

## PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS DO RELEVO E UTILIZADOS NA CARATERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

**Elisabete S. V. Monteiro\***, **João L. M. P. de Lima\*\*** e **Cidália C. Fonte\*\*\***

*\* Instituto Politécnico da Guarda; INESC Coimbra- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra; emonteiro@ipg.pt*

*\*\* Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; IMAR–CMA Centro de Investigação do Mar e Ambiente, IMAR-Instituto do Mar, c/o Dep. Ciências da Vida, Universidade de Coimbra; plima@dec.uc.pt*

*\*\*\* Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; INESC Coimbra- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra, cfonte@mat.uc.pt*

### Resumo

No estudo de bacias hidrográficas o conhecimento das características fisiográficas é necessário para se efetuar a modelação do seu comportamento hidrológico. Tais características estão relacionadas com a geometria da bacia, com o sistema de drenagem e com o seu relevo, sendo traduzidas por parâmetros ou índices que apresentam variabilidade em termos espaciais, sendo normalmente extraídos a partir de Modelos Digitais de Terreno (MDT). A automatização da extração de informação que caracteriza a bacia, embora mais eficiente que os processos tradicionais executados sobre cartografia convencional, levantam no entanto questões que merecem atenção, tendo aberto perspectivas inovadoras na investigação ligada à modelação hidrológica e, consequentemente na gestão de recursos hídricos.

No presente estudo listam-se essas características fisiográficas, identificam-se alguns parâmetros ou índices topográficos inerentes à bacia e ao sistema de drenagem, tecem-se considerações sobre a sua determinação, fazendo-se também algumas análises à variabilidade dos resultados obtidos num caso de estudo realizado sobre duas bacias hidrográficas localizadas no território de Portugal continental.

**Palavras-chave:** bacias hidrográficas, características fisiográficas, parâmetros topográficos.

### 1. Introdução

As bacias hidrográficas constituem unidades fundamentais para o planeamento e gestão dos recursos hídricos, desempenhando por isso um papel fundamental na vida das populações. Para compreender o comportamento das bacias hidrográficas é necessário conhecer as suas características fisiográficas como, por exemplo, a geometria, o sistema de drenagem, o relevo, a geologia, os solos e a vegetação. Neste estudo, focar-se-á a atenção nas características relativas à geometria e ao sistema de drenagem da bacia e também em alguns parâmetros que lhes estão subjacentes.

A representação das bacias hidrográficas no passado era feita recorrendo a cartografia analógica. Atualmente, essas operações são executadas de forma automatizada, recorrendo a software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estes sistemas possuem a capacidade de combinar grande volume de dados com diferentes tipologias, tendo aumentado a sua utilização nas aplicações hidrológicas (e.g., Prodanovic, 2009). Este tipo de sistemas permite gerar a rede de drenagem e a bacia de forma automatizada a partir do MDT da zona de estudo, possibilitando a posterior extração de diversos parâmetros topográficos. Os MDT são vastamente utilizados em áreas como a geomorfologia, a erosão de solos, a hidrologia e

noutros domínios da geo-análise (Moore *et al.*, 1991; Goodchild *et al.*, 1993; Wise, 2000). No contexto nacional, os SIG e os MDT são utilizados em diversos domínios da Engenharia Portuguesa, nomeadamente a Engenharia Civil e do Ambiente, no Ordenamento do Território e na Gestão Agrícola e Florestal (*e.g.*, Valadares Tavares, 2001).

Neste artigo pretende-se listar algumas características fisiográficas relacionadas com o relevo, identificar os parâmetros ou índices topográficos que lhes estão subjacentes e analisar a variabilidade desses parâmetros perante diferentes condições escolhidas para a geração do sistema de drenagem. Far-se-á uma análise sobre a variabilidade dos parâmetros e se essa variabilidade influencia a análise hidrológica da bacia. O estudo de caso foi realizado em duas bacias hidrográficas localizadas no território continental de Portugal, uma localizada numa zona de maior altitude (Beira Alta), outra numa zona mais plana (Alentejo).

