

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

A IMPORTÂNCIA DA ESCALA ESPACIAL NA ANÁLISE DA EROÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DA CAMPÂNIA NA ITÁLIA

*Marina Galdez de Castro Silva¹; Nunzio Romano²; Paulo Nasta³; Franciele Zanandrea⁴
& Gean Paulo Michel⁵*

Abstract: Given the current pressures on the soil, an essential resource for survival and, however, heavily degraded by intense exploitation, analyzing its quality becomes essential, in particular erosion events, that is, loss of this resource, as one must seek to reduce them. There are already studies on erosion at continental level, especially by Panagos (2015) with results published in the European Commission. However, it is not known how different the results are when the study is carried out on a continental scale to when on a regional scale. Therefore, this work sought to analyze the scale at the regional level and compare it with the result obtained by Panagos (2015). It was observed that the variables that showed the greatest difference in the erosion data were the K factor and the LS factor, evidencing the importance of regional-scale data, that is, data with higher resolution, for a more accurate estimation of soil erosion.

Resumo: Devido as pressões atuais sobre o solo, recurso essencial para a sobrevivência e, no entanto, fortemente degradado pela intensa exploração, quantificar adequadamente a perda de solo se torna essencial. Já existem estudos sobre a erosão em escala continental, como o de Panagos (2015), com resultados publicados na Comissão Europeia. No entanto, pouco se sabe o quão dependentes da resolução espacial são esses resultados. Sendo assim, este trabalho procurou analisar a perda de solo em escala regional e comparar com os resultados obtidos por Panagos (2015), em escala continental. Observou-se que as variáveis que apresentaram maior diferença nos dados de erosão foram o fator K e o fator LS, evidenciando a importância de dados em escala regional, isto é, com maior resolução, para uma estimativa mais assertiva da erosão do solo.

Palavras-Chave – erosão hídrica; escala espacial; resolução.

INTRODUÇÃO

A água e o solo constituem dois recursos essenciais para a sobrevivência e, no entanto, fortemente degradados pela intensa exploração. O solo não é apenas o habitat, ou até o meio de produção de alimentos, mais do que isso, diversos são os ciclos bioquímicos realizados no seu interior – dentre os quais parte do ciclo hidrológico –, de tal modo que o solo constitui um amortecedor das mudanças climáticas quando bem gerido (SOLAW, 2021). O solo, pedosfera, é um dos componentes do ecossistema, assim com a água, hidrosfera, e, portanto, além de poder exercer esse grande papel de amortecedor das mudanças climáticas, proporciona diversos serviços ecossistêmicos. Diante disso, quantificar adequadamente a perda do solo se torna essencial.

1) Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156. São Domingos, Niterói, marinagaldez@id.uff.br

2) Università degli Studi di Napoli Federico II - Via Università, 100 - 80055 - Portici (NA), nunzio.romano@unina.it

3) Università degli Studi di Napoli Federico II - Via Università, 100 - 80055 - Portici (NA), paolo.nasta@unina.it

4) Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156. São Domingos, Niterói, francielez@id.uff.br

5) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Farroupilha, Porto Alegre - Rio Grande do Sul, 90010-150, gean.michel@ufrgs.br

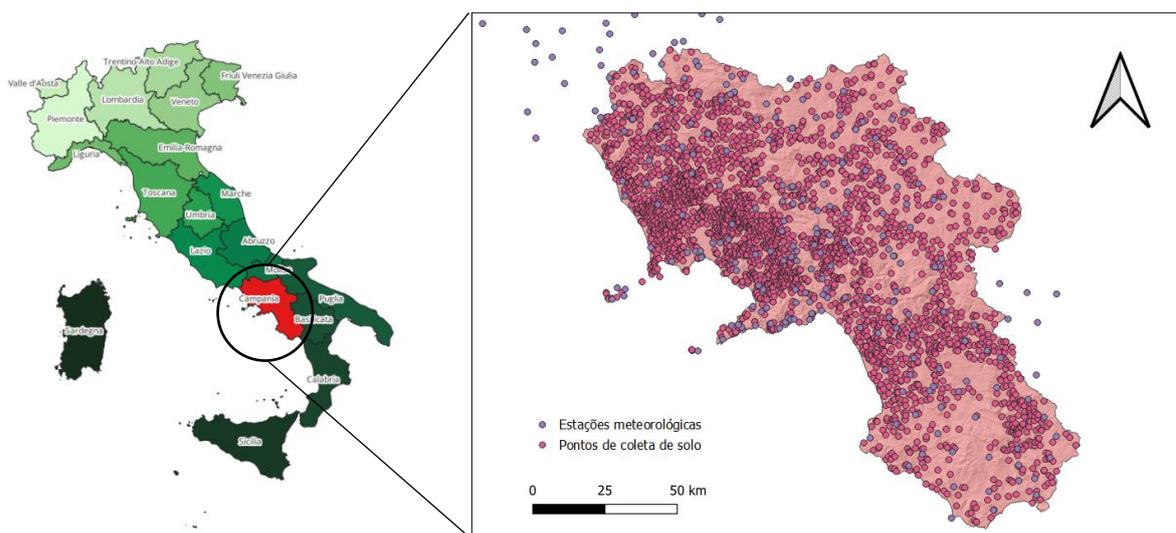
Já existem estudos sobre a erosão do solo em nível continental, como Panagos (2015) que apresentou resultados de perda de solo para toda Europa. No entanto, pouco se sabe o quanto dependentes da resolução espacial são esses resultados. Mota et al. (2013), identificou a importância da avaliação da escala da base topográfica na obtenção de parâmetros morfométricos em pequenas bacias, mas não foram observadas pesquisas que estudassem a escala no âmbito da erosão. Assim, é importante avaliar o impacto das escalas grosseiras nas incertezas a fim de quantificar corretamente as perdas de solo. Com isso, este trabalho procurou quantificar a perda de solo em escala regional a partir de uma extensa rede de dados monitorados e comparar com os resultados em escala continental obtidos por Panagos et al. (2015).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada na região da Campânia, no Sul da Itália, que possui aproximadamente 13 mil km² de extensão e clima mediterrâneo, com verão seco e quente, e precipitações irregulares concentradas na estação fria, normalmente curtas e de alta intensidade (LOPES et al., 1999; RADDI et al., 2013). A região sofre frequentemente com eventos de inundação, sendo a chuva a principal responsável pela erosão do solo. Essa região conta com um extenso monitoramento, onde estão presentes 276 estações de precipitação e 2865 pontos de coleta de solo conforme Figura 1.

Figura 1 – Mapa de Localização da região da Campania na Itália



Fonte: Elaboração Própria

Modelo RUSLE

Para a estimativa da erosão, foi utilizado o modelo revisado da USLE (Equação Universal de Perda de Solo) de Wischmeier & Smith (1978), modificado por Renard et al. (1997). A RUSLE considera 6 parâmetros que governam o processo de erosão hídrica, sendo, a quantidade de solo perdida resultado do produto dos fatores, obtida em tonelada/ha/ano (Equação 1).

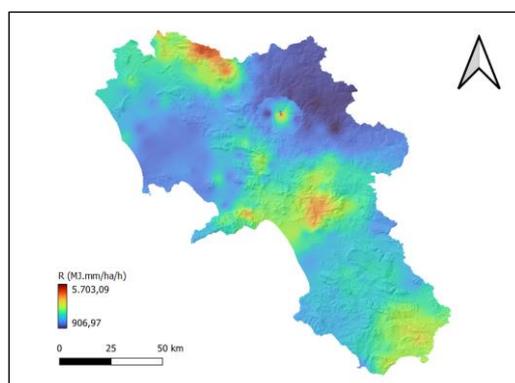
$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

onde A é a estimativa de perda de solo anual [t/(ha.ano)]; R erosividade da chuva [MJ mm/ (ha h ano)]; K é a erodibilidade do solo [t/ (MJ mm)]; L e S são fatores Topográficos, que representam respectivamente o comprimento e a inclinação do terreno [adimensionais]; C é o fator de cobertura vegetal [adimensional] e P é o fator de práticas conservacionistas [adimensional].

Erosividade da chuva

O fator R representa a agressividade da chuva como agente do processo erosivo. Para a região da Campania, foram usados dados de 276 estações meteorológicas com dados diários entre 1920 e 2022, mas devido à ausência de dados de determinadas estações em determinados anos, a média histórica foi de 43 anos. Como os dados eram diários e não a cada 30 minutos, usou-se o índice de Erosividade mensal Erm-B, que resulta na Erosividade da chuva com a unidade MJ.mm/ha/h. O cálculo foi feito através do programa MATLAB devido à alta quantidade de dados, obtendo-se um valor de R por estação meteorológica. Por fim, foi realizada a interpolação dos pontos pelo método IDW (Ponderação pelo inverso da distância), com uma resolução espacial de 20 m, utilizando o software livre QGIS, considerando no mínimo 2 pontos, no máximo 5 pontos e uma vizinhança máxima de 50 km, obtendo-se o mapa da Erosividade da chuva da região (Figura 2).

Figura 2 - Interpolação dos dados de Erosividade da chuva (R)



Fonte: Elaboração Própria

Erodibilidade do solo

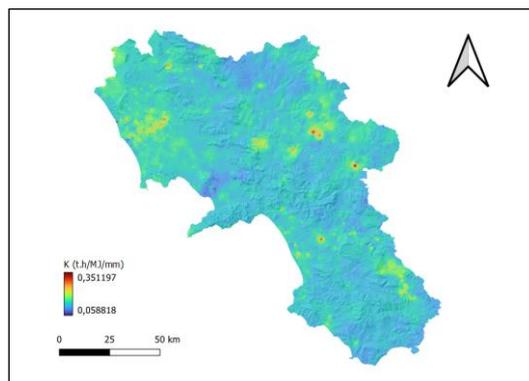
A erodibilidade do solo (K) representa a suscetibilidade do solo ao processo de desprendimento e transporte de suas partículas por gotas de chuva e escoamento superficial (PANAGOS et al., 2014; RENARD et al., 1997). Este fator é representado na unidade t.h/MJ/mm. O fator K foi calculado utilizando a Equação 2, que considera a textura e o conteúdo de matéria orgânica do solo.

$$K = f_{sa} \times f_{cl_si} \times f_{oc} \times f_{red_sa} \quad (2)$$

onde f_{sa} é o fator ligado ao conteúdo de areia; f_{cl_si} é o fator ligado ao conteúdo de argila e silte; f_{oc} é o fator ligado ao conteúdo de carbono orgânico e f_{red_sa} o fator de redução ligado ao conteúdo de areia extremamente grossa.

Para o cálculo do fato K , foram utilizadas 2865 amostras de solo, isto é, a amostragem possuiu densidade de 1 amostra para cada 4,7 km². Depois de calculado o valor da erodibilidade em cada ponto amostrado, foi feita a interpolação pelo método IDW, com uma resolução espacial de 20 m, através do software QGIS, considerando no mínimo 2 pontos, no máximo 12 pontos e uma vizinhança máxima de 10 km, gerando o mapa de Erodibilidade do solo (Figura 3).

Figura 3 - Interpolação dos dados de Erodibilidade do solo (K)



Fonte: Elaboração Própria

Fatores Topográficos

O fator de comprimento do declive (L) e o fator do grau do declive ou declividade (S) representam os fatores topográficos da equação da USLE. Foram calculados pelas Equações 3 e 4 através da calculadora raster do QGIS, utilizando o modelo digital de elevação (DEM) fornecido pelo Geoportale Regione Campania, que possui resolução espacial de 20 metros. Considerou-se o limite de L de 305 m e de declividade (θ) de 50%, como adotado no cálculo por Panagos (2015). Assim, foram obtidos os mapas de cada fator e como na prática esses fatores são considerados de forma conjunta, multiplicou-se os dois rasters, obtendo o mapa do fator topográfico LS (Figura 4).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (3)$$

onde λ é o comprimento da encosta, em metros.

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (3.1)$$

onde β é a razão entre a erosão por sulco e a erosão entre-sulcos.

$$\beta = \frac{\sin \theta}{3 \times \sin \theta^{0.8} + 0.56} \quad (3.2)$$

onde θ é a declividade da encosta, em graus.

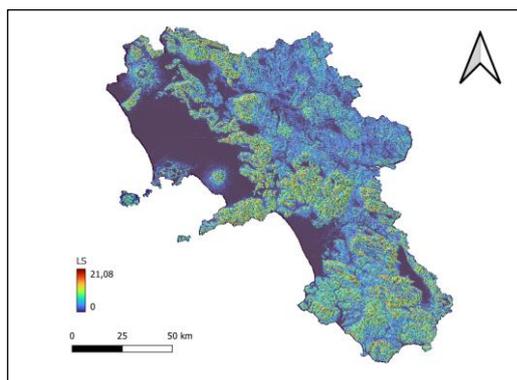
Se $\tan \theta < 0.09$:

$$S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03 \quad (4.1)$$

Se $\tan \theta \geq 0.09$:

$$S = 16.8 \times \sin \theta - 0.5 \quad (4.2)$$

Figura 4 – Mapa do fator LS

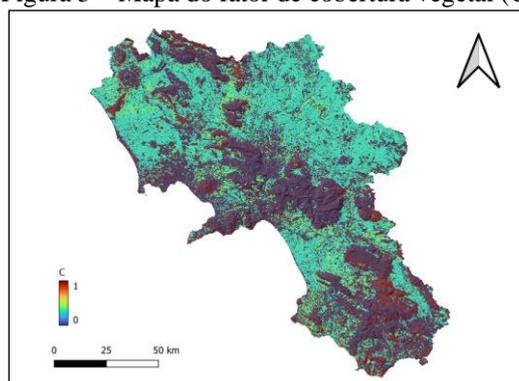


Fonte: Elaboração Própria

Fator de Cobertura Vegetal

O fator C representa a cobertura vegetal e foi obtido a partir do mapa de uso do solo fornecido pelo Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), em que para cada classe foi determinado o valor do fator C correspondente àquela cobertura (Figura 5).

Figura 5 – Mapa do fator de cobertura vegetal (C)



Fonte: Elaboração Própria

Fator de Práticas Conservacionistas

Para o mapa do fator de Práticas Conservacionistas (P) para a Campania foram mantidos os valores utilizados por Panagos (2015), dessa forma será o mesmo para os dois casos de análise.

Estimativa da Perda de Solo Anual (A)

Por fim, foi estimada a Perda de Solo Anual (A) para a região da Campania, multiplicando todos os fatores conforme indicado na Equação 1, obtendo os valores em ton/ha/ano. Os *outliers* superiores dos resultados de perda de solo foram retirados, em que se utilizou como critério a média mais 3 vezes o desvio padrão para definir o valor máximo de A.

Cálculo da diferença dos fatores e da erosão

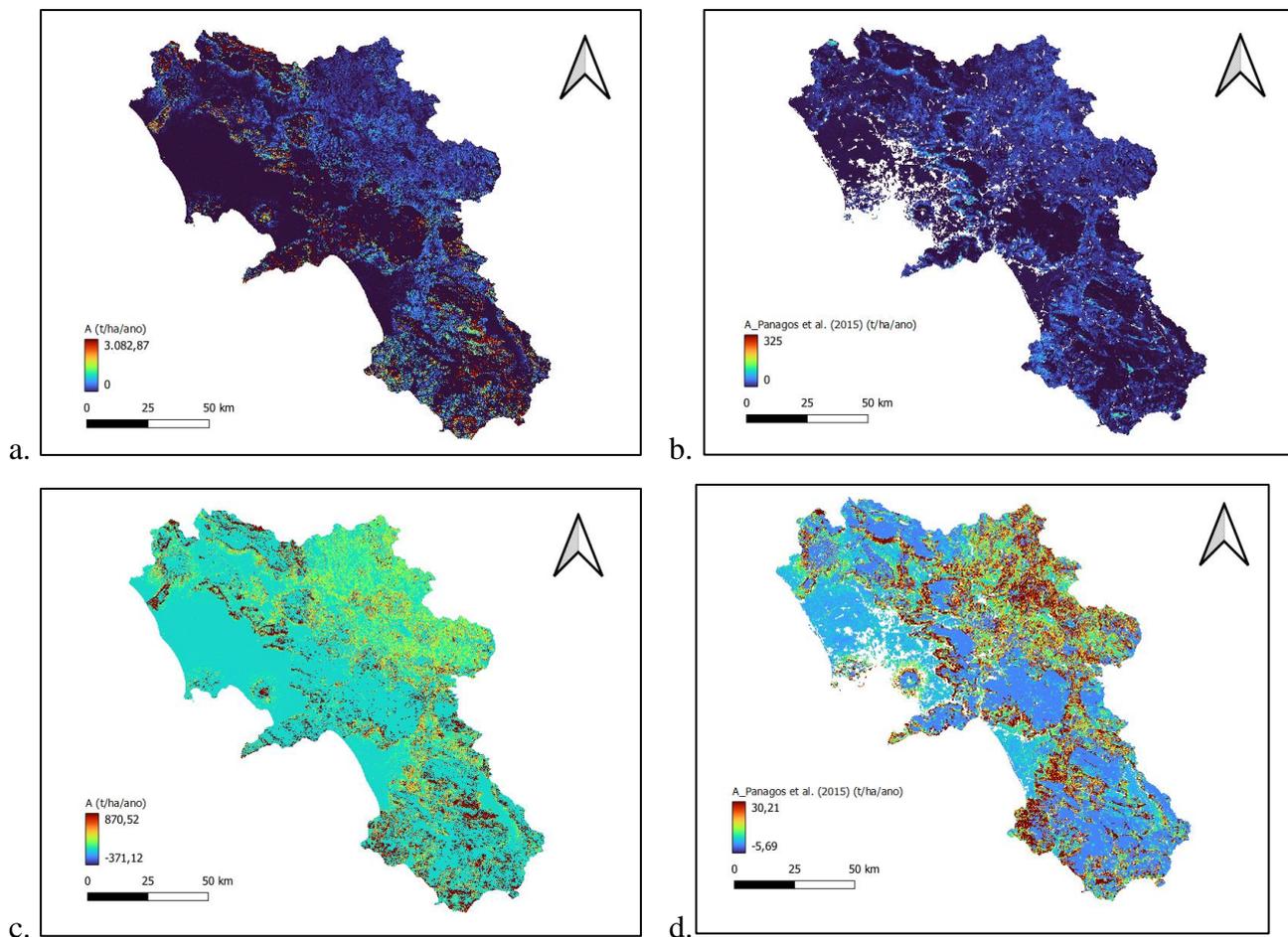
Para avaliar a diferença nos valores de perda de solo encontrados a partir de dados medidos em escala regional e os obtidos por Panagos (2015), foi utilizada a equação:

$$\text{Diferença} = \frac{\text{Variável_Calculada} - \text{Variável_Panagos}}{\text{Variável_Panagos}} \quad (5)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 6, seguem os mapas de perda de solo para a região da Campania, 6a o mapa calculado e em 6b o mapa de 100 metros de resolução espacial de Panagos et al. (2015), renderizados de acordo com os valores mínimos e máximos, e em 6c e 6d o mapa calculado e o de Panagos et. al (2015), renderizados de acordo com a média +- o desvio padrão. Observou-se que os maiores valores de erosão foram em zonas de maior declividade seja para os dados calculados que para os de Panagos. De acordo com Cogo et al. (2003), uma vez que a declividade aumenta, aumenta o volume e velocidade de escoamento, e diminui a infiltração da água, logo, aumenta a capacidade de desagregação e transporte de partícula.

Figura 6 – Mapas de perda de solo da região da Campania.



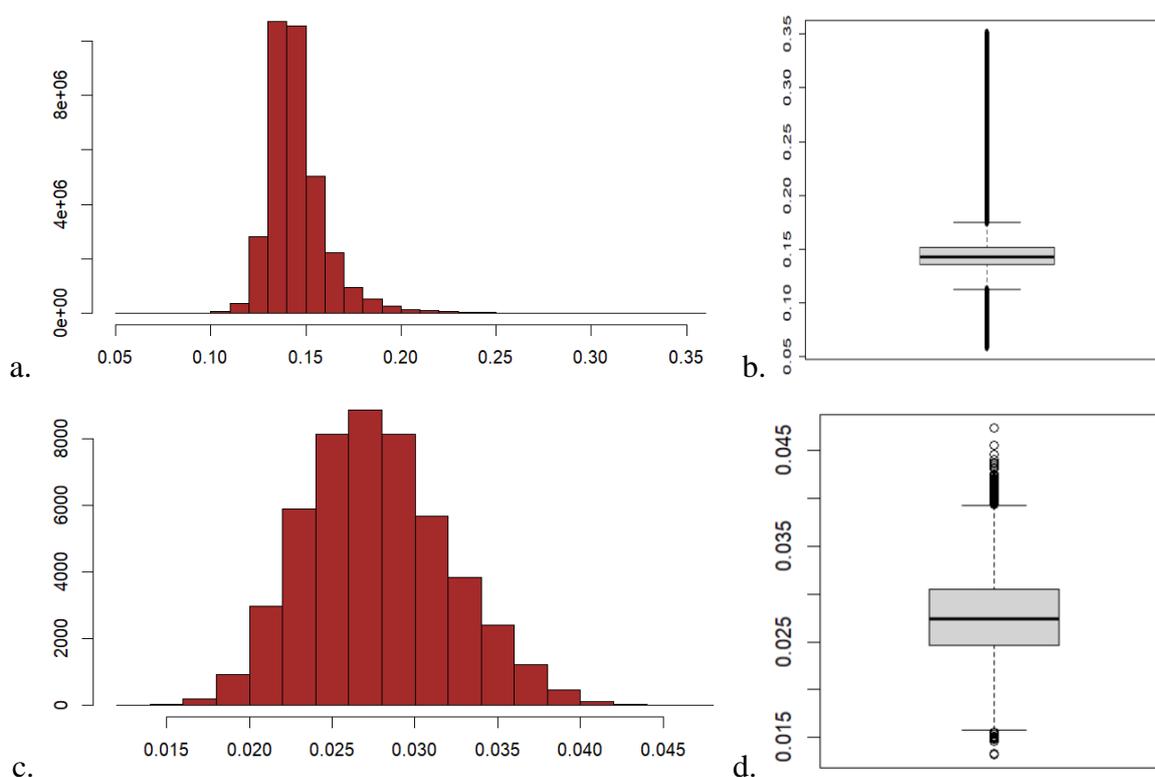
Fonte: Elaboração Própria

Obeve-se assim, um valor máximo para a perda de solo de 3082,87 toneladas anuais por hectare, no entanto este foi um valor com baixa frequência, sendo a média de 255,73 ton/ha/ano. Já a mediana, foi de 3,43 toneladas/ha/ano, evidenciando a grande variação de dados, desde áreas com erosão nula a áreas com altíssima perda de solo. Se não considerados os valores de erosão nulos, a mediana é de 23,33 ton/ha/ano. Isto mostra a maior presença de dados de perda de solo próximos a $2,0 \times 10^0$ do que a $2,6 \times 10^2$ ton/ha/ano. Para os dados de Panagos et al. (2015), o máximo foi de 325,00 ton/ha/ano, a média de 12,09 ton/ha/ano e a mediana de 5,10 ton/ha/ano.

Foi então calculada a diferença entre as estimativas conforme descrito na metodologia a fim de comparar os dados de erosividade, erodibilidade, LS e perda de solo calculados com os de Panagos et al. (2014, 2015).

Foram analisados os valores de erodibilidade (K) calculados e os de Panagos et al. (2014) primeiro separadamente e depois foi feita a diferença. Os valores calculados tiveram uma média de 0,145 t/ (MJ mm) uma mediana de 0,142 t/ (MJ mm) enquanto os de Panagos et al. (2014) tiveram uma média de 0,028 t/ (MJ mm) e uma mediana de 0,027 t/ (MJ mm), mostrando que os valores estavam subestimados na escala de menor detalhe, como pode ser observado na Figura 7. Já a diferença média dos valores foi de 4,4 e a mediana de 4,2, sendo uma diferença significativa. Isso pode ter sido resultado dos 2865 pontos amostrados pelo Laboratório de Hidráulica do Solo da Universidade de Estudos de Napoli Federico II (UNINA), permitindo maior precisão e sensibilidade a variação espacial dos dados em relação aos dados de Panagos (2014), obtidos com um modelo de regressão cubista aplicado para correlacionar dados espaciais como latitude, longitude, dados obtidos por sensoriamento remoto e características do terreno.

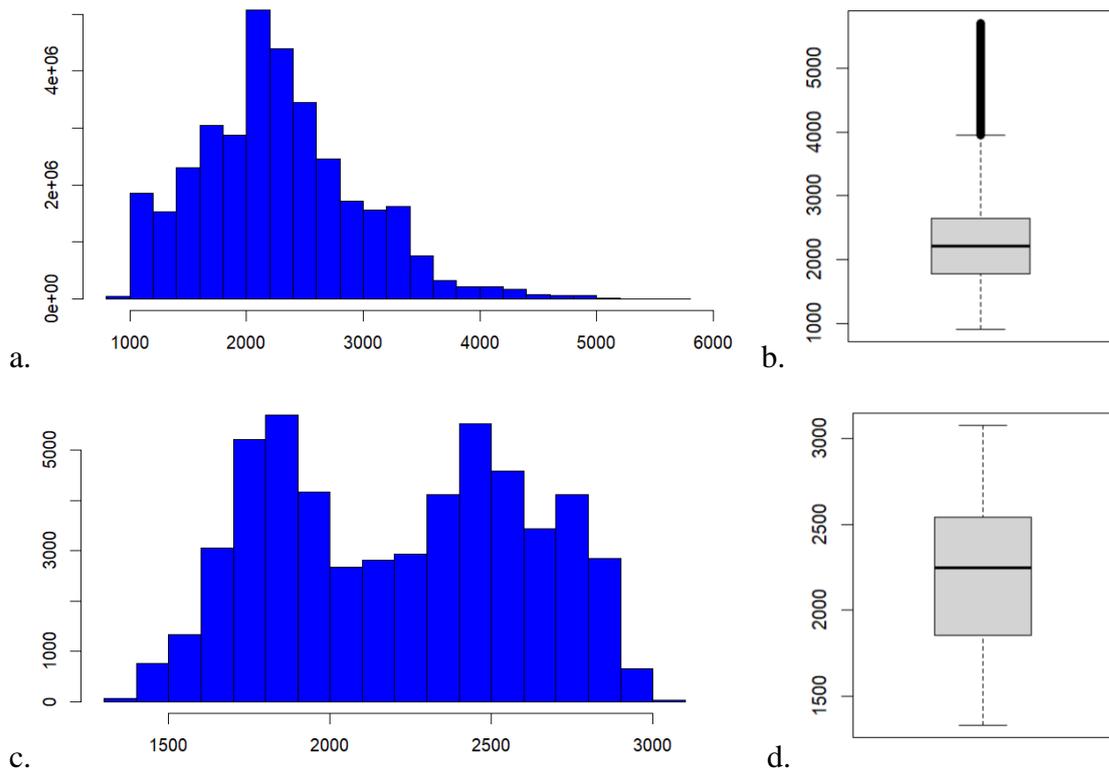
Figura 7 – Histograma e Boxplot dos valores de erodibilidade (K) calculados (a e b) e os de Panagos et al. (2014) (c e d)



Fonte: Elaboração Própria

Quanto à erosividade (R), o valor médio dos dados calculados foi 2268 MJ mm/(ha h ano) enquanto a mediana de 2207 MJ mm/(ha h ano), enquanto a média dos valores de Panagos et al. (2015) foi de 2216 MJ mm/(ha h ano) e a mediana de 2247 MJ mm/(ha h ano), como é possível observar nos histogramas e boxplots da Figura 8. Novamente, os valores estimados através dos dados desse estudo, obtidos através das 276 estações pluviométricas, foram mediamente maiores que os de Panagos et al. (2015) com 1675 estações, sendo apenas 251 em toda Itália (não somente na região de estudo), isto é, os dados com menor detalhamento foram subestimados. A média das diferenças entre as estimativas foi de 0,05 e a mediana de 0,04, mostrando uma diferença menos significativa entre os dados.

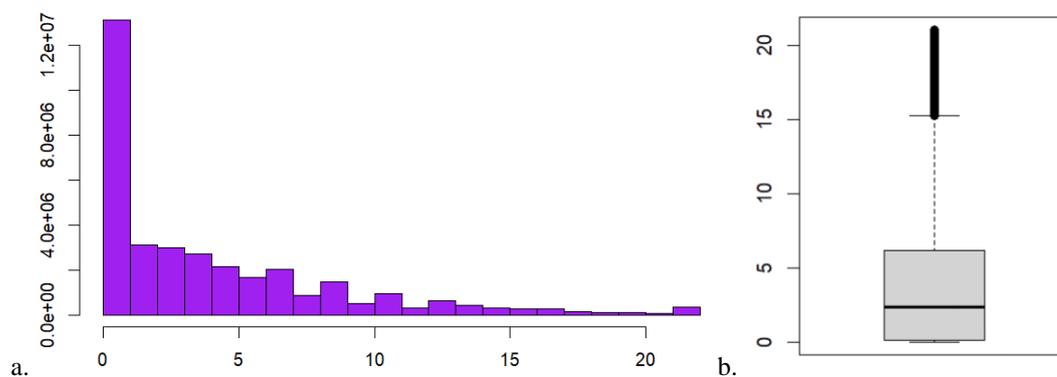
Figura 8 – Histograma e Boxplot dos valores de Erosividade (R) calculados (a e b) e os de Panagos et al. (2015) (c e d)

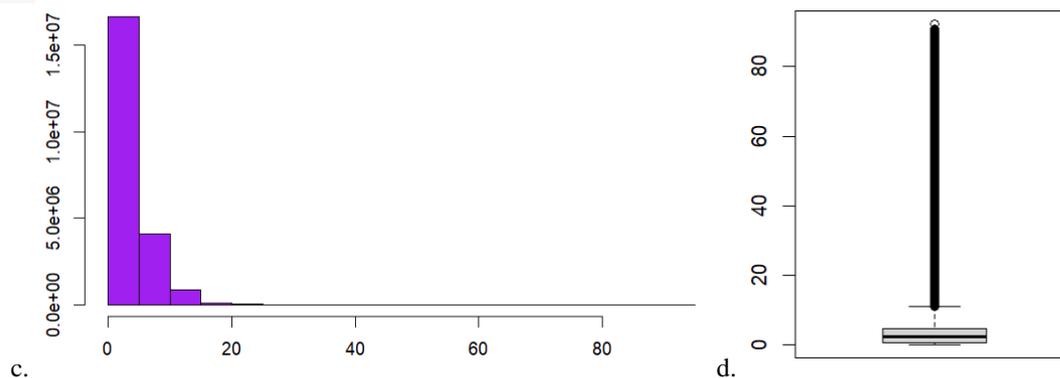


Fonte: Elaboração Própria

No que tange o fator LS , o calculado, com base no DEM de 20m de resolução, teve média de 3,99 e mediana de 2,39 enquanto a média de Panagos et al. (2015) com 25 metros de resolução foi de 3,41 e a mediana de 2,46, observou-se ainda na Figura 9 uma distribuição dos valores mais diluída nos dados calculados. A média da diferença foi de 0,20, enquanto a mediana de 0,01. Isso significa que novamente a maioria dos dados calculados foi maior que os de Panagos (2015). Considerando a média das diferenças, o fator LS foi um dos que mais se distanciaram de Panagos (2015), ressaltando a importância de um modelo de elevação digital com maior resolução espacial.

Figura 9 – Histograma e Boxplot dos valores do fator LS calculados (a e b) e os de Panagos et al. (2015) (c e d)

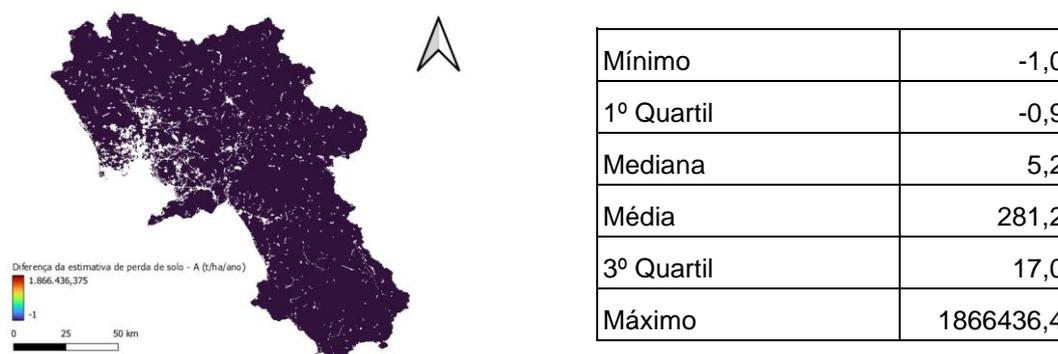




Fonte: Elaboração Própria

Quanto à perda de solo (A), a diferença média foi de 281,2, e a mediana de 5,2 (Figura 10). Isso mostra o impacto da maior resolução dos dados nos resultados obtidos, pois a escala continental de Panagos subestimou os dados quando comparados aos calculados na escala de região, principalmente devido aos dados relativos ao solo (que influenciam no fator K) e do modelo de elevação digital (que influenciam no fator LS). O fator LS e o K por terem tido a maior diferença, foram os maiores responsáveis pela diferença entre os valores de perda de solo. Ademais, os dados de Panagos et al. (2015) tinham uma resolução de 100 m, enquanto os dados calculados tinham resolução de 20 m, logo nos dados de Panagos et al. (2015), os valores mais altos foram amortizados, resultando na diferença significativa em relação aos valores calculados.

Figura 10 – Mapa e Tabela do boxplot das diferenças entre os valores de A calculados e os de Panagos (2015)



Fonte: Elaboração Própria

A diferença significativa entre os dados calculados e os de Panagos et al. (2015) evidencia a importância da maior resolução dos dados, incluindo maior número de amostragens para dados de solo e de estações no caso dos dados pluviométricos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação continental, com baixa resolução, subestimou os dados de perda de solo, isto é, a análise da erosão em menor escala com maior resolução espacial é essencial para um entendimento mais assertivo dos pontos mais críticos. Logo, é importante que em regiões que tenham maior erosão, numa análise de maior escala, sejam feitos estudos em menor escala com maior resolução, para a tomada de decisão do melhor plano de ação sem que os dados sejam amortizados.

REFERÊNCIAS

COGO, Neroli Pedro; LEVIEN, Renato; SCHWARZ, Ricardo Altair (2003). *Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 743-753.

LEBEL, T.; TAUPIN, J.D.; D'AMATO, N. (1997). "Rainfall monitoring during HAPEZ-Sahel. 1. General rainfall conditions and climatology". Journal of Hydrology 188-189(1-4), pp. 74 – 95.

LOPES, Vicente L.; ANDREASSIAN Vazken P.; DE ANDRADE, Eunice M. (1999). "ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DE BACIAS SOB CLIMA TIPO MEDITERRÂNEO." RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 4 n.1 Jan/Mar 1999, pp. 49-56.

PANAGOS, P.; BALLABIO, C.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; KLIK, A.; ROUSSEVA, S.; TADIC, M.P.; MICHAELIDES, S.; HRABALÍKOVÁ, M.; OLSEN, P.; AALTO, J.; LAKATOS, M.; RYMSZEWICZ, A.; DUMITRESCU, A.; BEGUERIA, S.; ALEWELL, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. Sci Total Environ. 511: 801-814.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K. (2015). A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. Geosciences, 5, p. 117-126.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., POESEN, J., BALLABIO, C., LUGATO, E., MEUSBURGER, K., & ALEWELL, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental science & policy, v. 54, pp. 438-447.

PANAGOS, P., MEUSBURGER, K., BALLABIO, C., BORRELLI, P., ALEWELL, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, Science of Total Environment, 479-480, pp. 189-200.

RADDI, Sabrina et al. (2013). Analisi dendroecologiche sulla reazione a siccità estiva, ristagno idrico invernale e salinità di *Fraxinus angustifolia* vahl. e *Quercus robur* l. a San Rossore (Pisa, Italia). In: Proceedings of the 9th SISEF National Congress "Multifunzionalità degli Ecosistemi Forestali: Sfide e Opportunità per la Ricerca e lo Sviluppo". SISEF–Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale. p. 80-80.

Rodrigues, S. C. M., DIAS, L. A. L., CARVALHO, A. C., FENZL, N.; DO CANTO LOPES, L. O. (2019). *Os recursos naturais no processo de desenvolvimento econômico capitalista*. Semioses, v. 13 n. 4, p. 50-68.