

**A IDENTIFICAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DE INFRA-
ESTRUTURAS FACE A UM ACONTECIMENTO ADVERSO DE GRANDES
DIMENSÕES**

Mota de Sá, F.¹; Oliveira, C. S.²; Ferreira, M. A.³; Pais, I.⁴

¹ Fuzzy Engenharia de Sistemas e Decisão, Lda
Lisboa, Portugal
mota.sa@netcabo.pt

² DECivil, Instituto Superior Técnico
Lisboa, Portugal
csoliv@civil.ist.utl.pt

³ DECivil, Instituto Superior Técnico
Lisboa, Portugal
monicaf@civil.ist.utl.pt

⁴ Conselho Nacional de Planeamento Civil e Emergência
Lisboa, Portugal
ipais@cnpce.gov.pt

Resumo

Constata-se que as consequências das catástrofes naturais tem vindo a aumentar, seja devido à concentração de bens expostos, seja ao crescente valor dos mesmos ou ainda devido à interdependência com que estes se relacionam, induzindo uma grande amplificação através da propagação de efeitos de natureza geográfica e funcional. Simultaneamente, a probabilidade de ocorrência de acontecimentos adversos intencionais (terrorismo nas suas múltiplas formas) tem, também ela, vindo a crescer.

Assim, a identificação de necessidades de intervenção em componentes de um sistema complexo, tendo em vista minorar as consequências de possíveis disfunções induzidas por um acontecimento adverso, constitui paradigma de crescente relevância, que importa abordar.

A exposição sumária de um processo de identificação de infraestruturas cuja importância relativa, ou criticidade, se pretende medir pela sua expectável contribuição para a degradação do sistema em que se inserem, quando este é alvo de um acontecimento adverso, é aqui apoiada por um exemplo de aplicação a um hipotético cenário sísmico, pretendendo-se desta forma ampliar a capacidade de percepção das suas consequências, tão negligenciadas ou esquecidas, face à baixa frequência com que, felizmente, este fenómeno se tem feito sentir em território nacional, ainda que o passado não muito distante e o conhecimento hoje disponível alertem para a forte plausibilidade da ocorrência, em Portugal, de um sismo de grande intensidade, capaz de gerar consequências com múltiplas e avultadas dimensões.

1 Introdução

1.1 Salvaguarda da vida humana

Tanto quanto nos tem sido dado observar, as problemáticas de análise de risco e, particularmente as que abordam o risco sísmico, estiveram durante muito tempo focadas essencialmente na salvaguarda da vida humana, levando a que a avaliação da perigosidade ou do risco se tenha focado preferencialmente na estimativa de danos directos, danos humanos (mortos, feridos e desalojados) e em danos no parque edificado.

1.2 Funções essenciais

Esta tendência tem evoluído e, não há muitos anos, observou-se a introdução de outras preocupações, nomeadamente a estimativa dos impactos em equipamentos ou sistemas facultadores de bens essenciais. Surgiram então modelos para a estimativa de danos em infraestruturas críticas - *lifelines* - (sistemas de abastecimento de água, energia eléctrica, saneamento básico e gás). Era o que podemos talvez chamar, o despertar para outro tipo de preocupações que aqui encontravam o seu berço: *A salvaguarda de infraestruturas críticas ou fundamentais*. Esta preocupação foi reflectida na própria regulamentação sísmica, introduzindo primeiro no Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983) os denominados “Coeficientes de importância” que agravam a acção sísmica de projecto, consoante a natureza da infraestrutura em causa (habitação, escolas, hospitais, entre outras), tendo em vista não apenas a salvaguarda da vida humana mas também a salvaguarda da fiabilidade de serviços ou funções críticas. Mais recentemente, no Eurocódigo8 (prEN 1998-1, 2003), as mesmas preocupações deram origem ao mecanismo designado por

