



Desenvolvimento de uma aplicação QGIS *Desktop* e *Web* baseada no método RUSLE

Lia DUARTE^{*1,3}, Ana Cláudia TEODORO^{1,3}, José Alberto GONÇALVES^{2,3} e Mário CUNHA^{3,4}

¹ Instituto Ciências da Terra (ICT); Polo FCUP

² CIIMAR, Universidade do Porto

³ Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

⁴ Centro de Investigação de Ciências Geoespaciais, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

(liaduarte@fc.up.pt; amteodor@fc.up.pt; jagoncal@fc.up.pt; mcunha@mail.icav.up.pt)

Palavras-chave: SIG, QGIS, RUSLE, Python

Resumo: O fenómeno da erosão dos solos é considerado um dos maiores problemas de carácter ambiental. Uma das metodologias mais usadas para estimar a perda dos solos e avaliar o risco de erosão é a RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*). A RUSLE é composta por 5 parâmetros, R (erosividade), K (erodibilidade), LS (topografia), C (ocupação do solo) e P (prática usada). O desenvolvimento de aplicações baseadas neste modelo é muito utilizado em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) proprietário. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma aplicação SIG *open source* que, baseado na RUSLE, permitisse avaliar o risco de erosão, assim como uma versão *web* que permitisse a um utilizador sem qualquer experiência em ambiente SIG mapear os riscos de erosão. Para o desenvolvimento da aplicação *desktop* foi utilizado o *software* QGIS 2.4 e diversas bibliotecas *open source*, tais como, *Numpy*, *PyQt4* e algoritmos pertencentes ao *Processing Toolbox* (*SAGA*, *Gdal/OGR* e *GRASS*). Na versão *web*, o código foi desenvolvido através da *framework* Django, com conexão ao *software* QGIS através de um servidor. A linguagem de programação utilizada foi o *Python*. A aplicação desenvolvida em QGIS *desktop* apresenta vantagens pois permite a importação das tabelas de atributos para a aplicação e incorporar vários métodos de interpolação. A versão *web* apresenta vantagens ao nível de poder criar os referidos mapas fazendo “*upload*” dos ficheiros necessários e sem o recurso a um *software* SIG. As duas aplicações foram testadas para o município de Montalegre.



1. Introdução

A erosão dos solos é considerado um dos maiores problemas de caráter ambiental, colocando em risco várias áreas do ambiente, da agricultura, dos recursos naturais, dos *habitats*, entre outros (Xu et al., 2012). A erosão dos solos consiste na divisão das partículas do solo em partículas mais finas que podem ser transportadas por agentes erosivos como a água ou o vento (Wordofa, 2011). O conhecimento preciso do risco de erosão dos solos e as suas consequências ambientais e económicas torna-se difícil de obter e, por esse motivo, é essencial definir medidas de prevenção na conservação dos recursos da água e do solo (Xu et al., 2012). Diversos fatores afetam e interferem com a erosão do solo, considerado um fenómeno natural, como sejam a degradação do solo, qualidade da água, sistemas hidrogeológicos, agricultura, vegetação, topografia, variáveis climáticas, características do solo, declives e o factor mais importante, a precipitação. Mesmo sendo considerado um fenómeno natural, fatores humanos, como as práticas agrícolas podem modificar a vegetação do solo e acelerar o processo de erosão do mesmo (Alexakis et al., 2013).

