

Actividade neotectónica na região do Algarve (S de Portugal)

Neotectonic activity of the Algarve region (S of Portugal)

R. P. DIAS* & J. CABRAL**

Palavras-chave: Algarve, neotectónica, movimentos verticais, falhas activas, estruturas activas, paleossismos.

Resumo: O enquadramento tectónico da região do Algarve, situada junto à margem continental oeste-ibérica, em transição para uma fronteira de placas convergente, e próximo da zona de fractura Açores-Gibraltar, explica as actividades tectónica e sísmica significativas que se verificam na região. A actividade tectónica regional plio-quadernária é evidenciada por deslocamentos verticais da crosta e por numerosas estruturas activas identificadas às escalas macro e mesoscópica, representadas por alguns dobramentos e por abundantes fracturas (falhas e diaclases). Diversas estruturas que afectam os sedimentos plio-quadernários foram interpretadas como paleossismos. Algumas destas estruturas resultam provavelmente de vibrações relacionadas com a ocorrência de sismos fortes distantes, mas a proximidade de muitos dos sismos a falhas activas conhecidas sugere a sua relação com eventos de magnitude moderada a elevada ($M \geq 5,5$) gerados por essas falhas. A ocorrência desses eventos é compatível com a sismicidade regional conhecida, embora alguns dos paleossismos indiquem um limiar superior para a magnitude dos sismos locais.

Key-words: Algarve, neotectonics, vertical movements, active faults, active structures, paleoseismites.

Abstract: The tectonic setting of the Algarve region, close to the West-Iberia continental margin, which is in a transitional state to a convergent plate boundary, and near the Azores-Gibraltar fracture zone, explains the significant regional neotectonic and seismic activities. Pliocene-Pleistocene tectonics is evidenced by regional crustal vertical movements and by several macroscale and mesoscale active structures, including a few folds and many joints and faults. Several structures affecting Pliocene-Quaternary sediments were interpreted as paleoseismites. Some of these may result from ground motions related to strong distant earthquakes, but the proximity of many of the seismites to known active faults suggests a relationship to moderate to high magnitude ($M \geq 5.5$) events generated by these faults. The occurrence of such events is compatible with the known regional seismicity, although some of the paleoseismites point to a higher level of local magnitudes.

INTRODUÇÃO

A região do Algarve está localizada na placa eurasiática, junto ao cruzamento de dois importantes elementos litosféricos: a margem continental oeste-ibérica, de direcção aproximada N-S, relacionada com a abertura do Atlântico Norte, tradicionalmente considerada passiva mas que se encontra provavelmente em transição para uma margem activa convergente, e o sector oriental da Zona de Fractura Açores-Gibraltar, que corresponde a uma zona de fronteira de placas entre a Eurásia e a África, disposta segundo uma direcção geral E-W (Fig. 1).

A geometria e a cinemática da fronteira de placas Açores-Gibraltar no seu segmento oriental (a este da falha de Glória) está mal definida, havendo vários autores (como GRIMISON & CHEN, 1986, 1988; CHEN & GRIMISON, 1989; SARTORI *et al.*, 1994, entre outros) que defendem a

transição de um regime de desligamento puro direito na falha transformante de Glória para o de uma fronteira de placas difusa a leste, onde a convergência entre as placas eurasiática e africana é lenta (< 1 cm/ano) e ocorre segundo uma direcção NNW-SSE a NW-SE, acomodada por deformação distribuída numa faixa litosférica predominantemente oceânica. Segundo a opinião de outros autores (ARGUS *et al.*, 1989; SRIVASTAVA *et al.*, 1990; CABRAL, 1995; RIBEIRO *et al.*, 1996; TERRINHA, 1998; TERRINHA *et al.*, 1998), esta convergência é acomodada sobretudo em estruturas que definem uma fronteira de placas discreta, embora geometricamente e cinematicamente complexa, sendo também parcialmente absorvida por algum encurtamento nas margens das placas litosféricas intervenientes. Por outro lado, como se referiu, existem indícios vários, de índole sísmológica, tectónica e geodinâmica, que sugerem que a margem continental oeste-ibérica está

* Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia, Estrada da Portela, Zambujal, Apartado 7586, 2721-288 Alfragide.

** Departamento de Geologia/LATTEX, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1700 Lisboa.

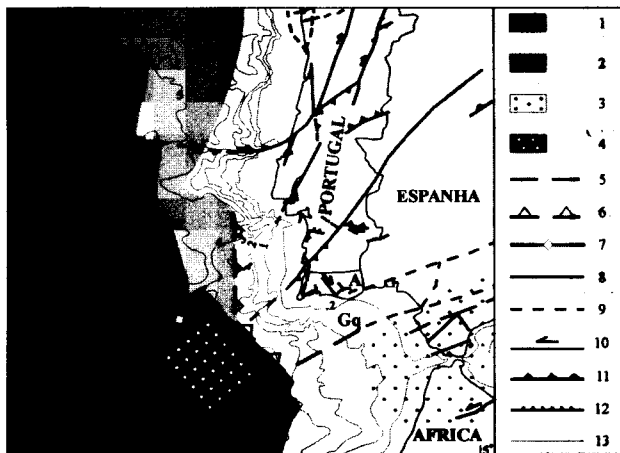


Fig. 1 – Enquadramento geodinâmico da região do Algarve no contexto do sector oriental da fronteira de placas Açores-Gibraltar (modificado de RIBEIRO *et al.*, 1996). 1, crosta oceânica; 2, crosta continental adelgada; 3, fronteira de placas difusa (colisão continental); 4, zona de deformação interplacas distribuída por dobramento e falhamento inverso; 5, limite de placa (localização aproximada); 6, zona de subducção incipiente ao longo da margem continental SW Ibérica; 7, dobra antiforma activa; 8, falha activa; 9, falha activa provável; 10, falha de deslizamento; 11, falha inversa; 12, falha normal; 13, batimetria em km; A, Algarve; Go, banco de Gorringe; Gq, banco de Guadalquivir; P.A. Ib., planície abissal Ibérica; P.A. T., planície abissal do Tejo.

– Regional geodynamical setting of the Algarve region in the eastern sector of Azores-Gibraltar plate boundary (modified from RIBEIRO *et al.*, 1996). 1, oceanic crust; 2, thinned continental crust; 3, diffuse plate boundary (continental collision); 4, zone of distributed plate deformation by buckling and thrusting; 5, plate boundary (approximate location); 6, incipient subduction along the South-Western Iberian continental margin; 7, active anti-formal fold; 8, active fault; 9, provable active fault; 10, strike-slip fault; 11, reverse fault; 12, normal fault; 13, bathymetric curve (depth in km); A, Algarve; Go, Gorringe bank; Gq, Guadalquivir bank; P.A. Ib., Iberia Abyssal Plain; P.A. T., Tagus Abyssal Plain.

em transição de passiva para activa, com desenvolvimento de uma zona de subducção incipiente a sul e que se encontra em propagação para norte (CABRAL & RIBEIRO, 1989; CABRAL, 1995; RIBEIRO *et al.*, 1996; RIBEIRO, 2002) (Fig. 1).

O enquadramento geodinâmico referido é responsável pela ocorrência de actividade tectónica regional, que se manifesta por deformações neotectónicas (desenvolvidas no intervalo correspondente ao Pliocénico e Quaternário) e por uma sismicidade significativa (Fig. 2), proporcionando um cenário de importante potencial sismogénico. Com efeito, a região do Algarve foi afectada por uma sismicidade histórica importante, incluindo alguns sismos fortes que causaram danos avultados, destacando-se os eventos distantes, de tipo interplacas, gerados na área do banco submarino de Gorringe e/ou na zona de subducção incipiente oeste-ibérica, dos quais o sismo de 1755 é o evento melhor caracterizado (ZITELLINI *et al.*, 1999). Ocorreram também alguns sismos próximos, do tipo in-

traplaca, como por exemplo nas áreas de Portimão (1719, IMM max. IX), litoral de Tavira (1722, IMM max. X) e Loulé (1856, IMM max. VIII) (CARRILHO *et al.*, 1997). A sismicidade instrumental é significativa, sendo mais intensa (em frequência e magnitudes) na área marinha situada a sul e a sudoeste do território emerso algarvio, sugerindo a presença de estruturas geológicas submarinas que absorvem uma parte importante da deformação interplacas, reduzindo a actividade intraplaca.

A actividade neotectónica regional é evidenciada por deslocamentos verticais da crosta, bem como por estruturas de deformação frágil, representadas por uma grande abundância de fracturas (falhas e diaclases), e por estruturas de deformação dúctil, correspondentes a dobramentos, menos frequentes (DIAS & CABRAL, 1995a, b, c, 2000a; DIAS, 2001) (Fig. 3). Notam-se também manifestações de fenómenos de liquefacção e fluidização expressos por filões detríticos intruindo sedimentos plio-quaternários, filões neptunianos e dobramentos convolutos, que testemunham paleossismicidade na região do Algarve (DIAS & CABRAL, 2000b; DIAS 2001) (Fig. 4).

MOVIMENTOS VERTICAIS DA CROSTA

A ocorrência de deslocamentos verticais da crosta é evidenciada por um longo empolamento de orientação geral E-W, com cerca de 100 km de extensão, que afecta a superfície de erosão poligénica da Meseta Meridional, talhada em formações predominantemente de xistos e grauwagues do Paleozóico (FEIO, 1951, 1992), constituindo a “Serra Algarvia”.

Este empolamento dispõe-se, de um modo geral, segundo um doma assimétrico com o flanco meridional mais inclinado, e engloba dois núcleos de levantamento separados pela depressão de S. Marcos-Quarteira, designadamente, o núcleo ocidental, onde se diferenciam as serras da Mesquita, Monchique (culminando a 903 m na Fóia) e Espinhaço de Cão, e o núcleo oriental, que corresponde à serra do Caldeirão, culminando a 589 m (vértice geodésico dos Pelados) (Fig. 3). No sector ocidental, as serras da Mesquita e de Monchique desenvolvem-se como relevos residuais de resistência acima da morfologia planáltica regional que constitui a serra do Espinhaço de Cão: a primeira, alongada na direcção NW-SE e acentuadamente assimétrica, limita a NE o núcleo de levantamento ocidental, coincidindo com uma faixa de grauwagues e quartzitos da Formação da Brejeira, enquanto a segunda corresponde ao maciço intrusivo de Monchique, com 16 km de comprimento por 6 km de largura, constituído por rochas ígneas do Cretácico superior.