“Diferenciação da Fiabilidade”, melhorando esse mecanismo de acordo com recomendações e padrões mais recentes. Ainda assim, a experiência tem demonstrado grande evidência de que, infraestruturas dimensionadas à luz dos mais recentes regulamentos, ficando em estados de danos físicos aceitáveis à luz dessas mesmas regulamentações, podem permanecer impossibilitadas de prosseguir a sua função, já que a vulnerabilidade de muitos dos seus componentes ou conteúdos não estruturais (equipamentos, órgãos críticos ou mesmo espaços), leva a que estes atinjam estados de operacionalidade ou de utilização inaceitáveis para valores da acção sísmica inferiores aos que determinariam a não utilização da estrutura. Casos recentes como o ocorrido no sismo que atingiu a cidade de L’Aquila, em Itália, (Ferreira, 2009) mostram por exemplo a evacuação de inúmeros edifícios de habitação afectados por danos apenas ligeiros, sem pôr em causa a salvaguarda da vida humana, mas ainda assim considerados sem condições de habitabilidade. Por exemplo, um número considerável de escolas foi encerrado devido à queda de elementos não estruturais como tectos falsos, quadros, estores, entre outros objectos que impediam o funcionamento normal destas instalações. Outro problema que se verificou também nos estabelecimentos de ensino, foi o facto da área envolvente estar nalguns casos repleta de escombros (Figura 1) ou ladeada por edifícios que apresentavam risco de colapso e, que por isso impossibilitavam o uso das escolas para a resposta à emergência (centros operacionais da protecção civil) ou para o ensino, obrigando a que a população estudantil interrompesse os estudos cerca de um mês e, muitas vezes retomando-o noutras localidades, longe da sua cidade, introduzindo situações graves de separação e disrupção de relações familiares com grande penosidade social. Estas são situações frequentes, mesmo em situações em que o sismo pode ser considerado de apenas moderada intensidade.



Figura 1. Obstrução de vias, L’Aquila

1.3 Impacto social

Assim, o conjunto de preocupações evoluiu e, hoje, é genericamente reconhecida a necessidade de uma abordagem holística, integrando múltiplas dimensões, não apenas da ameaça, “Natural” ou “Man-Made”, mas também das consequências (Barroso 2007; CEU 2008); sendo geralmente aceite que estas se podem agrupar em quatro grandes dimensões fundamentais: “Física”, “Social”, “Económica” e “Funcional” (Figura 2).

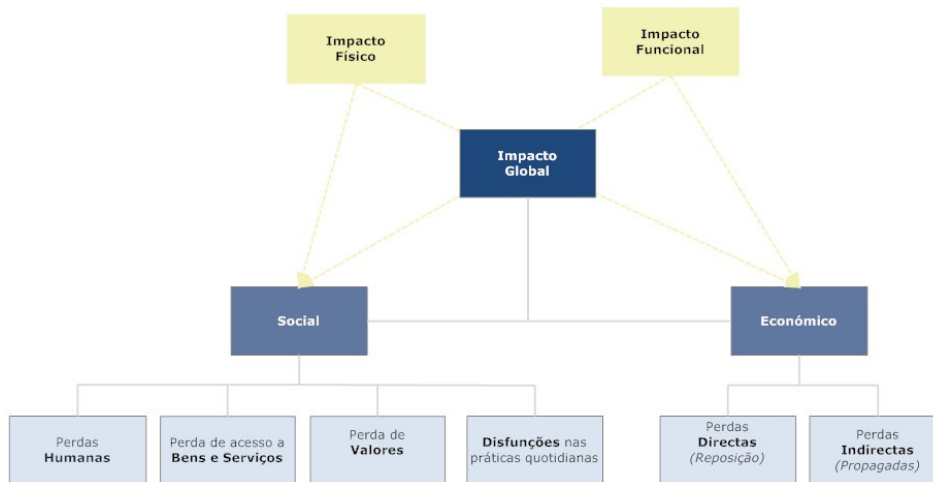


Figura 2. As dimensões do impacto global

1.4 Interações ou interdependências funcionais, disfunções e perdas propagadas e dimensão temporal

Outros aspectos, critérios, objectivos ou dimensões têm-se também eles revelado como críticos para uma melhor apreciação das consequências determinadas pela ocorrência de eventos adversos. De entre eles, salienta-se a grande preocupação com os fenómenos inerentes à “Propagação de efeitos”, sejam de natureza física, funcional ou económica; como também a consciência de que as consequências de uma catástrofe não terminam com o fim do que se usa chamar de “Fase de Resposta”, mas sim prolongam-se por períodos de tempo muito mais alargados, em bom rigor, pelo menos até ao fim da fase de “Recuperação” a qual, função da dimensão do evento, se pode prolongar por 10 ou mais anos.

De uma forma simplificada, poderíamos dizer que a “entropia de um sistema com múltiplos componentes afectados” não se pode resumir numa “soma” de efeitos individuais, e concentrados num único instante, carecendo por isso

de um outro tipo de abordagem. O estado do sistema deverá ser afectado de alguma forma, de um factor de “entropia ou de disfunção” de forma a melhor caracterizar e estimar o seu estado global. Abordagens distintas da aqui apresentada, mas cujo objectivo final é muito semelhante ao aqui pretendido, apoiam-se frequentemente em modelos suportados pela teoria de grafos, Redes de Petri ou em procedimentos do tipo FMEA, FMECA (Rinaldi 2004; Apostolakis *et al.* 2005; Patterson *et al.* 2005; Zhang 2005; Michaud *et al.* 2006; Nasserasadi *et al.* 2006). Contudo (Apostolakis *et al.* 2005), essas formulações apresentam grandes restrições na sua aplicabilidade, sobretudo quando a dimensão e complexidade do sistema em análise aumentam. A abordagem da fiabilidade tradicional, não pode ser extrapolada para dimensões geográficas como as de uma cidade, metrópole ou região atingida por um sismo, carecendo estas últimas de relaxação de muitas variáveis e pressupostos, i.e., tendo que ser abordada numa perspectiva mais macroscópica, mas ainda assim suficientemente abrangente para que se possa considerar representativa do fenómeno que se está a modelar.

