

Análise morfométrica do estágio evolutivo de sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Côa

Morphometric analysis of the evolutionary stage of sub-basins of the Côa River Hydrographic Basin (NE Portugal)

M. Jorge¹, C. Ramos¹

¹CEG/ Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Portugal

Abstract

The evolutionary stage of 25 sub-basins of the Hydrographic Basin of the Côa River (left tributary of Douro River, NE Portugal) was analyzed through the computation and spatial analysis of 29 indexes of hypsometry, relief and morphology relating to the basin polygon, main (longest) river and drainage network as a whole. Overall, it is clear that recent tectonics rejuvenated (and may be continuing to) Côa River Basin and that different sectors show different stages of evolution. Together with a Cluster Analysis, the interpretation of the correlation-matrix of those 29 indexes allowed to restrain the information to a few likely causes for the spatial variability of the evolutionary stage of the terrain inside the Côa River Hydrographic Basin, which conforms to “simple” geomorphometry rules, implicit in: the strong dependency of the difference in the basins hypsometric integrals on their main river long profile characteristics, namely its own mathematical integral (area below the curve); and the fact that, hypothesizing a spatially homogeneous tectonic behavior, once isolated all the other factors, the relative adjustment (erosion rates) capacity between the tributary sub-basin/river and the downstream receiving basin/river is the main control on the evolutionary stage (as treated here) of the tributary basin. Non-dimensional basin hypsometry is particularly dependent on river long profile characteristics because of the plateau-dominated topography. We also conclude that, for several reasons, the relative location of the sub-basin inside the main basin may be the major determinant of the evolutionary stage.

Key words

Fluvial Geomorphology, Basin Geomorphometry, Evolutionary Geomorphology, Côa River

Resumo

Estudou-se o estágio evolutivo de 25 sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Côa com recurso ao cálculo e análise espacial de 29 índices relativos à hipsometria, ao relevo e à morfologia de cada um dos polígonos (bacias), do curso de água (c.a.) principal (mais longo) e da rede de drenagem de cada uma das bacias. De um modo geral, a neotectónica levou a um rejuvenescimento recente da rede de drenagem na bacia do Côa mas, é evidente uma elevada variabilidade espacial do estágio evolutivo. A interpretação da matriz de correlação das 29 variáveis, e dos resultados de uma análise de clusters, permitem restringir as hipóteses de causalidade das diferenças no estágio evolutivo a um pequeno conjunto de factores, traduzíveis em relações geomorfométricas simples implícitas: na forte dependência das diferenças na integral hipsométrica entre bacias das características do perfil longitudinal do c.a. principal, nomeadamente a sua própria integral matemática; e no facto de, admitindo a hipótese de uma tectónica similar no domínio espacial, uma vez isolados todos os outros factores, a relação entre a capacidade de ajuste (taxas de erosão /encaixe) da bacia/c.a. afluente e da bacia receptora, ser o controlo principal do estágio evolutivo da bacia tributária. A hipsometria adimensional das bacias é particularmente dependente das características do perfil longitudinal do c.a. principal devido ao carácter planáltico do relevo. Conclui-se também que, por várias razões, a localização relativa de uma sub-bacia no interior da unidade principal pode ser a principal condicionante do estágio evolutivo.

Palavras-Chave

Geomorfologia Fluvial, Geomorfometria Fluvial, Geomorfologia Evolutiva, Rio Côa

Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Côa situa-se quase integralmente na Meseta Norte, no NE da Beira (figura 1). É uma bacia com 2520 km², predominantemente granítica (73%) e metassedimentar (24%), cujas superfícies aplanadas foram rejuvenescidas, em resposta ao levantamento epirogénico dos terrenos, e entalhadas, em vales muitas vezes fortemente encaixados, pela morfogénese fluvial quaternária. A topografia plana herdada da superfície de aplanamento terciária apresenta-se degradada, desnivelada (por ex. graben da Longroiva e níveis no sopé da Serra da estrela) e desligada pela neotectónica, mas existem fortes dissimetrias espaciais.

