

**A CONSULTA DE ESPECIALISTAS NA IDENTIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE RISCOS: APLICAÇÃO AOS RISCOS DE
LIQUEFACÇÃO EM LINHAS FERROVIÁRIAS DE ALTA VELOCIDADE EM
PORTUGAL**

**THE USE OF EXPERTS' OPINIONS IN RISK IDENTIFICATION AND
CHARACTERIZATION: APPLICATION TO LIQUEFACTION RISKS OF THE
PORTUGUESE HIGH-SPEED RAILWAYS**

Costa, Ana-Laura, *FCTUC, Coimbra, Portugal, alcosta@dec.uc.pt*
Coelho, Paulo, *FCTUC, Coimbra, Portugal, pac@dec.uc.pt*

RESUMO

O desempenho das análises de risco depende da capacidade em identificar e caracterizar os factores de risco envolvidos. No entanto, a informação disponível para as realizar é em geral escassa e ambígua, o que limita o uso de métodos comuns. Este artigo considera a consulta da opinião de especialistas para avaliação dos riscos de liquefacção. São consideradas ambas a probabilidade de ocorrência e as consequências resultantes dos riscos considerados. Os riscos de liquefacção são seleccionados pela sua séria capacidade de afectar as LFAV. Os resultados são comparados no que respeita ao nível e tipo de experiência dos especialistas. Demonstra-se que a opinião de especialistas é uma ferramenta útil para a caracterização de riscos de liquefacção, mesmo que alguns aspectos tenham de ser considerados.

ABSTRACT

The performance of risk analyses depends on the ability to identify and characterize the related risk factors. However, the information available to perform these tasks is generally scarce and ambiguous, which limits the use of ordinary methods. This paper considers the use of experts' opinions to assess liquefaction risks. Both the probability of occurrence and the consequences resulting from the risks are considered. Liquefaction risks are selected because of how seriously they can affect the HSR. The results are compared with respect to the level and type of experience of the experts. It is shown that experts' opinions are a useful tool to characterize liquefaction risks, even if some issues need to be considered.

1. INTRODUÇÃO

A decisão de desenvolver e implementar Linhas Ferroviárias de Alta Velocidade (LFAV) em Portugal e o incentivo ao estabelecimento de projectos de investigação visando infraestruturas de transporte motivou a criação de um projecto de investigação internacional denominado "Risk Assessment and Management for High Speed Rail Systems" (RISK). Os objectivos consistem na identificação, análise e avaliação dos factores de risco, incluindo medidas de mitigação, com potencial para afectar a construção e operacionalidade de uma LFAV, infraestrutura que envolve elevada complexidade técnica e financeira.

O projecto de investigação RISK pretende o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão através da realização de análises de risco para LFAV e envolve várias Universidades e Centros

de Investigação Portugueses bem como o MIT, instituição que possui uma extensa e positiva experiência em análise de risco em engenharia (p.e. Einstein et al., 1995). Esta experiência inclui análises de risco aplicadas a infraestruturas ferroviárias construídas em países como o Japão que, como no caso de Portugal, são sismicamente activos e apresentam condições geotécnicas complexas (Sussman e Shimamura, 2007).

Uma das componentes deste projecto considera especificamente os riscos sísmicos e geotécnicos que afectam o desenvolvimento de LFAV em Portugal. Isto deve-se ao facto de os riscos sísmicos e geotécnicos apresentarem um elevado potencial para afectar a construção e a operação das LFAV. Além disso, existem dificuldades significativas na identificação e caracterização, em termos de probabilidade de ocorrência e magnitude de consequência, dos diferentes fenómenos de natureza sísmica e geotécnica, relevantes para este tipo de infraestrutura. Como tal, a consideração dos riscos sísmicos e geotécnicos é fundamental para uma adequada análise de risco aplicada a LFAV em Portugal.

Ao desenvolver análises de risco, a opinião de especialistas é frequentemente a única alternativa para a identificação e avaliação de riscos sísmicos e geotécnicos. No entanto, apesar da necessidade compreensível do recurso a painéis de especialistas como ferramenta para avaliação dos dados que permitem a incorporação dos riscos sísmicos e geotécnicos nas análises de risco, a validade desta ferramenta é raramente discutida. Este artigo apresenta uma avaliação preliminar da validade da recolha da opinião de especialistas, com o intuito de caracterizar os riscos relacionados com a ocorrência de liquefacção induzida por sismos em LFAV.

