

## **CONTRIBUTO DOS ÍNDICES GEOMÓRFICOS PARA O CONHECIMENTO DA GEOMORFOLOGIA DO LITORAL DO NOROESTE DE PORTUGAL**

### **CONTRIBUTIONS FROM GEOMORPHIC INDICES TO THE GEOMORPHOLOGICAL UNDERSTANDING OF THE NORTHWESTERN LITORAL OF PORTUGAL**

Carvalhido, Ricardo P., *Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Braga, Portugal, carvalhido@dct.uminho.pt*

Pereira, Diamantino I., *Instituto de Ciências da Terra, Pólo da Universidade do Minho, Braga, Portugal, insuad@dct.uminho.pt*

#### **RESUMO**

A integração dos índices geomórficos (IG) com os dados provenientes de cartografia temática elaborada através de bibliografia e de ortofotomapas, bem como de estudos de deformação vertical de superfícies escalonadas, constituiu uma abordagem com resultados válidos nos estudos de geomorfologia tectónica realizados sobre o litoral noroeste de Portugal. Concluiu-se que o relevo marginal está organizado em 7 superfícies de aplanamento estruturadas sobre o antiforma Viana-Caminha. Foram identificadas três falhas inversas de orientação ENE-OSO, cuja movimentação foi deduzida pelos desníveis altimétricos observados nas plataformas costeiras. Estas estruturas segmentam o antiforma Viana-Caminha em 3 setores: *setentrional, médio e meridional*.

#### **ABSTRACT**

The integration of geomorphic indices (GI) with data from thematic cartography, based on bibliography, orthophotomaps and from vertical deformation studies of coastal platforms, revealed being a valid approach in studies of tectonic geomorphology conducted on the northwest coast from Portugal. It was concluded that the marginal relief is organized into seven surfaces on the antiform Viana-Caminha. Three reverse faults ENE-WSW were identified, whose movement was deduced by altimetry differences observed in coastal platforms. These structures organize the antiform Viana-Caminha in 3 sectors: northern, middle and southern.

**Palavras-chave:** Índices geomórficos; Plataformas costeiras; Cartografia geomorfológica; NO Portugal

**Keywords:** Geomorphic indices; Coastal platforms; Geomorphological mapping; NW Portugal



## 1. INTRODUÇÃO

Os índices geomórficos (IG) têm sido utilizados como ferramentas-base em estudos de geomorfologia tectónica, como meio de reconhecimento de zonas que tenham experimentado deformação tectónica (Bull & McFadden, 1977; Keller & Pinter, 1996). Têm provado ser ferramentas úteis para a identificação e quantificação destes processos geológicos (Pinter, 2005). Os resultados obtidos pela aplicação dos vários índices permitem, em análise conjunta, aferir o grau relativo de atividade tectónica de uma área (Keller & Pinter, 1996). Contudo, a interpretação dos dados geomórficos produzidos deve revestir-se de especial cuidado, nomeadamente no que concerne à análise da interferência de variáveis como a resolução espacial dos dados-fonte, as diferenças litológicas do substrato e a instalação vegetal diferencial em resultado da orientação das vertentes (Keller & Pinter, 2002; Gomes, 2008). A integração dos IG com dados provenientes de cartografia temática elaborada com base na bibliografia e ortofotomapas favorecem a orientação do trabalho de campo em geomorfologia e geologia estrutural permitindo o ajuste e validação dos dados produzidos. Para as conclusões do presente trabalho contribuiu a boa preservação de níveis de plataforma em alguns setores da costa do NO de Portugal, entre a foz do rio Minho e a foz do rio Neiva.

## 2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho consistiu na identificação das principais unidades geomorfológicas do litoral NO de Portugal e a forma como estão organizadas, e se articulam com os alinhamentos estruturais que foram reconhecidos. Para a proposta de estruturação do antiforma Viana-Caminha foi necessário inventariar e cartografar as paleoplataformas costeiras e deduzir a deformação vertical destas estruturas provocada pela ação de alinhamentos estruturais perpendiculares à costa.

## 3. MÉTODOS

A análise morfométrica baseou-se no cálculo de 5 IG mais comumente utilizados e calculados segundo as descrições de Keller & Pinter (2002): 1) sinuosidade das frentes montanhosas (SMF); 2) assimetria da bacia de drenagem (AF); 3) razão Largura - Altura do vale (VFW); 4) índice comprimento-declividade do curso (SL) e 5) curva hipsométrica (HC).

Para o cálculo dos IG foi necessário elaborar cartografia representando diversos aspectos como: morfologia (topo e base de vertente, e superfícies de aplanamento); hidrografia (polígono da bacia hidrográfica, margem direita e esquerda, principais cursos de água e pontos de segmentação com equidistância horizontal de 150 m (IG SL) e 500 m (IG VFW); litologias; lineamentos - *grid* com iluminação uniforme e *hillshade* a 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° (az.) (alt.=10 m). O trabalho de campo incidiu também sobre as plataformas costeiras, nomeadamente a identificação de troços que exibissem o maior número e área de superfícies escalonadas, e preservassem geoformas como entalhes basais, alvéolos de *Paracentrotus lividus* e/ou marmitas. A cartografia foi apoiada por um DGPS Leica SR20, tendo-se obtido erro vertical <10 cm em pós-processamento. O trabalho de campo incidiu na identificação

dos planos de fraturação sub-horizontais, dos cavalgamentos e da atitude da xistosidade, por constituírem fatores favoráveis à génese ou isolamento de superfícies com causa não tectónica. Os ortofotomapas foram analisados pela aplicação sucessiva de filtros de borda - *Sobel* e *Laplace* - com matrizes variadas (Maillard, 2001) complementando os dados obtidos no pré-processamento baseados em alterações de tonalidade do solo, no alinhamento de vales, de vegetação e de cursos de água, permitindo a identificação dos principais lineamentos dos maciços.

Para a cartografia das superfícies de aplanamento identificaram-se retalhos de área variável, correspondentes a interrupções aplanadas no forte declive das vertentes ocidentais. A regularidade encontrada nos intervalos altimétricos de cada superfície identificada sugere que possam estar relacionadas e constituam níveis de aplanamento, com conservação variável consoante os setores do terreno. Os níveis de aplanamento apresentam alguma variação de altitude nos diferentes setores analisados, pelo que se organizaram em conjuntos principais, em torno dos valores mais frequentes (moda altimétrica). A cada conjunto foi atribuído um nível mais elevado e eventualmente, níveis secundários - abatidos, degradados ou embutidos. A reconstrução dos níveis de aplanamento, baseados na moda e nos setores onde a sua extensão espacial transversal é maior, permitiu a definição mais precisa dos intervalos altimétricos. Relativamente à definição das falhas prováveis, consideraram-se os alinhamentos estruturais envolvidos em pelo menos três resultados de IG compatíveis com atividade tectónica, nomeadamente vertentes retilíneas, assimetria das bacias hidrográficas, encaixe da drenagem e *knick-points*. Também se admitiam outros dados geomorfológicos relevantes, como as capturas fluviais em curso. A proposta de estruturação do antiforma Viana-Caminha dependeu ainda do apuramento dos desníveis verificados nas paleoplataformas costeiras em setores contíguos da costa transectados pelas falhas prováveis.

#### **4. RESULTADOS**

O esboço geomorfológico permitiu identificar 7 níveis de aplanamento e delimitar topo e base de vertentes, e os principais alinhamentos estruturais. O cruzamento desta cartografia com os resultados do cálculo dos 5 IG e a informação de campo sobre a deformação vertical das principais plataformas costeiras, permitiu propor a carta geomorfológica do litoral noroeste de Portugal (Figura 1).

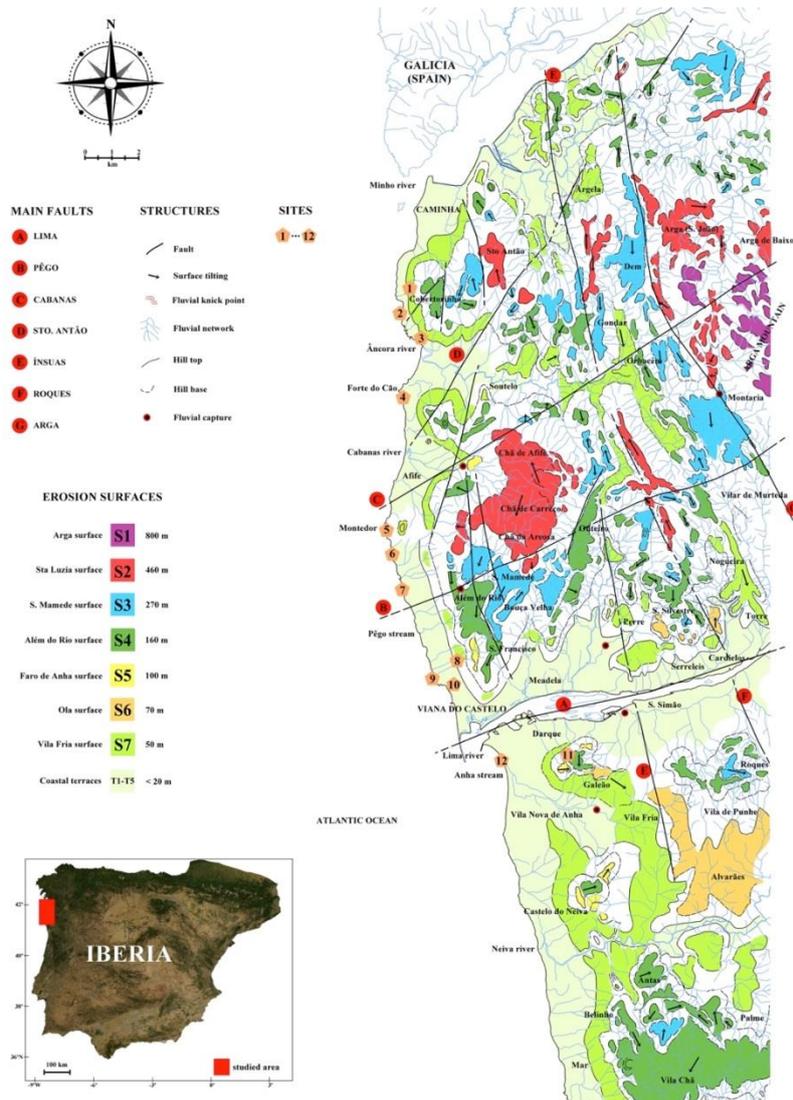


Figura 1 - Mapa geomorfológico do litoral noroeste de Portugal (Minho-Neiva). Estão assinalados os locais (1-12) onde foi realizado trabalho de campo: 1) Estrada Real; 2) S. Domingos; 3) St. Isidoro; 4) Forte do Cão; 5) Montedor; 6) Canto Marinho; 7) Lumiar; 8) S. Sebastião; 9) Rego de Fontes; 10) Praia Norte; 11) Galeão e 12) Ribeira de Anha. Adaptado de Carvalhido *et al.* (2014).

## 4.1 Índices Geomórficos

### 4.1.1 VFW e SL

Do cálculo dos IG VFW e SL observa-se que existem troços fluviais muito encaixados e com diversos *knick-points* (Fig. 2), destacando-se o rio Cabanas-Oliveira e Bouças-Pêgo, onde também se identificaram capturas fluviais (Carvalhido, 2012).

A seleção dos pontos de aferição dos dados baseou-se na mitigação de fatores com potencial de perturbação do índice VFW, nomeadamente na determinação de troços organizados sobre substratos litologicamente homogéneos e limitados a bacias hidrográficas com área semelhante (Keller & Pinter, 2002; Bull, 2007). A determinação do índice VFW foi realizada com espaçamento de 500 metros entre pontos dos cursos de água selecionados, a partir da frente montanhosa definida para o cálculo do índice SMF. Este valor foi adequado por excesso ou por defeito, em pontos de coincidência ou

grande proximidade com lineamentos estruturais identificados, por se constituírem, segundo Bull (2007), como zonas de reduzida resistência mecânica do substrato.

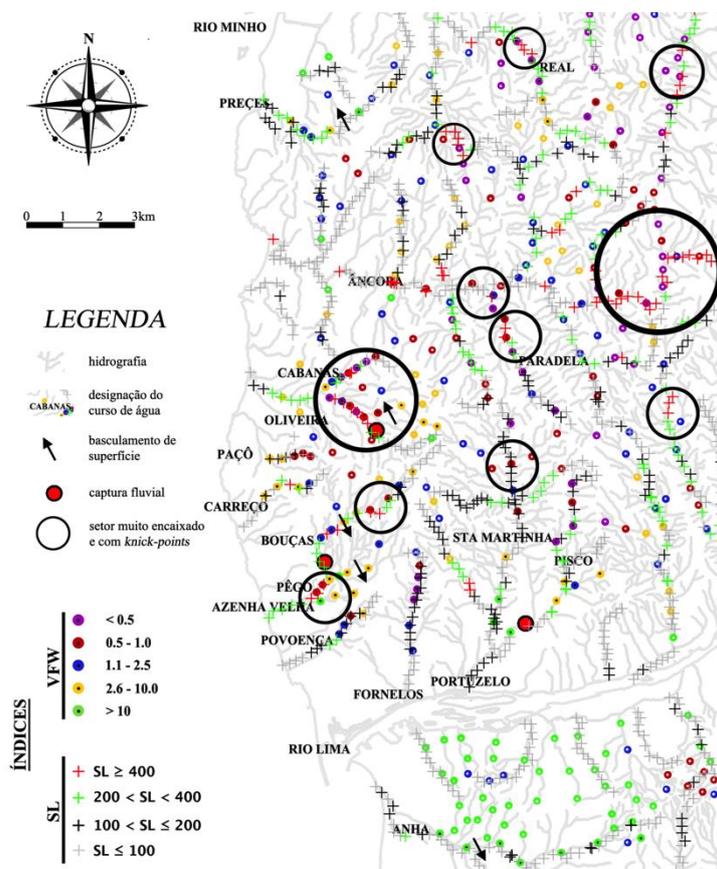


Figura 2 – Mapa de SL e VFW do litoral noroeste de Portugal (Minho-Neiva). Estão assinalados os setores onde foi deduzido basculamento com base na interpretação do IG AF e as capturas fluviais. Adaptado de Carvalho (2012).

O índice SL foi calculado em 1667 pontos, originados por segmentação horizontal de cada um dos 56 cursos de água selecionados (Fig. 2), com espaçamento igual a 150 metros (baseado na metodologia de Pérez-Peña, 2009). A seleção dos cursos de água fez-se segundo a sua importância hierárquica, tendo-se privilegiado os cursos mais longos. Procurou-se, também, que houvesse uma boa cobertura de pontos SL em toda a área estudada. Foram descartados os valores de SL dos primeiros 300 metros (os dois primeiros pontos), uma vez que, segundo Keller & Pinter (2002), apresentam frequentemente erros significativos.

#### 4.1.2 SMF

O índice SMF foi calculado em 61 frentes montanhosas selecionadas para análise. Os dados obtidos classificam a maioria das frentes montanhosas como ativas a moderadamente ativas (90%) e controladas por um alinhamento estrutural (61%). Cerca de 10% dessas frentes são classificadas como inativas. Não se verificou relação sistemática entre os valores de SMF e o tipo de rocha em que são modeladas as frentes (SMF médio de 1,33 em todas as litologias), pelo que se exclui a importância desta variável como mecanismo fundamental de controlo da geometria.

### 4.1.3 AF

Foram analisadas 11 sub-bacias com orientação subperpendicular ao eixo do antiforma Viana-Caminha, drenando para o oceano Atlântico. Para o cálculo do AF foram excluídas 6 sub-bacias por terem áreas muito pequenas, inferiores a 2,5 km<sup>2</sup> e desenvolvidas nas superfícies de aplanamento mais baixas (com cabeceira posicionada na Superfície de Vila Fria, cf. Fig. 1). A maioria das sub-bacias elegíveis apresentam uma evidente assimetria das áreas das margens (diferença > 10%) pelo que se consideram instaladas em superfícies basculadas (Figura 2). O substrato é essencialmente constituído por granito de grão médio a grosseiro, associado ao núcleo do antiforma de Caminha-Viana do Castelo, e por granito de grão fino a médio, porfiróide, nos flancos. O cruzamento da classificação textural dos granitóides (Pamplona, 2001) com o mapa AF mostra pouca variabilidade textural dos granitóides atravessados pelas bacias estudadas.

### 4.1.4 HC

As curvas hipsométricas identificam bacias em dois estádios de evolução distintos (Figura 3).

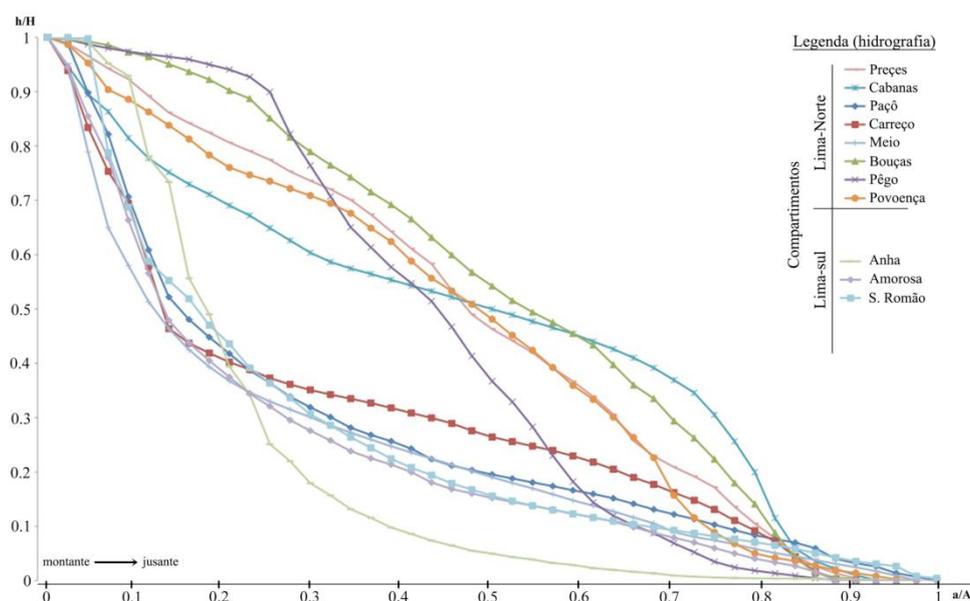


Figura 3 – Curvas hipsométricas das principais sub-bacias hidrográficas do litoral noroeste de Portugal (Minho-Neiva). Adaptado de Carvalho (2012).

A norte do Lima todos os cursos analisados (à exceção de Paçô e Meio) têm traçados mais ou menos convexas a sigmoidais que refletem encaixe ativo associado a forte desnudamento junto à foz. A sul do Lima os cursos têm perfis essencialmente côncavos, compatíveis com longos períodos de estabilidade tectónica, em que o relevo se aproxima do nível de base. A curva hipsométrica do ribeiro do Pêgo mostra o reforço da área de cabeceira que confirma o processo de captura do ribeiro de Bouças.

## 4.2 Paleoplateformas Costeiras

Em condições de uniformidade litológica e estrutural, no mesmo compartimento tectónico, não deformado, é expectável a observação de plataformas costeiras a cotas muito aproximadas. Nos setores de Montedor e Cabedelo as superfícies estão

conservadas em substrato granítico, e em Rego de Fontes, em xisto quiastolítico (Fm. de Valongo). Só é possível comparar a altimetria das plataformas mais baixas (IV e V) tendo em conta que são as únicas que afloram nos 3 setores de costa considerados. Carvalhido *et al.* (2014) consideram estas plataformas do MIS5. Verificou-se que os valores absolutos de altimetria das plataformas costeiras são mais elevados em Montedor e mais baixos em Rego de Fontes. O Cabedelo (a sul do Lima) é o sector com valores de referência mais baixos (Quadro 1).

Quadro 1 – Extremos altimétricos de referência determinados nas paleoplataformas costeiras identificadas em Montedor, Rego de Fontes e Cabedelo. As cotas apresentadas são relativas ao nmm. As plataformas não identificadas estão assinaladas com *ni*.

Setores costeiros	Paleoplataformas costeiras				
	I (m)	II (m)	III (m)	IV (m)	V (m)
Montedor	20-18	13	9,3-7,3	5,5-4,5	3,5-2,0
Rego de Fontes	n.i.	n.i.	n.i.	5,3-3,7	2,3-1,9
Cabedelo	n.i.	n.i.	n.i.	4,5-3,9	2,1-1,8

Tendo por referência a cota superior do nível do MIS5 (paleoplataforma IV, Carvalhido *et al.*, 2014) observa-se um desnivelamento daquela superfície, entre Montedor e Cabedelo, de até 100 cm. As diferenças entre Montedor e Rego de Fontes são negligenciáveis (20 cm) tendo em conta que se tratam de substratos diferentes e existe erro associado à operação do DGPS.

## 5. CONCLUSÕES

O relevo marginal do NO de Portugal, entre a foz do rio Minho e a foz do rio Neiva, organiza-se em 7 superfícies de aplanamento estruturadas sobre o antiforma Viana-Caminha. O estudo dos IG revela uma fronteira definida pelo curso do rio Lima: a norte observam-se frentes ativas, capturas fluviais, basculamento geral de superfícies e troços fluviais em encaixe, e com diversos *knick-points*; a sul estes pressupostos não se observam. A conjugação destes dados com a cartografia de lineamentos sugere movimentos associados a três falhas inversas de orientação ENE-OSO, designadas de falhas de Cabanas, Pêgo e Lima. Esta dedução é corroborada pelo desnível observado na paleoplataforma costeira IV, entre Montedor e o Cabedelo, admitindo-se para a falha do Lima um levantamento médio de 8mm/ka entre o MIS5 e o presente, e considerando desprezável o contributo da falha do Pêgo durante este período. Com base nos dados referidos, propõe-se a estruturação do antiforma Viana-Caminha em 3 setores: *setentrional*, *médio* e *meridional* (Figura 4).



Figura 4 – Proposta de estruturação do antifforma Viana-Caminha com base no estudo dos IG e nos desníveis observados nas plataformas costeiras. Adaptado de Carvalho (2012).

## REFERÊNCIAS

- Bull, W. B. (2007). *Tectonic Geomorphology of Mountains. A New Approach to Paleoseismology*. Blackwell Publishing, Malden, MA, 316 pp.
- Bull, W. & McFadden, L. (1977). *Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. Geomorphology in Arid regions*. Doehring, D. (ed.), Publications in Geomorphology, State University of New York at Binghamton, 115–138.
- Carvalho, R. (2012). *O Litoral Norte de Portugal (Minho-Neiva): evolução paleoambiental quaternária e proposta de conservação do património geomorfológico*. Escola de Ciências - Universidade do Minho, 572 p.
- Carvalho, R. P.; Pereira, D. I. ; Cunha, P. P.; Buylaert, J.-P. & Murray, A. S. (2014). *Characterization and dating of coastal deposits of NW Portugal (Minho-Neiva area): A record of climate, eustasy and crustal uplift during the Quaternary*. Quaternary International, vol. 328-329, pp. 94-106.
- Gomes, A (2008). *Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto.
- Maillard, P. (2001). *Introdução ao processamento digital de imagens*. Curso de geoprocessamento. UFMG
- Pamplona, J. (2001). *Tectónica do antifforma de Viana do Castelo-Caminha (ZCI): regime de deformação e instalação de granitóides*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Pérez-Peña (2009). *GIS-based tools and methods for landscape analysis and evaluation of active tectonics*. Tese de Doutoramento. Universidade de Granada, 2009
- Pinter (2005)
- Keller, E. & Pinter, N. (1996). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 338 pp.
- Keller, E. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics*. New Jersey, Prentice Hall.