



O FENÓMENO SÍSMICO. GÉNESE E PREVISIBILIDADE\*<sup>1</sup>

DIEGO GONÇALVES, Carmen

Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra

[cdiego@ces.uc.pt](mailto:cdiego@ces.uc.pt)

[cdiegogoncalves@gmail.com](mailto:cdiegogoncalves@gmail.com)

RESUMO

Partindo da importância que o sismo de 1755 representou na viragem do pensamento conceptual aborda-se o enquadramento geológico de Portugal continental à luz do modelo da Tectónica de Placas, ilustrando empiricamente, os pressupostos que caracterizam discursos de cientistas face ao fenómeno sísmico, nas suas dimensões cognitiva, cultural e social, caracterizando diferentes estilos de pensamento.

**Palavras-chave:** Fenómeno sísmico; Perigosidade; Risco; Concepções

RESUMEN

*El Fenómeno sísmico. Génesis e Previsibilidad - A partir de la importancia que el sismo de 1755 representó en el cambio del pensamiento conceptual abordaremos el encuadramiento geológico de Portugal continental segundo el modelo de la Tectónica de Placas, ilustrando empiricamente, los presupuestos que caracterizan discursos de científicos cuanto a el fenómeno sísmico, en sus dimensiones cognitiva, cultural e social, caracterizando diferentes estilos de pensamiento.*

**Palabras clave:** Fenómeno sísmico; Peligrosidad; Riesgo; Concepciones

RESUMÉ

*Le phénomène sismique. Genèse et Prévisibilité - A partir de la importance que le séisme de 1755 a représenté dans le changement conceptuel on entreprendre le encadrement géologique de Portugal continental sus le point de vue de la Tectonique des Plaques, en illustrant empiriquement, les présupposes que caractérise discours de scientifiques en ce qui concerne le phénomène sismique, dans leurs dimensions cognitive, cultural et social, caractérisant différents styles de pensée.*

**Mots-clés:** Phénomène sismique; Danger; Risque ; Conceptions

ABSTRACT

Seismic phenomena. Genesis and Predictability - From importance of 1755 earthquake in conceptual change we tackle Portugal continental geology in view of Tectonic Plates, empirically learning, presuppositions which characterise scientists discourses face phenomena seismic, in their cognitive, cultural and social dimensions, characterising different styles of thought.

**Key words:** Seismic phenomena; Hazard; Risk; Conceptions

\* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao II Congresso Internacional de Riscos e VI Encontro Nacional, tendo sido submetido para revisão em 13-05-2010, tendo sido aceite para publicação em 08-10-2010.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 18, 2011, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

<sup>1</sup> O trabalho aqui apresentado resulta da dissertação de Tese de Doutoramento em Sociologia, Especialidade de Sociologia da Comunicação, Cultura e da Educação, apresentada pela autora no ISCTE: "Estilos de pensamento nas concepções e percepções de risco. O risco sísmico em Portugal Continental. Da Previsão à Prevenção". O trabalho foi financiado por uma bolsa de doutoramento, no país e no estrangeiro, no âmbito do Programa PRAXIS XXI (BD/13399/97), concedida pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, e contou com a orientação do Professor Doutor Jorge Correia JESUÍNO, do ISCTE e Professor Doutor António RIBEIRO, da FCUL.

Este trabalho é dedicado à memória do Engenheiro ÚLPIO NASCIMENTO que, na qualidade dos cientistas que fizeram parte da amostra dos entrevistados, teve um contributo incontornável para os resultados apresentados. Com gratidão, aqui fica uma singela homenagem póstuma.

## Introdução

Um sismo consiste na ocorrência de ondas elásticas que se geram algures numa zona do globo terrestre, numa dada fonte sismogénica, e que se propagam a partir do seu local de origem através dos materiais constituintes do Globo. Corresponde a vibrações das rochas resultantes da passagem de ondas sísmicas de diversos tipos nomeadamente, de ondas volumétricas P e S, e de ondas de superfície de tipo Love (L) e Rayleigh (R).

O mecanismo sismogénico fundamental, designado por modelo do ressalto elástico, foi proposto pelo cientista americano H.F. REID em 1911, sendo desde então progressivamente confirmado. Assim, um sismo consiste na irradiação, sob a forma de ondas sísmicas, de energia de deformação elástica acumulada em rochas que foram submetidas a tensões tectónicas, e que é libertada por ressalto elástico associado a ruptura súbita numa zona de descontinuidade mecânica localizada no interior da massa rochosa - constituindo uma falha activa - com deslizamento brusco de um lábio da descontinuidade relativamente ao outro (J. CABRAL, 1996).

Embora nos sismos naturais a fonte de energia de deformação elástica consista num volume de rocha, especifica-se geralmente a origem de um sismo como um ponto a partir do qual emanam as primeiras ondas sísmicas, designado o hipocentro, que corresponde ao local onde se inicia a ruptura na falha sismogénica. O local, à superfície, situado na vertical do hipocentro é designado por epicentro. Pela enorme capacidade de destruição, os sismos, desde sempre afectaram a humanidade, podendo em poucos segundos, destruir cidades e marcar irreversivelmente civilizações, como revelam dados arqueológicos e documentos históricos referentes, por exemplo, à região da cintura mediterrânica, berço de numerosas civilizações mas também uma zona de forte actividade sísmica (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

Dadas as suas características devastadoras, para as pessoas e bens, nas zonas afectadas, os sismos, foram, desde sempre, objecto das mais diversas explicações, que se encontram nos mais diversos documentos históricos e científicos.

Encontram-se explicações que associam os tremores de terra às divindades: na Bíblia, na memória dos mitos gregos, nos prodígios de Roma, e profetizados nos

Oráculos Sibilinos; explicações teóricas que remontam à Idade Antiga, à teoria chinesa sobre a origem dos tremores de terra, classificações de tremores de terra que remontam à Antiguidade, bem como previsões para os tremores de terra na Idade Antiga.

Na Idade Antiga encontram-se, ainda, documentos sobre a geografia sísmica do mundo, sobre o grande tremor de terra de Esparta (464 a.c.), sobre as cidades desaparecidas Héliké e Boura (373 a.c.), sobre os tremores de terra na Antióquia e sobre o sismo considerado “universal” de 365 d.c., e sobre os danos causados pelos sismos, interpretados, com interrogações sobre se serão os sismos responsáveis pelo fim da idade do bronze, sobre o caso de Pompeia, interrogações sobre se se deverá ou não abandonar os lugares afectados ou se aqueles deverão, pelo contrário, ser preservados, sobre o socorro às cidades afectadas, sobre a prevenção dos danos e sobre o sucesso de um antigo pressuposto “parasísmico”: os furos de água ou para extracção de minério.

No período que medeia desde a Antiguidade tardia à Idade Média, encontram-se associações dos tremores de terra a heresias, interpretações nos enciclopedistas da Idade Média, dos sábios árabes até S. Tomás de Aquino e sobre a distinção entre tremores de terra “naturais” e “não naturais”. Encontram-se, ainda, explicações que associam os sismos à religião: imagens do tremor de terra no Ocidente cristão, na liturgia, associação de santos e sismos, medos e lamentos, na reconquista simbólica das cidades através das procissões. Na Idade Média encontram-se, também, documentos sobre os dois grandes sismos na época da peste (1348-1349), sobre Catânia (1169), sobre tremores de terra numa capital arménia e sobre Sarracenos e Francos face aos sismos na época das Cruzadas.

No início da Era Moderna, encontram-se documentos com descrições e interpretações sobre o financiamento das reconstruções, sobre os sismos na Idade das Luzes, sobre a notável persistência da teoria pneumática e, sobre o surgimento da ciência dos sismos (a sismologia)<sup>2</sup>.

No séc. XVIII, o grande sismo de Lisboa, reavivou a querela do optimismo, na qual tomou parte toda a *intelligentsia* europeia: se Deus era todo-poderoso e infinitamente bom, como poderia o mal existir sobre a terra?<sup>3</sup> (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004; J. Z. de BOER & D. T. SANDERS, 2005).

<sup>2</sup> Para uma perspectiva pormenorizada sobre as mais diversas interpretações referidas, cf. E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER (2004); J. Z. BOER & D. T. SANDERS (2005).

<sup>3</sup> O jovem KANT (1724-1804), escreveu em 1756, uma pequena obra intitulada *História e descrição dos mais importantes acontecimentos relativos aos tremores de terra que sacudiram uma grande parte da terra nos finais do ano de 1755*. (M. IMMANUEL KANT, tradução e comentários de J.-P. POIRIER, *Cahiers philosophiques*, v. 78, 1999: 85-121, in E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004). Voltaire, enviaria a Rousseau cópia do seu *Poème sur les désastre de Lisbonne, ou examen de cet axiome: Tout est bien*, tendo, embora o cuidado de não atacar directamente o Papa, com que simpatizava: “Tout est bien, dites-vous, et tout est nécessaire. / Quoi ! l'univers entier, sans ce gouffre infernal / Sans engloûtir Lisbonne, eût-il été plus mal? ». Rousseau responder-lhe-á com a sua *Lettre sur la Providence*. Em 1759, surge *Candide ou l'Optimisme*, onde Voltaire acaba por, ferozmente, por em causa toda a teoria do optimismo leibniziano e do “melhor dos

Paralelamente às visões religiosas, filósofos e sábios, para quem os tremores de terra eram eventos naturais, tentavam compreender e explicar o fenómeno à luz duma perspectiva mais racional.

Os pré-socráticos associavam os tremores de terra a um dos quatro elementos da natureza. ARISTÓTELES construiu uma teoria mais elaborada, atribuindo um papel activo aos sopros, ou ventos, aprisionados na terra, que a sacudiam procurando libertar-se. Esta teoria pneumática teve um sucesso que se prolongou nos séculos seguintes, sob as formas mais variadas. Acabando por associar os sismos às erupções vulcânicas, a libertação dos gases aprisionados no interior da terra passou a ser considerada como o resultado do choque explosivo de matérias combustíveis do sub-solo. No séc. XVIII, a electricidade estava na moda, e os tremores de terra foram vistos por alguns sábios como se de trovoadas eléctricas subterrâneas se tratassem (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

Será no âmbito deste contexto de controvérsia sobre o optimismo e sobre a origem divina dos sismos, que perduraria, depois dos desastres de 1755 (Lisboa) e 1783 (Calábria), que o escritor alemão Heinrich von Kleist (1777-1811) publica, em 1807, o seu romance: “O tremor de terra no Chile”, onde o autor põe em causa as trágicas consequências do obscurantismo e do fanatismo religiosos. Tratando-se, embora, do tremor de terra que destruiu Santiago em 13 de Maio de 1647, fica claro que o romance foi inspirado no tremor de terra de Lisboa (1755) e que a sua lição valeu para a Europa<sup>4</sup> e para todo o final do séc. XVIII (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004; J. Z. de BOER & D. T. SANDERS, 2005).

Foi somente nos finais do século XIX, princípios do séc. XX, que a influência de ARISTÓTELES acaba por conhecer o declínio e que os sismólogos e os geólogos estabelecem concretamente a natureza tectónica dos sismos, sem, contudo, compreenderem claramente a origem dos

esforços que levavam às rupturas da crosta terrestre.

O mecanismo tectónico dos tremores de terra, admitido como modelo explicativo no início do séc. XX, deixa, contudo por explicar a origem das pressões que geram os sismos, como foram geradas as falhas sísmicas, e qual a sua distribuição, a diferentes escalas, à superfície do globo, por outras palavras, qual é a lógica da geografia sísmica.