1.5 Dimensão económica

No domínio das consequências económicas, são também de citar, por um lado, a dimensão de perdas de “conteúdos”, que podem atingir valores que podem atingir mais de 10 vezes as perdas directas de reconstrução ou de recuperação dos edifícios (Whittaker *et al.* 2003), ou ainda, os efeitos económicos directos e propagados inter-sectoriais (Crowther *et al.* 2007). Esta última dimensão, “Impacto Económico”, revela-se de grande relevância e interesse, sobretudo quando se entende necessária uma abordagem muito mais cerrada destes efeitos, seja para apreciação de políticas de intervenção estatal, seja para avaliação de decisões de investimento ou transferência de risco a levar a cabo por *stakeholders* directa ou indirectamente afectados.

1.6 Capacidade de Resposta e de Recuperação

A introdução da dimensão temporal, i.e., a consideração de que as consequências devem ter em consideração as variações do estado do sistema atingido ao longo do tempo, introduz a necessidade da consideração de factores que ajudem a modelar essa mesma evolução temporal. Naturalmente que à luz desta nova necessidade, a Capacidade de Resposta e de Recuperação, seja do tecido social, das instituições públicas ou governamentais, ou dos próprios *stakeholders* de infraestruturas críticas, carecem de, também elas, ser consideradas. Esta preocupação, não surge apenas agora; trabalhos como os de (Davidson *et al.* 1997)), Cardona (2005)

e Carreño (2006) já preconizam formulações destinadas a apoiar a modelação destes efeitos,

Assim, a introdução de outros mecanismos que tenham em consideração estes e outros efeitos, constata-se necessária a uma melhor percepção e comunicação do risco, tendente a apoiar decisões de investimento ou pré-disposição para o mesmo, ou para a sua realocação, ou pelo menos a sua quantificação, tendo em vista reduzir a incerteza e a não abrangência das análises como suporte a acções e políticas de redução ou transferência do risco.

2 Destinatários

Naturalmente, diversos intervenientes nos múltiplos processos de decisão a quem esta matéria preocupa, terão um maior ou menor interesse em cada uma destas dimensões e, dentro delas em diferentes critérios ou objectivos, consoante a natureza das suas responsabilidades, objectivos e funções. Ainda assim, podemos dizer que a formulação apresentada, embora ainda em estágio de desenvolvimento, afigura-se-nos adequada a:

- Responsáveis pela Emergência, nas suas diferentes fases de “Preparação”, “Resposta” e “Recuperação”,
- *Stakeholders* de Sistemas ou Infraestruturas Críticas,
- Decisores Públicos e Privados responsáveis por decisões de investimento em Redução ou Transferência do Risco.

3 Objectivos

Assim, constituem objectivos do presente trabalho, conseguir uma abordagem holística da análise do risco associado à ocorrência de eventos adversos de grandes dimensões, compreendendo:

1. Quantificação do potencial para desencadeamento de “Acontecimentos Adversos”, de origem “Natural” ou “Man-Made” (Hazard),
2. A integração das dimensões “Social”, “Física”, “Económica” e “Funcional”,
3. A evolução do estado de disfunção e de perdas do sistema afectado ao longo do tempo, desde o instante da ocorrência até a um instante situado algures ao longo do período de Recuperação.

Não se entenda porém por “Abordagem Holística” como uma formulação única capaz de abordar qualquer caso. A especificidade de cada caso em análise obrigará a uma adaptação de critérios e de outros passos e

abordagens mais adequadas ao caso em questão. Entendemos porém que os principais conceitos, estrutura e princípios fundamentais se podem manter.

4 Estado da Arte

Para além do que já foi mencionado, e que julgamos proporcionar um panorama genérico do estado da arte, resta-nos fazer referência a um dos aspectos que, também nós, julgamos de extrema importância e que tem sido frequentemente - para não ser muito assertivo e dizer sistematicamente - ignorado, facto que acreditamos que se deve fundamentalmente à dificuldade de o contornar.