O empolamento regional atinge o litoral SW algarvio, onde se expressa por um doma deformando um planalto

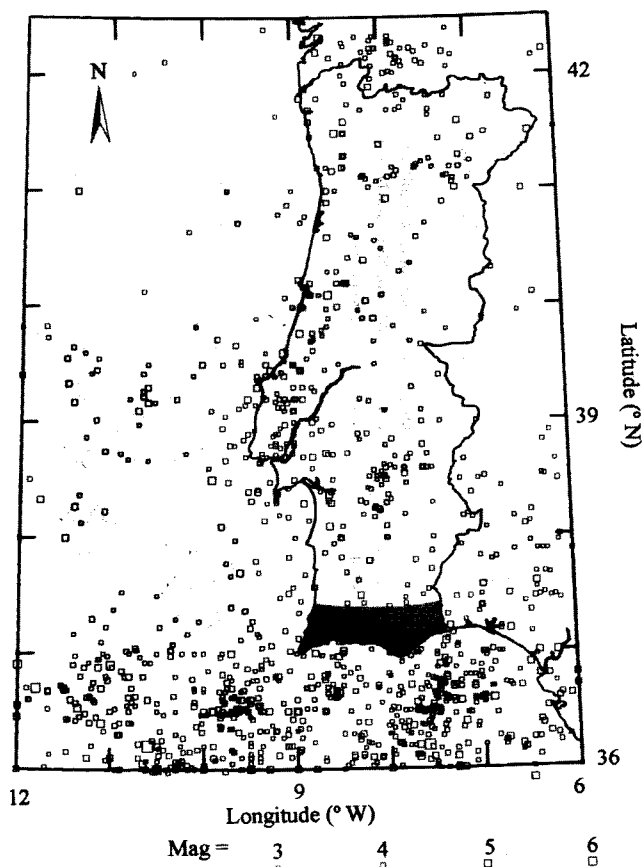


Fig. 2 – Mapa de distribuição de epicentros de sismos históricos e instrumentais, de magnitude superior ou igual a 3, no território de Portugal continental e áreas adjacentes, ocorridos no período de 63 a. C. a 1997 (segundo o catálogo de Martins e Mendes-Victor, 1990, actualizado até Dezembro de 1997, comunicação pessoal). A dimensão dos símbolos é proporcional à magnitude. Área sombreada – região do Algarve.

– Epicenter distribution of historical and instrumental earthquakes of magnitude ≥ 3 in the Portuguese Mainland and nearby areas, for the period 63 BC to 1997, based on the earthquake catalogue by Martins and Mendes-Victor (1990) updated to December 1997 (Martins and Mendes-Victor, unpublished data). Symbol dimension is proportional to magnitude. Shaded area – Algarve region.

litoral, de idade provável pliocénica superior, em Torre de Aspa, e se manifesta também pela presença de praias quaternárias (?) levantadas e balançadas (DIAS & CABRAL, 1997a, b). Nesta área, a morfologia planáltica, conservada no topo dos interflúvios, eleva-se desde o litoral, onde se encontra a uma cota de aproximadamente 120 m, para o interior, onde atinge uma altitude próxima de 400 m no sopé da serra de Monchique. Esta subida ocorre quer de modo contínuo, em rampa suavemente inclinada, sugerindo um basculamento regional, quer por superfícies dispostas em escadaria, separadas por degraus morfológicos mais ou menos sinuosos (*op. cit.*).

A presença de retalhos de formações miocénicas marinhas, assentando sobre patamares erosivos talhados no soco paleozóico em alguns locais a sudoeste de Monchique, como, por exemplo, em Corte do Bispo (entre os 75 m e 120 m) e Corte de Pere Jaques (aproximadamente aos 180 m) (Fig. 3), sugere que estes níveis de aplanção sejam poligénicos e próximos da superfície de deposição miocénica. Esta disposição, associada ao escalonamento de superfícies mais altas para N, contactando por degraus sinuosos, poderia sugerir embutimento de níveis em relação com levantamentos cíclicos anteriores ao Miocénico. Contudo, a ocorrência simultânea, em áreas vizinhas, de uma subida contínua em rampa, implica que o escalonamento de patamares que se observa seja controlado por falhas com diversas orientações (*op. cit.*).

Por outro lado, a presença de areias litorais, de idade pliocénica ou plio-quaternária, conservadas em diversos locais sobre os retalhos planálticos, quer assentes directamente sobre o soco, como no Mosqueiro, à cota de 120 m, e em Fonte Santa, à cota de 346 m, quer preenchendo cavidades cársicas em calcários miocénicos marinhos, como em Corte de Pere Jaques, à cota de 180 m (Fig. 3), sugere a ocorrência de um retoque erosivo durante o Pliocénico superior-Quaternário inferior, próximo do nível de base geral (mar) contemporâneo, implicando uma idade posterior para os deslocamentos verticais. Assim, podemos assumir que as deformações verticais regionais afectaram uma superfície de erosão poligénica de uma maneira diferenciada, de modo que (Fig. 5) (*op. cit.*):

- a superfície de referência subiu nalgumas áreas em rampa e noutras por degraus tectónicos controlados por falhas;
- a mesma superfície sofreu, provavelmente, um levantamento máximo de aproximadamente 300 a 350 m desde o Pliocénico superior;
- os primeiros 200 a 250 m de levantamento ocorreram ainda no Pliocénico superior ou já no Plistocénico inferior;
- os últimos 100 m de levantamento processaram-se desde então, comó é testemunhado pela incisão da rede hidrográfica actual numa superfície de erosão situada, aproximadamente àquela cota, em diversas áreas da Orla Sedimentar algarvia, embutida em níveis mais altos.

Na região central e oriental do Algarve, o relevo mostra características diferentes. Na área meridional, correspondente à Orla Sedimentar, identificam-se *inselberg*, desenvolvidos em calcários e dolomitos do Jurássico, elevando-se 100 a 300 m acima de uma morfologia sua-

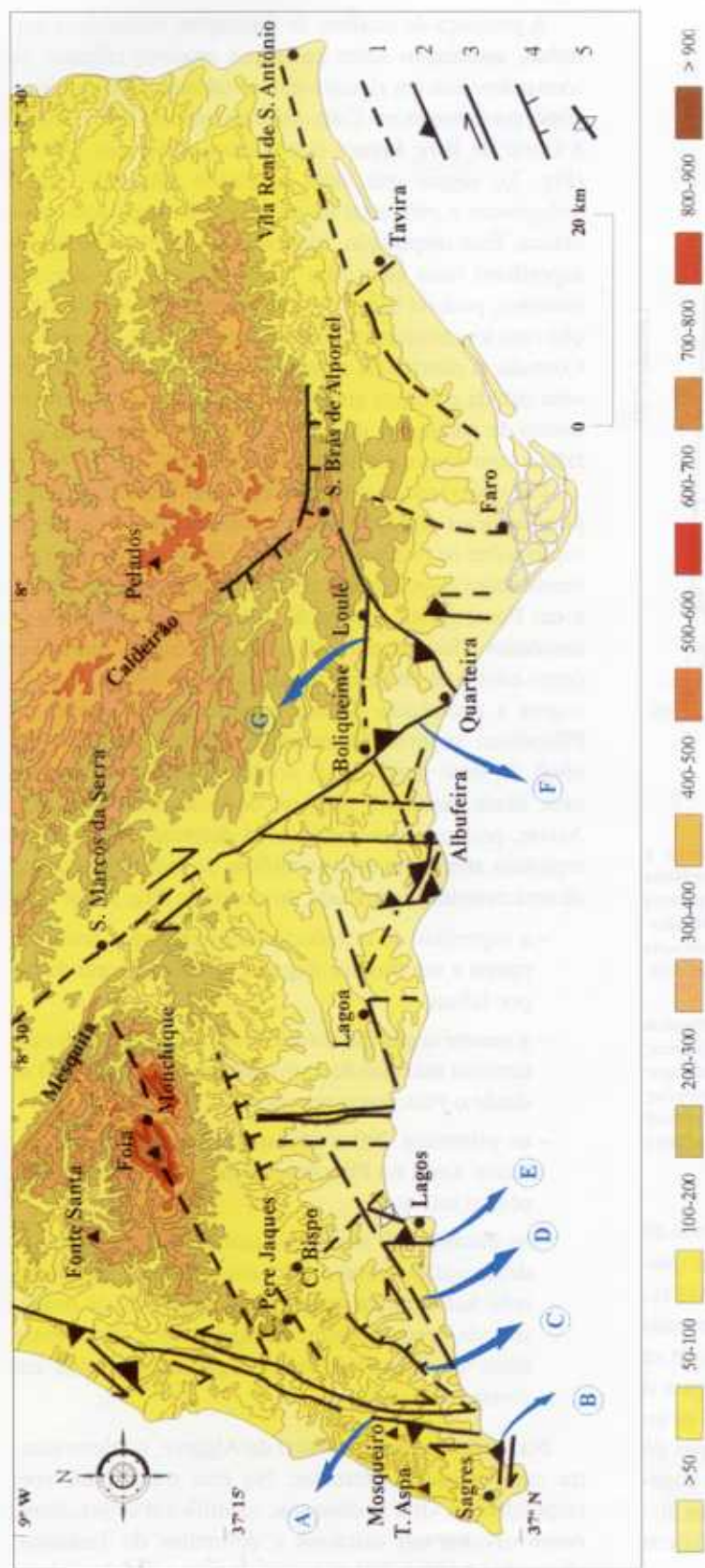


Fig. 3 - Mapa sintético das principais estruturas activas identificadas na região do Algarve. 1, falha provável; 2, falha inversa (marcas no bloco superior); 3, desligamento; 4, falha com componente de movimentação vertical de estilo desconhecido (traços no bloco abatido); 5, dobra. Falhas activas identificadas por letras, com a designação correspondente: A - Sinceira (corresponsável ao sistema de falhas S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingria); B - Martimhal; C - Barão de S. João; D - Espiche-Odiáxere; E - Porto de Mós; F - S. Marcos-Quarteira; G - Loulé. Hipsometria definida por curvas de nível a cada 100 m, com excepção da primeira, a 50 m.

- Synthetic map of the main active structures identified in the Algarve Region. 1, Probable active fault; 2, reverse fault (teeth on hanging wall); 3, strike-slip fault; 4, fault with unknown dip (ticks on downthrown side); 5, fold. Active faults identified by lettering and the corresponding designation: A - Sinceira (correspond to the S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingria fault system); B - Martimhal; C - Barão de S. João; D - Espiche-Odiáxere; E - Porto de Mós; F - S. Marcos-Quarteira; G - Loulé. Relief shown by contour lines every 100 m except the first at 50 m.