Foi preciso esperar pela teoria unificadora das ciências da terra: a Tectónica Global, ou Tectónica de Placas, cujo surgimento se regista por volta dos anos 1967/68 durante os quais sugeriram a maior parte dos artigos fundadores daquela teoria (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

O mecanismo do “ressalto elástico” proposto, em 1910<sup>5</sup>, pelo americano Harry REID (1859-1944), na sequência das observações decorrentes do grande tremor de terra de 1906, em S. Francisco, dizia que as tensões deformavam elasticamente a crosta dos dois lábios da falha, até ao ponto em que a resistência máxima fosse atingida e a rotura se produzisse, provocando, em consequência, movimentos físicos na falha, diminuindo, assim, a pressão e a deformação elástica, podendo o mecanismo, de seguida, reorganizar-se.

Defendia-se, então, que numa falha onde aconteceu um sismo, já se teria produzido um sismo no passado e produzir-se-ia outro no futuro, numa perspectiva que permitia avançar para a estimação dos intervalos dos períodos de retorno dos sismos, sobretudo dos grandes sismos (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

Levou mais de 50 anos até ser aceite a ideia de que as grandes estruturas e as unidades tectónicas da Terra tinham mudado a sua posição relativa. Apesar de Alfred WEGNER (1912) ter apresentado a teoria da Deriva dos Continentes antes da Primeira Guerra Mundial, só nos últimos anos da década de 1960 aquela se tornou parte dos cânones geológicos aceites. A histórica da resistência

mundos possíveis” (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004: 188). Veja-se ainda J. Z. BOER & D. T. SANDERS (2005). Recentemente, num artigo publicado na Revista *Pública* (2005), por Susana Moreira MARQUES, sobre o Terramoto de Lisboa, *Em 1755 Nem só Lisboa Tremeu*, pode ler-se: “No momento em que se deu o 11 de Setembro, Susana NEIMAN, filósofa americana, escrevia o livro “Evil in Modern Thought” (Princeton University Press, 2000). No prefácio conta que recebeu uma série de mensagens de amigos e colegas com a seguinte pergunta: “É isto outro terramoto de Lisboa?” O Grande Terramoto de 1755, segundo a autora, está para o século XVIII como Auschwitz está para o século XX ou o 11 de Setembro para o século XXI. São acontecimentos de proporções tão dantescas que, ocorridos em determinadas circunstâncias, fazem-nos questionar o mundo ou a visão dele ou aquilo que nele aparentemente se tinha como certo. “No dia 31 de Outubro último encontrava-me num estado muito próspero e logo no dia seguinte vim-nos, eu e a minha família, subjugados pela miséria”, escreveu um sobrevivente inglês a 19 de Novembro de 1755. De um dia para o outro, a vida das pessoas muda.

Recentemente, o tsunami da Ásia mobilizou os outros continentes frente às televisões assistindo com desolação à contagem crescente do número de vítimas. As perguntas que no século XVIII foram imediatas ainda agora, de certa forma, apoquentam: Como é possível tamanha destruição? Que mal fizemos? Como é que Deus pode permitir isto? (...) “Nesse ambiente de Optimismo, o Terramoto de Lisboa foi um murro no estômago”, conclui Viriato Soromenho Marques. “E Voltaire é o grande revolucionário neste aspecto. Acabou com o jogo.”

<sup>4</sup> Em estudos recentes, nomeadamente, L. MENDES-VICTOR (1992), demonstra-se que o caso de Lisboa evidenciou a necessidade da decisão política de conservação dos bens culturais, arquitectónicos, das sociedades; e que só no século XIX, e com base no terramoto de 1755, foi possível uma melhor compreensão da noção de património, de monumento histórico, de arquitectura antiga, com valor cultural.

Por sua vez, P. TEVES-COSTA (1992), apresenta uma discussão sobre os danos causados pelo sismo de 1755, bem como sobre alguns dos aspectos que permitem compreender o comportamento geofísico da cidade. É salienta, ainda, o facto de a ocorrência do sismo de 1755 - cujos efeitos foram observados por quase toda a Europa e chocaram a opinião pública - ter aumentado o interesse da comunidade científica para o mecanismo da geração dos sismos. Sobre a reacção do sistema político ao sismo de 1755, e sobre as próprias técnicas de reconstrução adoptadas na sequência do sismo de 1755, cf. L. MENDES-VICTOR (1992).

<sup>5</sup> Muito embora a hipótese das “falhas activas” tivesse sido já anteriormente posta pela primeira vez por sismólogos japoneses. KOTO (1983) descreveu a primeira escarpa de falha de um sismo em 1891 - sismo Nobi (Mino-Owari), citado em C. SCHOLZ (1990).

na aceitação do modelo foi já contada muitas vezes (MUIR-WOOD, 1985), mas a partir de 1950 a acumulação da evidência provinda da investigação no afastamento polar, a natureza e significado das fossas oceânicas e do paleomagnetismo dos fundos oceânicos, que mutuamente se suportavam, conduziu à síntese das primeiras noções da deriva continental com as da expansão dos fundos oceânicos para produzir a teoria da Tectónica de Placas (H. HESS, 1962; F. J. VINE and D. H. MATTHEWS, 1963; J. T. WILSON, 1965)<sup>6</sup>.

Com base num mapa do mundo dos epicentros de cerca de 30 000 tremores de terra, registados entre 1961 e 1967, percebeu-se que a actividade sísmica do globo estava concentrada, no essencial, nas faixas estreitas e contínuas, correspondentes às fronteiras de placas, tal como tinham sido definidas no modelo cinemático pelo geofísico francês Xavier Le PICHON (1968), com base no anterior modelo sísmológico de distribuição da sismicidade (B. ISACKS *et al.*, 1968).

Passou a ficar bem claro que os sismos se produzem nas fronteiras de placas, ou sobre as grandes falhas continentais e oceânicas, resultantes do movimento relativo das placas, e que se devem às pressões que se exercem aquando daqueles movimentos. Duma perspectiva local, passou-se, portanto, para uma perspectiva global, sobre o mecanismo focal de geração de sismo. E, sabe-se hoje que nem todas as falhas são herdadas, pelo que há falhas que rompem, ou que são reactivadas pela primeira vez, no contexto geodinâmico actual, sendo este o caso mais difícil de prever (A. RIBEIRO e J. CABRAL, 1986; J. CABRAL, 1996; A. RIBEIRO, 2002).

### Enquadramento geológico de Portugal continental

No contexto da Tectónica de Placas, a sismicidade de uma área é essencialmente determinada pelo seu enquadramento geológico (A. RIBEIRO, 1995; J. CABRAL, 1995; J. CABRAL e A. RIBEIRO, 1988). Deve-se à localização do território continental português, no mosaico regional das placas litosféricas, a origem da actividade tectónica responsável pela sismicidade que o afecta, caracterizada pela ocorrência de alguns sismos fortes que causaram danos materiais e humanos avultados, particularmente na região de Lisboa<sup>7</sup>.

Os dados de neotectónica e da sismicidade disponíveis permitem considerar um modelo para a evolução geodinâmica recente do território continental português (aproximadamente nos últimos 2 milhões de anos) e caracterizar a sua situação actual no contexto da Tectónica de Placas. A actividade neotectónica e a sismicidade em Portugal continental e na área atlântica adjacente apresentam algumas características particulares no contexto geodinâmico da teoria padrão (J. CABRAL, 1996; A. RIBEIRO, 2002).

O território continental português localiza-se no interior da placa litosférica eurasiática, mas muito próximo da placa africana, situada apenas a cerca de duas centenas de quilómetros a sul do litoral algarvio, num ambiente que se pode considerar intermédio entre o de uma região intraplaca e o de uma fronteira de placas<sup>8</sup>, frequentemente designada no seu sector atlântico por fronteira de placas Açores-Gibraltar, na área de cruzamento de uma margem continental submeridiana, resultante da abertura do Atlântico Norte na Era Mesozóica (200-60 milhões de anos) e que é considerado de tipo passivo pela generalidade dos autores (J. CABRAL, 1996). O arquipélago dos Açores - que não será objecto deste trabalho, foi já estudado, no âmbito da “Percepção do Risco Sísmico: Medo e Ilusões de Controlo”, por M. L. LIMA (1993) -, localizado na dorsal médio-atlântica, situa-se num ponto triplo, na zona de junção entre as placas litosféricas Americana, a oeste, Eurasiática, a nordeste, e Africana, a sueste<sup>9</sup>.

As características particulares das deformações neotectónicas e da actividade sísmica em Portugal continental, bem como a natureza da tensão tectónica na litosfera, evidenciando uma compressão horizontal elevada e acentuadamente oblíqua à orientação da margem continental ocidental, aliadas à presença de crosta oceânica muito antiga, densa, no contacto com o continente a oeste da Península Ibérica, sugeriram a A. RIBEIRO um novo modelo de enquadramento geodinâmico regional, que propôs pela primeira vez em 1986, em colaboração com J. CABRAL (A. RIBEIRO e J. CABRAL, 1986).

O novo modelo proposto resultou da aquisição progressiva de novos dados e da dificuldade em utilizar os enquadramentos “tradicionais” da Península Ibérica no contexto da Tectónica de Placas para explicar diversos

<sup>6</sup> Ainda que numa perspectiva mais direccionada para o fenómeno vulcânico, veja-se, também, D. CHESTER (1993).

<sup>7</sup> Veja-se “sismicidade inter e intra-placas”.

<sup>8</sup> Apesar do interesse que tem suscitado na comunidade científica, o limite entre as placas eurasiática e africana encontra-se ainda deficientemente caracterizado, nomeadamente no que respeita ao seu sector atlântico, devido à localização submarina deste segmento e à complexidade da interacção que aí ocorre entre as duas placas litosféricas (J. CABRAL, 1996).

<sup>9</sup> Segundo J. CABRAL (1996: 43), “a interacção entre a Eurásia e a África ao longo da fronteira de placas Açores-Gibraltar resulta da ocorrência de expansão oceânica na crista médio-atlântica a norte do ponto triplo dos Açores a uma velocidade ligeiramente superior à que ocorre a sul, originando um deslocamento relativo dextrógiro lento entre as duas placas, em torno de um pólo de rotação localizado na placa africana. Este deslocamento relativo conduz a que ocorra ao longo da fronteira Açores-Gibraltar uma transformação progressiva de divergência entre placas litosféricas, a ocidente, para convergência, a oriente, segundo uma disposição muito particular no contexto da Tectónica Global”.

fenómenos de índole neotectónica e sismotectónica no território português e áreas adjacentes. Segundo J. CABRAL (1996), os estudos entretanto desenvolvidos têm-se mostrado, de um modo geral, compatíveis com ele, embora a sua confirmação depare com o problema de não se conhecer presentemente no globo terrestre qualquer situação, definitivamente comprovada, de conversão de uma margem continental passiva numa margem activa convergente, que permita estabelecer um termo comparativo. Neste modelo, a margem continental oeste-ibérica encontra-se numa fase de transição de passiva para margem activa, caracterizada pelo “nascimento” de uma nova zona de subducção a partir da área de subducção intra-ocêânica no banco de Goringe, e que se encontra em processo de propagação para norte ao longo da margem continental.

No entanto, o novo modelo proposto por A. RIBEIRO (A. RIBEIRO e J. CABRAL, 1986), a confirmar-se, tem implicações muito importantes, pois considera a margem continental oeste-ibérica como uma das fontes principais de actividade sismotectónica na Península Ibérica, com tendência para um aumento progressivo da actividade tectónica ao longo do tempo, até se estabilizar ao desenvolver-se plenamente a nova margem activa convergente (A. RIBEIRO, 2002).

