

TECTÓNICA E SISMICIDADE NA ILHA DO FAIAL E O SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998

JOSÉ MADEIRA & ANTÓNIO BRUM DA SILVEIRA

Madeira, J. & Brum da Silveira, A. (2007), Tectónica e sismicidade na ilha do Faial e o sismo de 9 de Julho de 1998. *Boletim do Núcleo Cultural da Horta*, 16: 61-79.

Sumário: Tal como as restantes ilhas dos grupos central e oriental, o Faial encontra-se sujeito a fenómenos sísmicos frequentes. Umhas vezes tratam-se de abalos com origem distante, outras são sismos próximos, ocasionalmente causando destruição e vítimas. Desde a época do povoamento até ao início do século XX a ilha esteve preservada da destruição sísmica. Somente em 1920, 1924, 1926, 1958 e 1998 a população do Faial se viu confrontada por terramotos ou crises sísmicas com efeitos destrutivos. Contudo, a morfologia da ilha está marcada pelas cicatrizes de numerosos eventos sísmicos de magnitude moderada a alta. A leitura do registo geológico, através das técnicas da neotectónica e da paleossismologia, revelou a ocorrência de eventos sísmicos concentrados no tempo, com aquelas concentrações separadas por períodos da ordem dos 500 anos. Esse intervalo de tempo é compatível com o período que decorreu entre o início do povoamento e o século passado (cerca de 470 anos), após o qual se verificou uma concentração de sismos ou enxames sísmicos num período de cerca de 80 anos. O mais recente destes eventos, o sismo de 9 de Julho de 1998, foi um dos mais destrutivos. Descrevem-se os seus efeitos no património construído e as alterações físicas do terreno que desencadeou. Finalmente tecem-se algumas considerações sobre o risco sísmico na ilha do Faial e no arquipélago em geral.

Madeira, J. & Brum da Silveira, A. (2007), Tectonics and seismicity in the Island of Faial (Azores) and the 9th of July 1998 earthquake. *Boletim do Núcleo Cultural da Horta*, 16: 61-79.

Summary: Like the remaining islands in the central and eastern groups of the Azores, Faial is subject to frequent earthquakes. Sometimes those are distant events without any consequences for the island; however, the island is occasionally struck by local earthquakes that, in some cases, cause destruction and casualties. Since settlement, in mid 16th century, until the beginning of the 20th century, Faial has been preserved from destruction by earthquakes. But in 1920, 1924, 1926, 1958 and 1998 the population of the island was confronted with destructive earthquakes and seismic swarms. However the island's morphology is marked by the scars of numerous seismic events of moderate to high magnitude that affected its topography in pre-historic times. Reading the geologic record through the use of neotectonic and paleoseismology techniques revealed the occurrence of clusters of earthquakes in time. The clusters are

separated by periods of the order of 500 years. That time interval is comparable to the period since the settlement and the beginning of the last century (approximately 470 years), after which a cluster of earthquakes and seismic swarms occurred in about 80 years. The most recent of those events, the earthquake of the 9th of July, 1998, was one of the most destructive. Its effects on the buildings and infrastructures and the physical modifications caused in the topography of Faial are described. Finally, some considerations on the seismic hazard and risk in the island of Faial and the Azores archipelago are made.

José Madeira e António Brum da Silveira – Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e LATTEX – Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental. Edifício C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

Palavras-chave: Faial, Açores, neotectónica, paleossismicidade, sismicidade histórica, risco sísmico.

Key words: *Faial, Azores, neotectonics, paleoseismicity, historic seismicity, seismic risk.*

INTRODUÇÃO

Pelo seu enquadramento e evolução geodinâmica, condicionada pela localização no contexto das placas litosféricas e tipo de interacção entre placas, o arquipélago dos Açores encontra-se sujeito a sismicidade frequente e a vulcanismo activo. Os eventos sísmicos sentem-se em todo o arquipélago, mas são mais frequentes e de magnitude mais elevada nas ilhas dos grupos central e oriental.

Na ilha do Faial a actividade sísmica desde o povoamento, em meados do século XVI, até ao início do século XX foi pouco importante e esteve relacionada, fundamentalmente, com fontes sísmicas distantes. Contudo, a expressão morfológica da actividade sismotectónica está bem patente no

relevo da ilha. Numerosas vertentes de forte declive, designadas por «escarpas de falha», reflectem a deformação superficial acumulada produzida em falhas que geraram sucessivos eventos sísmicos, em período anterior ao povoamento, com rotura superficial e de magnitude moderada a alta ($M > 6$).

Apenas no século XX ocorreram sismos significativos na ilha do Faial. Os eventos em causa foram sismos ou crises sísmicas de natureza tectónica (sismo de 9 de Fevereiro de 1924; crise de Abril a Setembro de 1926, com o sismo principal a 31 de Agosto; sismo de 9 de Julho de 1998) e a crise sismo-vulcânica associada à erupção

dos Capelinhos (veja-se SILVA, 2005; 2007, neste volume).

Neste trabalho apresentam-se e relacionam-se os principais aspectos da

neotectónica, da paleossismicidade e da sismicidade histórica da ilha do Faial, incluindo a descrição dos efeitos do sismo de 1998.

