

Características geomorfológicas e interpretação da evolução do campo dunar eólico na zona costeira entre a Figueira da Foz e a Nazaré

José N. André¹, Pedro P. Cunha^{1,2}, Jorge Dinis^{1,2}, Pedro Dinis^{1,2} & Fátima Cordeiro³

¹IMAR – Centro Interdisciplinar de Coimbra. Grupo de investigação – Sistemas sedimentares, Hidrodinâmicas e Transformações globais.

²Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.

³Escola Secundária de Vieira de Leiria

Resumo: A zona costeira ocidental de Portugal apresenta, entre o Cabo Mondego e o promontório da Nazaré, uma cobertura de areias eólicas que se estende até 13 km para o interior, organizada em grande parte num campo dunar. As características morfo-sedimentares, identificadas por análise de fotografias aéreas e reconhecimento de campo, foram usadas para propor a definição de três formações eólicas (FE1, FE2 e FE3). As duas formações mais antigas apresentam, no topo, paleossolos de tipo podzol com horizonte B endurecido. É provável que os períodos de actividade eólica correspondam a: FE1 – Plistocénico final (Pleni-Glaciário a Tardi-Glaciário würmiano; 30 a 15 ka); FE2 – Holocénico inicial a médio (Pré-Boreal a Sub-Boreal; 10 a 3 ka); FE3 – idade Média à actualidade (1,4 ka à 1ª metade do Século XX), com um máximo de actividade durante a Pequena Idade do Gelo. A formação eólica mais antiga ocupa a faixa mais oriental, apresenta uma morfologia aplanada, eventualmente incluindo dunas mal definidas, e está intensamente agricultada. As formações FE2 e FE3 compreendem abundantes dunas lineares e algumas dunas parabólicas. A estabilização antrópica das dunas ter-se-á iniciado por volta do séc. XIII com sementeiras de *Pinus pinaster* (início da formação do Pinhal do Rei). O predomínio de dunas lineares, com cristas simétricas segundo WNW-ESE, permite supor uma génese por ventos com rumos alternantes de NNW e WSW, em contraste com o regime actual de ventos proveniente, essencialmente, de norte e de NW.

Abstract: The western coastal zone of Portugal between the Mondego and Nazaré capes has an aeolian sand cover, most of it with a preserved sand dune field, probable from late Pleistocene to Holocene age and extending inland up to 13 km. A morpho-sedimentary study based in aerial photos and field work was used to propose the definition of three aeolian formations (FE1, FE2 and FE3). The two older formations show at the top a podzol-soil with a hardened B-horizon. It is probable that the periods of aeolian activity correspond to: FE1 – Latest Pleistocene (Last Glacial Maximum; 30 a 15 ka); FE2 – early to middle Holocene (Pre-Boreal to Sub-Boreal; 10 to 3 ka); and FE3 – Medieval age to the present (1.4 ka until the first half of the 20th century), with a climax during the Little Ice Age. The oldest aeolian unit outcrops as an eastern belt, has a smooth morphology – possibly including flattened dunes – and is intensely farmed. The FE2 and FE3 formations essentially comprise linear dunes and some parabolic dunes. Anthropogenic stabilization probably started around the 13th century with *Pinus pinaster* planting (early stages of the “Pinhal do Rei” forest). The abundance of WNW-ESE linear dunes suggests a genesis by the conjugation of two seasonal wind directions, respectively NNW and WSW, contrasting with present Northern and NW winds.

Palavras-chave: Cartografia geomorfológica, dunas costeiras, Plistocénico, Holocénico.

Keywords: Geomorphological cartography, coastal dunes, Pleistocene, Holocene.

1. Introdução e enquadramento morfológico e geológico

A zona costeira atlântica de Portugal apresenta extensos campos dunares eólicos, em grande parte com cobertura de pinhal (dominando *Pinus pinaster*). Existem diversificadas morfologias que, em grande parte, ainda não se encontram significativamente afectadas por acções humanas. Assim, oferecem boas condições para o estudo das características morfo-sedimentares e interpretação das condições ambientais que controlaram a sua génese. As dunas mais comuns apresentam-se alongadas E-W a NW-SE, tendo sido classificadas quer como oblíquas (Bettencourt & Ângelo, 1992; Almeida, 1995; Dinis, 1997), quer como transversas (Bettencourt & Ângelo, 1992; André, 1996; Noivo, 1996; Bernardes *et al.*, 2001; Clarke & Rendell, 2006). As formações eólicas estão intercaladas com sedimentos lacustres, níveis orgânicos e paleossolos (Castilho *et al.*, 2007).