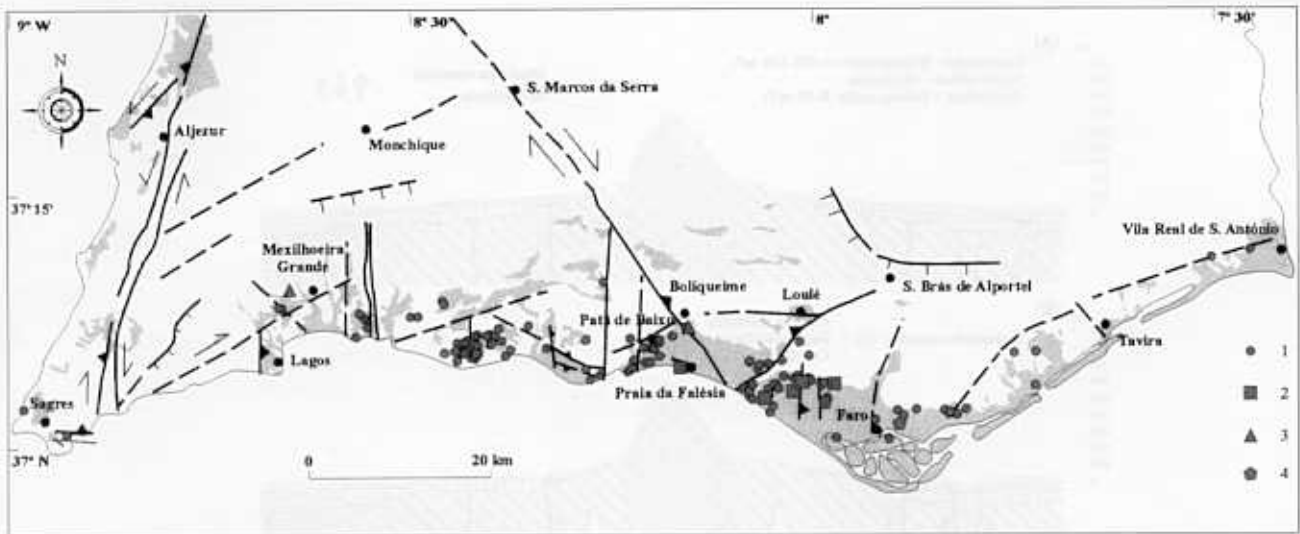


Fig. 4 – Mapa de falhas activas (como na Fig. 3) onde se assinalam as áreas de afloramento dos sedimentos plio-queraternários (a cinzento) e a localização dos paleossismos identificados na região do Algarve. 1, filão detrítico intrusivo; 2, filão neptuniano; 3, dobramentos convolutos; 4, estruturas em chama.

– Map of active faults (as in Fig. 3) showing the areas where the Pliocene to Quaternary sediments outcrop (in gray) and the sites where the paleoseismites affecting those sediments were identified in the Algarve region. 1, intrusive detrital dike; 2, neptunian dike; 3, convolute folding; 4, flame structures.

ve, como, por exemplo, Rocha da Pena (480 m), Negros (475 m), Rocha dos Soidos (467 m), Rocha de Messines (349 m), Rocha Amarela (314 m), Cabeço da Areia (377 m), Cabeça Gorda (240 m), entre outros. Nesta morfologia de sopé, onde se reconhece algum escalonamento de superfícies e se preservam escassos retalhos de rochas miocénicas, ocorrem também afloramentos de sedimentos litorais plio-queraternários das “Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira”, até uma cota máxima de cerca de 120 m, sugerindo uma evolução poligénica e aparentemente policíclica; esta evolução morfológica afecta um paleorelevo anterior à deposição dos sedimentos miocénicos que assentam sobre as superfícies de sopé, de onde sobressaíam já *inselberg*, implicando a ocorrência de episódios sucessivos de agradação e gliptogénese. O último retoque de aplanção, essencialmente erosivo, terá ocorrido no Plistocénico inferior, antecedendo a gliptogénese generalizada associada à descida relativa do nível de base geral ao longo do Quaternário.

A correlação desta morfologia, que se observa na Orla Sedimentar, com a superfície de erosão culminante desenvolvida sobre o soco varisco, levantada a cotas de cerca de 550 m na serra do Caldeirão, ainda não está claramente compreendida. Sugere, contudo, uma evolução mais complexa e um levantamento mais antigo (Pliocénico inferior?) da serra do Caldeirão relativamente ao núcleo de levantamento ocidental (DIAS & CABRAL, 1997a, b; DIAS, 2001).

A passagem do maciço paleozóico à Orla Sedimentar Mesocenozóica faz-se, por vezes, por um ressalto morfológico que, nalgumas áreas, coincide com acidentes tectónicos. Nestes casos fica geralmente a dúvida se se trata de escarpas de linha de falha ou de escarpas de falha directas, embora o contexto da evolução morfológica regional favoreça a segunda hipótese. Exceptua-se o degrau morfológico de Barão de S. Miguel-Barão de S. João, a NW de Lagos (Fig. 3), com boas evidências de tratar-se de uma escarpa de falha directa, embora de idade finipliocénica a quaternária inferior.

ESTRUTURAS ACTIVAS

As deformações neotectónicas frágeis estão expressas por uma grande abundância de fracturas com direcção e cinemática variadas (falhas e diaclases), reflectindo uma diversidade de estilos tectónicos, embora predominem falhas com componente de deslocamento inverso.

O estudo desta fracturação revelou-se difícil devido à ausência e/ou à deficiente caracterização litostratigráfica e cronostratigráfica das unidades sedimentares utilizadas como referência (Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira e Cascalheira de Odiáxere) (DIAS & CABRAL, 1995b, 2000b; DIAS, 2001). Com efeito, na região do Algarve a idade dos sedimentos que se sobrepõem às rochas miocénicas predominantemente carbonatadas é imprecisa devido à escassez de elementos de datação e à recorrência de

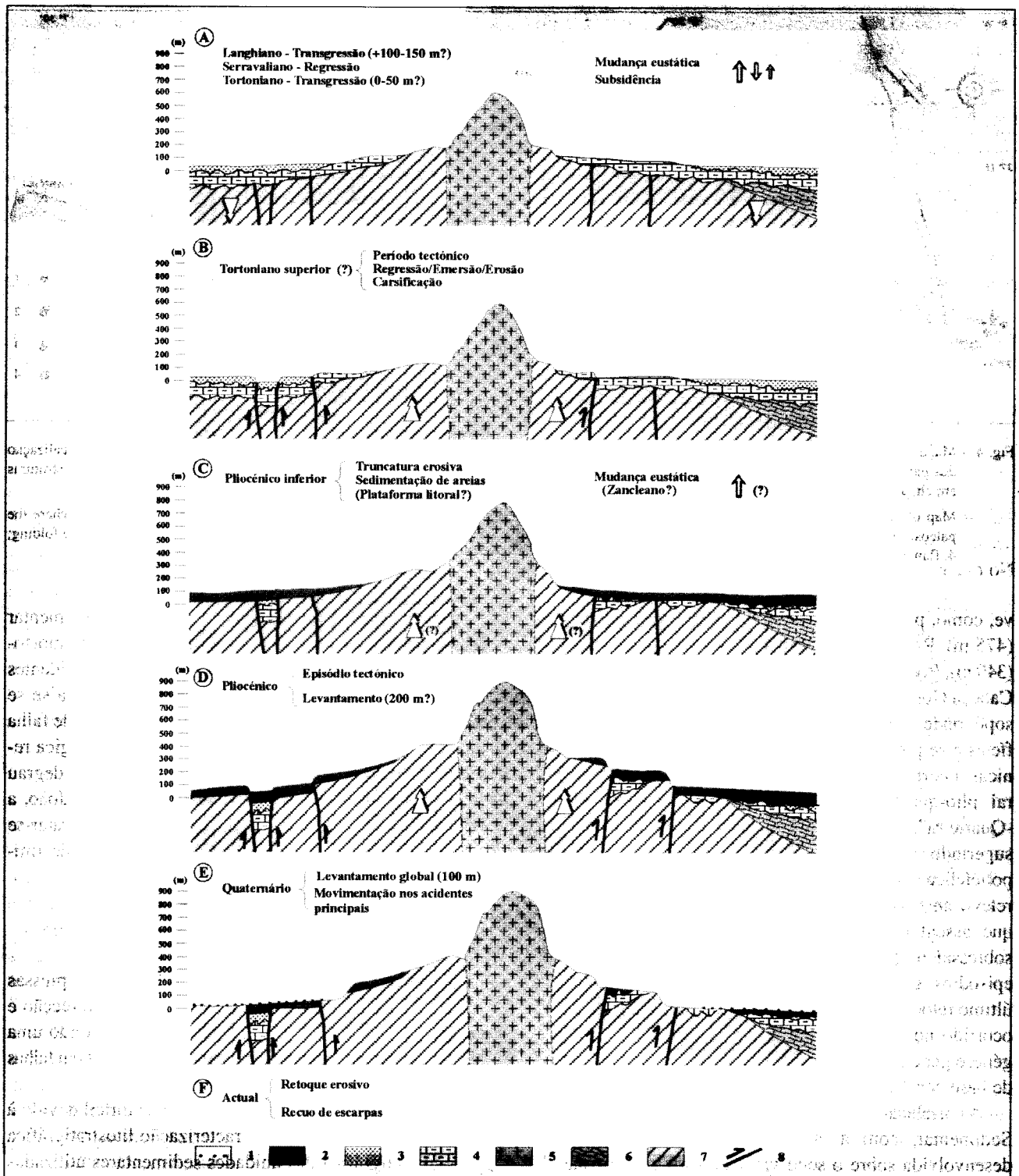


Fig. 5 – Modelo proposto para os movimentos verticais da crosta na região de Monchique, desde o Miocénico até à actualidade. 1, Quaternário; 2, Pliocénico-Quaternário; 3, Tortoniano (e Messiniano?); 4, Langhiano (e Burdigaliano?); 5, maciço intrusivo de Monchique (Cretácico superior); 6, rochas sedimentares mesozóicas; 7, Paleozóico; 8, falha (adaptado de DIAS & CABRAL, 1997a, b).

– Proposed model for the vertical crustal movements in the Monchique region since the Miocene until the Present: 1, Quaternary; 2, Pliocene to Quaternary; 3, Tortonian (and Messinian?); 4, Langhian (and Burdigalian?); 5, Monchique intrusive massif (Upper Cretaceous); 6, Mesozoic sedimentary rocks; 7, Paleozoic; 8, fault (adapted from DIAS & CABRAL, 1997a, b).

fácies: os dados disponíveis indicam idades variando do Pliocénico ao Quaternário, sendo frequentemente difícil obter maior resolução (DIAS, 2001).

Para além da imprecisão sobre a idade dos sedimentos afectados pelas estruturas identificadas, que não permitiu diferenciar ou ordenar cronologicamente eventos tectónicos distintos nem, conseqüentemente, individualizar diferentes campos de tensão a que estas estruturas estiveram sujeitas, ocorreram outras condicionantes que dificultaram a interpretação estrutural e geodinâmica das estruturas tectónicas activas, designadamente: a presença de areias maciças, sem horizontes de referência, que complicou, ou mesmo inviabilizou, a caracterização cinemática de muitas fracturas; a grande dificuldade de correlação das estruturas observadas à escala mesoscópica com as macroestruturas regionais reconhecidas, e a escassa relação entre as estruturas identificadas afectando os depósitos de cobertura plio-quaternários e a morfologia (DIAS, 2001).

Contudo, foi possível reconhecer e estudar diversas estruturas em afloramento, que passamos a descrever sucintamente (DIAS & CABRAL, 2000a; DIAS 2001) (Fig. 3). No que respeita às falhas, identificaram-se:

- falhas com componente de movimentação inversa dominante, de direcção diversificada, distribuídas por toda a área estudada, especialmente, para oeste da zona de Faro (Fig. 6);
- falhas com componente de movimentação horizontal dominante, esquerda (sistema de fracturas S. Teotónio-Aljezur-Sinceira-Ingrina, falha de Loulé) (Fig. 7), ou direita (falhas de Espiche-Odiáxere e de S. Marcos-Quarteira) (Fig. 8);
- falhas com componente de movimentação normal, de um modo geral com duas direcções preferenciais, ENE-WSW e NNW-SSE;
- falhas de atitude próxima da vertical e movimentação segundo a inclinação, distribuídas por toda a área estudada;
- falhas com movimentação indeterminada.

Em diversas zonas, para além de falhas, observou-se também uma fracturação intensa de tipo indeterminado (movimentação desconhecida em observação mesoscópica), afectando os sedimentos plio-quaternários, que, na generalidade dos casos, corresponde provavelmente a diaclasamento (DIAS & CABRAL 1995a) (Fig. 9). Estas fracturas apresentam-se geralmente subverticais, com uma forte dispersão de orientações. A sua distribuição espacial é heterogénea, identificando-se áreas com uma concentração importante de fracturas, e outras onde a fracturação se reduz acentuadamente e é mais dispersa.

Como antes se referiu, na maior parte dos casos mostrou-se difícil correlacionar as fracturas observadas à escala mesoscópica com as macroestruturas conhecidas na região. De facto, as estruturas mesoscópicas observadas podem corresponder à expressão, na cobertura sedimentar cenozóica, de acidentes tectónicos desconhecidos, localizados no substrato mesozóico, que se propagaram para a superfície sob a forma de uma deformação muito distribuída (*op. cit.*).

Contudo, uma parte importante da fracturação observada nos sedimentos plio-quaternários, particularmente a que apresenta maior dispersão de orientações, está relacionada com a evolução subterrânea da carsificação que afecta as formações carbonatadas miocénicas ou mesozóicas subjacentes àqueles sedimentos (DIAS & CABRAL, 1998a, b). Com efeito, uma parte significativa da Orla Mesocenozóica algarvia compõe-se de rochas carbonatadas, muito vulneráveis à meteorização química por dissolução, de modo que a acção dos agentes climáticos conduziu ao desenvolvimento de um carso superficial e subterrâneo nas formações calcárias mesozóicas e miocénicas, que foi parcialmente preenchido pelos sedimentos detríticos plio-quaternários, evoluindo então como um criptocarso.

Nos sedimentos que preenchem as cavidades cársicas identificaram-se numerosas deformações dúcteis e frágeis, correspondendo a balançamentos acentuados da estratificação, que se apresenta, por vezes, próxima da vertical, a dobramentos à escala mesoscópica, e a fracturação com geometria, orientação e cinemática diversificadas. Esta inclui fracturas sem cisalhamento observável em afloramento (diaclasses em sentido lato), falhas subverticais ou com separações normais e, mais raramente, falhas inversas (*op. cit.*). A maioria destas estruturas não está relacionada com mecanismos tectónicos, mas resulta de uma deformação dúctil ou frágil do preenchimento sedimentar em resposta a subsidência progressiva ou a colapso súbito, por evolução das cavidades cársicas no substrato carbonatado (DIAS & CABRAL, 1998a, b).

Embora se tenha mostrado difícil separar as fracturas de origem tectónica das originadas pela evolução cársica, utilizaram-se alguns critérios para a sua diferenciação, designadamente a dispersão geográfica das fracturas relacionadas com o carso, sem relação com macroestruturas conhecidas (Fig. 10-A), a diversificação na sua orientação, embora o enquadramento geodinâmico que se admite para a região do Algarve preveja a geração de fracturas tectónicas com orientações também muito diversas (Fig. 10-B, C), e a observação de uma relação geométrica directa da fracturação com o substrato carbonatado carsificado. Contudo, a evolução do carso nas formações carbonatadas está frequen-

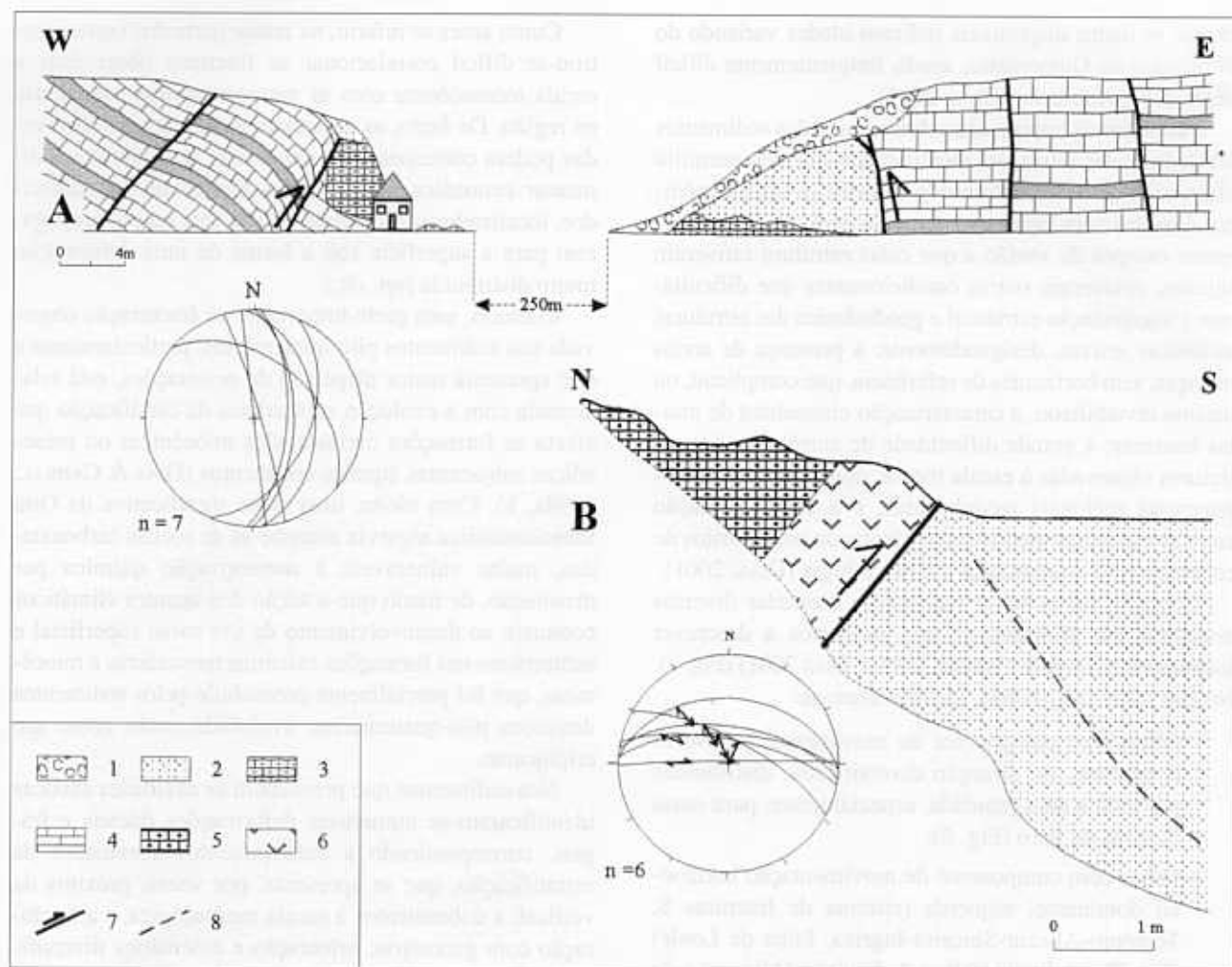


Fig. 6 – Cortes geológicos esquemáticos exemplificativos de falhas activas inversas na região estudada. A – estrutura em *ramp-valley*, de direcção aproximada N-S, aflorante na arriba da praia de Porto de Mós (Fig. 3, E), e representação, em projecção estereográfica, de superfícies de falha medidas nos sedimentos plio-quaternários junto ao contacto com as rochas cretácicas, no bordo oriental (rede de *Schmidt*, hemisfério inferior); B – afloramento de falha inversa junto à praia do Martinhal (Fig. 3, B) e representação das superfícies estriadas medidas em projecção estereográfica (rede de *Schmidt*, hemisfério inferior). 1, depósito de vertente; 2, "Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira" (Plioceno a Quaternário); 3, calcários miocénicos; 4, margas e calcários cretácicos; 5, calcários jurássicos; 6, filão básico; 7, falha com sentido de movimento; 8, fractura provável.

– Schematic cross-sections exemplificative of active reverse faults in the study area. A – approximately N-S trending *ramp-valley* structure outcropping at the cliff of Porto de Mós beach (Fig. 3, E) and representation of fault planes affecting the Pliocene to Quaternary sediments near their faulted contact with the Cretaceous rocks at the eastern border (stereographic projection, *Schmidt* net, lower hemisphere); B – outcrop of a reverse fault near the Martinhal beach (Fig. 3, B) and representation of the measured striated surfaces in stereographic projection (*Schmidt* net, lower hemisphere). 1, slope debris; 2, "Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira" (Pliocene to Quaternary); 3, Miocene limestone; 4, Cretaceous marls and limestone; 5, Jurassic limestone; 6, basic intrusion; 7, fault with slip sense; 8, probable fracture.

temente condicionada pela geometria de estruturas tectónicas que as afectam, de modo que esta geometria pode reflectir-se de forma indirecta nas estruturas desenvolvidas nos sedimentos suprajacentes em resultado da evolução cársica, ou seja, a fracturação de origem cársica pode reproduzir a orientação de estruturas tectónicas presentes no substrato carbonatado, que exercem, assim, um controlo passivo sobre as estruturas mais recentes geradas a topo.