ENQUADRAMENTO TECTÓNICO DO ARQUIPÉLAGO

Os Açores localizam-se na região onde ocorre a junção tripla entre três placas tectónicas: as placas Americana, Eurasiática e Africana. As ilhas do Grupo Ocidental, Flores e Corvo, foram edificadas sobre a placa Norte-Americana, a qual é limitada a Este pelo vale central (rifte) da Crista Média Atlântica. Para oriente desta fronteira situam-se as placas da Eurásia e África, separadas pela Falha Açores-Gibraltar (veja-se também MADEIRA, 2007, neste volume). As ilhas dos grupos Central e Oriental localizam-se sobre uma faixa que corresponde ao segmento açoriano daquela fronteira de placas. Trata-se de uma estrutura que se estende do ponto triplo dos Açores, sensivelmente a meia distância entre o Faial e as Flores, até algumas dezenas de quilómetros a oriente de Santa Maria. Este sector da fronteira de placas acomoda o movimento diferencial resultante da diferença das taxas de expansão crustal a norte e a sul do ponto triplo. Assim, como a taxa de expansão é um pouco superior a norte do ponto triplo, a placa Eurasiática desloca-se para Este mais rapidamente que a placa Afri-

cana. O movimento relativo é de cerca de 0,3 a 0,5 cm/ano (MADEIRA, 1998; MADEIRA & BRUM DA SILVEIRA, 2003), os quais são acomodados no vasto conjunto de falhas que recorta a Plataforma dos Açores. Como este sector da fronteira de placas é oblíquo à direcção de expansão do fundo oceânico, a movimentação é também oblíqua, apresentando componentes de desligamento e de abertura. A este regime tectónico dá-se o nome de transtensão.

A sismicidade no arquipélago pode ter origem tectónica ou vulcânica: a que se relaciona com actividade vulcânica é desencadeada pela movimentação dos produtos magmáticos (magma e gases) e consequente fracturação da rocha encaixante, enquanto que a de natureza tectónica resulta da libertação súbita de tensões acumuladas na porção frágil da litosfera. Distinguem-se três tipos de sequências sísmicas: as que resultam de actividade vulcânica correspondem a crises sísmicas mais ou menos prolongadas durante as quais é comum a ocorrência de tremor vulcânico (sismos de longa duração e baixa fre-

quência); as sequências de natureza tectónica que são caracterizadas por um sismo principal ao qual se segue uma sequência sísmica em frequência e magnitudes decrescentes; e as crises de natureza tectónica em que o sismo ou sismos principais se verificam após (por vezes muitos dias depois) o início de um enxame sísmico.

Desde o povoamento do arquipélago ocorreram cerca de trinta sismos ou crises sísmicas tectónicas ou vulcânicas importantes (TABELA I). Nesta listagem constam os três tipos de sequências sísmicas mencionadas. Destes, doze causaram destruição significativa e/ou provocaram vítimas mortais: 1522 (subversão de Vila Franca, S. Miguel; ~5.000 mortos), 1547 (Terceira; alguns mortos), 1614 (Lajes, Terceira; 93 mortos); 1757 (S. Jorge; 1045 mortos); 1801 (Terceira; 1 morto em S. Sebastião); 1837 (Guadalupe, Graciosa; 3 mortos); 1852 (S. Miguel; 9 mortos); 1926

(Faial; 8 mortos); 1935 (S. Miguel; 1 morto); 1980 (S. Jorge e Terceira; 54 mortos); 1998 (Faial; 9 mortos). A esta lista acresce-se o sismo da Terceira de 1841 que apenas não causou numerosas mortes porque o sismo principal se deu no decurso de uma crise; este facto fez com que a população abandonasse as habitações antes do sismo maior ocorrer (COSTA JUNIOR, 1983 [1841]).

Frequentemente, a destruição e o número de vítimas são consequência de efeitos secundários (como escorregamentos e quebradas) resultantes de especificidades topográficas locais, ou da vulnerabilidade do edificado (parque habitacional sem resistência sísmica e/ou fragilizado por sismos anteriores), e não da magnitude do sismo e da intensidade com que este se faz sentir. Outras circunstâncias, como a hora do dia, podem, igualmente, ter consequências no número de feridos e mortos.

NEOTECTÓNICA NA ILHA DO FAIAL

Na ilha do Faial distinguem-se numerosas formas de relevo resultantes da actividade neotectónica. Com efeito, a rotura superficial co-sísmica ocorrida num importante conjunto de falhas que atravessa a ilha, deslocou sucessivamente a superfície topográfica e originou escarpas de falha – as «lombas» do Faial. As falhas apresentam duas direcções dominantes: Oés-

-noroeste – És-sueste (WNW-ESE) e Nor-noroeste – Su-sueste (NNW-SSE). O primeiro conjunto, que tem expressão topográfica mais marcada, é formado pelas falhas da Ribeirinha, Chã da Cruz, Lomba Grande, Ribeira do Rato, Rocha Vermelha, Espalamaca, Flamengos, Lomba do Meio, Lomba de Baixo, Ribeira do Adão, Ribeira das Cabras, Ribeira Funda e Capelo.

As falhas do lado Norte da ilha inclinam para sul, enquanto que as da metade Sul inclinam para norte; esta disposição produz uma depressão tectónica em cujo centro se situa a povoação de Pedro Miguel – estrutura designada Graben de Pedro Miguel (FIGURA 1).

O outro conjunto de falhas tem expressão morfológica menos marcada. Pertencem a este grupo numerosas

falhas localizadas entre a Caldeira e a Lomba de Baixo, bem como os lineamentos de Água-Cutelo, Salão e Cedros.