A presente contribuição sumaria o estado de conhecimentos e identifica várias fases da construção do sistema dunar da zona costeira de Portugal central. A área de estudo insere-se numa planície costeira, delimitada a norte pela Serra da Boa Viagem, a sul pela Serra das Pescarias e a nascente pelos maciços de Condeixa-Sicó e Candeeiros. As areias eólicas cobrem, essencialmente, uma superfície formada por unidades plio-pleistocénicas. O substrato meso-ceno-

zóico encontra-se significativamente basculado e afectado por falhas. Onde a cobertura de areias eólicas é pouco espessa, afloram rochas mesozóicas, sobretudo sedimentares, mas incluindo ígneas, nomeadamente ao longo do ribeiro de Moel e a oriente e sul da Praia do Pedrógão. As arribas são formadas por unidades mesozóicas nas praias do Pedrógão e, no sector de S. Pedro de Moel, entre a desembocadura do ribeiro de Moel (Praia Velha) e o Vale de Paredes (Senhora da Vitória; Fig. 1). A sul deste vale predomina o Paleogénico.

2. Características do campo dunar eólico

A planície litoral da região estudada apresenta um dos referidos extensos campos dunares eólicos da bordadura atlântica de Portugal. O limite oriental das areias eólicas atinge um afastamento máximo da costa de cerca de 13 km a norte da Lagoa da Ervedeira (Fig. 1). A cobertura de areias é menos espessa ao longo dos cursos de água, que até as interrompem, como sucede no antigo leito de cheia do rio Lis (André *et al.*, 2001). Na área de estudo, a caracterização da morfologia dunar foi efectuada por análise de fotografia aérea vertical (cobertura de 1989), complementada por reconhecimento de campo. Foram identificadas três formações eólicas (Fig. 1), que se dispõem segundo faixas paralelas à

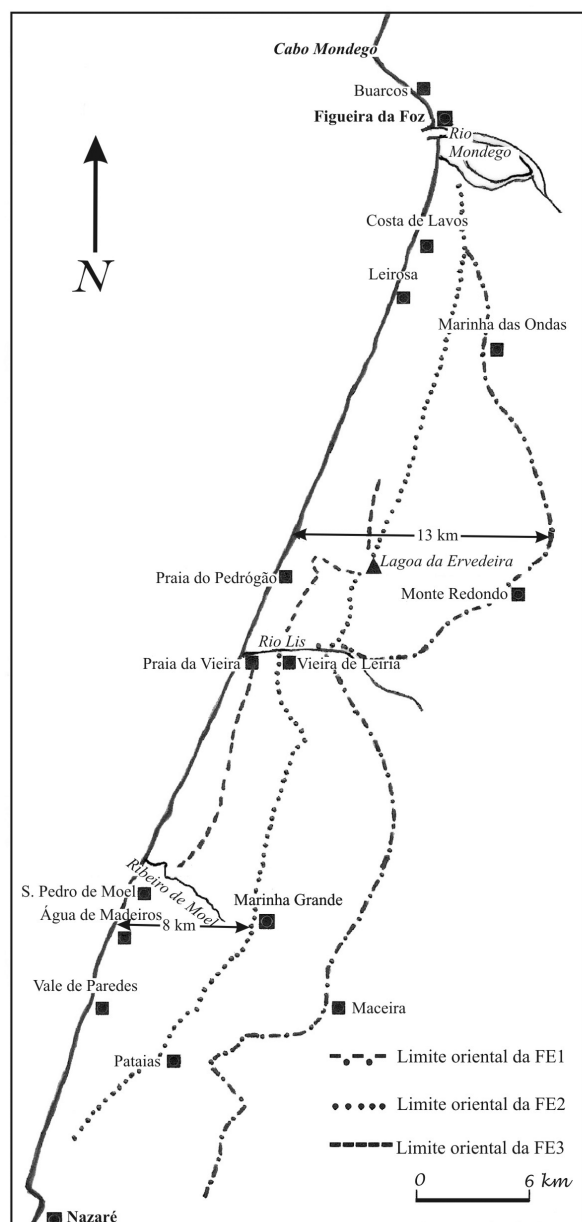


Figura 1 – Distribuição geográfica das formações eólicas e locais referidos no texto.