## 2. Características fisiográficas

Uma característica importante das bacias hidrográficas é a sua geometria, da qual dependem parâmetros como a área e o perímetro. A área da bacia é um parâmetro que influencia a quantidade de escoamento gerado. O cálculo da área da bacia requer a sua prévia delimitação, para o que é necessário identificar as linhas de fecho ou cumeeiras.

Outra característica relevante no estudo das bacias é o seu sistema de drenagem. O tipo de ramificação da rede de drenagem influencia a quantidade de cursos de água gerados e por isso a resposta hidrológica da bacia, sendo o número de cursos de água um parâmetro que é influenciado diretamente pelo relevo da bacia. O conhecimento do sistema de drenagem permite determinar a maior ou menor constância do escoamento da água ao longo de um determinado período (Lencastre & Franco, 2003). A estrutura do sistema de drenagem é influenciada pelo relevo da superfície, onde regiões bastante acidentadas terão uma maior densidade de cursos de água que regiões mais planas, ou seja, o relevo “modela” a estrutura da rede de drenagem, contribuindo para o tempo de concentração da bacia e também para a erosão hídrica e para o transporte líquido e sólido na bacia.

O relevo topográfico da bacia é normalmente representado por MDT do tipo matricial, sendo constituídos por uma matriz de pixéis com uma determinada dimensão (resolução do MDT), cada um possuindo um valor correspondente à elevação. São vários os parâmetros ou índices topográficos que se podem extrair da rede de drenagem e que irão ser abordados no ponto 3.

## 3. Parâmetros topográficos

Na caracterização de bacias hidrográficas existem parâmetros derivados da geometria e outros derivados do sistema de drenagem. Em relação à geometria, neste artigo iremos apenas considerar a área e o perímetro. A área da bacia é a superfície plana da bacia projetada em plano horizontal. O perímetro é o comprimento total da linha divisória topográfica.

São vários os parâmetros que se podem extrair a partir do sistema de drenagem. Um dos métodos foi desenvolvido por (O’Callaghan & Mark, 1984), onde a cada pixel é atribuído um valor correspondente ao número de pixéis que para ele drenam, construindo-se desta forma a matriz de acumulação de escoamento, que está na base do cálculo de diversos parâmetros topográficos. Neste estudo, iremos estimar os parâmetros: comprimento total da rede de drenagem, ordem de cada curso de água que permite definir a ordem da bacia, relações de bifurcação, sinuosidade do rio principal e densidade de drenagem. O Quadro 3.1 lista alguns dos parâmetros inerentes ao sistema de drenagem.

**Quadro 3.1: Parâmetros do sistema de drenagem.**

<b>Parâmetros do sistema de drenagem</b>	<b>Significado</b>
<b>Comprimento total da rede de drenagem (<math>L</math>).</b>	<b>Soma do comprimento de todos os cursos de água que compõem o sistema de drenagem.</b>
<b>Ordem do curso de água (<math>\mu</math>)</b>	<b>Número inteiro que define a hierarquia do curso de água pertencente ao sistema de drenagem.</b>
<b>Relação de bifurcação (<math>R_b</math>)</b>	<b>Relação entre o n° de cursos de uma dada ordem (<math>\mu</math>) sobre o n° de cursos de ordem a seguinte (<math>\mu+1</math>).</b>
<b>Sinuosidade (<math>S</math>)</b>	<b>Relação entre o comprimento do curso de água e o comprimento do seu talvegue.</b>
<b>Densidade de drenagem (<math>D_d</math>)</b>	<b>Relação entre o comprimento total da rede de drenagem e a área da bacia.</b>

O presente estudo tem por objetivo analisar a variabilidade destes parâmetros fazendo variar determinadas condições no processamento informático do relevo das bacias.