A cinemática (o tipo de movimentação apresentada) destes acidentes tectónicos pode ser deduzida da observação de estrias nos planos de falha, da geometria, em planta, de falhas escalonadas ou a partir do modo como as roturas superficiais afectaram a

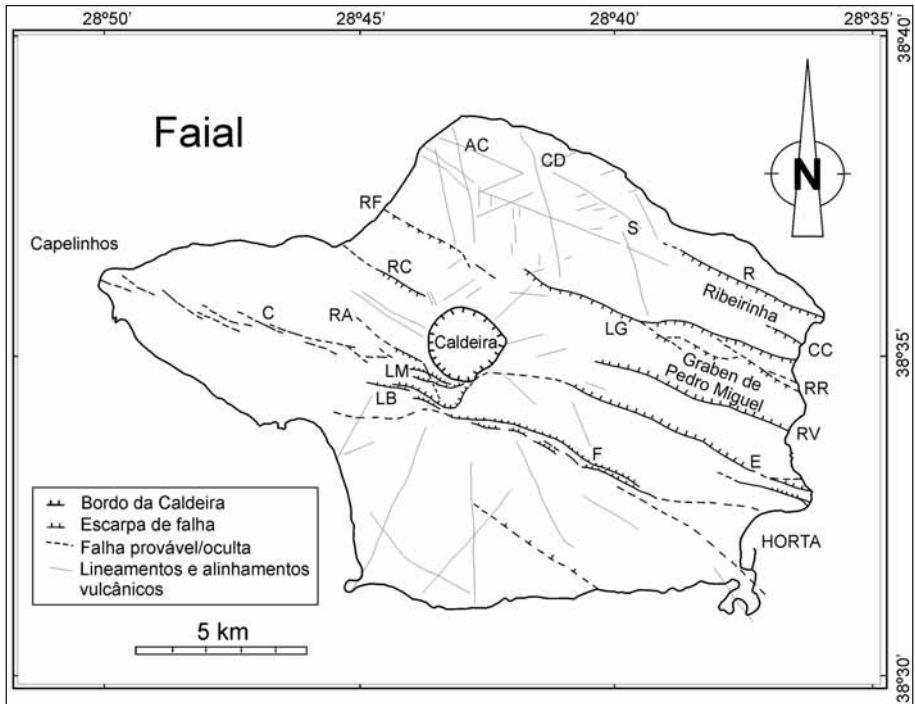


FIGURA 1

Esboço tectónico da ilha do Faial com identificação das principais falhas: R – Ribeirinha; CC – Chã da Cruz; LG – Lomba Grande; RR – Ribeira do Rato; RV – Rocha Vermelha; E – Espalamaca; F – Flamengos; LM – Lomba do Meio; LB – Lomba de Baixo; RA – Ribeira do Adão; C – Capelo; RC – Ribeira das Cabras; RF – Ribeira Funda; AC – lineamento de Água-Cutelo; CD – Cedros; S – Salão.

morfologia. Assim, deduziu-se movimentação oblíqua, normal direita¹ nas falhas com orientação WNW-ESE e normal esquerda nos acidentes orientados NNW-SSE. Nalguns casos, numa mesma zona de falha, observaram-se planos de movimento com estrias horizontais, com estrias oblíquas ou com estrias dispostas segundo a inclinação do plano. Esta situação permite concluir que, no mesmo acidente tectónico, as componentes normal e de desligamento podem ser repartidas num mesmo evento sísmico com movimentação oblíqua por diferentes planos de movimento (*decoupling*) ou por eventos distintos com movimentação normal ou em desligamento.

PALEOSSISMICIDADE

Estudos de paleossismologia² efectuados em diversas trincheiras per-

Todas estas estruturas tectónicas são consideradas activas, tendo gerado sismos no passado e apresentando capacidade para gerar eventos semelhantes no futuro; dependendo da profundidade do foco e da magnitude do evento sísmico, assim, a rotura na falha pode propagar-se até à superfície topográfica, deformando-a. Deste modo, e tal como já foi referido anteriormente, geram-se escarpas de falha por acumulação de deslocamentos sucessivos, geralmente na sequência de sismos de magnitude superior a 6. Em algumas falhas do Faial acumularam-se cerca de 200 metros de deslocamento vertical nos últimos 500 mil anos, o que indica taxas de deslizamento mínimas da ordem de 0,4 mm/ano.

mitiram estimativas complementares das taxas de deslizamento³ das falhas

¹ A movimentação numa falha diz-se em desligamento quando o deslocamento relativo dos dois blocos separados pelo plano de falha é horizontal: o desligamento diz-se direito quando, estando o observador situado num dos blocos, o bloco do lado oposto se desloca para a direita e esquerdo quando o sentido é o contrário. A componente vertical da movimentação numa falha pode ser normal, inversa ou vertical: é normal quando o bloco situado sobre um plano de falha inclinado (com inclinação diferente de 90°) desce, diz-se inversa quando esse mesmo

bloco sobe, e vertical quando o plano de falha é vertical.

² Paleossismologia é o ramo da geologia que estuda o registo geológico de sismos antigos (pré-históricos), utilizando técnicas específicas que passam normalmente pela abertura de valas ou trincheiras que cruzam o plano de falha e pela datação dos depósitos deslocados ou formados na sequência de um sismo.

³ Taxa de deslizamento é o valor médio anual do deslocamento numa falha expresso em cm ou mm por ano; na maioria das falhas o

principais, bem como de períodos de retorno⁴ de sismos com rotura superficial (MADEIRA, 1998; MADEIRA & BRUM DA SILVEIRA, 2003); estes valores, apresentados na TABELA II, foram obtidos com base em datações de radiocarbono efectuadas em depósitos vulcânicos, paleossolos e coluviões (MADEIRA *et al.*, 1995; MADEIRA, 1998). O estudo das trincheiras e de cortes naturais permitiu, também, calcular a magnitude de paleossismos, e consequentemente estimar o sismo máximo, para diferentes falhas da ilha do Faial (TABELA III), com base na medição de deslocamentos superficiais produzidos por evento de rotura (valores observados entre os 6 cm e 2 m) e utilizando a correlação $M = 6,69 + 0,74 \log(MD)$ entre deslocamento superficial máximo (MD) e magnitude de momento sísmico (M) de WELLS & COPPERSMITH (1994). Os valores de magnitude de momento sísmico estimados situam-se entre $M_w = 5,8$ e $M_w = 7,0$. A comparação entre as magnitudes estimadas com base no deslocamento por evento sísmico com rotura superficial e na área de rotura (AR) ($[M = 4,07 + 0,98 \log(AR)]$; WELLS & COPPERSMITH, 1994), calculada a partir do comprimento mínimo de rotura

