

ANÁLISE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE CHEIAS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: DA DEFINIÇÃO DO QUADRO CONCEPTUAL ATÉ À PROPOSTA DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO

Eusébio REIS¹

¹Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa,

Email: eusebioreis@campus.ul.pt

PALAVRAS-CHAVE: susceptibilidade à ocorrência de cheias; áreas inundáveis; análise Multi-Critério; Sistemas de Informação Geográfica

RESUMO

Desenvolve-se um conjunto de procedimentos em Sistemas de Informação Geográfica, que permite a avaliação das áreas que drenam para cada ponto da bacia hidrográfica. As variáveis espaciais assim obtidas, são integradas de acordo com um método baseado na Análise Multi-Critério, o qual permite a identificação das condições de dinâmica fluvial ao longo dos troços da rede de drenagem e, em particular, das áreas com diferente susceptibilidade à ocorrência de cheias. O método funciona de forma iterativa, através do ajustamento progressivo das funções que representam as condições na bacia hidrográfica para cada variável considerada, tendo como referência os registos de cheias. O processo termina quando os resultados do modelo permitem identificar correctamente as linhas de água mais susceptíveis, de acordo com os eventos conhecidos, procedendo-se, então, à identificação automática das áreas inundáveis adjacentes.

KEYWORDS: flood susceptibility; flooded areas; Multi-Criteria analysis; Geographic Information Systems

ABSTRACT

WATERSHED ANALYSIS, FLOOD SUSCEPTIBILITY AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS: FROM A CONCEPTUAL FRAMEWORK TO AN ASSESSMENT MODEL PROPOSAL. This paper develops a set of procedures in Geographic Information Systems, which allows the assessment of upstream drainage conditions for each point in the watershed. The various spatial variables obtained from these procedures are integrated in a Multi-Criteria Analysis based model, allowing the identification and characterization of fluvial dynamics along streams and, in particular, areas with different susceptibility to flood occurrence. This method works iteratively, through the gradual adjustment of the functions that represent the conditions in the watershed for each considered variable, using known events as a reference data for model validation. The process ends when the model results assure identifying correctly the more susceptible channels to flood episodes, according to the known events, proceeding then to the automatic identification of the adjacent flooded areas.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da ocorrência de cheias e o zonamento de áreas inundáveis baseia-se em métodos hidrológicos (e hidráulicos), geomorfológicos ou na combinação de ambos; faz-se ainda referência ao método histórico de avaliação da susceptibilidade a cheias (Díez-Herrero *et al.*, 2008; DIREN-PACA, 2007), o qual pode ser autónomo ou complementar aos dois anteriores. A abordagem com base em modelos hidrológicos e hidráulicos é exigente quanto aos dados de base (Díez-Herrero *et al.*, 2008; de Moel *et al.*, 2009, Apel *et al.*, 2009), mesmo nos modelos mais simples, de base *raster* (Bates e de Roo, 2000). Outras limitações colocam-se ao nível da disponibilidade de dados pluviométricos e/ou hidrométricos em quantidade suficiente para serem representativos da diversidade das bacias hidrográficas e dos troços da rede de drenagem.

Os métodos geomorfológicos tradicionais, embora possam, em alguns casos, resolver parcialmente a limitação que decorre da variação espacial das condições (Díez-Herrero *et al.*, 2008; Benito e Hudson, 2010), são bastante morosos e intensivos em termos de trabalho. Por esse motivo, haverá vantagem em serem precedidos por métodos de avaliação automáticos que possam efectuar um diagnóstico das condições das bacias hidrográficas, de forma simples, expedita e fiável.

A modelação do comportamento fluvial e a avaliação das condições propiciadoras de cheias exige o desenvolvimento de procedimentos específicos, para que os valores de uma variável num ponto da bacia hidrográfica reflectam as condições de toda a área que drena para esse local. Neste trabalho, desenvolve-se um conjunto de procedimentos em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permite a avaliação das condições das áreas drenantes para cada ponto da bacia hidrográfica. A integração da informação relativa aos factores, assente num método baseado na Análise Multi-Critério, que funciona iterativamente, permite a identificação das condições de dinâmica fluvial ao longo dos troços da rede de drenagem e, em particular, das áreas com diferente susceptibilidade à ocorrência de cheias. O processo iterativo termina quando os resultados do modelo permitem identificar correctamente as ocorrências de cheias conhecidas. Adicionalmente, podem ser obtidas as áreas inundáveis a partir dos troços identificados.