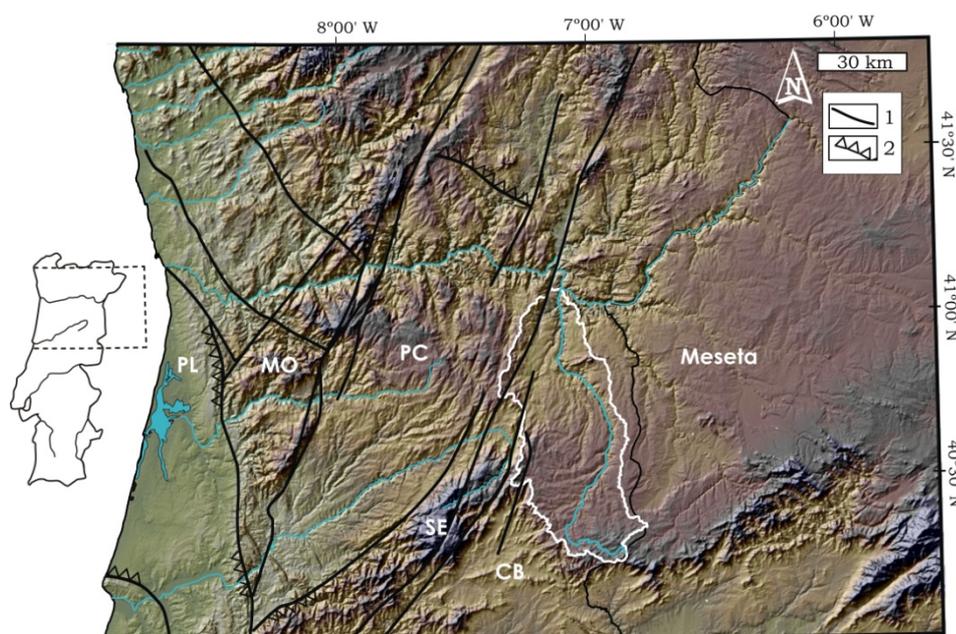


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Côa (delimitada pela linha branca). Legenda: 1) Falha; 2) Cavalgamento. CB – Cova da Beira; MO – Montanhas Ocidentais; PC – Planaltos centrais; PL – Plataforma litoral; SE – Serra da estrela.

A bacia possui uma rede de drenagem “jovem”, sendo muito frequentes perfis longitudinais (PL) com convexidades de magnitude e amplitude controladas pelo potencial morfogenético dos cursos de água e pela idade e magnitude da descida relativa do nível de base local, com sectores intermédios e montante herdados de um contexto paleogeográfico muito diverso do actual, e, imbricadamente, com rupturas de declive de desequilíbrio relativamente a paleo-níveis de base e ao nível de base actual. Também a tectónica passiva condiciona fortemente a hidrografia da bacia, como é denotado pela frequência de vales de fractura e pela orientação de alguns cursos de água principais (Ferreira, 1978)

A bacia do Rio Côa tem uma forma alongada S-N (Factor de Forma = 0,12), é pouco declivosa (Índice de declive de Roche = 6,3 m/km) e tem um relevo reduzido (Coeficiente Orográfico = 126), possui uma amplitude altimétrica de 1122m, uma altitude média de 690m e uma integral hipsométrica de 0,5.

O Rio Côa possui um módulo de 16,06 m³/s em Cidadelhe¹¹ (20 km a montante do foz, com uma área drenada de 1743km²), antes de receber a Ribeira de Massueime, o tributário com maior caudal (módulo de 2,68 m³/s na estação hidrométrica de Vale Trevo). A precipitação tende a diminuir de S para N e, em menor grau, de W para E. Enquanto na estação udométrica de Vale de Espinho, na Serra da Malcata, a precipitação média anual é de 1374mm (1960/61-1997/98), em Marialva, um pouco a sul do Graben da Longroiva, é de 577mm (no mesmo período).

¹¹Todos os valores hidrométricos e udométricos apresentados foram calculados com dados do INAG (Instituto da Água).

Neste trabalho analisa-se o estágio evolutivo do relevo e da rede de drenagem de 25 sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Côa, e a sua relação com a neotectónica. Estudaram-se os factores condicionantes do integral hipsométrico (IH) de 25 sub-bacias de drenagem, uma análise geomorfométrica geral (Evans, 1972, p. 18) a partir da qual se discute a variação espacial dos factores e dos “estímulos” morfogenéticos responsáveis pelos principais contrastes, e onde são perguntas de partida: qual a relação entre o relevo da rede de drenagem e a hipsometria das sub-bacias? Existe uma “estrutura espacial” nos valores da IH.