superficial observado em cada falha e de uma espessura de crosta sismogénica de 10 km ($M = 5,1$ a $6,5$), revela valores mais elevados de magnitude máxima no caso das estimativas baseadas no deslocamento superficial por evento. Esta diferença pode resultar de um ou de ambos os seguintes factores. Um é o desconhecimento da espessura da crosta sismogénica, que é muito variável no arquipélago (provavelmente oscilando entre 14 e 7 km; HIRN *et al.*, 1980; LUÍS *et al.*, 1998). Também o desconhecimento dos comprimentos totais de rotura nas falhas analisadas, uma vez que a maioria tem parte da sua extensão submersa ou está parcialmente coberta por depósitos vulcânicos muito recentes, pode levar a valores de magnitude subestimados. Por exemplo, as falhas da Espalamaca, Lomba do Meio e Capelo poderão constituir segmentos de um mesmo acidente cuja extensão total (emersa e submersa) poderá ultrapassar 35 km; deste modo, admitindo rotura total da falha, a magnitude estimada com base na extensão da rotura superficial ($M = 6,6$) será bastante mais próxima dos valores estimados com base nos deslocamentos observados na Falha da Espalamaca e na Falha da Lomba do Meio, $M = 7,0$.

deslocamento ocorre durante um sismo, mantendo-se estática durante o intervalo entre sismos.

⁴ Período de retorno é o intervalo médio entre sismos de uma determinada magnitude; quando este parâmetro é determinado a par-

tir de estudos de paleossismologia utilizam-se os intervalos entre sismos que produziram rotura superficial, ou seja, em que a falha rompeu até à superfície topográfica deslocando-a e produzindo uma escarpa.

O SISMO DE 1998 E OS SEUS EFEITOS NA ILHA DO FAIAL

Às 5h e 19m (UTC) do dia 9 de Julho de 1998, um sismo com magnitude $M=6,1^5$ atingiu a ilha do Faial. Toda a região nordeste sofreu intensa destruição, arrasando quase totalmente as povoações de Espalhafatos e Ribeirinha e, em menor grau, Pedro Miguel, Salão e Cedros. Flamengos e Lombega, apesar de localizadas fora daquela região, sofreram, ainda assim, avultados estragos. Registaram-se nove vítimas mortais (uma das quais por ataque cardíaco) e uma centena de feridos, na grande maioria de gravidade reduzida, em resultado do colapso das habitações.

Um abalo premonitório, sentido pela população do Faial, precedeu em 15 minutos o sismo principal. O foco localizou-se a cerca de 2 km de profundidade e cerca de 10 km a nordeste do Faial (38.634 N–28.523 W; VALES *et al.*, 2001; MATIAS *et al.*, 2007).

Um milhar e meio de habitações sofreu fortes danos, metade das quais sem recuperação. A destruição observada sugeria magnitude superior à determinada e fazia temer um número de vítimas elevado.

De facto, a intensidade da destruição no património construído e o baixo número de vítimas mortais são justifi-

cadas pelas características da construção tradicional, dominante nas freguesias atingidas. A maior parte das casas atingidas apresentava tipologia idêntica: um ou dois pisos (loja e piso de habitação), paredes exteriores de duas folhas, em pedra não talhada, seca ou com argamassa de barro, e divididas internamente por tabiques de madeira. A resistência sísmica reduzidíssima deste tipo de construção justifica a forte destruição registada. Todos os edifícios de construção recente saíram incólumes do evento, mesmo em zonas de destruição generalizada. Aqui e ali, casas recentes intactas destacavam-se de uma paisagem de ruínas totais ou parciais.

O reduzido número de vítimas mortais, dado o grau de destruição e a hora do abalo, deveu-se ao facto dos habitantes não terem conseguido sair para a rua durante o sismo. Os tabiques de madeira, flexíveis, e os móveis altos (roupeiros e cabeceiras das camas) suportaram os telhados e impediram que as paredes exteriores ruíssem para dentro das casas. Estas circunstâncias permitiram a criação de vãos que protegeram os habitantes. Pelo contrário, as viaturas estacionadas à beira das casas ficaram frequen-

⁹ Magnitude de momento (M_w) = 6,1; magnitude local ou magnitude de Richter (M_L) e

magnitude de ondas de corpo (mb) = 5,8.

temente esmagadas pelo colapso das paredes para o exterior.

As igrejas, maioritariamente antigas, apresentavam características similares; sofreram, por isso danos equivalentes. A igreja do Salão foi completamente arrasada (FIGURA 2). As que não ruíram totalmente apresentavam-se praticamente irrecuperáveis ou de recuperação complexa. Ficaram neste estado as igrejas da Ribeirinha, Pedro Miguel, Flamengos e Angústias (esta menos afectada). Outras, de construção mais recente (década de 50 ou 60), como as dos Cedros e da Ribeira Funda, sofreram estragos menos intensos.

A edificação mais próxima do epicentro, o farol da Ribeirinha, ficou intensamente danificada (FIGURA 3). Apesar de muito robusta, esta construção datada do período de 1935-40, não apresentava ainda estrutura anti-sísmica. As grossas paredes exteriores, com 50 cm de espessura e construídas em pedra aparelhada com argamassa de cal, tombaram para fora e a torre do farol sofreu fracturação a cerca de meia altura ao longo da qual sofreu uma rotação de 15 a 20 cm no sentido directo.

Pequenas construções recentes, como torres dos postos transformadores e



FIGURA 2

Destruição total da igreja do Salão durante o sismo de 1998.



