

## **TOPOGRAFIA PRÉ-EROSÃO E MUDANÇA NO NÍVEL DE BASE COMO FACTORES DE CONTROLO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE COMPLEXOS DE RAVINAS: AS BACIAS DAS RIBEIRAS DE ULME E DO VALE DO CASAL VELHO**

### **PRE-EROSION TOPOGRAPHY AND BASE LEVEL CHANGE AS CONTROLS ON GULLY COMPLEX CHARACTERISTICS: THE RIBEIRA DE ULME AND VALE DO CASAL VELHO CATCHMENTS**

Bergonse, Raffaello, *Centro de Estudos Geográficos-IGOT, Universidade de Lisboa, Portugal,*  
*rafaellobergonse@gmail.com*

Reis, Eusébio, *Centro de Estudos Geográficos-IGOT, Universidade de Lisboa,*  
*eusebioreis@campus.ul.pt*

#### **RESUMO**

A fim de investigar os controlos gerais sobre a sua evolução morfológica passada, um conjunto de 90 complexos de ravinas em duas pequenas bacias hidrográficas do baixo Tejo foi caracterizado quanto à dimensão, irregularidade morfológica e hipotético grau de evolução. A reconstrução da topografia pré-erosão através de interpolação espacial e respectiva validação permitiu usar a regressão linear simples e múltipla para comparar estas características com 13 variáveis descritivas da forma topográfica antecedente e a sua influência sobre o escoamento, a orientação das vertentes, e a distância ao nível de base. Para além de um controlo absoluto por parte da área de drenagem sobre o desenvolvimento das formas a longo prazo, os resultados evidenciam uma relação importante entre dimensão, acumulação de água subsuperficial e irregularidade morfológica, sugerindo um papel dominante por parte dos movimentos de massa desde o surgimento das formas, em detrimento do escoamento superficial.

#### **ABSTRACT**

A set of 90 gully complexes occurring in two small catchments draining to the lower Tagus river was characterized as to size, irregularity of shape and hypothetical degree of development with the purpose of investigating the factors controlling past evolution. Using a digital elevation model of reconstructed pre-erosion topography, simple and multiple linear regression were adopted in order to compare these properties to a dataset of 13 variables describing antecedent topographic form and its influence over runoff, hillslope orientation, and distance to base level. Besides an absolute control by drainage area over long term feature development, results show an important relation between size, accumulation of subsurface flow and irregularity, suggesting that a major role was played by mass movements, instead of concentrated surface flow, since the initiation of features.

#### **1. INTRODUÇÃO**

As abordagens ao estudo de complexos de ravinas (sistemas de canais separados por interflúvios degradados face à superfície topográfica envolvente, cf. Bergonse e Reis, 2011) têm geralmente consistido em quantificações da sua evolução ao longo de períodos multi-decadais utilizando fotogrametria (De Rose et al, 1998; Betts et al., 2003), procurando explicar, por vezes, as mudanças registadas com recurso a diferentes factores (e.g. Martínez-Casasnovas et al., 2009). Ao contrário do que acontece com ravinas menores, em que os controlos topográficos têm sido amplamente explorados, a procura de relações entre a presença e as características destes sistemas e a superfície que os antecedeu é dificultada pela sua dimensão, com expressão na informação topográfica de base. Nestes casos, as abordagens publicadas têm incluído o estabelecimento de relações generalizadas face à topografia, i.e. classificação das áreas de estudo em unidades geomorfológicas (Bacellar et al., 2005)

ou, em análises ao nível da forma individual, a interpolação de superfícies lineares nas áreas erodidas, sem recurso a qualquer forma de validação (Buccolini et al., 2012).

No presente trabalho, procurou-se compreender as relações entre as características gerais de um conjunto de 90 complexos de ravinas (área; perímetro e respectiva irregularidade, entendida como indicador do número de cabeceiras; grau de evolução hipotético) presentes em duas pequenas bacias hidrográficas da margem esquerda do baixo Tejo, e um conjunto de 13 variáveis que descrevem seus possíveis factores de controlo. Estes incluíram não só a forma topográfica das vertentes antecedentes e a sua influência sobre o escoamento, mas também a distância das formas às desembocaduras das respectivas bacias, a fim de aferir um possível controlo por parte do nível de base. As análises tiveram por base um Modelo Numérico de Elevação (MNE) da topografia reconstruída nas áreas erodidas (resolução 2 m), interpolado com recurso ao algoritmo *Topo to Raster* do ArcGIS 9.1. Ao contrário das abordagens publicadas, a construção desta superfície baseou-se na comparação de 24 métodos de interpolação e respetivas parametrizações quanto à capacidade para reproduzir porções da topografia conhecida, não erodida (com base na escala 1:10000). O método escolhido reproduziu a altimetria da área de estudo com o menor erro médio observado: 0,752 m. Os pressupostos e metodologias associados a esta reconstrução topográfica serão alvo de um trabalho à parte (Bergonse e Reis, em elaboração).