2. O USO DA OPINIÃO DE ESPECIALISTAS EM ANÁLISES DE RISCO

Ao efectuar uma análise de risco, diferentes procedimentos podem ser usados para caracterizar os factores relevantes do problema em consideração (Scawthorn, 2008): analíticos, empíricos e opinião de especialistas. Em várias situações é praticamente impossível desenvolver soluções analíticas com capacidade para quantificar determinado risco, em particular no caso dos riscos sísmicos e geotécnicos, onde mesmo soluções numéricas aproximadas raramente representam alternativas praticáveis. As soluções empíricas têm também um valor limitado no caso dos fenómenos sísmicos, uma vez que o seu período de retorno tende a ser consideravelmente elevado. Como tal, é impraticável a recolha de dados em quantidade e qualidade suficiente visando a realização de uma análise estatística. A este respeito, Christian (2004) discute a validade de estimativas realizadas com base em amostras de pequena dimensão. Como tal, a opinião de especialistas é usualmente a fonte de informação fundamental a ser considerada.

Hartford (2008) discute duas das aptidões fundamentais que um especialista deve possuir. Uma determina a capacidade de adequar as estimativas da materialização real dos fenómenos, onde, em média, deverão ser atribuídas probabilidades elevadas aos eventos que realmente se concretizam. A outra, revela a capacidade de atribuição de probabilidades aos eventos, de tal modo que correspondem à sua frequência empírica de ocorrência.

O recurso à opinião de especialistas pode ser usado em diferentes fases da análise de risco envolvendo factores sísmicos e geotécnicos. A sua utilidade está já demonstrada através de aplicações onde a componente geotécnica representa uma parte significativa da análise de risco (Einstein e Haas, 1984; Einstein et al., 1992). Christian (2004) reconhece que os especialistas geralmente tendem a estimar adequadamente valores médios mas tendem a subestimar a incerteza associada. O autor considera ainda que os especialistas tendem a ser demasiado confiantes nas suas estimativas. No entanto, estas conclusões são discutíveis, principalmente pelos motivos que tornaram a consulta de especialistas tão frequente: os resultados são

tipicamente difíceis de verificar (Scawthorn, 2008). Considerando todos os aspectos mencionados e relacionados com o uso desta ferramenta na caracterização dos riscos, Faber (2008) considera que o recurso a painéis de especialistas ainda carece de uma filosofia consistente e genericamente aplicável.

3. LIQUEFACÇÃO EM PORTUGAL

3.1. Características do Território Português

As LFAV são extremamente susceptíveis a alguns efeitos resultantes de liquefacção induzida por sismos. A ocorrência de assentamentos ou rotura do maciço de fundação pode conduzir ao descarrilamento do comboio de alta velocidade e/ou interrupção demorada da operação ou a diminuição da qualidade de serviço oferecida. Além disso, o tipo de vibração induzida à superfície do terreno, pode causar descarrilamento do comboio de alta velocidade, mesmo na ausência de deformações permanentes após a ocorrência do sismo (Watanabe et al., 2004). Estas consequências são também possíveis no caso particular de Portugal. De facto, as características geológicas e hidrológicas de uma parte significativa do território, juntamente com a sua sismicidade, favorecem a ocorrência de liquefacção induzida por sismos.

Várias são as regiões situadas na proximidade e ao longo das planícies dos principais rios portugueses que apresentam níveis freáticos relativamente pouco profundos (Figura 1). Muitos dos depósitos existentes nestas regiões são principalmente formados por solos sedimentares recentes, em geral, constituídos por materiais sem coesão e num estado solto, com elevada propensão para a ocorrência de liquefacção induzida por sismos. O território português é uma zona sísmicamente activa e o zonamento sísmico proposto pelo EC8 (LNEC, 2008) evidencia o facto de o sul do território ter maior propensão a ser afectado por grandes eventos sísmicos, nomeadamente na periferia e a sul de Lisboa, assim como na costa oeste e sul do país. Além disso, Portugal é afectado por eventos sísmicos tanto de origem interplaca como intraplaca.

3.2. Historial de Eventos de Liquefacção e Implicações para a LFAV Portuguesa

Análises de testemunhos históricos que descrevem os efeitos de sismos ocorridos no passado sugerem que liquefacção tenha efectivamente ocorrido de modo repetido no passado, no território português (Figura 1d). Estas ocorrências foram instigadas por eventos sísmicos com diferentes mecanismos de origem e de diferente magnitude. Os resultados compilados por Jorge e Vieira (1997) sugerem que o Terramoto de Lisboa de 1755 certamente causou a ocorrência de episódios de liquefacção em todas as zonas identificadas como susceptíveis à liquefacção. Contudo, não foi encontrada evidência segura de que outros sismos exteriores à planície aluvial do rio Tejo tenham induzido a ocorrência de liquefacção.