FIGURA 3

Danos causados no Farol da Ribeirinha pelo sismo de 9 de Julho de 1998.

abrigos das paragens de autocarros, em betão armado, não apresentavam em geral quaisquer estragos.

As pontes foram infra-estruturas que também sofreram danos avultados. Construídas no século XIX, apresentavam estrutura suportada por um arco de pedra e ligação às margens por aterro suportado por paredes de pedra solta. Apesar dos arcos terem

suportado a vibração sísmica, os muros de suporte desmoronaram provocando o colapso do piso. A localidade de Espalhafatos ficou quase isolada devido à queda parcial das duas pontes da estrada regional localizadas nos limites oriental e ocidental da povoação.

Escorregamentos, queda de muros de suporte, assentamento de aterros,

queda de blocos das barreiras nos troços em desaterro e colapso de casas afectaram a circulação na maioria das estradas da região. Contudo, apenas os escorregamentos causaram prejuízos significativos.

As alterações físicas do terreno por efeito do sismo resultaram de fracturação tectónica e escorregamentos. Fendas no solo, apresentando comprimentos variáveis que podiam atingir uma dezena de metros, foram o principal resultado da deformação tectónica superficial ao longo das falhas da região nordeste da ilha.

A análise geométrica das fendas revelou o predomínio das direcções tectónicas conhecidas correspondentes às duas famílias de falhas principais (WNW-ESE e NNW-SSE). Observaram-se fracturas com abertura (extensão), com separação em direcção (desligamento direito ou esquerdo), em inclinação (predominantemente do tipo normal), ou um misto destas componentes (separações oblíquas) (MADEIRA *et al.*, 1998a, b). A cinemática deduzida da geometria das fendas mostrou-se compatível com a movimentação nas famílias de falhas com orientação equivalente: normal direita nas fracturas orientadas a WNW-ESE e normal esquerda nas fracturas com direcção NNW-SSE. Onde a direcção das fracturas restringia o deslizamento formaram-se sectores elevados em compressão (*push-ups*), onde

as curvaturas das fracturas eram favoráveis registaram-se pequenas depressões tectónicas do tipo *pull-apart*. Observaram-se estes aspectos de deformação nos blocos elevados das falhas da Ribeirinha (em particular no asfalto da estrada do farol), Chã da Cruz e Lomba Grande. Um pasto junto à escarpa da Chã da Cruz apresentava fendas com critérios indubitáveis de desligamento direito (FIGURA 4) e escarpas centimétricas com abatimento para sul. Situação similar foi encontrada no Cabouco Velho: onde a estrada cruza a falha da Lomba Grande, o asfalto apresentava um ressalto de dez a vinte centímetros precisamente sobre o traço da falha. A ocorrência de ambas as direcções tectónicas na fracturação do solo produzida pelo sismo não permitiu concluir sobre qual dos sistemas tectónico gerou o evento principal.

O abalo desencadeou deslizamentos em arribas litorais, nas paredes internas da caldeira, em escarpas de falha e na vertente noroeste do Vulcão da Caldeira, sobranceira à Ribeira Funda. Nas arribas entre a Ponta do Salão e a foz da Ribeira Seca (Pedro Miguel) ocorreram movimentos de massa generalizados, do tipo queda de solo e de fragmentos rochosos, que causaram a remoção de toda a sua cobertura vegetal. No entanto, os volumes mobilizados foram reduzidos conforme foi possível verificar pela dimen-



FIGURA 4

Fendas com componente de desligamento direito no bloco elevado da Falha da Chã da Cruz.

são das acumulações na base das arribas. Para sul da foz da ribeira Seca até à Ponta da Espalamaca, na costa leste, e da Ponta do Salão até à praia da Fajã, na costa norte, a queda de material das arribas foi descontínua envolvendo volumes mais reduzidos. No interior da Caldeira deram-se desprendimentos do mesmo tipo nas paredes norte e oeste e em torno do doma traquítico do Altar.

Nas escarpas de falha houve queda de fragmentos rochosos e deslizamentos em prancha e em concha. Exemplos de deslizamentos em concha ocorreram nas escarpas das falhas da Ribeirinha, da Chã da Cruz e da Lomba

Grande. Na escarpa da Ribeirinha, os escorregamentos cortaram ambos os acessos da povoação para o farol, que passou a ser possível apenas a partir de Espalhafatos. A vertente da Lomba Grande apresentava um grande deslizamento em prancha, com cerca de 50 m de largura; os materiais mobilizados fluíram pelos pastos da base da escarpa avançando 50 a 60 m.

Na vertente noroeste do vulcão central ocorreram numerosos pequenos escorregamentos e um de volume bastante significativo. Tratou-se de uma avalanche de detritos (*debris avalanche*) que se desenvolveu a partir de uma zona de cabeceira com 200 m

de largura junto ao bordo da Caldeira. Os produtos mobilizados, cinzas e pedra-pomes de uma erupção datada de há 1200 anos (MADEIRA *et al.*, 1995), deslocaram-se pelo vale da ribeira do Risco em direcção à povoação da Ribeira Funda. Devido a uma primavera particularmente seca os materiais envolvidos continham muito pouca água. Se se encontrasse saturada, como é costume, a mobilidade da massa escorregada teria sido bastante superior. As matas de *Criptomeria* existentes no vale da ribeira também contribuíram para reduzir a mobilidade e acabaram por constituir uma barreira que parou o movimento a

cerca 1400 metros de distância da zona de cabeceira e 320 metros mais abaixo, ao longo de um declive médio de 15°. Sem a conjugação destas duas circunstâncias o fluxo de detritos teria certamente atingido a povoação da Ribeira Funda. A área afectada pelo escorregamento foi de cerca de 18 ha (177.000 m²) e o material envolvido apresentou um volume de 600.000 m³ (MADEIRA *et al.*, 1998a, b). A análise de fotografia aérea revelou, na mesma região, evidências da ocorrência, no passado, de eventos do mesmo tipo abrangendo volumes e áreas superiores aos que se estimaram nos eventos de 1998.

CONCLUSÕES

Pelos seus efeitos, os sismos de 1926 e 1998 devem ter sido eventos de magnitude similar. Cerca de 70 anos separam estes dois sismos, que constituem os dois principais eventos de origem próxima que afectaram o Faial desde o povoamento. Antes deles tinham decorrido quase 500 anos sem qualquer sismo local de dimensão significativa. Os estudos de paleossismologia desenvolvidos na ilha revelaram a existência de paleossismos agrupados em períodos de tempo curtos; os grupos de sismos encontram-se separados por intervalos da ordem dos 500 anos. Deste modo, a distribuição temporal da sismicidade his-

tórica na ilha do Faial enquadra-se na que foi determinada no registo pré-povoamento através dos estudos de paleossismologia. Este facto sugere um padrão de agrupamento de sismos e períodos de retorno entre grupos de sismos da ordem dos cinco séculos. A magnitude dos sismos mais significativos que poderão afectar a ilha do Faial oscila entre a dos eventos mencionados ($M \sim 6$; 1926 e 1998) e a dos maiores terramotos registados no arquipélago ($M \sim 7$; 1757 e 1980). Magnitudes neste intervalo foram estimadas pelos estudos de paleossismologia.

Verifica-se, por outro lado, que grande parte da destruição registada em sismos de magnitude intermédia como o de 1998 se deve à má qualidade da construção tradicional, sem qualquer capacidade de resistência às solicitações sísmicas. Este panorama tem vindo a mudar lentamente com a edificação de novas habitações obedecendo às modernas normas de construção anti-sísmica e com a reedificação de construções destruídas ou afectadas por sismos ou crises sísmicas (1958; 1980; 1998). À medida que isto for sucedendo, embora a perigosidade se mantenha, o risco sísmico irá progressivamente diminuindo.

Uma outra causa do aumento do número de vítimas mortais em muitos eventos é a ocorrência de movimentos de massa (como sucedeu em 1522, 1757 e 1980); o risco associado a estes fenómenos, difícil de evitar em muitos locais do arquipélago, poderá

ser reduzido através de adequado planeamento da ocupação do território. Verificaram-se medidas corajosas nesse sentido na sequência do sismo de 1998, ao obrigar a afastar da escarpa da Ribeirinha muitas das casas reconstruídas. O mesmo não se passou na Ribeira Quente em S. Miguel, onde o risco de perda de vidas por efeito de movimentos de massa (desencadeados por condições meteorológicas adversas, sismos ou erupções) é muito elevado; contudo, após o desastre de 1997, em que pereceram 29 habitantes naquela localidade, a reocupação do local não foi desincentivada. A recuperação e construção de novas infra-estruturas, efectuadas naquela povoação após os eventos de 97, ao melhorar as condições de vida da população, levarão a um crescimento do número de habitantes, aumentando, consequentemente, o risco de perdas de vida.

BIBLIOGRAFIA

COSTA JUNIOR, F. J. (1983 [1841]), *Memoria historica do horrível terramoto de 15 de junho de 1841 que assolou a Villa da Praia da Victoria da ilha Terceira. In Memória histórica do horrível terramoto de 15/VI/1841 que assolou a vila da Praia da Vitória. Praia da Vitória, Câmara Municipal da Praia da Vitória.*

COUTINHO, R. (2000), *Elementos para a monitorização sismovulcânica da ilha do Faial (Açores): caracterização hidrogeológica*

e avaliação de anomalias de Rn associadas a fenómenos de desgaseificação. Ponta Delgada, Universidade dos Açores [Tese de Doutoramento].

HIRN, A.; HAESSLER, H.; HOANG-TRONG, P.; WITTLINGER, P. & MENDES VICTOR, L. (1980), Aftershock sequence of the January 1st, 1980 earthquake and present-day tectonics in the Azores, *Geophysical Research. Letters*, 7 (7): 501-504.

