



APRH

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS
NUCLEO REGIONAL DO SUL

DEBATE
RIO GUADIANA
PASSADO PRESENTE FUTURO

**ESTUDO DA EROSÃO HÍDRICA EM SUB-BACIAS DO RIO
GUADIANA**

Maria Teresa B. Pimenta
Miguel A. Coutinho
Maria Teresa P. Álvares

EROSÃO HÍDRICA EM SUB-BACIAS DO RIO GUADIANA

Pimenta, M. Teresa; Coutinho, Miguel A. *; Álvares, M. Teresa

INAG

Av. Almirante Gago Coutinho nº 30, 12º piso, 1000 Lisboa

* IST, Av. Rovisco Pais, 1000 Lisboa

RESUMO

Em conformidade com o actual plano de trabalhos da Direcção de Serviços de Recursos Hídricos - INAG, tem se vindo a desenvolver uma metodologia para o cálculo da erosão específica em pequenas bacias hidrográficas, através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica, de modo a futuramente se poder aplicar para toda a bacia do rio Guadiana, para se definirem zonas de maior risco erosivo. Este trabalho faz parte de um projecto conjunto de Avaliação de erosão hídrica e sedimentação em albufeiras na bacia do rio Guadiana.

A metodologia proposta revela-se bastante eficiente no sentido de se poderem propôr vários cenários e condições alternativas, permitindo uma fácil actualização/alteração dos resultados.

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

O trabalho que se apresenta corresponde a uma fase preliminar da avaliação da erosão hídrica em pequenas sub-bacias do rio Guadiana, dominadas por albufeiras com vista à sua integração em Sistemas de Informação Geográfica, tendo como base a Equação Universal de Degradação dos Solos (EUDS) de Wischmeier (SCS, 1978).

A calibração da EUDS para as condições existentes e a avaliação da sua aplicabilidade prática, intervindo a nível dos vários parâmetros, tem sido objecto de diversos trabalhos de investigação portugueses. Com este trabalho, pretende-se avaliar a sensibilidade da metodologia proposta na quantificação dos seus diferentes parâmetros.

Os Sistemas de Informação Geográfica vão desempenhar um papel muito importante na manipulação, análise, extrapolação e visualização da informação, em termos espaciais, integrando uma grande variedade de elementos de cartografia e mapas temáticos, de modo a suportar a tomada de decisões e a elaboração de cenários alternativos, de uma forma rápida e eficiente.

Inserido neste contexto, o trabalho em curso tem os seguintes objectivos:

- Desenvolvimento e adaptação de ferramentas para o cálculo da erosão hídrica em pequenas bacias hidrográficas.
- Uso das ferramentas de avaliação e decisão, e consideração do processo erosivo no estudo e ordenamento do território e combate à Degradação Ambiental.

- Estabelecimento de zonamentos e em particular definição de zonas de risco, em termos de erosão hídrica.
- Aplicação à bacia do rio Guadiana.

EROSÃO HÍDRICA

A erosão do solo caracteriza-se pela remoção do material superficial conduzindo ao empobrecimento do solo. É um processo complexo, que depende de uma multiplicidade de factores, que variam no tempo e no espaço, e cuja universalidade e particularidade simultâneas o torna difícil de equacionar e quantificar (MORGAN, 1986).

A previsão da erosão do solo, a qual significa previsão da perda de solo e redução das suas capacidades, constitui o suporte para a selecção de estratégias apropriadas à conservação do solo, implicando, por isso, uma perfeita compreensão dos processos erosivos.

Os factores determinantes da erosão são a erosividade do agente erosivo, a erodibilidade do solo, a geometria das encostas, as características do coberto vegetal e a presença (ou ausência) de medidas de conservação (MORGAN, 1986). A intensidade e o grau de erosão dependem da forma como os factores acima referidos actuam no sistema, das interrelações e das várias combinações entre eles. Estes factores podem ser incluídos em três grupos principais: energia, resistência e protecção, como se pode ver representado esquematicamente na Figura 1.

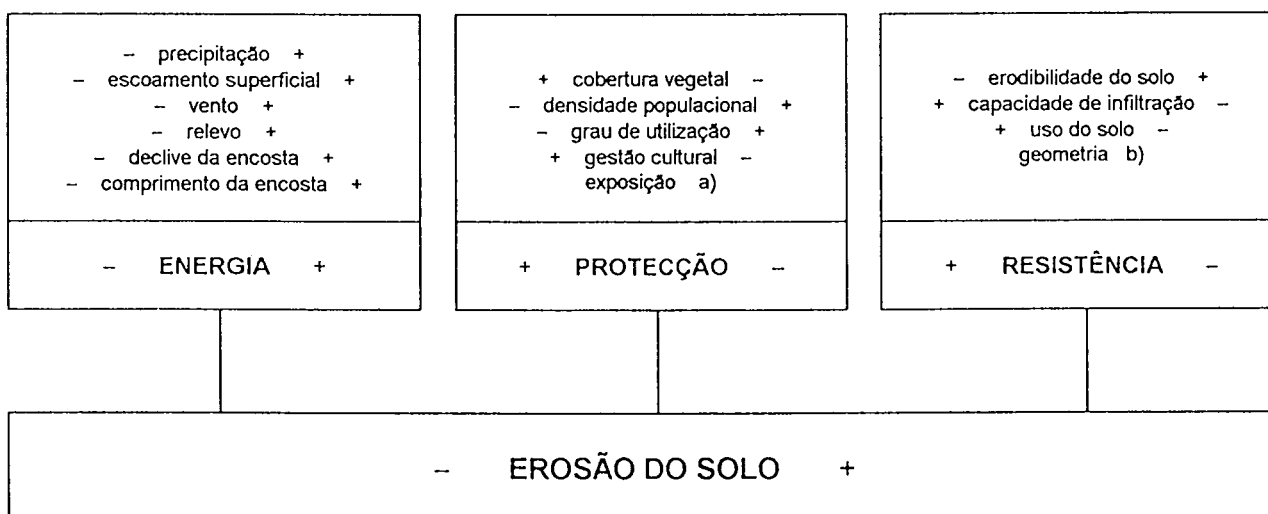


FIGURA 1 - Factores que afectam a erosão do solo. (adaptado de MORGAN, 1986)

- a) Macro geometria (vulnerabilidade aos agentes)
- b) Micro geometria (rugosidade da superfície)

O grupo da energia compreende a potencialidade da precipitação e do escoamento em causar a erosão, ou seja, a erosividade. O princípio fundamental do grupo da resistência é a erodibilidade do solo, a qual depende das suas propriedades físicas e químicas, para além de outros aspectos da geometria das encostas. O grupo da protecção está relacionado com a cobertura vegetal, a qual pode interceptar a

precipitação e diminuir a velocidade do escoamento e a vulnerabilidade aos agentes, motivada pela intensidade e práticas de uso (MORGAN, 1986).

Para se entender e exercer qualquer controlo sobre o processo erosivo, todos estes factores devem ser analisados em pormenor e os seus aspectos mais relevantes identificados correctamente de forma a permitir manipulação adequada dos instrumentos de correcção.

Os prejuízos causados pela erosão são enormes, podendo citar-se como principais os seguintes: perda de fertilidade dos solos adequados à agricultura, assoreamento e instabilização dos leitos dos rios e canais, aumento da frequência das inundações, redução da capacidade das albufeiras, afectação da saúde pública, desequilíbrios ecológicos, afectação de obras de irrigação, obstrução dos sistemas de drenagem.

A erosão hídrica do solo compreende duas fases, as quais se traduzem pelo destacamento das partículas individuais do solo pelos agentes erosivos e o seu transporte para longe do local onde o destacamento teve lugar. Quando a energia existente, responsável pela erosão e pelo transporte, decai ocorre uma terceira fase: a deposição (MORGAN, 1986).

A intensidade da erosão depende, também, da quantidade de material disponível para o destacamento e da capacidade de transporte dos agentes erosivos.

Para a estimativa da erosão específica, utilizou-se a Equação Universal de Degradação dos Solos (EUDS) de Wischmeier. A EUDS agrupa as variáveis que influenciam a erosão em seis factores genéricos, que se relacionam da seguinte forma:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

sendo;

A-Perda de solo média ou erosão específica. Habitualmente em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$.

R-Factor de erosividade da precipitação, sendo representado pelo índice de erosividade EI30 (produto da energia cinética da precipitação - E, pela máxima intensidade da precipitação registado num período de 30 minutos - I30). É habitualmente expresso em $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ou $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$.

K-Factor de erodibilidade do solo, quantificado em unidades de perda de solo por unidade do factor de erosividade R, ou seja, $t \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$. Em valor adimensional, respectivamente, conforme as unidades de R.

LS-Factor fisiográfico, que compreende o comprimento da encosta - L, através do quociente entre a perda de solo numa encosta com um determinado comprimento e uma outra com um comprimento de 22,13 metros e o declive - S, relacionado com o quociente entre a perda de solo de uma encosta com um dado declive e uma encosta com um declive de 9%, em condições idênticas. É adimensional.

C-Factor relativo ao coberto vegetal. Quociente entre a perda de solo de um talhão com uma determinada cultura e manejo e de um talhão continuamente em solo nu, em idênticas condições.

P-Factor de prática agrícola ou de medidas de controlo de erosão. Quociente entre a perda de solo de um talhão com uma determinada prática agrícola e um talhão lavrado segundo a linha de maior declive, em condições idênticas.

A EUDS tem sido o modelo empírico mais divulgado e utilizado para o cálculo da erosão específica. Esta equação está a ser alvo de um processo de análise e revisão, com o objectivo de melhorar os

métodos de previsão da erosão e seu controle, baseado na investigação contínua dos princípios e processos da erosão/ sedimentação hídrica. A EUDSR incorpora a última informação disponível para a previsão da erosão (Agricultural Research Service - ARS, 1993).

METODOLOGIA

A fase inicial do trabalho destina-se a adquirir os conhecimentos necessários ao uso das ferramentas e da respectiva sensibilidade e adaptabilidade às condições da área onde se pretende generalizar o seu emprego, tratando os procedimentos e metodologia em bacias piloto, para futuramente difundir a sua aplicação a toda a bacia do rio Guadiana.

Desenvolve-se, seguidamente, a metodologia que se tem vindo a ensaiar no estudo das bacias piloto. Após a inventariação das albufeiras da bacia hidrográfica do Rio Guadiana e reconhecimento de campo do estado erosivo e sedimentológico das mesmas, fez-se uma caracterização sob diversos aspectos:

Estado erosivo e sedimentológico do local

Área inundada

Acessibilidade

Distribuição espacial

Representatividade dos dados das redes udométricas e hidrométricas

Foram seleccionadas a albufeira das Minas da Tinoca e a albufeira do Cabaço com as seguintes características:

ALBUFEIRA	CÓDIGO	AREA INUNDADA (ha)	ÁREA DA BACIA (km ²)	CARTA MILITAR	CONCELHO
Minas da Tinoca	19005	0.5	0.11	386	Arronches
Cabaço	25K01	33.9	14.3	499 e 510	Cuba

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado para a avaliação da erosão foi o GRASS - Geographic Resources Analysis Support System - desenvolvido pela Environmental Division at US Army Construction Engineering Research Laboratory (USACERL). Este SIG é um sistema de informação essencialmente raster e funciona em ambiente UNIX.

A implementação do cálculo da erosão no SIG GRASS constou das seguintes fases:

1. Digitalização das cartas

Foram digitalizadas as curvas de nível, linhas de água e pontos cotados das Cartas Militares (escala 1:25000) relativas a cada uma das bacias hidrográficas, neste caso as cartas 386, 499 e 510, assim como as Cartas Complementares de Solos (1:25000) e de Uso do Solo (1:25000). Nesta fase, obtiveram-se os ficheiros vectoriais.

2. Edição de ficheiros vectoriais

Este processo desenvolve-se para corrigir eventuais erros de digitalização ou de atribuição de categorias às linhas-vectores.

3. Conversão de ficheiros vectoriais para raster

Nesta fase há que decidir qual a melhor resolução que se adapta às cartas de base a qual depende também do objectivo pretendido. Neste caso de estudo, dado as albufeiras ocuparem uma área relativamente pequena na carta 1:25000, utilizou-se a resolução de 1mm, na carta, a qual corresponde a uma rede real de 25 por 25 m.

4. Manipulação dos ficheiros raster

Com base nas curvas de nível e pontos cotados, em formato raster, geraram-se os ficheiros de elevação do terreno (DTM). Cada célula terá um valor de elevação (cota) determinado através de um algoritmo de interpolação linear. A introdução dos pontos cotados para obtenção destes ficheiros destina-se a melhorar a geração da superfície nas cumeadas e depressões.

A partir dos ficheiros de elevação do terreno obtiveram-se as cartas de declives e orientação das encostas. Os primeiros incluem os valores em percentagem ou em graus da inclinação da encosta em relação à horizontal e, os segundos traduzem a direcção das encostas, representado em graus em relação a Este. O algoritmo utilizado para gerar estes mapas realiza os cálculos para a vizinhança de uma célula em torno da célula de referência (3x3).

Com recurso a um algoritmo de análise existente no sistema GRASS e tendo fundamentalmente como input os ficheiros de elevação do terreno foi gerada a cartografia das sub-bacias e dos parâmetros de declive (S) e fisiográfico (LS) da EUDS revista de Wischmeier. Este algoritmo baseia-se no A^T Least-Cost Search Algorithm descrito em "Using the A^T Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data in Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium '89, pp 275-281 (Baltimore, MD, 18-19 March 1989), Charles Ehlschlaeger, US Army Construction Engineering Research Laboratory. As equações para os parâmetros S e LS foram obtidas de Revised Slope Steepness Factor for the USLE, in Transactions of the ASAE (vol 30 (5), Sept-Oct 1987), McCool et al.

5. Verificação da qualidade dos mapas obtidos

Após a obtenção dos mapas raster de elevação do terreno, declives, orientação de encostas, factor de declive S e fisiográfico LS, de Wischmeier, há que verificar o seu conteúdo. Para tal foi efectuada uma observação pormenorizada e a comparação destes com outros obtidos manualmente ou com recurso a algoritmos específicos e, mesmo até, com mapas obtidos pelo GRASS para condições teóricas.

6. Atribuição de categorias

Para que se possam fazer as operações de análise num SIG, as várias unidades dos mapas têm de ter categorias associadas, neste caso numéricas. É necessário efectuar uma reclassificação.

No que respeita ao uso do solo, recorreu-se a tabelas incluídas no relatório, Erosão hídrica do solo em pequenas bacias hidrográficas - EUDS, Pedro Tomás, CEHIDRO, Outubro 1992.

As categorias das cartas de solos foram atribuídos segundo a metodologia apresentada no relatório, Caracterização da erodibilidade dos solos, M.T. Pimenta, INAG, Junho 1994.

7. Obtenção de mapas de Erosão Específica

Na presença da diversa cartografia temática relativa aos parâmetros do modelo de Wischmeier, obtiveram-se os primeiros mapas de erosão com recurso a um algoritmo do GRASS, que permite

efectuar operações lógicas e matemáticas entre mapas raster. Cada mapa representa um factor da EUDS. O factor R foi obtido por interpolação de uma carta de isolinhas de R apresentada em Coutinho et al, Maio 1993. Das cartas de tipo e uso do solo resulta o factor C e K. A carta do factor fisiográfico (LS), já referido, tem aplicação directa. O parâmetro P tem o valor de 1 pois não se observam práticas conservacionistas nos locais de estudo.

APRESENTAÇÃO PRELIMINAR DE RESULTADOS

No quadro que se segue, apresentam-se os valores do declive médio, obtido manualmente através da metodologia simplificada de Williams e Berndt (1976) referida em Tomás 1992, para pequenas bacias e obtido no sistema GRASS, e do factor fisiográfico LS respectivo, para cada bacia de estudo. O comprimento médio da encosta foi também obtido por recurso à metodologia anteriormente referida.

ALBUFEIRA	Declive médio		Comprimento médio Manual	Factor LS	
	Manual	GRASS		Manual	GRASS
Tinoca	6.4	7.6	117	1.7	0.29
Cabaço	3.8	4.2	285	1.2	0.17

No sistema GRASS determinaram-se, também, as médias dos parâmetro da EUDS, referentes a cada mapa temático, que se apresentam no quadro seguinte:

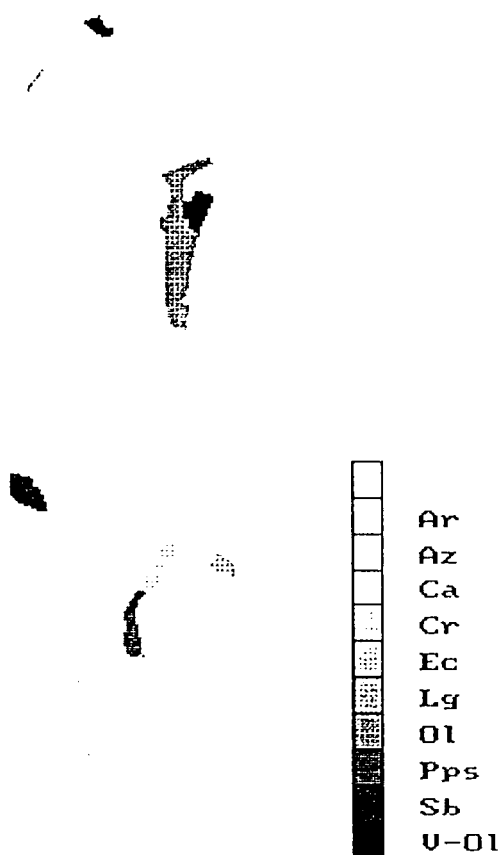
ALBUFEIRA	R	K	C	P	LS	A (ton/ha.ano)
Minas da Tinoca	100	0.23	0.10	1	0.29	0.7
Cabaço	111	0.26	0.35	1	0.17	1.7

CONCLUSÕES E PROJECTOS FUTUROS

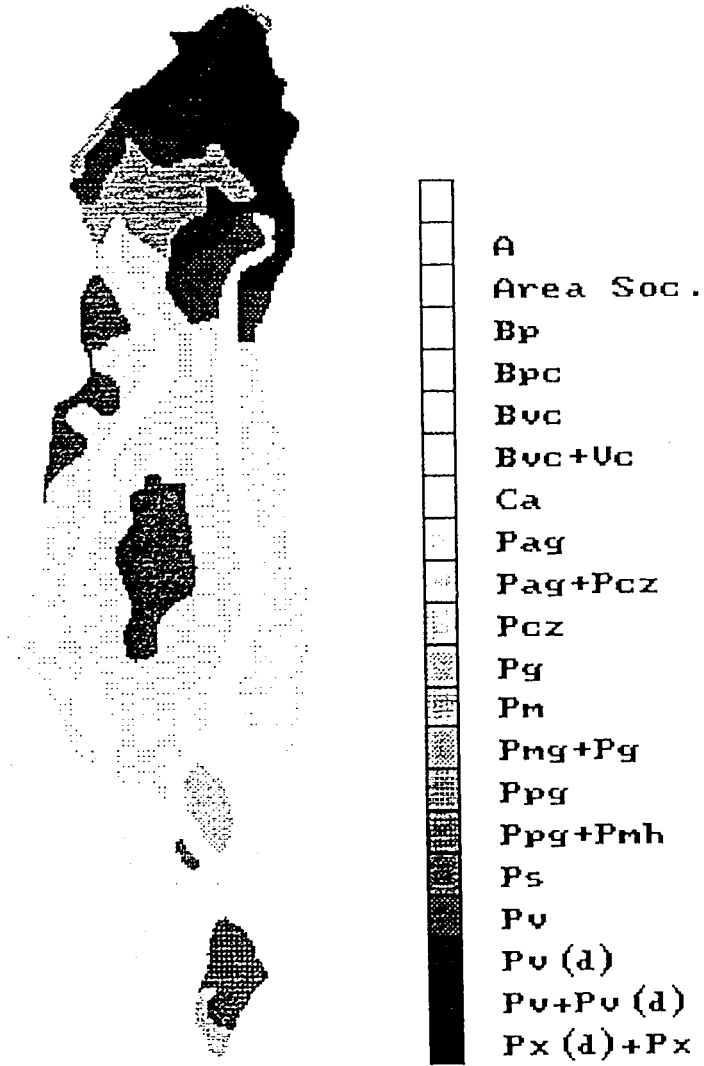
A utilização de Sistemas de Informação Geográfica para a obtenção automática de estimativas dos valores da erosão hídrica revela-se bastante eficiente dada a possibilidade de se estudarem zonas do território de dimensão considerável, com relativa facilidade e rapidez. Outra vantagem encontrada é o facto de se poderem estabelecer cenários e condições alternativas e obter resposta quase imediata.

Este estudo, que constitui uma divulgação preliminar dos resultados já obtidos, prevê em fases posteriores um aperfeiçoamento na obtenção dos vários parâmetros da EUDS, nomeadamente o factor C de coberto vegetal e o factor fisiográfico LS. Para tal, no que respeita ao factor C estão a ser digitalizadas fotografias aéreas das bacias de estudo, tendo em conta as datas da sua realização e rotações culturais praticadas no decurso da vida da albufeira a que se encontram associadas. Quanto ao factor LS, está a ser feita uma comparação de diversas metodologias para a sua obtenção, nomeadamente o processamento manual, um algoritmo específico externo ao sistema GRASS, e a simulação do respectivo cálculo em condições teóricas.

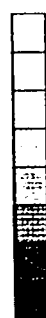
Uso do Solo no Cabaço



Carta de Solos da Bacia Hidrográfica do Cabaço



Erosão Específica na Bacia Hidrográfica do Cabaço



<	.03t/ha
a	.12t/ha
a	.15t/ha
a	.45t/ha
a	.77t/ha
a	3.78t/ha
a	7.59t/ha

Depois de testados os procedimentos e estabelecida a metodologia adequada, estudar-se-ão mais albufeiras no sentido de quantificar os níveis de erosão hídrica e perda de solo na bacia do rio Guadiana, para a identificação dos ambientes mais sensíveis e necessitados de medidas correctivas, para sustentar a degradação ambiental que em alguns casos conduzem a processos de desertificação.

BIBLIOGRAFIA

- AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE (ARS - USDA) (1994). *Predicting Soil Erosion by Water - A Guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USA.
- ARANOFF, S. (1989) - *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, WDL publications, Ottawa.
- BURROUGH, P.A. (1986) - *Principles of Geographical Information Systems for land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- CARDOSO, J.V.C. (1965) *Os solos de Portugal, sua classificação, caracterização e génese - A Sul do Rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.
- COUTINHO, M.A., ANTUNES C., TOMÁS, P. LOUREIRO N.(1993) - *Caracterização da erosividade da precipitação no sul de Portugal*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- FORBES, T.; ROSSITER, D.; WAMBEKE A.V. (1981) - *Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories*. Soil Conservation service, United States Department of agriculture .
- FOSTER , G.R.; McCOLL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. (1981) - *Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units*. J S W C - nov-dez.
- FOTH, H.D. - *Fundamentals of Soil Science*, 7 th ed., W I E (Wiley).
- HUDSON, N. (1986) - *Soil Conservation*. B T Batsford Limited, London.
- MORGAN, R.P.C. (1986) - *Soil erosion and conservation*. Longman Scientific & Technical, London.
- PIMENTA, T.e COUTINHO, M.A.(1994) - *Erosão Hídrica e Sedimentação em Albufeiras da Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana, Caracterização da erodibilidade dos solos*, Relatório preliminar INAG, Lisboa.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1977) - *Guides for erosion and sediment control*.
- TOMÁS, P.(1992) . *Erosão hídrica do solo em pequenas bacias hidrográficas (EUDS)*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- TOMÁS, P. (1992) - *Estudo da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas - Aplicação à região Sul de Portugal*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Depº. Engª. Civil, Lisboa.
- USACERL (United States Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratories (1993) - *GRASS 4.1 User's Reference Manual*, Champaign, Illinois.
- WHISCHMEIER, W.H. e SMITH, D.D. (1978) - *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Agricultural Handbook nº537, Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture.