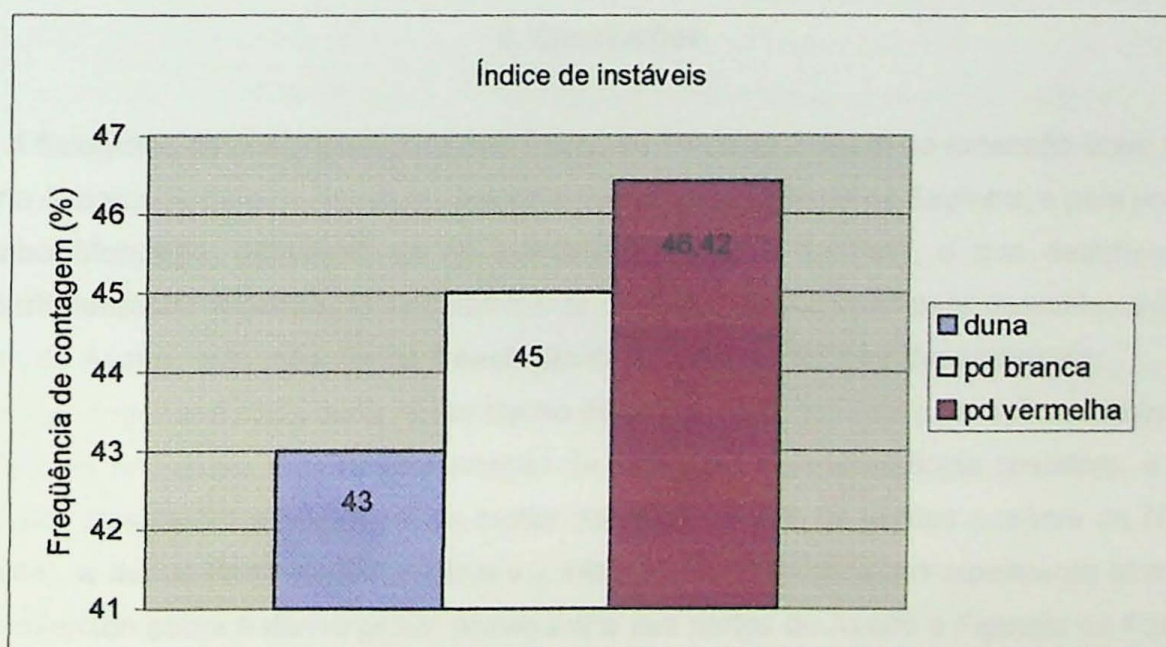


Figura 2.7.2.f. Comparação entre as gerações de dunas eólicas de São Pedro de Moel (km 187) quanto ao valor médio do índice somatório de minerais pesados instáveis.

Na comparação entre as dunas e paleodunas de São Pedro de Moel quanto à frequência percentual de contagem dos minerais pesados transparentes mais comuns (Figura 2.7.2.g), nota-se tendência de empobrecimento das paleodunas em epídoto e turmalina e de enriquecimento em granada e estauroлита.

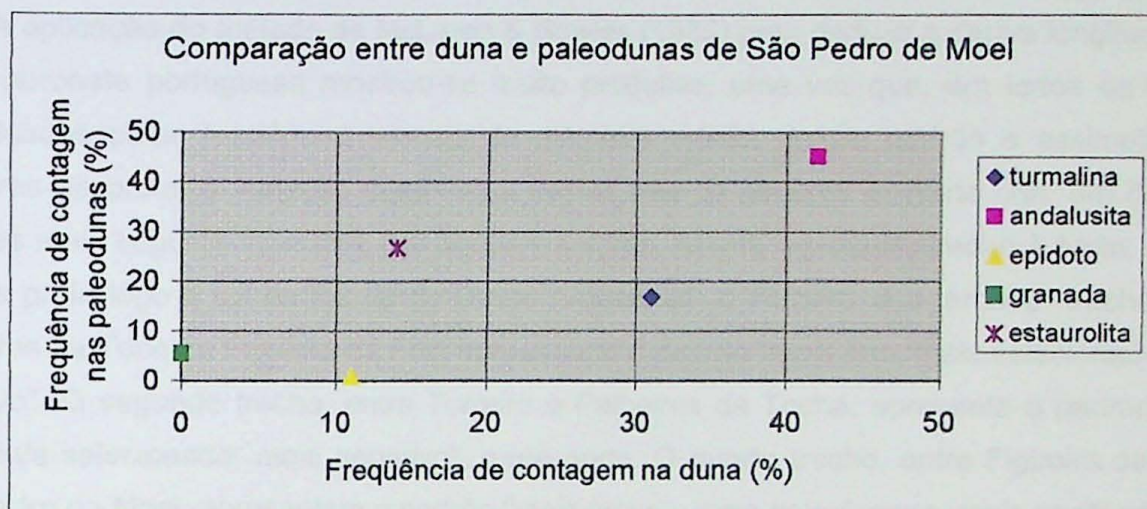


Figura 2.7.2.g. Gráfico binário de dispersão entre dunas e paleodunas, amostradas na região de São Pedro de Moel (km 187), quanto a frequências de contagem dos cinco minerais pesados predominantes. Notar presença exclusiva de granada nas dunas antigas

3. Conclusões

A fisiografia da costa portuguesa no trecho de cerca de 210 km de extensão entre Nazaré e Porto é marcada pela mudança brusca de orientação, na latitude de Espinho, e pela presença do cabo Mondego, adjacente ao rio homônimo (Figueira da Foz), o que determina uma compartimentação tripartite. O compartimento central é subdividido pela desembocadura da laguna do Aveiro, esta mais ligada à evolução holocênica de feições deposicionais.

A morfogênese praia-duna nesse trecho de costa é determinada pela ação combinada de seis fatores principais: a compartimentação da fisiografia e geomorfologia costeiras, o aporte fluvial dos rios Douro e Mondego, as ondas de *swell* de NW, os ventos *onshore* de N e NW (*nortada*), a deriva litorânea longitudinal e a interferência antrópica, principalmente através do efeito exercido sobre a deriva pelos molhes norte dos portos de Aveiro e Figueira da Foz.

O resultado da análise multivariada de agrupamento quanto a critérios granulométricos em 18 praias deste trevo costeiro permite dividi-las em dois grupos maiores. O primeiro corresponde a praias de areias relativamente mais grossas e bem selecionadas, incluindo as situadas entre Valadares e Miramar (ou setor fisiográfico extremo norte) e entre São Jacinto e Figueira da Foz (parte sul do setor intermediário ou de Aveiro), mais a de Nazaré. O segundo

grupo abrange as praias compreendidas entre Espinho e Torreiro (parte norte do setor fisiográfico do Aveiro) e entre Hospital e São Pedro de Moel (ou setor fisiográfico extremo sul). A aplicação de teste qui-quadrado confirma o ajuste estatístico entre os agrupamentos de amostras de praia por critérios granulométricos e os setores fisiográficos ao longo da costa estudada.

A aplicação do método de McLaren & Bowles (1985) para deduzir a deriva longitudinal na costa noroeste portuguesa mostrou-se muito produtiva, uma vez que, em todos os trechos identificados pelas tendências visuais de diâmetro médio, desvio padrão e assimetria das amostras de praia, a variação combinada destes três parâmetros coincide com um dos dois padrões mais seguros indicados por aqueles autores. Assim, o primeiro trecho à norte, situado entre a praia logo a sul da foz do rio Douro (Valadares) e Torreiro, e o terceiro trecho, entre Palheiros da Tocha e Figueira da Foz, apresentam o padrão “mais fino, mais selecionado, mais negativo”. O segundo trecho, entre Torreiro e Palheiros da Tocha, apresenta o padrão “mais fino, mais selecionado, mais negativo”, rumo norte. O quarto trecho, entre Figueira da Foz e São Pedro de Moel, apresentam o padrão “mais grosso, mais selecionado, mais positivo”, rumo sul.

Admitida deriva litorânea regional para sul, idéia bastante aceita na bibliografia sobre a costa portuguesa, o padrão de variação granulométrica aparentemente sugestivo de deriva invertida, rumo norte, entre Torreiro e Palheiros da Tocha, pode ser herança da dinâmica sedimentar pretérita existente em tempo histórico (anterior ao século XV, segundo Dias *et al.* 2000), isto é, do crescimento rumo sul do esporão ou barreira arenosa que delimitou a laguna do Aveiro, processo iniciado no século X e acelerado por indução antrópica a partir do século XV.