Para avaliar o risco de erosão do solo e estimar/simular a perda do solo, com diferentes finalidades é frequentemente utilizada a *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (USLE; Wischmeier e Smith, 1978, Renard et al., 1997). A RUSLE é composta por 5 parâmetros, R (erosividade), K (erodibilidade), LS (topografia), C (ocupação do solo) e P (prática usada). A RUSLE foi proposta pelo *USDA-Agricultural Research Service* para apoiar planos de conservação dos solos (Nearing et al., 2005). A RUSLE é frequentemente utilizada com dados adicionais da *EUROSEM* (*European Soil Erosion Model*) (Morgan et al., 1998), da *WEPP* (*Water Erosion Prediction Project*) (Flanagan e Nearing, 1995) e no cálculo do fator topográfico. A RUSLE é utilizada para estimar a erosão do solo e incorpora dados facilmente disponíveis, permitindo avaliar a influência dos diferentes fatores na erosão do solo, como seja o caso do clima, da topografia, entre outros (Alexakis et al., 2013). Apesar dos dados necessários para este modelo serem facilmente obtidos, o procedimento para a criação dos mapas de risco de erosão do solo utiliza várias ferramentas e este procedimento pode ser bastante árduo. Deste modo, a otimização dos processos de criação destes mapas seria de elevada utilidade. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são muito utilizados em diversas abordagens no processo de estimativa e criação dos mapas de risco de erosão, apresentando vantagens na modelação de informação geoespacial. Foram elaborados diversos estudos que combinam os SIG com a estimativa de perda do solo (Trabucchi et al., 2012; Oliveira et al., 2014; Kumar et al., 2014). Estes estudos foram desenvolvidos utilizando *software* proprietário, apresentando a desvantagem de não existir uma ferramenta adequada ao modelo e que possa ser adaptada e utilizada livremente. Assim, uma aplicação baseada em *software open source* que permita criar mapas de risco de erosão do solo com base na RUSLE e que possibilite a alteração do código e a respetiva parametrização de acordo com as condições locais, será uma mais valia para os modelos de erosão do solo. Para complementar uma ferramenta *open source*, seria igualmente útil uma página *web* que permitisse criar, visualizar e obter os mesmos mapas, sem que o utilizador tivesse a necessidade de estar ambientado com os SIG.

Este trabalho apresenta uma aplicação *desktop* num SIG *open source* que incorpora a RUSLE e permite a manipulação de variáveis complexas com diferente informação e diferentes parâmetros. A aplicação SIG e uma versão *web*, ambas de utilização livre, foram testadas para Montalegre. A versão *desktop* pode ser incorporada no QGIS a partir da versão 2.0 e apresenta vantagens relativamente aos procedimentos já existentes (baseados na RUSLE) por ser livre, fácil e com uma interface gráfica intuitiva. Se o utilizador não estiver familiarizado com um SIG pode utilizar a versão *web*, que pode ser acedida a partir de uma conexão da internet e obter os resultados pretendidos.

2. Metodologia

2.1 RUSLE

A RUSLE incorpora 6 factores para estimar a perda de solo média anual, de acordo com a equação 1:

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

Onde A representa o cálculo da estimativa média da perda de solo anual ($\text{ton km}^{-2} \text{ano}^{-1}$), R representa o fator de erosividade da precipitação ($\text{MJ mm km}^{-2} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$), K representa o fator de erodibilidade do solo ($\text{t km}^2 \text{h km}^{-2} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), LS representa a combinação do fator comprimento da encosta (L) com o fator declividade da encosta (S) (adimensionais), C representa o fator de



coberto vegetal e manutenção da cultura (adimensional) e P representa o fator de prática agrícola ou de medidas de controlo da erosão (adimensional, varia entre 0 e 1).

2.1.1 – Fator de erosividade R

O fator de erosividade indica a potencial perda de solo em função da intensidade da precipitação. É definido como a média anual do produto entre a energia cinética (E) da precipitação (MJ/ha) pela sua intensidade máxima para um período de 30 minutos (I30) (mm/h), sendo designado como índice de erosão (EI30) (Wischmeier et al., 1971). O EI30 não é um parâmetro que esteja disponível na maioria das estações meteorológicas, pelo que para a sua introdução na RUSLE recorre-se a algoritmos desenvolvidos para a sua estimativa com base em parâmetros meteorológicos mais fáceis de obter em estações meteorológicas convencionais. A aplicação desenvolvida incorpora o índice EI30 estimado de acordo com a metodologia apresentada em Loureiro e Coutinho (2001).

O fator R pode ser obtido com base em observações no local ou através de informação meteorológica. Na aplicação criada, foram implementados dois métodos para calcular o fator R: (i) através de uma *shapefile* de pontos com informação meteorológica, que são interpolados de acordo com um método escolhido pelo utilizador (IDW-*Inverse Distance Weighting*; Bonham-Carter, 1994), *Kriging* (Olaya, 2004), *Cubic Spline Approximation* (pertencente à biblioteca SAGA; Harber et al., (2001)) e *Spatial approximation using spline with tension* (pertencente à biblioteca do GRASS; GRASS GIS, (2013)), aplicando o índice de erosão EI30, (ii) através da atribuição do valor R à superfície.