linha de costa e que se descrevem nos parágrafos seguintes. A formação eólica que aflora mais a oriente (FE1) apresenta uma topografia aplanada, eventualmente uma morfologia dunar muito esbatida. No topo, esta formação apresenta um paleosolo ferro-húmico, de tipo podzol, que pode atingir 1 m de espessura. Na região, este paleosolo é conhecido por “surraipa”, tendo servido de material de construção, nomeadamente em habitações.

Sobrepondo-se à formação FE1, e aflorando numa faixa situada imediatamente para ocidente desta, a formação eólica FE2 exhibe dunas lineares alongadas segundo WNW-ESE. Esta formação apresenta, no topo, um solo de tipo podzol pouco desenvolvido. O seu limite oriental alcança um afastamento máximo da costa de cerca de 8 km (Fig. 1). Na área entre o rio Lis e o ribeiro de Moel, observam-se, na formação FE2, dois cordões dunares paralelos à linha de costa.

A unidade FE3 inicia-se, a oriente, por um cordão dunar

sentivelmente paralelo à linha de costa, atingindo uma altitude máxima de cerca de 150 m. Este cordão inclui dunas com morfologia parabólica, atingindo 80 m de altura e eixo de desenvolvimento para SE. A sul do ribeiro de Moel, não ocorre a FE3 perde definição, enquanto que unidade FE2 alcança a costa.

O esboço morfológico das Matas Nacionais do Pedrógão e de Leiria (Fig. 2) mostra que as formações eólicas FE2 e FE3 apresentam um predomínio de dunas lineares com cristas WNW-ESE, que chegam a atingir 2 km de comprimento. A observação de campo documenta que as dunas são simétricas em cortes transversais, apresentando os dois flancos inclinações semelhantes. A norte do ribeiro de Moel, na área compreendida entre os aceiros K e O e os arrifes 22 e 18, existem dunas parabólicas.

A formação eólica FE3 prolonga-se, para ocidente, até à antepraia, onde apresenta um cordão dunar antrópico. Este cordão longilitoral resulta da instalação de um ripado, depois de várias tentativas infrutíferas de fixação, por vegetação, das areias da orla marítima. A colocação deste ripado iniciou-se em 1863 na Mata Nacional de Leiria (Pinto, 1938). Nas últimas décadas, o cordão tem estreitado devido à erosão costeira, em resultado do défice arenoso deste troço de costa, ao mesmo tempo que a redução da área de praia diminuiu significativamente a alimentação das dunas, permitindo a erosão eólica. A movimentação, para oriente, da areia deste cordão dunar está a expor, em vários locais, o ripado no flanco ocidental. A erosão eólica localizada está ainda a gerar corredores de deflação no cordão, com formação de dunas parabólicas a sotavento, o que facilitará galgamentos marinhos.

Os registos dos postos meteorológicos de S. Pedro de Moel (1964-1990) e Monte Real (1961-1990) indicam que as maiores velocidades e frequências do vento são de norte, NW e SW. Contudo, as recolhas de areias eólicas, efectuada durante 242 dias numa crista do cordão dunar frontal, foram maiores em armadilhas com abertura para norte e NW (André, 1996), o que indicia uma menor eficácia para a movimentação de areia das condições meteorológicas com ventos de SW associados a precipitação.

Na região em estudo, segundo o Ordenamento Florestal da Mata Nacional de Leiria de 1980, na década de 70 do Séc. XX desapareceu quase 50% da cobertura de pinheiros (por incêndio, por corte e por outras acções antrópicas), o que deve ter facilitado a movimentação das areias pelo vento (Cordeiro, 1999).

