



Instituto de Geografia
e Ordenamento do Território
UNIVERSIDADE DE LISBOA

Avaliação da erosão hídrica do solo em SIG no contexto da REN

Eusébio Reis

Direção Geral do Território
1 de junho de 2016

FATORES DE EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

$$A = f(R, L, S, K, C, P)$$

- **A** é a perda de solo
- **R** é a ação da chuva e escoamento (erosividade)
- **L** é a influência da extensão das vertentes
- **S** é a influência da inclinação das vertentes
- **K** é a resistência do solo à erosão (erodibilidade)
- **C** é a proteção da cobertura do solo
- **P** é a proteção associada às práticas agrícolas

“Equação Universal de Perda do Solo”

EUPS (USLE)

$$A = R K L S C P$$

- **A** é a perda de solo calculada (*ton/ha/ano*)

Fatores:

- **R** é a erosividade da chuva/escoamento (*MJ. mm. h⁻¹. ha⁻¹. ano⁻¹*)
- **K** é a erodibilidade do solo (*t. h . MJ⁻¹ . mm⁻¹*)
- **L** é o comprimento das vertentes [adim.]
- **S** é a inclinação das vertentes [adim.]
- **C** é a cobertura do solo [0-1]
- **P** é a prática agrícola [0-1] (Wischmeier e Smith, 1978, Agriculture Handbook 537 (51))

“Equação Universal de Perda do Solo” EUPS (USLE)

$$A = R K L S C P$$

DR 1.ª série - N.º 232
- 30 de novembro de
2012

$$Pse = SDR \times A$$

$$SDR = 0,332 A_b^{-0,2236}$$

$$A = 2,24 \times \bar{R} \times K \times LS \times C \times P$$

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72,6} \right)^m (65,41 \text{sen}^2 \theta + 4,56 \text{sen} \theta + 0,065)$$

Declive	<i>m</i>
Maior ou igual a 5 %	0,54
Entre 3,5 e 4,5 %	0,40
Entre 1 e 3 %	0,30
Inferior a 1 %	0,20

A erosão do solo no contexto da REN

DELIMITAÇÃO DA REN

(Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo)

Aplicação da metodologia do DL 166/2008, de 22 de Agosto

Bases de informação / elementos de trabalho:

- Carta de Solos de Portugal (1/25.000)
- Mapa da erosividade da precipitação (<http://snirh.pt>)
- Valores de erodibilidade dos solos (Pimenta, 1999)
- MNE (informação altimétrica na escala 1/10.000)
- Mapa de declives
- Mapa de fluxos acumulados
- Censos 2011
- Corine Land Cover / COS'90

A erosão do solo no contexto da REN

DELIMITAÇÃO DA REN

(Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo)

Aplicação da metodologia do DL 239/2012, de 2 de Novembro, com **NOVAS INDICAÇÕES**

$$Pse = 0,332 \cdot A_b^{-0,2236} \cdot \left(2,24 \cdot R \cdot K \cdot \left(\left(\frac{\lambda}{72,6} \right)^m \cdot (65,41 \sin^2 \theta + 4,56 \sin \theta + 0,065) \right) \right) C \cdot P$$

em que:

$$REN = Pse > 25$$

A_b representa a área de drenagem em km²

2,24 é a constante que visa a conversão das unidades anglo-saxónicas para o Sistema Internacional

R é o factor de erosividade da precipitação (eventos p. tot. > 50,8 mm; unidades: tamericanas.pé/acre)

K é o factor relativo à erodibilidade dos solos (Pimenta, 1999)

λ é o comprimento do desnível em pés

m é o coeficiente que depende do declive

θ é o ângulo associado à inclinação do desnível

C é o factor relativo ao tipo de culturas (Corine Land Cover/COS'90, e o valor de C (Pimenta, 1999))

P é o factor antrópico, baseado na dens. pop. dos concelhos do continente (20 classes, 5% a 100%)

O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de Erosividade da chuva (R)

DR 1.^a série - N.º 232
- 30 de novembro de
2012

ATLAS DA ÁGUA (SNIAmb)

<http://sniamb.apambiente.pt/>

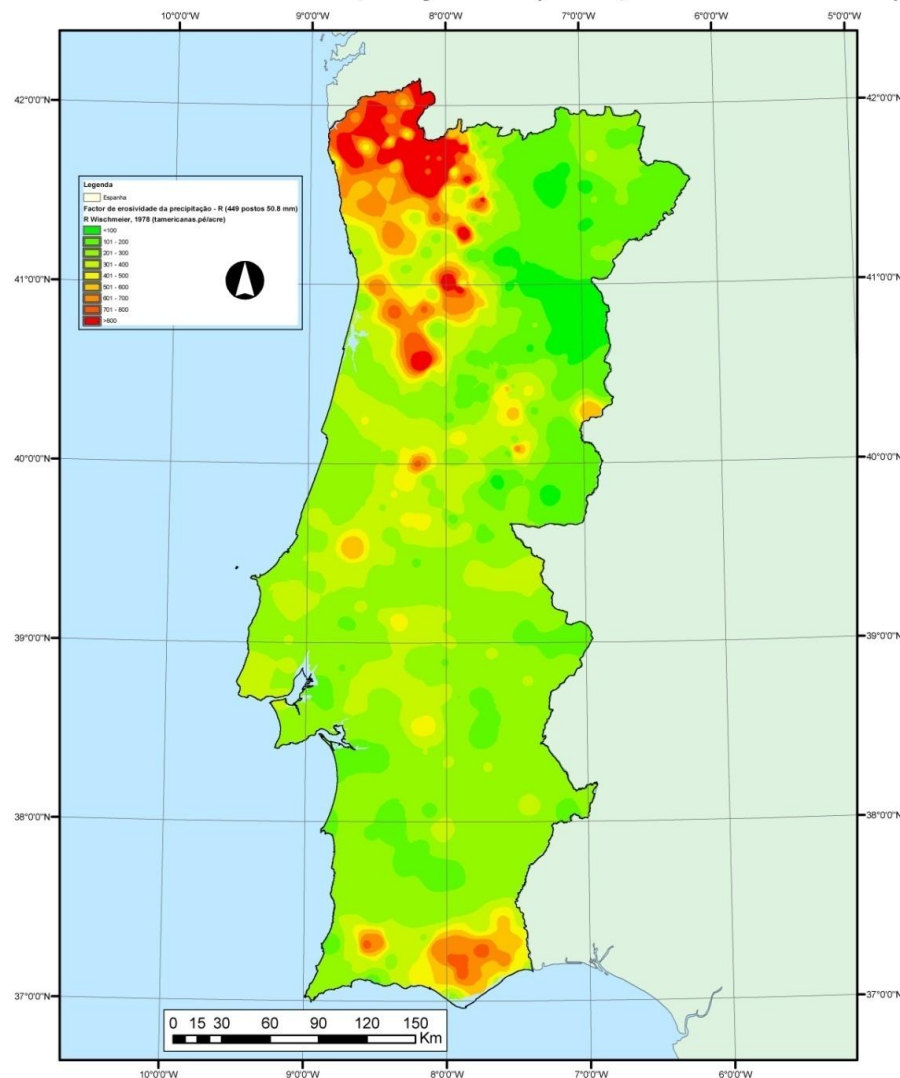
Os valores de R deste mapa estão em unidades americanas (ton[americanas].pé/acre).

1 tonelada americana = 0,907 t (Sistema Métrico)
ou 907,18 kg (Sistema Internacional)

A conversão do Sistema Inglês (ton) para o Sistema Métrico (t) pode ser feita através da expressão:

$$t = \text{ton}/1,1023$$

Erosividade da Precipitação R (449 postos 50.8 mm)



Julho 2009

Informação de base
Modelo Numérico da erosividade da Precipitação
Claudia Brandão INAG/DMSIDH 2003

Limites da Península Ibérica obtida do
"Digital Chart of the World"



O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de Erosividade da chuva (R)

Região da Grande Lisboa (Coutinho e Santos, 1986)

$$R = 0,30 P - 50$$

P - precipitação média anual

Vale Formoso

$$EI_{30} = 0,0181 \cdot P^{1,76} \quad r^2 = 77\% \quad (3.2)$$
$$EI_{30} = -930,2 + 4,258.P \quad r^2 = 77\% \quad (3.3)$$

(limites: P entre 220 e 980 mm; comprimento da série: 30 anos)

Portela

$$EI_{30} = 0,0171 \cdot P^{1,73} \quad r^2 = 75\% \quad (3.4)$$
$$EI_{30} = -600,6 + 3,025.P \quad r^2 = 64\% \quad (3.5)$$

(limites: P entre 325 e 960 mm; comprimento da série: 14 anos)

Sassoeiros

$$EI_{30} = 0,0155 \cdot P^{1,73} \quad r^2 = 65\% \quad (3.6)$$
$$EI_{30} = -560,1 + 2,759.P \quad r^2 = 51\% \quad (3.7)$$

(limites: P entre 350 e 850 mm; comprimento da série: 13 anos)

Conjunto das três estações

$$EI_{30} = -685,3 + 3,406.P \quad r^2 = 64\% \quad (3.8)$$

(limites: P entre 220 e 980 mm)

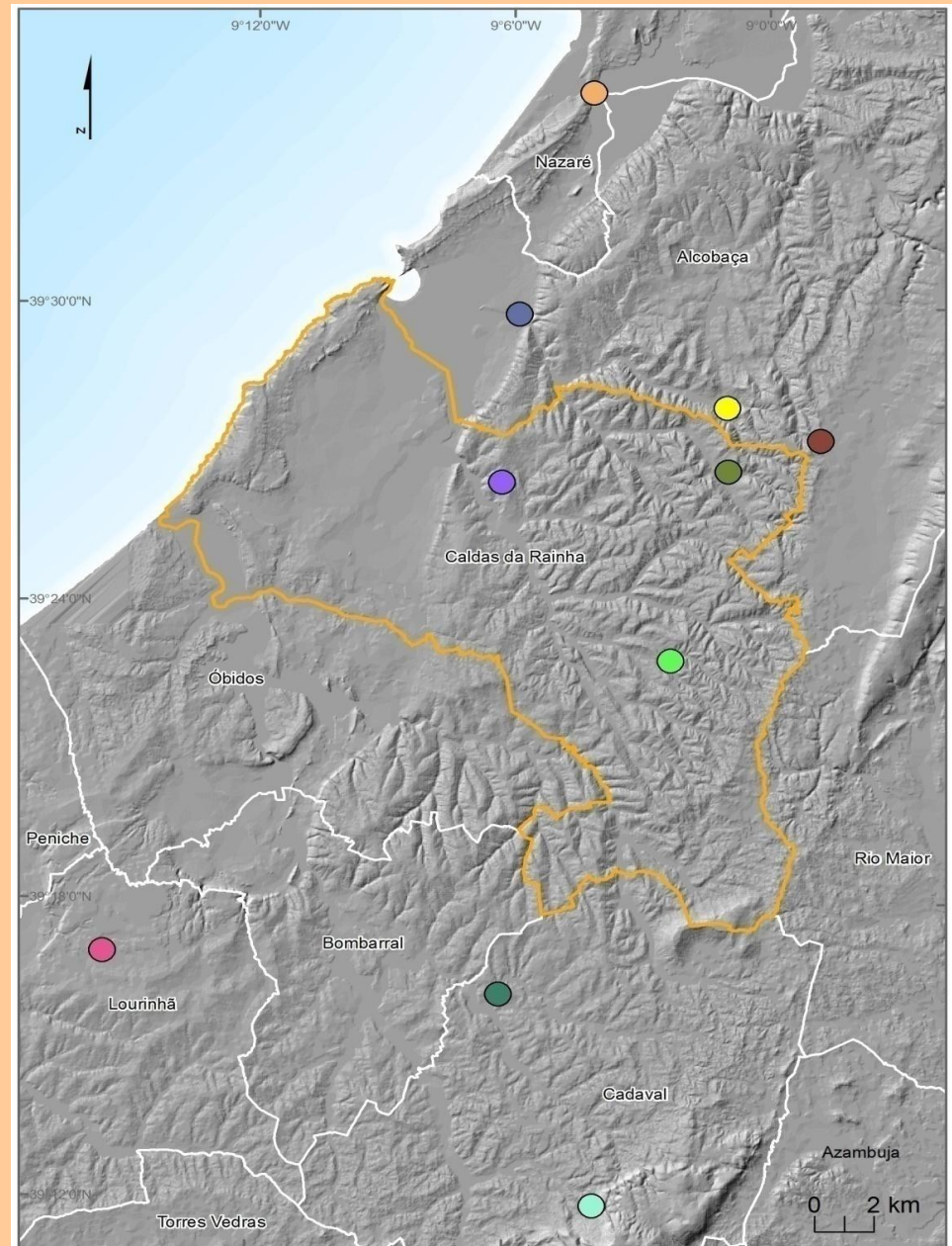
(TOMÁS 1992)

O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de Erosividade da
chuva (**R**)

Espacialização das variáveis
climáticas (precipitação)

(exemplo)

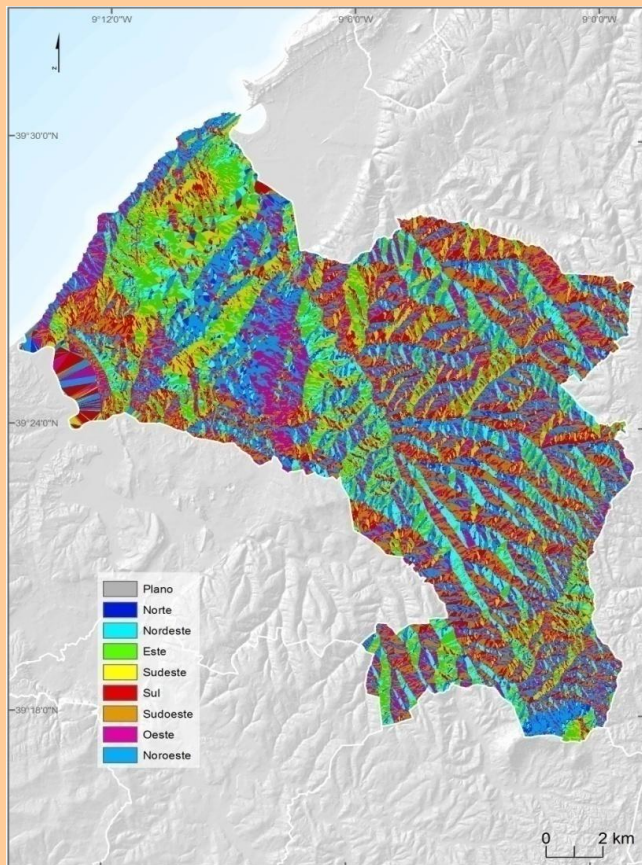


O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de Erosividade da
chuva (R)

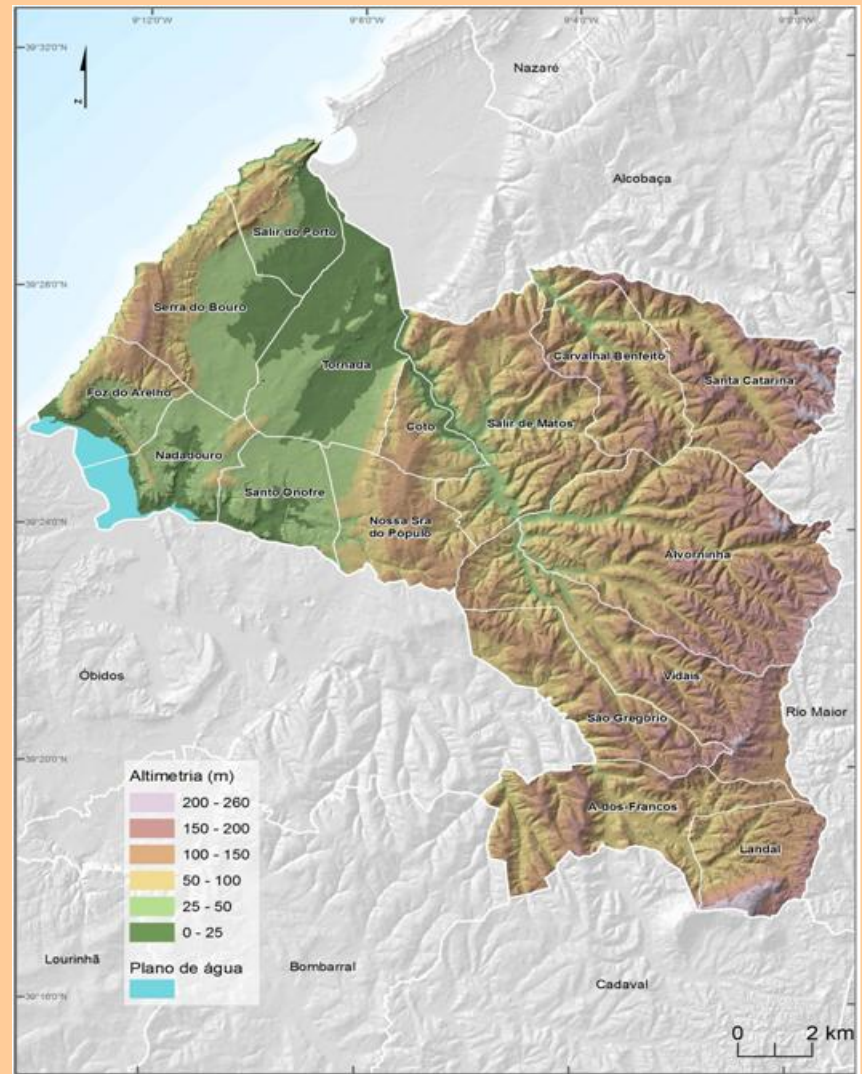
Exposição

Variáveis
independentes



Sistema de Projecção Hayford - Gauss Datum 73

Altitude

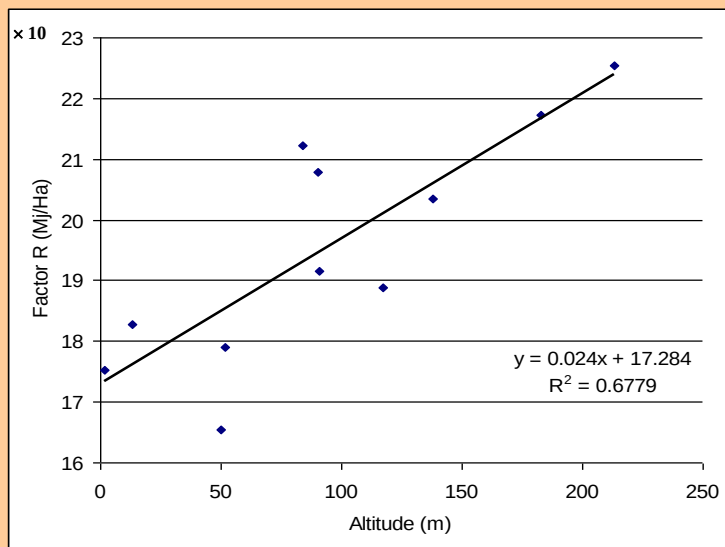


Sistema de Projecção Hayford - Gauss Datum 73

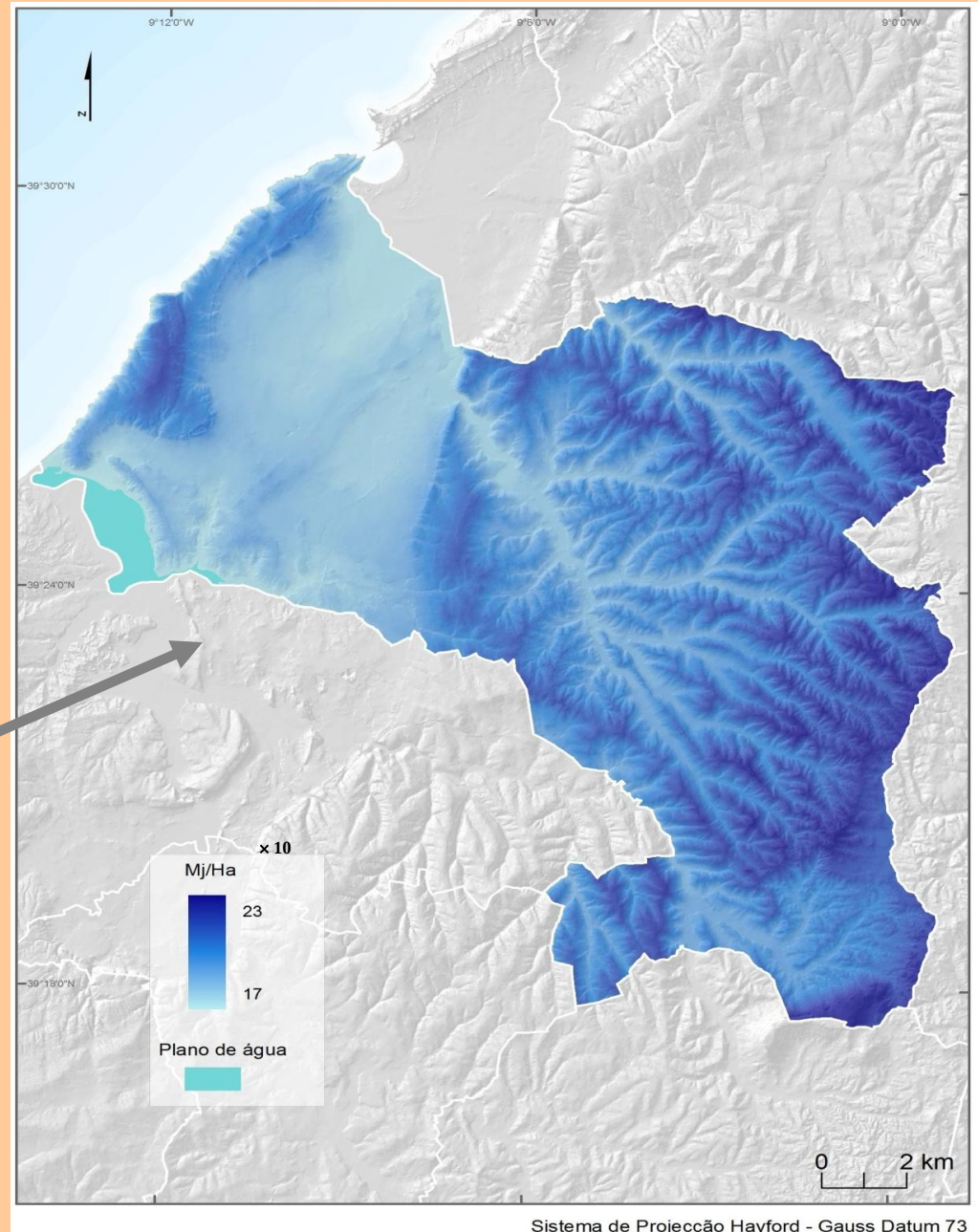
O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de Erosividade da chuva (R)

Relação entre o fator R e a altitude



Nota: converter para unidades americanas



O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator de erodibilidade do solo (K)

Classificação dos solos do S.R.O.A

USLE em SIG Factores K e C Pimenta 1998

Os valores de K nesta tabela (valor adotado) e na tabela seguinte (valor de erodibilidade) estão em unidades métricas. Para converter em unidades do Sistema Internacional (SI), divide-se por 9,81 m/s².

A conversão do Sistema Inglês (K) para o Sistema Métrico Internacional (SI) pode ser feita através da expressão:

$$K_{SI} = K \times 0,1317$$

Ter em atenção que o Sistema Inglês ou Sistema Imperial também aparecem, por vezes, como SI, podendo gerar confusão com as unidades do Sistema Internacional (baseado no sistema métrico).

FAMÍLIA	TIPO	SOLO SEMELHANTE	VALOR ADOPTADO	OBSERVAÇÕES
LITOSSOLOS	Ed Eg Egn	Egn		
SOLOS DE BAIXAS	Sba Sbac Sbc Sbl	Sb Sb Sb Sb	0,35 0,35 0,35 0,35	
LITÓLICOS HÚMICOS	Mng Mnx	Pg Pgm	0,07 0,22	+ 2,5 de m.o. + 2,5 de m.o.
LITÓLICOS NÃO HÚMICOS	Pga Ppn Ppq	Pgm Ppm Ppm	0,30 0,31 0,26	+ areia fina + grosseiros
CALCÁRIOS PARDOS	Pcr Pct	Pcg Pcx	0,10 0,33	+ pedregosidade - pedregosidade
CALCÁRIOS VERMELHOS	Vc* Vcr	Vc Vc	0,28 0,315	
BARROS CASTANHO AVERMELHADO	Cpc	Cp	0,27	comportamento semelhante entre Bp e Bpc
MEDITERRÂNEOS PARDOS	Pbc Pdc Pdg Pmc Pmn Pqx Pxr	Pcx Pgn Pgn Pm Ppg Ppx Px	0,23 0,23 0,18 0,20 0,20 0,36 0,23	+ areia + calcário, + agregação + areia fina
MEDITERRÂNEOS VERMELHOS AMARELADOS	Pvx Scv Sr Svqx Va	Vx Vcv Sr * Vqx Vac	0,38 0,18 0,255 0,33 0,23	- 0,05

O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

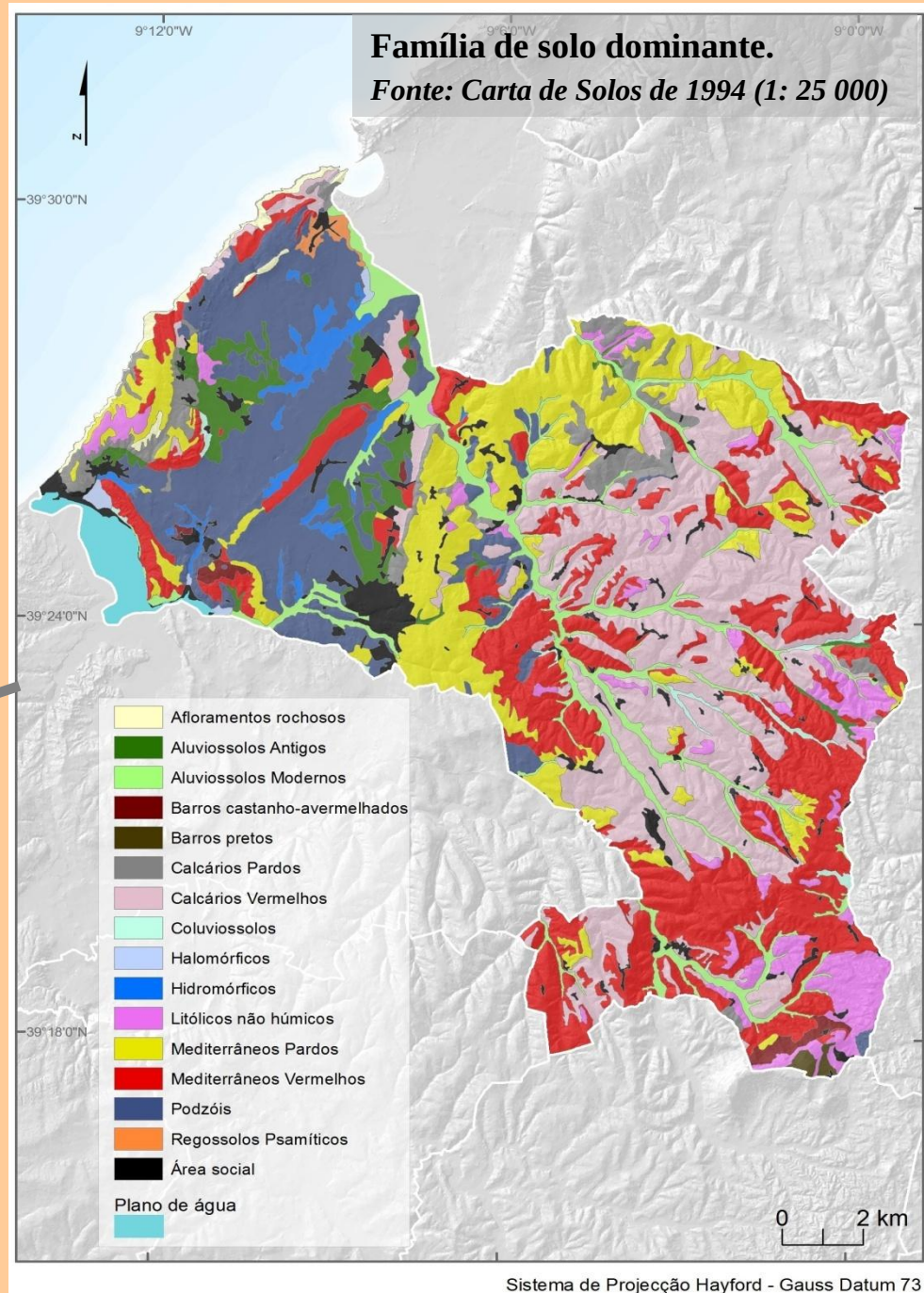
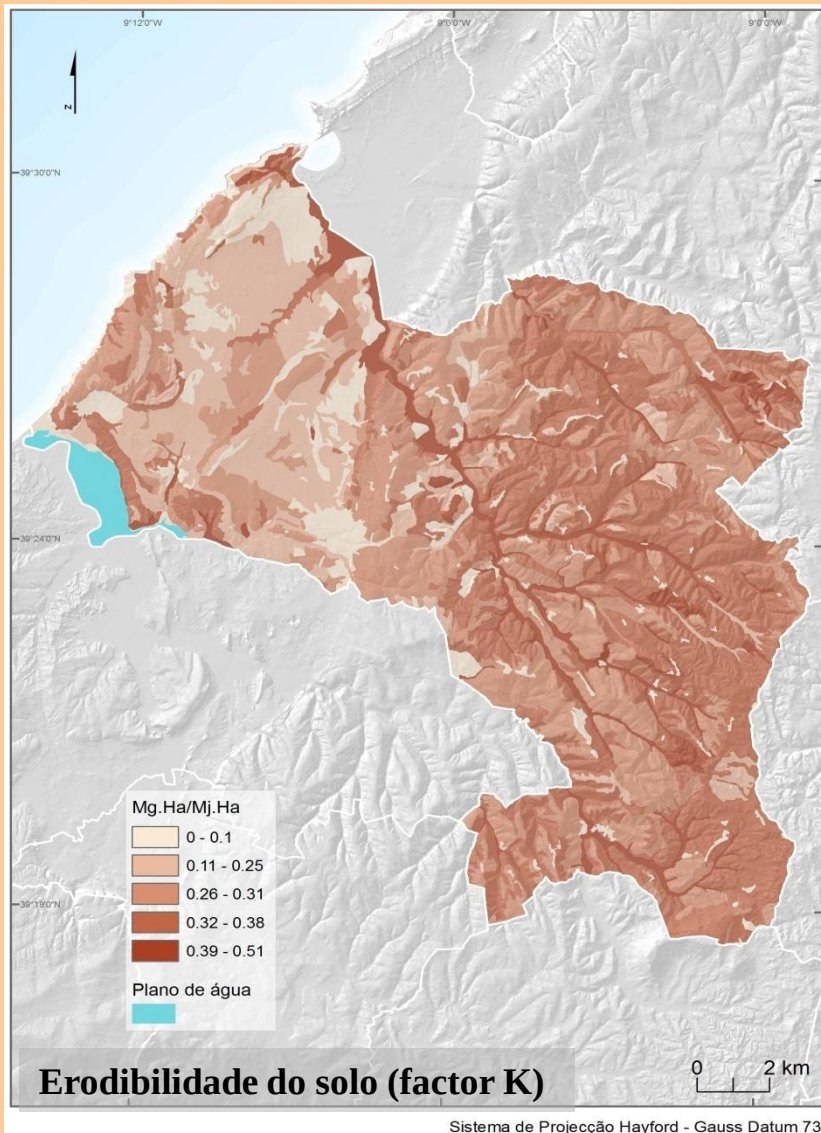
Fator de erodibilidade do solo (K)

Relação entre o sistema de classificação de solos do S.R.O.A e o sistema de classificação de solos da F.A.O. e respectivo valor de erodibilidade

Classificação F.A.O. Escala 1:1 000 000		Classificação S.R.O.A. Escala 1:25 000		VALOR DE ERODIBILIDADE
Nome	Código	Nome	Código	
	RO	Afloramentos rochosos		0.00
Fluvissoles	Jc	Aluviossolos Antigos Calcários	Atlc, Atc, Atac	0.41
	Je	Aluviossolos Antigos Não Calcários	Atl, At, Ata	0.19
	Jc	Aluviossolos Modernos Calcários	Alc, Ac, Aac	0.44
	Jd, Je	Aluviossolos Modernos Não Calcários	Al, A, Aa	0.26
Luvissolos	Lo	Argiluvitados Pouco Insaturados (Atlânticos)	Med.Pard, Verm, Am	0.30
Vertissolos	Vc	Barros Castanho-Avermelhados	Cb, Bvc, Cpv, Cbc	0.34
	Vp	Barros Pretos	Bp, Bpc, Cp, Cpc	0.32
Cambissolos	Bkv	Calcários Pardos Para-Barros	Pc'	0.30
	Bk	Calcários Pardos, Normais	Pc, Peg, Pcr, Pcs, Pcx, Ptc, Pct, Rc	0.32
	Bcc	Calcários Vermelhos, Normais	Vac, Vc, Vcr, Vcs, Vct, Vcx	0.36
	Bcv	Calcários Vermelhos Para-Barros	Vc'	0.33
Luvissolos	Lg	Hidromórficos Sem Horizonte Eluvial Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados	Pb, Sag	0.36
Cambissolos	Bh	Litólicos Húmicos	Mns, Mnx	0.32
	Bhc	Litólicos Húmicos Vermelhos		0.32
	Bd, Be	Litólicos Não Húmicos	Par, Pg, Pga, Pgm, Ppg Psn, Pt, Vf, Vts, Vt	0.31
	Bc	Litólicos Não Húmicos (Vermelhos)		0.31

Erodibilidade do solo (K)

Reclassificação dos mapas de solos



O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator topográfico (LS)

LS resulta do produto das relações de comprimento de encosta L e de declive S (WISCHMEIER e SMITH 1978 ; McCOOL et al. 1987)

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m$$

$$S = (10,8 \cdot \sin(\Theta) + 0,03) \quad \text{para } s \leq 9 \%$$

$$S = (16,8 \cdot \sin(\Theta) - 0,50) \quad \text{para } s > 9\%$$

$$LS = L \cdot S$$

O cálculo dos parâmetros da EUPS (REN)

Fator topográfico (LS)

INTEGRAÇÃO NOS SIG

$$LS = \left(\frac{\text{Fluxo_acumulado} \times \text{Resolução}}{22,13} \right)^{E_L} \times \left(\frac{\text{seno}(\text{Declive})}{0,0896} \right)^{E_S}$$

Por norma, os valores presentes na bibliografia para os expoentes variam entre 0,4 e 0,6 para E_L e entre 1,3 e 1,6 no caso de E_S , sendo, em ambos os casos, mais comum a utilização do valor mais baixo.

Na maior parte das expressões, os valores do declive devem ser convertidos de graus para radianos.

$$LS = \left(\frac{\text{Fluxo_acumulado} \times \text{Resolução}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{seno}\left(\text{Declive} \times \frac{3,14}{180} \right)}{0,0896} \right)^{1,3}$$

O cálculo dos parâmetros da EUPS

Fator topográfico (LS)

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72,6} \right)^m (65,41 \text{sen}^2 \theta + 4,56 \text{sen} \theta + 0,065)$$

em que λ é o comprimento do desnível em pés, θ é o ângulo associado à inclinação do desnível e m o coeficiente que depende do declive.

Declive	m
Maior ou igual a 5 %	0,54
Entre 3,5 e 4,5 %	0,40
Entre 1 e 3 %	0,30
Inferior a 1 %	0,20

em que λ é em pés e θ em radianos; o “Exp_m” é o mapa que resulta da reclassificação do Declive, de acordo com os limites do quadro anterior.

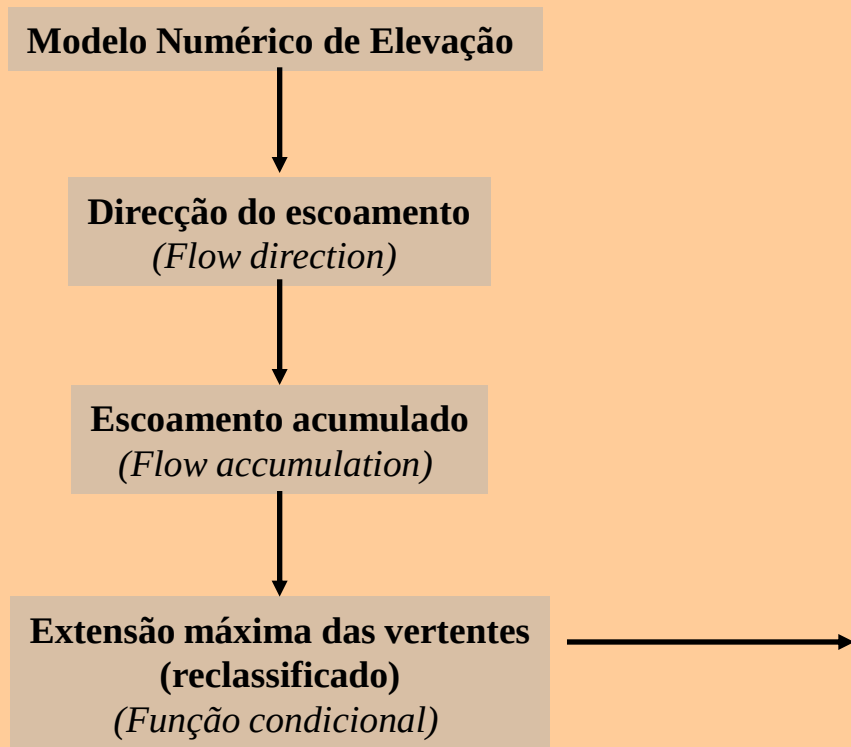
Diário da República 1.^a série - N.º 232 - 30 de novembro de 2012

(Declaração de Retificação n.º 71/2012, do anexo da Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro, publicada no *DR*, 1.^a série, n.º 192, de 3 de outubro de 2012)

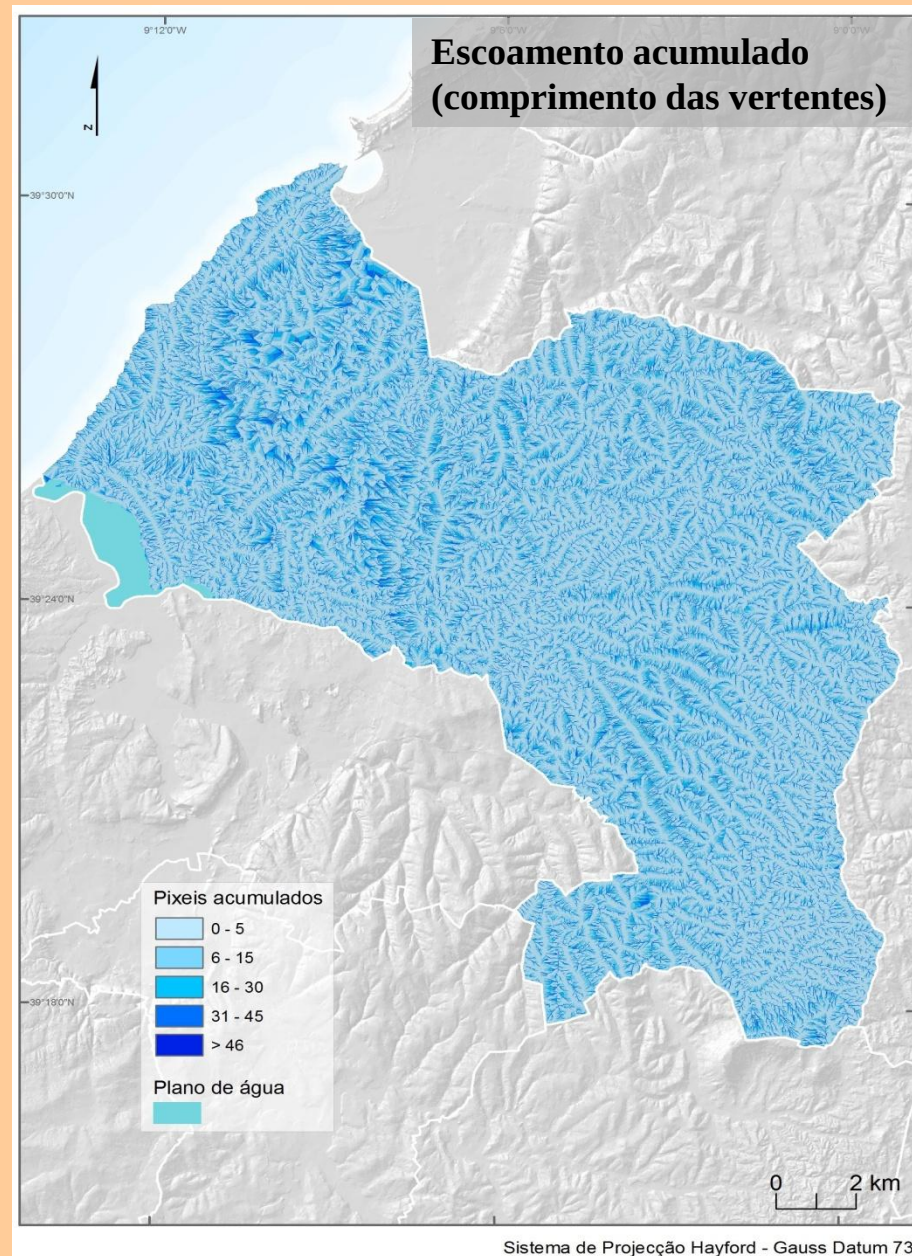
A expressão está em unidades anglo-saxónicas; para vir em unidades métricas, o denominador “72,6” deve ser substituído por “22,13”.

Fator topográfico (LS)

Cálculo do comprimento das vertentes



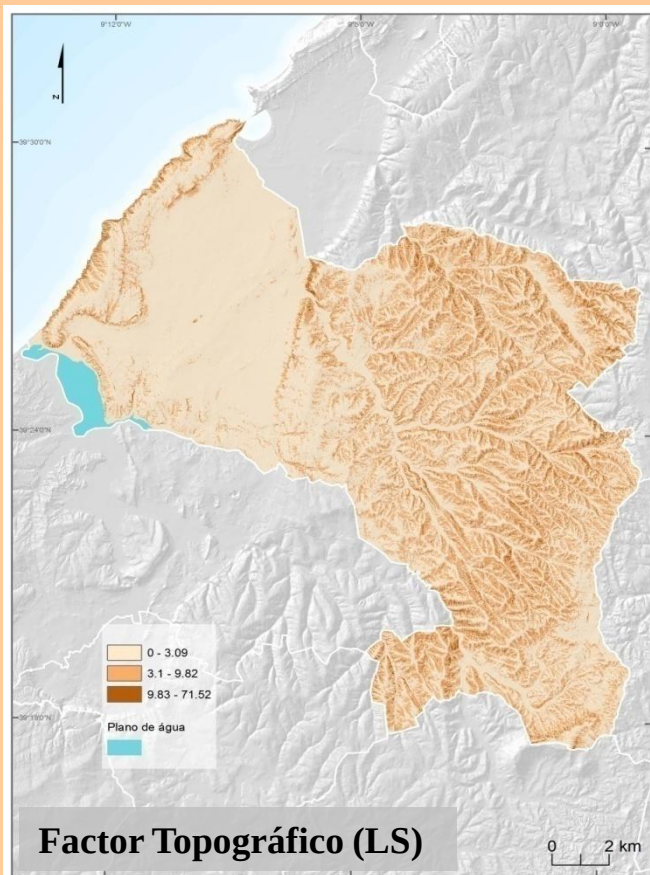
Possibilidade de utilizar funções específicas disponíveis nos SIG



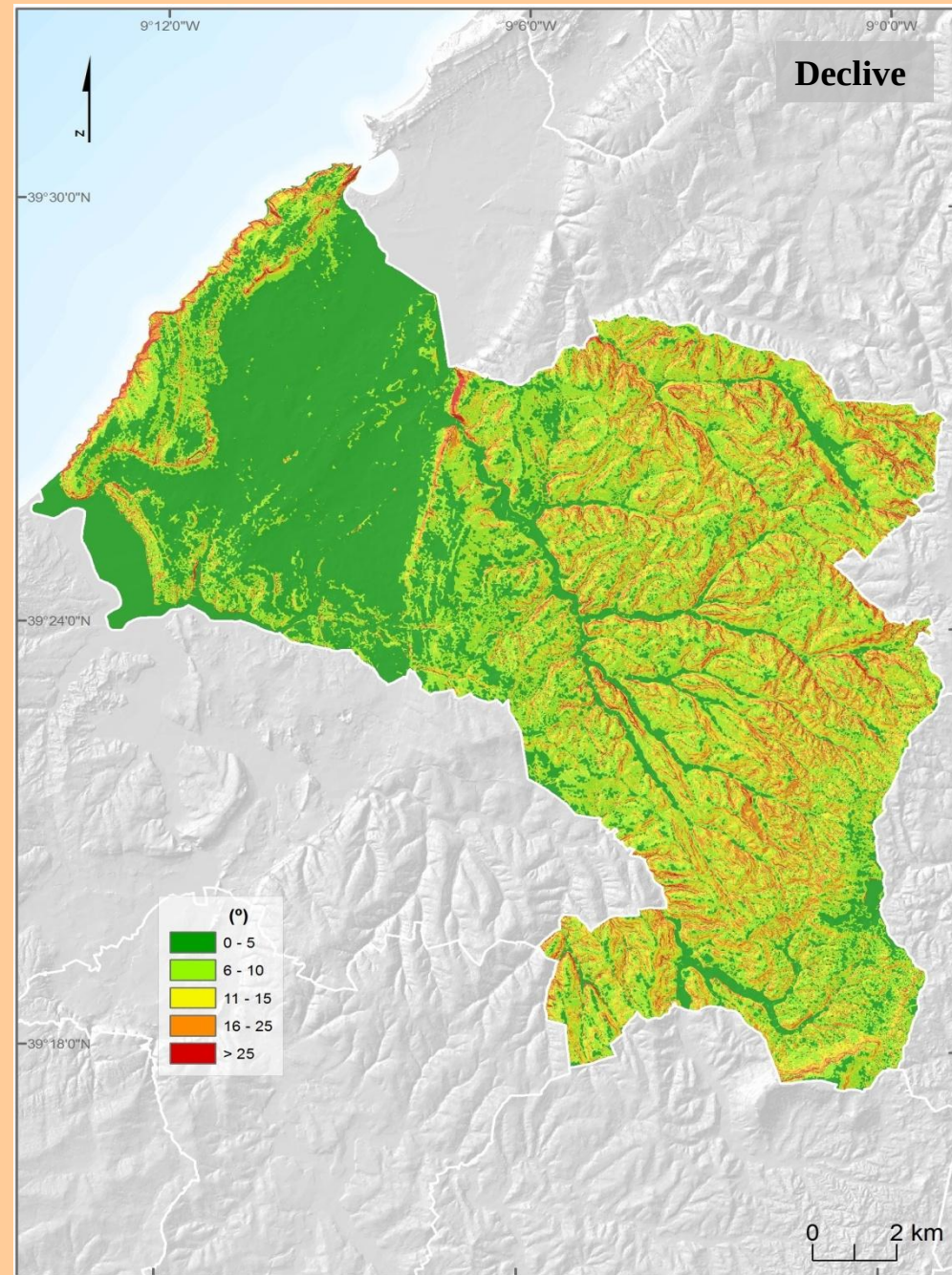
Fator topográfico (LS)

Cálculo do declive e de LS

Ter em atenção se, na expressão utilizada, o declive é em graus, radianos ou percentagem.



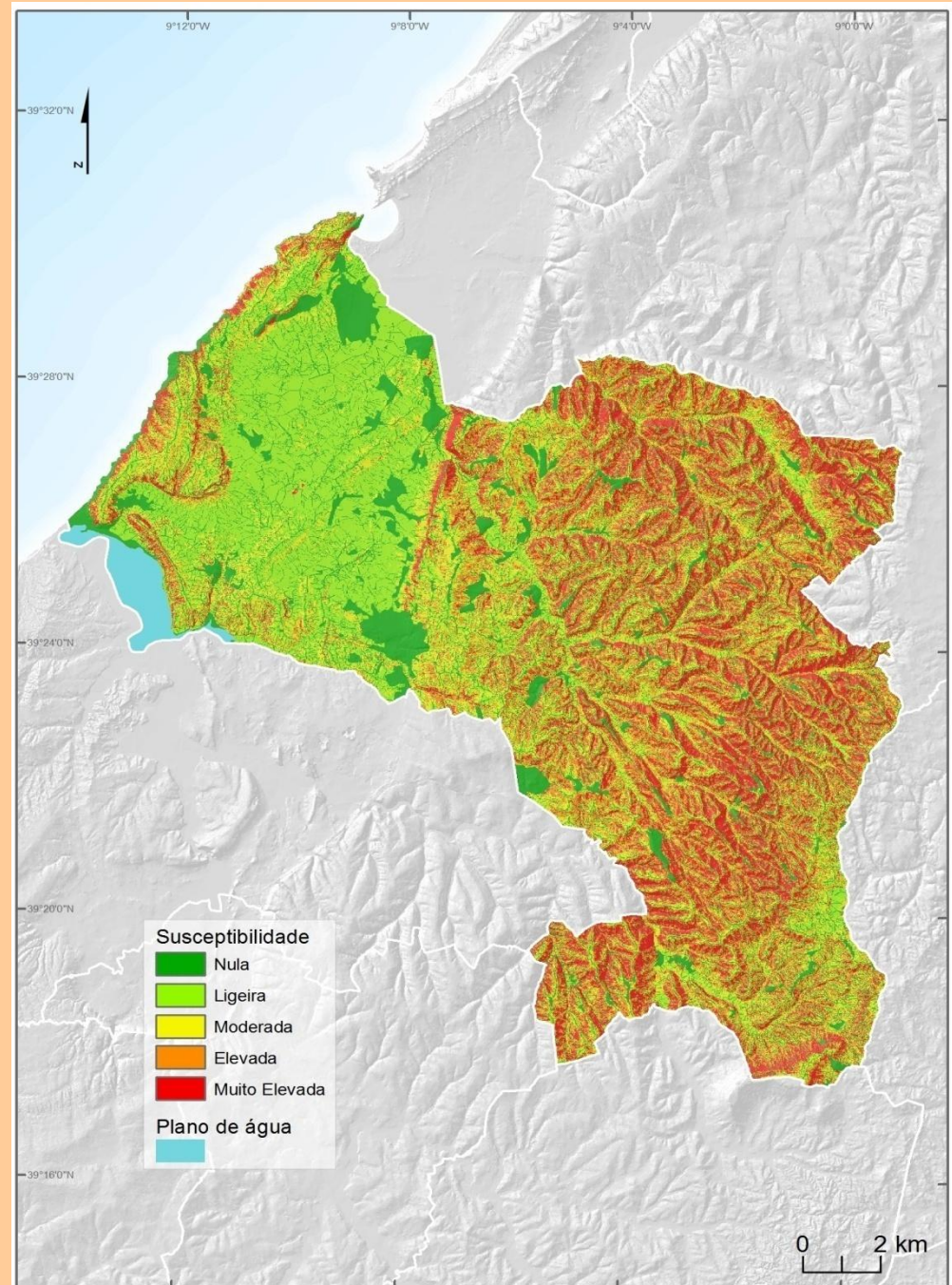
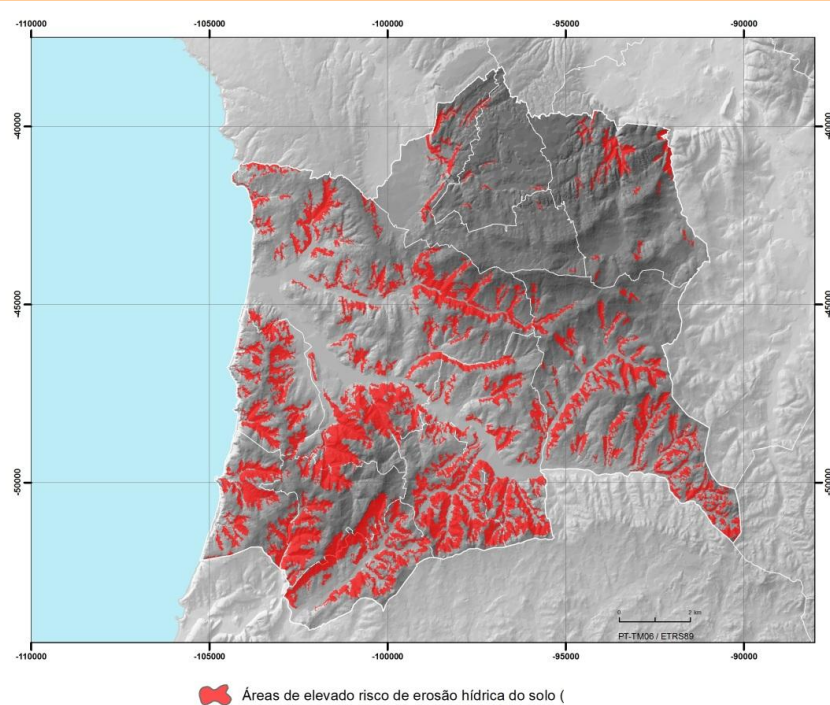
Sistema de Projecção Hayford - Gauss Datum 73



Sistema de Projecção Hayford - Gauss Datum 73

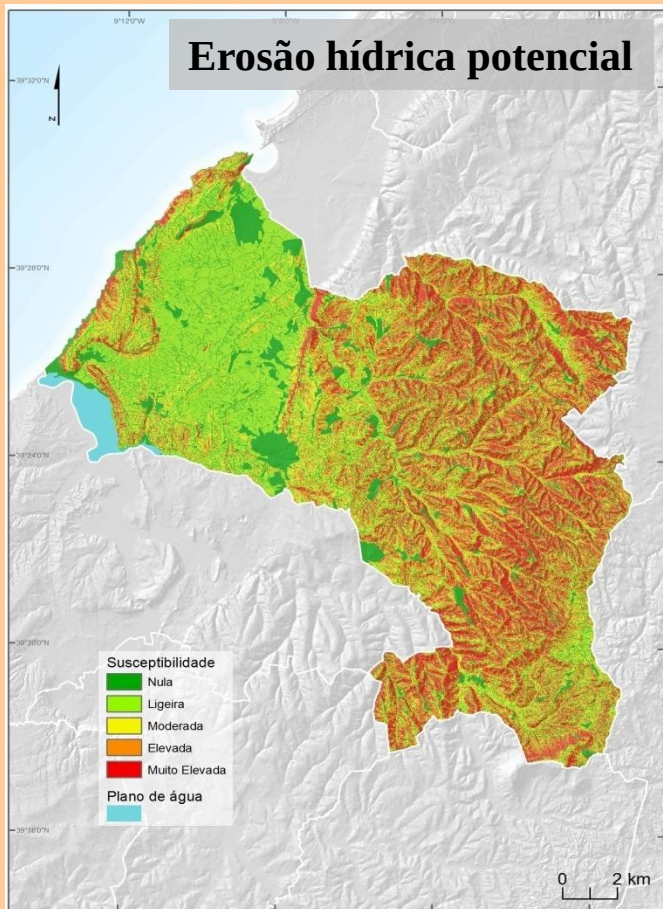
Erosão Hídrica Potencial ($R \times K \times LS$)

Suscetibilidade à erosão hídrica



Erosão Hídrica “Real” ($R \times K \times LS \times C \times P$)

Erosão hídrica potencial



Erosão hídrica real