A actividade neotectónica em Portugal continental abarca deformações diversas, condicionadas principalmente pelas características da tensão que actuou na litosfera desde o início do período neotectónico (2 milhões de anos) considerado até à actualidade, e pela resposta - de tipo dúctil ou frágil - da litosfera a essa tensão. Essas deformações neotectónicas podem dividir-se em dois grupos, embora se encontrem frequentemente associadas geneticamente. Os movimentos verticais da crosta, originando levantamento, subsidência ou balançamentos regionais, reflectem a componente dúctil de deformação da litosfera em resposta ao campo da tensão que actuou sobre ela, e os movimentos em falhas activas traduzem a componente elástica da deformação litosférica (J. CABRAL, 1996).

As deformações neotectónicas no território continental português, e a actividade sísmica constituindo um seu reflexo actual, são, pois, consequência dos processos

geodinâmicos que afectaram regionalmente as placas, eurasiática e africana no decurso dos últimos 2 milhões de anos (e.g. as deformações crustais “mais recentes”, ou seja as deformações desenvolvidas desde o estabelecimento das condições tectónicas actuais, que, segundo os dados geológicos disponíveis, terá ocorrido no final do período Pliocénico, há cerca de 2 milhões de anos.

Portugal continental é afectado por uma sismicidade significativa, relativamente fraca se considerarmos a totalidade do território, mas que é moderada a forte nalgumas regiões particulares, como na área de Lisboa e em toda a faixa litoral situada a sul, justificando amplamente o interesse do seu estudo e caracterização, tanto pela pura curiosidade científica como pelo importante impacto social que pode exercer<sup>10</sup>.

#### *Sismicidade inter-placas e intra-placas*

Reflectindo a interacção entre as placas litosféricas, cerca de 95% da sismicidade no Globo ocorre em falhas localizadas junto às suas fronteiras, correspondendo aos sismos inter-placas, enquanto os restantes 5% têm origem em falhas activas situadas no seu interior, constituindo os sismos intra-placa. Estes devem-se ao facto de as placas litosféricas não serem perfeitamente rígidas e sofrerem, consequentemente, deformações internas (A. RIBEIRO, 1995; 2002; J. CABRAL, 1996).

A área epicentral de alguns dos sismos históricos mais fortes que afectaram Portugal continental, como os abalos ocorridos em 60-63 a.C. (o mais antigo de que há registos), 1033 e 1356, é geralmente posicionada no mar, na região do banco submarino de Goringe, com base na distribuição geográfica dos danos produzidos ao longo do litoral ocidental e meridional do território, e na comparação dos seus efeitos com os do grande sismo que destruiu parcialmente Lisboa em 1 de Novembro de 1755, considerado o maior abalo telúrico de que há referência na Europa, é também um dos sismos históricos melhor documentados<sup>11</sup>.

Na área atlântica a sudoeste e a sul do território português, além da sismicidade histórica referida ocorre também uma importante actividade sísmica instrumental, de que se destaca o evento de 28 de

<sup>10</sup> Para um aprofundamento da perspectiva geológica e sísmológica básica, cf. A. RIBEIRO (1995).

<sup>11</sup> Para uma visão pormenorizada sobre os problemas científicos suscitados (nomeadamente a localização da ruptura) e não convenientemente solucionados por aquele sismo histórico (cujos dados são referenciados em documentos históricos), veja-se J. CABRAL, 1996. Com um enquadramento diferente, mas elucidativo sobre a perspectiva da sismicidade histórica, nomeadamente para o sismo de 1755, veja-se, também, E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER (2004); J. Z. BOER & D. T. SANDERS (2005). Especificamente, ainda, sobre o importante sismo de 1755, veja-se o trabalho de I. CAMPOS (1998); os mais recentes livros de J. FONSECA (2004) e de L. ROSA (2004) e, ainda, J. FONSECA (2005) e A. RIBEIRO (2005). Devem, ainda, referir-se os resultados que se esperam saíam dos diversos acontecimentos integrados no âmbito do projecto da evocação dos 250 Anos do Terramoto de 1755 e da Construção da Baixa Pombalina, nomeadamente o projecto de investigação: “A Previsão sísmica e a difícil mas necessária modelação dos mecanismos da fonte sísmica”, do Grupo de Trabalho da Academia de Engenharia, Lisboa, com a participação das seguintes disciplinas: Sismologia, Geologia, Geodesia e Engenharia Sísmica, no âmbito de um painel multidisciplinar para previsões e avaliações de riscos, aberto a outros sectores interessados, nomeadamente, empresariais, serviços de engenharia, serviços de seguros, serviços de protecção civil.

Fevereiro de 1969, localizado a sul do Banco de Goringe, na Falha Inversa da Planície da Ferradura, com uma magnitude  $M_L=7,3-7,5$ .

Além da importante sismicidade histórica e instrumental localizada a sudoeste e a sul de Portugal continental, na generalidade associada a deformação litosférica na zona de fronteira entre as placas eurasiática e africana, existe, também, uma actividade sísmica significativa no interior do território português e na área imersa junto ao litoral. Admitindo-se a distribuição regional das placas litosféricas geralmente considerada, em que a margem continental oeste-ibérica corresponde a uma margem passiva, aquela actividade sísmica é gerada em falhas activas no interior da placa eurasiática, consistindo, pois, em sismicidade intra-placa (A. RIBEIRO e J. CABRAL, 1986; J. CABRAL, 1996; A. RIBEIRO, 1997; 2002).

Os epicentros mostram uma dispersão considerável, observando-se, contudo, uma tendência nítida para a sua concentração na faixa litoral ocidental a norte da latitude de Sines, distinguindo-se também uma concentração de sismicidade na região litoral algarvia, para além de uma área, de maior actividade sísmica em pleno Alentejo, na região de Évora.

Os eventos mais fortes de que há conhecimento correspondem a sismos históricos ocorridos em diversas áreas do território, destacando-se alguns localizados na região ribatejana no vale inferior do Tejo. Com efeito, há registos históricos de importantes sismos nesta área, nomeadamente em 1344, sentido com intensidade epicentral de grau VII a VIII e possuindo uma magnitude estimada de grau 6, e em 26 de Janeiro de 1531, sentido com uma intensidade epicentral de grau VIII a IX, estimando-se-lhe uma magnitude de grau 7 (J. CABRAL, 1996).

Aqueles dois sismos históricos produziram muitos estragos materiais e muitas mortes na região de Lisboa. Só na Capital, além de terem causado danos em numerosos edifícios públicos destruíram cerca de 1500 edifícios de habitação e, atendendo à hora a que ocorreu (entre as 4 e as 5h), terá causado várias centenas, ou mesmo milhares de mortos e feridos.

A 23 de Abril de 1909 ocorreu outro sismo importante no Ribatejo, com epicentro na área de Benavente, que foi já registado instrumentalmente (ainda que deficientemente) em Coimbra e em várias estações sismográficas europeias. Este evento foi sentido com uma intensidade de grau IX na área epicentral (onde provocou 46 mortos) e com intensidade VI em Lisboa, estimando-se-lhe uma magnitude de 6,5-7. A grande extensão da área intensamente afectada pelos sismo

de 1531 relativamente à área de maior destruição no evento de 1909 sugere que o primeiro tenha sido mais profundo e de maior magnitude que o segundo.

Para além da sismicidade no Ribatejo destaca-se a ocorrência de um importante sismo em 11 de Novembro de 1858, localizado provavelmente na plataforma continental a sul de Setúbal, com uma magnitude estimada em cerca de 7, recentemente referido em bibliografia internacional como um dos 15 maiores sismos registados no globo terrestre em “crosta continental estável”, bem como a referência a outros eventos localizados provavelmente na plataforma continental algarvia, ao largo de Portimão (sismo de 6 de Março de 1719) e ao longo de Tavira (sismo de 27 de Dezembro de 1722)<sup>12</sup>.

Todos estes eventos históricos que referimos terão tido uma magnitude de grau 6 a 7, estimada a partir das intensidades com que se fizeram sentir na sua área epicentral. Contudo, a maioria da sismicidade localizada no território emerso, ou próximo do litoral apresenta uma magnitude moderada a fraca, na generalidade inferior a 5. Os epicentros distribuem-se de forma dispersa, não sendo fácil correlacioná-los com as falhas activas conhecidas. O carácter difuso da sismicidade poderá dever-se à sua situação num ambiente tectónico intra-placa, mas poderá também resultar em parte de uma deficiente localização epicentral, particularmente no que respeita aos sismos anteriores a 1975, existindo então apenas quatro estações sismográficas a operarem em Portugal continental, das quais uma foi instalada em 1970 (J. CABRAL, 1996).

A ameaça sísmica é uma realidade em Portugal. Está, contudo, mal caracterizada devido sobretudo aos seguintes factores: a frequência de sismos destrutivos, que é diminuta em Portugal Continental, a dificuldade em avaliar a perigosidade que resulta da localização imprecisa das fontes, pelo menos até aos princípios da década de 80, muito poucos movimentos fortes foram instrumentalmente bem registados e são escassos os relatos referentes ao comportamento dos solos, dos edifícios, das estruturas, quando ocorrem abalos fortes.

Não obstante, as orientações seguidas até hoje permitiram lançar a Rede Nacional de Vigilância Sísmica sob a responsabilidade do Instituto de Meteorologia, reforçada com alguma expressão regional e académica, que está estruturada com as mais avançadas tecnologias desde a captura até à transmissão e processamento dos sinais sísmicos. As prioridades actuais viram-se para a implantação de uma rede nacional de redes regionais e locais que permitam registar movimentos fortes,

<sup>12</sup> Para uma perspectiva mais abrangente, e cientificamente fundamentada, sobre a sismicidade histórica, veja-se V. S. MOREIRA (1984); L. SOUSA, *et al.* (1992); S. OLIVEIRA e L. SOUSA (1991).

sobretudo nas zonas onde se observaram no passado efeitos destrutivos importantes (L. MENDES-VICTOR, 2000).

### Estimação do Risco Sísmico

O simples exame duma carta sismotectónica torna evidente que há regiões, como por exemplo, a Bacia parisiense ou a Escandinávia, onde os tremores de terra são raros e de magnitude fraca, permitindo dizer que aí o risco sísmico é negligenciável. Tal não é o caso da evidência demonstrada para a Itália, os Balcãs, a Anatólia, ou o Próximo Oriente.

A estimação do risco sísmico inscreve-se no âmbito do “longo prazo” e faz portanto apelo aos métodos da sismicidade histórica. A partir da análise de arquivos e de crónicas poderão constituir-se catálogos sísmicos fiáveis. Ou, mais raramente, quando os estudos paleosísmicos permitem, ir até a um passado pre-histórico, é possível estimar (com uma margem de incerteza) o intervalo de recorrência dos grandes sismos em falhas identificadas.

Actualmente, as vibrações sísmicas do solo num dado local podem ser registadas detalhadamente, sob a forma de sismogramas, em instrumentos denominados sismógrafos. A sismicidade que, desde os princípios do século XX, é registada em estações sismográficas designa-se por sismicidade instrumental. A actividade sísmica anterior, conhecida através da referência e descrição dos seus efeitos em documentos históricos, designa-se por sismicidade histórica.

A ocorrência de sismos anteriores aos registos históricos, reconhecidos e caracterizados apenas com base nos efeitos que a ruptura sismogénica correlativa produziu nas formações geológicas superficiais e na topografia regional, constitui a paleosismicidade. Os estudos de paleosismicidade, integrados no âmbito da Neotectónica e da Sismotectónica, são muito importantes para a correcta caracterização da sismicidade regional, pois dilatam extraordinariamente o período de tempo a que se reportam os dados, completando a informação histórica - frequentemente muito reduzida - e a instrumental (J. CABRAL, 1996).