2.1.2 – Fator de erodibilidade K

O fator de erodibilidade representa a suscetibilidade do solo à erosão. Este fator é relativo a várias características: textura do solo, tipo de solo, estrutura do solo, matéria orgânica, permeabilidade, entre outros (Wischmeier e Smith, 1978). O fator K pode ser estimado com base na equação proposta por Wischmeier et al. (1971):

$$K = \frac{2.1 \times [10]^{(-4)} (12 - OM) \times M^{1.14} + 3.25 \times (s - 2) + 2.5(p - 3)}{100} \quad (2)$$

Onde OM (%) representa a matéria orgânica, s representa a classe de estrutura do solo, p a classe de permeabilidade e M (%) é a variável derivada da textura granular do solo: $M = (\%Msilt) \times (\%silt + \%sand)$, onde Msilt representa a percentagem de argila modificada que varia entre 0.002 e 0.1 mm. Para estimar este fator é pressuposto o conhecimento de todos os constituintes referidos o que se torna difícil nomeadamente para a permeabilidade e estrutura do solo. Em Portugal, devido ao facto da informação sobre o fator K ser heterogénea, dispersa e por vezes inconsistente, foram criadas tabelas de forma a simplificar o cálculo do fator (Pimenta, 1998). Essas tabelas foram incorporadas nesta aplicação, no formato *pdf* para que o utilizador possa consultar. A aplicação desenvolvida incorpora dois métodos: (i) uma tabela onde o utilizador pode atribuir valores correspondentes às diferentes características e, através da equação (2) a aplicação calcula o fator K; (ii) o utilizador tem a possibilidade de consultar as tabelas e atribuir manualmente o fator K a cada tipo de solo.

2.1.3 – Fator topográfico LS

O fator LS representa o efeito da topografia na erosão do solo (Renard et al., 1997). Geralmente os fatores L (comprimento da encosta) e S (declividade da encosta) são avaliados em conjunto na previsão da erosão. Este fator representa a relação entre as perdas de solo numa área com os de uma parcela com valores de declive (9%) e comprimento da encosta (22.1 m) que se considera ter uma erosão padronizada com valor 1 (Wischmeier e Smith, 1978). Os valores que constituem o fator LS podem ser obtidos diretamente no terreno ou a partir da informação altimétrica (curvas de nível ou MDT - Modelo Digital do Terreno); Renard et al., 1997). São utilizadas várias equações que permitem calcular o fator LS. Wischmeier e Smith (1978) propôs o cálculo do fator LS de acordo com a equação (3):

$$LS = \left(\frac{X}{22.1}\right)^m (0.065 + 0.0456 \times S + 0.0065 \times S^2) \quad (3)$$

Onde X representa o fator L (metros), S corresponde ao fator S (%) e o valor m varia de acordo com os declives (%) e varia entre 0.2 e 0.5: declives $\geq 5\%$, $m=0.5$; declives com valores entre 3.5 e 4.5%, $m=0.4$, declives com valores entre 1 e 3, $m=0.3$ e declives



< 1% ou gradientes uniformes, $m=0.2$. A aplicação desenvolvida permite a criação do mapa do fator LS através do tema de curvas de nível ou do MDT.

2.1.4 – Fator de coberto vegetal e manutenção de cobertura C

O fator C é usado para inferir o efeito das culturas praticadas e das práticas associadas para a sua manutenção nos níveis de erosão do solo. O fator C assume o valor 1 para solo nu e valores menores que 1 conforme o aumento da cobertura do solo, o que implica menos erosão do solo. Para estimar este fator, concorrem várias abordagens, no entanto na aplicação criada, o fator C pode ser estimado com base nas tabelas criadas para Portugal (Pimenta, 1998). O fator C é estimado a partir da informação da CLC (*Corine Land Cover*) ou da COS (Carta de Ocupação do Solo). O processo é idêntico ao do fator K onde o utilizador pode aceder às tabelas em formato *pdf* e atribuir a cada classificação de ocupação do solo o respetivo valor. A aplicação fornece a possibilidade de importar a tabela de atributos de forma a atribuir o valor e assim manipular a mesma.