Isto implica que a LFAV em Portugal pode ser afectada com maior ou menor frequência por efeitos de liquefacção numa parte significativa do seu traçado, o qual é relativamente rígido, pela necessidade de servir a população, que habita predominantemente nas regiões situadas ao longo da costa e onde foram identificados depósitos susceptíveis à liquefacção.

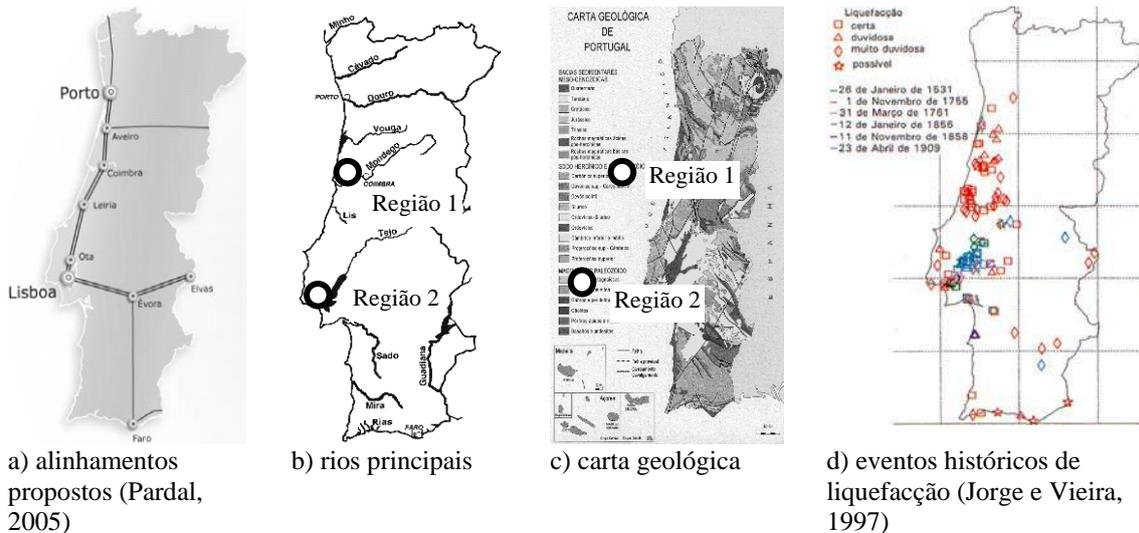


Figura 1 – A Rede de LFAV em Portugal e a sua Relação com as Características do Território.

3.3. Avaliação Empírica dos Riscos de Liquefacção

De modo a apreciar qualitativamente a opinião de especialistas na caracterização dos riscos de liquefacção, foi efectuada uma avaliação empírica desses mesmos riscos para o troço Lisboa-Porto, recorrendo à informação disponível. O primeiro princípio aceite foi o critério histórico, que refere que a liquefacção tende a ocorrer em locais onde se tenha verificado a sua ocorrência em sismos passados, como observado *in situ* (Youd, 1984) e em modelos de centrifugadora (Coelho et al., 2006). Por outro lado, mesmo se a escala dos efeitos depende das condições locais do maciço e da magnitude do evento sísmico, é expectável que parte dos danos provocados ocorrerá devido à liquefacção. Assim, a probabilidade de manifestação do risco de liquefacção iguala a probabilidade de ocorrência de um sismo que alguma vez tenha induzido liquefacção do depósito nesse mesmo local. Consequentemente, a probabilidade anual de ocorrência de um risco de liquefacção é dado pelo inverso do período de retorno de um sismo que tenha induzido a manifestação prévia de liquefacção no local.

O período de retorno de sismos de origem interplaca gerados no oceano e afectando o território português, como os eventos de 1755 e 1761, é da ordem de grandeza dos milhares de anos. Eventos de origem intraplaca ocorrem com maior frequência, sendo o período de retorno para os sismos com origem na zona das falhas do Vale Inferior do Tejo da ordem das centenas de anos. O Quadro 1 relaciona períodos de retorno e magnitudes de sismos para a área de Lisboa.