A severidade das vibrações sísmicas ocorridas num dado local é medida pela intensidade sísmica. A sua quantificação, geralmente expressa em graus de uma escala de intensidades é feita através de uma avaliação dos efeitos produzidos pelo sismo no local considerado. Existem diversas escalas de intensidade sísmica, sendo

uma das mais utilizadas, nomeadamente no que respeita aos dados relativos a Portugal continental, a escala de MERCALLI modificada.

Avaliadas as intensidades sísmicas relativas a um dado sismo em diferentes locais de uma região, é possível desenhar linhas num mapa separando áreas que sofreram diferentes intensidades, designadas curvas isossistas.

Os sismos históricos são localizados através da distribuição das correspondentes curvas isossistas, admitindo-se geralmente que a sua região epicentral se localiza na área de intensidade máxima.

Os sismos instrumentais podem ser localizados através dos seus registos em diversas estações sismográficas, sendo a localização do hipocentro mais difícil e imprecisa do que a localização epicentral. O conhecimento das sismicidades, histórica e instrumental, de uma região permite elaborar mapas de epicentros, que reflectem a distribuição regional da sismicidade no período de tempo a que se refere a base de dados utilizada.

A partir da amplitude das vibrações sísmicas registadas em sismogramas calcula-se a magnitude dos sismos<sup>13</sup>, que é uma medida da energia libertada em cada evento e, portanto, uma medida da sua grandeza “absoluta”, independente da distância<sup>14</sup>. Embora a correlação entre magnitude e energia libertada num sismo seja relativamente grosseira, os sismólogos desenvolveram expressões de correlação entre estes dois parâmetros indicando que um aumento de uma unidade na magnitude corresponde a um incremento da energia sísmica libertada de cerca de 30 vezes, reflectindo a natureza logarítmica das escalas de magnitude.

#### *Probabilidade de ocorrência de um sismo*

O risco sísmico pode ser avaliado em termos de probabilidade, e exprimir-se através de fórmulas do género da usada em 1990 pelo US Geological Survey: “há 67% de possibilidades que um tremor de terra de magnitude superior ou igual a 7 se verifique na região de S. Francisco, nos próximos 30 anos” (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

A probabilidade usada para estimar a ocorrência de um sismo não é a probabilidade “frequentista”, familiar ao jogador de dados, que sabe que tem uma probabilidade de 1/6 (17%) de obter um 6 e que, atirando o dado um grande número de vezes, obterá, efectivamente, em média, o 6 uma vez em seis (1/6).

<sup>13</sup> Em L. Mendes-Victor, 2000 e J. Cabral, 1996, estão publicadas, respectivamente, a Escala de Intensidade Sísmica e Escala de Magnitude Sísmica.

<sup>14</sup> A primeira escala quantitativa de magnitudes sísmicas foi criada em 1931 pelo cientista japonês WADATI, e aperfeiçoada em 1935 pelo sismólogo norte-americano C. RICHTER, que definiu a magnitude local ( $M_L$ , também conhecida por magnitude de RICHTER). Devido a limitações desta magnitude como expressão rigorosa da grandeza dos sismos, ou seja, da energia libertada em cada evento sísmico, utilizam-se duas outras escalas de magnitude, sendo uma fundamentada na amplitude das ondas P, designada por  $m_b$  (body wave magnitude), e a outra na amplitude de ondas de superfície, designada por  $M_s$  (surface wave magnitude).

O risco sísmico é avaliado através de uma “probabilidade condicionada”, que mede o grau de plausibilidade de uma hipótese, tendo em conta as informações que se possuem<sup>15</sup>. As informações conhecidas sobre a actividade sísmica passada do segmento de falha considerado permitem construir uma lei matemática de probabilidade. A probabilidade condicionada para que um sismo se produza num intervalo de tempo  $\Delta T$  (a partir do momento dado), tendo em conta que se passou um determinado tempo  $T$  depois do último sismo, é igual à probabilidade de ocorrência no intervalo  $(T, T+\Delta T)$  dividido pela probabilidade de ocorrência para todos os tempos superiores a  $T$ . Estas probabilidades são evidentemente tanto mais dignas de confiança quanto mais assentam sobre a análise de longas séries temporais de tremores de terra. É, portanto, difícil de avaliar o risco nas regiões, sem dúvidas sísmicas, mas onde as falhas activas estão mal identificadas e/ou onde os grandes tremores de terra são raros.

Se a estimação do risco sísmico poderá vir a ser, eventualmente, útil para uma planificação de longo prazo, inquieta geralmente muito pouco os habitantes das regiões sísmicas, habituados à ideia de que os tremores de terra aconteceram já, e acontecerão no futuro. O que não deixará de estar relacionado com o facto de o período de retorno dos grandes sismos ser, regra geral, superior ao período de vida humana e, por isso, é possível que, à escala humana, possa em geral existir a esperança de escapar ao desastre durante o período de esperança de vida. Ora, tudo isto seria bem diferente se os sismos pudessem ser previstos no curto prazo.

#### *Poderemos prever os sismos?*

A bacia mediterrânica é tão sujeita a tremores de terra, com consequências tão devastadoras, que não nos deverá espantar que desde a Antiguidade se tenha investido na previsão sísmica. Contudo, as predições conheciam o cepticismo dos filósofos. Séneca exortava: “Fortifiquemos a nossa coragem contra uma catástrofe que não pode ser nem evitada nem predita”.

Quinze séculos mais tarde, Agricola, o mineralogista saxão, (1494-1555) não atribuía vantagem aos sinais precursoros: “Não existe sinal certo dum futuro tremor de terra” (*terroemotus futuri nullun certum signum*).

Quatro séculos mais tarde, em 1930, o sismólogo italiano AGAMENNONE (1858-1949), num artigo intitulado: “Estaremos nós na via da predição dos tremores de terra?”, conclui: “A verdade, de facto, é que a ciência não têm ainda capacidade para fazer tais previsões, e

ser-me-á fácil de demonstrar o que afirmo através de numerosos e espectaculares exemplos”.

Onde estaremos nos anos 2000?

Sabe-se que na maioria dos casos, os tremores de terra acontecem onde já aconteceram antes e onde virão a acontecer no futuro. Nestas regiões, o risco sísmico no longo prazo poderá ser avaliado. Mas o problema da previsão no curto prazo (da ordem de algumas semanas no máximo) é muito diferente do da avaliação do risco. Mesmo antes de abordar a questão de saber se a ciência moderna pode, ou não, prever sismos, é conveniente, antes do mais, examinar o que será preciso saber, exactamente, nos nossos dias, para “prever um sismo”.

Os astrónomos podem, desde há já vários séculos prever em que lugares do globo será visível um eclipse do sol e a hora exacta do princípio e fim do fenómeno. Esta previsão é possível, porque os movimentos da Terra e da Lua obedecem às leis newtonianas da mecânica celeste e, portanto, são calculáveis com a necessária precisão.

Tudo se passa de outra forma com a previsão sísmica, comparável, de algum modo, à previsão meteorológica (mas em sentido inverso, isto é, enquanto que a primeira actua no longo prazo, a segunda actua no curto prazo). De facto, as leis físicas que governam os tremores de terra ou as tempestades são, no essencial, bem conhecidas, mas a sua aplicação a casos particulares encontra-se severamente limitada pela complexidade dos fenómenos em jogo e por uma forte dependência das condições iniciais.

A possibilidade de previsão sísmica assenta sobre a existência, e o reconhecimento de signos premonitórios de um sismo, os “precursores”. Consegue-se identificar numerosos precursores geofísicos, nomeadamente, a multitude de fracos movimentos sísmicos, deformações do solo, perturbação do regime hidrológico, variações do campo magnético ou do campo eléctrico. Mas, regra geral, um precursor não pode ser reconhecido como tal, a não ser depois do choque principal (o que lhe retira muita da sua importância). E, um precursor que cremos ter identificado para um determinado sismo poderá revelar-se sem qualquer valor para um outro sismo.

De entre os precursores a muito curto prazo, há um que remonta à Antiguidade e que, em todos os tempos, parece ter lugar especial na memória do grande público. Trata-se do comportamento anormal dos animais pouco tempo antes de um tremor de terra. O geógrafo Élisée RECLUS (1830-1905), na sua grandiosa obra *La Terre*, escreveu: “Constitui opinião quase universalmente aceite, mas não ainda confirmada, duma maneira, completamente

<sup>15</sup> A partir do momento em que se conhece a probabilidade de o acontecimento B (do espaço de resultados  $\Omega$ ) ocorrer, é possível calcular a probabilidade de qualquer outro acontecimento A se realizar condicionado pelo acontecimento B. Por definição esta probabilidade é dada por:  $P[A | B] = P[A \cap B] / P[B]$  se  $P[B] > 0$ , isto é, a probabilidade de um acontecimento (A) condicionado pela ocorrência de outro (B) é igual ao quociente entre a probabilidade de ambos se realizarem ( $A \cap B$ ) e a probabilidade do acontecimento dado (E. Reis, et al., 2001).

irrefutável que os animais demonstram grande inquietação aquando da proximidade de um tremor de terra: em certas regiões, onde as convulsões do solo têm lugar frequentemente, existe mesmo o hábito de observar atentamente o comportamento dos animais domésticos para dessa forma surpreender o pressentimento das oscilações e assim se preparar para o perigo.

Pode ser, de facto, que as vibrações perceptíveis aos sentidos mais apurados dos animais, mas não sentidas pelos humanos, precedam os abalos subterrâneos mas, na maioria dos casos, é provável que chamadas de atenção deste género sejam feitas apenas depois do desastre e que a imaginação sobreexcitada pelo medo desempenhe um papel muito importante. O autor refere-se a Nápoles, onde “as formigas deixaram as suas galerias subterrâneas algumas horas antes do tremor de terra de 26 de Julho de 1805, os gafanhotos atravessaram a cidade para alcançar a costa e os peixes aproximaram-se da ribeira em catadupa”. E prossegue: “O que fica melhor provado, é o grande medo dos animais durante a catástrofe.” No entanto, segundo relatos da época, durante mais de vinte anos de observações contínuas não se encontrou um único caso autêntico em favor do pressentimento sísmico dos animais (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004: 31).

Mais que examinar a fiabilidade dos testemunhos, investigadores estudaram em laboratório os limites de sensibilidade de alguns animais aos estímulos geofísicos. Parece que certos peixes e aves percebem muito melhor que os humanos a frequência dos sons inferior a 40 Hz. Muitos dos relatos de pressentimento sísmico dos animais têm, sem dúvida, algum fundamento real. Mas, não restando muito mais que o comportamento dos animais, seja real ou reproduzido pelos humanos, sabemos bem que o testemunho é na maioria dos casos sujeito a cautela.

Para ser útil, uma predição deverá estar enquadrada do máximo de garantias de fiabilidade, e emanar dos organismos oficiais qualificados a tal. Esta condição não assegura, contudo, que a previsão se concretizará, mas deverá, pelo menos, permitir eliminar profecias de ‘iluminados’ e fantasiosos (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004). Charles RICHTER, o inventor da escala de magnitude que tem o seu nome, dizia em 1977 que a previsão constitui um magnífico terreno de caça para os amadores, os excêntricos, e os charlatães ávidos de publicidade.