Os teores de minerais pesados superiores a 2% nas frações areia fina e areia média foram encontrados, respectivamente, em sete e em seis das praias estudadas ao longo da costa portuguesa. Estas praias têm como características em comum os fatos de se localizarem nas proximidades (geralmente a sul) de grandes desembocaduras fluviais (Douro e Mondego) ou lagunares (Aveiro) e de apresentarem, no setor, concentração decrescente rumo sul. Estas características conduzem à interpretação de que a distribuição dos minerais pesados é controlada pela renovação de aporte primário, a partir dos grandes rios, e pela dispersão através da deriva litorânea rumo sul: os minerais mais densos seriam retidos preferencialmente a barlar das correntes de deriva, dentro de cada setor. Interpretação alternativa, não excludente, é a de que a maior concentração de minerais pesados nas praias a sul de desembocaduras esteja ligada à vocação erosiva dessas praias, em virtude da inanição (bloqueio de deriva longitudinal) provocada pelo efeito molhe.

Consideradas em conjunto, as praias com teor em massa de minerais pesados acima de 2% apresentam descendência na concentração rumo sul nas porcentagens de minerais pesados, minerais opacos, granada (componentes mais densos) e ascendência rumo sul de andalusita e turmalina, o que também estaria relacionado à seleção hidráulica pela deriva litorânea longitudinal neste rumo, neste caso em escala regional. A ausência de minerais de densidade elevada na fração areia média pode ser atribuída tanto à indisponibilidade destes minerais na rocha fonte primária, nessa granulometria, como à sua retenção preferencial, por seleção hidráulica, nos rios que drenam estas rochas.

O transporte de sedimentos das praias para as dunas frontais é seletivo, deixando na área fonte a fração areia muito grossa. Apesar disso, o comportamento espacial das dunas frontais quanto a granulometria, principalmente diâmetro médio, é semelhante ao de suas respectivas áreas fontes praias.

Comparando as três gerações de dunas (dunas frontais atuais, paleodunas brancas, paleodunas vermelhas) nos setores fisiográficos entre Espinho e Figueira da Foz e entre Figueira da Foz e Nazaré, em termos de valor médio, observa-se tendência de afinamento do diâmetro médio, diminuição do desvio padrão e aumento da assimetria dos depósitos supostamente mais antigos para os mais novos, isto é, das paleodunas vermelhas para as dunas frontais atuais.

Os depósitos eólicos atuais e antigos da costa noroeste portuguesa apresentam, do ponto de vista mineralógico, decréscimo rumo sul na concentração de minerais pesados totais, bem como de pesados opacos, metaestáveis e transparentes com densidade alta (maior que 3,35 a 3,75). Em contraposição, apresentam aumento rumo sul na concentração de minerais pesados instáveis e transparentes de menor densidade.

O comportamento mineralógico dos depósitos eólicos atuais e antigos ao longo da costa portuguesa é muito similar ao das praias atuais. Este fato pode ser considerado evidência de que a seleção hidráulica/aerodinâmica ao longo do transporte sedimentar resultante para sul já atuava nos sistemas praia-duna antigos.

Em Torreiro, observa-se, dos depósitos eólicos supostamente mais antigos para os mais novos, tendência de diminuição do índice de minerais pesados ultraestáveis (ZTR), granada, e epidoto e de aumento na porcentagem de minerais instáveis e andalusita. Em São Pedro de Moel, onde as paleodunas, principalmente as vermelhas, se encontram apoiadas ou empoleiradas no embasamento, as tendências são opostas.

