

KNICKPOINTS TRANSITÓRIOS E PERFIS RELÍQUIA EM AFLUENTES DOS RIOS TEJO E ZÊZERE (PORTUGAL): ESTIMAÇÃO DA INCISÃO FLUVIAL EM TROÇOS AFECTADOS POR SOERGUIMENTO DIFERENCIAL

TRANSIENT KNICKPOINTS AND RELICT LONGITUDINAL PROFILES IN TRIBUTARIES OF THE TEJO AND ZÊZERE RIVERS (PORTUGAL): ESTIMATION OF FLUVIAL INCISION IN REACHES AFFECTED BY DIFFERENTIAL UPLIFT

Martins, António, *Departamento de Geociências da Univ. de Évora, Centro de Geofísica da Univ. Évora, Évora, Portugal*, aam@uevora.pt

Cunha, Pedro P. *Dep. of Earth Sciences, IMAR-Marine and Environmental Research Centre, University of Coimbra, Portugal*

Bento Caldeira, *Dep. de Física, Centro de Geofísica, Univ. Évora, Portugal*

Borges, José *Dep. de Física, Centro de Geofísica, Univ. Évora, Portugal*

Martins Cardoso, A., *Student of Nova School of Business and Economics, Lisbon, Portugal*

RESUMO

Vários afluentes do Rio Tejo e do Rio Zêzere apresentam um perfil relíquia regularizado no troço mais a montante e um perfil rejuvenescido a jusante. Um importante aumento brusco do gradiente (rotura de declive; *knickpoint*) separa os dois troços. A reconstituição do perfil de equilíbrio do troço relíquia até à confluência permitiu determinar o valor da incisão fluvial desde o início do rejuvenescimento. Esta pode atingir mais de 400 m nos cursos de água que correm em compartimentos soerguidos da Cordilheira Central Portuguesa (CCP). Cursos de água que vêm da CCP para a superfície de aplanção, no sopé da cordilheira, apresentam valores de incisão intermédios (até 295 m), enquanto os cursos de água que correm na superfície de aplanção apresentam, no máximo 190-220 m. Estas diferenças devem-se ao soerguimento (*uplift*) diferencial. Valores normalizados do índice de inclinação sugerem actividade tectónica recente nas falhas de Sobreira Formosa, Sertã e Pracana. A litologia do leito (*bedrock*) é determinante na velocidade de propagação da onda de erosão e na morfologia das roturas de declive e das zonas com rotura de declive (*knickzones*; kzs).

ABSTRACT

Several tributaries of the Tejo and Zêzere rivers show a graded relict profile in the most upstream reach and a rejuvenated profile in the lower reach. A major slope break in the long profile (*knickpoint*) separates both reaches. Extrapolation of the oldest graded relict profile downstream to the confluence allowed the incision amount to be quantified. Results reveal that the downcutting is higher in streams flowing in uplifted sectors of the Portuguese Central Range (PCR), reaching more than 400 m of fluvial incision. Streams that flow from the PCR to the adjacent Planation surface have intermediate incision values (up to 295 m), and the streams that flow on the Planation surface have lower values (reaching 190 to 220 m). Differences in the incision values result from differential uplift. The normalized steepness index suggests modern tectonic activity in the Sobreira Formosa fault, Sertã fault and Pracana fault. The bedrock lithology influences the erosion wave propagation (non linear nature) and that results in different knickzone morphologies.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de perfil de equilíbrio do rio (*graded river*) tem associado o desenvolvimento de uma linha côncava (“concave up”) onde o gradiente diminui gradualmente para jusante. Aumentos abruptos no gradiente dos rios, expressos através de rápidos e quedas de água, indicam que o perfil longitudinal do rio não se encontra regularizado. Um aumento brusco do gradiente do rio constitui um “knickpoint” (kp).

O perfil de equilíbrio pode ser definido através de equações matemáticas que relacionam a variação do gradiente do rio com a área da bacia, ou com distância, medida a partir da divisória de água. Na situação de equilíbrio, o gradiente do rio diminui segundo uma função potencial da área de drenagem (Flint, 1974; Sklar e Dietrich, 1998; Snyder et al., 2000; Duvall et al., 2004).

Noutra formulação do perfil de equilíbrio, definida por Bishop e Goldrick (2000) e Goldrick e Bishop (2007), constata-se que é condição do perfil de equilíbrio, ajustar a uma relação bi-logarítmica linear entre o gradiente do rio e a distância (equação 1). A equação matemática do perfil de equilíbrio, (equação 2) permite identificar troços próximos da situação de equilíbrio dinâmico e reconstituí-los a partir de um “kp” até desembocadura. Desta forma é possível calcular o valor da incisão, correspondente a vagas de erosão, separadas no perfil longitudinal por “kps” transitórios (*transient knickpoints*).