Apesar do enorme esforço desenvolvido, tanto em investigação como em recursos económicos, não foi identificado nenhum precursor de valor geral, à luz do estado actual dos conhecimentos e alguns sismólogos são de opinião que não passa de uma ilusão pensar que um dia vai ser possível prever os sismos, pelo menos no curto prazo.

De facto, no decurso das últimas décadas, investigadores no campo da sismologia têm vindo a concordar com a impossibilidade em prever os sismos no curto prazo (R. GELLER *et al*, 1977; L. MENDES-VICTOR, 2000). Como disse um dia Hiroo KANAMORI, director do Laboratório Sismológico da Califórnia, Instituto de Tecnologia, numa conferência para que foi convidado para o Congresso da União Geofísica Americana: “É preciso viver na incerteza do potencial sismo, no curto prazo” (E. GUIDOBONI e J.-P. POIRIER, 2004).

A previsão sísmica, orientada sobretudo para a pesquisa de sinais resultantes de fenómenos precursores, exigindo um esforço científico internacional importante e que ainda não ultrapassou o âmbito científico, sendo alvo de grande controvérsia, não tem tido em Portugal o acompanhamento devido (L. MENDES-VICTOR, 2000).

A previsão de um sismo deve ter um valor operacional e deverá ser enunciada de tal forma que permita às autoridades civis tomar atempadamente as medidas apropriadas para proteger as populações afectadas. Assim, profetizar: “Produzir-se-á um dia um grande tremor de terra na falha de S. Andreas”, não tem mais valor preditivo que dizer: haverá um dia uma forte tempestade na Bretanha - é a evidência ela mesma! As instruções oficiais dos serviços de Estado da Califórnia mencionam que uma predição de tremor de terra deve compreender: a especificação da data, do lugar, da magnitude e da probabilidade de ocorrência do sismo previsto, com uma precisão suficiente que permita tornar possíveis acções com vista a minimizar as perdas em vidas humanas e reduzir os danos materiais.

Não parecendo possível, nos dias de hoje, a previsão sísmica (no sentido da previsão do dia, localização e magnitude do terramoto), um método, ou sistema, prático para prever sismos parece possível; aquele cuja previsão se situa num intervalo de 5 a 25 anos no futuro (C. LOMNITZ, 1994).

A previsão sísmica também está relacionada com a responsabilidade, a decisão e a ética, na medida em que os falsos alarmes podem, também eles, custar vidas e ter custos materiais, mas a própria investigação também custa dinheiro.

Nos inícios da década de 1980 foram desenvolvidos esforços por sismólogos no sentido de que fossem impostos códigos específicos de ética para a sua actividade. Foram nomeadas Comissões de avaliação da previsão sísmica como “watchdoges”, contudo, em vez de detectarem os infractores, começaram a apresentar previsões por sua conta e risco<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Minerva, a deusa do conhecimento e da ciência, floresce completamente armada dos recônditos do cérebro de Júpiter. Similarmente, a previsão dos sismos nasceu das profundezas dos bolsos das políticas de ciências de 1960 e 1970. A generosidade acabou mas a marca do nascimento mantém-se (C. LOMNITZ, 1994).

O que parece necessário é que haja uma protecção contra as más condutas nas previsões sísmicas, algum organismo que controle as previsões sísmicas (a exemplo do que se passa com FDA, US, ainda que longe da perfeição), que requeira testes duplamente cegos. Se os modelos científicos dependem dos próprios cientistas, a verdade não será uma consequência imediata, dado que as publicações científicas são revistas por pares e não por deuses do Olimpo (C. LOMNITZ, 1994)<sup>17</sup>.

A previsão sísmica não é apenas uma questão circunscrita à ciência moderna, é também uma questão pública<sup>18</sup>. Isto afecta um considerável número de factores cruciais da sociedade que têm a ver com o papel da ciência e as obrigações da ciência para com a sociedade (C. LOMNITZ, 1994). O que é um desastre? Estará a ciência a lidar com sucesso com os complexos problemas que envolve a previsão sísmica? Estas são questões que merecem não só um melhor aprofundamento científico, em termos intra e inter disciplinar, mas também uma maior comunicação e discussão pública.

A sismologia foi definida como a ciência ancorada em dados chamados sismogramas (K. AKI and P. RICHARDS, 1980). Mas, esta definição é incompleta porque não incorpora um enorme sofrimento humano causado pelos complexos fenómenos denominados de sismos, criando um desfasamento entre os que produzem dados (os cientistas) e aqueles que têm que os usar (os públicos) (C. LOMNITZ, 1994; R. THOM, 1993).

Actualmente, os sismogramas parecem dizer muito pouco do que precisamos de saber para saber como nos prevenir contra os desastres decorrentes de fenómenos naturais (C. LOMNITZ, 1994; R. THOM, 1993)<sup>19</sup>.

#### *Métodos de cálculo: deterministas e probabilistas*

Para estudar a ocorrência de sismos e definir o zonamento sísmico de um território (S. OLIVEIRA e S. CABAÑERO, 1999), usam-se diversas metodologias de cálculo que podem classificar-se em duas categorias principais, segundo analisem o fenómeno sísmico através de métodos do tipo determinista ou probabilista.

A abordagem determinista procura estabelecer, para cada falha activa, o sismo máximo credível e o seu período de retorno, a partir das características da falha em questão.

Daqui decorre, que quanto maior for o comprimento da falha e mais elevada a taxa de actividade, mais elevada será a magnitude do sismo máximo credível (A. RIBEIRO, 1995; 1997; S. OLIVEIRA e S. CABAÑERO, 1999). Conhecida a magnitude do sismo máximo credível, o seu período de retorno, e a curva de atenuação para uma determinada região, os engenheiros sísmicos podem projectar estruturas (habitações, barragens, pontes, centrais nucleares, etc.) resistentes ao sismo máximo credível antecipado.

Contudo, só em situações em que a falha esteja bem exposta, em que a sismicidade instrumental seja acompanhada por uma rede sísmica, densa e bem equipada, a paleosismicidade seja bem conhecida e os poderes políticos invistam o necessário para proceder à monitorização e investigação dos sistemas de falhas activas é que existem as condições para se aplicar a abordagem determinista na previsão sísmica (como seja o exemplo da Falha de S. Andreas, na Califórnia) (A. RIBEIRO, 1995).

A abordagem probabilística procura estimar, para um futuro sismo, a magnitude e o período de retorno (para essa magnitude), através de extrapolações para magnitudes mais elevadas da curva - recta em diagrama bilogarítmico - registada para magnitudes mais baixas (A. Ribeiro, 1995). No entanto, à medida que a magnitude aumenta verificam-se desvios à lei de GUTENBERG-RICHTER que podem levar a subestimar o risco, com consequências graves em termos de perdas de vidas humanas e económicas. E, ainda, a estatística fractal não permite prever a localização, nem no tempo, nem no espaço, dado haver tendência para ocorrência de eventos 'em cacho' (agregação/'clustering'), ou concentrados no tempo e espaço (A. RIBEIRO, 1995)<sup>20</sup>.

Contrariamente à perspectiva do caos determinista, que vê o processo sismogenético como exemplo de deslizamento às sacadas, e essencialmente imprevisível porque a incerteza cresce exponencialmente com o tempo, A. RIBEIRO (1995) propõe que a interpretação de caos fraco parece mais próxima da realidade do processo de falhamento sísmico que, segundo o autor, possui "carácter fractal, no espaço e no tempo, como expressão de criticalidade auto-organizada", onde a incerteza aumenta no tempo de acordo com uma lei de potência. Citando P. BAK (1996), que introduziu o conceito de criticalidade auto-organizada, A. RIBEIRO (1995) defende que aquela distinção é fundamental, na

<sup>17</sup> Nesta perspectiva, o genuíno pensamento científico, nem sempre será fácil de identificar num determinado paper. Poderá haver obstáculos até na aceitação de um paper pelos referees, o que parece deixar pouca margem de ancoragem para códigos de conduta.

<sup>18</sup> Para uma visão compreensiva sobre a previsão sísmica, veja-se T. RIKITAKE (1976) e K. MOGI (1985). Para uma revisão interdisciplinar da mais recente investigação sismológica veja-se C. SCHOLZ (1990).

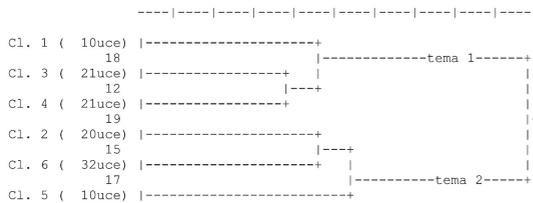
<sup>19</sup> René THOM (1993) mostra que paralelamente à ciência quantitativa e preditiva, existe uma abordagem qualitativa em que o valor explicativo é, talvez, mais fino e mais decisivo para o conhecimento.

<sup>20</sup> "Ora, se considerarmos justamente a sismicidade de uma área suficientemente vasta verifica-se a chamada lei de GUTENBERG-RICHTER, em que existe proporcionalidade entre o logaritmo da energia libertada pelo sismo, que é afinal a magnitude, e o logaritmo da frequência correspondente a essa magnitude. Muitas outras variáveis obedecem a esta distribuição fractal, sendo a mais evidente para o leigo a distribuição da riqueza (lei de PARETO): por exemplo em Portugal, os multimilionários contam-se pelos dedos da mão, os milionários serão da ordem das centenas, os ricos da ordem dos milhares, a classe média da ordem das centenas de milhar, os pobres da ordem do milhão..." (A. RIBEIRO, 1995: 47-48).

medida em que, no modelo de caos fraco, a previsão a longo prazo é possível, o mesmo não se passando no caso de caos forte.

Esta perspectiva é confirmada na análise estatística do discurso dos 17 cientistas entrevistados. Para o tema: Escolas: estilos cognitivos (intra-grupo e inter-grupo na análise do risco sísmico), resultaram 6 classes, decorrentes de 7655 ocorrências, classificadas em 114 uce's que explicam 59% da análise (DENDROGRAMA I).

DENDROGRAMA I - Classes seleccionadas pelo Alceste.

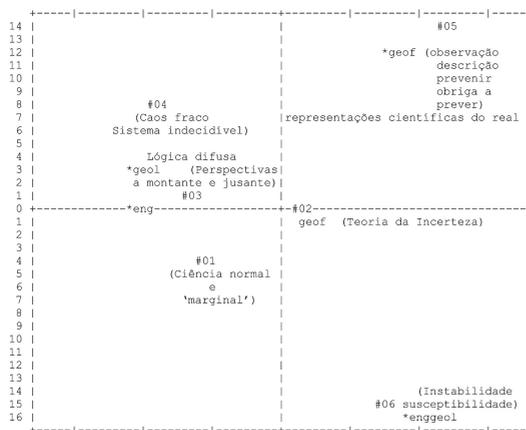


Os dois temas reportam às dicotomias explicativas encontradas para o fenómeno sísmico, dando conta da homogeneidade e da diferenciação inter e intra-grupo, ancorada em pressupostos diferenciados, revelando diferentes estilos de pensamento.

O tema 1 (“Da teoria padrão à teoria ‘marginal’”) é constituído pelas classes 3 e 4, por sua vez, conjuga com a classe 1. O tema 2 (“Da observação e Descrição à Teoria da Incerteza e à Instabilidade e susceptibilidade dos sistemas”, é composto pelas classes 2 e 6, conjuga, por sua vez, com a classe 5. As classes foram nomeadas pelo software de análise de dados, Alceste, em função do léxico associado a cada uma<sup>21</sup>.

No DIAGRAMA I, podemos observar a projecção das classes no plano factorial.