O Quadro 2 lista a magnitude e origem de sismos que se supõe terem induzido liquefacção no passado, e que estão também representados na Figura 1d. Grandes sismos de origem interplaca, gerados no contacto das placas Euroasiática e Africana, apresentam magnitudes iguais ou superiores a 8. Estes eventos, que podem causar liquefacção em todos os principais depósitos existentes no território, susceptíveis ao fenómeno, podem ter períodos de retorno tão elevados como 5000 anos, de acordo com o Quadro 1. No entanto, estudos mais abrangentes sugerem que estes eventos têm períodos de retorno mais baixos. Existem sugestões que apontam para uma variação entre estimativas extremamente pessimistas de 614 ± 105 anos (Chester, 2008) e previsões aparentemente mais realistas variando de 1500 a 2000 anos (Gutscher, 2006). Considerando o valor médio deste último intervalo como o valor mais apropriado, a probabilidade anual de excedência de um evento sísmico interplaca com capacidade de liquefacção de depósitos em diferentes regiões de Portugal é de cerca de 0.06 %. Como tal, a probabilidade de ocorrer liquefacção num depósito particular em Portugal, susceptível ao fenómeno e excepto quando localizado próximo do Vale Inferior do Tejo, pode ser da ordem de

10^{-4} a 10^{-3} . Em relação a sismos intraplaca, cuja magnitude pode atingir valores tão elevados como 6 a 7, a probabilidade de ocorrência tende a ser maior. De acordo com o Quadro 1, o período de retorno para este tipo de eventos é inferior a uma centena de anos, o que sugere que a probabilidade anual de excedência ronda 1%. A partir destes dados, e considerando que estes sismos têm definitivamente a capacidade de originar liquefacção em depósitos no Vale do Tejo, a probabilidade de liquefacção ocorrer nesta localização é da ordem de 10^{-2} . Como não foi encontrada evidência segura que estes eventos sísmicos têm capacidade de instigar liquefacção em outros depósitos, esta probabilidade pode não ser aplicável a depósitos localizados fora da região do vale do Tejo.

Sumariamente, as probabilidades estimadas para os eventos sísmicos interplacas (10^{-4} to 10^{-3}) e intraplaca (10^{-2}) aproximam a probabilidade de ocorrer liquefacção, em depósitos susceptíveis ao fenómeno, fora e na região do Vale do Tejo. A probabilidade de materialização dos riscos de liquefacção será obviamente igual ou inferior à probabilidade de ocorrência de liquefacção, tendo cada risco a sua probabilidade de ocorrência. Por exemplo, a probabilidade de assentamentos devido à liquefacção afectarem a operação das LFAV é mais próxima da probabilidade, P_L , de ocorrência de liquefacção do que a probabilidade de descarrilamento do comboio de alta velocidade devido a rotura ou assentamentos do solo de fundação devido ao fenómeno, tendo porém ambas valor inferior a P_L .

Quadro 1 - Período de Retorno e Magnitude de Sismos na área de Lisboa (Campos Costa, 2008)

Período de retorno (anos)	95	200	475	700	975	2000	5000
Magnitude (M)	7,2	7,6	7,9	8,1	8,2	8,4	8,5

Quadro 2 - Origem e Magnitude dos Sismos Considerados para a Identificação de Liquefacção na Figura 1d

Características dos eventos		
Ano	Origem	Magnitude
1531	Região do Vale Inferior do Tejo	≈ 7
1755	Interplaca (localização exacta desconhecida)	8,5-9 ^(1,2)
1761	Interplaca (Gorringe)	≈ 8
1856	Falha de Loulé	-
1858	Vale Submarino do Sado	≈ 7
1909	Região do Vale Inferior do Tejo	5,8-6,3 ^(3,4)

⁽¹⁾ Gutscher (2006); ⁽²⁾ Chester(2008), ⁽³⁾ Teves-Costa et al. (1999); ⁽⁴⁾ Sousa Oliveira et al. (2006)

4. O USO DA OPINIÃO DE ESPECIALISTAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO RISCO: ESTUDO DE CASO

No âmbito do projecto RISK, foi efectuado um questionário com o objectivo de apreciar a validade do uso da opinião de especialistas na avaliação de diferentes factores de risco para as LFAV. Um conjunto de factores de risco foi identificado por especialistas envolvidos no projecto. Seguidamente, convidou-se um outro conjunto mais abrangente de especialistas para verificar a adequação e exaustividade da identificação dos factores de risco e, para cada um, a quantificação da probabilidade de ocorrência e das potenciais consequências. O presente artigo discute os resultados obtidos no que se refere aos riscos de liquefacção.

4.1. Regiões Consideradas

No estudo realizado foram consideradas duas regiões (Figura 1b e Figura 1c). A região mais a norte encontra-se localizada na planície aluvial do rio Mondego, em solos passíveis de sofrer liquefacção, numa área de baixa a moderada sismicidade. A área mais a sul localiza-se próxima a Lisboa, com elevada sismicidade e em formações rochosas do Jurássico e Cretáceo.