4. Referências bibliográficas

- CARVALHO, G.S. 1988. Research on the coastal zone of Minho, NW Portugal. *J. Coastal Research*, **3**: 53-55.
- DIAS, J.M.A; BOSKI, T.; RODRIGUES, A.; MAGALHÃES, F. 2000. Coastal line evolution in since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology*, **170** (2000): 177-186
- GIANNINI, P.C.F. & SUGUIO, K. 1994. Diferenciação entre gerações de depósitos eólicos quaternários da costa centro-sul de Santa Catarina. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38, Balneário Camboriú. *Bol. Resumos Expandidos...* SBG, Florianópolis, v.1, p. 402-403.
- GIANNINI, P.C.F.; MACHADO, J.A.; SANTOS, E.R. 2003. Propriedades granulométricas no sistema praia-duna ao longo da costa noroeste portuguesa, de Porto a Nazaré. In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, E CONGR. DO QUATERN. DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 2, Recife, PE. Recife, ABEQUA, *Anais...* (cd).
- GRANJA, H.M. & CARVALHO, G.S. 1993. As datações pelo radiocarbono e o Plistocênico-Holocênico da zona costeira do NO de Portugal (síntese de conhecimentos). In: REUNIÃO DO QUATERNÁRIO IBÉRICO, 3, Coimbra, 1993. *Comunicações...*
- GRANJA, H.M. & CARVALHO, G.S. 1994. How can the Holocene help to understand coastal zone evolution? (The example of the NW coastal zone of Portugal). In: INTERN. SYMP. EUROCOAST, 2 - LITTORAL 94, Lisboa, 1994. *Proceedings...* Lisboa, Eurocoast, v.1, p.149-167.
- GRANJA, H.M.; GOMES, P.; CARVALHO, G.S. 1995. Morfologia e cronologia dos sistemas dunares da zona costeira noroeste de Portugal. *Memória do Museu Mineral. e Geol. da Fac. de Ciências da Univ. do Porto*, **4**:417-420.
- GRANJA, H.M. & CARVALHO, G.S. 1995. Sea-level changes during the Pleistocene-Holocene in the NW coastal zone of Portugal. *Terra Nova*, **7**(1):60-67.
- GRANJA, H.M. & DE GROOT, A.M. 1996. Sea-level rise and neotectonism in a Holocene coastal environment at Cortegaça Beach (NW Portugal): a case study. *Jour. of Coastal Research*, **12**(1):160-170.
- HESP, P.A. 1988. Morphofology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in Southeast Austrália. *Sediment. Geol.*, **55**(1/2):17-41.
- MOREIRA, M.E.S.A. 1988. Seasonal processes on the beach-dune system on the Western Coast of Portugal. *J.Coastal Research*, **3**: 47-51.
- RIBEIRO, A.; CONDE, L.; MONTEIRO, J. 1979. *Carta Tectônica de Portugal*. Lisboa, Serviços Geológicos. Mapa 1:1.000.000.

- SAWAKUCHI, A.O.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T. 2003. Episódios de deposição eólica quaternária no litoral centro-sul de Santa Catarina: correlação com variações do nível relativo do mar baseada em idades TL e LOE. In: CONGR. ASSOC. BRASIL. DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, Recife, PE. Recife, ABEQUA, *Resumos Expandidos* (aceito). 5p.
- SUGUIO, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?)*. São Paulo, Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, p.149-150.
- TEIXEIRA, C. 1972 (coord.). *Carta Geológica de Portugal*. Lisboa, Serviços Geológicos, 4 ed. 2 mapas 1:500.000.

Páginas de endereços eletrônicos (Internet)

- <http://www.letas.up.pt/geograf/geofis/t1.html> - Pertencente à Faculdade de Geografia e Geofísica (FGG) da Universidade do Porto em Portugal, 2003.
- http://www.inag.pt/inag2001/pna_v1/v1_c2_t05.pdf - Pertencente ao Instituto Nacional de Águas (INAG) em Portugal
- <http://www.uc.pt/cienterra/ect/2003exc3.pdf> - Pertencente ao Centro de Geociências (CG) da Universidade de Coimbra em Portugal.
- <http://www.portodeaveiro.pt/html/visita~virtual.html> - Pertencente ao Porto do Aveiro em Portugal, 2005.
- <http://www.portodeaveiro.pt/Pressreleases/ArtigosAreias1b.htm> - Pertencente ao Porto do Aveiro em Portugal, 2004.
- <http://www.snrlit.inag.pt/> - Pertencente ao Sistema Nacional de Informação do Recurso Litorânea (SNRLIT) em Portugal.