3. Génese e provável idade das unidades eólicas

O campo dunar eólico em análise apresenta sectores com distintas características morfológicas (Fig. 2), que se interpretam resultar de três principais fases de movimentação eólica (FE1, FE2 e FE3). Períodos com condições favoráveis à estabilização das dunas, por desenvolvimento da cobertura vegetal, estão representados por paleossolos de tipo podzol identificados no topo da FE1 e da FE2 e que nos parecem idênticos aos identificados por Almeida (1995) no campo dunar a Norte da Serra da Boa Viagem. O mais desenvolvido paleosolo situa-se na faixa oriental de areias, designada por Areias da Gândara por Carvalho (1954, 1964).

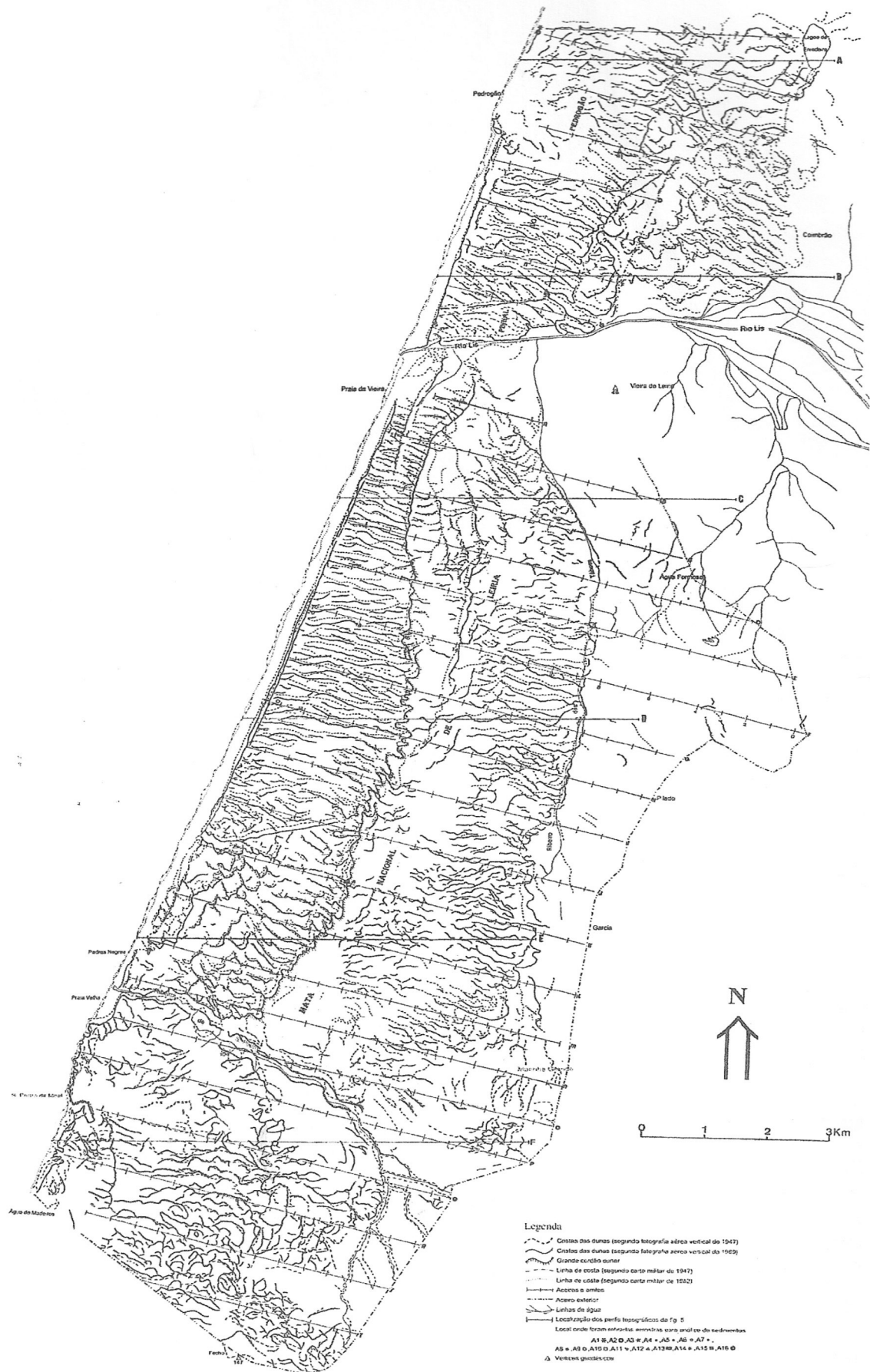


Figura 2 - Esboço morfológico das dunas das Matas Nacionais de Pedrógão e de Leiria, obtido a partir da análise da cobertura de fotografias aéreas verticais de 1989. Legenda: 1 - Lagoa; 2 - crista de duna; 3 - grande cordão dunar; 4 - linha de costa (carta militar de 1947); 5 - linha de costa (carta militar de 1982); 6 - aceiro ou arrife; 7 - aceiro exterior; 8 - linha de água; 9 - vértice geodésico.

