

# Instalação de barreiras de controle de erosão com elevada precisão espacial por meio de geoprocessamento de imagens de alta resolução

## Enhanced spatial precision in erosion control barriers installation through high-resolution images geoprocessing

Vinícius Kenzo Okada<sup>1,2,\*</sup>, Tomás de Figueiredo<sup>1,2</sup>, Regis Pacheco Cassino Junior<sup>1,2</sup>, Felícia Fonseca<sup>1</sup> & Zulimar Hernández<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Laboratório Associado para Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Bragança, Portugal

(\*E-mail: [vinicius.okada@ipb.pt](mailto:vinicius.okada@ipb.pt))

<https://doi.org/10.19084/rca.33358>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

### RESUMO

Este estudo centra-se numa área de 155 ha atingida pelo grande incêndio de Picões (2013, 14.912 ha), cujas encostas declivosas estão constantemente drenando sedimentos para a albufeira do Baixo Sabor devido à baixa cobertura do solo e à lenta recuperação da vegetação. Para mitigar este impacto, projeta-se testar a eficácia de barreiras de controle da erosão a instalar em áreas de intervenção piloto. Neste trabalho, propõe-se uma ferramenta destinada otimizar a instalação de barreiras de contenção de sedimentos e dispositivos de medição de erosão com recurso a imagens de satélite e de *drones*. O geoprocessamento de imagens de satélite (10m de resolução) e de imagens de drone (30cm de resolução) otimizou a localização das barreiras de contenção e dos dispositivos de medição de erosão. Utilizou-se como critério de otimização o máximo local (na curva de nível) de acumulação de fluxo na área de intervenção, representando o potencial de transporte de sedimentos na encosta, onde maior será a necessidade de controle. O mapeamento da acumulação de fluxo com Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta resolução aprimorou 4,5 vezes a localização precisa das barreiras e dispositivos a instalar, com relação a uma escolha aleatória. A preparação remota dos trabalhos possibilitou redução de 50% dos custos e tempo na implementação das intervenções.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento, Intervenção pós-fogo, Erosão.

### ABSTRACT

This study focuses on an area of 155 hectares affected by the major Picões wildfire (2013, 14,912 hectares), whose steep slopes are constantly draining sediment into the Baixo Sabor reservoir due to low soil coverage and slow vegetation recovery. To mitigate this impact, the effectiveness of erosion control barriers to be installed in pilot intervention areas is being tested. In this work, a tool is proposed to optimize the installation of sediment containment barriers and erosion measuring devices using satellite and drone images. Satellite image geoprocessing (10-meter resolution) and drone imagery (30-centimeter resolution) optimized the location of containment barriers and erosion measurement devices. The optimization criterion used was the local maximum (in the contour line) of flow accumulation in the intervention area, representing the sediment transport potential on the slope, where greater control is needed. Mapping flow accumulation with high-resolution DEM improved the precise location of the barriers and devices to be installed by 4.5 times compared to random selection. Remote preparation of the work enabled a 50% reduction in costs and time for implementing the interventions.

**Keywords:** Geoprocessing, Post-fire Intervention, Erosion.

## INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um fenómeno natural resultante da precipitação da água pluvial na superfície do terreno. Atividades antrópicas relacionadas ao uso e ocupação do solo aceleram esse processo e ameaçam severamente o recuso solo, afetando os serviços ecossistémicos e a sustentabilidade do território (Figueiredo & Gonçalves, 2008; Figueiredo, 2012a).

Na região Nordeste transmontana de Portugal, a erosão hídrica é a principal forma de degradação do solo, agravada pelas condições geomorfológicas prevaletentes e pelas práticas de uso da terra (Coelho, 2006; Figueiredo, 2012b). Além disso, os frequentes incêndios neste território removem a proteção superficial do solo proporcionada pela vegetação, tornando-o mais suscetível a ação dos fenômenos naturais (Ferreira *et al.*, 2005).

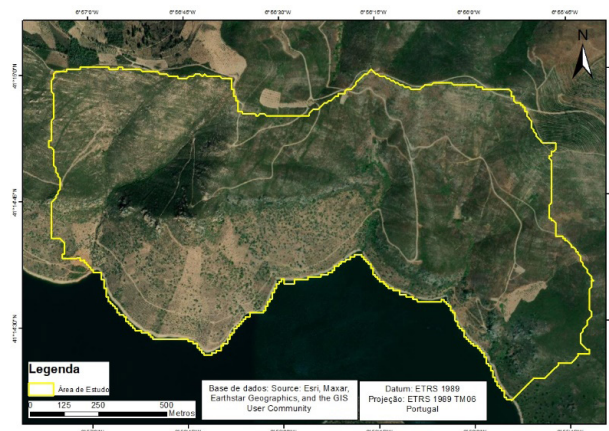
A erosão hídrica resulta em produção, transporte e deposição de sedimentos e sua aceleração tem impactos significativos na produção de biomassa, qualidade da água, fornecimento de matérias-primas, produção de eletricidade, vida útil do reservatório e fornecimento de água (De Vente *et al.*, 2005; Garg & Jothiprakash, 2012; Gardi *et al.*, 2015). Portanto, a adoção de práticas conservacionistas do solo, que abrangem aspetos edáficos, vegetativos e mecânicos, é fundamental para mitigar os efeitos adversos causados pela erosão (Lepsch, 1977).

Neste contexto, o geoprocessamento e sensoria-mento remoto têm se mostrado eficazes no mapeamento de riscos de erosão. Essas técnicas desempenham um papel crucial na determinação precisa da localização adequada para a implementação das práticas conservacionistas do solo. Com base nisso, o presente trabalho utiliza essas técnicas, aliadas ao uso de imagens de alta resolução, com o objetivo de otimizar a instalação de barreiras de contenção de sedimentos e dispositivos de medição de erosão com recurso a imagens de satélite e de *drones* em áreas com maior probabilidade de ocorrência de erosão hídrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A área de estudo está localizada no Nordeste de Portugal, no distrito de Bragança, e é conhecido popularmente por Lagos do Sabor, devido a presença da albufeira do Baixo-Sabor. Este local tem grande importância ambiental e socioeconómica, fazendo parte da Rede Natura 2000. Em 2013, foi acometido pelo grande incêndio de Picões, em que arderam 14.912 ha. Desde então, suas encostas persistem como grande fonte de sedimentos transportados para albufeira. Nessa região, foi selecionada uma área piloto (AP) de cerca de 155 ha ao sul da aldeia de Picões, como objeto de estudo (Figura 1).



**Figura 1** - Área Piloto, situada próximo da Aldeia de Picões, Alfândega da Fé, na margem dos Lagos do Sabor (155 ha).

### Potencial de produção de sedimentos

Para avaliar o potencial de produção de sedimentos na AP, utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) (Wischmeier & Smith, 1978). Devido à homogeneidade da AP em relação aos fatores erosividade, erodibilidade e cobertura vegetal, adotou-se o fator topográfico (LS) para estimar a distribuição espacial da erosão potencial.

Para isso, utilizaram-se modelos digitais de elevação (MDE) com resolução de 10 metros, fornecidos pelo programa Copernicus (The European Space Agency, 2023), juntamente com técnicas de geoprocessamento. Com base nesses recursos e técnicas, foi possível aplicar o fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) nas encostas que direcionam diretamente para a albufeira (Figura 1), a descrição metodológica detalhada está presente no trabalho de Okada (2023).

### *Trajetos de acesso e áreas de intervenção pós-fogo*

Por meio de Software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de geoprocessamento foram vetorizados caminhos de acesso praticáveis que convergem para AP. A partir dessas trajetórias, foi criado um *buffer* de 60 metros, delimitando a área considerada como faixa de intervenção pós fogo na AP.

### *Seleção da área de intervenção pós-fogo*

A fim de selecionar a área de intervenção pós-fogo, consideraram-se locais com declividade inferior a 25%, com o objetivo de facilitar o uso de maquinário e a movimentação de pessoas. Além disso, com base nos fatores LS, constatou-se que as áreas adjacentes à albufeira apresentam maior potencial de produção de sedimentos (Okada, 2023). Portanto, foram analisados esses detalhes juntamente com as informações sobre a faixa de intervenção, os caminhos de acesso e os dados coletados em campo, a fim de identificar a área a ser protegida.

Esta área terá uma extensão de 3600 m<sup>2</sup>, formando um quadrilátero de 60 m x 60 m. Serão estabelecidas 6 parcelas de erosão, cada uma com área de 600 m<sup>2</sup>. Essas parcelas serão distribuídas da seguinte forma: uma parcela com vegetação natural e sem intervenção, uma parcela com solo exposto e sem intervenção, duas parcelas com vegetação cortada e com intervenção, e duas parcelas com solo exposto e com intervenção.

As intervenções serão realizadas com o uso de Soluções de base Natural (SbN), incluindo composto e composto com biochar. Essas soluções serão implementadas em faixas de 20 metros, 10 metros,

30 metros e 60 metros. Em cada barreira, montante e jusante, serão instalados dispositivos medidores de erosão para avaliar a eficiência das barreiras em diferentes comprimentos de encosta.

Após a definição da área de intervenção, foi realizada uma análise detalhada da acumulação de fluxo utilizando tecnologias como SIG, geoprocessamento e um MDE de alta resolução. Para obter dados precisos, utilizou-se um drone equipado com um sensor LIDAR, que possibilitou a obtenção de um MDE com uma resolução de 30 cm.

Com esse nível de precisão, foi possível realizar uma análise minuciosa dos dados usando planilhas e aplicação de média móvel nos valores de acumulação de fluxo de 3 pixels adjacentes (90 cm). A maior média móvel foi considerada como local de instalação dos medidores de erosão e, para testar sua eficiência, foi comparada com a média da média móvel (representa uma escolha aleatória), pela Equação (1).

$$Eficiência = \left( \frac{Média\ Móvel_{máx}}{Média\ Móvel} \right) - 1$$

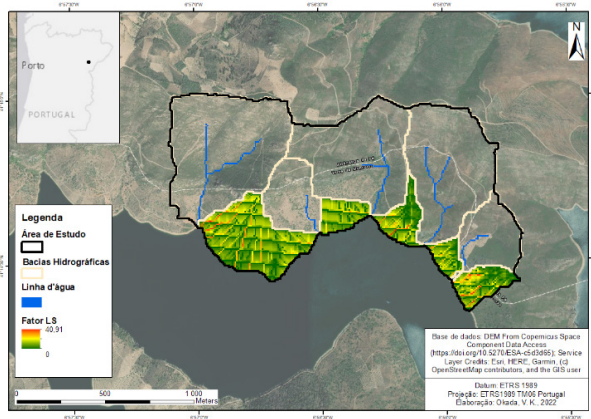
Essa abordagem permitiu determinar o posicionamento ideal dos medidores de erosão, com dimensões de 100 cm x 50 cm, que serão instalados posteriormente no campo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

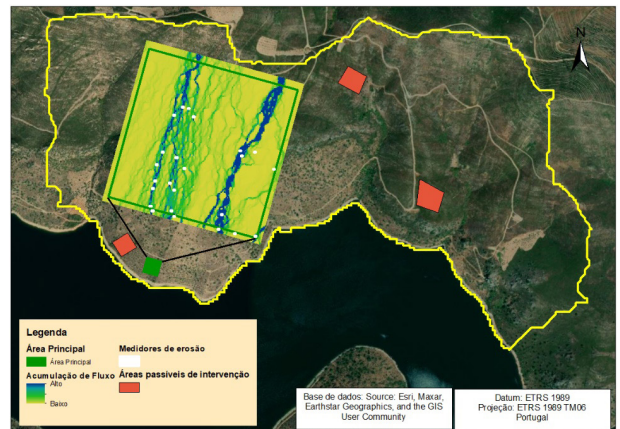
A Área Piloto foi submetida à aplicação do fator LS da USLE, que representa o comprimento de encosta e declive, utilizando as ferramentas *Flow Length (up stream)*, *Slope* e *Raster Calculator* do SIG. A partir dessa atividade, foi obtido o potencial de erosão das encostas que drenam diretamente para albufeira (Figura 2). É notável que os maiores valores de LS, expressos em termos relativos, estão localizados próximos à linha de água da albufeira.

Para delimitar os caminhos de acesso, foi utilizada a vetorização da ortoimagem disponibilizada na plataforma SIG. Com essa vetorização, a ferramenta *Buffer* foi empregue para criar uma faixa, com 60 metros, passível de intervenção na AP (Figura 3).

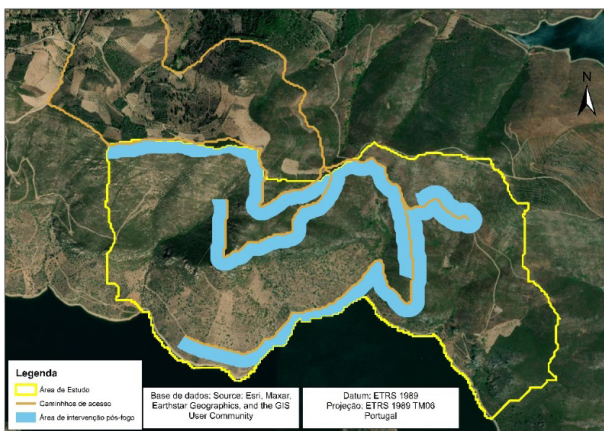




**Figura 2 -** Potencial de produção de sedimentos nas encostas da Área Piloto drenando diretamente para os Lagos do Sabor, avaliada pelo Fator LS da USLE.



**Figura 4 -** Identificação da área principal, medidores de erosão e raster de acumulação de fluxo.



**Figura 3 -** Caminhos de acesso à área piloto e faixa com potencial de intervenção.

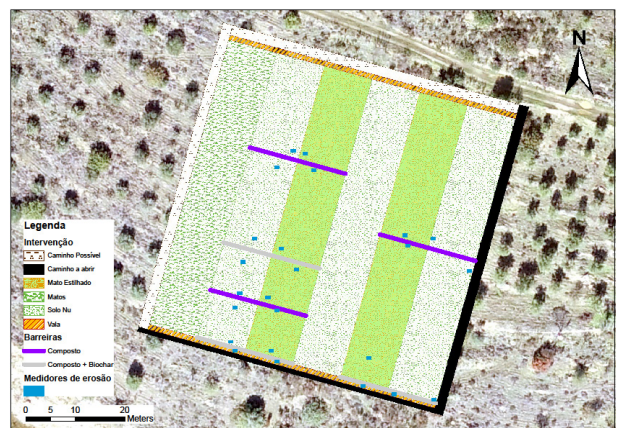
Com base nesses resultados, foram realizadas visitas ao local de estudo para comprovar a acessibilidade com segurança pelas rotas mapeadas e identificaram-se quatro áreas potenciais de intervenção. Estes locais foram condicionados a declives inferiores a 25% e a proximidade da albufeira, resultando na escolha da área principal (Figura 4).

Na área escolhida, um modelo de erosão (Figura 5) será aplicado para testar a eficácia das barreiras controladoras de erosão. Por meio de SIG e planilhas, uma análise precisa foi realizada utilizando uma imagem de alta resolução, 30 cm, identificando locais com maiores acumulações de fluxo e, portanto, pontos ótimos, com maior vazão de sedimentos, para instalação dos medidores de erosão a montante e a jusante da barreira (Figura 4). É esperado que

o ganho de eficiência na medição de erosão, utilizando essa metodologia, seja 4,5 vezes maior do que a escolha de locais aleatórios para a instalação dos medidores.

Com base em experiências anteriores, nas quais a instalação de medidores de erosão levava em média 45 minutos para escolha do local e a instalação, totalizando 1,5 horas para ambas as atividades, pode-se constatar que, ao utilizar a metodologia descrita, foram economizados 3 dias de trabalho de campo, bem como os custos associados, considerando que 24 medidores serão instalados.

Os próximos passos do estudo envolverão a implementação das barreiras e medidores de erosão, bem como o teste de sua eficácia com base no comprimento de encosta. O objetivo principal é mitigar os impactos negativos causados pela erosão hídrica.



**Figura 5 -** Modelo do ensaio de erosão.

## CONCLUSÕES

A utilização do trabalho remoto, incluindo o sensoriamento remoto, SIG e geoprocessamento, proporcionou benefícios significativos no acesso seguro a área de topografia acidentada, na definição da faixa passível de intervenção pós-fogo e na seleção da área principal. Além disso, foi possível identificar pontos estratégicos para instalação dos medidores de erosão, levando em consideração a maior acumulação de fluxo.

A preparação remota dos trabalhos possibilitou redução de 50% dos custos e tempo na implementação das intervenções. Dessa forma, foi possível otimizar os recursos disponíveis.

## AGRADECIMENTOS

Ao projeto SOILING (EEA Grants, Project 11, Call#5) pelo suporte financeiro deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coelho, C.O.A. (2006) - Portugal. In: Boardman, J. & Poesen, J. (Eds.) - *Soil Erosion in Europe*, p. 359–367. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470859202.CH28>
- De Vente, J.; Poesen, J. & Verstraeten, G. (2005) - The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, vol. 305, n. 1–4, p. 63–86. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.030>
- Ferreira, A.J.D.; Coelho, C.O.A.; Boulet, A.K. & Lopes, F.P. (2005) – Temporal patterns of solute loss following wildfire in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, vol. 14, n. 4, p. 401-412. <http://doi.org/10.1071/WF05043>
- Figueiredo, T. de & Gonçalves, D. (2008) – Erosividade das precipitações e erosão hídrica dos solos: exercícios de estimativa face a cenários de alterações climáticas. *Workshop Internacional sobre Clima e Recursos Naturais nos países de língua portuguesa (WSCRA08)*. Ilha do sal. P. 1-8.
- Figueiredo, T. de (2012a) - Erosão hídrica dos solos em Portugal: contributo para uma revisão. In: *V Congresso Ibérico Da Ciência Do Solo*. Angra do Heroísmo.
- Figueiredo, T. de (2012b) - *Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial*. Bragança, Escola Superior Agrária. (Série Estudos; 83). ISBN 978-972-745-135-7
- Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz Gaistardo, C.; Encina Rojas, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonça-Santos, M.L.; Montanarella, L.; Muñoz Ugarte, O.; Schad, P.; Vara Rodriguez, M.I.; Vargas, R. & Ravina da Silva, M. (2015) - *Atlas de Solos da América Latina e do Caribe*. Luxemburgo: Comissão Europeia - Serviço de Publicações da União Europeia. 176 p.
- Garg, V. & Jothiprakash, V. (2012) - Sediment Yield Assessment of a Large Basin using PSIAC Approach in GIS Environment. *Water Resources Management*, vol. 26, n. 3, p. 799–840. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9945-4>
- Lepsch, I.F. (1977) - *Formação e conservação dos solos*. Oficina de Textos. São Paulo, Brasil.
- Okada, V.K.; Figueiredo, T.; Fonseca, F. & Hernández, Z. (2023) - Potencial de produção de sedimentos em áreas adjacentes à albufeira do Baixo Sabor: Avaliação utilizando ferramentas de SIG. In: *Congresso da Água*, 16. Livro de Resumos. Lisboa, APRH. p. 313-315.
- The European Space Agency (2023) - *Copernicus Digital Elevation Model - Copernicus Contributing Missions Online*. <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978) - *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning, agriculture handbook No. 537*. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington D.C.