5. Anexos

Tabela 5a. Resultados de análise granulométrica em amostras de face praia

CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												RELAÇÃO FINO/GROSSO	
	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO		AREIA				PELÍTICOS				TOTAL	RELATO		
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA			TOTAL	
PT- 01p	-0.44	0.85	0.69	2.25	0.00	38.84	38.84	32.53	22.82	5.66	0.13	0.02	61.16	0.00	0.00	0.0000		
PT- 02p	0.00	0.74	-0.44	2.17	0.00	16.75	16.75	20.64	58.02	4.57	0.03	0.00	83.25	0.00	0.00	0.0000		
PT- 03p	-0.64	0.73	1.32	4.72	0.00	42.78	42.78	40.42	14.32	2.02	0.37	0.09	57.22	0.00	0.00	0.0000		
PT- 04 p	-0.69	0.61	1.00	3.33	0.00	42.05	42.05	45.93	11.48	0.51	0.02	0.00	57.95	0.00	0.00	0.0000		
PT- 05p	0.71	0.33	-0.88	7.02	0.00	0.20	0.20	1.46	85.06	13.27	0.02	0.00	99.80	0.00	0.00	0.0000		
PT- 06p	1.28	0.36	-0.04	4.64	0.00	0.00	0.00	0.09	17.89	80.27	1.71	0.03	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 07p	1.00	0.60	0.38	3.26	0.00	0.10	0.10	1.28	50.64	41.41	6.54	0.02	99.90	0.00	0.00	0.0000		
PT- 09p	1.11	0.42	-0.89	5.47	0.00	0.11	0.11	2.19	31.04	66.13	0.52	0.00	99.89	0.00	0.00	0.0000		
PT- 10p	0.55	0.74	-0.76	3.30	0.00	6.11	6.11	10.86	53.62	29.18	0.23	0.00	93.89	0.00	0.00	0.0000		
PT- 11p	0.08	0.95	-0.18	1.66	0.00	23.35	23.35	21.83	36.38	18.27	0.17	0.00	76.65	0.00	0.00	0.0000		
PT- 12p	-0.72	0.65	0.86	2.64	0.00	51.50	51.50	28.26	19.56	0.63	0.04	0.00	48.50	0.00	0.00	0.0000		
PT- 13p	-0.64	0.71	0.94	2.74	0.00	45.89	45.89	35.67	16.75	1.69	0.00	0.00	54.11	0.00	0.00	0.0000		
PT- 14p	-0.59	0.68	0.23	1.28	0.00	47.28	47.28	19.35	33.31	0.05	0.01	0.00	52.72	0.00	0.00	0.0000		
PT- 15p	1.53	0.45	-0.27	2.87	0.00	0.00	0.00	0.00	10.91	75.49	13.60	0.00	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 16p	1.10	0.59	-0.68	4.21	0.00	0.76	0.76	2.13	35.68	58.00	3.43	0.00	99.24	0.00	0.00	0.0000		
PT- 17p	0.58	0.42	-0.66	4.21	0.00	0.16	0.16	11.11	79.86	8.74	0.13	0.00	99.84	0.00	0.00	0.0000		
PT- 18p	0.26	0.68	0.44	2.57	0.00	0.67	0.67	44.60	40.56	13.63	0.54	0.00	99.33	0.00	0.00	0.0000		
MÁXIMO	1.53	0.95	1.32	7.02	0.00	51.50	51.50	45.93	85.06	80.27	13.60	0.09	100.00	0.00	0.00	0.00		
MÍNIMO	-0.72	0.33	-0.89	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	10.91	0.05	0.00	0.00	48.50	0.00	0.00	0.00		
MÉDIA	0.26	0.62	0.06	3.43	0.00	18.62	18.62	18.73	36.35	24.68	1.62	0.01	81.38	0.00	0.00	0.00		
DESVIO PADR	0.76	0.17	0.71	1.42	0.00	20.39	20.39	16.15	22.01	27.57	3.42	0.02	20.39	0.00	0.00	0.00		

Tabela 5b. Resultados de análise granulométrica em amostras de dunas frontais incipientes

CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)													RELAÇÃO FNO/GROSSO
	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO			ÁREA					PELÍTICOS					
					SEXOS	GRÃNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	TOTAL			
	PT-01 d	1.07	0.32	0.32	4.31	0.00	0.00	0.00	0.02	41.03	58.51	0.40	0.03	99.99	0.00	0.01	0.0001	
	PT-02 d	1.38	0.39	0.39	3.96	0.00	0.00	0.00	0.00	12.45	82.27	5.22	0.06	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-03 d	1.07	0.41	0.11	6.67	0.00	0.17	0.17	0.15	40.80	57.50	1.21	0.17	99.83	0.00	0.00	0.0000	
	PT-04 d	0.95	0.36	-0.06	4.87	0.00	0.00	0.00	1.24	54.94	43.33	0.46	0.02	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-05 d	0.86	0.31	-0.32	4.87	0.00	0.00	0.00	1.28	68.28	30.36	0.08	0.00	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-06 d	1.57	0.55	0.42	4.17	0.00	0.00	0.00	0.46	9.48	71.82	16.33	1.92	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-07 d	1.48	0.41	0.63	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	7.20	82.12	10.56	0.12	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-09 d	1.46	0.34	0.53	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	89.99	5.07	0.05	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-10 d	1.55	0.33	0.51	3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	90.62	7.83	0.04	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-11 d	1.76	0.45	-0.08	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	3.93	67.00	28.88	0.19	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-12 d	1.51	0.45	1.81	9.11	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	87.28	6.36	1.76	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-13 d	1.06	0.44	0.14	3.11	0.00	0.00	0.00	0.15	44.18	54.24	1.41	0.02	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-15 d	1.83	0.35	-0.10	3.48	0.00	0.00	0.00	0.02	0.79	68.71	30.33	0.15	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-16 d	1.68	0.41	-0.25	4.06	0.00	0.00	0.00	0.10	3.60	76.31	19.91	0.08	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	PT-17d	1.07	0.60	-0.10	3.09	0.00	0.00	0.00	5.55	40.40	48.42	5.55	0.07	100.00	0.00	0.00	0.0000	
	MÁXIMO	1.83	0.60	1.81	9.11	0.00	0.17	0.17	5.55	68.28	90.62	30.33	1.92	100.00	0.00	0.01	0.00	
	MÍNIMO	0.86	0.31	-0.32	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	30.36	0.08	0.00	99.83	0.00	0.00	0.00	
	MÉDIA	1.35	0.41	0.26	4.36	0.00	0.01	0.01	0.60	22.54	67.23	9.31	0.31	99.99	0.00	0.00	0.00	
	DESVIO PADRÃO	0.30	0.08	0.51	1.56	0.00	0.04	0.04	1.39	22.16	17.60	9.73	0.60	0.04	0.00	0.00	0.00	

Tabela 5c. Resultados de análise granulométrica em amostras de paleodunas

CÓDIGO DA AMOSTRA	PARAMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)											RELAÇÃO FNO/GROSSO		
	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO			TOTAL	AREIA			PELÚTICOS			TOTAL			
					SEIXOS	GRÂNULOS	TOTAL		MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL			ARGILA	TOTAL
PT- 06 pd	1.49	0.44	0.53	3.87	0.00	0.00	0.00	0.15	8.15	80.04	11.53	0.13	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 07 pd	1.47	0.51	-0.11	3.76	0.00	0.00	0.00	0.24	14.36	72.22	12.84	0.35	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 08 pd	1.28	0.40	0.24	4.15	0.00	0.00	0.00	0.39	20.72	74.47	4.40	0.02	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 09 pd	1.46	0.46	0.20	3.30	0.00	0.00	0.00	0.03	13.25	74.90	11.67	0.15	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 09 pd2	1.19	0.64	0.50	4.21	0.00	0.00	0.00	3.09	36.94	49.31	9.45	1.20	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 12 pd	1.39	0.45	0.39	3.67	0.00	0.00	0.00	0.20	16.19	74.36	9.11	0.15	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 16 pd	1.86	0.42	0.42	4.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	66.46	31.91	0.92	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 17 pd	1.37	0.46	0.35	3.32	0.00	0.00	0.00	0.00	18.78	72.22	8.91	0.09	100.00	0.00	0.00	0.0000		
PT- 17 pd2	1.50	0.78	-1.04	5.07	0.00	1.51	1.51	4.02	13.24	56.96	23.12	1.15	98.49	0.00	0.00	0.0000		
MÁXIMO	1.86	0.78	0.53	5.07	0.00	1.51	1.51	4.02	36.94	80.04	31.91	1.20	100.00	0.00	0.00	0.00		
MÍNIMO	1.19	0.40	-1.04	3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	49.31	4.40	0.02	98.49	0.00	0.00	0.00		
MÉDIA	1.44	0.51	0.16	3.98	0.00	0.17	0.17	0.90	15.81	68.99	13.66	0.46	99.83	0.00	0.00	0.00		
DESVIO PADRÃO	0.18	0.12	0.46	0.53	0.00	0.47	0.47	1.44	9.32	9.28	8.02	0.46	0.47	0.00	0.00	0.00		

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>24/03/06</i>

Tabela 5.d. Teste qui-quadrado entre a distribuição espacial dos dois grupos de praias (determinados por análise de agrupamento) e a compartimentação fisiográfica-geomorfológica da costa noroeste portuguesa (região)

Estatísticas tabeladas: região, agrupamento

	Linhas: Região		Coluna Agrupamento
	1	2	Total
A	4	0	4
	4	0	4
B	0	4	4
	0	4	4
C	5	0	5
	5	0	5
D	1	3	4
	1	3	4
Total	10	7	17
	10	7	17

Qui-quadrado = 13,904; graus de liberdade = 3; $\alpha = 0,003$
 8 células com contagem esperada menor que 5.0