Estas três fases de movimentação eólica poderão ser correlacionadas com as três fases identificadas, por Almeida (1995) e Noivo (1996), na morfologia dunar da área situada imediatamente a norte da Serra da Boa Viagem.

É provável que a extensa FE1 corresponda ao intervalo 30 a 15 ka, em que o baixo nível do mar expôs vastas planícies costeiras arenosas a fortes ventos de NW num contexto climático frio (Roucoux *et al.*, 2005; Naughton *et al.*, 2007). O espesso podzol, com horizonte B endurecido, no topo da FE1, registará um longo período sem significativa movimentação eólica mas com desenvolvimento de vegetação arbórea. Carvalho (1954, 1964) atribuiu as Areias da Gândara à glaciação würmiana porque intercalados nestas areias ocorriam ventifactos, artefactos Paleolíticos e depósitos periglaciários. A rápida subida do nível do mar que ocorreu há cerca de 14 a 10 ka atrás (Dias *et al.*, 2000), sub-

mergindo as prévias planícies de deflação, terá diminuído substancialmente a alimentação dos campos dunares.

A FE2 regista uma fase de movimentação eólica ulterior, em que o efeito da diminuição da força do vento, por melhoria climática (Pena *et al.*, 2007), foi compensado pela proximidade da linha de costa. Interpretamos que os sedimentos marinhos e lagunares estudados por Bernardes *et al.* (2001) na Costa de Lavos, com datações de 14C de 2950 e 2060 cal BP, serão equivalentes laterais do topo da FE2.

A FE3 deve representar condições climáticas associadas ao período Medieval, principalmente durante a Pequena Idade do Gelo, que seriam de temperaturas mais baixas que as actuais, associadas a vento forte e seco. Contudo, teriam existido significativas variações de humidade (Danielsen, 2008). O extenso campo de dunas lineares WNW-ESE, com flancos de igual inclinação, deve ter sido gerado por