Além das estruturas frágeis referidas, identificaram-se também algumas deformações dúcteis afectando os sedimentos de cobertura plio-quaternários, representadas por dobramentos em antiforma e sinforma. Embora nalguns casos se tenha considerado uma génese tectónica para estas estruturas (dobramento por *buckling*), sugerida por uma geometria aproximadamente cilíndrica, consistência na orientação dos eixos (dobramentos subparalelos) e a presença de uma fracturação perpendicular ao eixo do dobramento

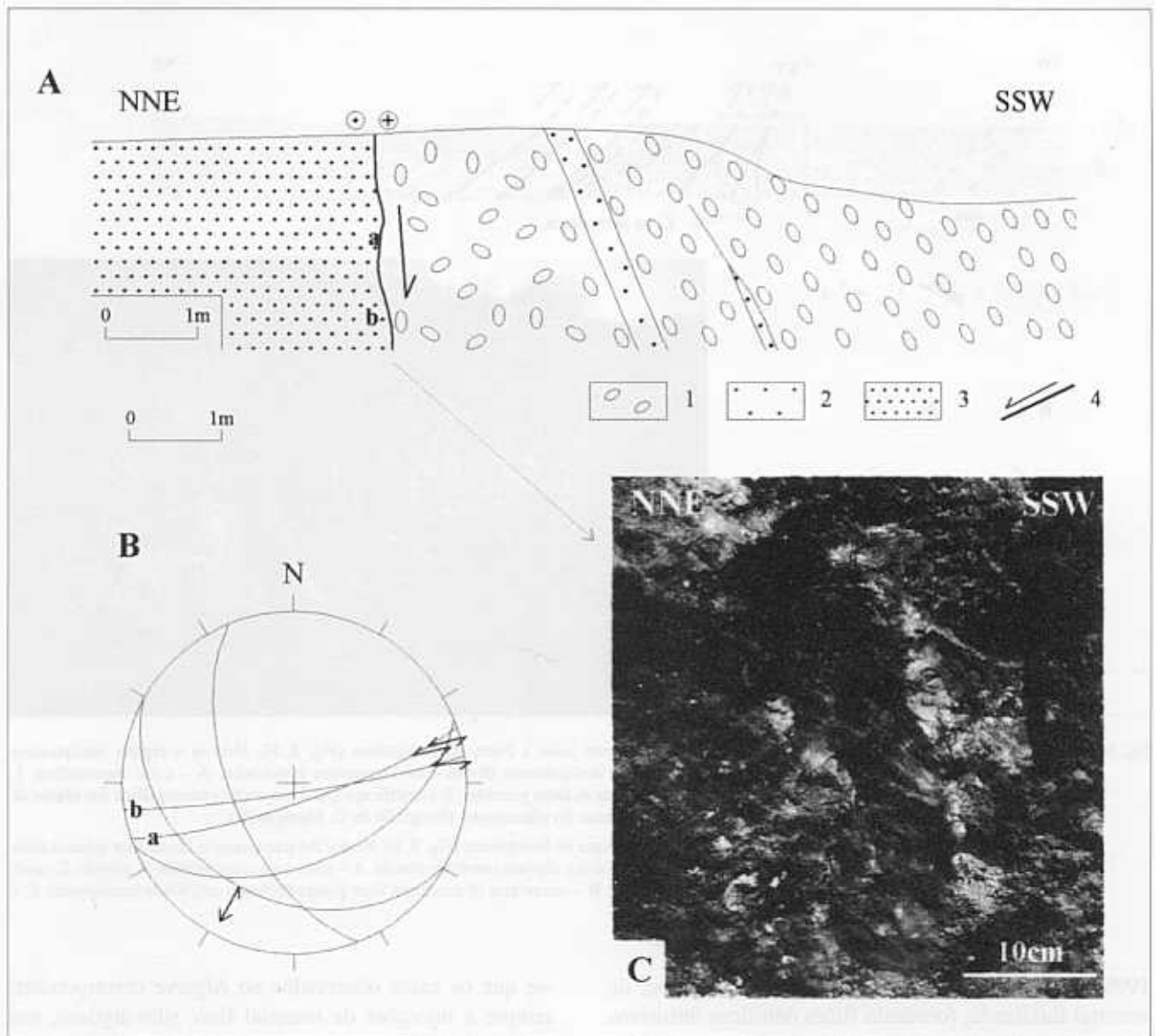


Fig. 7 – Falhas afectando sedimentos plio-quadernários em Loulé (falha de Loulé, Fig. 3, G). A – corte geológico esquemático; 1, sedimento conglomerático (atitude N 66° E, 31° S); 2, intercalações de níveis siltíficos e arenosos; 3, sedimento silto-argiloso; 4, falha com sentido de movimento; B – representação, em projecção estereográfica, das superfícies de falha medidas e respectivas estrias; C – aspecto da superfície de falha b.

– Faults affecting Pliocene to Quaternary sediments in Loulé (Loulé fault, Fig. 3, G). A – schematic cross-section; 1, pebbly deposit (trend N 66° E, 31° S); 2, interbedded silt and sand; 3, clayey silt; 4, fault with slip sense; B – representation of the measured fault planes and striae in stereographic projection (Schmidt net, lower hemisphere); C – view of slickenside b.

(Fig. 11), noutros casos, admitiu-se uma génese cársica, produzida por subsidência (dobramento por *bending*) (DIAS & CABRAL, 1998a, b; DIAS, 2001).

PALEOSSISMITOS

Como se referiu, em diversas regiões do Algarve identificaram-se estruturas resultantes de liquefacção e flui-

dização dos sedimentos plio-quadernários, provavelmente relacionadas com actividade sísmica, constituindo paleossismitos (Fig. 4). Estas estruturas compreendem dobramentos convolutos de níveis conglomeráticos (Fig. 12-A), preenchimentos de fracturas por material detrítico, quer por colapso de sedimentos incoerentes para o interior de fracturas que sofreram abertura súbita, constituindo filões neptunianos (MONTENAT *et al.*, 1991; RODRÍGUES PASCUA,

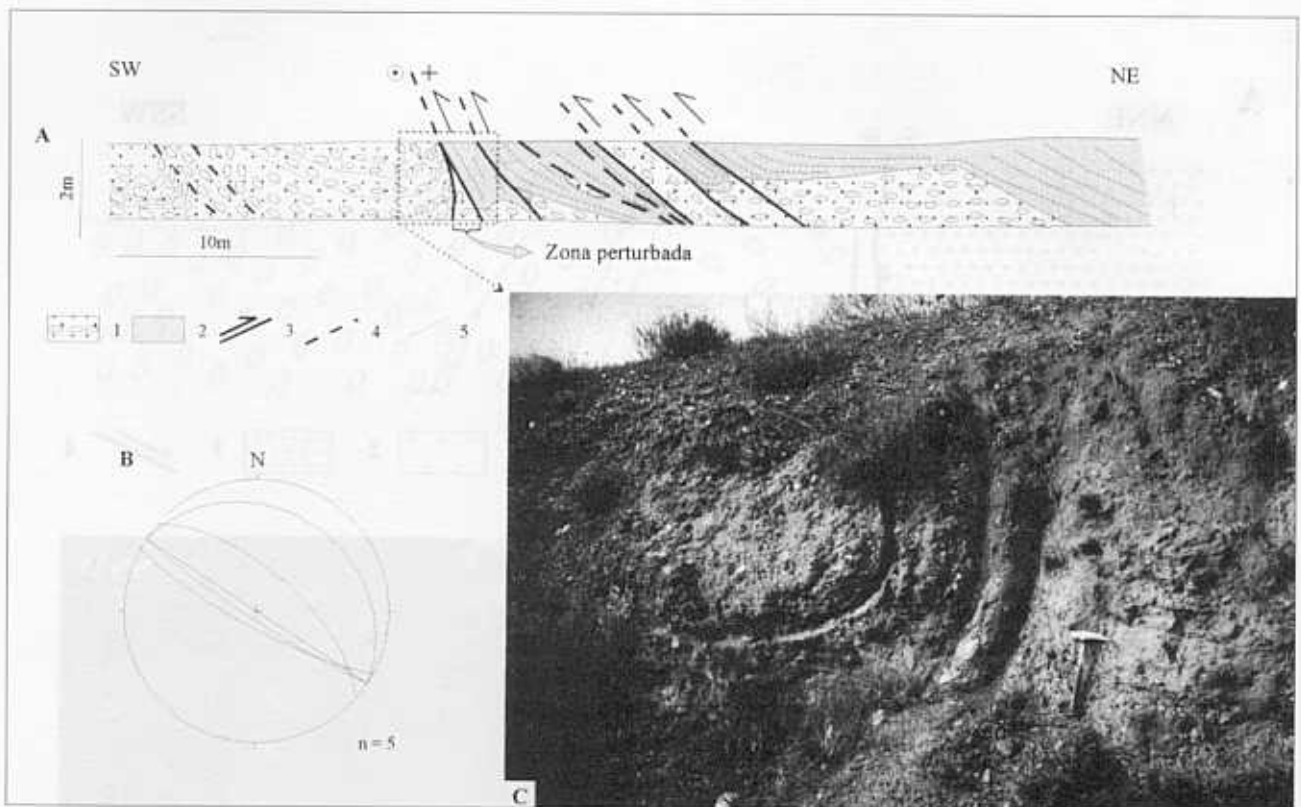


Fig. 8 – Falha de S. Marcos-Quarteira afectando sedimentos quaternários junto a Fonte de Boliquireime (Fig. 3, F). Note-se o regime transpressivo evidenciado no afloramento, com partição da deformação em desligamento direito e cavalgamentos imbricados. **A** – corte esquemático; 1, cascalheira; 2, areias e siltes; 3, falha, com sentido de movimento; 4, falha provável; 5, estratificação; **B** – projecção estereográfica dos planos de falha medidos (rede de Schmidt, hemisfério inferior); **C** – pormenor do afloramento (fotografia de G. Manuppella).