Neste trabalho utiliza-se a equação (2) para estimar o valor incisão fluvial na desembocadura dos tributários do Rio Zêzere e do Rio Tejo, medida pela diferença da cota entre o perfil de equilíbrio (idealizado) e o leito actual. Aqueles tributários apresentam, no troço mais a montante, um perfil regularizado, contrastando com o troço rejuvenescido, a jusante, onde se reconhecem vários “kps” transitórios. Os dois troços estão separados por um “kp” transitório, o mais avançado e supostamente o mais antigo dos “kps” transitórios do perfil rejuvenescido. No longo prazo, a incisão fluvial constitui uma aproximação do *uplift* (Bridgland e Westaway, 2008, Bridgland et al., 2012), por isso, os diferentes valores de incisão reflectem também levantamentos e abatimentos relativos entre compartimentos tectónicos.

Dado que a litologia é determinante na velocidade de propagação dos “kps” e na sua morfologia (Rosenbloom e Anderson, 1994; Whipple e Turker, 1999; Whipple, 2001), procura-se distinguir neste trabalho os “kps” transitórios dos que se relacionam directamente com a resistência do *bedrock* (*permanent knickpoints*).

2. METODOLOGIA

Os perfis longitudinais foram extraídos de modelos digitais de terreno gerados a partir de mapas topográficos digitais (1/25000). Para cada curso de água, mediou-se a elevação (cota do leito) e distância entre duas intersecções das curvas de nível, utilizando um grupo de funções integradas do ArcGIS. Com estes dados calculou-se o gradiente de cada troço. Usando a equação [1], derivada da diminuição potencial do gradiente do rio com a distância para jusante (Goldrick e Bishop, 2007), distinguiram-se os troços próximos da situação de equilíbrio dos que não estão regularizados.

$$S = kL^{-\lambda} \text{ ou } \ln S = \gamma - \lambda \ln L \quad [1]$$

Onde S= gradiente, L = à distância, k e λ são constantes que reflectem a influência da litologia e a concavidade do perfil. De acordo com a equação [1], é condição do perfil de equilíbrio que o gráfico do logaritmo da distância versus logaritmo do gradiente ajuste a uma linha recta, ou próximo desta.

A equação [2] (Goldrick e Bishop, 2007) foi utilizada para reconstruir o perfil de equilíbrio até à desembocadura.

$$H = H_0 - k \frac{L^{1-\lambda}}{1-\lambda} \quad [2]$$

Onde a H_0 é atribuído o significado da elevação teórica da divisória de água se os processos hidráulicos fossem activos até às cabeceiras da drenagem, H corresponde à elevação do perfil de equilíbrio.

3. RESULTADOS

No quadro 1 apresentam, como exemplo, os valores da incisão fluvial de tributários do Rio Zêzere que correm em compartimentos tectónicos da Cordilheira Central Portuguesa (CCP) sujeitos a diferente *uplift*. Destacam-se os baixos valores de incisão da ribeira da Sertã por comparação com os valores das ribeiras da Isna e da Tamolha. Estas duas ribeiras drenam o compartimento levantado (*pop up*) de Cabeço da Rainha (1100 m), enquanto a ribeira da Sertã corre num compartimento abatido (450 – 500 m), situado entre a serra de Cabeço da Rainha e a serra de Alvéolos (904 m).

Quadro 1. Valores da incisão e dos parâmetros k , λ e H_0 referentes a três cursos de água da Cordilheira Central Portuguesa.

Curso de água	H_0	k	λ	Incisão
Sertã	818	2,99	0,621	132 ± 6
Isna	566	12100	1,65	480 ± 18
Tamolha	460	41100	1,68	400 ± 9

Cursos de água que vêm da CCP para a superfície de aplanção no seu sopé, como o rio Ocreza e a ribeira do Alvito, apresentam valores de incisão intermédios (até 295 m), enquanto os cursos de água que correm na superfície de aplanção na área de Ródão, como a ribeira de Nisa e o rio Sever apresentam, no máximo 190-220 m. Os últimos valores estão de acordo com a incisão do Rio Tejo na área de Ródão, contada a partir do primeiro embutimento na superfície culminante da Bacia Sedimentar do Baixo Tejo.