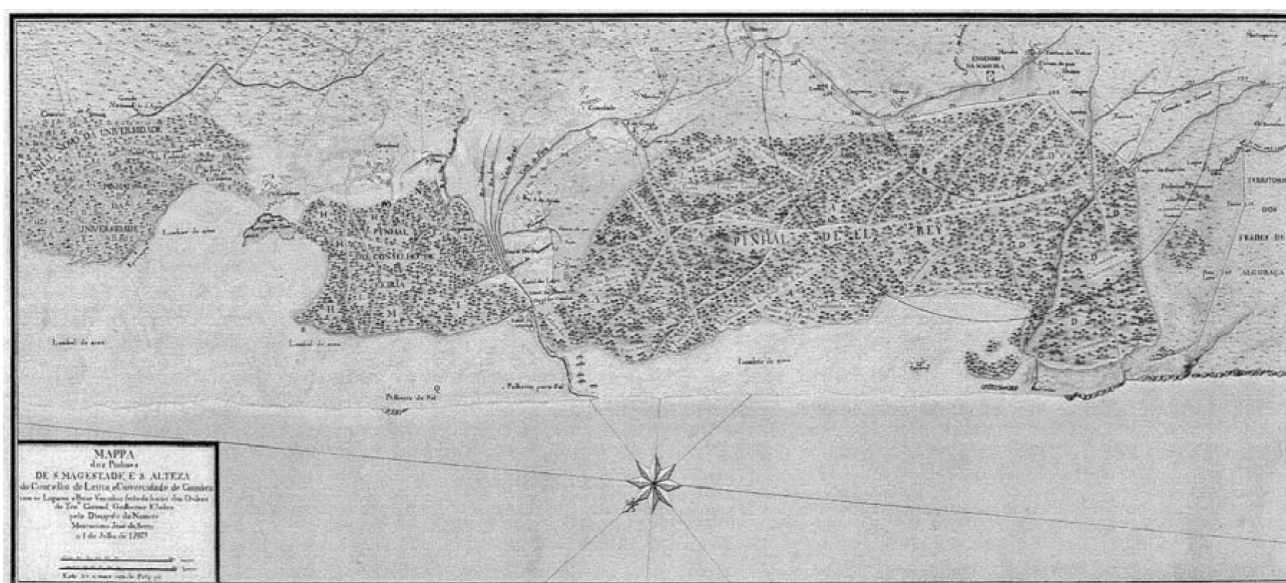


Figura 3 – “MAPPA dos Pinhães DE S. MAGESTADE E S. ALTEZA do Concelho de Leiria e Universidade de Coimbra, feito debaixo das ordens do Tenente Coronel Guilherme Elsdén pelo Discípulo do Numero Maximiano José da Serra, a 1 de Julho de 1769”.

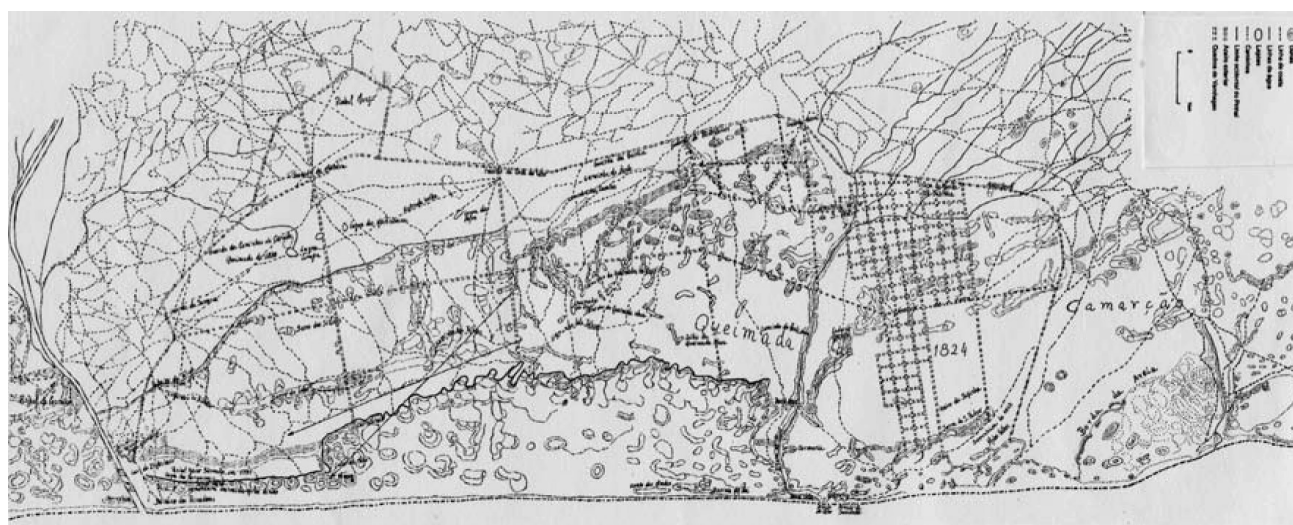


Figura 4 – Simplificação da “Carta Topographica do Pinhal de Leiria e seus arredores, levantada e desenhada sob a direcção do Coronel d’Engenheiros Friderico Luiz Guilherme de Varnhagen, pelos Segundos Tenentes d’Armada Francisco Maria Pereira da Silva, e Caetano Maria Batalha, 1841” (escala original 1/20.000, adaptada de André, 1996).

vento dominante de WNW mas com apreciável variação no rumo (rumos alternantes NNW e WSW).