4.2. Factores de Risco Identificados

Os riscos tidos em conta são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Riscos Considerados Relacionados com Deformação, Estabilidade e Interação Solo-estrutura

Risco	Descrição
L1	Deformações induzidas por sismos na fundação, incluindo liquefacção, ou no corpo do aterro
L2	Rotura global devido ao mau comportamento da fundação durante sismos, incluindo liquefacção
L3	Descarrilamento devido a elevados deslocamentos sísmicos (baixas frequências) na plataforma

4.3. Grupos de Especialistas Consultados

Com o objectivo de avaliar a importância do nível de experiência e a área ocupacional dos especialistas, três grupos de origens distintas foram convidados a participar (Quadro 4).

Quadro 4 – Identificação dos Grupos de Especialistas por Formação e Número de Elementos

Grupo	Formação	Número de elementos
G1	Indústria	8
G2	Académico Júnior	7
G3	Académico Sénior	9

4.4. Informação Requerida

A cada especialista convidado foi pedido que classificasse a probabilidade de ocorrência e a magnitude dos efeitos de cada factor de risco, através de uma escala semi-quantitativa de 5 níveis. A escala da probabilidade anual de ocorrência varia entre os extremos 10^{-4} e 1, existindo 3 valores intermédios a variar de um factor multiplicativo de 10. A escala das consequências da ocorrência de cada um dos riscos foi estabelecida através dos graus: muito pouco significativa, pouco significativa, significativa, grave e muito grave.

O estudo foi efectuado através de um questionário escrito e anónimo sem explicações adicionais em relação aos factores de risco identificados. Os questionários foram respondidos individualmente, sem tentar promover consenso entre especialistas e relativamente aos valores por estes atribuídos a cada um dos riscos.

4.5. Resultados Obtidos

Na sua quase totalidade, os especialistas concordaram com o conjunto de factores de risco listados. No entanto, nenhum dos especialistas que referiu a lista como incompleta sugere riscos adicionais relacionados com a ocorrência do fenómeno de liquefacção induzida por sismos.

A Figura 2 ilustra graficamente os resultados obtidos para a probabilidade de ocorrência e consequências potenciais para os factores associados a este fenómeno.

4.5.1. Probabilidade de Ocorrência

A Figura 2 reporta a avaliação dos especialistas consultados dos factores de risco propostos para as duas regiões. Com excepção do risco L3, todos os especialistas classificaram quantitativamente a probabilidade de ocorrência de cada factor de risco. Esta constatação sugere que o risco L3 foi incompreendido ou mesmo ignorado por grande parte dos especialistas. O facto de o número de especialistas que não responde à estimativa da probabilidade de ocorrência do risco L3 ser consideravelmente superior entre o grupo com menos experiência, por ser constituído por académicos juniores, corrobora a hipótese.

Os resultados revelam também a existência valores consideravelmente díspares dentro de cada um dos grupos de especialistas. Valores máximo e mínimo estimados para a probabilidade de ocorrência frequentemente diferem em duas ordens de magnitude, mas em alguns casos esta amplitude chega a três ordens de magnitude. Especialistas da indústria e académicos seniores tendem a acordar mais na probabilidade de ocorrência, apresentando estimativas similares para as discrepâncias relativas e para os valores médios em cada risco.

O Quadro 5 apresenta os valores médios da probabilidade de ocorrência de cada risco, calculado por região e por grupo de especialistas como evidenciado.

Quadro 5 – Valores Médios da Probabilidade de Ocorrência

Risco	Região	Probabilidade de Ocorrência – Média Anual			Global
		Industria	Académico Júnior	Académico Sénior	
L1	1	$5,6 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$
	2	$3,2 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-3}$
L2	1	$5,6 \times 10^{-3}$	$0,5 \times 10^{-3}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$
	2	$3,2 \times 10^{-3}$	$3,7 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$2,7 \times 10^{-3}$
L3	1	$3,7 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$
	2	$3,7 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$

Os resultados constatados sugerem que especialistas da indústria são, em geral, mais pessimistas na quantificação da ocorrência dos riscos quando comparados com os académicos sénior. Este facto pode relacionar-se com a tendência dos especialistas da indústria em incorporar o factor de segurança no dimensionamento da infra-estrutura, que aparentemente não influencia de modo igual a apreciação efectuada pelos especialistas académicos. Os valores propostos pelos académicos juniores variam aleatoriamente e frequentemente de modo significativo em torno da média, o que pode reflectir a sua inexperiência relativamente a alguns dos riscos. Mesmo sendo a maior probabilidade de ocorrência atribuída à região 1, tanto por académicos seniores como por especialistas da indústria, a média global é controlada pelas previsões dos académicos juniores. De facto, este grupo estima que, em média, a probabilidade de materialização dos riscos de liquefacção é superior em 4 a 7 vezes na região 2, para os riscos L1 e L2, respectivamente.