## 2. ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas das ribeiras de Ulme e do Vale do Casal Velho (138,4 e 12,9 km<sup>2</sup>, respectivamente) drenam a margem esquerda do baixo Tejo, tendo as desembocaduras poucos quilómetros a sul e a norte da Chamusca. Do ponto de vista litológico, são compostas por formações clásticas terciárias (areias e argilas com frequentes intercalações cascalhentas) a que se sobrepõem mantos de conglomerados (Gonçalves et al., 1979; Zbyszewski e Ferreira, 1979). Em contraste com os fundos de vale aplanados, as vertentes são relativamente declivosas (11° em média na Rib<sup>a</sup> de Ulme), sendo afectadas por numerosas ravinas e complexos de ravinas, estes últimos possuindo por vezes mais de 20 m de profundidade e estendendo-se por vários hectares. Apesar dos fundos estabilizados, as paredes e cabeceiras são extremamente declivosas e desprovidas de vegetação, com sinais abundantes de actividade recente (árvores desenraizadas, depósitos basais).

## 3. METODOLOGIA E RESULTADOS

A análise de ortofotos da área de estudo (IGP/DGRF, 2004, resolução 0,5 m) permitiu delimitar 90 complexos de ravinas, dos quais 75,6% foram validados no campo por observação directa. Os polígonos resultantes foram utilizados para calcular a área ( $Ar$ , m<sup>2</sup>) e o perímetro ( $Pr$ , m) das formas. Ao contrário do que normalmente ocorre na literatura, foram implementados métodos para levar em conta as variações na altimetria (extraída da cartografia topográfica 1:10000), definindo-se assim as dimensões de forma mais exacta do que ocorreria usando apenas a planimetria. De forma a complementar estas variáveis, foram calculadas para cada forma a diferença entre o perímetro e o perímetro de um círculo de igual área ( $Pr-P_{circ}$ , m), utilizada como indicador de irregularidade na configuração e assumida como representando a intensidade da bifurcação de cabeceiras; e a razão entre a área e a área de drenagem medida na desembocadura ( $Ar/Ad_{des}$ , m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), adotada como indicador de desenvolvimento (cf. Vandekerckhove et al., 2000).

Como possíveis factores de controlo, e tendo como base a topografia reconstruída, foram calculadas 13 variáveis. A distância à desembocadura da respectiva bacia ( $D_{des}$ , em m) foi adoptada a fim de aferir a existência de um possível controlo por parte do nível de base. A área de drenagem na desembocadura ( $Ad_{des}$ , m<sup>2</sup>) foi utilizada como indicador da quantidade de escoamento disponível ao longo de todo o desenvolvimento da forma. Em ordem a investigar a influência da forma topográfica, foram calculados o declive médio e máximo ( $Dec_{med}$  e  $Dec_{max}$ , °), e as curvaturas planar e de perfil médias e máximas ( $Cpl_{med}$ ,  $Cpl_{max}$ ,  $Cper_{med}$ ,  $Cper_{max}$ , adimensionais). Foram também

testados dois índices topográficos. O Índice de Potência do Escoamento (IPE) descreve a tendência da topografia para concentrar grandes quantidades de água superficial, promovendo o entalhe. É formulado como  $A \cdot \tan(\beta)$ , sendo  $A$  a área de drenagem específica ( $m^2/m$ ) e  $\beta$  o declive em graus. O Índice Topográfico de Encharcamento (ITE) exprime a tendência da topografia para concentrar o escoamento sem o evacuar, promovendo elevados teores de água no solo. É formulado como  $\ln(A/\tan(\beta))$ . Ambos os índices foram considerados em termos dos seus valores médios e máximos ( $IPE_{med}$ ,  $IPE_{max}$ ,  $ITE_{med}$ ,  $ITE_{max}$ ). Finalmente, foi obtida a orientação dominante associada à superfície antecedente de cada forma. A litologia não foi considerada em função da sua distribuição homogênea na área de estudo.

A construção de uma tabela de correlação linear simples (SPSS 15.0) permitiu detectar as relações mais significativas entre variáveis. Estas relações foram depois sujeitas ao ajustamento de funções potenciais, logarítmicas e exponenciais (MS Excel 2003), a fim de verificar em que casos, estas reflectem a variância observada melhor do que as funções lineares. Das 24 relações significativas analisadas, apenas seis se ajustam optimamente a funções lineares, sendo a maioria das restantes melhor explicada por funções potenciais (Quadro 1). Ainda nesta etapa, foram construídos gráficos relacionando  $Ar$ ,  $Pr$  e  $Pr-Pcirc$  e representando de forma distinta os valores associados a cada classe de orientação das vertentes. A sua análise mostrou que não é possível assumir qualquer influência da orientação sobre as dimensões das formas.