Métodos

Utilizou-se um MDE derivado da informação altimétrica digital SRTM 3 segundos de arco (*ca.* 90m). Reprojectou-se o mosaico, originalmente com altimetria referenciada ao geóide WGS84 EGM96 e georeferenciado no plano horizontal ao elipsóide WGS84 (Hengl e Evans, 2008), para o sistema de coordenadas Lisboa_Hayford_Gauss_GeoE, definido pela projecção Mercator transversal, tendo resultado uma resolução espacial de 81,8 m.

Efectou-se uma delimitação automática das sub-bacias com recurso a uma rede de drenagem extraída automaticamente com limiar de fluxo acumulado de 10k células, que resultou em 25 unidades (figura 2). A escolha recaiu por estas unidades de análise, pois a iteração com o limiar de fluxo acumulado revelou que o valor de 10k células era o que estabelecia o melhor compromisso entre o número e a dimensão das bacias obtidas. Este método de extracção das bacias tem limitações importantes ligadas essencialmente ao facto de, em algumas bacias, a secção de referência não corresponder à foz do c.a. principal.

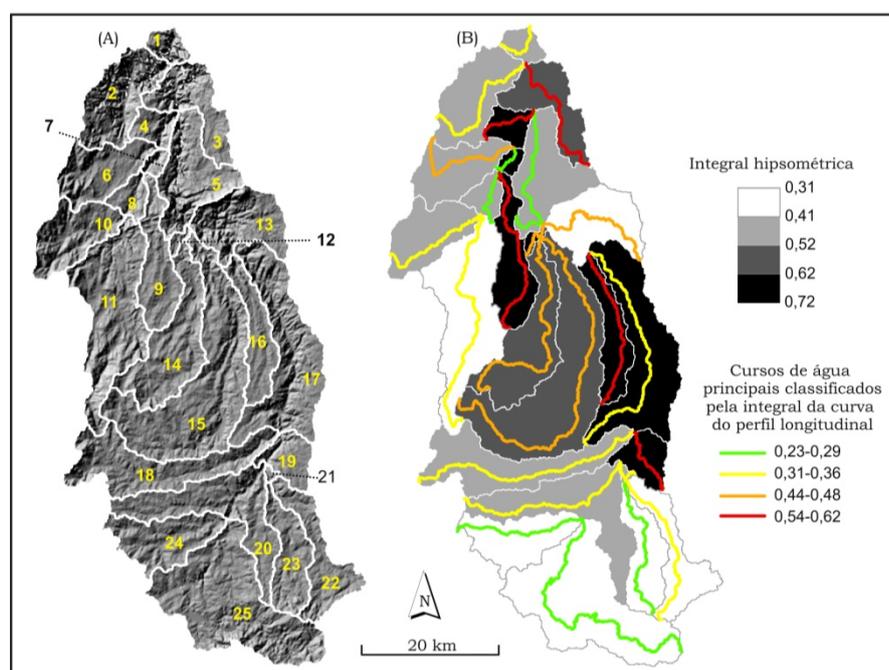


Figura 2. Sub-bacias analisadas. A) Localização das 25 sub-bacias delimitadas automaticamente utilizando rede de drenagem extraída automaticamente com recurso a limiar de acumulação de 10k células. B) Integral hipsométrica das sub-bacias e integral da curva do perfil longitudinal (PL) dos c.a. mais longos das sub-bacias.

Considerou-se o c.a. mais longo de cada bacia como o c.a. principal. Para construção dos PL dos c.a. principais converteram-se as entidades lineares 2D em entidades 3D, extraíndo a altimetria (z) do MDE SRTM. Corrigiram-se os troços dos PL que verificavam um incremento de altitude para jusante, com recurso a uma interpolação linear baseada na distância aos pontos que balizam o segmento artificialo. Visando a comparação da forma dos perfis, construíram-se PL com escalas normalizadas (0-1), em que o

eixo horizontal corresponde a L_i/L (L (de *length*) = comprimento) e o eixo vertical a $\Delta H_i/\Delta H$ (H (de *height*) = amplitude altimétrica do PL). Efectuou-se uma suavização dos PL de todos os c.a., iterando com métodos e parâmetros diferentes, de modo a obter a solução mais adequada para cada um dos casos. A suavização foi efectuada tanto para os perfis com escalas normalizadas como para os perfis com escalas absolutas.