4.5.2. Consequências de Ocorrência

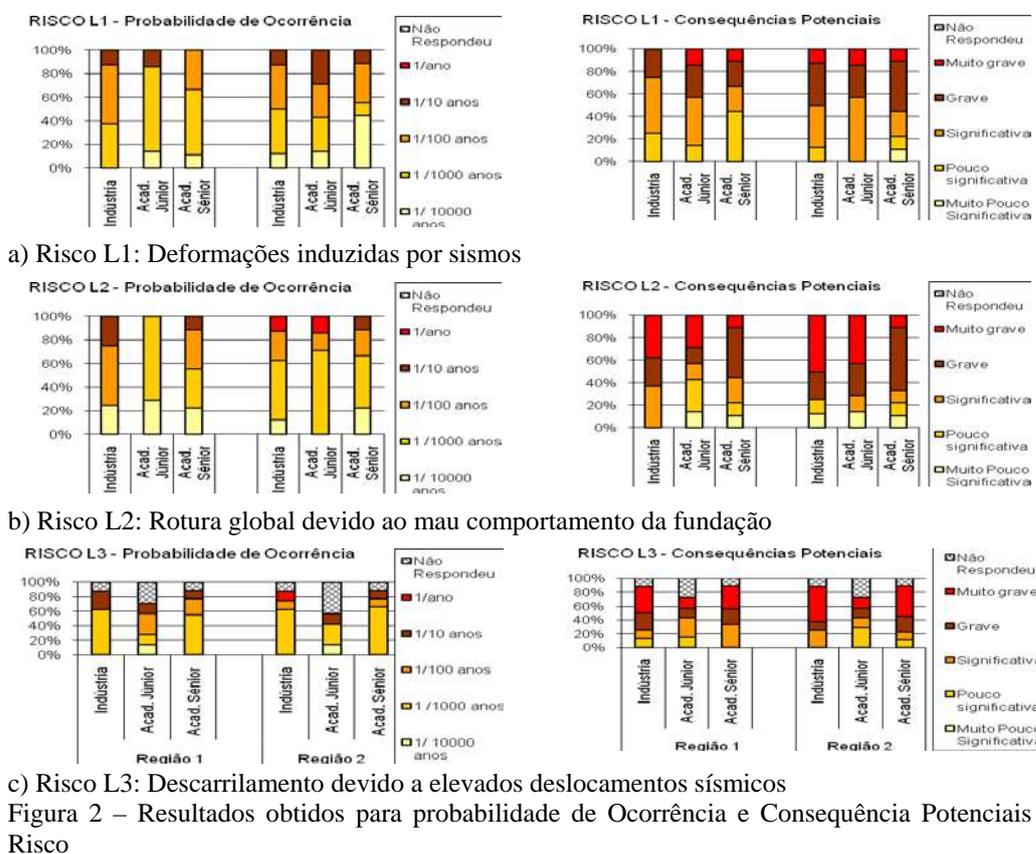
Os especialistas consultados avaliaram também as consequências da materialização de cada factor de risco para as duas regiões (Figura 2). A variabilidade dos valores propostos para a magnitude dos efeitos induzidos pela ocorrência de cada factor de risco, dentro de cada um dos grupos, é bastante significativa. De facto, 3 ou 4 escalões diferentes de magnitude são normalmente referidos pelos especialistas na quantificação das consequências de um factor de risco em determinada região. Os académicos seniores recorrem mesmo aos 5 níveis da escala proposta para a avaliação das consequências no caso do risco L2, em ambas as regiões. Mais de 25% dos especialistas académico júnior e aproximadamente 10% dos especialistas dos outros grupos optaram por não classificar os efeitos da ocorrência do risco de liquefacção L3. O facto de todos os especialistas quantificarem as consequências dos riscos L1 e L2, sugere que o risco L3 será talvez menos bem compreendido que outros, especialmente por parte dos académicos júnior.