- LUÍS, J. F.; MIRANDA, J. M.; GALDEANO, A. & PATRIAT, P. (1998), Constraints on the structure of the Azores spreading center from gravity. *Marine Geophysical Research*, 20 (3): 157-170.
- MADEIRA, J. (1998), *Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores*. Lisboa, Universidade de Lisboa [Tese de Doutoramento].
- IDEM (2007), A erupção dos Capelinhos e o vulcanismo nos Açores. *Boletim do Núcleo Cultural da Horta*, 16: 29-44.
- MADEIRA, J. & BRUM DA SILVEIRA, A. (2003), Active tectonics and first paleoseismological results in Faial, Pico and S. Jorge islands (Azores, Portugal). *Annals of Geophysics*, 46 (5): 733-761.
- MADEIRA, J.; BRUM DA SILVEIRA, A. & SERRALHEIRO, A. (1998a), Efeitos geológicos do sismo do Faial de 9 de Julho de 1998. *Protecção Civil*, 14 (II série): 12-20.
- MADEIRA, J.; BRUM DA SILVEIRA, A. & SERRALHEIRO, A. (1998b), A tectónica do Faial e o sismo de 9 de Julho de 1998. *Livro de resumos do 1.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG* (Lagos). Lisboa, Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica: 81-88.
- MADEIRA, J.; MONGE SOARES, A. M.; BRUM DA SILVEIRA, A. & SERRALHEIRO, A. (1995), Radiocarbon dating recent volcanic activity on Faial island, Azores. *Radiocarbon*, 37 (2): 139-147.
- MATIAS, L.; DIAS, N. A.; MORAIS, I.; VALES, D.; CARRILHO, F.; MADEIRA, J.; GASPAS, J. L.; SENOS, L. & BRUM DA SILVEIRA, A. (2007), The 9th of July 1998 Faial Island (Azores, North Atlantic) seismic sequence. *Journal of Seismology* (in press).
- MOREIRA, V. S. (1985), Seismotectonics of Portugal and its adjacent region in the Atlantic. *Tectonophysics*, 117: 85-96.
- IDEM (1991), Historical seismicity and seismotectonics of the area situated between the Iberian Peninsula, Morocco, Selvagens and Azores islands. In *Seismicity, seismotectonics and seismic risk of the Ibero-Maghrebian region*, J. Mezcua & A. Udías (eds.), Madrid, Instituto Geografico Nacional, *serie Monografía*, 8: 213-225.
- NUNES, J. C. (1991), *Microsismos e Neotectónica: contribuição para o seu estudo nos Açores*. Ponta Delgada, Universidade dos Açores [Provas de passagem a Assistente].
- NUNES, J. C.; ALVES, J. L. & FORJAZ, V. H. (1992), Sismicidade instrumental dos Açores no período 1980-89: implicações neotectónicas. *Monografia 10 anos após o sismo de 1 de Janeiro de 1980*, C. S. Oliveira, A. R. A. Lucas e J. H. Correia Guedes (eds.), Angra do Heroísmo/Lisboa, Secretaria Regional da Habitação e Obras Públicas da Região Autónoma dos Açores e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1: 141-160.
- NUNES, J. C.; MARTINS, A. & OLIVEIRA, C. S. (1986), *Sismicidade histórica e instrumental do arquipélago dos Açores – Catálogo preliminar*. Relatório Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica/Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- SILVA, M. (2005), *Caracterização da sismicidade histórica dos Açores com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico nas ilhas do Grupo Central*. Ponta Delgada, Universidade dos Açores [Tese de Mestrado].

- SILVA, M. A. & GASPAR, J. L. (2007), Sismicidade associada a fenómenos vulcânicos. Caso de estudo – O Vulcão dos Capelinhos. *Boletim do Núcleo Cultural da Horta*, 16: 45-59.
- SILVEIRA, D. (2002), *Caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macro-sísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico*. Ponta Delgada, Universidade dos Açores [Tese de Mestrado].
- VALES, D.; MATIAS, L.; CARRILHO, F.; MADEIRA, J.; MORAIS, I. & SENOS, L. (2001), Relocalização hipocentral e mecanismos focais da sequência sísmica que se seguiu ao sismo do Faial em 1998. *Livro de resumos do 2.º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG* (Évora). Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica: 59-63.
- WELLS, D. L. & COPPERSMITH, K. J. (1994), New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84 (4): 974-1002.

TABELA I
PRINCIPAIS SISMOS NOS AÇORES

Data	Localização (MMI)	Int. Max. (M)	Magn.	Efeitos
22 Out 1522	S. Miguel	X	—	Destruição de Vila Franca do Campo; derrocada de edifícios em toda a ilha; desprendimentos de terras na metade oriental; > 5.000 mortos.
17 Mai 1547	Terceira	—	—	Algumas mortes.
Jun-Jul 1571	Terceira	VI/VII	—	Algumas casas derrubadas, quebradas nas arribas litórais; sentido em S. Miguel e no grupo central (Graciosa e S. Jorge?); sentido num navio entre S. Miguel e Terceira.
26 Jun 1591	S. Miguel	—	—	Grandes destruições em Vila Franca.
24 Mai 1614	Terceira	X/XI-VIII	> 6,3	Rotura superficial > 8 km na Falha das Lajes; destruição total das Lajes, forte destruição em todo o NE da Terceira. Sismicidade diferida com sismo premonitório na Falha das Fontinhas em 9 de Abril. Abalos sentidos até Novembro. Sismo principal sentido em todas as ilhas. 93 mortos (alguns autores mencionam mais de 200).
9 Jun 1647	Terceira	V/VI	—	Estragos em muitas casas de Angra. Crise iniciada a 12 de Janeiro, prolongando-se até Julho. Alguns abalos sentidos no Faial.
8 Dez 1713	S. Miguel	VI/VII	—	Crise sísmica; destruição forte em Várzea e Ginetes; quebradas nas arribas.
13 Jun 1730	Graciosa	IX/X	—	Grande destruição na Luz e Praia.
9 Jul 1757	S. Jorge	X/XI	6,9 7,1 ou 7,4	Destruição total na metade oriental de S. Jorge; grandes quebradas nas arribas. Grandes estragos em Angra. No Pico: 11 mortos, queda da igreja da Piedade, estragos elevados na Ponta da Ilha. <i>Tsunami</i> registado na Terceira e Graciosa. 1045 mortos (1/3 da população da metade leste da ilha).
Dez 1759 a Mai 1760	Faial	VI	—	População abandona casas e acampa; igrejas ameaçam ruína. Eventual crise vulcânica ou erupção submarina.
Jul 1793	Flores	—	—	Grande desprendimento de terras desencadeado por sismo.
Jun 1800 a Jan 1801	Terceira	—	-	Crise sísmica de provável origem vulcânica (erupção de 1800); causou 1 morto em S. Sebastião.
21 Jan 1837	Graciosa	VIII/IX	—	Destruição muito forte localizada na região central (Guadalupe); rotura provável na Falha da Serra das Fontes. 3 mortos.