Para cada uma das 25 bacias calcularam-se 29 variáveis, referentes: ao relevo das bacias de drenagem e dos PL dos seus c.a principais; à morfometria da rede de drenagem; à dimensão das bacias e dos PL; e à forma (planimétrica) e à localização absoluta das bacias. Consideraram-se diferentes grupos principais de variáveis, permitindo discutir a relação entre a dinâmica do nível de base e as características dos PL, de diferentes prismas: do ponto de vista do “(des)ajuste geral”, do encaixe fluvial e do declive, e da forma do PL. A relação da IH com aquele grupo de variáveis fornece a base para a análise do papel da morfogénese fluvial no estágio evolutivo das bacias. Sabe-se, *a priori*, a direcção da correlação entre alguns pares de variáveis e a existência de uma elevada multicolinearidade, i.e., do ponto de vista estatístico, estar-se-ia perante um modelo redundante. Porém, em termos geomorfológicos não importa apenas a variação relativa de valores na série de unidades de análise, mas também a posição (na série de valores obtível para determinada variável expressa em escala dimensional) do intervalo de valores em que aquela variação se verifica.

Diferentes escalas espaciais dos indicadores (todo o c.a. vs apenas troço inicial ou terminal) foram pensadas para tentar traduzir a morfogénese a escalas temporais distintas (por exemplo: principais contrastes de dissecção vs dinâmica holocénica do nível de base). A relação do encaixe fluvial médio de todo o c.a. com a IH é especialmente relevante para a interpretação da dinâmica do nível de base pois, uma vez que ele tenderá a ser maior onde a capacidade de ajuste do c.a. principal, a magnitude e a idade da descida relativa do nível de base forem superiores, a relação com a IH tenderá, provavelmente, a ser negativa onde o nível de base esteja estabilizado e positiva onde o nível de base registe ou tenha registado recentemente uma descida relativa de magnitude superior à capacidade de ajuste da rede hidrográfica.

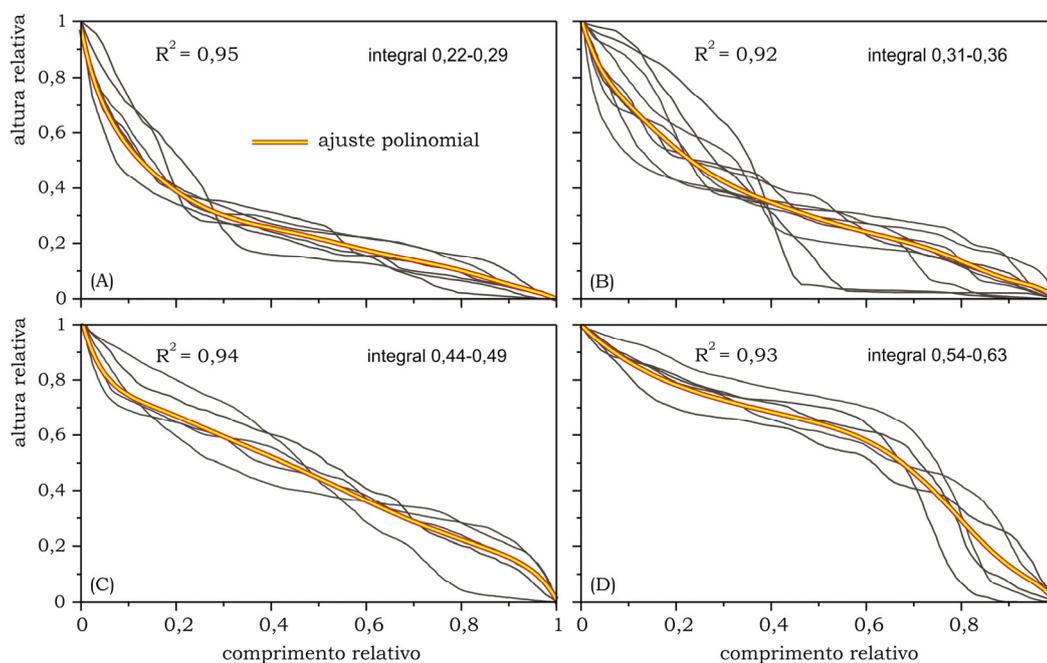


Figura 3. Perfil longitudinal dos c.a. principais das 25 sub-bacias, classificados por quebras naturais na série de valores das integrais das curvas dos perfis.

