



RISCO DE INUNDAÇÕES - UMA METODOLOGIA PARA A SUA CARTOGRAFIA*

Luis Sá

Autoridade Nacional de Protecção Civil
luis.sa@prociv.pt

Henrique Vicêncio

Autoridade Nacional de Protecção Civil
henrique.vicencio@prociv.pt

RESUMO

O risco de inundações é um dos mais importantes em Portugal, sendo provavelmente no século XX responsável por impactes económicos e sociais muito significativos. Uma carta que caracterize áreas vulneráveis a inundações será um instrumento que permitirá antecipar as reacções do território face a essas situações. A metodologia proposta procura enquadrar diversas dinâmicas naturais com tradução territorial e que hoje podem ser integradas em múltiplos conjuntos de dados espaciais nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Palavras-Chave: Risco, Inundações, Cartografia.

RESUMEN

Riesgo de Inundación - Una metodología para el mapeo - El riesgo de inundación es un de los más importantes en Portugal, y en el siglo XX fue probablemente la causa de impactos económicos y sociales muy importantes. Un mapa que incluye las zonas vulnerables a las inundaciones será un instrumento para anticipar las reacciones del territorio frente a esas situaciones. La metodología propuesta pretende encajar varias dinámicas naturales con la traducción territorial y que ahora puede ser integrado en múltiples conjuntos de datos espaciales en SIG.

Palabras clave: Riesgo, Inundaciones, Cartografía.

RÉSUMÉ

Risque d' inondation - Une méthode de cartographie - Le risque d'inondation est l'un des plus importants au Portugal, qui est probablement responsable dans le XXe siècle pour impacts économiques et sociaux très importants. Une carte qui présente les zones vulnérables aux inondations sera un instrument d'anticiper les réactions du territoire face à de telles situations. La méthode vise à proposer plusieurs ajustement dynamique naturelle avec la traduction territoriale et qui peut maintenant être intégré dans de multiples ensembles de données spatiales dans les SIG.

Mots - Clé: Risques, Inondations, Cartographie.

ABSTRACT

Flooding Risk- A methodology for mapping - The risk of flooding is one of the most important in Portugal and in the twentieth century was probably responsible for very significant economic and social impacts. A map that features the areas vulnerable to flooding will be an instrument to anticipate the reactions of the territory dealing with such situations. The propose methodology seeks to fit several natural dynamics with territorial translation and that now can be integrated into multiple sets of spatial data in GIS.

Keywords: Risk, Flooding, Cartography.

* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao II Congresso Internacional de Riscos e VI Encontro Nacional, tendo sido submetido para revisão em 31-05-2010, tendo sido aceite para publicação em 19-08-2010. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 18, 2011, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

Introdução

Valores elevados de acumulados de precipitação, em pequenos períodos, são fenómenos pouco frequentes e que podem resultar de precipitações moderadas e prolongadas ou de precipitações muito fortes de curta duração. As precipitações moderadas e prolongadas são consequência do atravessamento sucessivo de sistemas frontais associados a núcleos de baixa pressão que, no caso de Portugal, têm a sua formação e desenvolvimento no Oceano Atlântico. Estes originam longos períodos de chuva que podem durar vários dias, contribuindo para a saturação dos solos e para o aumento das cargas de escoamento para os cursos de água.

As chuvas fortes de curta duração caracterizam-se pela concentração de elevados níveis de precipitação em períodos reduzidos de tempo. São geradas por fenómenos meteorológicos de origem convectiva, caracterizados por chuvas violentas, por vezes associadas a trovoadas e queda de granizo. Estas precipitações podem durar algumas horas ou apenas alguns minutos. De um modo geral, as suas consequências, para além de dependerem da sua magnitude, dependem fortemente das características da bacia ou sub-bacia hidrográfica, capacidade local de drenagem e escoamento das águas pluviais.

Nos últimos vinte anos, os estudos de hidrologia urbana têm dedicado especial atenção ao impacto da urbanização no escoamento potencial dos pequenos lençóis de água. As alterações hidrológicas provocadas pelo tecido urbanizado apresentam relações de 90 a 100% de escoamento superficial para 0 a 10% de infiltração, com elevados picos de escoamento em curtos períodos de tempo. A mesma relação para condições naturais de uso de solo é de 80 a 100% de infiltração e de 0 a 20% de escoamento no sistema de drenagem natural (OLIVEIRA, 2005). Os principais efeitos verificados são: o aumento dos volumes de escoamento superficial devido à impermeabilização que reduz o nível de infiltração do solo; e, as mudanças de eficiência hidráulica associadas à artificialização de canais, entulhamento de linhas de água, provocando alterações nas características do escoamento.