Quadro 1 - Coeficientes de Determinação ( $r^2$ ) Obtidos Após o Ajustamento de Diferentes Funções às Relações entre Pares de Variáveis Consideradas Relevantes (a Negrito). As Letras Entre Parêntesis Descrevem o Tipo de Relação Mais Ajustada a Cada Par: (L) Linear; (Lo) Logarítmica; (P) Potencial e (E) Exponencial. Os Coeficientes de Regressão Lineares ( $r$ ) Originais Estão em Itálico. \*Significativo para  $\alpha=0,05$ ; \*\*Significativo para  $\alpha=0,01$ .

	<b>Pr</b>	<b>D_des</b>	<b>Ad_des</b>	<b>Pr-Pcirc</b>	<b>Dec_med</b>	<b>ITE_max</b>	<b>ITE_med</b>	<b>IPE_Max</b>	<b>IPE_med</b>	<b>Cpl_min</b>	<b>Cpl_med</b>
<b>Ar</b>	<b>0,964(P)</b> <i>0,930**</i>	<b>0,061(L)</b> <i>0,246*</i>	<b>0,838(L)</b> <i>0,916**</i>	<b>0,669(P)</b> <i>0,785**</i>	<b>0,340(P)</b> <i>-0,417**</i>	<b>0,409(P)</b> <i>0,423**</i>	<b>0,208(E)</b> <i>0,447**</i>	<b>0,268(P)</b> <i>0,251*</i>			
<b>Pr</b>			<b>0,849(L)</b> <i>0,922**</i>	<b>0,845(L)</b> <i>0,919**</i>	<b>0,346(P)</b> <i>-0,507**</i>	<b>0,437(P)</b> <i>0,577**</i>	<b>0,225(L)</b> <i>0,474**</i>	<b>0,278(P)</b> <i>0,360**</i>			<b>0,108(E)</b> <i>0,254*</i>
<b>Ar/Ad_des</b>						<b>0,115(Lo)</b> <i>-0,268*</i>	<b>0,075(Lo)</b> <i>-0,247*</i>		<b>0,168(P)</b> <i>-0,296**</i>	<b>0,057(L)</b> <i>0,238*</i>	<b>0,246(E)</b> <i>0,420**</i>
<b>Pr-Pcirc</b>					<b>0,294(P)</b> <i>-0,428**</i>	<b>0,401(E)</b> <i>0,537**</i>	<b>0,167(E)</b> <i>0,394**</i>	<b>0,235(P)</b> <i>0,339**</i>			

Com base nas relações apresentadas no Quadro 1, foram seleccionadas as variáveis com maior poder explicativo face a  $Ar$ ,  $Pr$  e  $Pr-Pcirc$  (as variáveis dependentes no contexto do presente trabalho;  $Ar/Ad_Des$  não apresentou correlações consideradas relevantes). Estas foram utilizadas como *input* para regressão linear múltipla usando o SPSS 15.0. A regressão foi realizada sobre um conjunto de 60 formas (dois terços do total) escolhidas aleatoriamente, sendo as restantes 30 usadas para validação independente dos modelos.

Dada a existência de relações não-lineares, foram realizadas experiências de forma a definir até que ponto a conversão de diferentes variáveis para logaritmos (linearizando as relações) aumentou a capacidade explicativa dos modelos, optando-se pelas soluções óptimas. Ao mesmo tempo, foram validados os pressupostos do modelo de regressão linear: normalidade dos resíduos (testes de Kolmogorov-Smirnov) e ortogonalidade das variáveis independentes (*Variance Inflating Factor*, cf. Maroco, 2007).

#### 4. DISCUSSÃO

$Ar$  e  $Pr$  mostram uma forte associação de natureza potencial, sugerindo uma morfologia típica para os complexos de ravinas em estudo ao longo do seu desenvolvimento. Ambas estão relacionadas com  $Pr-Pcirc$ , mostrando que a irregularidade aumenta com o crescimento.  $Ad_des$  mostrou ser de longe a variável mais importante para explicar a variância nas dimensões das formas, em concordância com

resultados já publicados (Vandekerckhove *et al.*, 2000), e mostrando que o escoamento (superficial ou não) foi o factor fundamental de controlo sobre a evolução a longo prazo, e que as formas terão evoluído regressivamente a partir dos sectores de desembocadura. Não foi possível definir qualquer papel por parte do nível de base (através de *Dist\_des*) ou associação entre grau de evolução (*Ar/ad\_des*) e as dimensões ou a irregularidade.