O Quadro 6 reporta os valores médios identificados para as consequências da ocorrência de cada um dos riscos, estimados pelos três grupos de especialistas e para cada região. Considerando a escalada associada, variando de 1 (muito pouco significativa) a 5 (muito sério). Os resultados sugerem que, contrariamente à estimativa da probabilidade de ocorrência, os especialistas da indústria tendem a ser mais pessimistas que os académicos seniores na avaliação das

consequências da ocorrência dos riscos. Ainda, uma variabilidade mais acentuada proposta pelos académicos juniores poderá revelar um conhecimento mais superficial de alguns dos riscos identificados. O facto de se esperarem maiores consequências na região 2 sugere que os especialistas acreditam que, caso os riscos se materializem, a magnitude dos efeitos será governada pela magnitude sísmica e não pelas condições locais geológicas e geotécnicas. Os especialistas parecem também prestar especial cuidado à ocorrência de descarrilamentos, particularmente aqueles causados por vibrações à superfície.

Quadro 6 – Valores Médios das Consequências de Ocorrência

Risco	Região	Consequências de Ocorrência – Valores Médios			
		Industria	Académico Júnior	Académico Sénior	Global
L1	1	3,0 (s)	3,4 (s/se)	3,0 (s)	3,1 (s)
	2	3,5 (s/se)	3,6 (s/se)	3,3 (s/se)	3,5 (s/se)
L2	1	4,0 (se)	3,1 (s)	3,3 (s/se)	3,5 (s/se)
	2	3,9 (se)	3,9 (se)	3,4 (s/se)	3,7 (s/se)
L3	1	4,0 (se)	3,4 (s/se)	4,0 (se)	3,8 (se)
	2	4,3 (se/vse)	3,2 (s)	4,1 (se)	3,9 (se)



4.6. Validade da Opinião de Especialistas

Uma das maiores dificuldades impostas à apreciação da validade das opiniões de especialistas em análises de risco é a escassez de dados reais. Ainda assim, os resultados apresentados permitem realizar uma avaliação qualitativa de alguns dos valores estimados. Comparando as estimativas produzidas pelos diferentes grupos de especialistas, parece que:

- estimativas produzidas por especialistas seniores (incluindo indústria) apresentam menor variabilidade que os valores estimados por especialistas juniores, sugerindo a importância do factor experiência no processo de consulta de especialistas;

- as previsões de especialistas da indústria são mais pessimistas que as de especialistas académicos com o mesmo nível de experiência, tanto na estimativa da probabilidade de ocorrência como das consequências potenciais dos riscos, salientando a influência do tipo de experiência dos especialistas na sua opinião;
- como muitos sismos podem conduzir a deformações à superfície sem causar rotura, o facto de os académicos seniores sugerirem que a ocorrência do risco L2 é igualmente ou até mais provável que o risco L1 parece incongruente;
- a razão pela qual as consequências dos riscos são apontadas como maiores na região 2, onde o maciço de fundação é menos susceptível ao fenómeno de liquefacção, não é clara;
- o facto de as consequências da materialização do risco L3 serem diferentes nas regiões 1 e 2, como proposto por todos os grupos de especialistas, não é directamente explicável.

Analogamente, é possível efectuar uma análise com base nos valores absolutos propostos pelos especialistas para a probabilidade de ocorrência de cada um dos riscos. Como discutido na secção 3.3., a probabilidade anual de materialização de um risco de liquefacção, de um depósito susceptível ao fenómeno, varia entre 10^{-4} a 10^{-3} para a região 1 e é aproximadamente de 10^{-2} para a região 2. Assim, as estimativas obtidas para a região 2, entre $1,3 \times 10^{-3}$ e $5,2 \times 10^{-3}$, parecem quantitativamente aceitáveis uma vez que o maciço local é consideravelmente insusceptível à liquefacção. Para a região 1, a probabilidade de ocorrência, a variar entre $0,5 \times 10^{-3}$ e $5,6 \times 10^{-3}$, parece sobrestimada, uma vez que excede a probabilidade esperada de liquefacção no local.

5. CONCLUSÕES

A realização de análises de risco considerando os efeitos dos fenómenos geotécnicos e sísmicos é extremamente complexa, especialmente no que respeita a caracterização dos factores de risco em termos de probabilidade de ocorrência e magnitudes dos efeitos. Análises de risco adequadas são necessárias para a justificação do investimento público em grandes infraestruturas de transporte, como as planeadas em Portugal para as LFAV, onde os riscos com carácter sísmico e geotécnico assumem uma importância crucial.

O estudo apresentado neste artigo considera o uso da opinião de especialistas como uma ferramenta para obter informação da probabilidade de ocorrência e a magnitude das consequências para LFAV de riscos de liquefacção. Com base num questionário escrito e anónimo a três diferentes tipos de especialistas (académicos júnior e sénior e indústria), pode concluir-se que o uso de painéis de especialistas é uma ferramenta útil, até porque frequentemente insubstituível, para a caracterização dos riscos sísmicos e geotécnicos. Contudo, existem alguns aspectos que não devem ser descurados.