Referimo-nos à construção de indicadores cujas múltiplas dimensões são agregadas de uma forma aditiva, logo compensatória. Em nosso entender esta agregação constitui uma grave lacuna em muitas modelações. Cox Jr.(2009) cujo artigo recomendamos, chega mesmo a afirmar que *“muitos destes indicadores conduzem a resultados que, uma formulação puramente arbitrária traria melhores”*.

“Scoring systems are being used in important real-world applications as diverse as Superfund site cleanups, computer and IT security vulnerability assessment, counterterrorism, military asset protection, and matrix risk systems (used in everything from designing and defending federal buildings and facilities, to managing construction project and infrastructure risks, to regulating risks of financial and business enterprises) (Cox, 2008a). Yet, these risk scoring systems achieve less value of risk reduction than could easily be obtained if resources were allocated by other methods (including randomized decision making, in extreme cases).”

Ocorrências como o sismo de L’Aquila, ou ainda mais brutalmente o também sismo de Sichuan em 2008 (China), demonstram claramente o efeito não compensatório dos estados de múltiplos sistemas ou subsistemas (Figura 3). Por exemplo, uma cidade onde foram severamente afectados sistemas críticos como a energia, água ou mesmo a higiene urbana, tiveram de ser totalmente evacuadas não obstante outros sistemas terem permanecido intactos. Ou seja, a disfunção de sistemas fundamentais não é compensada pelo melhor funcionamento de outros sistemas ou subsistemas, também eles fundamentais ou não.



Figura 3 – Hanwang town (China 2008). O facto do reservatório de água não ter sofrido qualquer dano não invalida o “fecho” da cidade.

Assim, um indicador construído sobre os impactos dos múltiplos factores deixa de poder ser uma soma pesada (modelo de agregação compensatório) para passar a ser um produto (não compensatório); da mesma forma que a fiabilidade de um sistema em série depende do funcionamento simultâneo de todos os seus componentes, o que como se sabe é modelado por um produto das probabilidades individuais de funcionamento de cada um dos nós desse sistema.

Este fenómeno é integrado na presente modelação, seja na construção das funções de utilidade, $(u(x))$, que modelam os descritores de impacto em cada um dos critérios de avaliação, quer na construção dos factores de agravamento ou de disfunção, os quais são construídos com base num algoritmo de modelação de interdependências (multiplicativo, não compensatório).

Uma vez que o detalhe da formulação extrapola o âmbito desta apresentação, prosseguiremos com um exemplo da aplicação da mesma, a um caso de estudo que, embora aqui simplificado, assenta sobre dados reais.

5 Exemplo de aplicação

Para efeitos de exemplificação da metodologia que se está a desenvolver, utilizaram-se potenciais cenários de risco sísmico, na região do Algarve.

5.1 *Descrição sumária da formulação utilizada para cálculo do Impacto Social.*

Para tanto, foram identificados cenários representativos da acção sísmica, e para cada um deles foram calculados os seus impactos sobre o tecido social e económico.

Utilizando o conjunto de critérios indicados na Tabela 2, para cada cenário e para cada um dos vários instantes temporais que se entenderam significativos dos principais estados de evolução da região atingida, o “Estado do Sistema” assim afectado foi calculado como seguidamente se indica.

Os limites inferiores e superiores dos indicadores, os descritores de impacto, bem como a sua importância relativa, *w*, foram estabelecidos como indicado na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios

	Descritor	Min	Máx	W
Mortos	% Pop. Pres.	0.000	0.005	0.113
Feridos	% Pop. Pres.	0.000	0.007	0.045
Desalojados	% Pop. Res.	0.000	0.100	0.068
Habituação	% Edifs Gd3+	0.000	0.250	0.113
Segurança	P[Seg='Fail']	0.000	0.800	0.034
Água	P[Ag='Fail']	0.000	0.429	0.113
En. Eléctrica	P[El='Fail']	0.000	0.571	0.102
Comunicações	P[Com='Fail']	0.000	0.300	0.079
Alimentação	P[Al='Fail']	0.000	0.429	0.113
Circulação (Rede viária)	P[Circ='Fail']	0.000	0.571	0.107
Património (Cultural histórico, Religioso, ...)	% Patr G3+	0.000	1.000	0.011
Perda de confiança nas instituições	{null...Total}	0.000	1.000	0.011
Separação / Tecido social	{null...Total}	0.000	0.300	0.090

Para cada “Estado do Sistema” os impactos formam traduzidos por funções de assimétricas de valor do tipo “Kahneman-Tversky” (Frank, 1994), corrigidas pelos respectivos factores de agravamento devido às disfunções propagadas e, em seguida modelados por funções de valor, do tipo Gauss (Brans *et al.*, 1990), obtendo-se assim o seu impacto em cada um dos critérios.

Ex: Para o Sistema de (Inter) Dependências Funcionais indicado na Figura 4 e, utilizando o algoritmo ADPA, foram calculadas as “Incidências” em cada um dos sectores, tendo-se obtido a matriz de “Incidências funcionais” indicada na Figura 5.

Dependências funcionais

D []	Hab	Seg	Água	Electr	Coms	Alim	Circ
Hab	1.000	0.800	1.000	0.900	0.900	1.000	1.000
Seg	0.000	1.000	0.400	0.900	0.900	0.000	0.950
Água	0.000	0.200	1.000	1.000	0.600	0.000	0.400
Electr	0.000	0.600	0.400	1.000	0.600	0.200	0.200
Coms	0.000	0.600	0.000	1.000	1.000	0.400	0.300
Alim	0.000	0.700	1.000	1.000	0.200	1.000	1.000
Circ	0.000	0.900	0.000	0.900	0.000	0.000	1.000

Figura 4 – Dependências Funcionais, D, (Probabilidade de cada Sector (linha) ser gravemente afectado caso o sector de que depende (coluna) sofra uma forte disfunção)

Incidências funcionais (propagadas)

F []	Hab	Seg	Água	Electr	Coms	Alim	Circ
Hab	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Seg	0.900	1.000	0.600	0.600	0.600	0.900	0.900
Água	1.000	0.400	1.000	0.400	0.400	1.000	0.360
Electr	1.000	0.900	1.000	1.000	1.000	1.000	0.900
Coms	0.900	0.900	0.600	0.600	1.000	0.810	0.810
Alim	1.000	0.360	0.240	0.240	0.400	1.000	0.324
Circ	1.000	0.950	0.570	0.570	0.570	1.000	1.000

Figura 5 – Incidências Funcionais, F, (Probabilidade de cada Sector (linha) afectar gravemente, indirectamente ou por mecanismos de propagação de efeitos, os sectores dele dependentes (coluna))

Para cada Estado do Sistema foram obtidos os factores de agravamento f_i pela expressão indicada na Figura 6.

$$f_i = F^T \cdot ES_i$$

	ES ₁	f ₁	ES ₆	f ₆	ES ₁₂	f ₁₂	ES ₂₄	f ₂₄
Mortos	0.003	-	0.003	-	0.003	-	0.003	-
Feridos	0.002	-	0.002	-	0.000	-	0.000	-
Desalojados	0.045	-	0.045	-	0.015	-	0.010	-
Habituação	0.094	0.344	0.094	0.207	0.040	0.017	0.040	0.000
Segurança	0.100	0.278	0.000	0.177	0.000	0.016	0.000	0.000
Água	0.360	0.230	0.214	0.137	0.000	0.010	0.000	0.000
En. Eléctrica	0.790	0.122	0.471	0.073	0.000	0.010	0.000	0.000
Comunicações	0.672	0.187	0.400	0.112	0.000	0.010	0.000	0.000
Alimentação	0.000	0.334	0.000	0.201	0.000	0.017	0.000	0.000
Circulação (Rede viária)	0.220	0.246	0.200	0.137	0.100	0.000	0.000	0.000
Património (Cultural histórico, Religioso, ...)	0.300	-	0.300	-	0.300	-	0.300	-
Perda de confiança nas instituições	0.800	-	0.800	-	0.800	-	0.800	-
Separação / Tecido social	0.045	-	0.045	-	0.045	-	0.045	-

Figura 6 – Factores de agravamento ao longo do tempo (f_i)

Obtidos os “Estados do Sistema” em cada instante t , ES_t , estes depois de corrigidos pelos factores de agravamento f_i , foram transformados pelas funções $u(x)$, como acima descrito, obtendo-se os impactos u_i , em cada um dos critérios considerados, como indicado na Figura 7. Os valores u_i^* representam os impactos individuais u_i , multiplicados pelos respectivos valores w_i , de importância relativa dos critérios.

	Di_t				0.888	0.747
	Imp	imp[0..1]	f	i.f	u-	u*
Mortos	0.003	0.646	-	0.646	0.872	0.099
Feridos	0.002	0.274	-	0.274	0.310	0.014
Desalojados	0.045	0.450	-	0.450	0.632	0.043
Habituação	0.094	0.376	0.427	0.642	0.869	0.098
Segurança	0.300	0.375	0.321	0.576	0.805	0.027
Água	0.428	0.999	0.286	0.999	0.993	0.112
En. Eléctrica	0.941	1.000	0.158	1.000	1.000	0.102
Comunicações	0.800	1.000	0.234	1.000	1.000	0.079
Alimentação	0.000	0.000	0.415	0.415	0.571	0.065
Circulação (Rede viária)	0.200	0.350	0.320	0.558	0.784	0.084
Património (Cultural histórico, Religioso, ...)	0.300	0.300	-	0.300	0.358	0.004
Perda de confiança nas instituições	0.800	0.800	-	0.800	0.957	0.011
Separação / Tecido social	0.045	0.150	-	0.150	0.105	0.009

Figura 7 – Disruption index para o momento zero: os 3 primeiros dias após catástrofe

O “Disruption index” para cada instante t , é então calculado através da seguinte equação:

$$Di_t = \sum_{i=1}^n u_i(x_i)w_i \quad (1)$$

Para cada cenário, este procedimento é repetido para os diversos instantes ao longo do tempo, obtendo-se o Índice Global da Disfunção (“Disruption Index”) introduzido pelo cenário no sistema global, dado pela equação (2) e Figura 8:

$$Di = \log_{10} \left[\left(\int_t Di_t dt \right) / 197,1 + 1 \right] \quad (2)$$

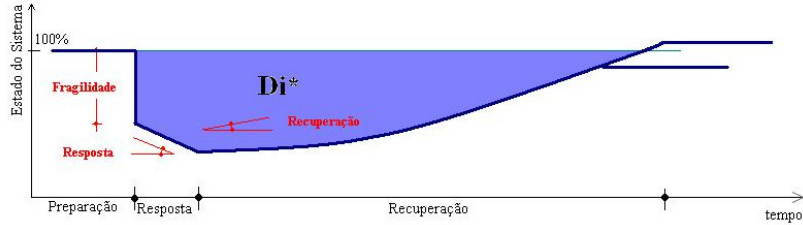


Figura 8 – Disruption index ao longo do tempo

5.2 Descrição sumária da formulação utilizada para cálculo do Impacto Económico

O impacto económico foi obtido por uma formulação do tipo “Input-Output” de Leontief, como seguidamente se apresenta.

Para cada um dos Sectores de Actividade, que no presente caso se reduziram a apenas dois, os quais, por razões de confidencialidade passaremos a designar genericamente por S1 e S2, foram estimados os volumes da procura externa Y [], bem como os factores de produção, A [].

Como acima, para cada um dos cenários da acção sísmica, e em função dos resultados obtidos pela utilização do “*Simulador Sísmico e de Tsunamis do Algarve*” (ANPC, 2009), foram estimadas os estados de disfunção em cada um destes sectores e, a partir deles, as variações induzidas na procura, ΔY [].

As perdas em cada um dos sectores, ΔX [], foram então calculadas por:

$$A = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} \\ a_{2,1} & a_{2,2} \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

A Coeficientes técnicos de Leontief
 Y Procura externa
 X Produção total

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y$$

ΔY Variação na procura
 ΔX Variação na produção

$$\Delta X = \Delta Y \cdot (I - A)^{-1}$$

ΔX_i Impacto de ΔY no Sub-Sistema i
 $\sum \Delta X_i$ Impacto total na economia provocado pela variação da procura

Exemplo:

	S1	S2				
	A		Y	X	ΔY	ΔX
S1	0.01	0.05	285	303.19	-131	-136
S2	0.05	0.01	285	303.19	-57	-64
			570	606.38		-200

5.3 Análises dos resultados

Dos procedimentos acima descritos, foi possível estimar um conjunto muito diversificado de situações, dando-se aqui apenas dois exemplos de análises possíveis:

- *Influência de uma intervenção na “Capacidade de Resposta”, com “Redução dos tempos de realojamento de famílias residentes em edifícios com danos que, depois de inspeção, se espera poderem ser re-utilizados em condições de segurança e habitabilidade consideradas apropriadas”, ou*
- *Influência de uma intervenção de redução da vulnerabilidade de componentes dos sistemas S1 e S2 (Programa de Redução do Risco Sísmico em Infraestruturas Críticas)*

Os indicadores pertinentes a estas análises encontram-se na Figura 9 que seguidamente se apresenta.

Cenários calculados para a situação actual								
	PR [anos]	f	To	T3	T6	T12	T24	D_i
Cenário 1	1000	0.001	0.949	0.939	0.911	0.575	0.415	0.880
Cenário 2	100	0.010	0.240	0.318	0.275	0.047	0.041	0.370
Cenário 3	500	0.002	0.747	0.709	0.619	0.161	0.140	0.650
								0.452

Cenários obtidos depois de uma possível intervenção de redução de fragilidades em infraestruturas críticas em 2 sectores								
	PR [anos]	f	To	T3	T6	T12	T24	D_i
Cenário 1	1000	0.001	0.887	0.858	0.796	0.575	0.415	0.860
Cenário 2	100	0.010	0.171	0.318	0.275	0.047	0.041	0.360
Cenário 3	500	0.002	0.710	0.668	0.555	0.161	0.140	0.630
								0.440
							-2.7%	

Cenários obtidos numa situação de maior eficiência no realojamento de população residente em edifícios que não sofreram danos significativos ($G_d \leq 2$)								
	PR [anos]	f	To	T3	T6	T12	T24	D_i
Cenário 1	1000	0.001	0.949	0.909	0.881	0.556	0.415	0.800
Cenário 2	100	0.010	0.240	0.285	0.243	0.042	0.041	0.350
Cenário 3	500	0.002	0.747	0.670	0.580	0.157	0.140	0.640
								0.429
							-5.1%	

Figura 9 – Cenários para várias capacidades de resposta e respectivos Disruption index

No que respeita ao procedimento de estimativa de impactos económicos salienta-se como exemplo:

- *Estudo de programas de “Incentivo à redução de vulnerabilidades em infraestruturas críticas”, semelhante ao anteriormente descrito, mas utilizando agora os resultados obtidos do impacto económico para apoiar análises de investimento na redução ou na transferência do risco.*

Como anteriormente, os valores pertinentes a estas análises encontram-se na figura que seguidamente se apresenta.

Situação actual de vulnerabilidade (2009)						Perdas em PR [anos]			Perdas / ano [M€]		
Cenário	Descr	PR	tip	disf. S1	disf.S2	S1	S2	T	S1	S2	T-
1	FMP 8,5	2500	els. n. ancorados	95.0%	46.0%	281	147	428	0.112	0.059	0.171
2	F. Caracv 6,0	100	els. n. ancorados	23.0%	6.4%	67	22	89	0.670	0.220	0.890
3	Cádiz 7,7	850	els. n. ancorados	94.0%	43.0%	278	138	416	0.327	0.162	0.489
4	F. Caracav 6,5	150	els. n. ancorados	46.0%	25.5%	136	80	216	0.907	0.533	1.440
Perdas anuais esperadas [M€]									2.016	0.974	2.991

Situação após intervenção (vulnerabilidades reduzidas)						Perdas em PR [anos]			Perdas / ano [M€]		
Cenário	Descr	PR	tip	disf. S1	disf.S2	S1	S2	T	S1	S2	T-
5	FMP 8,5	2500	els. ancorados	21.0%	18.0%	63	55	118	0.025	0.022	0.047
6	F. Caracv 6,0	100	els. ancorados	4.5%	5.0%	14	15	29	0.140	0.150	0.290
7	Cádiz 7,7	850	els. ancorados	52.0%	33.0%	155	103	258	0.182	0.121	0.304
8	F. Caracav 6,5	150	els. ancorados	24.0%	20.0%	72	61	133	0.480	0.407	0.887
Perdas anuais esperadas [M€]									0.828	0.700	1.527

S1 c/vulnerabilidade reduzida, S2 sit. actual						Perdas em PR [anos]			Perdas / ano [M€]		
Cenário	Descr	PR	tip	disf. S1	disf.S2	S1	S2	T	S1	S2	T-
5	FMP 8,5	2500	S1 ancor/S2 n/ancor	21.0%	46.0%	67	136	203	0.027	0.054	0.081
6	F. Caracv 6,0	100	S1 ancor/S2 n/ancor	4.5%	6.4%	14	19	33	0.140	0.190	0.330
7	Cádiz 7,7	850	S1 ancor/S2 n/ancor	52.0%	43.0%	156	132	288	0.184	0.155	0.339
8	F. Caracav 6,5	150	S1 ancor/S2 n/ancor	24.0%	25.5%	73	77	150	0.487	0.513	1.000
Perdas anuais esperadas [M€]									0.837	0.913	1.750

Figura 10 – Perdas anuais esperadas (M€) para vários tipos de cenários de intervenção

De entre algumas das conclusões passíveis de extrair a partir dos resultados acima indicados, podem salientar-se:

- $2.991-1.527=1.464$ - Perdas devidas à ausência de uma política global de incentivo à redução do risco (Papel do Estado),
- $2.016-0.828=1.188$ - Ganhos de S1 na presença de uma política global de redução de risco,
- $0.837-0.828=0.009$ - Perdas sofridas por S1 induzidas pela estratégia de não investimento de S2 (Externalidades),
- $2.016-0.837=1.179$ - Valor máximo que S1 estará disposto a investir na ausência de uma estratégia cooperativa (bom exemplo do *Paradigma da Segurança Interdependente* (Kunreuther et al., 2002)).

6 Notas finais

Embora num estado preliminar, a formulação que aqui muito resumidamente se procurou apresentar, afigura-se-nos suficientemente robusta para prosseguir com os trabalhos em curso. Naturalmente, muito está ainda por trabalhar também a nível mundial, tal como se pode constatar de estudos análogos desenvolvidos por outros investigadores.

Esperamos, num futuro próximo, poder apresentar esta mesma metodologia de forma mais detalhada e calibrada com casos reais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Planeamento Civil de Emergência; à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento do Programa Doutoral de Mónica Amaral Ferreira (SFRH/BD/29980/2006); à Autoridade Nacional de Protecção Civil por ter disponibilizado o acesso ao Simulador Sísmico do Projecto ERSTA e ao Programa Plurianual da FCT.

Referências:

ANPC (2009), Estudo do risco sísmico e de tsunamis do Algarve, Trabalho em progresso.

Apostolakis, G. E e Douglas, M. L. (2005), "A Screening Methodology for the Identification and Ranking of Infrastructure Vulnerabilities Due to Terrorism." *Risk Analysis* 25(2):pp. 361-376.

Brans, J.P. e Bertrand, M. (1990), The Promethee Methods for MCDM; The Promcalc, Gaia abd Bankadvisor Software. *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, Springer-Verlag.C. A. B. e. Costa: pp. 217-252.

Cardona, O.D. (2005), "Indicators of Disaster Risk and Risk Management: Program for Latin America and the Caribbean". *Summary Report. IDB/IDEA Program of Indicators for Disaster Risk Management*, National University of Colombia, <http://idea.unalmz.edu.co>

Carreño, M.L.; Cardona, O. e Barbat, A. (2007), "Urban Seismic Risk Evaluation: A Holistic Approach", *Natural Hazards*, Vol. 40(1), pp. 137-172.

CEU (2008), "Directive on the identification and designation of European Critical Infrastructures", Council of the European Union. Directive 2008/114/EC, 8 Dec. *Official Journal of the European Union* Vol.23.

Cox (Jr), L.A. (2009). "What's Wrong with Hazard-Ranking Systems? An Expository Note", *Risk Analysis* 29(6):pp. 940-948.

Crowther, K. G.; Haines, Y. Y. e Taub, G. (2007), "Systemic Valuation of Strategic Preparedness Through Application of the Inoperability Input-Output Model with Lessons Learned from Hurricane Katrina", *Risk Analysis* 27(5):pp. 1345-1364.

Davidson, R.A. e Hareh, C. S. (1997), "An Urban Earthquake Disaster Risk Index", The John A. Blume Earthquake Engineering Center. S. U. Department of Civil and Environmental Engineering.

Ferreira, M. A. (2009). "L'Aquila earthquake viewed from World Wide Web. A Preliminary report - The first week", *The Newsletter of the European Association for Earthquake Engineering* 27(1):pp. 6-16.

Frank, R. H. (1994), "Microeconomia e Comportamento", *McGraw-Hill*, pp. 236-238.

Barroso, J.M.D. President of the European Commission (2007), "Opening Speech: The challenges of modern societies. Beyond GDP, Measuring progress, true wealth, and the well-being of nations", Brussels, European Comission.

Kunreuther, H. e Heal, G. (2002), "Interdependent Security: The Case of Identical Agents", University of Pennsylvania.

Michaud, D. e Apostolakis, G.E. (2006), "A Methodology for Ranking the Elements of Water-Supply Networks." *Journal of Infrastructure Systems*

Nasserasadi, K., Mohsen, G. e Reinard M. (2006), "Seismic Indirect Loss Model for Industrial Facilities", *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland.

Patterson, S.A e Apostolakis, G.E. (2005), "Identification of Critical Locations across Multiple Infrastructures for Terrorist Actions. Safeguarding National Infrastructures: Integrated Approaches to Failure in Complex Networks", University of Glasgow.

prEN 1998-1 (12/2003), "Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", CEN, Bruxelas, Bélgica.

Rinaldi, S. M (2004), "Modeling and Simulating Critical Infrastructures and Their Interdependencies", *37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*.

RSA (1983), "Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes", *Decreto-Lei n° 235/83*.

Whittaker, A.S. e Soong T.T. (2003), "An Overview of nonstructural components research at three U.S. earthquake engineering research centers", *Seminar on Seismic Design, Performance and Retrofit of Nonstructural Componente in Critical Facilities*. A. T. Council (Eds).

Zhang, W. J. (2005), "On Modeling and Simulation of the Networked Critical Infrastructure." disponível em <http://www.publicsafety.gc.ca/prg/em/jiirp/fl/zhang-en.pdf>.