15 Jun 1841	Terceira	X/XI-IX	—	Rotura superficial > 1 km na Falha da Cruz do Marco; Ruína total nas Fontinhas; 75% das construções destruídas ou gravemente afectadas no concelho da Praia; 5.500 desalojados.
30 Out a 8 Nov 1848	S. Miguel	VI/VII	—	Forte destruição na região da Várzea, Candelária, Ginetes e Feteiras.
16 Abr 1852	S. Miguel	VII/VIII	—	Grandes estragos com colapso de edifícios em toda a metade oeste de S. Miguel; quebradas na costa norte. Sentido em S. Jorge e na Terceira com Intensidade VI. Sentido em dois navios entre S. Miguel e Terceira. 9 mortos.
21 Set a 10 Dez 1862	Faial	V/VI	—	Habitantes abandonam casas e acampam; abalos principais sentidos no Pico.
16 Mar 1920	Faial	V	—	Derrocada de muros; alguns estragos em edifícios.
9 Fev 1924	Faial	V/VI	—	Estragos nas igrejas da Conceição (Horta) e Flamengos; sismicidade associada à Falha dos Flamengos (?).
31 Ago 1926	Faial	VIII/IX-X	—	Crise sísmica de Abril a Setembro; casas derrubadas no Farrobo, Ribeirinha e estragos na Horta em 5 de Abril; 4.138 casas destruídas ou inabitáveis na Horta em 31 de Agosto e 8 mortos.
5 Ago 1932	S. Miguel	VIII	—	Vários feridos e grande destruição na Povoação.
26 Abr 1935	S. Miguel	VIII	—	1 morto e grande destruição na Povoação.
8 Mai 1939	Santa Maria	VII	7	
26 Jun 1952	S. Miguel	VIII		Grande destruição na área da Ribeira Quente.
Mai 1958	Faial	IX/X	—	Grande destruição na Praia do Norte; crise relacionada com a erupção dos Capelinhos.
Fev 1964	S. Jorge	VIII	—	Grande destruição na região dos Rosais.
23 Nov 1973	Pico	VIII	—	Grande destruição na região de Santo António.
1 Jan 1980	No mar entre S. Jorge, Terceira e Graciosa	VIII	7,2	54 mortos em S. Jorge e Terceira; grande destruição em S. Jorge, Terceira e Graciosa.
9 Jul 1998	Faial	VIII	6,1	9 mortos; grande destruição no Faial e Pico.

Modificado de compilações por MOREIRA (1985; 1991), NUNES *et al.* (1986), NUNES (1991), NUNES *et al.* (1992), MADEIRA (1998), COUTINHO (2000), SILVEIRA (2002), SILVA (2005) e bibliografia nelas contida.

TABELA II
TAXAS DE DESLIZAMENTO E PERÍODOS DE RETORNO ESTIMADOS
PARA FALHAS DO FAIAL

Falha	Taxas de deslizamento (cm/ano)			Período de retorno
	componente normal	comp. desligamento	total	
Ribeirinha	0,02 ou 0,16-0,0	0,01 ou 0,11-0,20	0,03 ou 0,20-0,36	
Lomba Grande	0,37-0,50			
Rocha Vermelha	0,21-0,38; 0,05-0,23			
Espalamaca	0,20-0,36			
Flamengos	0,16-0,29			
Lomba do Meio	0,60-0,33; 0,4			500 anos
Lomba de Baixo	0,5-0,2			~500 anos
Capelo	0,05			

Modificado de MADEIRA (1998) e MADEIRA & BRUM DA SILVEIRA (2003).

TABELA III
MAGNITUDE E IDADES DE PALEOSSISMOS EM FALHA DA ILHA DO FAIAL
(BASEADAS NO DESLOCAMENTO POR EVENTO)

Falha/evento sísmico	Idade do paleossismo (em anos BP ou data AD)	Deslocamento observado (m)	Magnitude M ($\pm 0,4$)
Lomba Grande	pós 840 cal AD	1,00 a 1,75	6,7 a 6,9
Lomba Grande	pré 1450	1 a 2	6,7 a 7,0
Espalamaca (sismo 1)	posterior a ~ 6500 ou 4000 BP	0,73	6,6
Espalamaca (sismo 2)	posterior a ~ 6500 ou 4000 BP	1,65 a 2,11	6,9 a 7,0
Lomba do Meio (sismo 1)	entre 1660 \pm 60 e 1500 \pm 50 BP	0,65 (0,50+0,15)	6,5
Lomba do Meio (sismo 2)	entre 1040 \pm 50 BP e 460 \pm 90 BP	0,95 (0,80+0,15)	6,7
Lomba do Meio (sismo 3)	entre 1040 \pm 50 BP e 460 \pm 90 BP	1,35 a >2,00	6,8 a 7,0
Lomba do Meio (sismo 4)	entre 1040 \pm 50 BP e 460 \pm 90 BP	~ 0,60	6,5
Lomba do Meio (sismo 5)	460 90 BP	> 0,60	> 6,5
Lomba do Meio (sismo 6)	pré 1450	~0,61 (0,11+0,50)	> 6,5
Lomba do Meio (sismo 7)	1958	~0,15	~ 5,9
F. Esquerda da Lomba do Meio	< 1000 BP	6,1 ?	7,3 ?
Lomba de Baixo (F1) (sismo 1)	entre 1660 ou 1500 e 1040 \pm 60 BP	0,10	6,0
Lomba de Baixo (F1) (sismo 2)	entre 1040 \pm 60 BP e 1437 cal AD?	0,09	5,9
Lomba de Baixo (F1) (sismo 3)	Posterior a 1437 cal AD?	0,17	6,1
Lomba de Baixo (F2) (sismo 1)		0,10	6,0
Lomba de Baixo (F2) (sismo 2)		0,06	5,8
Lomba de Baixo (F2) (sismo 3)		0,09	5,9

Modificado de MADEIRA (1998) e MADEIRA & BRUM DA SILVEIRA (2003).