#### **4. Extração automática de parâmetros topográficos**

No processo foi utilizado o MDT global ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer) do JET Propulsion Laboratory, NASA, que apresenta uma resolução espacial de 30 metros, tendo sido convertido para um sistema de referência local (Datum 73) Tendo por base este modelo foram identificadas as bacias hidrográficas indicadas na Fig. 4.1. A primeira (Bacia 1) com uma área de cerca de 167 km<sup>2</sup> localizada na região da Beira Alta, a segunda (Bacia 2) com uma área de cerca de 56 km<sup>2</sup> e localizado no Alentejo. A extração da rede de drenagem foi feita escolhendo o limiar crítico de acumulação, que é o número de pixéis a partir do qual um pixel é considerado como pertencendo a uma linha de água. Fazendo variar este valor obter-se-ão redes de drenagem mais ou menos ramificadas e detalhadas. Os limiares utilizados nas duas bacias foram: 2000, 1000, 500 e 100 pixéis.

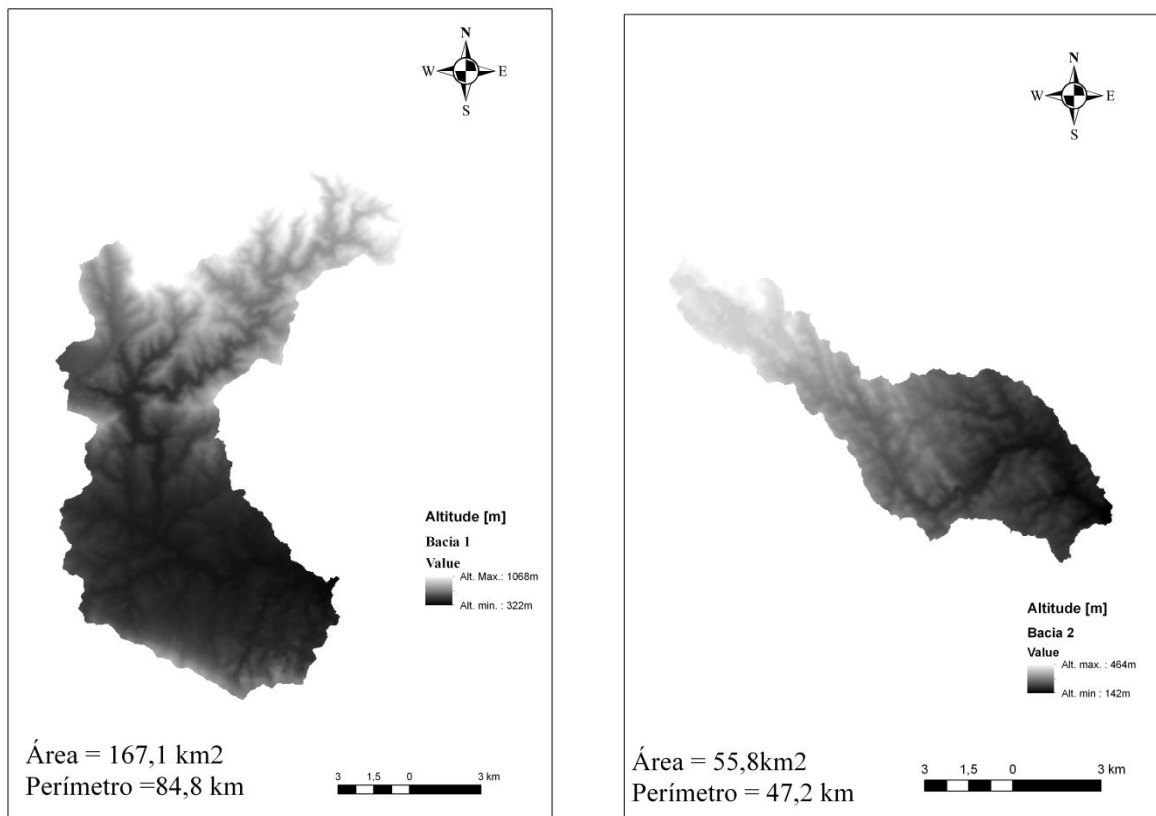
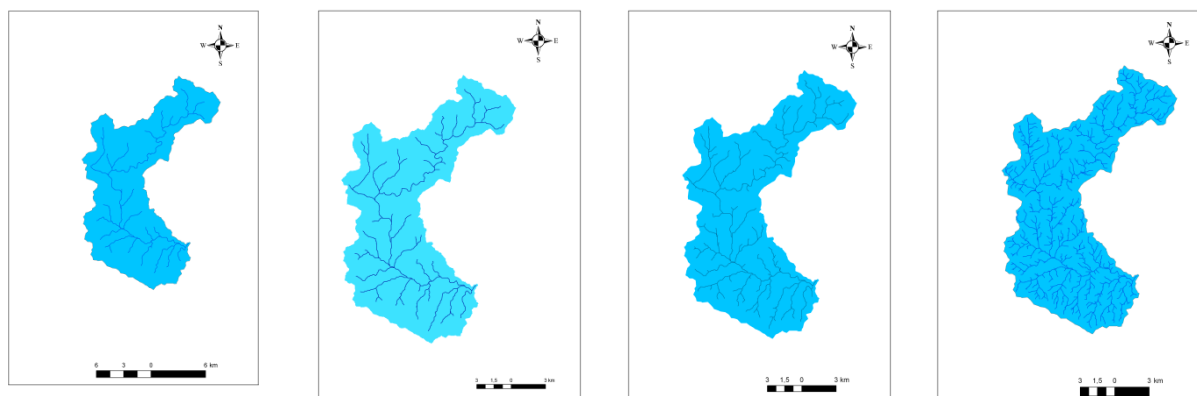
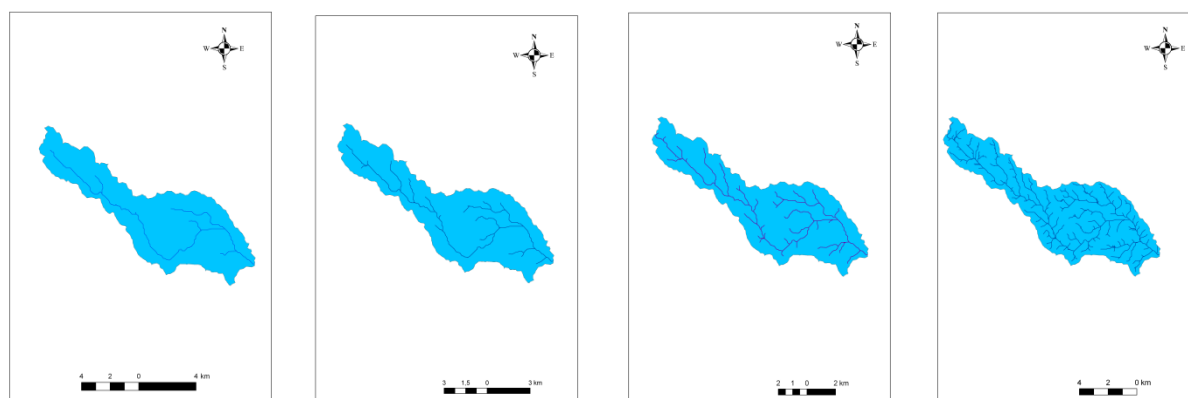


Fig. 4.1: MDT das duas bacias hidrográficas estudadas (Bacia 1 e Bacia 2).

## 5. Resultados e discussão

Após o processamento efetuado, observa-se que a variabilidade do limiar crítico considerado gera redes de drenagem cada vez mais ramificadas com a diminuição desse valor, isto porque irão ser consideradas linhas de água com menor valor de acumulação de escoamento. A Fig. 5.1, apresenta as redes de drenagem geradas para a Bacia 1 e para a Bacia 2 para os 4 limiares considerados.