O cordão dunar que margina, a leste, a unidade FE3 deverá corresponder a uma crista de obstáculo que se desenvolveu por acumulação de areia de encontro à orla ocidental de um pinhal bem desenvolvido, pois, em mapas de 1769 e 1841 (Figs. 3 e 4), o limite ocidental do pinhal coincide com a posição deste cordão dunar. Ainda na figura 4, pode ver-se que, nos cerca de 3 km a sul do rio Lis, também a antiga orla ocidental do pinhal e o referido cordão dunar se aproximam da costa. É provável que este pinhal tenha origem antrópica, ou, pelo menos, uma significativa contribuição, nomeadamente a intervenção tradicionalmente atribuída a D. Dinis e datada da transição dos Séc. XIII e XIV (André & Cordeiro, 1998), durante o Período Quente Medieval. Se assim for, corresponde a uma fase em que os ventos mais fracos eram menos propícios à movimentação das areias e a amenidade do clima propiciou a fertilidade, identificada em regiões vizinhas (Dinis *et al.*, 2006), que permitiu o crescimento dos pinhais, a expansão das áreas agrícolas que o pinhal devia proteger, e, ainda, o reforço da cobertura vegetal dos campos dunares, aumentando a sua estabilidade. A subsequente Pequena Idade do Gelo inverteu a situação, com ventos mais intensos e uma menor fertilidade, como indica também a amostra de pinheiro soterrado pelas areias da base da FE3 e que forneceu a idade 14C de 370 ± 40 anos BP (1580 ± 40 AD; André, 1996). Admitimos, também, pela semelhança morfológica, uma origem associada a limites estáveis do pinhal para os dois cordões dunares paralelos à linha de costa observados na formação FE2.

O facto de a unidade FE2 atingir a linha de costa, a sul do ribeiro de Moel, com um podzol no topo, pode ser atribuído à presença de pinhal contemporânea das fases activas da FE3, como parecem indiciar também as cartas representadas nas figuras 3 e 4. A evolução mais recente do campo dunar, correspondendo à génese da FE3, foi condicionada pelas sucessivas acções de fixação das dunas, desde o início da plantação do Pinhal do Rei (provavelmente na transição dos séculos XIII e XIV) até à instalação da paliçada (1863 a 1909). Actualmente, a movimentação de areia está a fazer-se, essencialmente, com ventos de Norte e de NW. O importante vento de SW está associado a perturbações da superfície frontal polar, verificando-se aguaceiros antes de ocorrerem rajadas, o que dificulta a movimentação de areia com este rumo.

Clarke & Rendell (2006) dataram, por luminescência de feldspato (IRSL), a formação eólica no topo da qual se encontra um desenvolvido podzol, indicando idades de 9,7 a 8,2 ka e identificaram significativas acreções dunares transgressivas aos 2,2 e 1,5 ka, tendo proposto que a fase mais recente de construção dunar datará de 1770-1905 AD, coincidindo com um domínio negativo do índice da Oscilação do Atlântico Norte, a que se seguiu uma acentuada movimentação eólica durante a Pequena Idade do Gelo (ventos fortes, abaixamento do nível do mar e provável desflorestação).

Sobre as dunas do NW de Portugal destacam-se os estudos de Granja & Carvalho (1992) e Granja *et al.* (1996). Recentemente, com base em datação por luminescência opticamente estimulada (OSL) em quartzo, Thomas *et al.*

(2008) identificaram os seguintes principais períodos de actividade eólica: 25 a 14 Ka, 9,9 a 3,4 Ka e 1,4 a 0,1 Ka, com um máximo de actividade eólica no final da Pequena Idade do Gelo. Granja *et al.* (2008), recorrendo a um número significativo de datações por 14C e OSL, num sector mais circunscrito da mesma região (praia de Maceda), identificam uma unidade eólica com 24 e 12 ka BP (eventualmente desde 30 ka BP), essencialmente associada ao pleni-glaciar a tardi-glaciar würmiano e que termina num espesso podzol, coberto por dunas sub-recentes (século XIX), provavelmente relacionadas com as condições climáticas e actividades antrópicas no final da Pequena Idade do Gelo. Segundo o mesmo estudo, o podzol tem idades entre 5 e 0,8 ka e corresponde a uma fase de não acreção eólica, sob cobertura florestal, que se poderá ter iniciado à 12 ka atrás. Note-se que uma reconstrução climática baseada em paleobotânica do hinterland da região em estudo (Figueiral & Terral, 2002) indica significativos aumentos de precipitação e temperatura entre o Último Máximo Glaciário e o início do Holocénico, o que terá favorecido a expansão florestal. Enquanto se aguardam os resultados da datação OSL, em curso, das areias do campo dunar a sul do cabo Mondego, os dados disponíveis sugerem-nos que as três fases de movimentação eólica, identificadas na área de estudo, poderão ter as seguintes idades: FE1 – Plistocénico final (pleni-glaciar a tardi-glaciar würmiano; 30 a 15 ka); FE2 – Holocénico inicial a médio (Pré-boreal a Sub-boreal; 10 a 3 ka); FE3 – Medieval à actualidade (1,4 ka à 1ª metade do Século XX), com um máximo de actividade durante a Pequena Idade do Gelo.