DIAGRAMA I - Projecção das classes e palavras estrela no plano factorial.



<sup>21</sup> O valor mínimo do  $\chi^2$  para seleccionar as formas mais frequentes é de 2 e varia entre 0 e 9999.

Optamos por apresentar as uce's mais representativas desta análise, como se verá à frente, em vez do conteúdo lexical associado às classes por termos concluído que só as palavras não permitiam perceber tão bem a ancoragem temática que nos permitiu identificar os diferentes estilos, associados às diversas dimensões do fenómeno sísmico.

O plano factorial é constituído pelos dois factores organizadores dos pressupostos que emergiram dos discursos.

O primeiro factor, refere-se ao eixo horizontal, tem associada 23.62% de inércia (variância explicada), designado “Da teoria padrão à teoria ‘marginal’” dá conta das teorias e metodologias explicativas que se centram no designado (pelos sujeitos) “main stream”, isto é a Teoria da Tectónica de Placas, bem como das explicações que se situam nas “franjas da ciência normal”, isto é o Paradigma das Placas Fofas (proposto por A. RIBEIRO, 1986; 1987; 2002). Dando conta das controvérsias existentes no âmbito da ‘ciência como explicação’ salienta perspectivas relacionadas com: a indecidibilidade dos sistemas naturais, a oposição entre previsão e explicação do fenómeno sísmico, os modelos de reconhecimento de padrões e o das sequências compactas entre sismos (com base no modelo das redes neuronais) e, ainda, as tensões dinâmicas e tensões estáticas. Este factor evidencia uma organização dos discursos em torno dos seguintes pressupostos opostos: caos fraco/caos forte; determinismo/probabilismo; previsão/prevenção que se prendem com as perspectivas a montante, mais viradas para a explicação do fenómeno (cientistas mais ‘puros’), ou com perspectivas a jusante, mais estruturalistas, viradas para a aplicação em engenharia; para os projectos de estruturas resistentes, em função de conhecimentos também providos da ‘região de conhecimento situada a montante’.

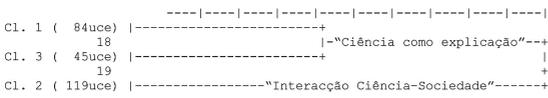
O segundo factor reporta ao eixo vertical, explica 22.32% da inércia. Designado “Da observação e Descrição à Teoria da Incerteza e à Instabilidade e Susceptibilidade dos Sistemas”, revela-nos, por um lado, a importância atribuída à observação e descrição para a explicação do fenómeno sísmico, mas também para a interacção ciência-sociedade e, por outro, o privilégio dado às dimensões da incerteza, instabilidade, susceptibilidade e da acção humana no comportamento dos sistemas físicos. Este factor evidencia uma organização dos discursos em torno dos seguintes pressupostos: observação e descrição/natureza ‘manufacturada’; incerteza/probabilidade; instabilidade e susceptibilidade/equilíbrio dos sistemas; previsão/prevenção, que se prendem com a relativização das visões (representações) científicas do real, em função de teorias explicativas, da prevenção associada à previsão e à acção do homem na natureza, com a instrumentação das falhas e com a evolução do conhecimento em função do estudo dos sistemas dinâmicos e do comportamento caótico da natureza.

*Previsão sísmica no âmbito da Neotectónica e Sismicidade*

Continuando à procura da regularidade de pressupostos que nos permitam identificar e confirmar os diferentes estilos de pensamento associados à previsão do fenómeno sísmico e dimensões subjacentes, procedemos, ainda, à análise estatística do discurso de um grupo focalizado conduzido com cientistas.

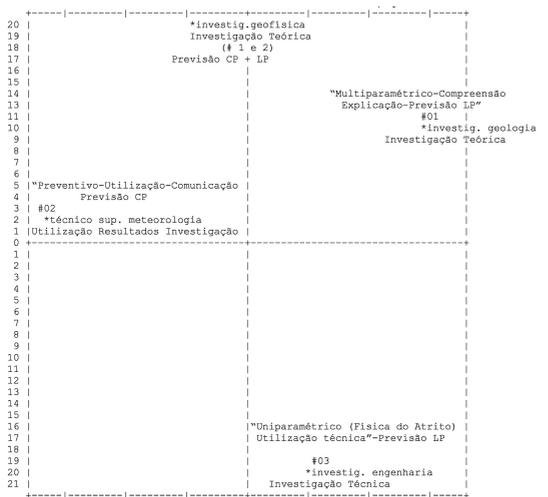
A partir de um *corpus* de 11487 ocorrências, o sistema reteve 43% das mesmas para análise (n=4264, correspondendo a uma frequência mínima >3), tendo produzido 286 u.c.e., das quais, 248 (87%) foram agrupadas e classificadas, de forma hierárquica, em 3 classes, expressas no DENDROGRAMA II e DIAGRAMA II, seguintes:

DENDROGRAMA II - Classes seleccionadas pelo Alceste.



Os resultados mostram 3 classes, nomeadas de acordo com o léxico associado a cada (DIAGRAMA III - Projecção dos conteúdos mais significativos das classes temáticas).

DIAGRAMA II - Plano factorial com as variáveis e as classes projectadas.

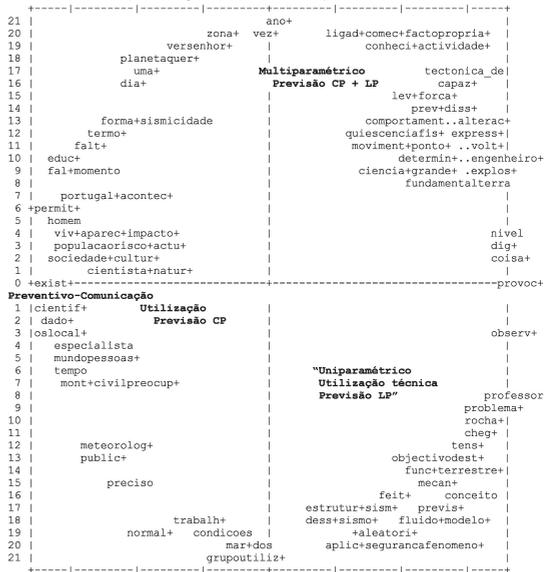


A classe 1, “Multiparamétrico-Compreensão-Explicação-Previsão LP”, explica 34% da análise (84uce) e inclui contributos das variáveis geologia: 12.53 e geofísica: 6.72. A classe 2, “Preventivo-Utilização-Comunicação aos Públicos-Previsão CP”, explica 48% da análise (119 uce) e inclui contributos das variáveis meteorologia: 22.85 e geofísica: 7.85. A classe 3, “Uniparamétrico (Física do Atrito)

do Atrito)-Previsão LP-Utilização técnica”, explica 18% da análise (45 uce’s) e inclui contributos da variável engenharia: 131.87.

O plano factorial mostra a projecção do vocabulário específico das 3 classes apuradas pelo Alceste (DIAGRAMA III).

DIAGRAMA III - Projecção dos conteúdos mais significativos das classes temáticas.



(O valor mínimo do  $\chi^2$  para seleccionar as formas mais frequentes é de 2 e varia entre 0 e 9999).

O plano factorial é constituído pelos dois primeiros factores organizadores das concepções que emergiram dos discursos. O primeiro refere-se ao eixo horizontal, tem associada 55,61% de inércia (variância explicada), e foi designado por “da Investigação Teórica à Investigação Técnica”; o segundo factor reporta ao eixo vertical, explica 44,39% da inércia, e designou-se por “da Explicação à Utilização-Comunicação”.

Deste modo torna-se possível analisar com mais precisão o posicionamento e a dinâmica das relações que se estabelecem entre as ancoragens temáticas que permitem identificar os pressupostos que, por sua vez permitem a objectivação das diferentes concepções dos cientistas.

*Ciência como Explicação. O modelo geodinâmico<sup>22</sup>*

O modelo geodinâmico, patente na classe 1, evidencia um conteúdo em que a “Sismicidade auto-desencadeada” (A. RIBEIRO, 1999) nos dá uma visão problematizadora da produção/indução de sismos. Partindo da hipótese de que

<sup>22</sup> As análises que se seguem resultam, por sua vez, da análise cruzada do discurso dos participantes feita pelo programa Alceste, com a análise de conteúdo clássica e da análise documental de algumas publicações dos sujeitos. Em termos metodológicos, foi indispensável este cruzamento, dado que, pelo facto de estarmos a analisar, com recurso ao Alceste, o ‘discurso vivo’ dos cientistas (isto é, que decorria da interacção decorrente da aplicação da técnica do grupo focalizado), notaram-se problemas de ‘estabilidade’ dos dados. Por isso, o recurso, à produção teórica dos autores revelou-se uma técnica auxiliar importantíssima na confirmação da análise dos dados que decorria do Alceste. Como afirmam alguns dos estudiosos dos estilos de pensamento, é mais fácil estudar esta área do conhecimento

a esquizosfera<sup>23</sup> está num estado crítico auto-organizado, poder-se-á ter uma ideia de que a ocorrência de sismos destrutivos em intervalos curtos poderá levantar o problema de estarem relacionados entre si, sem que, contudo, seja posta em causa a hipótese de que certas “causas globais como irregularidades no movimento de rotação da Terra, poderem induzir ou ser induzidas por sismos de elevada magnitude”. Nesta perspectiva, até “a actividade humana poderá desencadear sismicidade considerável se uma pequena perturbação irreversível do estado de tensão for aplicada num lapso de tempo curto”, tendo por base a analogia de P. BAK (1996) da “pilha de areia seca que atingiu um certo ângulo de inclinação; a queda de mais um grão de areia pode desencadear pequenas avalanches de poucos grãos, muito frequentes, ou uma grande avalanche de muitos grãos, pouco frequente”.

Em suma, na perspectiva de A. RIBEIRO, a complexidade da lei do atrito nas falhas é a principal causa da complexidade dos sismos, indecíveis a curto prazo mas previsíveis, em sentido probabilístico, a longo prazo (A. RIBEIRO, 1995).

Durante o ciclo sísmico, o comportamento da esquizosfera poderá ser considerado na perspectiva dum sistema dinâmico, como um exemplo de caos determinístico (D. TURCOTTE, 1997), ou de caos fraco (P. BAK and K. CHEN, 1991), segundo diversos autores. O caos estrito não permite a previsão de sismos a não ser em termos probabilísticos, contudo, o caos fraco permite a previsão de sismos no longo prazo (A. RIBEIRO, 1998). No primeiro caso, a incerteza aumenta exponencialmente com o tempo<sup>24</sup>, no segundo caso a incerteza aumenta segundo uma lei de potência com o tempo<sup>25</sup>.

A. RIBEIRO (1998) defende a teoria do caos fraco mais do que a do caos estrito para as falhas sísmicas, porque a previsão sísmica no longo prazo tem sido melhor sucedida do que no médio ou curto prazos (R. GELLER *et al.*, 1997). Teoricamente, isto significa que os movimentos desordenados da esquizosfera devem ser atenuados pelos movimentos ordenados da plastosfera (A. RIBEIRO, 1998).

A indecibilidade na previsão do falhamento sísmico, segundo A. Ribeiro, está ligada ao facto de este ser um exemplo de caos fraco, por criticalidade auto-organizada (no sentido de P. BAK), o que torna a previsão a longo prazo possível, sendo, contudo, a previsão a curto prazo provavelmente indecível. Segundo o autor: “os processos indecíveis podem ser simulados

por autómatos celulares de Classe IV de WOLFRAM e correspondem a estados transientes entre a Classe II, periódica e Classe III, caótica”. O que, “sob o ponto de vista físico traduz o facto da esquizosfera, como meio particulado tal como a areia ter, simultaneamente, propriedades reológicas sólidas e líquidas” (1998:29).