Resultados e Discussão

Na bacia do Côa, o estágio evolutivo da hipsometria adimensional (IH) das sub-bacias de drenagem é determinado essencialmente pelo estágio evolutivo (integral) do PL dos c.a. principais (mais longos) que as drenam. Quanto maior a integral dos PL, i.e., quanto mais a sua forma se afasta da do perfil de equilíbrio, maior tende a ser o volume de terreno da bacia que se localiza acima do nível de base. Esta relação tem de ser entendida à luz do carácter plano e extenso dos interflúvios e da “juventude” geral da rede hidrográfica. A forte dependência que a hipsometria adimensional das bacias apresenta relativamente às características dos PL dos c.a. está relacionada com a reduzida variabilidade altimétrica do terreno da bacia do Côa e, conseqüentemente, com a dependência que a rugosidade topográfica apresenta relativamente à morfometria dos vales, parâmetro geomorfométrico que influi directamente na integral da curva hipsométrica.

A interacção entre a variação espacial da taxa e/ou duração do levantamento tectónico, da capacidade de ajuste da rede hidrográfica, da influência das rupturas de declive regressivas (desequilíbrio do PL relativamente ao nível de base) na morfologia dos PL, e o condicionamento da litologia em vários aspectos (por ex., na erodibilidade do terreno e na génese de rupturas de declive de equilíbrio), são os factores mais importantes para explicar a variação espacial da morfometria dos PL. Pensa-se que a diversidade espacial da magnitude da descida relativa do nível de base e da erosividade dos c.a. é a causa principal da inexistência de uma relação linear entre o encaixe fluvial e a IH. Dependendo das unidades de análise consideradas, o aumento do encaixe fluvial tanto se associa ao aumento como à diminuição da integral do PL.

Em igualdade dos restantes factores, a relação entre o potencial morfogenético (capacidade de ajuste) de determinada bacia e da bacia para a qual drena o c.a. principal daquela é o factor principal para perceber a variação espacial do estágio evolutivo do PL. Num raciocínio simples, idealizando duas bacias com características biofísicas exactamente iguais, com a mesma incapacidade para contrariar o desajuste promovido pela descida relativa do nível de base, o aumento do desajuste num determinado intervalo de tempo será maior naquela cujo rio principal drena para o c.a. que se encaixa mais rapidamente no terreno. Esta relação pode ser extremamente relevante para explicar as diferenças do estágio evolutivo das bacias em contextos geomorfológicos constituídos por planaltos pouco degradados e com um regime tectónico espacialmente pouco diverso.