As consequências mais significativas que podem resultar da ocorrência de precipitações e que deverão ser consideradas no planeamento de emergência são:

1. Formação de **cheias** progressivas por aumento dos caudais dos cursos de água de grandes bacias provocando extravase do leito normal com inundações de margens e áreas circunvizinhas, desenvolvendo-se durante períodos de dias;
2. **Inundações** súbitas, em pequenas bacias com reduzido tempo de concentração (também chamadas cheias rápidas), ou pela confluência e acumulação do escoamento das águas pluviais em zonas de baixa capacidade de drenagem.

Sendo um dos objectivos principal da Protecção Civil a prevenção dos riscos colectivos e a ocorrência de acidente grave ou de catástrofe deles resultante, a

cartografia de risco é uma ferramenta essencial para a prossecução desse propósito. Nesse sentido, uma carta de risco de componente hidrológica deverá identificar e localizar convenientemente as vulnerabilidades de índole hídrica que afectam o território. Feita a identificação e a caracterização dos riscos e localizadas as áreas expostas a eventos extremos, sobretudo onde podem manifestar-se com gravidade elevada, é possível definir as melhores estratégias de resposta a catástrofes ou acidentes graves, testar a eficácia dos meios e recursos existentes, perceber os constrangimentos físicos e funcionais à mobilidade e encontrar alternativas de gestão integrada, incluindo a aplicação do princípio da precaução e o apoio à decisão.

No presente trabalho, será analisada uma metodologia de análise de vulnerabilidades do território aos fenómenos de inundações visto presentemente estar a ser elaborada, sob coordenação do INAG, a transposição da Directiva Cheias (2007/60/CE, de 23 de Outubro de 2007) para direito nacional que procurará traçar uma metodologia e a execução de cartografia de risco para situações de cheias progressivas.

Metodologia

Procurou-se utilizar uma metodologia acessível, recorrendo a um algoritmo de fácil percepção que permite o cálculo de um índice de vulnerabilidade (V) para cada área em estudo. No presente estudo foi decidido que a escala de trabalho seria a concelhia, tendo sido usados os seguintes sub-índices para o cálculo de (V):

- α - Média anual das ocorrências de protecção civil, por concelho, registadas no sistema informático da ANPC e referenciadas como “inundações”;
- β - Percentagem em relação à área total do concelho que pertence à classe Corine urbana ou periurbana;
- γ - Número de quilómetros lineares de linhas de água por km² reportado ao concelho;
- δ - Precipitação máxima horária associada a um período de retorno de 100 anos reportada ao concelho;
- ϵ - Densidade populacional reportada ao concelho.

O **sub-índice α** foi obtido por pesquisa à base de dados da Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) e suportada pela aplicação PCGO - Protecção Civil Gestão de Ocorrências, que é alimentada pelas ocorrências inscritas pelos Corpos de Bombeiros do continente; foram procuradas as ocorrências que possuíssem a referência 3500 ou 3600 ou 9100, de acordo com o expresso pela Norma Operacional nº 3101/2009. O sub-índice α é então dado pela média anual das ocorrências acima referenciadas (obtida no intervalo 2006 a 2009) por concelho.

O cálculo do **sub-índice β** foi feito a partir dos dados disponibilizados pelo Instituto Geográfico Português (IGP) que recentemente publicou os trabalhos resultantes da actualização do Programa Corine Land Cover referentes a 2006. Os produtos cartográficos Corine constituem a informação mais recente e comparável sobre ocupação e uso do solo no território de Portugal Continental,

fornecendo um retrato da paisagem e caracterizando o tipo de alterações decorridas entre actualizações. A partir do levantamento Corine podem ser escolhidas as áreas com classificação urbana e periurbana (Classes 111 e 112) sendo esse valor ser normalizado com a área total do concelho.

O cálculo do sub-índice γ foi obtido a partir de informação fornecida pelo Instituto da Água, através do seu Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos com a implantação em SIG das linhas de água (Classe I a V) existentes no continente. Essa informação foi cruzada com aquela existente na ANPC, sobre áreas concelhias, com o intuito de se calcular a densidade de linhas de água por km², variável que fornece uma indicação da quantidade de linhas de água existentes na área em estudo. O raciocínio a aplicar será que, em princípio, se uma área possui mais linhas de água poderá então ser mais vulnerável a fenómenos de cheias rápidas ou inundações.