A influência da litologia manifesta-se na formação de “kps” permanentes, nomeadamente nos sítios de atravessamento de *bedrock* de quartzito, como acontece com o rio Ocreza, nas Portas de Almourão. Verificou-se que a litologia influencia a velocidade de propagação da vaga de erosão e a morfologia dos “kps” e das “kzs”. Estes parecem evoluir segundo o modelo de *knickpoint replacement* (Gardner, 1983) em substratos uniformes e moderadamente resistentes, como sejam xistos e filitos, e segundo o modelo de *knickpoint rotation* (Gardner, 1983) em litologias mais resistentes, como os granitos. Os “kps” e as “kzs” dos cursos de água que cruzam a falha de Sobreira Formosa, parecem seguir o primeiro modelo, a montante do acidente, enquanto os “kps” e “kzs” no contacto de rochas metassedimentares com os granitos adquirem uma morfologia que se coaduna com uma evolução do segundo tipo.

4. CONCLUSÕES

Alguns tributários do Rio Tejo e do Rio Zêzere, possuem um troço regularizado na parte mais a montante, separado do troço rejuvenescido, a jusante, por um “kp” transitório. O troço a montante foi regularizado em função de um nível de base diferente do actual, constituindo um perfil relíquia, provavelmente coevo do terraço mais antigo do Tejo e da superfície de erosão correlativa daquele terraço. A projecção para jusante do perfil de equilíbrio do troço relíquia permitiu calcular os valores da incisão fluvial, iniciada com o rejuvenescimento geral da drenagem. As diferenças nos valores da incisão reflectem o *uplift* diferencial dos compartimentos tectónicos onde correm os vários cursos de água. Os “kps” permanentes estão relacionadas com o atravessamento dos quartzitos Ordovícicos, que

se comportam como substrato mais resistente do que outras litologias da região (principalmente metassedimentos e granitos). A influência da litologia aparece determinante na velocidade de propagação das vagas de erosão e na morfologia dos “kps” e das “kzs”.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se nas actividades do projecto PTDC/CTE-GIN/66283/2006: *Paleoseismological Study of Active Faults in Mainland Portugal*, aprovado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia e co-financiado pelo FEDER. A investigação foi também apoiada pelo Centro de Geofísica – Univ. Évora (Portugal), e IMAR-CMA Univ. Coimbra.

REFERÊNCIAS

- Bishop, P. e Goldrick, G. (2000) - Geomorphological evolution of East Australian continental margin. In: Summerfield Michael (Ed.) - *Geomorphology and Global Tectonics*, Willey, Chichester, 225-254.
- Bridgland, D. e Westaway, R. (2008) - Climatically controlled river terrace staircases: a worldwide Quaternary phenomenon. *Geomorphology*, 98, 285–315.
- Bridgland, D., Westaway, R., Romieh, M., Candy, I., Daoud, M., Demir, T., Galiatsatos, N., Schreve, D., Seyrek, A., Shaw, A., White, T., Whittaker J., (2012) - The River Orontes in Syria and Turkey: Downstream variation of fluvial archives in different crustal blocks. *Geomorphology* 165–166, 25-49.
- Duvall, A., Kirby, E., Burbank, D., (2004) - Tectonic and lithologic controls on bedrock channel profiles and processes in coastal California. *Journal of Geophysical Research*, 109, F03002, 1-18.
- Flint, J. J., (1974) - Stream gradient as a function of order, magnitude and discharge. *Water Resources Research* 10, 969–973.
- Gardner, T., (1983) - Experimental study of knickpoint and longitudinal profile evolution in cohesive, homogeneous material. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 664-672.
- Goldrick, G. e Bishop, P. (2007) - Regional analysis of bedrock stream long profiles: Evaluation of Hack’s SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 649-671.
- Rosenbloom, N., e Anderson, R. (1994) - Hillslope and channel evolution in a marine terraced landscape, Santa Cruz, California, *Journal of Geophysical Research*, 99, 14013–14030.
- Sklar, L., Dietrich, W., (1998) - River longitudinal profiles and bedrock incision models: stream power and the influence of sediment supply. In: Tinkler, K. J., Wohl, E. E. (Ed.) - *Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels*. American Geophysical Union, Washington, D.C., 237–260.
- Snyder, N., Whipple, K., Tucker, G., Merritts, D., (2000) - Landscape response to tectonic forcing: DEM analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 112, 1250–1263.
- Whipple, K., (2001) - Fluvial landscape response time: How plausible is steady state denudation?. *American Journal of Science*, 301, 313– 325.
- Whipple, K., Tucker, G., (1999) - Dynamics of the stream-power river incision model; implications for height limits of mountain ranges, landscape response timescales, and research needs. *Journal of Geophysical Research*, Solid Earth 104 (B8), 17661–17674.