2. VARIÁVEIS CONDICIONANTES

A selecção dos factores para avaliar a susceptibilidade à ocorrência de cheias assume importância fundamental no processo de modelação: por um lado, são numerosas as variáveis espaciais que podem ser utilizadas para este fim (área da bacia hidrográfica, distribuição espacial das chuvadas, declive das vertentes e dos cursos de água, permeabilidade, ocupação do solo, hierarquia, magnitude e densidade da rede de drenagem, etc.); por outro, a presença de multicolinearidade entre algumas destas variáveis, a qual pode tornar o processo mais complexo e menos compreensível, sem que isto implique uma melhoria dos resultados.

Assim, o modelo desenvolvido para a identificação e hierarquização da susceptibilidade à ocorrência de cheias assenta na integração de três factores, considerados constantes no tempo:

- área de drenagem acumulada em cada ponto da bacia hidrográfica;
- declive médio da respectiva área de drenagem;
- valor médio da permeabilidade relativa dessa área de drenagem.

Os valores das variáveis anteriores são calculados, como se explicita no ponto 3, para cada uma das unidades de terreno, as quais correspondem, nesse caso, às células de uma matriz. A área de

drenagem fornece uma indicação da acumulação potencial do escoamento em cada unidade de terreno (célula); a permeabilidade explica a relação entre a água infiltrada e a água disponível para o escoamento directo; e o declive médio traduz o dinamismo (velocidade) do escoamento da água ao longo da bacia hidrográfica. Em conjunto, os três factores permitem avaliar as condições de resposta aos eventos pluviométricos e o fluxo acumulado potencial ao longo das sub-bacias hidrográficas. Garantem, ainda, a construção de um modelo simples, mas eficaz, em que estão presentes os factores geomorfológicos mais relevantes na identificação de condições favoráveis à ocorrência de cheias (CCDR, 2009; Julião *et al.*, 2009).

Como se constata, o modelo não utiliza necessariamente variáveis relativas à precipitação e à ocupação do solo. A precipitação é considerada um parâmetro constante ao longo das bacias hidrográficas, pelo que este factor se encontra parcialmente representado pela área de drenagem acumulada em cada unidade de terreno. Como o objectivo do modelo não é o cálculo de períodos de retorno de eventos, a utilização da distribuição espacial da precipitação é, neste contexto, dispensável. O modelo assume, também, a inexistência dos efeitos de interceptação e retenção por parte do coberto vegetal, devido às grandes alterações a que esta variável espacial está sujeita em curtos espaços de tempo (plantações, desmate, corte, incêndios, etc.); a ocupação do solo, embora interfira no comportamento dos caudais de ponta, é aqui tratada como uma componente do ordenamento e gestão das bacias hidrográficas. Todavia, a informação da ocupação do solo é incorporada no processo de cálculo dos valores de permeabilidade relativa nas bacias hidrográficas.

3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO E DOS PROCESSOS

Ao contrário da maior parte dos fenómenos, em que a abordagem se baseia em funções locais, o comportamento do escoamento num determinado ponto da bacia hidrográfica depende, em grande parte, das condições naturais e antrópicas de todo o seu sector montante. Por isso, o método de cálculo das variáveis espaciais assume relevância particular, tanto quanto a selecção dos factores a utilizar. A metodologia proposta para identificação da susceptibilidade à ocorrência de cheias nas bacias hidrográficas segue um fluxo de trabalho baseado em 7 etapas principais (ver Fig. 1):

- i. Selecção dos factores relevantes (e respectiva fontes de informação) para a identificação da susceptibilidade (referido no ponto 2);
- ii. Cálculo dos valores das variáveis condicionantes, por unidade de terreno (célula);
- iii. Cálculo dos valores acumulados e dos valores médios para essas variáveis, ao longo das bacias hidrográficas;
- iv. Integração das variáveis num modelo assente na Análise-Multicritério, de acordo com funções empíricas que resultam dum processo iterativo;
- v. Classificação das bacias hidrográficas de acordo com a susceptibilidade à ocorrência de cheias nos troços dos cursos de água tendo por base limites naturais (Fig. 2);
- vi. Validação dos resultados do modelo, com base em diversa informação histórica e geomorfológica, e observações de campo;
- vii. Espacialização, para as margens adjacentes (áreas planas), dos resultados obtidos para a susceptibilidade das linhas água (referido no ponto 4).

A identificação e classificação das áreas inundáveis adjacentes aos troços considerados mais susceptíveis baseiam-se nos seguintes passos:

- i. Selecção dos troços considerados mais relevantes para a avaliação da susceptibilidade à ocorrência de cheias, ou seja, coincidentes com grande parte dos troços classificados com susceptibilidade "baixa" e todos os troços classificados com susceptibilidade "moderada" a "extremamente elevada";
- ii. Identificação, através de um processo iterativo baseado na análise de vizinhança, das áreas planas (fundos de vale) adjacentes aos troços anteriores;
- iii. Atribuição automática dos valores de susceptibilidade presentes nos troços aos fundos de vale planos que lhes são contíguos.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos para a susceptibilidade na bacia hidrográfica são agrupados em 7 classes (Fig. 3A), baseadas nas discontinuidades naturais. Constatam-se as relações seguintes entre as classes de susceptibilidade e os diversos contextos topográficos (Fig. 3A e 3B):

- as classes "nula ou extremamente baixa" e "muito baixa" coincidem, no essencial, com as áreas de interflúvio e com as áreas imediatamente adjacentes a estas, assim como a áreas deprimidas com fraca acumulação, permeabilidade elevada, declive fraco e drenagem com organização menos evidente; a classe "muito baixa" pode coincidir ainda, de forma aproximada, com os sectores intermédios das vertentes ou com os sectores inferiores das vertentes;
- as restantes 5 classes de susceptibilidade identificam situações de escoamento concentrado ao longo dos talwegues, nas quais se insere a generalidade dos cursos de água, e cuja susceptibilidade à ocorrência de cheias aumenta para jusante, embora de forma não gradual, à medida que aumenta a área de drenagem e a hierarquia fluvial; de facto, é ao longo da maior parte destes troços que, com diferentes níveis de susceptibilidade, as situações de cheia se colocam com algum grau de relevância.

Na sequência dos resultados anteriores, é pertinente tecer as seguintes considerações:

- os resultados representam a susceptibilidade intrínseca das bacias hidrográficas, ou seja, obtida a partir dos factores físicos considerados permanentes (área de drenagem, declive e permeabilidade); a utilização da precipitação e do coberto vegetal podem introduzir modificações consideráveis nos valores de susceptibilidade obtidos;
- o modelo não pretende avaliar os fenómenos de cheia e de inundações resultantes de estrangulamentos naturais ou artificiais de pequena dimensão, da existência de sistemas de drenagem pluviais subdimensionados, ou de subidas do nível freático acima da superfície topográfica em áreas de baixa acumulação superficial;
- as áreas identificadas como susceptíveis encontram-se definidas pelo limite máximo de alagamento, dependente do grau de pormenor do MNE, e não permite, nesta fase, uma diferenciação para as diferentes magnitudes de cheia.

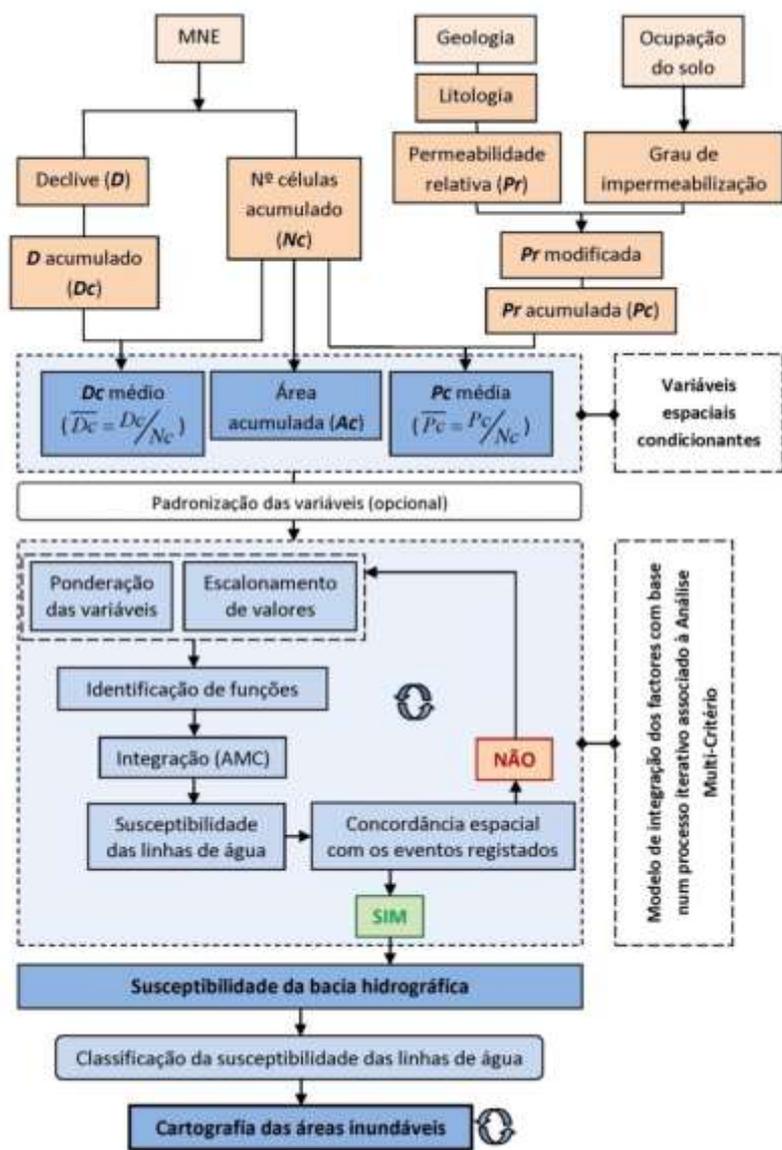


Fig. 1 – Esquema conceptual do modelo de avaliação da susceptibilidade à ocorrência de cheias.

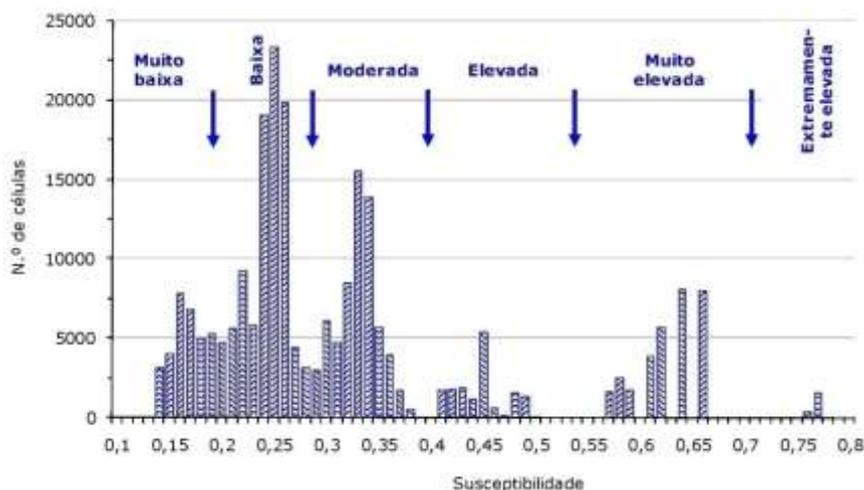


Fig. 2 – Frequência (n.º de células; cada célula = 100m²) dos valores de susceptibilidade para os cursos de água da bacia hidrográfica do rio Tornada e respectiva classificação de acordo com as discontinuidades naturais (no gráfico não se encontram representados valores inferiores a 0,14).

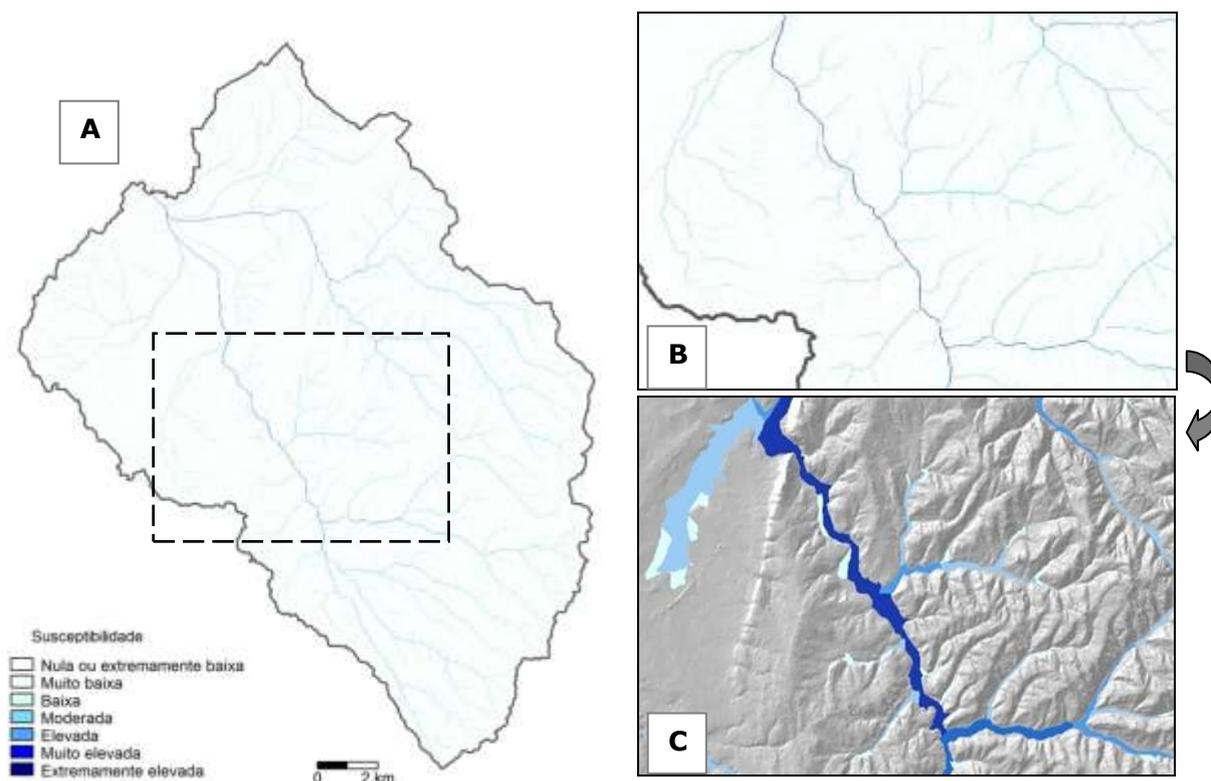


Fig. 3 – Susceptibilidade à ocorrência de cheias: (A) bacia hidrográfica do rio Tornada – o rectângulo identifica as áreas nas figuras B e C; (B) pormenor de uma área da bacia; (C) áreas inundáveis a partir da susceptibilidade associada aos troços.

BIBLIOGRAFIA

- Apel H, Aronica GT, Kreibich H, Thielen AH (2009) Flood risk analyses – how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, Springer, 49(1), 79-98.
- Bates PD e de Roo APJ (2000) A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 236, 54-77.
- Benito G, Hudson PF (2010) Flood hazards: the context of fluvial geomorphology. In Alcantara-Ayala I, Goudie A (ed.) *Geomorphological hazards and disaster prevention*. Cambridge University Press, Cambridge, 111-128.
- CCDR-LVT (2009) *Reserva Ecológica Nacional do Oeste e Vale do Tejo. Quadro de Referência Regional*. CCDRLVT, MAOT, relatório+ 7 Anexos (mapas), Lisboa, www.ccdr-lvt.pt/pt/areas-de-ren-quadro-de-referencia-regional/1913.htm [consultado Junho de 2011].
- de Moel H, van Halphen J, Aerts JCJH (2009) Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9 (2), 289-301.
- DIREN-PACA (2007) *L'approche hydrogéomorphologique en milieux méditerranéens. Une méthode de détermination des zones inondables*. Direction Régionale de l'Environnement-PACA, Provence-Alpes-Côte d'Azur.
- Díez-Herrero A, Lain-Huerta L, Llorente-Isidro M (2008) Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones – Guía metodológica para su elaboración. *Série Riesgos Geológicos/Geotecnia*, n.º 1, Instituto Geológico Y Minero de España.
- Julião R P, Nery F, Ribeiro J L, Branco M, Zêzere J L (2009) *Guia Metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal*. ANPC/ DGOTDU/IGP, Lisboa.