A capacidade de previsão de fenómenos associados à actividade tectónica num enquadramento geodinâmico em mudança é, obviamente, menor do que em ambientes tectónicos estáveis. A caracterização do regime vigente é, contudo, essencial quer para uma correcta avaliação do risco sísmico, quer para actividades tão diversas como a selecção de sítios e o projecto para-sísmico de grandes obras de engenharia, o armazenamento de resíduos perigosos, ou o ordenamento urbano (J. CABRAL; 1996).

Esta classe conjuga, ainda, e no âmbito da “ciência como explicação”, a inclusão do conhecimento do comportamento da terra em profundidade, para que se compreenda a sua expressão à superfície, numa perspectiva que, girando em torno dos pressupostos antitéticos: quiescência / turbulência, equaciona os diversos parâmetros, que à luz actual dos conhecimentos, poderão contribuir para um melhor conhecimento da génese (no que diz respeito aos conjunto das solicitações) e previsibilidade dos sismos.

Salientando a importância que, por um lado, o avanço do conhecimento neste área tem tido e, por outro, o conhecimento interdisciplinar, permitindo uma maior abrangência explicativa do fenómeno, referindo a importância da aplicação do modelo da física do estado sólido (do atrito) ao comportamento das rochas, para que melhor se possa estimar a ocorrência dos sismos (no sentido da previsão) e o comportamento dos materiais a montante e, consequentemente, a jusante propor medidas mais adequadas de prevenção.

Segundo A. RIBEIRO (1998) deverão continuar a manter-se os esforços na previsão dos sismos (sismólogos, tectonistas e engenheiros sísmicos devem desenvolver esforços conjuntos que contribuam para a caracterização do risco sísmico) porque não podemos excluir que, quanto maiores forem os progressos científicos, melhores condições haverá para reduzir a incerteza da indecibilidade no domínio da imprevisibilidade do processo dinâmico das falhas sísmicas.

Mas também serão contributos fundamentais para a definição de políticas de mitigação do risco sísmico

---

através da produção teórica que os sujeitos deixam (J. HARWOOD, 1993; M. J. NYE, 1993); até, porque os *thémata*, que guiam a produção dos sujeitos, nem sempre são da ordem do explícito (G. HOLTON, 1998a,b). Não será, pois, por acaso que esta área de estudo tem estado muito mais relacionada com as preocupações científicas de historiadores do que de psicólogos e sociólogos.

<sup>23</sup> “Na generalidade das situações, apenas a zona da crosta terrestre situada acima dos 20 a 15 km de profundidade é, pelas condições de pressão e temperatura a que se encontram as rochas, suficientemente frágil para aí ocorrer ruptura sísmica nas falhas activas, constituindo a camada sismogénica do Globo, ou esquizosfera.” (J. CABRAL, 1996: 42).

<sup>24</sup> Ou, dito de outra forma, “o expoente de Lyapunov é positivo” (A. RIBEIRO, 1998).

<sup>25</sup> Ou, “o expoente de Lyapunov é zero” (ibid).

*Modelação do mecanismo da fonte sísmica*

que identifiquem as acções a desenvolver no contexto da Protecção Civil, o estabelecimento das políticas de seguros, e o ordenamento do território (S. OLIVEIRA e S. CABAÑERO, 1999; L. MENDES-VICTOR, 2000).

A modelação do mecanismo da fonte sísmica, patente na classe 3, evidencia a singularidade de um estilo de pensamento que defende a necessidade de investir na modelação do mecanismo da fonte sísmica com o objectivo da previsão sísmica (U. NASCIMENTO, 2000).

Com base nos estudos desenvolvidos sobre rochas submetidas a um certo estado de tensão que evoluem como se fossem um fluido, embora não o sendo; o que se poderá designar de fluência friccional, propõe que se caminhe para a previsibilidade dos sismos.

Na sequência de comunicação na Academia de Engenharia: “O distante objectivo da previsão dos sismos” resultou a constituição de um Grupo de Trabalho sobre “A Previsão sísmica e a difícil mas necessária modelação dos mecanismos da fonte sísmica”. São várias disciplinas que compõem o Grupo de Trabalho de Previsão Sísmica, nomeadamente, a geologia, a meteorologia, a geodesia, a mecânica das rochas, e esperam no final elaborar um relatório com contributos para o ainda distante objectivo da previsão sísmica.

Propõe um modelo matemático do mecanismo gerador dos sismos que aplicou a alguns sismos célebres, como na América, na falha de S. Andreas, o de Kobe e o dos Açores, do qual é possível deduzir um conjunto de funções matemáticas que ligam entre si os principais parâmetros do fenómeno sísmico: a tensão, o deslocamento, a rugosidade das rochas, a viscosidade. U. NASCIMENTO (2000) tem a convicção que o modelo matemático dos fenómenos sísmicos é essencial para se poder avançar na previsão. Comparando com a meteorologia, que tem um modelo baseado na mecânica dos fluidos - “um domínio das ciências já bem dominado: sem a mecânica dos fluidos a meteorologia não podia fazer previsões!”- afirmando que é preciso desenvolver o equivalente da mecânica dos fluidos, na mecânica das rochas e na mecânica dos sismos<sup>26</sup>. E, com base nesse modelo considera viável o melhoramento progressivo da previsão dos sismos e, eventualmente, do seu controlo, diante de um programa de focos sísmicos que propõe.

Considera que esse importante objectivo, da previsão, é um objectivo a atingir em décadas. Isto é, defende a possibilidade de se chegar a uma situação pela via do desenvolvimento e aplicação do seu modelo matemático,

ao mesmo nível a que se encontram hoje as previsões meteorológicas. Refere, contudo, que não é uma coisa absolutamente segura! As previsões meteorológicas também não são absolutamente seguras! Mas há uma grande diferença entre a previsibilidade meteorológica hoje, e a previsibilidade dos sismos! E, do seu ponto de vista, se não houver um modelo do mecanismo na fonte, isto é, sem um modelo matemático do mecanismo na fonte, não se poderá progredir na previsão sísmica! (U. NASCIMENTO, 2000).

Através de um modelo simples, propõe o equivalente da viscosidade, o da fluência friccional que, em seu entender é o equivalente da viscosidade - o ‘creep’ - porque o problema da mecânica dos fluidos apoia-se num modelo muito simples da viscosidade.

É a noção de viscosidade que é fundamental na mecânica dos fluidos, e da termodinâmica, sendo a fluência friccional uma reptação; um fenómeno descontínuo. Segundo U. NASCIMENTO (2000), esta investigação é “apaixonante, mas é extremamente difícil! E é essa a via!” O problema da engenharia é que tem que resolver os problemas concretos com o saber disponível, o problema da ciência é fazer avançar o saber disponível. O conceito fundamental em engenharia é o coeficiente de segurança, o coeficiente de segurança resulta de uma complementação matemática, meramente matemática, entre dois fenómenos aleatórios, entre dois parâmetros aleatórios. Então, de um lado está a resistência dos materiais, que não é um número exacto, é um conjunto de números com uma distribuição aleatória, portanto, de um lado está a resistência, não é um número, é uma distribuição aleatória, do outro lado estão as solicitações (pode ser um comboio que passa com um certo peso, pode ser um vento, pode ser um sismo, pode ser uma passagem excepcional de muitos veículos) sobre a estrutura, que é outro parâmetro aleatório. Quer dizer, quanto mais afastado estiver a média das solicitações da média da resistência, maior é a segurança. Portanto, no modelo proposto, a técnica utilizada é a da engenharia.

*Cultura de risco, prevenção, comunicação*

Por fim, na classe 2, é visível um pensamento que remete para a interacção da ciência com a sociedade, com base na responsabilidade e na ética, não só dos cientistas, mas de todos os actores envolvidos nos processos de decisão em risco sísmico, desde os políticos ao cidadão.

Partindo da princípio de que a comunidade científica se tem afastado dos leigos no que diz respeito à comunicação, e tomando como exemplo a meteorologia,

<sup>26</sup> Alguns autores têm defendido mesmo que a sismicidade é a expressão de turbulência em sólidos (GOLTZ, 1997, citado em A. RIBEIRO, 2002; A. RIBEIRO *et al.*, 2004).

reforça a necessidade de uma maior interacção entre cientistas e sociedade devendo o cientista preocupar-se, sentir responsabilidade, com o impacto social do seu trabalho.

Salienta-se, ainda o facto de o objectivo da previsão científica ter vindo a perder o seu impacto inicial na comunidade científica e que, em face da incapacidade de previsão a curto prazo será necessário investir na prevenção, mas uma prevenção que não ignore a necessidade de previsão, cuja dificuldade reside na grande heterogeneidade planetária.

Sendo, portanto, necessário ter em conta, também, o investimento nas formas de comunicar, de maneira a que seja possível promover e alterar comportamentos, é salientada a importância de, a montante, passar a informação de que o risco nulo não existe, assim, a jusante, ajudar a mitigar os danos decorrentes dos sismos numa perspectiva que se preocupa com a especificidade da identidade científica na comunicação para públicos exteriores ao campo científico.

Em suma, da conjugação da análise dos dados aqui apresentados, resultantes da conjugação dos resultados do Alceste com a análise de conteúdo clássica e com a análise documental de trabalhos escritos produzidos por alguns dos cientistas participantes, podemos concluir que os discursos dos cientistas consubstanciam o que poderemos designar de 'racionalidade activa', quanto ao fenómeno sísmico, na medida em que possuem o conhecimento e as formas de o usarem, que expressa de formas diferenciadas consoante os seus objectivos e interesses científicos e sociais.

A Investigação Teórica (classe 1; caos fraco) e a Investigação Técnica (classe 3; caos forte) sobrepõem-se e distanciam-se na questão do tipo de caos e das solicitações consideradas: isto é, na classe 3 defende-se um caos determinista, assentando no pressuposto de que uma pequena solicitação poderá provocar um grande efeito; o denominado 'efeito borboleta', enquanto na classe 1 se defende que o sistema é indecível, umas vezes poderá comportar-se como um caos fraco e outras como um caos forte, sendo preciso considerar, nesta perspectiva, 'o conjunto das solicitações' o responsável pelos efeitos.

A Investigação Técnica (classe 3) e a Investigação Teórica (Geofísica) sobrepõem-se na questão do estudo das fontes ser uma questão para a engenharia com o objectivo da prevenção. As duas classes referidas sobrepõem-se à classe 1 no que diz respeito à importância da física do atrito, com base no modelo da mecânica dos fluidos, utilizada na meteorologia, para a explicação da mecânica dos solos. Aplicada ao fenómeno sísmico.

A Investigação Teórica (Geofísica) e a Utilização (classe 2) sobrepõem-se nas questões da prevenção no curto prazo

e aviso prévio da população, informação e comunicação para sociedade com o objectivo da prevenção, com base na ética e responsabilidade dos cientistas, políticos e todos os actores envolvidos no conhecimento e mitigação do risco sísmico.

O léxico associado às classes permite identificar tipos de discurso diferenciados. As três classes identificadas dão visibilidade à forma como os discursos se distribuem, ancorados em conteúdos lexicais específicos de acordo com o peso relativo atribuído aos diferentes pressupostos que caracterizam três tipos de discurso, característicos de cada estilo de pensamento. Os pressupostos orientadores dos discursos podem ser transversais às várias classes, contudo, o peso atribuído aos diversos pressupostos (Investigação Teórica / Investigação Técnica; Linearidade / Complexidade; Multiparametria / Uniparametria; Explicação / Previsão LP, Previsão CP, Prevenção; Conhecimento / Utilização, Comunicação), é que é diferente, nas três classes temáticas, as quais recobrem diversas dimensões do mesmo problema a que os cientistas atribuem importância diferenciada consoante os seus interesses científicos.