Em termos bivariados, *Ar*, *Pr* e *Pr-Pcirc* correlacionaram-se negativamente com *Dec\_med* e positivamente com *ITE\_max*, *ITE\_med* e *IPE\_max*, o que sugere que, independentemente dos controlos sobre o seu surgimento, as formas dependem sobretudo do escoamento subsuperficial para atingirem grandes dimensões. Esta noção está em concordância com a maior irregularidade (sugerindo bifurcação de cabeceiras em associação a movimentos de massa), e com a ausência de relações verificada face a *IPE\_med* (sugerindo que o escoamento superficial não é de forma geral relevante). A importância de *IPE\_max*, porém, em associação à noção de que os seus valores tendem a ocorrer nas desembocaduras das formas, sugere que o papel exercido pelo escoamento superficial teve lugar sobretudo numa fase inicial, estando provavelmente associado à remoção do material depositado por movimentos de massa numa fase posterior, tal como já proposto para complexos de ravinas na Nova Zelândia por Betts *et al.* (2003).

Em consonância com estas considerações, os resultados da regressão múltipla mostraram que é possível explicar a quase totalidade das variâncias quanto à área, o perímetro e a irregularidade ( $r^2=0,93$ ; 0,88 e 0,81), com recurso apenas a *Ad\_des*. *Dec\_med*, *ITE\_med* e *ITE\_max* têm apenas uma importância residual.

## 5. CONCLUSÕES

As fortes correlações entre área, perímetro e irregularidade sugerem a manutenção de configurações características durante o desenvolvimento dos complexos de ravinas nas bacias em estudo, marcadas por uma irregularidade progressivamente maior. O desenvolvimento a longo prazo é controlado fundamentalmente pelo escoamento. Porém, as regressões realizadas sugerem que é o escoamento subsuperficial, ao promover a perda de resistência tangencial do rególito e movimentos de massa, a ter o papel predominante na evolução das formas, com o fluxo à superfície a exercer a sua maior influência numa fase inicial.

Futuras investigações deverão incidir sobre os factores de controlo da própria presença das formas, em ordem a compreender o seu surgimento e assim complementar os resultados obtidos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi tornado possível por uma bolsa de doutoramento atribuída ao primeiro autor pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, ref. SFRH/BD/46949/2008.

## REFERÊNCIAS

- Bacellar, L. de A.P.; Coelho Netto, A.L.; Lacerda, W.A. (2005) – "Controlling factors of gullying in the Maracujá catchment, Southeastern Brazil". *Earth Surface Processes and Landforms* 30, pp. 1369-1385.
- Bergonse, R.; Reis, E. (2011) – "Theoretical constraints to gully erosion research: time for a re-evaluation of concepts and assumptions?" *Earth Surface Processes and Landforms* 36, pp.1554-1557

- Betts, H.D.; Trustrum, N.A.; De Rose, R.C. (2003) – "Geomorphic changes in a complex gully system measured from sequential digital elevation models, and implications for management". *Earth Surface Processes and Landforms* 28, pp. 1043-1058
- Buccolini, M.; Coco, L.; Cappadonia, C.; Rotigliano, E. (2012) - "Relationships between a new slope morphometric index and calanchi erosion in northern Sicily, Italy". *Geomorphology* 149-150, pp. 41-48
- De Rose, R.C.; Gomez, B.; Marden, M.; Trustrum, N.A. (1998) - "Gully erosion in Mangatu Forest, New Zealand, estimated from digital elevation models". *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, pp. 1045-1053.
- Gonçalves, F.; Zbyszewski, G.; Carvalhosa, A.; Coelho, A.P. (1979) - *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal* na escala de 1/50000. Folha 27-D (Abrantes). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa
- Maroco, J. (2007) - *Análise Estatística com Utilização do SPSS*. Edições Sílabo, Lisboa.
- Martínez-Casasnovas, J.A.; Ramos, M.C.; Garcia-Hernández, D. (2009) – "Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain)". *Earth Surface Processes and Landforms* 34, pp.1927-1937
- Vandekerkhove, L.; Poesen, J.; Oostwoud Wijdenes, D.; Gyssels, G.; Beuselinck, L.; de Luna, E. (2000) – "Characteristics and controlling factors of bank gullies in two semi-arid Mediterranean environments". *Geomorphology* 33, pp. 37-58
- Zbyszewski, G.; da Veiga Ferreira, O. (1979) - *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal* na escala de 1/50000. Folha 31-B (Chouto). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa