



CRITÉRIOS DE DELIMITAÇÃO NA REN DAS
ÁREAS DE ELEVADO RISCO DE EROÇÃO HÍDRICA DO SOLO
(decreto-lei nº166/2008, de 22 de Agosto)

Alfredo Gonçalves Ferreira

(Prof. Emérito)

Nuno Neves

(Prof. Auxiliar do Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento)

Ana Cristina Gonçalves

(Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Rural)

Agosto 2010

I. Enquadramento

De acordo com o decreto-lei nº166/2008, de 22 de Agosto, as **áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo** a integrar na REN caracterizam-se como:

Áreas, que devido às suas características de solo e de declive, estão sujeitas à perda excessiva de solo por acção do escoamento superficial.

O objectivo da sua identificação é:

- a) *Conservação do recurso solo;*
- b) *Manutenção do equilíbrio dos processos morfogenéticos e pedogenéticos;*
- c) *Regulação do ciclo hidrológico através da promoção da infiltração em detrimento do escoamento superficial;*
- d) Redução da perda de solo, diminuindo a colmatção dos solos a jusante e o assoreamento das massas de água.

De acordo com o decreto-lei já referido, *a delimitação das áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo deve considerar de forma integrada o declive e a erodibilidade média dos solos resultante da sua textura, estrutura e composição.*

Para a explicitação de critérios conducentes à demarcação da Reserva Ecológica Nacional consideramos que:

1 — As áreas com risco de erosão hídrica do solo são as que, devido às combinações de características topográficas e de solo, na ausência de coberto vegetal, estão potencialmente sujeitas a uma taxa perda de solo, por acção conjunta da chuva e do escoamento superficial, que excede a sua taxa de formação, levando à diminuição seu potencial de suporte de vida.

2 – A erosão hídrica resulta da combinação do destacamento do solo e do transporte do material destacado sendo ambos resultantes da acção da energia cinética da água.

3 — Os factores que determinam a perda de solo por acção da precipitação, de acordo com a Equação Universal de Perda de Solo (Wishmeier e Smith, 1978), são:

Erosividade da precipitação – energia da precipitação,

Erodibilidade do solo – capacidade do solo de resistir à energia da precipitação;

Comprimento de escoamento – distância do escoamento com declive constante;

Declive – ângulo da encosta com o plano horizontal do lugar;
Cobertura do solo quando a precipitação ocorre – dependente da projecção da cobertura do solo;
Práticas de conservação – micro rugosidade do solo.

Os autores deste modelo (USLE) consideram que:

- a sua classificação de universal diz respeito à universalidade dos factores identificados e não à universalidade do modelo que, na forma indicada, só tem aplicação para a(s) zona(s) onde foi calibrado;
- o modelo prevê a erosão específica, isto é, a que ocorre numa determinada célula, resultante da acção unicamente nessa célula, não tendo em conta a influência das que lhe estão a montante ou a sua influência nas que lhe estão a jusante.

4 – Segundo o DL 166/2008, na delimitação das áreas de risco de erosão devem ser considerados o declive e a erodibilidade média do solo. No entanto, no *Guia metodológico para produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal* (Julião *et al.*, 2009), indica-se que “A avaliação da susceptibilidade à erosão hídrica do solo deverá ser feita apenas com base nas variáveis físicas (erosão potencial): intensidade da precipitação, erodibilidade dos solos, comprimento e declive das vertentes”

Erosão específica do solo por acção da chuva é a quantidade de solo que ultrapassa uma dada fronteira pré estabelecida, depende pois do destacamento do solo pela acção da chuva e do escoamento, e do seu transporte pelo escoamento superficial.

O destacamento do solo, individualização em partículas que possam ser transportadas, depende da erodibilidade do solo, estabilidade dos agregados e textura, e da energia da precipitação, erosividade.

O transporte de materiais decorre da configuração do terreno, declive e comprimento de encosta.

O nível de acuidade destes factores depende da escala de trabalho, nomeadamente no caso da erodibilidade, pois a escala de representação determina o nível taxonómico de representação do solo.

5 – A classificação taxonómica dos solos indicada por Cardoso (1965) é a seguinte:

Ordem, Indicador de horizontes característicos

Agrupamento de solos feito com base em horizontes ou características cuja presença ou ausência são indicação essencial do desenvolvimento, diferenciação ou da natureza dos processos dominantes na formação do solo.

Subordem, Indicador de características genéticas

Subdivisão da ordem estabelecida com base em características do solo que se julgam mais importantes sob o ponto de vista genético.

Grupo, Indicador de condições climáticas

Subdivisão da subordem feita com base em características indicadoras de processos geneticamente menos marcantes ou em condições do clima que influenciaram a sua evolução.

Subgrupo, Indicador do conceito central do grupo

Subdivisão do grupo que indica o conceito central do grupo e as transições para os outros grupos.

Família, Indicador do material originário

Subdivisões do subgrupo baseadas principalmente na natureza litológica do material originário.

Série

Subdivisões da família com horizontes ou camadas características semelhantes que se distribuem ao longo do perfil.

6 – A erodibilidade do solo determinada a partir da sua textura, estrutura e composição só faz sentido, se o nível taxonómico permitir identificar o perfil do solo no local em estudo. O nível taxonómico ideal é a série, primeiro nível, definida por horizonte ou camadas, que só tem representação em escalas de trabalho de 1/5.000 ou superiores. O nível taxonómico família, definida pelo material originário, pode ainda ter algum significado qualitativo, mas só tem representação à escala de trabalho de, pelo menos, 1:25.000.

7 – O grau de representatividade das características topográficas também depende da escala de trabalho, no contexto deste modelo entendida como a resolução matricial, que pode afectar alguns resultados. Importa usar uma resolução matricial adequada ao rigor das bases altimétricas fundamentalmente. Para a cartografia 1:25.000 vectorial a resolução matricial não deverá ser superior a 10 m.

8 – As escalas das cartas topográficas utilizadas como base das cartas de solo são:

- 1:25.000 para o Sul do rio Tejo, efectuadas pelo Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário, com duas extensões nas zona de Aveiro e Vilarça. O nível taxonómico é a família.
- 1:100.000 para as bacias dos rios Minho, Lima, Cávado e Tâmega e para as regiões de Trás-os-Montes e Alto Douro, Beira Alta e Beira Baixa. O nível taxonómico é superior ao da família, subgrupo ou grupo.

Do enquadramento apresentado decorre que existe um constrangimento significativo à delimitação desta ocorrência da REN devido à inadequação da escala de representação dos solos e à utilização da erodibilidade como critério de estimativa das áreas de elevado risco de erosão que se considera apenas ter sentido como critério qualitativo.

Considerando as limitações decorrentes da inexistência para a totalidade do território nacional de informação de solos adequada, foi desenvolvida uma metodologia que permite a avaliação do risco de erosão hídrica dos solos centrada na avaliação do factor topográfico através de métodos de análise espacial de contexto, susceptível de permitir uma aproximação mais homogénea e fiável.

II. Erosão hídrica estrutural

Sendo o fenómeno erosivo decorrente de variados factores em contextos de complexidade, decorrente da sua natureza inter-relacionada, considera-se pertinente uma aproximação visando a definição de uma metodologia simples e eficaz, facilmente aplicável na definição de políticas de ordenamento do território.

Podendo a força gravítica, ou melhor dizendo, o trabalho da força gravítica ser considerado o factor primordial em processos de erosão decorrentes do escoamento superficial, a metodologia desenvolvida integrou primeiramente esta dimensão.

Considera-se o estudo dos processos erosivos numa perspectiva global ou de contexto, integrando nos procedimentos metodológicos não a erosão específica local decorrente da inclinação do terreno em cada local ou célula, mas a erosão potencial global cumulativa, em que a erosão em cada célula é influenciada por um conjunto de células e influencia outro conjunto de células.

Outros modelos de previsão de perda de solo recorrem a este princípio, como o WEPP, Water Erosion Prediction Project, (Flanagan *et al*, 1994), e têm demonstrado bastante aderência à realidade, de acordo com os trabalhos desenvolvidos com base nos dados da Estação Experimental de Erosão de Vale Formoso (Tomás, 1997), sendo limitado pela quantidade de informação de base necessária à sua utilização. Em 2001 foi adaptado ao modelo WEPP a metodologia MIR (Minimum Information Requirement) que se baseia

fundamentalmente em informação topográfica, de solo e de ocupação do solo associada a um simulador, usando um conjunto mínimo de informação para estimar a perda de solo (Brazier, 2001).

A abordagem desenvolvida distingue-se de abordagens mais usualmente aplicadas no nosso país, que assentam na integração de classes de declive com classes de avaliação de erodibilidade do solo definidas pericialmente e de acordo com valores de referência provenientes de diversos autores.

A utilização de classes de declive na definição de áreas de risco elevado de erosão a incluir na Reserva Ecológica Nacional incorre em dois tipos fundamentais de limitação metodológica:

1- Limitações relativas ao uso de classes de declive

- Qualquer classificação por classes constitui uma simplificação, com propagação de erro resultante da discrepância de valores ou significado para situações similares. A tradicional representação do declive em classes é normalmente compensada com a generalização (agregação) das representações resultantes, numa tentativa marcadamente pericial e subjectiva de conferir alguma continuidade e compacidade às delimitações resultantes;
- O cálculo do declive é uma função focal de análise espacial, resultando os seus valores dos valores de cota de cada célula e das oito células vizinhas, numa aproximação de modelação em quadrícula. O uso de uma função focal como o cálculo de declive não inclui a dimensão de contexto, fundamental num processo físico como a erosão, traduzido pela acumulação conservativa da força gravítica.

2 – Limitações relativas ao uso das classes de erodibilidade dos solos

- A delimitação das manchas referente às unidades de solo cartografadas resulta de um processo pericial afectado pela escala da carta topográfica tomada como base e que corresponde a uma observação por unidade de área gráfica de representação independente da escala. (cm² de carta);
- Para a escala 1:25000, em que a representação do solo é efectuada na unidade taxonómica “família” a definição de uma unidade na carta significa apenas a sua presença em 60% da área classificada;
- Os processos de erosão estão sempre relacionados com os processos de transporte de materiais, não ocorrendo (mesmo em áreas de solos com elevada erodibilidade) quanto esse transporte não se verifica ou é pouco significativo.

Tendo em conta estes conceitos, e adaptando a metodologia aos dados disponíveis, desenvolveu-se um modelo de cálculo do índice topográfico de Erosão Hídrica Estrutural (EHE) que constitui uma métrica da acção do relevo no processo de erosão hídrica integrando diversas variáveis topográficas,

segundo os princípios da mecânica clássica, adaptados às características do ambiente (software) de modelação.

O modelo desenvolvido utiliza como fonte primária de informação apenas uma cobertura altimétrica vectorial a partir da qual são desenvolvidos processos de análise espacial na geração de informação derivada necessária à aplicação do modelo, pelo que será facilitada a sua operacionalidade.

São de seguida descritos sumariamente os principais componentes do modelo desenvolvido, cuja fundamentação decorre dos princípios da lei do movimento uniformemente acelerado num plano inclinado:

1 – Soma ponderada dos valores de altitude drenante para cada ponto (hp) exprimindo a contribuição cumulativa dos valores de altitude relativa de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de **hp** é efectuado através de operações de álgebra de mapas e de uma função combinada de escoamento difuso e concentrado.

2 – Soma ponderada dos ângulos de inclinação (αp), exprimindo em cada local a contribuição cumulativa dos declives de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de **αp** é efectuado através de operações de álgebra de mapas e de uma função combinada de escoamento difuso e concentrado.

3 – Declive Força (DF). O trabalho da força gravítica num plano inclinado pode ser descrito pelas expressões $Wfg = mgh$ ou $Wfg = mg\Delta r \cdot \sin \alpha$ (sendo α o ângulo com o plano horizontal).

Num contexto de erosão hídrica do solo, sendo g constante e, m e Δr (comprimento da encosta) passíveis de representação proporcional através de

uma relação entre **hp** e **αp**, a expressão $DF = \tan^{-1} \frac{hp}{(\sin(90^\circ - \alpha p)) \cdot 100}$, constitui uma métrica adimensional proporcional ao trabalho da força gravítica.

Os valores da métrica criada, condicionados ao intervalo (0° - 90°) pela função \tan^{-1} permitem a obtenção de valores similares aos valores resultantes do cálculo normal do declive em graus.

4 – Erosão hídrica estrutural (EHE). Sendo o Declive Força uma métrica independente do atrito e sendo a erosão resultante da dissipação de energia provocada pela interacção da força gravítica, da força de atrito, do impacto hidráulico (decorrente da variação de declive e orientação de encosta) e da erodibilidade do solo, foi concebida uma formulação integradora expressa pela métrica **EHE** – Erosão hídrica estrutural.

A métrica EHE associa ao **DF** um conjunto de parâmetros multiplicativos resultantes de operações focais ou de vizinhança. A integração dos parâmetros que de seguida se apresentam é efectuada por processos simples de álgebra de mapas.

T – Terrain Ruggedness Evaluation Method, (Neves *et al.*, 2010) normalizado, como indicador do acidentado do terreno – Este índice foi desenvolvido por uma equipa da Universidade de Évora e expressa numa métrica integrada a variação ou ruptura do declive e da orientação de encostas;

C – Curvatura da encosta normalizada, como indicador de concavidade e potencial acumulação de material constituinte do solo;

Rp – Indicador de atrito resultante da reacção ao peso, expresso como $\cos \alpha$.

A métrica EHE assume a seguinte formulação:

$$EHE = \tan^{-1} \frac{hp}{(\sin(90^\circ - \alpha p)) \cdot 100} \cdot T \cdot C \cdot Rp$$

Esta aproximação integra, para toda a área de drenagem, directamente os factores comprimento de encosta, declive e práticas de conservação da Equação Universal de Perda de Solo, a partir dos factores **αp** , **hp** , **T**, **Rp** e, indirectamente, a erodibilidade do solo através da curvatura da encosta, **C**.

Esta metodologia desenvolvida tem a vantagem de aproximar a definição a um potencial de erosão decorrente do comportamento de toda a bacia drenante para cada célula expressando claramente as áreas – células produtoras de sedimentos numa expressão proporcional ao trabalho da força gravítica.

A fórmula desenvolvida permite o cálculo de uma métrica expressa em valores que variam entre 0 e 90° independentemente do comprimento de encosta, embora este esteja integrado no cálculo e na relação entre a altura ponderada (hp) e o declive ponderado (αp).

O valor absoluto do comprimento de encosta pode ser inserido na aplicação da fórmula do índice adimensional EHE como um aproximador efectivo da massa drenante, podendo ser associado a uma ou mais variáveis de transporte (ex. precipitação). O comprimento de encosta **Δr** considerado é o comprimento total da área drenante a montante do ponto considerado, integrando toda a área drenante para cada célula, diferentemente dos métodos em que o seu cálculo é o maior comprimento de encosta drenante.

Relevância das ocorrências identificadas para a prevenção de riscos naturais

A identificação dos riscos de erosão hídrica assenta fundamentalmente na avaliação da contribuição em termos de acção da força erosiva potencial (neste documento designada por erosão hídrica estrutural) da totalidade da área drenante para cada célula.

A forma como a métrica da erosão hídrica estrutural (EHE) foi concebida permite integrar, com o detalhe decorrente da frequência de observações altimétricas dos dados de base e da resolução matricial implementada, a contribuição da forma da encosta e os efeitos da rugosidade do terreno.

A integração das características do terreno que levam à variação da acção erosiva decorrente do escoamento superficial, a avaliação da potencial dissipação de energia decorrente do efeito hidráulico do acidentado do terreno e integração de um índice que estima o potencial de formação de solo decorrente da concavidade da encosta, permitem caracterizar de forma contínua no espaço uma estimativa da produção de sedimentos, assim como identificar os locais onde potencialmente tal fenómeno ocorre.

O conhecimento dos locais onde potencialmente o fenómeno erosivo vai ocorrer, permite definir espacialmente e implementar medidas de prevenção e consequentemente minimizar os riscos naturais.

Esta aproximação, com a identificação das zonas a proteger, permite minimizar, com mais eficiência e menor custo, a perda de solo e deposição do material erodido, controlando a perda do potencial produtivo do solo e consequentemente mitigando os fenómenos de desertificação.

III. Áreas a integrar na REN

A definição de áreas de elevado risco de erosão hídrica resulta da aplicação de critérios de classificação aos resultados da aplicação da métrica EHE.

Dado que o cálculo de EHE constitui uma métrica inteiramente nova, foram desenvolvidas diversas análises destinadas a avaliar o seu comportamento, de uma forma empírica em situações reais comparando os resultados com classificações baseadas no método clássico da definição de classes de declive, bem como através de comparações entre situações tipo descritas nos Quadros I, 2 e 3 que adiante se apresentam.

Os Quadros 1, 2 e 3 ilustram o cálculo de valores do índice EHE considerando comprimentos de encosta fixos e valores de T (TREM – acidentado do terreno) e C (concavidade) “neutros” ou descrevendo terrenos não acidentados e sem curvatura vertical.

Os quadros elaborados permitem avaliar os valores de EHE para encostas de 50, 100 e 200 metros, entendidas como situações padrão que simplificam a realidade anisotrópica do terreno. Pelos valores expressos podem ser comparados os valores resultantes das diferentes inclinações do terreno (expressas em Graus) e conseqüentemente a altura ponderada da bacia drenante para cada célula nas condições impostas.

Da análise dos valores do quadro 1 (encostas de 50 metros) resulta a constatação de que o valor do índice EHE mesmo com declives acentuados (maiores que 14°) não atinge valores elevados (valores menores que 5 – a verde) reflectindo a perspectiva de modelação aplicada, decorrente do comprimento da encosta e inerente aumento da energia cinética num processo de escoamento. Nestas situações apenas verificáveis em encostas curtas ou próximas do topo somente com valores superiores a 20° é possível obter valores superiores a 5 na métrica EHE.

Quadro 1 – Cálculo do índice EHE para encostas de 50 metros

Δr	hp	αp	(90 - α)	Rp	T	C	DF	EHE
50	1,745	2	88	0,99939081	1	0,5	1,0003	0,4998
50	3,488	4	86	0,997563984	1	0,5	2,0024	0,9988
50	5,226	6	84	0,994521746	1	0,5	3,0082	1,4959
50	6,959	8	82	0,990267804	1	0,5	4,0196	1,9902
50	8,683	10	80	0,984807341	1	0,5	5,0384	2,4809
50	10,400	12	78	0,978147008	1	0,5	6,0665	2,9670
50	12,100	14	76	0,970294922	1	0,5	7,1060	3,4475
50	13,780	16	74	0,961260649	1	0,5	8,1590	3,9215
50	15,450	18	72	0,951055195	1	0,5	9,2276	4,3880
50	17,100	20	70	0,939690996	1	0,5	10,3140	4,8460
50	18,730	22	68	0,927181898	1	0,5	11,4210	5,2945
50	20,340	24	66	0,913543140	1	0,5	12,5500	5,7325
50	21,920	26	64	0,898791340	1	0,5	13,7050	6,1589
50	23,470	28	62	0,882944471	1	0,5	14,8880	6,5726
50	25,000	30	60	0,866021842	1	0,5	16,1020	6,9723

A análise dos valores do quadro 2 (encostas de 100 metros) permite naturalmente constatar valores mais elevados de EHE com valores de declive idênticos aos do quadro 1 em resultado de um maior comprimento da encosta. Podemos igualmente constatar um aumento da altura ponderada drenante necessária para serem possíveis as situações de comprimento de encosta e declive estabelecidas, constituindo a relação entre estes 3 parâmetros um

indicador da dimensão da bacia drenante e conseqüentemente da potencial força erosiva resultante.

Quadro 2 – Cálculo do índice EHE para encostas de 100 metros

Δr	hp	ap	(90 - α)	Rp	T	C	DF	EHE
100	3,490	2	88	0,99939081	1	0,5	2	0,9994
100	6,976	4	86	0,997563984	1	0,5	4	1,9951
100	10,45	6	84	0,994521746	1	0,5	6	2,9836
100	13,92	8	82	0,990267804	1	0,5	8	3,9611
100	17,37	10	80	0,984807341	1	0,5	10	4,9240
100	20,79	12	78	0,978147008	1	0,5	12	5,8689
100	24,19	14	76	0,970294922	1	0,5	14	6,7920
100	27,56	16	74	0,961260649	1	0,5	16	7,6900
100	30,900	18	72	0,951055195	1	0,5	18	8,5594
100	34,200	20	70	0,939690996	1	0,5	20	9,3968
100	37,460	22	68	0,927181898	1	0,5	22	10,1990
100	40,670	24	66	0,913543140	1	0,5	24	10,9620
100	43,840	26	64	0,898791340	1	0,5	26	11,6840
100	46,950	28	62	0,882944471	1	0,5	28	12,3610
100	50,000	30	60	0,866021842	1	0,5	30	12,9900

Os valores de EHE são superiores a 5 para encostas de 100 metros a partir de valores de 10° de declive ponderado. Tratando-se de uma situação padrão de fácil entendimento pericial, esta relação contribuiu decisivamente para o estabelecimento de um valor de EHE de referência a adoptar em processos de classificação de áreas a incluir na Reserva Ecológica Nacional por se estimar possuírem um elevado risco de erosão.

O quadro 3 complementa as análises efectuadas para os quadros 1 e 2 ilustrando cenários de encostas mais longas (200 metros), permitindo a constatação de valores elevados do índice EHE mesmo para valores baixos de declive ponderado.

Assim, da avaliação dos resultados do quadro 3 decorre igualmente que podemos ter situações com um potencial de erosão hídrica significativo em encostas suaves mas longas, com áreas drenantes extensas como se infere dos valores da altura ponderada drenante e o comprimento de encosta e o declive ponderado estabelecidos.

Quadro 3 – Cálculo do índice EHE para encostas de 200 metros

Δr	hp	αp	(90 - α)	Rp	T	C	DF	EHE
200	6,98	2	88	0,99939081	1	0,5	3,9951	1,9964
200	13,95	4	86	0,997563984	1	0,5	7,9614	3,971
200	20,91	6	84	0,994521746	1	0,5	11,871	5,9031
200	27,83	8	82	0,990267804	1	0,5	15,700	7,7734
200	34,73	10	80	0,984807341	1	0,5	19,425	9,5651
200	41,58	12	78	0,978147008	1	0,5	23,031	11,264
200	48,39	14	76	0,970294922	1	0,5	26,503	12,858
200	55,13	16	74	0,961260649	1	0,5	29,834	14,339
200	61,80	18	72	0,951055195	1	0,5	33,017	15,701
200	68,40	20	70	0,939690996	1	0,5	36,052	16,939
200	74,92	22	68	0,927181898	1	0,5	38,940	18,052
200	81,35	24	66	0,913543140	1	0,5	41,683	19,040
200	87,68	26	64	0,898791340	1	0,5	44,288	19,903
200	93,90	28	62	0,882944471	1	0,5	46,760	20,643
200	100,0 0	30	60	0,866021842	1	0,5	49,106	21,263

Casos de estudo

A metodologia desenvolvida foi aplicada em condições reais do território nacional, procurando a definição de áreas de estudos ilustrativas da variedade de condições topográficas existente.

Foram seleccionados dois exemplos de modo a representarem condições diferentes, uma mais acidentada e com um relevo mais vigoroso, representativa do centro e norte de Portugal - área 1, e outra – área 2, com um relevo mais suave, menos acidentado mas com algumas situações de encostas relativamente suaves, representativa do sul do País, particularmente de grande parte do Alentejo.

Os processos de modelação geográfica foram desenvolvidos exclusivamente sobre informação altimétrica digital proveniente da Carta Militar de Portugal, Série M 888, do Instituto Geográfico do Exército.

As figuras 1 a 8 ilustram alguns dos resultados mais significativos do processo de modelação, bem como informação considerada pertinente para a avaliação dos resultados alcançados.

Para os dois casos de estudo seleccionados são apresentados:

- o modelo digital de elevações, como informação de base para o desenvolvimento de todos os processos de análise espacial (figuras 1 e 5);

- a erosão hídrica estrutural (figuras 2 e 6) como representação dos resultados da implementação do modelo desenvolvido;
- os declives (figuras 3 e 7), reclassificados em 5 classes de declive, de 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20% e > 20%, como elemento de comparação entre a base metodológica usualmente adoptada e a abordagem EHE;
- a erosão hídrica estrutural reclassificada em duas classes (figuras 4 e 8): “excluir” da REN; “incluir” na REN; como elemento informativo de síntese do processo de classificação e delimitação de áreas a incluir na Reserva Ecológica Nacional.

As figuras 1 a 4, referentes à área de estudo 1 ilustram situações de encostas médias e curtas com declives acentuados. Neste caso de estudo os valores de declive elevado, apesar do reduzido comprimento de encosta, resultam em valores elevados do índice EHE. Pode verificar-se que grande parte das áreas de meia-encosta (excepto em encostas muito curtas) e de base da encosta estão integradas na classificação “incluir” (figura 4, a vermelho).

Da comparação com os valores das classes de declive pode constatar-se no entanto um aumento da áreas a integrar na classificação “excluir” nos topos das encostas, sendo igualmente patente uma maior compacidade nestas classificações.

Este caso de estudo é ilustrativo da possibilidade de se obterem valores baixos de EHE em áreas de declives acentuados desde que a encosta drenante para cada local (célula) seja relativamente pequena.

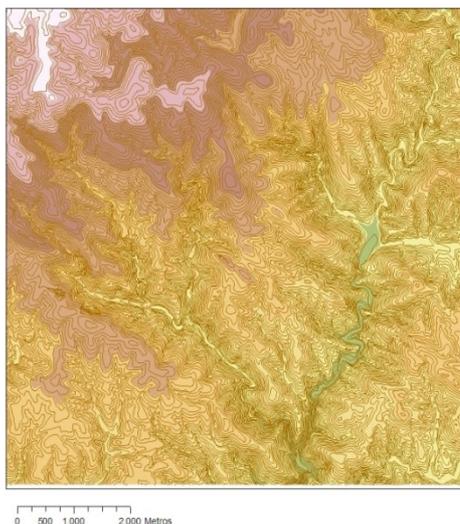


Figura 1 – Modelo digital de elevações – Área 1

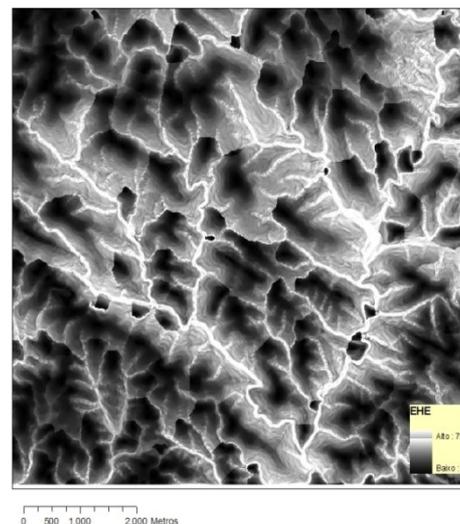


Figura 2 – Cálculo de Erosão Hídrica Estrutural – Área 1

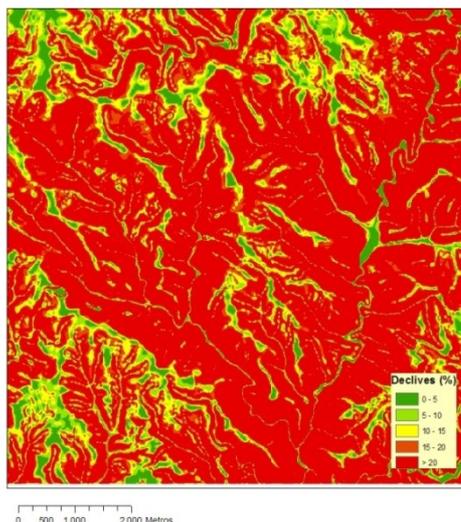


Figura 3 – Cálculo de Declives – Área 1

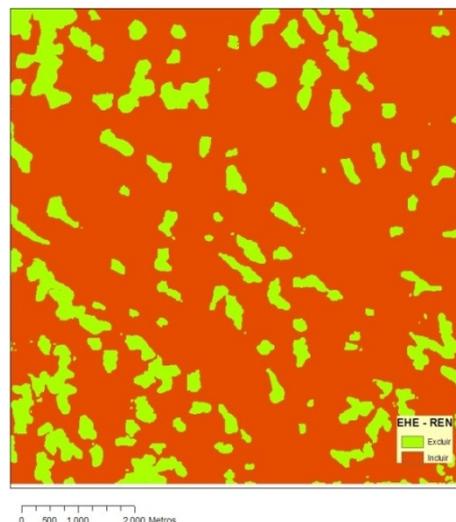


Figura 4 – Reclassificação de Erosão Hídrica Estrutural – Área 1

As figuras 5 a 8, referentes à área de estudo 2 ilustram situações de encostas relativamente longas de declives pouco acentuados, em que o elevado comprimento de encosta drenante leva a um aumento do risco estrutural de erosão.

Pode verificar-se que as áreas de topo e de meia-encosta nas áreas menos inclinadas estão integradas na classificação “excluir” (figura 8, a verde) e as áreas de mais próximas da base da encosta estão integradas na classificação “incluir”.

Este caso de estudo é ilustrativo da possibilidade de se atingirem valores significativos de EHE em áreas de declives pouco acentuados e encostas relativamente longas em que a erosão hídrica estrutural aumenta ao longo da encosta atingindo valores mais elevados próximo do base em resultado de um maior comprimento da encosta e também do aumento dos factores R_p - indicador de atrito e C – curvatura normalizada decorrentes da transição de terrenos mais inclinados para terrenos mais planos.

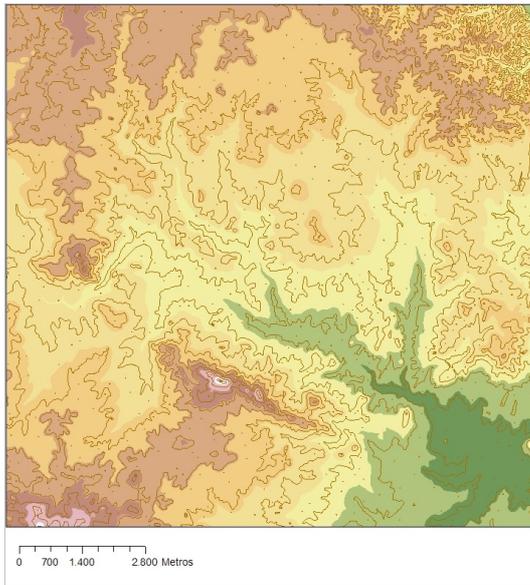


Figura 5 – Modelo digital de elevações – Área 2

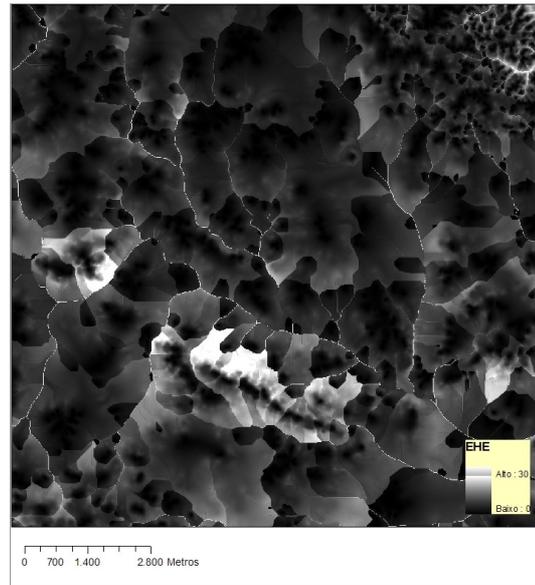


Figura 6 – Cálculo de Erosão Hídrica Estrutural - Área 2

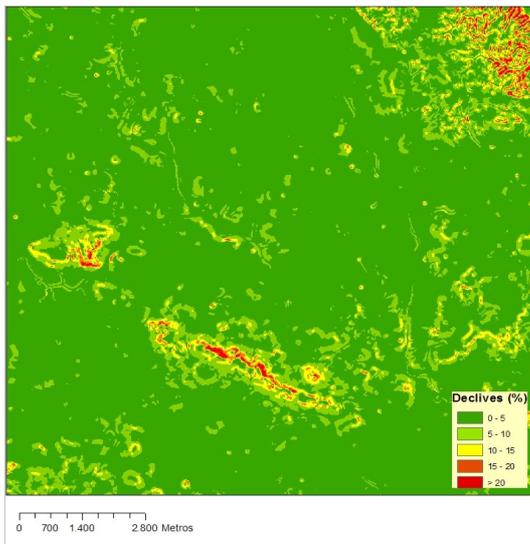


Figura 7 – Cálculo de Declives - Área 2

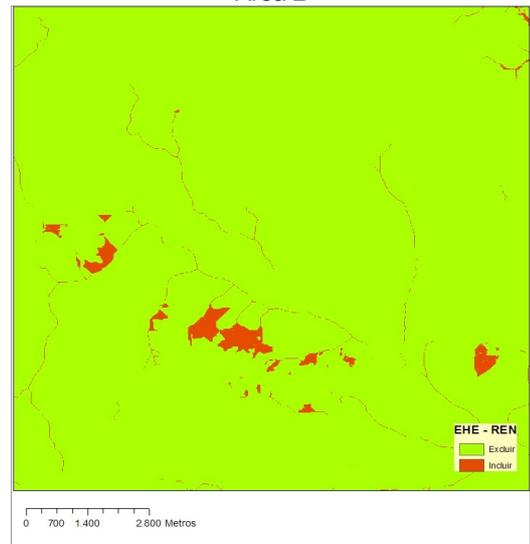


Figura 8 – Reclassificação de Erosão Hídrica Estrutural - Área 2

IV. Conclusões

A análise dos casos de estudo e das simulações de cálculo apresentadas nos quadros 1 a 3 permitem-nos considerar que a delimitação de áreas de elevado risco de erosão hídrica de solo deve integrar as que apresentam um valor de **EHE** – Erosão hídrica estrutural, superior a 5.

A aplicação da metodologia desenvolvida em contextos de ordenamento do território deve considerar a possibilidade de refinamentos, decorrentes de diversos factores considerados pertinentes pelos autores deste estudo:

- A sua aplicação implica a colaboração das diferentes unidades administrativas que actuem nas bacias hidrográficas objecto de aplicação do modelo. A validade plena do cálculo do índice EHE implica que a informação utilizada inclua a totalidade da área drenante para cada célula considerada.
- A informação de base deve ser uniforme para todo o território em análise pois a variação de detalhe na representação do terreno pode implicar a obtenção de valores distintos em função da redefinição dos modelos de escoamento. Assim sendo, considera-se que a metodologia deverá ser aplicada, em todo o território nacional, com base na cartografia do Instituto Geográfico do Exército à escala 1:25 000.
- A presença de estruturas que interfiram na continuidade da encosta ou no seu ângulo vão, como é evidente, alterar as condições iniciais e por conseguinte os resultados. No entanto, estas condições só se mantêm enquanto as referidas estruturas se mantiverem operacionais, levando a sua degradação à instalação de fenómenos erosivos bastante mais gravosos do que os que ocorreriam sem a sua implementação. Nestas condições somos de parecer que estas áreas continuem na classificação que teriam na ausência das referidas estruturas.

A metodologia desenvolvida tem larga aplicabilidade em processos de ordenamento do território podendo ser enunciadas algumas das suas principais vantagens metodológicas e operacionais:

- o potencial de erosão ou erosão hídrica estrutural passa a resultar do cálculo de um índice assente em funções globais de análise espacial e não de funções focais (declive) e locais de classificação;
- a utilização de modelos digitais de elevações matriciais gerados a partir de processos interpolativos de resolução adaptativa gerando representações hidrologicamente correctas promove uma muito mais elevada qualidade no cálculo de funções locais (ex: declives) e globais (ex: escoamento) diminuindo significativamente os erros resultantes de uma menor frequência da amostragem altimétrica;
- como todo o método se baseia em variáveis topográficas são apenas utilizados valores resultantes de processos de cálculo analítico, diminuindo a componente pericial de classificação e inerente subjectividade da aproximação metodológica;
- é possível representar as zonas potencialmente produtoras de sedimentos e as de acumulação o que permite desenvolver critérios de prevenção que nas condições de variabilidade da precipitação tanto anual como interanual

devem maioritariamente passar pela manutenção de uma cobertura permanente do solo durante o período chuvoso;

- A metodologia desenvolvida é de fácil aplicação prática estando em preparação uma “extensão” de software SIG visando simplificar a implementação do conjunto de processos de análise espacial e modelação geográfica;

– os resultados alcançados apresentam uma elevada compacidade nas delimitações, gerando definições espaciais de maior continuidade, contribuindo este facto para uma maior aplicabilidade em processos de ordenamento do território.

Nota final:

A definição espacial de áreas a incluir na REN, obtidas a partir da classificação dos resultados produzidos pelo modelo de análise espacial, poderá ser objecto de processos de alteração que decorrem da utilização de informação de classificação específica (as Câmaras e/ou a CCDR terão informação actualizada e rigorosa), cuja compatibilização se considere necessária no âmbito do regime da REN e da sua articulação com outra normativa de ordenamento do território.

Assim e a título de exemplo, podemos considerar as seguintes alterações:

- Proceder à exclusão das áreas com edificações legalmente licenciadas ou autorizadas (art. 9º do DL 166/2008);
- Proceder à exclusão de outras áreas incompatíveis com a susceptibilidade à erosão (nomeadamente albufeiras e extensos afloramentos rochosos);

Outro tipo de alterações justificáveis são as que decorrem da compacidade e área de manchas classificadas, que podem ser objecto de ajustamentos, nomeadamente através de processos de generalização, visando adequar os resultados a critérios de operacionalidade em termos de gestão territorial.

Os processos de generalização deverão consistir na eliminação de áreas que, pela sua reduzida dimensão e compacidade dificultem a sua inclusão enquanto classificações aplicáveis em processos de ordenamento. Estes processos deverão estar devidamente explicitados, com critérios justificados em função do seu contexto local de aplicação.

GLOSSÁRIO

Álgebra de mapas — Do Inglês *map algebra*, designação introduzida por Tomlin (1991) expressando a possibilidade de realização de operações algébricas (mais tarde a designação incluiria também outros tipos de operações) entre conjuntos de dados espaciais em formato matricial.

Altitude — Distância vertical medida entre um dado ponto e o geóide (superfície equipotencial do campo gravítico da terra que melhor aproxima o nível médio das águas do mar); a altitude é avaliada nas parcelas de amostragem por transferência do centro da parcela para a carta militar.

Análise espacial — Análise espacial designa o conjunto de operações de exploração de dados espaciais ou espacialmente representados, identificando, estabelecendo, verificando e quantificando relações entre os seus valores ou atributos.

Análise espacial de contexto – Operações de análise espacial que permitam integrar uma avaliação geral (normalmente designada por *global*) dos valores atributos e relações dos conjuntos de dados espaciais.

Aptidão potencial — Define-se como a capacidade de sobrevivência e desenvolvimento de uma espécie num ecossistema.

Atribuição de valor mais próximo — Operação de análise espacial em que a partir de informação discreta (ex.: pontos) permite a geração de um tema GRID pela atribuição de um valor a cada local no espaço em função da maior proximidade aos valores disponíveis.

Bacia hidrográfica — Área que, pelas suas características topográficas ou distribuição espacial dos valores de altitude, contribui ou drena para um determinado ponto ou curso de água.

Curvatura da encosta normalizada (C) – Parâmetro resultante de processos focais de análise espacial, como indicador de concavidade e potencial acumulação de material constituinte do solo;

Declive – ângulo da encosta com o plano horizontal do lugar.

Declive Força (DF) – Métrica espacial adimensional que estabelece uma relação entre as somas ponderada da altitude e do declive drenantes permitindo resultados finais similares aos valores resultantes do cálculo normal do declive em graus.

Destacamento do solo - individualização em partículas que possam ser transportadas, depende da erodibilidade do solo, estabilidade dos agregados e textura, e da energia da precipitação, erosividade.

Erodibilidade do solo – capacidade da estrutura do solo de resistir à energia da precipitação.

Erosão — Arrastamento progressivo de partículas do solo de tamanho variável, provocado pela acção da água, do vento e ou gravidade, que ultrapassam uma dada fronteira.

Erosão específica do solo por acção da chuva - é a quantidade de solo que ultrapassa uma dada fronteira pré estabelecida, depende pois do destacamento do solo pela acção da chuva e do escoamento, e do seu transporte pelo escoamento superficial.

Erosão hídrica - resultante da combinação do destacamento do solo e do transporte do material destacado sendo ambos resultantes da acção da energia cinética da água.

Erosão Hídrica Estrutural (EHE) - índice topográfico que constitui uma métrica da acção do relevo no processo de erosão hídrica do solo integrando diversas variáveis topográficas, segundo os princípios da mecânica clássica, adaptados às características do ambiente (software) de modelação.

Erosividade da precipitação – energia da precipitação.

Escala de captura — Escala de detalhe da informação armazenada em formato digital. Refere-se ao detalhe dos elementos gráficos por analogia com o formato cartográfico clássico, em que se consideram critérios de legibilidade e rigor visando a impressão de documentos cartográficos.

Família de solo – caracteriza-se normalmente a partir do material originário - Subdivisões do subgrupo baseadas principalmente na natureza litológica do material originário.

Geoprocessamento — Conjunto de operações de transformação estrutural dos elementos de um tema geográfico digital. Integra operações de corte segundo limites de um outro tema, união de temas, intersecção de temas, eliminação de fronteiras por partilha de elementos comuns, atribuição de informação por sobreposição espacial, etc.

Grupo de solo – caracteriza-se normalmente a partir das condições climáticas sob as quais o solo se desenvolveu - Subdivisão da subordem feita com base em características indicadoras de processos geneticamente menos marcantes ou em condições do clima que influenciaram a sua evolução.

Indicador de atrito (Rp) – Factor de cálculo da força de atrito, resultante da reacção ao peso, expresso como $\cos \alpha$.

Informação — É o resultado da compilação, processamento ou síntese de dados numa forma interpretável. Nota: na terminologia de Sistemas de Informação é comum usar o termo 'dados' como *input* de um processo e o termo 'informação' ao seu *output*, podendo a 'informação' funcionar como 'dados de um processo subsequente.

Layer — Conjunto de dados espaciais partilhando referências espaciais, tipológicas ou temporais, organizado num determinado formato digital (ex.: *shapefile*, GRID, etc.), num único documento ou documentos associados.

Modelação geográfica — Adaptação do termo Modelação Cartográfica, designando os processos de concepção e criação de modelos de dados e processos de análise espacial.

Ordem de solo – caracteriza-se normalmente a partir da presença ou ausência de horizontes característicos - Agrupamento de solos feitos com base em horizontes ou características cuja presença ou ausência são indicação essencial do desenvolvimento, diferenciação ou da natureza dos processos dominantes na formação dos solo.



Reclassificação — Operação de análise espacial de atribuição de novos valores a um layer em formato raster ou a um conjunto de registos de um tema vectorial.

Série de solo – Subdivisões da família de solo com horizontes ou camadas características semelhantes que se distribuem ao longo do perfil.

Soma ponderada dos valores de altitude drenante para cada ponto (hp) – Representação da contribuição cumulativa dos valores de altitude relativa de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de hp é efectuado através de operações de álgebra de mapas e de uma função combinada de escoamento difuso e concentrado.

Soma ponderada dos ângulos de inclinação (αp) – Representação da contribuição cumulativa dos declives de todas as células drenantes para cada local. O cálculo de αp é efectuado através de operações de álgebra de mapas e de uma função combinada de escoamento difuso e concentrado.

Subgrupo de solo – Conceito central do grupo de solo - Subdivisão do grupo que indicam o conceito central do grupo e as transições para os outros grupos.

Subordem de solo – Caracteriza-se normalmente a partir das características genéticas - São subdivisão da ordem estabelecida com base em características do solo que se julgam mais importantes sob o ponto de vista genético.

Terrain Ruggedness Evaluation Method (T) - Indicador do acidentado do terreno, expressando numa métrica integrada de processos focais de análise espacial, a variação ou ruptura do declive e da orientação de encostas;

Bibliografia

Brazier R.E.; Rowan, J.S.; Anthony, S.G.; Quinn P.F.; 2001. "MIRSED" towards an MIR approach to modelling hillslope soil erosion at the national scale. *Catena*, 42. 59-79 pp.

Cardoso, J.; 1965. *Os solos de Portugal sua classificação e génese. 1-Sul do rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.

Flanagan, D. C., ed.; 1994. Water Erosion Prediction Project, Erosion Prediction Model. NSERL, report nº9, USDA-ARS, National Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, USA.

Julião, R.P.; F. Nery; J.L.Ribeiro; M.C. Branco; J.L. Zézere. 2009. *Guia metodológico para produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (sig) de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil.

Mitasova, H.,J., Hofierka, M., Zlocha, Iverson, R., L., 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition in GIS; *International Journal of Geographical Information Science*, 10(5); pp 629-641.

Neves, N.; Freire, M.; Guiomar, N.; Duarte, L.; 2010. Avaliação do Acidentado do Terreno: Desenvolvimento de uma nova métrica focal. *In Proceedings from the Conference, MyESIG 2010*. Oeiras 10-12 February 2010.

Pimenta, M.T.; 1998. *Caracterização da erodibilidade dos solos*. INAG/DSHR.

Smidth, F.; 2002. *topocrop.Zip*. Language, Avenue. Public Domain.

Tomás, P.M.P.P.; 1997. Modelos de Previsão da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Tomlin, D.; 1991, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J..

Wishmeier, W. H.; Smith, D. D.; 1978. Predicting rainfall erosion losses. USDA Agr. Res. Serv. Handbook.