2.1.5 – Fator de prática agrícola ou medidas de controlo de erosão P

O fator P representa um rácio que incorpora a influência das práticas de conservação do solo tais como culturas em faixas ou terraceamento (Renard et al. 1997). Os valores do fator P variam entre 0 e 1, onde valores iguais a 0 ou menores que 1 são usados quando a prática de conservação adotada reduz a erosão do solo. Valores iguais a 1 são adotados quando o terreno é diretamente cultivado em zonas com declives acentuados. De forma a obter o mapa para o fator P é necessária informação relativa à cobertura/uso do solo. Da mesma forma que os fatores K e C, este fator pode ser obtido com base na consulta das tabelas adotadas para Portugal.

2.2 Software Open Source QGIS

De forma a implementar o método RUSLE num SIG *open source*, foi desenvolvida uma aplicação na versão *desktop* do *software* QGIS versão 2.4. A escolha deste *software* incidiu nas diversas ferramentas de manipulação geográfica que este fornece e no facto de ser robusto e permitir de forma fácil o desenvolvimento de *plugins*/ferramentas/aplicações. *Plugins* são extensões, por vezes em forma de barra de ferramentas, que permitem contribuir para a evolução do *software*. A escolha por este *software* também se deveu à experiência dos autores na criação de aplicações neste ambiente (Teodoro e Duarte, 2013; Duarte et al., 2015; Duarte e Teodoro, 2015). O QGIS é um *software* livre (*open source*) pois respeita as “quatro liberdades de Stallman”: liberdade para correr o programa, liberdade de estudar como o programa trabalha e modificar o mesmo; liberdade de redistribuir a versão e liberdade de distribuir cópias da versão modificada (Stallman, 2007). O QGIS é desenvolvido em C++ e fornece um apoio *online* com diversos tutoriais para o desenvolvimento de *plugins*. Na criação da aplicação em estudo foram utilizadas diversas bibliotecas, APIs (*Application Programming Interface*) e algoritmos, como p.e., biblioteca *Numpy*, biblioteca *SAGA*, QGIS API, *Gdal/OGR* API e *PyQt4* API. Algoritmos como *ordinarykrigingglobal*, *clipgridwithpolygon* e *cubicsplineapproximation* pertencentes à biblioteca *SAGA* e *r.mapcalculator*, *v.surf.idw* e *v.surf.rst* pertencentes à biblioteca *GRASS* foram também implementados. A aplicação foi desenvolvida na linguagem *Python*, baseada também numa licença *open source*. *Python* é a linguagem utilizada no desenvolvimento de *plugins* no QGIS, que apresenta também uma estrutura própria definida na página oficial do *software* (QGIS, 2015).

3. Aplicação RUSLE

Foi desenvolvida uma aplicação com o objetivo de estimar a erosão e perda dos solos e criar mapas com base no método RUSLE. O mesmo método foi adaptado a duas versões diferentes: versão *desktop* (desenvolvida no *software* QGIS) e versão *web* (página *web* que permite criar os mapas).

3.1 Versão desktop

A versão *desktop* da aplicação desenvolvida consiste numa barra de ferramentas composta por seis botões. Cada botão permite criar um fator do método RUSLE e o último botão permite conjugar os cinco fatores (o fator LS foi considerado como um) e criar o mapa de risco de erosão dos solos baseado no método da RUSLE. A Figura 1 apresenta a interface gráfica da barra de ferramentas criada e incorporada no *software* QGIS.

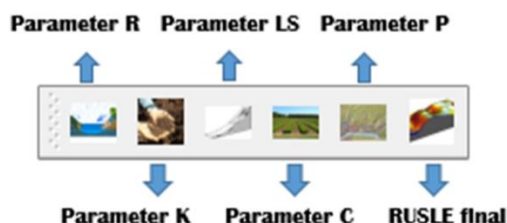


Figura 1 – Barra de ferramentas da aplicação RUSLE

Cada botão é composto por um conjunto de parâmetros, tais como: campo de ficheiro de entrada, campo de ficheiro de saída e outros. Os ficheiros de entrada e de saída permitem aceder a um diretório. Outros botões básicos foram também criados como *Ok*, *Cancel* e *Help*.

3.2 Versão web

A versão *web* da aplicação criada foi também baseada nas bibliotecas e APIs do *software* QGIS, no entanto apresenta a vantagem de o utilizador não necessitar de saber usar o QGIS (e ter o QGIS instalado) para criar os mapas necessários. A versão *web* foi desenvolvida através da *framework* Django. O Django é uma *framework* de aplicação *web* desenvolvida em *Python* de alto nível. É também baseada no conceito *open source* e é desenhada como um suporte para o desenvolvimento dinâmico de *websites* e aplicações *web*. A aplicação é constituída por um conjunto de funções e de páginas HTML criadas de acordo com a estrutura definida pelo Django e de acordo com a interface gráfica pretendida. O código foi desenvolvido em *Python* e utiliza as mesmas bibliotecas que a aplicação em versão *desktop*. A *framework* está internamente conectada ao *software* QGIS (que está instalado no servidor) de forma a criar os devidos mapas. A Figura 2 apresenta a página de rosto da aplicação *web*, assim como uma aba lateral com a possibilidade de criação dos vários mapas. A aba lateral é composta pelos cinco fatores e um último botão que permite criar o mapa de risco de erosão dos solos. Cada um dos fatores permite fazer o *upload* de um ficheiro em formato *zip* com a informação necessária para criar o respetivo mapa. No final o utilizador pode fazer o *download* do resultado, em formato *jpeg*. Os mapas resultantes encontram-se compostos pela sua escala e legenda de cor.

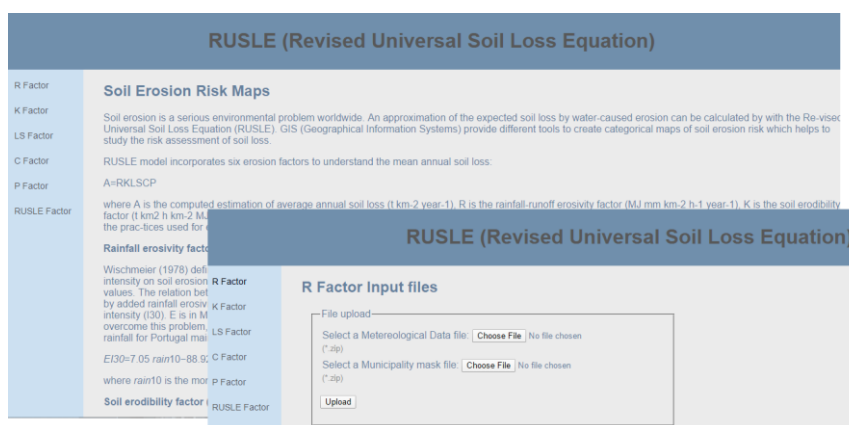


Figura 2 – Página de rosto da aplicação RUSLE web composta pelo texto principal e a aba lateral com os parâmetros do método RUSLE

4. Resultados e discussão

De forma a testar as duas versões criadas, foi utilizado como caso de estudo o município de Montalegre (norte de Portugal), que apresenta, aproximadamente, 80,580 hectares de área e é caracterizado pelo clima Atlântico com ocorrências de elevada precipitação (1531 mm/ano), sobretudo entre o outono e a primavera. É caracterizado também por zonas com elevados declives



(região montanhosa) o que implica elevado risco de erosão. O município de Montalegre foi escolhido como caso de estudo devido aos dados disponíveis, assim como à variedade de classes de declives e de uso do solo existentes. Os ficheiros *raster* utilizados neste caso de estudo apresentam uma resolução espacial de 20 metros (resolução espacial do MDT utilizado) e o sistema de coordenadas utilizado foi o ETRS89 PT-TM06 (EPSG:3763). Para as duas versões desenvolvidas foram utilizados os mesmos métodos na criação dos mapas referentes a cada um dos fatores considerados.

O mapa referente ao fator R, foi criado utilizando a informação meteorológica do município, usando uma base de dados da precipitação mensal desde janeiro de 1981 até dezembro de 2008 (28 anos). Para cada ano, a precipitação mensal foi calculada para os dias com mais do que 10.0 mm e o número mensal de dias com precipitação maior do que 10.0 mm. Através da aplicação *desktop*, os parâmetros foram definidos com os atributos relativos à precipitação e foi escolhido o método IDW e o índice EI30 para criar a superfície. Neste estudo, como os dados derivaram apenas de uma estação meteorológica, foi obtida uma superfície com um valor constante. Na aplicação *web*, o mesmo mapa foi criado com a desvantagem de o utilizador inserir os atributos relativos à precipitação na tabela de atributos de forma a que a aplicação reconheça os campos que deve usar e assim criar o mapa do fator R.

O fator K foi criado a partir do mapa de solos de Montalegre. De acordo com este mapa, 86% da área do município é classificada com Cambissolos e 14% com Rankers (nível de classificação disponibilizada). Neste caso de estudo, os autores não dispunham de informação granulométrica dos solos e por isso foram consultadas as tabelas de Pimenta (1998). Na aplicação *desktop*, o utilizador definiu o atributo que continha o tipo de solo e atribuiu, com base nas tabelas, o fator a cada tipo de solo. Na aplicação *web*, o utilizador tem que definir os valores do fator K na tabela de atributos de forma a que a aplicação possa interpretar e criar o devido mapa.

O fator LS foi criado com base no MDT do município que tinha uma resolução espacial de 20 metros. Na aplicação *web*, o MDT foi também inserido sendo criado o respetivo mapa do fator LS.

O fator C foi criado com base na COS de 2007 (nível 2). De acordo com este nível de informação, 44% das zonas são classificadas como florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea, 23% como florestas, 17% como espaços livres, 12% como culturas temporárias e áreas agrícolas heterogêneas, 3% como águas interiores e 1% como territórios artificializados, culturas e pastagens permanentes. Na aplicação *desktop* a tabela de atributos foi importada e os valores foram atribuídos de acordo com as tabelas de Pimenta (1998). Através da aplicação *web*, o mapa foi criado utilizando novamente a COS de 2007 mas com os valores definidos previamente na tabela de atributos.

O fator P, foi também baseado na COS de 2007 e os valores foram atribuídos de acordo com a tabela apresentada por Kumar e Kushwaha (2013). Da mesma forma, na aplicação *web*, foi criado o mapa do fator P a partir da COS de 2007, com os valores previamente inseridos na tabela de atributos.

O mapa final foi criado na aplicação *desktop* e na aplicação *web* resultando da multiplicação dos cinco mapas anteriormente criados. Na aplicação *desktop* foi necessário inserir cada mapa no respetivo campo e criar o mapa final. No caso da aplicação *web*, apenas foi necessário clicar no botão "Create" e a aplicação internamente acede aos mapas já criados e cria o mapa final.

Os resultados obtidos com a aplicação *desktop* não incorporam os elementos de um mapa, por isso foram utilizadas as ferramentas do QGIS de forma a criar um mapa composto com escala e legenda. Na aplicação *web*, os mapas são descarregados com o formato de impressão e já com legenda e escala.

A interpretação do nível de erosão (muito elevado, elevado, médio, baixo e muito baixo) é crucial para a cartografia de risco de erosão do solo. A Figura 3 apresenta o mapa final baseado no método RUSLE e obtido através da aplicação *desktop* (esquerda) e da aplicação *web* (direita).

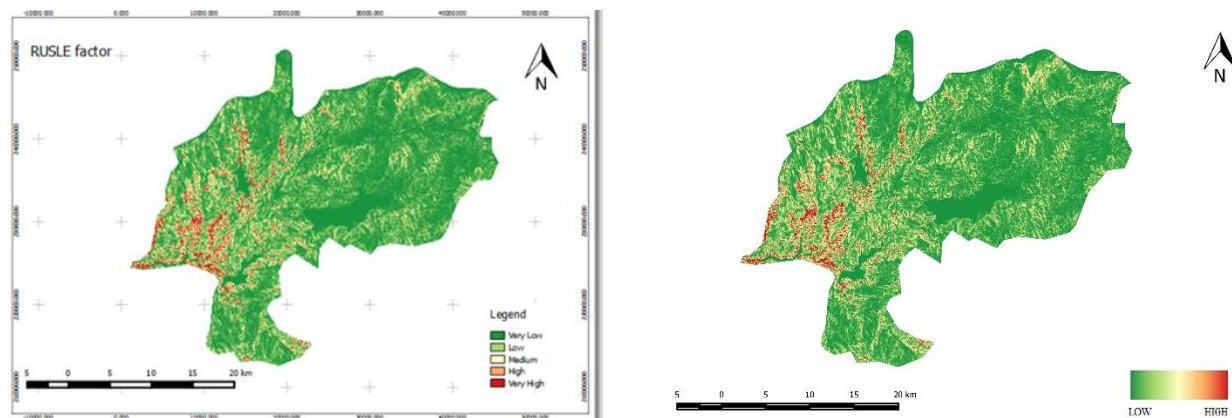


Figura 3 – Mapa de risco de erosão do solo baseado no método RUSLE para Montalegre criado através da aplicação *desktop* (esquerda) e da aplicação *web* (direita)

Os mapas apresentados na Figura 3 foram obtidos de acordo com a metodologia descrita para as duas versões, *desktop* e *web*. Os mapas obtidos são iguais, como seria o esperado tendo em conta que a metodologia utilizada é a mesma. Através da análise do mapa final pode-se verificar que 29% da área de estudo é caracterizada por um nível de erosão do solo reduzido, enquanto que 6% da área é classificada com nível de erosão elevado e 8% com nível de erosão do solo muito elevado. Concluiu-se que existe relação com as zonas de maior declive, onde 4% da área está caracterizada com elevados valores de declives coincidindo com zonas com risco de erosão muito elevado. Embora a zona de estudo seja uma zona com declives acentuados, foi classificada com baixo risco de erosão na maioria do município. Este facto pode ser justificado pelas medidas de proteção agrícolas tomadas nessa zona, nomeadamente os prados permanentes. O fator C permite avaliar essas medidas e, através desta aplicação é possível estimar o efeito dessas medidas numa avaliação do risco de erosão, manipulando este fator e verificando o resultado. A aplicação *web* apresenta a vantagem de criar o mapa com os elementos necessários, e o utilizador não necessita de saber manipular informação com o QGIS. A aplicação *desktop* fornece a flexibilidade de alterar valores e combinar vários parâmetros, assim como importar a informação presente na tabela de atributos e fornecer a possibilidade de utilizar vários métodos de interpolação. Os mapas resultantes são mais flexíveis que os mapas obtidos com a aplicação *web*. No entanto, as duas versões podem ser muito úteis para avaliar níveis de erosão do solo.

5. Conclusões

O controlo da erosão é vital e de importância crescente se se deseja satisfazer a crescente procura de alimentos no mundo. O solo é um recurso escasso e frágil pelo que o planeamento sustentável do seu uso deve ter em consideração os riscos de erosão associados. Neste trabalho foi desenvolvida uma aplicação SIG *open source* que, baseado na RUSLE, permitisse avaliar o risco de erosão, assim como uma versão *web* que permitisse a um utilizador sem qualquer experiência em ambiente SIG mapear os riscos de erosão. A fiabilidade e operacionalidade desta ferramenta permitem a sua utilização expedita em práticas de rotina para simular os riscos de erosão associados ao uso do solo e selecção de medidas alternativas de conservação do solo.

Referências Bibliográficas

- Alexakis, D.D.; Hadjimitsis D.G.; Agapiou A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. Atmospheric Research, Vol. 131, Págs. 108-124.
- Bonham-Carter, G.F. (1994). Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS. Computer Method in Geosciences, Vol. 13, Págs. 152-153.
- Duarte, L.; Teodoro, A. C. (2015). An easy, accurate and efficient procedure to create Forest Fire Risk Maps using Modeler (SEXTANTE plugin). Journal of Forestry Research (in press).