4. Conclusões

No campo dunar que se estende entre a Figueira da Foz e a Nazaré foram identificadas três fases principais de actividade eólica, separadas por períodos de desenvolvimento de coberto vegetal e formação de solos do tipo podzol.

Nas sucessivas fases de movimentação eólica, a penetração máxima para oriente foi-se reduzindo. Esta evolução deve reflectir, não só uma diminuição da energia do vento mas também, mais recentemente, intervenções antrópicas conducentes à fixação das dunas (por vegetação e paliçada).

Nas formações eólicas FE2 e FE3, o domínio de dunas lineares com cristas segundo WNW-ESE e flancos de igual inclinação, permite supor génese por ventos com rumos alternantes de NNW e WSW. Na actualidade, a movimentação de areias ocorre, essencialmente, com ventos de Norte e de NW.

Referências bibliográficas

- Almeida, A.C., 1995. As Dunas de Quiaios, Gândara e Serra da Boa Viagem. Uma abordagem ecológica da paisagem. Tese de Doutoramento, Univ. Coimbra, 305 p.
- André, J.N., 1996. Morfologia litoral da área compreendida entre o Cabo Mondego e S. Pedro de Moel. Tese de Mestrado, Univ. Coimbra, 164 p.
- André, J.N., Cordeiro, M.F.N., 1998. The importance of "Pinhal do Rei" in the settlement of the aeolic sands. EUROCOAST-PORTUGAL, pp. 3-27.
- André, J.N., Rebelo, F., Cunha, P.P., 2001. Morfologia dunar e movimentação de areias entre a lagoa da Ervedeira e o limite sul da Mata Nacional de Leiria. Territorium 8, 51-68.

- Bernardes, C.A., Noivo, L.M., Corrochano, A., 2001. Evolution of Holocene coastal dunes at Leirosa, south of Cape Mondego, Portugal. *Thalassas* 17, 47-56.
- Bettencourt, P., Ângelo, C., 1992. Faixa costeira Centro Oeste (Espinho - Nazaré): enquadramento geomorfológico e evolução recente. *Geonovas*, nº especial 1 (A Geologia e o Ambiente), 7-30.
- Carvalho, G.S., 1954. A Gândara (Portugal) e as Landes da Gasconha (França). *Memórias e Notícias, Museu Mineralógico e Geológico da Univ. Coimbra*, 37, 21-36.
- Carvalho, G.S., 1964. Areias da Gândara (Portugal). Uma formação eólica Quaternária. *Publicações do Museo Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*, 81 (4), 3-32.
- Castilho, A., Danielsen, R., Dinis, P., 2007. Palaeoenvironmental development of the Quiaios - Tocha dunes based on geological and palynological investigations. *Proceedings XXXV IAH Congress-Groundwater and Ecosystems*, 471. International Association of Hydrogeologists, Lisbon, Portugal, 1-8.
- Clarke, M.L., Rendell, H.M., 2006. Effects of storminess, sand supply and the North Atlantic Oscillation on sand invasion and coastal dune accretion in western Portugal. *The Holocene* 16, 341-355.
- Cordeiro, M.F.N., 1999. Mata Nacional de Leiria - exemplo histórico na fixação das areias eólicas e na prevenção de incêndios florestais. Tese de Mestrado, Univ. Coimbra, 184 p.
- Danielsen, R., 2008. Palaeoecological development of the Quiaios-Mira dunes, northern-central littoral. Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 152 (1-2). 74-99.
- Dias, J.M.A., Boski, T., Rodrigues, A., Magalhães, F., 2000. Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present - a synthesis. *Marine Geology* 170, 177-186.
- Dinis, P.A. (1997). *Dinâmica sedimentar e evolução do estuário do Lis*. Dissertação de Mestrado, Univ. Coimbra, 205 p.