– S. Marcos-Quarteira fault affecting Quaternary sediments near Fonte de Boliquireime (Fig. 3, F). Notice the transpressive kinematics inferred from the outcropping structures, with strain partition into right-lateral strike slip and imbricate thrusts. **A** – schematic cross section; 1, gravels; 2, sands and silts; 3, fault, with slip sense; 4, probable fault; 5, bedding; **B** – stereo plot of measured fault planes (Schmidt net, lower hemisphere); **C** – detail of the outcrop (photo by G. Manuppella).

1998) (Fig. 12-B), quer por injeção, para o topo, de material fluidizado, formando filões detríticos intrusivos (RODRÍGUES PASCUA, 1998; DIAS & CABRAL, 2000b; DIAS, 2001) (Fig. 12-C) e estruturas em chama (Fig. 4).

A presença destas estruturas, interpretadas como paleossismitos, afectando os sedimentos plio-quaternários, indica que estes sedimentos estiveram sujeitos a vibrações sísmicas intensas, resultantes da ocorrência de uma sismicidade importante durante o período em que ainda estavam incoerentes e saturados de água, ou seja, testemunha uma paleossismicidade penecontemporânea da sedimentação (*op. cit.*).

O limite mínimo da magnitude sísmica necessária para ocorrer liquefacção em sedimentos detríticos é de cerca de grau 5 na escala de Richter. Com efeito, um sismo desta magnitude pode originar filões de areia injectados em depósitos finos e impermeáveis, em meios aquáticos pouco profundos (RODRÍGUES PASCUA, 1998). Note-

-se que os casos observados no Algarve correspondem sempre a injeções de material fino, silto-argiloso, em sedimentos arenosos, numa disposição atípica, cujo significado ainda não se esclareceu. Para ocorrer liquefacção em cascalheiras, e também em meios aquáticos pouco profundos, é necessária uma sismicidade mais forte, com uma magnitude superior a 7,5 (*op. cit.*).

As intensidades sísmicas necessárias para explicar os paleossismitos identificados poderão dever-se à ocorrência de paleossismos de magnitude moderada a alta, gerados em falhas activas próximas (Fig. 4), ou aos efeitos de sismos de grande magnitude gerados em estruturas activas mais distantes, como sucedeu com o evento de 1755, responsável por uma intensidade X MM na região algarvia.

Contudo, a proximidade de várias das estruturas de liquefacção identificadas relativamente a falhas activas reconhecidas, como sucede por exemplo com os filões neptunianos que apenas se reconheceram na zona de

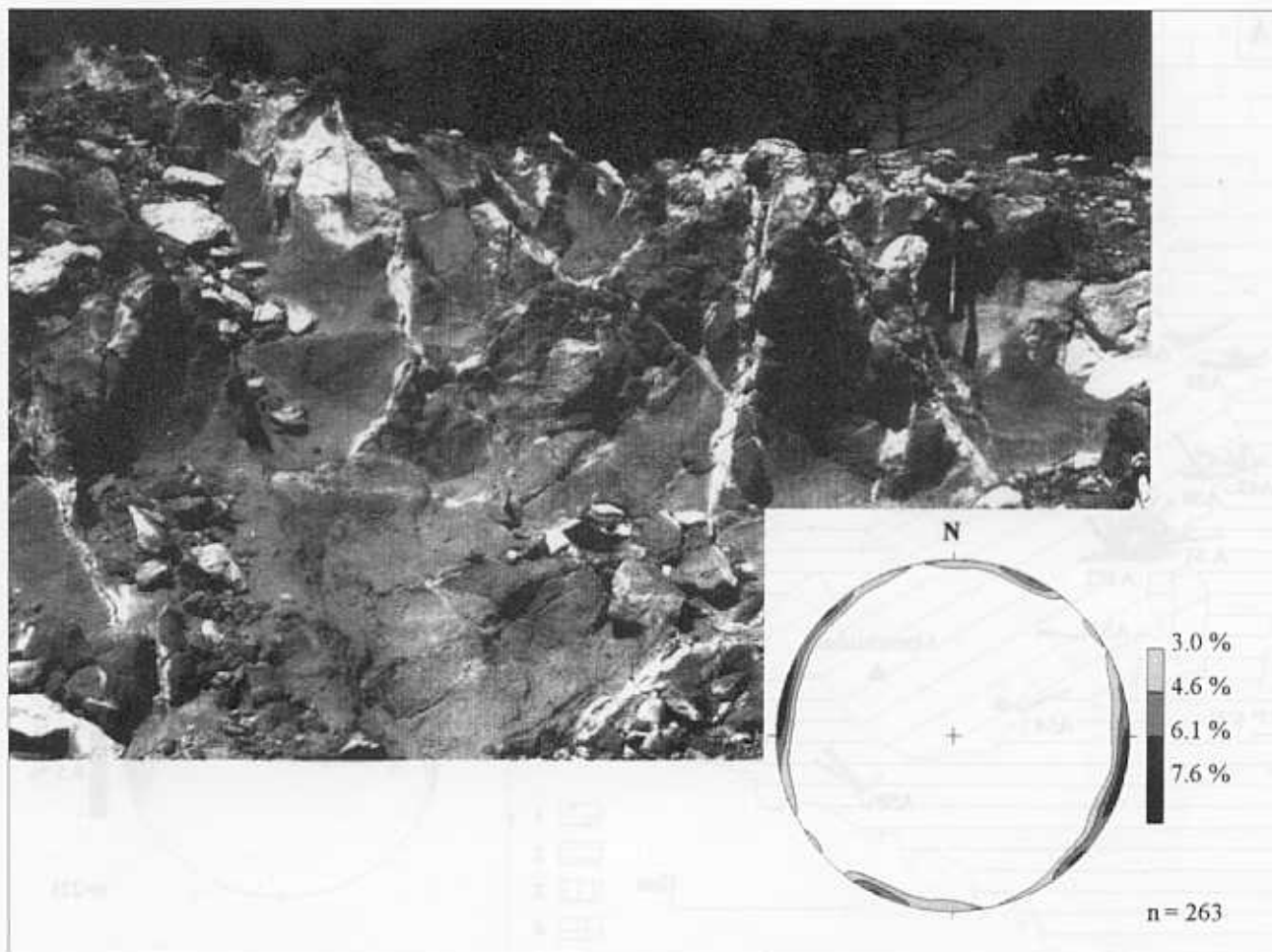


Fig. 9 – Aspecto da fracturação que afecta sedimentos da unidade plio-quaternária das Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira junto à praia de S. Rafael (W de Albufeira), e diagrama de contornos de densidade de pólos das fracturas (diaclasses) medidas (rede de Schmidt, hemisfério inferior). A fracturação intensa é realçada por planos endurecidos e marginados por bandas esbranquiçadas (por redução do ferro?).

– View of the fracturing that affects Pliocene to Quaternary sediments of the "Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira" unit, near S. Rafael beach (W of Albufeira), and density contour diagram for the poles to the measured fracture planes (Schmidt net, lower hemisphere). The intense fracturing is enhanced by the hardness of many fracture surfaces that are often followed by whitish bands (from reduction of iron?).

Quarteira (Fig. 4), sugere que estes paleossismos estejam associados a eventos sísmicos gerados em falhas vizinhas, com um limiar mínimo de magnitude da ordem de 5,5 (RODRÍGUEZ PASCUA, 1998). Esta inferência é compatível com os dados conhecidos sobre a sismicidade regional (CARRILHO *et al.*, 1997) e a ocorrência de rupturas superficiais materializadas pelos afloramentos das falhas reconhecidas, que, no exemplo referido, correspondem às falhas de Quarteira e de Carcavai.

CONCLUSÃO

Os estudos realizados na região do Algarve permitiram identificar diversas manifestações de actividade tec-

tónica plio-quaternária (neotectónica), evidenciadas por deslocamentos verticais da crosta de âmbito regional, bem como por abundantes testemunhos à escala mesoscópica, consistindo em deformações frágeis e dúcteis afectando sedimentos das unidades estratigráficas das Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira e da Cascalheira de Odiáxere. A expressão de actividade nas principais estruturas tectónicas regionais, referenciadas à escala macroscópica, mostrou-se menos evidente, pela ausência de afloramentos adequados e pela fraca expressão morfológica que apresentam, sugerindo a ocorrência de taxas de deformação baixas relativamente à acção dos agentes erosivos.

A actividade neotectónica reconhecida, marcada por levantamento regional e por um predomínio de falhas

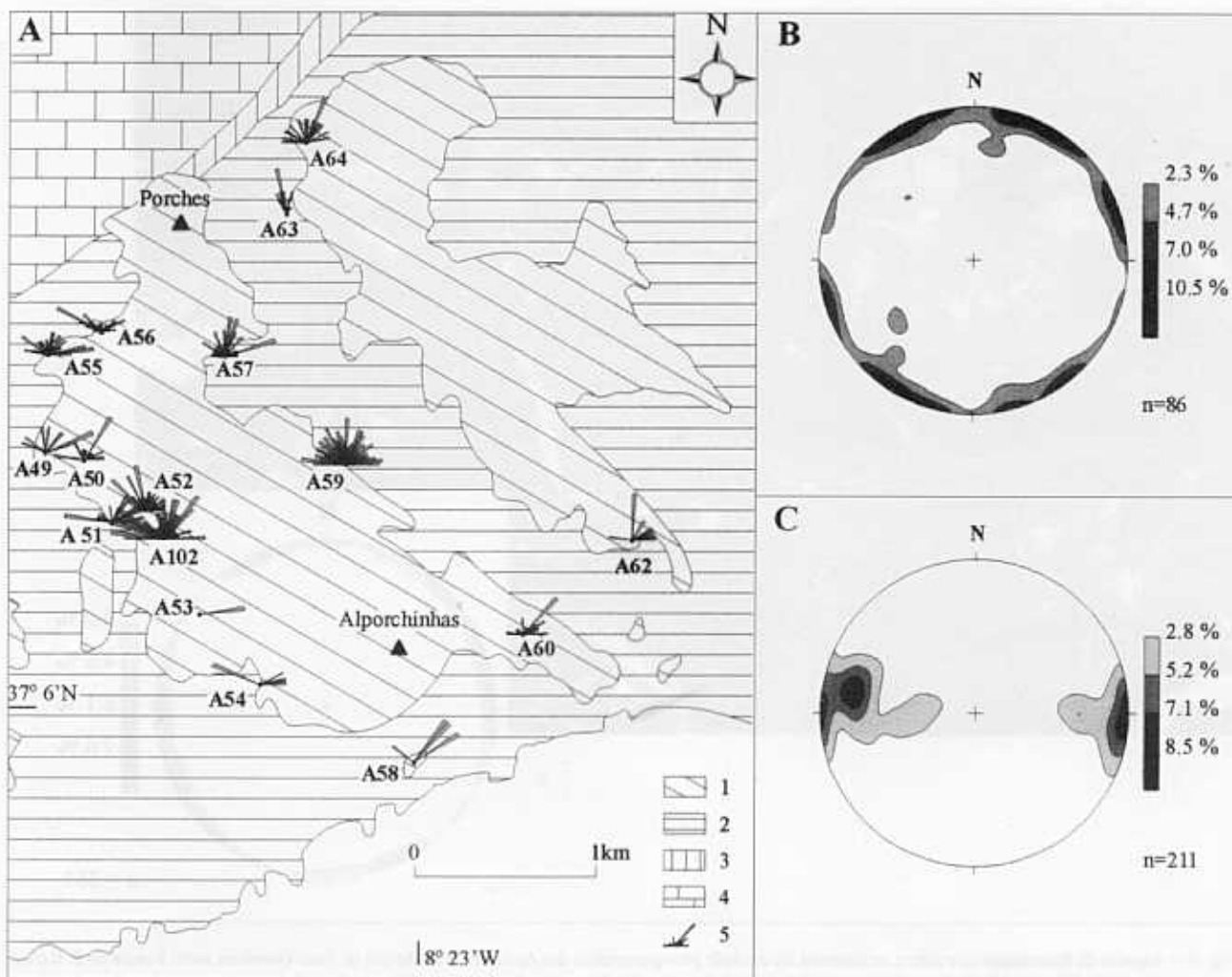


Fig. 10 - A - mapa geológico esquemático (adaptado de ROCHA *et al.*, 1981) indicando a distribuição das estações estudadas na região de Porches e rosas de frequências das fracturas medidas em sedimentos das Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira; B e C - diagramas de contornos de densidade de pólos (rede de Schmidt, hemisfério inferior) das fracturas medidas na estrada Poço Partido-Salicos (S de Lagoa) e na Praia do Forte Novo (Quarteira) respectivamente. 1, sedimentos plio-pleistocénicos; 2, Miocénico; 3, Cretácico; 4, Jurássico; 5, diagrama de rosa de frequências direccionais das fracturas medidas (intervalos de 5°).

- A - simplified geological map of Porches area (adapted from ROCHA *et al.*, 1981) showing the outcrop locations and the spatial distribution of fractures (rose diagrams) affecting sediments of the "Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira" unit; B and C - density contour diagrams for the poles to the planes of the fractures measured in the road Poço Partido-Salicos (S of Lagoa) and Praia do Forte Novo (Quarteira). 1, Pliocene to Pleistocene sediments; 2, Miocene; 3, Cretaceous; 4, Jurassic; 5, directional frequency rose-diagram of measured fractures (5° intervals).

mesoscópicas, de orientação variada, com componente de movimentação inversa, é explicável pelo enquadramento regional no contexto da distribuição das placas litosféricas, uma vez que o Algarve se localiza junto à zona de fronteira de placas Açores-Gibraltar, mas mostrou-se inferior ao inicialmente previsto. As taxas de deformação relativamente baixas inferidas sugerem que a convergência Ibéria-África, que ocorre a uma velocidade de cerca de 4 mm/ano no sector Goringe-Gibraltar, e a convergência Atlântico-Ibéria, induzida por essa interacção, se distribuem por numerosas estruturas, a maioria

delas localizadas no *offshore*, a SW, no Goringe e margem continental, e a S, no golfo de Cádiz.

A presença de estruturas de deformação neotectónica junto à superfície topográfica implica que os acidentes tectónicos regionais, de que são a expressão superficial, constituam fontes sismogénicas potenciais, com capacidade de gerarem ruptura superficial associada a sismos de magnitude elevada ($M \geq 6$). Por outro lado, o reconhecimento de paleossismos, deformando sedimentos das Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira e da Cascalheira de Odiáxere, indica que estes foram submetidos a vibra-

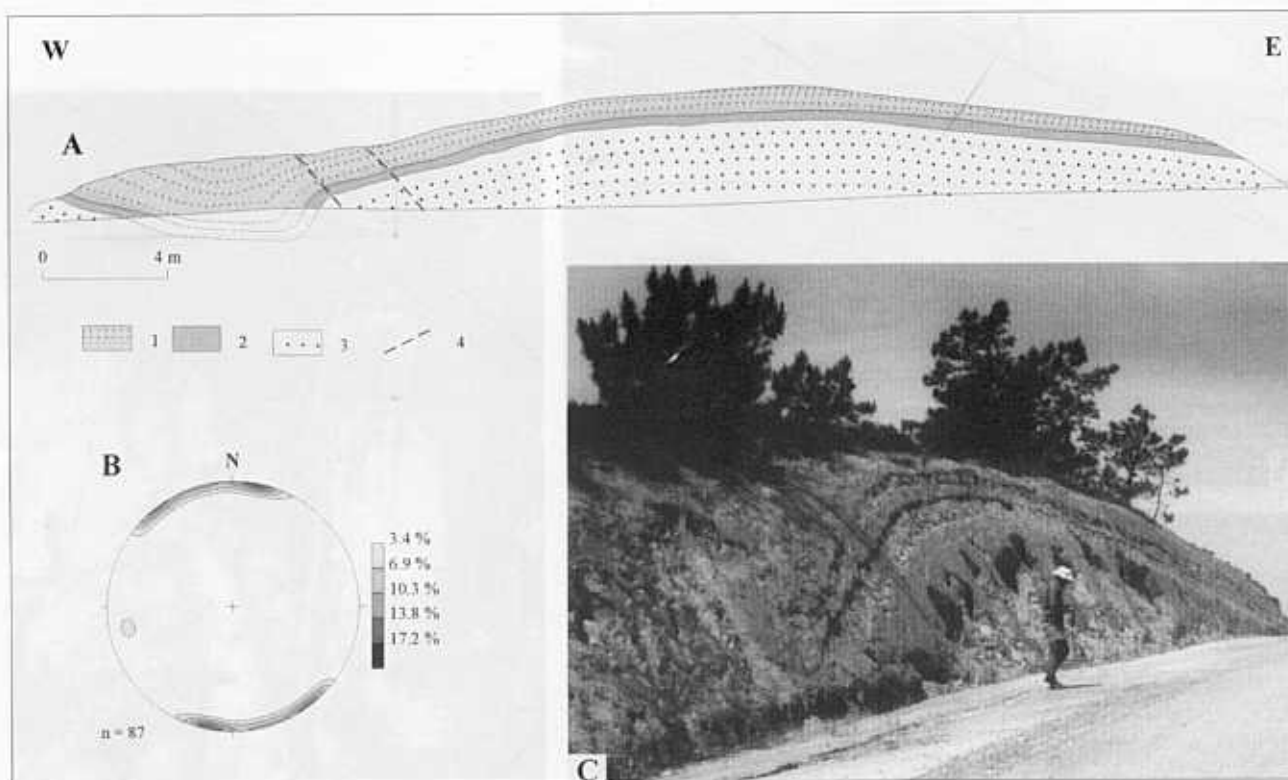


Fig. 11 – Dobra em sedimentos plio-quaternários (Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira), na estrada Meia-Praia-Albardeira (E de Lagos, Fig. 3). A direcção do eixo da dobra é (N 20°-25° E). A – corte geológico esquemático; 1, areias vermelhas; 2, siltes amarelos; 3, areias brancas; 4, fractura; B – diagrama de contornos de densidade dos pólos de fracturas medidas em sedimentos das Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira, na dobra e em afloramentos vizinhos (rede de Schmidt, hemisfério inferior); C – aspecto do afloramento.

– Folded sediments of the “Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira” unit, outcropping at a road cut near Meia-Praia (E of Lagos, Fig. 3). Fold axis trends approximately N 20°-25° E. A – schematic cross section of the outcrop; 1, red sands; 2, yellow silts; 3, white sands; 4, fracture; B – density contour diagram for the poles to the planes of fractures affecting the Pliocene to Quaternary sediments at the fold and nearby outcrops (Schmidt net, lower hemisphere); C – general sight of the outcrop.

ções sísmicas de intensidade elevada, em resultado da ocorrência de sismos de magnitude média a alta, quer próximos (sismos intraplaca), quer distantes (sismos interplacas).

A proximidade dos paleossismos às principais falhas activas regionais reconhecidas, que de um modo geral se observa, sugere que aqueles estejam associados a eventos sísmicos gerados nestas falhas, com um limiar mínimo de magnitude da ordem de 5,5 (RODRÍGUEZ PASCUA, 1998), o que é compatível com os dados conhecidos sobre a sismicidade regional (CARRILHO *et al.*, 1997) e a ocorrência provável de ruptura superficial.

AGRADECIMENTOS

Estamos gratos ao Dr. G. Manuppella e aos seus colaboradores pelas indicações sobre alguns dos locais com

evidências de actividade neotectónica, pelo acesso aos seus documentos cartográficos inéditos e pelas numerosas discussões sobre a geologia regional. A P. Terrinha, A. Ribeiro e E. Clavijo agradecemos as variadas discussões e úteis sugestões sobre a evolução tectónica regional. Os estudos realizados desenvolveram-se no âmbito dos projectos PIDACC do Instituto Geológico e Mineiro 1.1.3 – Investigação da Neotectónica do País e Risco Sísmico e 1.1.6. – Investigação em Geologia Urbana, Neotectónica e Risco Sísmico, projectos PRAXIS Elementos para Caracterização do Risco Sísmico na Região Meridional do Continente Português e Controlo Geodinâmico e Caracterização Sísmica da Região do Algarve, financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), e projecto Caracterização do Potencial Sismogenético de Falhas na Região do Algarve Ocidental Meridional – CAPSA, financiado pela FCT no âmbito do Programa de Apoio à Reforma dos Laboratórios do Estado.