**Fig. 5.1:** Redes de drenagem geradas com limiares de 2000, 1000, 500 e 100 pixéis para as duas bacias.

Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 5.1, onde se indica o comprimento total da rede, a ordem da bacia e o número total de cursos de água gerados, considerando os limiares críticos respetivos de 2000, 1000, 500 e 100 pixéis. Tal como já foi referido anteriormente, o comprimento total da rede vai aumentando à medida que este limiar diminui, o que é natural pois com a diminuição desse valor produzem-se redes cada vez mais densas. A ordem da bacia foi determinada pelo método de Strahler (1957), que define que os cursos de água sem tributários se consideram de primeira ordem (as nascentes), a junção de dois cursos de igual ordem gera um curso de ordem seguinte e a junção de dois cursos de ordem diferente gera um curso com ordem igual ao do tributário de maior ordem. Verificou-se que a diminuição do limiar aumenta a ordem da bacia.

**Quadro 5.1:** Valores de comprimento da rede, ordem da bacia e número total de cursos de água para as duas bacias.

Bacias	Limiares críticos	Comprimento total da rede	Ordem	Número total cursos de água
Bacia 1	2000 pixéis	98,3km	3	51
	1000 pixéis	128,9km	3	91
	500 pixéis	167,8km	4	185
	100 pixéis	336,3km	5	873
Bacia 2	2000 pixéis	30,4km	2	13
	1000 pixéis	42,9km	3	33
	500 pixéis	59,6km	3	98
	100 pixéis	119,5km	4	293

A partir do comprimento total da rede e da área da bacia determinou-se o parâmetro densidade de drenagem ( $D_d$ ). Posteriormente foram também medidos o comprimento do rio principal e o respetivo talvegue para os limiares críticos considerados. O Quadro 5.2 apresenta, para cada bacia e para cada limiar, os valores obtidos para o comprimento do rio principal e para o comprimento do respetivo talvegue.

**Quadro 5.2:** Valores de comprimento do rio principal e comprimento do talvegue para as duas bacias estudadas.

Bacias	Limiares críticos	Comprimento do rio principal	Comprimento do talvegue
Bacia 1	2000 pixéis	36,3km	16,9km
	1000 pixéis		17,1km

Bacia 2	500 pixéis	36,5km	17,5km
	100 pixéis	37,2km	18,0km
		37,4km	
	2000 pixéis	21,4km	16,3km
	1000 pixéis	21,7km	16,6km
	500 pixéis	22,4Km	16,9km
	100 pixéis	23,2Km	17,1km

O Quadro 5.3 apresenta os valores obtidos para a densidade de drenagem ( $D_d$ ) e para a sinuosidade ( $S$ ) do rio principal da bacia. Verifica-se que, para as duas bacias, a densidade de drenagem aumenta com a diminuição do limiar crítico, o que se deve ao facto de existirem mais cursos de água na bacia. A sinuosidade do rio principal varia pouco com a utilização de diferentes limiares, ou seja, o resultado obtido não é muito sensível à escolha de diferentes valores para esse limiar.

**Quadro 5.3: Valores de densidade de drenagem e sinuosidade do rio principal para as duas bacias estudadas.**

Bacias	Limiares críticos	Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	Sinuosidade do rio principal
Bacia 1	2000 pixéis	0,59	2,15
	1000 pixéis	0,77	2,13
	500 pixéis	1,00	2,13
	100 pixéis	2,01	2,08
Bacia 2	2000 pixéis	0,54	1,31
	1000 pixéis	0,77	1,31
	500 pixéis	1,07	1,33
	100 pixéis	2,14	1,36

Um outro parâmetro determinado para os diferentes limiares críticos foi a relação de bifurcação ( $R_b$ ) entre as várias ordens que compõem a bacia e que se apresentam no Quadro 5.4, onde  $R_{\mu, \mu+1}$  é a relação de bifurcação entre a ordem  $\mu$  e a ordem  $\mu+1$ . Verifica-se que existe uma grande variabilidade na relação de bifurcação em função dos limiares estabelecidos. Nas duas bacias (Bacia 1 e Bacia 2), verifica-se que a relação de bifurcação nas ordens de menor valor ( $R_{12}$  e  $R_{23}$ ), para os diferentes limiares, apresenta variabilidade evidente.