## Conclusão

Em suma, retomando os Pressupostos Teóricos, explicitados na Parte I, poderemos concluir que os contextos de produção e os paradigmas e comunidades de pensamento científico constituem parâmetros que contribuem para a explicação dos diferentes estilos encontrados, configurados nas três classes temáticas analisadas. Os estilos resultam e dão visibilidade, tanto à disciplina, como à instituição de pertença, encontrando-se estas interligadas. Ancorados em pressupostos ou *thémata* diferenciados, enformam os objectivos científicos dos sujeitos, cuja extensão social, também depende desses pressupostos.

Assim, na classe 1 encontramos contributos de sujeitos provindos da mesma instituição e com formação paradigmática de raízes comuns. Na classe 2 encontramos sujeitos que já pertenceram à mesma instituição e que partilham objectivos de comunicação a públicos diferenciados dos pares, promovendo atitudes e comportamentos em função da informação comunicada, que por sua vez, advém do estado actual dos conhecimentos e da técnica. Esta intersecção é patente no contributo do mesmo sujeito para as classes 1 e 2, tornando visível que através dos pressupostos partilhados diferentes sujeitos provindos de disciplinas paradigmáticas diferentes poderão comunicar em função de objectivos científicos diferenciados, por sua vez, ancorados na importância relativa atribuída aos *thémata* que 'circulam' na comunidade científica. Confirmando-se, desta forma, resultados anteriores (C. DIEGO GONÇALVES,

1999) e uma das hipóteses de que partimos, que remetia para a relação de causalidade existente entre a disciplina de pertença (e a instituição) e grau de importância atribuída aos diversos pressupostos, transversais aos estilos encontrados.

## Bibliografia

- AKI, Keiiti and RICHARDS, Paul, G. (1980), *Quantitative Seismology*, W.H. Freeman, San Francisco, 700 p.
- BAK, Per (1996), *How nature works. The science of self-organized criticality*, Springer-Verlag, New York, 212 p.
- BAK, Per and KAN, Chen (1991), *Self-organized criticality*. Sci. Am. 264(1), p. 26-33.
- BOER, Jelle Zeilinga & SANDERS, Donald Theodore (2005), *Earthquakes In Human History. The Far-reaching Effects of Seismic Disruptions*. Princeton University Press, Princeton and Oxford, 278 p.
- CABRAL, João (1995), *Neotectónica em Portugal Continental*. Memórias do Instituto Geológico e Mineiro, n. 31, 265 p., Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- CABRAL, João (1996), “Sismotectónica de Portugal”, *Colóquio/Ciências. Revista de Cultura Científica*, n. 18, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, p. 39-58.
- CABRAL, João e RIBEIRO, António (1988), *Carta Neotectónica de Portugal Continental*, Escala 1:1.000.000. Dep. Geol. Fac. Ciências de Lisboa, Serv. Geol. de Portugal, Gab. Prot. Seg. Nuclear, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- CAMPOS, Isabel Maria Barreira (1998), *O Grande Terramoto (1755)*, Editora Parceria, Portugal, 693 p.
- CHESTER, David K. (1993), *Volcanoes and Society*, Routledge, Chapman and Hall, New York, 351 p.
- DIEGO GONÇALVES, Carmen (1999), *Estilo de Pensamento da Produção de Conhecimento Científico. Um estudo de caso, o grupo dos relativistas do DFFCUL*. Dissertação de Mestrado apresentada no âmbito do Mestrado de Comunicação, Cultura e Tecnologias da Informação, ISCTE, Lisboa, 156 p.
- DIEGO GONÇALVES, Carmen (2006) - *Estilos de Pensamento nas Concepções e Percepções de Risco. O Risco Sísmico em Portugal Continental. Da Previsão à Prevenção*, Dissertação de Doutoramento em Sociologia, Especialidade Sociologia da Comunicação, da Cultura e da Educação, ISCTE, Lisboa, p. 276.
- FONSECA, João (2004), *1755, o Terramoto de Lisboa*, Argumentum, Lisboa, 139 p.
- FONSECA, João (2005), “The Source of the Lisbon Earthquake”, *Science*, v. 308, p. 50-52.
- GELLER, Robert J., JACKSON, David D., KAGAN, Yan, Y., MULARGIA, Francesco. (1997), “Earthquakes cannot be predicted”. *Science*, v. 275 {[www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)}.
- GUIDOBONI, Emanuela e POIRIER, Jean-Paul (2004), *Quand La Terre Tremblait*, Odile Jacob, Paris, 231 p.
- HARWOOD, Jonathan (1993), *Styles of Scientific Thought. The German Genetics Community 1900-1933*, The University of Chicago Press, Chicago and London, 423 p.
- HESS, Harry Harmond (1962), History of Ocean basins. In Engle, A.E.J. et al. (eds), *Petrologic Studies: A Volume in Honor of A.F. Buddington*, Geological Society of America, Boulder, Colorado, p. 599-620.
- HOLTON, Gerald (1998a), *Science en gloire, Science en procès. Entre Einstein et aujourd’hui*, Éditions Gallimard, Paris, 296 p.
- HOLTON, Gerald (1998b), *A Cultura Científica e os seus Inimigos. O legado de Einstein*. Trad. Fernando Henrique de Passos, Gradiva, Lisboa, 256 p.
- ISACKS, Bryan, OLIVER, Jack, SYKES, Lynn R. (1968), “Seismology and the New Global Tectonics”. *Journal of Geophysical Research*, v. 73, n. 18, p. 5855-5899.
- LE PICHON, Xavier (1968), « Sea-floor spreading and continental drift ». *J. Geophysical Research*, v. 73, p. 3661 sg.
- LIMA, Maria Luísa (1993), *Percepção do Risco Sísmico: Medo e Ilusões de Controlo*. Tese de doutoramento em Psicologia Social e Organizacional (especialidade de Psicologia Ambiental e Comunitária), ISCTE, Lisboa, 353 p.
- LOMNITZ, Cinna (1994), *Fundamentals of Earthquake Prediction*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 326 p.
- MENDES-VÍCTOR, Luís (2000), “Riscos Associados a Fenómenos Naturais”, *Colóquio/Ciências*, n. 25, Revista de Cultura Científica, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, p. 37-53.
- MENDES-VÍCTOR, Luís (1992), « Rapport sur les cas d’étude Lisbonne ». In L. Mendes-Victor (Ed.), *Colloque*

- International, *Les Systems Nationaux face aux seismmes majeurs. La response des Autorités et la Reduction de la Vulnerabilite du Bati*, Centro Cultural das Descobertas, Lisboa, p. 191-192.
- MOGI, Kiyoo (1985), *Earthquake Prediction*, Academic Press, Tokyo 355 p.
- MUIR-WOOD, Robert (1985), *The Dark Side of the Earth*, Allen and Unwin, London, 246 p.
- NASCIMENTO, Úlpio (2000), *O Distante Objectivo da Previsão dos Sismos*. Comunicação Apresentada à Academia de Engenharia, 22/5/2000.
- NYE, Mary Jo (1993), “National Styles? French and English Chemistry in the Nineteenth and Early Twentieth Centuries”, *Osiris*, 8, p. 30-49.
- OLIVEIRA, Carlos Sousa e CABAÑERO, Sánchez (1999), “Evolución histórica del análisis de la peligrosidad sísmica. Tendências para nuevos desarrollos”. 1º Congresso de Engenharia Sísmica, Espanha, p. 57-89.
- OLIVEIRA, Carlos Sousa e SOUSA, Maria Luísa (1991), “A contribution to reduce subjectivity in treatment of historical data”. In J. Mezcua and A. Udías (eds), *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region*. Public. I.G.N., Série Monografia, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, n. 8, p. 97-114.
- REIS, Elisabeth, MELO, Paulo, ANDRADE, Rosa, CALAPEZ, Teresa (2001), *Estatística Aplicada*, v. 1, ED. Sílabo (4ª ed.), Lisboa, 266 p.
- RIBEIRO, António (1995), “Falhas activas e sismos”. *Colóquio/Ciências*, Fundação Calouste Gulbenkian, n. 17, Lisboa, p. 34-52.
- RIBEIRO, António (1997), *Sismo Característico*. Proc. 3<sup>th</sup> National Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Instituto Superior Técnico, Lisboa, p. 9-10.
- RIBEIRO, António (1998), “Indecidibilidade na Previsão do Falhamento Sísmico”. 1º Simpósio de Meteorologia e Geofísica; 2º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia, Lagos. *Geofísica*, p. 29-30.
- RIBEIRO, António (2002), *Soft Plate and Impact Tectonics*, Springer, Berlin, 324 p.
- RIBEIRO, António (2005), “O sismo de 1/11/1755: significado geodinâmico”. In Buescu, Helena, C. E Cordeiro, Gonçalo (coord), *O Grande Terramoto de Lisboa - Ficar Diferente*, Gradiva, Lisboa, p. 77-86.
- RIBEIRO, António, CABRAL, João (1986), “The neotectonic regime of west-Ibéria Continental Margin: a transition from passive to active?” *Maleo*, v. 2, n. 13, p. 38.
- RIBEIRO, António, CABRAL, João, TABORDA, Rui, MATIAS, Luís, CARANOVA, Ricardo (2004), “Undecidibility in earthquake faulting: a review”. Workshop on Language and Complexity, 5 a 7/7/2004 - Arrábida, Portugal.
- RIKITAKE, Tsuneji (1976), *Earthquake Prediction*, Elsevier, Amsterdam, 357 p.
- ROSA, Luís (2004), *O Terramoto de Lisboa e a Invenção do Mundo*, Presença, Lisboa, 262 p.
- SCHOLZ, Christopher H. (1990), *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 439 p.
- SOROMENHO-MARQUES, Viriato (2005), “Em 1755 nem só Lisboa tremeu”. *Pública, Filosofia*, p. 23-26.
- SOUSA, Maria Luísa, MARTINS, A. e OLIVEIRA, C.S. (1992), “Compilação de Catálogos Sísmicos da Região Ibérica”. Relatório 36/92 - NDA, Departamento de Estruturas, Núcleo de Dinâmica Aplicada, Proc. 036/11/9295, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- TEVES-COSTA, Paula (1992), “Geophysical aspects of the Lisbon Town site effects and the 1755 earthquake”. In L. Mendes-Victor (ed), *EUR-OPA, Accord Partiel Ouvert en matière de prévention, protection et organisation des secours contre les risques naturels et technologiques majeurs*. Colloque International, *Les Systemes Natiounaux face aix Seismes Majeurs. La Response des Autorités et la Reduction de la Vulnerabilité du Bati*, Centro Cultural das Descobertas, Lisboa, p. 16-23.
- THOM, René (1993), *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Paris, 171 p.
- TURCOTTE, Donald (1997), *Fractal and Chaos in Geology and Geophysics*, Cambridge Univ. Press (2<sup>nd</sup> ed.), Cambridge, 398 p.
- VINE, Frederick and MATTHEWS, D.H. (1963), « Magnetic anomalies over ocean ridges ». *Nature*, 199, p. 947-949.
- WILSON, J. Tusó (1965), “A new class of faults and their bearing on continental drift”. *Nature*, 207, p. 343-347.