- Duarte, L.; Teodoro, A. C.; Gonçalves, J.A.; Guerner Dias, A.J.; Espinha Marques, J. (2015). A dynamic map application for the assessment of groundwater vulnerability to pollution. *Environmental Earth Sciences*. doi:10.1007/s12665-015-4222-0.
- Flanagan, D.C.; Nearing, M.A. (1995). USDA-water erosion prediction project: hillslope and watershed model documentation. NSERL report no 10. West Lafayette Ind. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- GRASS GIS, (2013). The world's leading Free GIS software, <http://grass.osgeo.org/>, consultada em Fevereiro de 2015.
- Haber, J.; Zeilfelder, F.; Davydov, O.; Seidel, H.P. (2001). Smooth Approximation and Rendering of Large Scattered Data Sets, In: Th Ertl, K Joy and A Varshney (Eds) *Proceedings of IEEE Visualization 2001*, IEEE Computer Society, Vol. 571, Págs. 341-347.
- Kumar, S.; Kushwaha, S.P.S. (2013). Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed. *Journal Earth System Science*, Vol. 122, No. 2, Págs. 389-398.
- Kumar, A.; Devi, M.; Deshmukh, B. (2014). Integrated Remote Sensing and Geographic Information System Based RUSLE Modelling for Estimation of Soil Loss in Western Himalaya, India. *Water Resources Management*, Vol. 28, Págs. 3307-3317.
- Loureiro, N.S.; Coutinho, M.A. (2001). A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*, Vol. 250, Págs. 12-18.
- Morgan, R.P.C.; Quinton, J. N.; Smith, R.E.; Govers, G.; Poesen, J.W.A.; Auerswald, K.; Chisci, G.; Torri, D.; Styczen, M.E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 23, Págs. 527-544.
- Nearing, M.A.; Jetten, V.; Baffaut, C.; Cerdan, O.; Couturier, A.; Hernandez, M.; Le Bissonnais, Y.; Nichols, M.H.; Nunes, J.P.; Renschler, C.S.; Souchère, V.; van Oost, K. (2005). Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena*, Vol. 61, Págs. 131-154.
- Olaya, V. (2004). A gentle introduction to SAGA GIS, Edition 1.1, Rev. December 9.
- Oliveira, V.A.; Mello, C.R.; Durães, M.F.; Silva, A.M. (2014). Soil erosion vulnerability in the Verde river basin, southern Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Vol. 38, Págs. 262-269.
- Pimenta, M.T. (1998). Directrizes para a aplicação da equação universal de perda dos solos em SIG, Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K. INAG/DSRH (Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos), Lisbon, Portugal.
- QGIS, (2013). QGIS Project, <http://www.qgis.org/> consultado em Fevereiro de 2015.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook*, US Department of Agriculture, Washington, DC., Vol. 703, Págs. 1-251.
- Stallman, P. (2007). Why 'Open Source' misses the point of free software. GNU Operating System, <http://www.gnu.org/philosophy/open-sourcemisses-the-point.html> consultado em Fevereiro de 2015.
- Teodoro A.C.; and Duarte L. (2013). Forest Fire risk maps: a GIS open source application – a case study in Norwest of Portugal. *International Journal of Geographic Information Science*, Vol. 27, No. 4, Págs. 699-720.
- Trabucchi, M.; Puente, C.; Comin, F.A.; Olague, G.; Smith, S.V. (2012). Mapping erosion risk at the basin scale in a Mediterranean environment with opencast coal mines to target restoration actions. *Regional Environmental Change*, Vol. 12, Págs. 675-687.
- Wischmeier, W. H.; Johnson C.B.; Cross., B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farm-land and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 26, Págs. 189-193.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning with Universal Soil Loss Equation (USLE). *Agriculture Handbook*, Department of Agriculture, Washington, DC, Vol. 703.
- Wordofa, G. (2011). Soil erosion modeling using GIS and RUSLE on the Eurajoki watershed Finland. Tampere university of applied sciences, degree program in environmental engineering, Bachelor's Thesis.
- Xu, L.; Xu, X.; Meng X. (2012). Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: A case study of Bohai Rim, China. *Catena*, Vol. 100, Págs. 74-82.