**Quadro 5.4: Valores de relação de bifurcação ( $R_b$ ) para as duas bacias, utilizando os 4 limiares.**

Bacias	Limiares críticos	$R_{12}$	$R_{23}$	$R_{34}$	$R_{45}$
Bacia 1	2000 pixéis	2,36	0,79		
	1000 pixéis	2,19	0,88		
	500 pixéis	1,69	6,88	0,28	
	100 pixéis	2,35	1,42	1,68	2,82
Bacia 2	2000 pixéis	1,17	4,33		
	1000 pixéis	1,31	1,21		
	500 pixéis	2,43	2,10	0,63	
	100 pixéis	2,28			

## 6. Conclusões

Neste estudo abordou-se a variabilidade de alguns parâmetros topográficos extraídos da bacia, em função de um limiar de acumulação escolhido. Esse valor (número de pixéis) permite validar como linhas de água apenas as que são definidas por valores iguais ou superiores a esse valor, sendo as de valor inferior rejeitadas. Este processo vai permitir gerar redes de drenagem mais ou menos detalhadas. O estudo foi realizado sobre duas bacias hidrográficas com áreas consideravelmente distintas, tendo-se verificado que o respetivo limiar de acumulação influencia decisivamente o grau de ramificação das redes geradas, influenciando consequentemente outros parâmetros topográficos derivados, como o comprimento total da rede, a ordem da bacia, a densidade de drenagem e as relações de bifurcação. O comprimento do rio principal e o comprimento do seu talvegue também apresentam variabilidade em função dos limiares considerados, porém não se traduz em variabilidade no parâmetro sinuosidade. Este resultado pode ser explicado pelo facto da medição do talvegue ter sido feita sobre a rede de drenagem, logo, apesar dos sub-parâmetros da sinuosidade (comprimento do rio principal e comprimento do talvegue) variarem, eles variam na mesma proporção. Concluiu-se que a escolha do número de pixéis utilizados na definição da rede de drenagem pode influenciar a modelação do comportamento hidrológico da bacia, influenciando entre outros fatores o transporte líquido e sólido da bacia, ou seja, com repercussões em termos de planeamento e gestão.

## 7. Bibliografia

- Goodchild, M. F., Parks, B. O., Steyaert, L. T. (eds) (1993) *Geographic Information System and Environmental Modeling*, Oxford University Press: Oxford.
- Lencastre, A., Franco, F. M. (2003) *Lições de Hidrologia*, Fundação Armando Lencastre, 31p.
- Moore, I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R. (1991) Digital Terrain Modeling: a review of Hydrological Geomorphological and Biological Applications, *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- O'Callaghan, J., Mark, D. (1984) The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, *Computer Vision Graphics & Image Processing*, 28, 323-344.
- Prodanovic, D., Stanic, M, Milivojevic, V., Simic, Z., Arsic, M. (2009) DEM Based GIS Algorithms for Automatic Creation of Hydrological Models Data, *Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics*, vol. 3, 64-85.
- Strahler, A. N. (1957) *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 38, 913-920.
- Valadares Tavares, L. (2001) *A Engenharia e a Tecnologia ao Serviço do Desenvolvimento de Portugal: Prospectiva e Estratégia 2000-2020*. CESUR, IST-UTL, Lisboa, 105p.
- Wise, S. (2000) Assessing the Quality for Hydrological Applications of Digital Elevation Models Derived from Contours, *Hydrological Processes*, 14, 1909-1929.