O cálculo do sub-índice δ foi o que se mostrou menos acessível, tendo requerido uma pesquisa a publicações de duas fontes (INAG e Universidade de Valência). De facto para encontrar a precipitação máxima horária associada a um período de retorno de 100 para cada área em análise é necessário determinar uma escala matemática que englobe todas as possíveis intensidades do fenómeno em causa; no caso da precipitação, segundo MONCHO et al. (2008) a curva IDF geral para a península ibérica é:

$$P = P_{\infty} \left(\frac{r}{r_0} \right)^{0.24} \left(\frac{t}{t_0} \right)^{1-n} \quad (1)$$

em que P é a precipitação, P_{∞} a precipitação associada a um retorno, r o período de retorno e t o tempo

Adaptando esta metodologia, analisando o registo das séries de precipitação e consultando o trabalho de Brandão et al. (2001) concluímos que em Portugal a precipitação horária associada a um período de retorno de 100 anos varia desde os 62.3 mm/h no Algarve até os 32.5 mm/h em Trás-os-Montes.

QUADRO 1 - Precipitações associadas a um período de retorno de 100 anos.

Distrito	Precipitação associada (mm/h)
Viana do Castelo	54.9
Braga	54.9
Vila real	32.5
Porto	41.8
Bragança	37.7
Guarda	50.5
Viseu	45.1
Aveiro	34.8
Coimbra	46.0
Castelo branco	43.4
Leiria	45.3
Santarém	43.4
Portalegre	42.9
Lisboa	46.5
Évora	44.2
Setúbal	38.4
Beja	58.1
Faro	62.3

Tendo os valores distritais, apurados por média aritmética dos registos das estações udométricas locais, foi assumido que para cada concelho pertencendo a um dado distrito, esse mesmo concelho possuirá uma precipitação com um período de retorno de 100 anos semelhante ao valor do distrito que integra; no entanto é de notar que esta assumpção/simplificação poderá conduzir a algumas incorrecções quando pensamos em casos excepcionais ou de fronteira.

O cálculo do sub-índice ϵ foi obtido a partir de informação fornecida pelos censos populacionais do INE (2001) conjugada com a área do respectivo concelho, tendo sido os dados obtidos agrupados em 5 classes.

A partir do cálculo dos valores finais dos sub-índices (α , β , γ , δ e ϵ) os mesmos podem ser então agrupados em 5 classes, majoradas de 1 a 5 de forma directa (valores mais elevados correspondem a classes mais altas) de acordo com o método de partições naturais proposto por G. JENKS em 1963.

Obtidas as majorações de α , β , γ , δ e ϵ por concelho é possível ser calculado (V) para o mesmo por intermédio de uma expressão do género $f(\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon)$ que relacione os 5 sub-índices. Após cuidadosa análise iterativa concluiu-se que a expressão que melhor relaciona as diferentes componentes será:

$$(V) = 0.15 \alpha + 0.23 \beta + 0.15 \gamma + 0.23 \delta + 0.24 \epsilon \quad (2)$$

O valor final de (V) deverá ser agrupado numa escala qualitativa, de preferência ímpar, de modo a minorar a dispersão de valores calculados.

Resultados

O cálculo do índice de vulnerabilidade (V) foi feito utilizando cada sub-índice obtido por concelho e a expressão (2) que os relaciona. Foi então obtido um valor de (V) por cada concelho (variando no intervalo de 1 a 5) que nos dá uma grandeza da vulnerabilidade a uma inundação para o concelho em análise; no entanto, dada a dispersão dos valores obtidos foi necessário estabelecer uma escala qualitativa com diferentes classes. Escolhendo-se 5 classes (mínima, reduzida, moderada, elevada e máxima), foi decidido, com auxílio a um ajuste ao método de partições naturais (Jenks, 1963), fixar-se os intervalos em:

- Vulnerabilidade Mínima $\rightarrow (V) < 1.75$
- Vulnerabilidade Reduzida $\rightarrow 1.75 < (V) < 2.15$
- Vulnerabilidade Moderada $\rightarrow 2.15 < (V) < 2.65$
- Vulnerabilidade Elevada $\rightarrow 2.65 < (V) < 3.25$
- Vulnerabilidade Máxima $\rightarrow (V) > 3.25$

Do acima descrito resulta a seguinte carta:

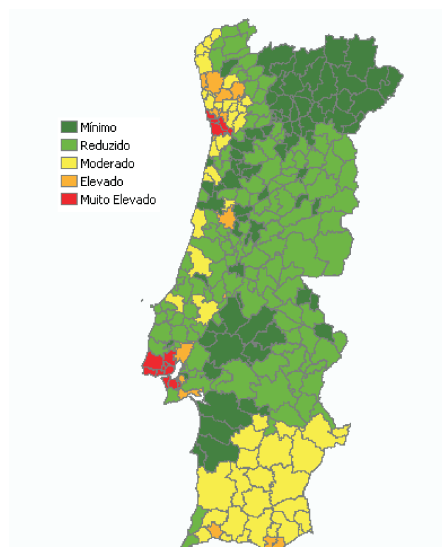


Figura 1 - Carta concelhia de vulnerabilidade ao risco de inundação com 5 classes.

Conclusões

O território continental está exposto a riscos naturais, nomeadamente a cheias rápidas e inundações, havendo uma vulnerabilidade crescente envolvendo áreas e populações das áreas urbanas e periurbanas; nesse sentido as ideias expressas neste trabalho terão sempre de ter presente o facto de que a ocorrência destes fenómenos são, na sua maioria, situações inevitáveis e a tarefa importante a realizar será eliminar as condições que possam intensificar as consequências inerentes.

A utilização do elemento fundamental deste estudo, a carta de vulnerabilidade ao risco de inundação, pode contribuir para minimizar os riscos de cheia. Salienta-se que mapas como estes, identificando vulnerabilidades, podem ser um importante instrumento de apoio à decisão no ordenamento, visando o planeamento e a gestão sustentável do território, podendo constituir peças prioritárias para a adopção de medidas de prevenção das catástrofes naturais e minimizadoras dos seus efeitos para evitar situações de emergência e socorro.

Da análise às cartas obtidas e à metodologia associada, concluímos que em fenómenos como os agora estudados o peso da urbanidade é factor preponderante para uma maior vulnerabilidade a estes riscos, que é potenciada por fenómenos de desordenamento do território, onde a construção em leito de cheias ou um mau escoamento da rede de saneamento, muitas vezes de carácter unitário, ainda hoje são algo de presente no quotidiano. É o caso de certas zonas envolventes a Lisboa, que possuem a maior vulnerabilidade do país a estes riscos.

A metodologia agora analisada, apesar de simples, já detecta tais casos, importando agora aperfeiçoá-la de modo a incluir mais variáveis. Uma hipótese de evolução

metodológica será a utilização de modelos hidrológicos e hidráulicos, assentes em informação relativa à altimetria, hidrografia, dados meteorológicos e hidrométricos, que permitam calcular os níveis de escoamento. Outra hipótese, por ora não analisada é a recorrer ao registo cartográfico de inundações ocorridas; de facto com base em imagens de satélite ou em fotografias aéreas com o registo de inundações ocorridas será possível conhecer áreas afectadas, deste modo será possível relacionar as áreas inundáveis com as características do terreno, aprofundando o conhecimento acerca das características físicas e humanas de cada concelho; de igual modo as respectivas bacias hidrográficas podem ser caracterizadas tendo em conta o relevo, a geomorfologia, o coberto vegetal, o clima, a rede de saneamento básico e a ocupação humana.

Referências Bibliográficas

- BRANDÃO, C., RODRIGUES, R., COSTA, J. (2001). Análise de Fenómenos Extremos em Portugal Continental. INAG.
- COSTA, C. (1986). As cheias rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa. Estudos em homenagem a Mariano Feio.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO PORTUGUÊS. (2009). Corine Land Cover - Série cartográfica de ocupação do solo, 1:100 000.
- JENKS, G.F. e COULSON, M.R. (1963). Class intervals for statistical maps. *International Yearbook of Cartography*, 3.
- JULIÃO, R., NERY, F., RIBEIRO, J., BRANCO M., ZÉZERE, J. (2009). Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Instituto Geográfico Português.
- MIRANDA J. M., BAPTISTA M. A. (2006). Riscos Naturais. Instituto Geofísico Infante Dom Luiz. Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa.
- MONCHO, R., BELDA, F. e CASELLES, V. (2008). Estudio climático del exponente N de las curvas IDF. Aplicación para la Península Ibérica. Tethys.
- OLIVEIRA, A. (2005). Carta das Zonas Inundáveis do Município da Amadora. Câmara Municipal da Amadora.
- RAMOS, C e OLIVEIRA, P (2002). Inundações na Cidade de Lisboa Durante o Século XX e seus Factores Agravantes. *Finisterra*, n.º XXXVII.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. (2009). Cartografia de Linhas de Água em Portugal.