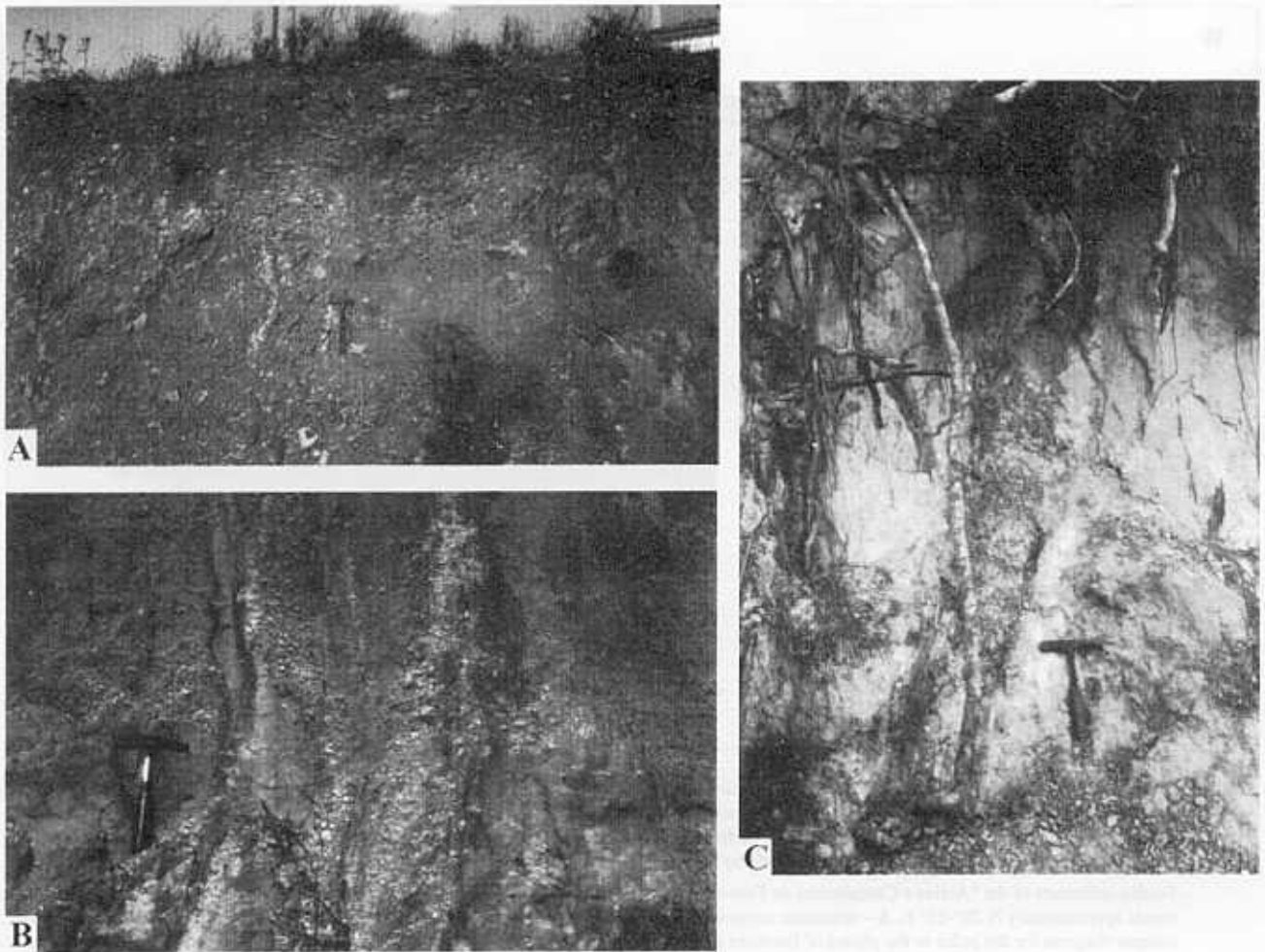


Fig. 12 – Estruturas relacionadas com liquefacção e fluidização de sedimentos plio-quadernários (paleossismitos). A – deformação intensa afectando um sedimento grosseiro de idade plio-quadernária (Cascalheira de Odiáxere), onde se observam níveis de calltaus dobrados, a oeste de Mexilhoeira Grande (Fig 4); B – preenchimento de uma fractura por sedimentos que sofreram colapso a partir de níveis suprajacentes (filão neptuniano), junto à Praia da Falésia (Fig 4); C – injeção de sedimentos finos em depósitos arenosos plio-quadernários suprajacentes (Arealas e Cascalheiras de Faro-Quarteira), junto a Patã de Baixo (Fig. 4).

– Structures related to liquefaction and fluidization of Pliocene to Quaternary sediments (paleoseismites). A – Intense folding affecting coarse sediments (Cascalheira de Odiáxere), west of Mexilhoeira Grande (Fig 4); B – Infilling of a fracture by collapse of overlying sediments (neptunian dike), near Falésia beach (Fig 4); C – Injection of fine sediments into sands, near Patã de Baixo (Fig. 4).

BIBLIOGRAFIA

- ARGUS, D. F.; GORDON, R. G.; DEMETS, C. & STEIN, S. (1989) – Closure of the Africa-Eurasia-North America plate motion circuit and tectonics of the Gloria fault. *J. Geophys. Res.*, **94**, n. B5, pp. 5585-5602.
- CABRAL, J. (1995) – Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. Inst. Geol. Mineiro*, Lisboa, **31**, 265 p.
- CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1989) – Incipient subduction along the West-Iberia continental margin. In: *Abstracts, 28th International Geological Congress*, Washington, D. C., USA, 1/3, p. 223.
- CARRILHO, F.; SENOS, L.; FITAS, A. & BORGES, F. (1997) – Estudo da Sismicidade do Algarve e Zona Atlântica Adjacente. 3.º Encontro

de Sismologia e Engenharia Sísmica, Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica, Lisboa, pp. 59-67.

- CHEN, W-P. & GRIMSON, N. L. (1989) – Earthquakes associated with diffuse zones of deformation in the oceanic lithosphere: some examples. *Tectonophysics*, **166**, pp. 133-150.
- DIAS, R. P. (2001) – *Neotectónica da Região do Algarve*. Dissertação de doutoramento, Fac. Ciências, Univ. Lisboa, pol., 369 p.
- DIAS, R. P. & CABRAL, J. (1995a) – Actividade Neotectónica no Algarve, *Comunicações do 8.º Congresso do Algarve*, 7 a 9 de Abril, Vilamoura, pp. 337-345.
- (1995b) – Actividade Neotectónica na região do Algarve. IV Congresso Nacional de Geologia, Resumos alargados,

- Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, 14 a 18 de Dezembro, Porto, *Memórias*, n.º 4, pp. 241-245.
- (1995c) – Exemplos de estruturas mesoscópicas activas na região do Algarve. IV Congresso Nacional de Geologia, Resumos alargados, Universidade do Porto – Faculdade de Ciências, Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, 14 a 18 de Dezembro, Porto, *Memórias*, n.º 4, pp. 247-251.
- (1997a) – Neotectonic Crustal Vertical Movements in Algarve (Southern Portugal). 3.ª Conferência Anual do Grupo de Geologia Estrutural e Tectónica, Resumos, GGET/SPC, Estremoz.
- (1997b) – Plio-Quaternary crustal movements in southern Portugal-Algarve. *Cuaternario Ibérico (actas da IV Reunião do Quaternário Ibérico)*, Ed. J. Rodríguez Vital, Huelva, 23-26 de Setembro, AEQUA, pp. 61-68.
- (1998a) – Problemas na interpretação geodinâmica de estruturas que estão relacionadas com o carso. 4.ª Conferência Anual do GGET'98, Resumos alargados, Departamento de Geologia/Centro de Geologia da Universidade do Porto, *GEOlogos*, n.º 2, Porto, pp. 133-135.
- (1998b) – Interpretação de estruturas dúcteis e frágeis afectando areias plio-quaternárias na região do Algarve – a interferência da carsificação. Comunicações, Actas do V Congresso Nacional de Geologia, *Com. Inst. Geol. e Min.*, Lisboa, t. 84 (f. 1), pp. D77-D80.
- (2000a) – Deformações Neotectónicas na região do Algarve. 3.º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (coord. DIAS, J. A. & FERREIRA, O.), Faro, pp. 189-190.
- (2000b) – Evidências de Paleosismicidade na região do Algarve. Resumos, 2.ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, 8-12 de Fevereiro, Lagos, S03-17, pp. 143-144.
- FEIO, M. (1951) – A evolução do relevo do Baixo Alentejo e Algarve. *Com. Serv. Geol. Port.*, XXXII (2ª parte), pp. 303-477.
- (1992) – Geomorfologia. In: Oliveira, J. T. (coord.), *Carta Geológica de Portugal à escala 1:200 000, Notícia Explicativa da Folha 8*, Coordenação de Serv. Geol. Port., Lisboa, 91 p.
- GRIMISON, N. L. & CHEN, W.-P. (1986) – The Azores-Gibraltar plate boundary: focal mechanisms, depths of earthquakes and their tectonic implication. *J. Geophys. Res.*, 91 (B2), pp. 2029-2047.
- (1988) – Source mechanisms of four recent earthquakes along the Azores-Gibraltar plate boundary. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 92, pp. 391-401.
- MONTENAT, C.; BARRIER, P. & D'ESTEVOU, P. OTT (1991) – Some aspects of the recent tectonics in the Strait of Messina, Italy. *Tectonophysics*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 194, pp. 203-215.
- RIBEIRO, A.; CABRAL, J.; BATISTA, R. & MATIAS, L. (1996) – Stress pattern in Portugal mainland and the adjacent Atlantic region, West Iberia. *Tectonics*, 15 (2), pp. 641-659.
- RODRÍGUES PASCUA, M. A. (1998) – Paleosismicidad en emplazamientos nucleares (estudio en relación con el cálculo de la peligrosidad sísmica). *Consejo de Seguridad Nuclear*, Madrid, 286 p.
- SARTORI, R.; TORELLI, L.; ZITELLINI, N.; PEIS, D. & LODOLO, E. (1994) – Eastern segment of the Azores-Gibraltar line (central-eastern Atlantic): An oceanic plate boundary with diffuse compressional deformation. *Geology*, 22, pp. 555-558.
- SRIVASTACA, S. P.; ROEST, W. R.; KOVACS, L. C.; OAKLEY, G.; LÉVESQUE, S.; VERHOEF, J. & MACNAB, R. (1990) – Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophysics*, 184, pp. 229-260.
- TERRINHA, P. A. G. (1998) – *Structural Geology and Tectonic Evolution of the Algarve Basin, South Portugal*. PhD Thesis, Imperial College, London, 430 p.
- TERRINHA, P.; DIAS, R. P. & CABRAL, J. (1988) – Neogene and Quaternary evolution of the South Portugal margin. Actas do V Congresso Nacional de Geologia (Resumos alargados), *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Tomo 84, Fasc. I, pp. D-81-D-84.
- ZITELLINI, N.; CHIERICI, F.; SARTORI, R. & TORELLI, L. (1999) – The tectonic source of the 1755 Lisbon earthquake and tsunamis. *Annali di Geofisica*, 42 (1), pp. 49-55.