O nível e tipo de experiência adquirida pelos especialistas podem ter um importante impacto na informação obtida: níveis de experiência superiores revelam menor variabilidade e membros da indústria revelam um maior pessimismo que a formação académica. Por outro lado, alguns dos valores propostos são algo incongruentes. Com o objectivo de ultrapassar estas dificuldades, obter um maior volume de dados imparciais e facilitar a clarificação de possíveis dúvidas dos especialistas, organizar sessões conjuntas envolvendo todos os especialistas poderá contribuir para tornar mais eficaz o uso da opinião de especialistas em análises de risco.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido através do Programa MIT|Portugal da FCT. Agradecem ainda o interesse e disponibilidade de todos os especialistas que voluntariamente participaram neste estudo, sem os quais não seria possível a sua realização.

REFERÊNCIAS

- Campos Costa, A. (2008). Fundamentals of probabilistic risk analysis – Methods and applications. *Advanced Course on Risk management in civil engineering*, LNEC, Lisbon.
- Chester, D.K. (2008). The effects of the 1755 Lisbon earthquake and tsunami on the Algarve region, southern Portugal. *Geography Geographical*, 93 (2), pp. 78-90.
- Christian, J.T.C. (2004). Geotechnical Engineering Reliability: How Well Do We Know What We Are Doing?- Karl Terzaghi Lecture. *ASCE-Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130 (10), pp. 985-1003.
- Coelho, P.A.L.F., Haigh, S.K. e Madabhushi, S.P.G. (2006). Effects of successive earthquakes on saturated deposits of sand. *Proceedings International Conference on Physical Modelling in Geotechnical Engineering*, Hong-Kong, RPC.
- Einstein, H.H, Dudt, J.-P., Halabe, V.B. e Descoedres, F. (1992). *Decision Aids in Tunneling – Principle and Practical Application*. Swiss Federal Office of Transportation, Project AlpTransit.
- Einstein H., Chiaverio F. e Koppel U. (1995). Risk analysis for the Alder tunnel. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, 32(4)
- Faber, M. (2008). Management of structural risks. *Advanced Course on Risk management in civil engineering*, LNEC, Lisboa.
- Gutscher, M.-A. (2006). The great Lisbon earthquake and tsunami of 1755: lessons from the recent Sumatra earthquakes and possible link to Plato's Atlantis. *European Review*, 14(2), pp. 181-191, Cambridge University Press.
- Hartford, D. (2008). Science-based management of civil asset risk- Objectives, Principles, Processes and Analytical Techniques. *Advanced Course on Risk management in civil engineering*, LNEC, Lisboa.
- Jorge, C. e Vieira, A.M. (1997). Liquefaction potential assessment- application to the Portuguese territory and to the town of Setúbal, *Seismic behaviour of ground and geotechnical structures*, Sêco e Pinto (ed), Balkema, pp. 33-43.
- LNEC (2008) *Estudo para análise técnica comparada das alternativas de localização do Novo Aeroporto de Lisboa na zona da Ota e na zona do Campo de Tiro de Alcochete*. Relatório LNEC 2/2008-DT, LNEC.
- Pardal, L.F. (2005) *O Projecto Português de Alta Velocidade*. Disponível em www.rave.pt. Acesso em 23/11/2009.
- Scawthorn, C. (2008). Earthquake risks. *Advanced Course on Risk management in civil engineering*, LNEC, Lisbon.
- Sousa Oliveira, C., Roca, A. e Goula, X. (2006). *Assessing and Managing Earthquake Risk: Geo-scientific and Engineering Knowledge for Earthquake Risk Mitigation : Developments, Tools, Techniques*, Springer Ed.
- Sussman, J.M. e Shimamura, M (2007). R&D Symposium roundtable- Cooperation with MIT. *JR EAST Technical Review* No.10.
- Teves-Costa, P., Borges, J.F., Rio, I., Ribeiro, R. e Marreiros, C. (1999). Source Parameters of Old Earthquakes: Semi-Automatic Digitization of Analog Records and Seismic Moment Assessment, *Natural Hazards Journal*, 19 (2-3), pp. 205-220.
- Watanabe, G., Lee, T.Y, Nagata, S., Sakellarai, D. e Kawashima, K. (2004). *Preliminary investigation on the damage of transportation facilities in the 2004 Niigata Chuetsu Earthquake*, Technical Report, Kawashima Research Group.
- Youd, T.L. (1984). Recurrence of liquefaction at the same site. *Proceedings 8th WCEE, USA*, VI.3, pp. 231-238.