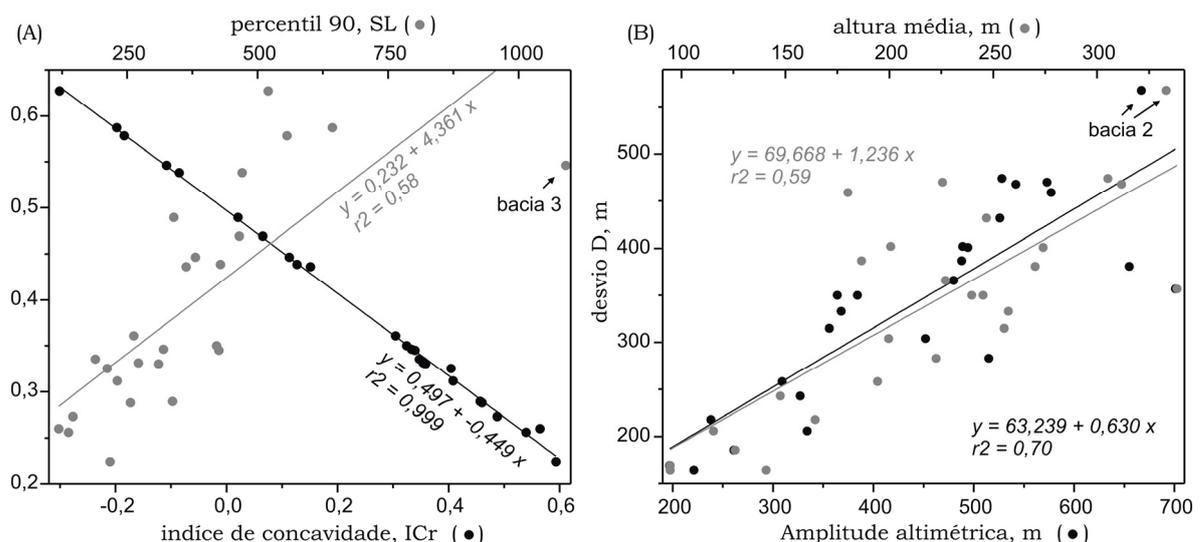


Figura 4. Relação entre algumas variáveis. A) Relação da integral (área matemática debaixo da curva) do perfil longitudinal com o percentil 90 do índice SL (válido para detectar o efeito estrutural de longo comprimento de onda e de escala local dos movimentos tectónicos regionais na topografia de pequenas bacias). B) Relação do desvio D dos perfis longitudinais com a altura média e a amplitude altimétrica das bacias.

A localização relativa das unidades de análise na unidade geomorfológica maior (bacia hidrográfica) pode explicar, mais do que qualquer outra característica, o estágio evolutivo. Mas, a própria influência relativa dos factores que determinam a importância da localização (apresentados em cima) variam com o contexto evolutivo da bacia hidrográfica. Atente-se, por exemplo, às modificações morfométricas que a regressão das rupturas de declive de desequilíbrio despoleta nos PL, ou mesmo à variação longitudinal da capacidade de entalhe dos c.a. para qual drena o c.a. em análise.

O alinhamento de relevos da Marofa é uma peça importante no mosaico geomorfométrico da bacia do Côa. Ele separa, de modo grosseiro, dois domínios geomorfológicos diferenciáveis do ponto de vista da altimetria e da preservação dos aplanamentos. Especificamente, as diferenças altimétricas entre os níveis aplanados a montante (excluindo o sector SW da bacia) e a jusante da Marofa parecem não dever-se somente ao balançamento da Meseta para NW. Existe uma transição demasiado brusca que parece sugerir que a o afloramento ordovícico teve/tem um papel na génese das diferenças.

Um gradiente geomorfométrico sobrepõe-se ao condicionalismo litológico na rugosidade do terreno. Não obstante, conclui-se que os terrenos graníticos são menos rugosos que os terrenos metassedimentares. A maior densidade de vales das áreas metassedimentares é a causa da sua maior rugosidade topográfica. Já a rede de c.a., é, com a rede hidrográfica utilizada, mais densa nos terrenos graníticos, devido essencialmente ao maior número de linhas de água de ordem reduzida, especificamente de 1ª ordem, que se associa ao sistema ortogonal de fracturas.

Referências

- Demoulin A., 1998. Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles: the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology*, 24: 189-208.
- Etzelmüller et al., 2001. Terrain parameters and remote sensing data in the analysis of permafrost distribution and periglacial processes: principles and examples from southern Norway. *Permafrost and Periglacial Processes*, 12: 79-92.
- Evans I., 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In Chorley R (ed.) *Spatial Analysis in Geomorphology*. London, Methuen: 17-90.
- Ferreira AB., 1978. Planaltos e Montanhas do Norte da Beira. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Goldrick G., Bishop P., 1995. Differentiating the roles of lithology and uplift in the steepening of bedrock river long profiles: an example from southeastern Australia. *Journal of Geology* 103: 227-221.
- Goudie et al., 1990. *Geomorphological techniques*. Unwin Hyman, London
- Hengl T., Reuter H., 2008. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier.
- Larue J., 2008. Effects of tectonics and lithology on long profiles of 16 rivers of the southern Central Massif border between the Aude and the Orb (France). *Geomorphology*, 93: 343-367.
- Luoa W., Stepinski T., 2008. Identification of geologic contrasts from landscape dissection pattern: An application to the Cascade Range, Oregon, USA. *Geomorphology*, 99: 90-98.
- Pike R., Evans I., Hengl T., 2008. *Geomorphometry: A Brief Guide*. In Hengl T, Reuter H. (ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, Elsevier: 3-30.
- Segura F et al., 2007. Morphometric indices as indicators of tectonic, fluvial and karst processes in calcareous drainage basins, South Menorca Island, Spain. *Earth Surf. Process. Landforms*, 32: 1928-1946.
- Troiani F., Della Seta M., 2008. The use of the Stream Length-Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy, *Geomorphology*, doi:10.1016/j.geomorph.2007.06.020