

Avaliação experimental do escoamento e da erosão num Luvissole Háplico de Mértola: impactos da fertilização em pastagens

Experimental evaluation of runoff and erosion in an Haplic Luvisol of Mértola: impacts of fertilization in pastures

J. C. Martins¹, F.P. Pires¹, A.V. Oliveira¹, A. M. Campos², C. Horta², M.G. Serrão¹ & M. L. Fernandes¹

RESUMO

Numa área experimental situada a meia encosta, na região de Mértola, Alentejo, com um Luvissole Háplico (FAO, 2001) e um declive médio de 15%, procedeu-se à avaliação, de Outubro de 2001 a Junho de 2004, do escoamento de água superficial, provocado pela precipitação, e da perda de solo por erosão, em 3 ensaios designados por A (pastagem melhorada), B (pastagem semeada), ambos instalados em 1997, e D (pastagem semeada), estabelecido em 2001. A cobertura vegetal incorporava uma mistura de sementes constituída por azevém anual, panasco, algumas espécies de trevo, bisserula e serradela. Aqueles parâmetros foram quantificados através de pequenos talhões de erosão de 4×1 m², com a maior dimensão no sentido do declive, sobrepostos em 6 talhões de cada um dos ensaios (3 modalidades e 2 repetições, para cada ensaio). As 3 modalidades consideradas nos ensaios A e B foram as seguintes: 1 - Sem fertilização; 5 - Adubação completa, corrigida anualmente; 7 - Fertilização orgânica

com 8 t/ha de lama residual urbana (LRU), aplicada em 1997 + adubação complementar. O ensaio D incluiu a aplicação de 3 níveis de LRU (L₀ - 0, L₁ - 12 e L₂ - 24 t/ha, respectivamente). Em cada caixa de erosão, procedeu-se à medição do volume de água escoado e à quantificação de sedimentos, quando a capacidade de infiltração de água no solo era excedida pela quantidade de precipitação ocorrida em um ou vários dias consecutivos.

Nos ensaios A e B, os valores mais altos do coeficiente de escoamento referem-se à modalidade 1 sendo a situação mais favorável correspondente à modalidade 7 do ensaio B. No ensaio D, os valores para aquele coeficiente situaram-se entre 0,07 e 0,10, para as 3 modalidades, que são manifestamente baixos.

Quanto à perda de solo, observou-se que foi a modalidade 7 dos ensaios A e B a que registou os valores mais baixos, no conjunto dos 3 anos. No ensaio D, observaram-se valores superiores aos verificados nos ensaios A e B, nos 3 anos, sendo mais elevados na modalidade sem fertilização.

¹ Estação Agronómica Nacional, Quinta do Marquês, 2784-505 OEIRAS; Tel.: 214403500, e-mail: jemartins-lx@iol.pt; ²Direcção Regional de Agricultura do Alentejo, Apartado 83, 7001 ÉVORA

ABSTRACT

In a experimental area located in a hillside of Mértola region, Alentejo, with an Haplic Luvisol (FAO, 2001) and a mean slope of 15%, soil loss by erosion and surface runoff after rainfall occurrence were evaluated in small erosion plots, from October 2001 until June 2004, in 3 field experiments (A, B, and D) with a sown pasture mixture under different fertilization treatments. The experiments A (improved pasture) and B (sown pasture) were established in 1997, but the experiment D (sown pasture) was only installed in 2001. The sown mixture consisted of ryegrass, cocksfoot, some clover species, bisserula, and bird's foot. In both experiments A and B, the erosion plots ($4 \times 1 \text{ m}^2$) were superimposed on 6 plots. These experiments had three treatments (1 - without fertilization, 5 - inorganic fertilization; 7 - organic fertilization (8 t/ha of urban sewage sludge - SS applied in 1997, plus inorganic fertilizer in the beginning of each growing period) and two replications. In D experiment, the erosion plots were also superimposed on 6 large plots with three SS application rates ($L_0 = 0$, $L_1 = 12$, and $L_2 = 24 \text{ t/ha}$) and two replications. In each erosion plot, the volume of discharged water was measured and the amount of sediments was estimated when the infiltration capacity was exceeded by the amount of the rainfall occurring for one or several consecutive days of rainfall.

The lowest observed runoff coefficient corresponded to the SS treatment, in B experiment. The highest values of that coefficient were reached at the treatment without fertilization in both A and B experiments. In D experiment, all treatments showed low values, between 0.07 and 0.10.

The lowest soil loss values in the 3 years occurred in experiments A and B for the

treatment with 8 t/ha of SS. In the experiment D, the highest values of soil loss were observed at the plots with L_0 treatment.

INTRODUÇÃO

No interior do Baixo Alentejo, existem zonas com clima sub-húmido seco a semi-árido, com baixa pluviosidade média anual, face à evapotranspiração potencial, e com riscos potenciais de desertificação, nomeadamente nos concelhos de Mértola, Castro Verde e Almodôvar, onde os solos são, em grande parte, pouco espessos e apresentam reduzida fertilidade e baixos níveis de matéria orgânica. Estes solos são susceptíveis à erosão hídrica devido às suas características intrínsecas, à morfologia do terreno, à ocorrência de pluviosidade num escasso número de meses e, por vezes, concentrada em dias consecutivos, à deficiente cobertura vegetal, às técnicas de mobilização utilizadas e aos sistemas culturais praticados (Serrão *et al.* 2004; Steiner, 1996). A agricultura intensiva praticada no século passado, nomeadamente nos anos 30 e 40, utilizando técnicas inadequadas de mobilização do solo, conduziu à degradação e perda de solo, com maior gravidade nas zonas de declive mais acentuado e nos períodos de ocorrência de chuvas de grande intensidade e curta duração, com a consequente deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Martins *et al.*, 2001). As pastagens naturais existentes nestes solos apresentam, geralmente, fraca produção e uma composição florística desequilibrada, pelo que o efectivo pecuário que permitem alimentar, por unidade de superfície (ovinos e caprinos), é muito baixo.

Serrão *et al.* (2004) referem que, na última década, se tem assistido ao acréscimo apreciável do número de cabeças de

gado bovino e ovino, bem como da carga animal na região do Alentejo, com o consequente aumento da procura de alimentos nomeadamente, em sistemas de pecuária extensiva. Por outro lado, é premente dar um destino útil às lamas residuais urbanas (LRU) do País, no geral, com teores apreciáveis de MO, cuja acumulação tem aumentado em ritmo acelerado, embora a presença eventual nas LRU de níveis elevados de metais pesados, compostos orgânicos poluentes e organismos patogénicos, possa condicionar a dose das LRU a aplicar e requeira o controlo desses factores nos solos aos quais forem aplicadas. O elevado teor de azoto (N) que por vezes contém, pode inibir a actividade simbiótica do rizóbio e afectar a sobrevivência das leguminosas na pastagem. A aplicação das LRU aos solos destinados a pastagens, ainda escassamente utilizadas no País, pode porém contribuir para diminuir o risco de erosão, pelo aumento da cobertura vegetal.

A degradação do solo pode assumir diversas formas (Steiner, 1994): erosão (hídrica e eólica, com perda de solo superficial), química (perda de elementos nutritivos, salinização e acidificação), biológica (perda de matéria orgânica e de actividade biológica) e física (compactação, encrostamento). Os agentes principais da erosão do solo são a água e o vento, mas em Portugal a erosão é, essencialmente, de origem hídrica. O risco de perda de solo depende de factores climáticos (energia da precipitação), do tipo de solo (textura e estabilidade da estrutura), da topografia (declive e comprimento da encosta) e do tipo de utilização do solo (sistema de culturas, grau de protecção do solo pelas culturas e seus resíduos e intensidade do sistema de mobilização). As técnicas de mobilização reduzida ou de conservação do solo são medidas conducentes ao melhoramento do grau de agregação do solo, ao aumento da capa-

cidade de retenção e de infiltração de água no solo e à redução, retenção ou controlo do escorrimento de água superficial, perda de solo e da consequente poluição química por contaminantes inorgânicos e orgânicos dos recursos hídricos superficiais e subterráneos.

Segundo Ferreira *et al.* (1984), a perda de solo média registada em talhões de erosão (com cerca de 20 m de comprimento e 8 m de largura, num solo Mediterrâneo Vermelho de xisto de materiais não calcários, declives entre 10 e 20% e diferentes coberturas vegetais), no período de 1962/63 a 1979/80, no Centro Experimental de Erosão de Vale Formoso, situado na Serra de Mértola e na margem esquerda do Rio Guadiana, variou entre 0,4 e 6 t/ha. Aqueles autores referem ainda que a extrapolação dos valores obtidos das perdas de solo medidas em talhões experimentais de erosão, para as folhas agrícolas, de dimensões manifestamente maiores mesmo que com condições semelhantes, seria incorrecta devido à relação entre a perda de solo e o comprimento e declive da encosta. A erosão média nas herdades é, dada a grandeza dos campos, provavelmente 3-5 vezes maior que a registada nos talhões.

Roxo (1994) também estudou os processos e mecanismos que intervêm na erosão hídrica dos solos, com base na informação recolhida desde 1960-61 a 1992-93 no Centro Experimental de Erosão de Vale Formoso, que inclui 18 talhões com cerca de 20 m de comprimento por 8,33 de largura e declives entre 10 e 20%. Aquela autora refere que os dados analisados por Carlos Rosa, relativos ao período de 1970-71 a 1978-79, em talhões cultivados com vários tipos de pastagens, deram origem a uma perda de solo média anual de 270 kg/ha. Os talhões com pastagens são os que registaram os menores valores de erosão. Ainda segundo Roxo (1994), o tipo de coberto

vegetal tem uma grande importância em relação à perda de solo por erosão hídrica. Os dados daquele Centro foram também utilizados por diversos autores para estimar a perda de solo através da Equação Universal de Perda de Solo, tendo sido referido que tal modelo prevê, em regra por excesso, a perda de solo em talhões experimentais de erosão.

Murillo *et al.* (2000) indicam que foram observados em dois anos (1998 e 1999) um escoamento médio de 12,6 mm e uma perda média de solo de 158 kg/ha, num ensaio com 8 tratamentos de cobertura vegetal, efectuado num montado da zona de Badajoz. Os valores mais baixos de ambos os parâmetros corresponderam ao tratamento de sementeira tradicional de leguminosas pratenses anuais sobre solo lavrado, e a maior perda de solo correspondeu ao tratamento com alqueive.

Este estudo foi desenvolvido no âmbito de projectos de investigação, executados na Herdade de Corte Carrilho, Mértola, que visavam obter conclusões consistentes acerca dos efeitos benéficos e prejudiciais, para o solo, para a biomassa vegetal e para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos da aplicação de diferentes níveis de lamas residuais urbanas (LRU) em solos de baixa fertilidade vocacionados para pastagens. Esses projectos englobaram um conjunto de objectivos com vista à obtenção de resultados experimentais de natureza agrónómica e ambiental como os parâmetros vegetais (produção e composição florística da biomassa) e parâmetros do solo (teores de matéria orgânica, azoto total, fósforo, potássio, cationes de troca, metais pesados, população microbiana e indicadores de contaminação fecal por bactérias entéricas patogénicas). Neste trabalho, apresentam-se os resultados obtidos para o escoamento de água superficial provocado pela precipitação e respectivo coeficiente

de escoamento, e para a perda de solo por erosão, no período de 2001 a 2004, em 3 ensaios experimentais estabelecidos naquela Herdade.

MATERIAL E MÉTODOS

Instalaram-se três ensaios com pastagem na Herdade de Corte Carrilho, situada a cerca de 8 km a Sul de Mértola, numa encosta de perfil côncavo com um comprimento de cerca de 220 m. A área reservada aos ensaios situava-se a meia encosta e apresentava um declive médio de 15%, variando entre 12,2 e 19,9%. Os ensaios estabelecidos foram os seguintes:

- Ensaio A (pastagem melhorada) e B (pastagem semeada), instalados em 1997, com 28 talhões cada um, correspondentes a 7 modalidades de fertilização e a 4 repetições dispostas segundo as curvas de nível e separadas por valas e cômodos de 8 em 8 metros;
- Ensaio D (pastagem semeada), instalado em 2001, com 6 talhões correspondentes a 3 modalidades de fertilização e a 2 repetições.

A mistura de sementes foi constituída por oito cultivares de trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum* cv. Campeda, cv. Dalkeith, cv. Denmark, cv. Gosse, cv. Seaton Park, cv. Woogenlup e cv. York, *Trifolium subterraneum* ssp. *brachycalicinum* cv. Clare), uma cultivar de trevo balansa (*Trifolium balansae* cv. Paradana), trevo da Pérsia (*Trifolium resupinatum* cv. Prolific), trevo de folha em seta (*Trifolium vesiculosum*), trevo encarnado (*Trifolium incarnatum* cv. Contea), serradela vulgar (*Ornithopus sativa* cv. Emena), bisserula (*Bisserula pelecinus* cv. Casbash), azevém anual (*Lolium multiflorum* cv. Limella) e panasco (*Dactylis glomerata* cv. Currie). A sementeira foi efec-

tuada a lanço, sendo a semente inoculada com *Rhizobium* spp. e peletizada.

O solo dos ensaios classifica-se como Mediterrâneo Pardo de Materiais Não Calcários de grauvaques (Px) segundo a classificação do SROA (Cardoso, 1974) ou Luvissole Háptico (Lvha), de acordo com a classificação da FAO (2001). Apresenta textura franco-arenosa (10% de argila, 13% de limo, 35% de areia fina e 42% de areia grossa, na terra fina), na camada superficial, e franco-argilo-arenosa a argilosa, na camada subsuperficial (horizonte B), a qual atinge uma profundidade de 70 a 100 cm, com bastante a elevada pedregosidade ao longo do perfil. As zonas a montante e a jusante são constituídas por Litosolos dos Climas de Regime Xérico de xistos e/ou grauvaques (Ex) ou Leptosolos Êutricos (Lpeu).

A região apresenta um clima sub-húmido seco a semi-árido, em que a relação Precipitação / Evapotranspiração é inferior a 50%. O coberto vegetal natural da área do ensaio compõe-se, essencialmente, de gramíneas (cerca de 60%) e de outras espécies herbáceas das famílias das leguminosas, compostas (nomeadamente as carduíformes), rosáceas e crucíferas.

O Quadro 1 mostra a distribuição mensal da precipitação nos 3 anos hidrológicos considerados (Fonte: Instituto da Água, Estação Meteorológica do Álamo, situada a cerca de 2 km a Sul do local dos ensaios), onde se nota grande variação na quantidade de chuva no decorrer de cada ano hidrológico. As precipitações anuais (Outubro a Setembro) dos anos 2001/2002, 2002/2003 e 2003/2004 atingiram 451,1 mm, 475,5 mm e 305 mm, respectivamente.

Para a avaliação do escoamento e da perda de solo, instalaram-se pequenos talhões de erosão de 4 m x 1 m, com a maior dimensão no sentido do declive. Estes talhões foram sobrepostos em 2 repetições

de 3 modalidades dos ensaios A e B (12 talhões no total) e em todo o ensaio D (2 repetições x 3 modalidades, num total de 6 talhões de erosão). Nos ensaios A e B, as modalidades consideradas foram as seguintes: 1 – Sem fertilização; 5 – Adubação completa corrigida anualmente; 7 – Aplicação de 8 t/ha de lama residual urbana (LRU) da ETAR de Évora, complementada com adubação no início de cada ciclo cultural. No ensaio D, as modalidades foram três níveis ($L_0 - 0$, $L_1 - 12$ e $L_2 - 24$ t/ha) de LRU da mesma origem.

QUADRO 1 - Distribuição mensal da precipitação nos 3 anos hidrológicos (Outubro de 2001 a Junho de 2004)

Meses/anos	2001	2002	2003	2004
Janeiro	-	55,0	35,3	14,1
Fevereiro	-	9,8	44,3	55,8
Março	-	76,8	28,1	26,1
Abril	-	60,7	97,5	10,8
Maior	-	6,7	8,0	44,5
Junho	-	0,9	0,0	6,1
Julho	-	0,0	0,8	-
Agosto	-	0,0	0,0	-
Setembro	-	90,2	0,0	-
Outubro	68,4	107,0	155,8	-
Novembro	18,6	70,0	93,0	-
Dezembro	64,0	84,5	54,6	-

O escoamento ou escoamento superficial foi avaliado com base nos eventos de precipitação ocorrida em um dia ou em dias consecutivos, tendo-se, ainda, estimado a perda de solo por erosão, a partir do escoamento. A precipitação ocorrida em cada período de dias consecutivos foi avaliada a partir das leituras efectuadas num udómetro instalado junto dos ensaios. A avaliação do escoamento superficial nos ensaios A e B decorreu de 10/10/2001 a 31/05/2004, tendo sido efectuadas 18 medições logo após a ocorrência de precipitação em vários dias consecutivos. O cômputo da quantidade de sedi-

mentos foi realizado apenas no período de 10/10/2001 a 3/11/2003 (14 medições). No ensaio D, realizaram-se 16 medições entre 28/11/2001 e 16/3/2004 relativamente aos parâmetros atrás referidos. A avaliação do escoamento superficial nos talhões experimentais de erosão foi efectuada através da medição do volume de água de escorrência superficial armazenado nos reservatórios colocados na base de cada talhão após os eventos de precipitação. Os sedimentos contidos na água de escorrência foram determinados a partir da recolha de amostras daquela água, agitando-se previamente a água do reservatório de forma a colocar os sedimentos em suspensão e retirando-se 2 frascos de um litro. Seguidamente, as amostras eram submetidas a decantação e secagem na estufa a 105°C para se avaliar a quantidade de sedimentos.

Todos os valores obtidos experimentalmente relativos ao escoamento superficial, à percentagem de escoamento (escoamento superficial/precipitação \times 100) e à perda de solo (sedimentos contidos no volume de água de escoamento), correspondentes aos três anos hidrológicos, foram sujeitos à análise de variância e ao teste de DSM para diferenciação de médias ($P \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação acumulada (Pa), medida em cada observação, e os correspondentes valores médios do escoamento superficial, da percentagem de escoamento superficial e da perda de solo, em cada ano hidrológico (Outubro a Setembro de 2001/2002, 2002/2003 e 2003/2004), para as três modalidades dos ensaios A, B e D figuram nos Quadros 2, 3 e 4, respectivamente. Estes quadros incluem, ainda, os valores totais de escoamento e de perda de solo e

os valores médios da percentagem de escoamento para cada ano hidrológico.

No Ensaio A, os maiores valores de escoamento superficial correspondem aos eventos de precipitação acumulada registados em 11/01/2002, 17/10/2002, 30/12/2002, 6/05/2003, 3/11/2003, 19/12/2003 e 16/03/2004 (Quadro 2), sendo os mais elevados os referentes à modalidade 1 (sem fertilização). A percentagem de escoamento superficial atingiu o maior valor (20,5%) na modalidade 1 e para o evento de precipitação acumulada ocorrida de 3 a 17/10/2002, da ordem dos 51,5 mm. Considerando o valor médio para a percentagem de escoamento, verifica-se que o maior valor é de 6,8% no período de 2002/2003, também para a modalidade 1.

Como seria de esperar, os maiores valores de perda de solo correspondem às mesmas datas em que o escoamento se revelou mais elevado. A maior perda de solo foi atingida na modalidade 5, em 11/01/2002, com cerca de 90 kg/ha, devido a que os talhões de erosão nessa modalidade apresentavam um maior declive e uma menor cobertura vegetal em relação aos talhões das outras modalidades e por ter ocorrido uma precipitação acumulada de 105 mm num período relativamente curto.

O escoamento superficial total em 2001/2002 foi, para qualquer das modalidades deste ensaio, relativamente mais baixo que o observado em 2002/2003 e em 2003/2004, tendo-se mostrado mais elevado na modalidade 1 e mais baixo na modalidade 7, em qualquer dos anos hidrológicos. O mesmo ocorreu quanto à percentagem de escoamento médio, tendo-se obtido o maior valor (6,8%) na modalidade 1, no período de 2002/2003. No que se refere à perda de solo total, o maior valor foi atingido na modalidade 5, em 2001/2002, com cerca de 100 kg/ha.

QUADRO 2 - Precipitação acumulada (Pa, mm) e valores médios do escoamento superficial, da percentagem de escoamento e da perda de solo nos talhões 1, 5 e 7, correspondentes ao período 2001/2004 - Ensaio A

Período	Pa mm	Escoamento (mm)			% Esc.			Perda de solo (kg/ha)		
		Q1	Q5	Q7	C1	C5	C7	Y1	Y5	Y7
10-10-01 a 25-10-01	40,0	0,13	0,25	0,00	0,31	0,63	0,00	4,96	8,23	0,0
28-11-01 a 11-01-02	105,0	11,38	10,44	5,38	10,83	9,94	5,12	20,96	89,9	12,24
25-01-02 a 20-03-02	95,0	1,54	1,94	0,50	1,62	2,04	0,53	0,59	1,5	0,5
21-03-02 a 17-04-02	72,5	1,03	0,70	0,40	1,41	0,97	0,55	0,1	0,21	0,38
2001/2002	312,5	14,08	13,33	6,28	4,50	4,26	2,01	26,61	99,84	13,12
09-09-02 a 03-10-02	140,2	3,69	3,13	5,63	2,63	2,23	4,01	2,21	2,56	3,09
03 a 17-10-02	51,5	10,56	9,31	10,31	20,51	18,18	20,02	29,58	37,65	30,98
12 a 28-11-02	71,0	1,81	1,06	0,0	2,55	1,50	0,00	0,35	0,8	0,0
29-11-02 a 30-12-02	95,0	10,81	9,88	10,63	11,38	10,39	11,18	11,12	4,44	3,98
31-12-02 a 17-01-03	18,1	0,0	0,31	0,0	0,00	1,71	0,00	0,0	0,08	0,0
17 a 28-01-03	17,2	1,25	1,69	0,58	7,27	9,81	3,34	0,53	0,54	0,14
11 a 28-02-03	47,9	0,63	0,44	0,0	1,30	0,91	0,00	0,15	0,21	0,0
29-02-03 a 21-04-03	73,9	0,38	0,13	0,06	0,51	0,17	0,08	0,13	0,33	0,13
22-04-03 a 06-05-03	57,7	10,0	8,75	7,0	17,33	15,16	12,13	9,08	10,19	3,1
2002/2003	572,5	39,13	34,70	34,21	6,83	6,06	5,97	53,15	56,80	41,42
01-10-03 a 14-10-03	24,5	0,0	0,06	0,0	0,00	0,26	0,00	0,0	0,2	0,0
11-10-03 a 03-11-03	133,0	9,0	10,38	10,13	6,77	7,80	7,61	14,4	23,8	12,2
04-11-03 a 19-12-03	144,6	9,88	7,81	10,19	6,83	5,40	7,05	-	-	-
20-12-03 a 16-03-04	77,8	10,6	6,0	3,63	13,62	7,71	4,66	-	-	-
17-03-04 a 31-05-04	67,6	0,13	0,0	0,0	0,18	0,00	0,00	-	-	-
2003/2004	447,5	29,61	24,25	23,95	6,61	5,42	5,35	14,35	23,98	12,20

Q1, Q5, Q7 (Escoamento médio), C1, C5, C7 (Percentagem média de escoamento), Y1, Y5, Y7 (Perda de solo), nos talhões das modalidades 1, 5 e 7.

No ensaio B, observou-se para o escoamento superficial um comportamento similar ao verificado no ensaio A. Os maiores valores correspondem à modalidade 1, sendo os mais baixos, em geral, os relativos à modalidade 7 (Quadro 3).

Relativamente à perda de solo, este ensaio mostrou valores superiores nas modalidades 1 e 7, no período de 2001/2002, comparativamente aos do ensaio A, para as mesmas modalidades.

Em 2002/2003, observaram-se valores de erosão do solo mais elevados na modalidade 1 do ensaio B relativamente à mesma modalidade do ensaio A.

Quanto aos escoamentos totais e percentagens de escoamentos médios decresceram da modalidade 1 (6 a 7%) para a 7 (3 a 4%), em qualquer dos anos hidrológicos (Quadro 3). Para a modalidade 1, os escoamentos totais, referentes aos 3 anos hidrológicos, foram da mesma ordem de

QUADRO 3 - Precipitação acumulada (Pa, mm) e valores médios do escoamento superficial, da percentagem de escoamento e da perda de solo no Ensaio B

Período	Pa mm	Escoamento (mm)			% Esc.			Perda de solo (kg/ha)		
		Q1	Q5	Q7	C1	C5	C7	Y1	Y5	Y7
10-10-01 a 25-10-01	40,0	1,8	1,1	0,6	4,38	2,81	1,56	39,1	56,4	28,8
28-11-01 a 11-01-02	105,0	5,9	6,0	6,4	5,60	5,69	6,13	59,5	13,0	34,0
25-01-02 a 20-03-02	95,0	5,5	1,8	0,9	5,79	1,91	0,92	19,1	0,2	0,2
21-03-02 a 17-04-02	72,5	4,9	0,5	0,1	6,72	0,68	0,14	22,9	0,2	0,0
2001/2002	312,5	18,1	9,4	8,0	5,76	3,01	2,57	140,6	69,8	63,0
09-09-02 a 03-10-02	140,2	7,5	7,7	3,5	5,38	5,50	2,47	10,3	6,6	3,4
03 a 17-10-02	51,5	5,2	4,4	5,4	10,07	8,62	10,44	23,7	12,9	11,5
12 a 28-11-02	71,0	5,1	0,8	0,3	7,13	1,14	0,35	21,0	0,6	0,0
29-11-02 a 30-12-02	95,0	7,9	6,3	3,6	8,36	6,58	3,82	31,7	8,0	2,4
31-12-02 a 17-01-03	18,1	1,4	0,0	0,0	7,60	0,00	0,00	0,7	0,0	0,0
17 a 28-01-03	17,2	1,9	0,7	0,1	10,90	4,00	0,29	6,2	1,3	0,0
11 a 28-02-03	47,9	2,2	0,3	0,1	4,57	0,52	0,13	3,6	0,5	0,0
29-02-03 a 21-04-03	73,9	0,4	0,4	0,1	0,48	0,59	0,08	0,2	0,3	0,0
22-04-03 a 06-05-03	57,7	6,6	4,4	2,5	11,48	7,69	4,33	14,4	5,5	8,1
2002/2003	572,5	38,2	25,0	15,6	6,66	4,37	4,35	111,8	35,7	25,4
01-10-03 a 14-10-03	24,5	0,1	0,1	0,0	0,26	0,51	0,00	0,2	0,3	0,0
11-10-03 a 03-11-03	133,0	10,1	7,6	9,8	7,61	5,73	7,33	8,3	13,0	2,9
04-11-03 a 19-12-03	144,6	8,6	6,1	3,3	5,96	4,24	2,25	-	-	-
20-12-03 a 16-03-04	77,8	5,4	5,4	0,9	6,99	6,91	1,12	-	-	-
17-03-04 a 31-05-04	67,6	0,3	0,2	0,0	0,37	0,32	0,00	-	-	-
2003/2004	447,5	24,5	19,4	14,0	5,47	4,35	3,10	8,5	13,3	2,9

Q1, Q5, Q7 (Escoamento médio), C1, C5, C7 (Percentagem média de escoamento), Y1, Y5, Y7 (Perda de solo), nos talhões das modalidades 1, 5 e 7.

grandeza dos relativos ao ensaio A, mas, nas modalidades 5 e 7, o ensaio B (com maior densidade de sementeira e portanto com melhor cobertura vegetal) apresentou valores, em regra, inferiores aos registados no ensaio A. Martins *et al.* (2001) referem que obtiveram, neste ensaio, no período de 1997/1998, um coeficiente de escoamento máximo de 0,021 na modalidade 1 (sem fertilização) e um mínimo de 0,05 em 1999/2000, na modalidade 7 (8 t/ha de LRU).

No ensaio B a perda de solo anual mais elevada (140 kg/ha) ocorreu na modalidade 1 no ano hidrológico de 2001/2002, tal como no ensaio A. No mesmo ano, as modalidades 1 e 7 do ensaio B apresentaram valores superiores relativamente ao ensaio A. Martins *et al.* (2001) avaliaram, num estudo realizado no mesmo ensaio B deste trabalho, um máximo de 750 kg/ha em 1999/2000, na modalidade 1, e um mínimo de 185 kg/ha, em 1998/1999, na modalidade 7.

QUADRO 4 - Precipitação acumulada (Pa, mm) e valores médios do escoamento superficial, da percentagem de escoamento e da perda de solo no Ensaio D

Período	Pa	Escoamento (mm)			% Esc.			Perda de solo (kg/ha)		
	mm	Q0	Q1	Q2	C0	C1	C2	Y0	Y1	Y2
28-11-01 a 11-01-02	105,0	15,8	9,9	14,8	15,05	9,43	14,10	237,2	158,0	146,2
25-01-02 a 20-03-02	95,0	4,4	0,8	6,9	4,63	0,84	7,26	6,1	19,7	28,0
21-03-02 a 17-04-02	72,5	7,5	0,0	0,9	10,34	0,00	1,24	0,1	0,0	0,9
2001/2002	272,5	27,7	10,7	22,6	10,17	3,93	8,29	243,4	177,7	175,1
09-09-02 a 03-10-02	140,2	11,3	5,4	8,4	8,06	3,85	5,99	11,7	23,4	15,9
03 a 17-10-02	51,5	13,5	11,1	12,6	26,21	21,55	24,47	66,5	40,2	53,3
12 a 28-11	71,0	1,0	0,5	3,1	1,41	0,70	4,37	0,4	0,0	5,2
29-11-02 a 30-12-02	95,0	10,6	5,2	10,7	11,16	5,47	11,26	5,2	3,2	5,2
31-12-02 a 28-01-03	35,3	0,5	0,0	3,1	2,91	0,00	18,17	0,8	0,0	0,0
29-01-03 a 28/02/03	47,9	0,0	0,0	2,1	0,00	0,00	4,38	0,0	0,0	0,3
29-02-03 a 21-04-03	73,9	0,0	0,4	0,0	0,00	0,51	0,00	0,0	0,2	0,0
22-04-03 a 06-05-03	57,7	9,5	9,9	12,8	16,46	17,23	22,10	28,9	7,8	7,1
2002/2003	554,4	46,4	32,5	52,8	8,37	5,87	9,52	113,5	74,8	87,0
11-10-03 a 03-11-03	133,0	14,3	14,1	14,3	10,71	10,62	10,75	14,7	10,2	12,4
04-11-03 a 09-12-03	129,4	9,2	9,4	15,3	7,10	7,24	11,79	3,9	4,7	5,1
10 a 19-12-03	15,2	0,0	6,9	0,0	0,00	45,23	0,00	0,0	1,7	0,0
20-12-03 a 23-01-04	7,2	0,0	0,0	3,5	0,00	0,00	48,61	0,0	0,0	0,4
24-01-04 a 16-03-04	77,8	10,9	7,4	8,8	14,06	9,51	11,25	3,1	3,4	6,0
2003/2004	362,6	34,4	37,8	41,9	9,48	10,4	11,53	21,7	20,0	23,9

Q0, Q1, Q2 (Escoamento médio), C0, C1, C2 (Percentagem média de escoamento), Y0, Y1, Y2 (Perda de solo), nos talhões das modalidades L0, L1 e L2.

No ensaio D, os valores de escoamento superficial, para qualquer das modalidades e dos anos hidrológicos (Quadro 4), mostraram-se superiores aos observados nos outros dois ensaios, devido ao facto de este ensaio ter sido instalado há menos tempo que os ensaios A e B e, portanto, com um menor grau de cobertura vegetal. As percentagens de escoamento mais elevadas registaram-se nas modalidades L₁ e L₂ no período de 2003/2004, com valores de 45 e 49%. As maiores perdas de solo foram observadas no período de 2001/2002, em qualquer das modalidades, como seria de prever, por corresponder ao

primeiro ano do ensaio, se bem que tenha sido na modalidade L₀ e na primeira observação (11/01/2002) que se tenha registado a maior perda de solo (237 kg/ha).

Os valores de escoamento total para qualquer dos anos hidrológicos, foram, geralmente, mais elevados que os observados nos ensaios A e B (Quadro 4). As percentagens médias de escoamento mais altas corresponderam às observadas em 2003/2004, nomeadamente as registadas nas modalidades L₁ e L₂ com, respectivamente, 10 e 12%.

QUADRO 5 - Síntese da análise de variância (valores de F) dos valores de escoamento, percentagem de escoamento e perda de solo, em 3 anos hidrológicos, para os três ensaios

Origem da variação	G.l.	Teste de "F"											
		Ensaio A				Ensaio B				Ensaio D			
		Escoamento	Coef. Esc.	Perda de solo	Perda de solo	Escoamento	Coef. Esc.	Perda de solo	Perda de solo	Escoamento	Coef. Esc.	Perda de solo	
Ano	2	41,27***	1,34 ns	3,82*	1,18 ns	0,18 ns	3,11 ns	3,11 ns	15,78**	4,99*	22,57***		
Modalidade	2	1,45 ns	2,12 ns	4,45*	1,20 ns	1,33 ns	1,65 ns	1,65 ns	4,32*	4,77*	1,04 ns		
Ano x Modalidade	4	0,79 ns	0,46 ns	2,08 ns	0,10 ns	0,04 ns	0,40 ns	0,40 ns	1,44 ns	1,98 ns	0,37 ns		

G.l.- graus de liberdade; *** $P \leq 0,001$; ** $P \leq 0,01$; * $P \leq 0,05$; n.s. - não significativo

QUADRO 6 - Efeito médio do ano e da modalidade no escoamento (mm), percentagem de escoamento e na perda de solo (kg/ha), nos três ensaios

Ano	Ensaio A				Ensaio B				Ensaio D			
	Escoamento	% Esc.	Perda solo	Perda solo	Escoamento	% Esc.	Perda solo	Perda solo	Escoamento	% Esc.	Perda solo	
1	11,25 b	4,88 c	46,52 ab	11,82 a	3,78 a	91,13 a	91,13 a	20,33 b	7,48 b	198,72 a		
2	35,92 c	6,08 a	50,43 a	25,73 a	4,38 a	57,63 a	57,63 a	43,65 a	7,65 b	92,07 b		
3	27,57 a	6,70 a	16,85 b	19,13 a	4,50 a	8,25 a	8,25 a	37,97 a	10,47 a	21,80 c		
Mod. 1	27,58 a	7,22 a	31,35 ab	26,35 a	6,08 a	87,02 a	Mod. L ₀	36,08 ab	9,23 a	126,18 a		
Mod. 5	24,00 a	5,38 a	60,22 a	17,90 a	4,10 a	39,57 a	Mod. L ₁	26,83 b	6,65 b	91,10 a		
Mod. 7	23,15 a	5,07 a	22,23 b	12,43 a	2,93 a	30,43 a	Mod. L ₂	39,03 a	9,70 a	95,30 a		

Na mesma coluna, valores seguidos de igual letra não diferem significativamente ($P \leq 0,05$)

As perdas de solo anuais mais elevadas verificaram-se no primeiro ano do ensaio (2001/2002), com cerca de 243, 178 e 175 kg/ha, respectivamente para as modalidades L₀, L₁ e L₂ (Quadro 4). Em 2002/2003, a perda de solo foi mais elevada em L₀ e da mesma ordem de grandeza que nas duas outras modalidades. Em 2003/2004, os valores foram baixos e não significativamente diferentes.

Como referido anteriormente, os ensaios A e B foram instalados em 1997 e o ensaio D só teve o seu início em 2001. Assim, os ensaios A e B mostravam, em 2001, uma cobertura vegetal consistente, ao invés do ensaio D cuja área, em Outubro do mesmo ano, tinha sido sujeita a mobilização, aplicação de LRU, sementeira e rolagem, isto é, com maior susceptibilidade ao poder erosivo das chuvas que ocorreram a partir dessa altura. Esta é a principal razão que explica o facto de os valores do escoamento e da perda de solo serem, nos ensaios A e B, inferiores aos do ensaio D.

Os Quadros 5 e 6 apresentam respectivamente os valores de F para os três parâmetros em apreciação (escoamento, percentagem de escoamento e perda de solo) e o efeito médio do ano hidrológico e da modalidade nas mesmas características.

Em relação aos três parâmetros em análise, a interacção Ano × Modalidade não foi significativa para os três ensaios (Quadro 5), pelo que não foi possível distinguir, estatisticamente, os dados experimentais obtidos em cada modalidade, nos diferentes anos. Todavia, as Modalidades de fertilização (na média dos anos) induziram diferenças significativas ($P \leq 0,05$) na perda de solo registada no Ensaio A (Quadro 5), sendo mais elevada na Modalidade 5 (60,2 kg/ha) do que na Modalidade 7 (22,2 kg/ha) (Quadro 6).

Também ocorreram diferenças significativas no escoamento e na percentagem de

escoamento no Ensaio D, verificando-se serem superiores na Mod. L₂, em relação a L₁, para ambos os parâmetros (Quadro 6).

O Quadro 7 apresenta, para o conjunto dos 3 anos em análise, os valores do escoamento total e da perda de solo total nas modalidades dos três ensaios. Verifica-se que o escoamento decresceu da modalidade 1 para a 7, nos ensaios A e B, e que o valor mais baixo (37,6 mm) correspondeu à modalidade 7 (com maior fertilização e melhor cobertura vegetal) do ensaio B (pastagem semeada). No ensaio D, os valores totais obtidos variaram entre 81 e 117 mm, muito embora o valor mais baixo corresponda à modalidade L₁ (fertilização com 12 t/ha de LRU).

QUADRO 7 - Escoamento superficial total (Esc.) e perda de solo total, para o período 2001/2004

Ensaio	Modalidade	Esc. (mm)	Perda Solo (kg/ha)
Ensaio A	1	82,8	94,1
	5	72,3	180,6
	7	64,4	66,7
Ensaio B	1	80,8	261,03
	5	53,8	118,69
	7	37,6	91,31
Ensaio D	L ₀	108,5	378,6
	L ₁	81,0	272,5
	L ₂	117,3	286,0

Quanto à perda de solo total, isto é, a quantidade total de sedimentos arrastados pelas águas de escoamento nos 3 anos, o Quadro 7 mostra que foi na modalidade 7 dos ensaios A e B que se registaram os valores mais baixos no conjunto dos 3 anos (cerca de 67 e 91 kg/ha, respectivamente), embora, nestes ensaios, a perda de solo referente ao último ano hidrológico se reporte apenas ao mês de Outubro. O ensaio D deu origem a valores superiores aos observados nos ensaios A e B, nos

3 anos, variando desde cerca de 380 kg/ha (na modalidade sem fertilização – L₀) até 272 kg/ha na modalidade L₁, com 12 t/ha de LRU. Há a salientar o facto de, só no 1º ano (2001/2002), se ter atingido, no ensaio D, a maior proporção (entre 61 e 65%) da perda de solo registada em qualquer das modalidades. Por outro lado, os valores obtidos no último ano (2003/2004), para este ensaio, foram bastante baixos, da ordem dos 20 a 24 kg/ha.

CONCLUSÕES

O escoamento e a perda de solo atingiram valores superiores nas parcelas sem fertilização e, consequentemente, com menor coberto vegetal, correspondendo os menores valores aos talhões que tiveram maior aplicação de fertilizantes, nomeadamente de lamas residuais urbanas, e que mostravam uma cobertura vegetal mais densa e, portanto, uma melhor protecção do solo.

Os resultados dos três ensaios de erosão conduzidos em solos pobres e declivosos no concelho de Mértola, mostram que as modalidades com a maior dose de fertilização orgânica, 8, 12 ou 24 t/ha, corresponderam às menores perdas de solo registadas no conjunto dos 3 anos de ensaios. As modalidades com fertilização mineral revelaram valores superiores, entre 120 e 180 kg/ha, enquanto o valor mais elevado (380 kg/ha) tenha sido atingido, nos 3 anos, na modalidade sem fertilização do ensaio D, iniciado em 2001.

As percentagens de escoamento mais altas foram registadas, em geral, nas modalidades sem fertilização, ao longo dos 3 anos de ensaios, tendo as mais baixas sido atingidas, tal com para a perda de solo, nas modalidades com fertilização orgânica.

Pode afirmar-se, em síntese, que as lamas residuais urbanas aplicadas em doses de 8 a 12 t/ha a solos semeados com espécies pratenses revelaram ser mais eficazes e promissoras para um protecção adequada do solo contra o escoamento e erosão em comparação com a prática de fertilização mineral e que a ausência de qualquer fertilização do solo pode conduzir a situações de riscos sérios de erosão.

AGRADECIMENTOS

O financiamento deste estudo foi realizado pelos Projectos PIDDAC 141/01 e AGRO 414.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardoso, J.C. 1974. A Classificação dos Solos de Portugal. Nova Versão. *Boletim de Solos do SROA*, **17**: 14-46.
- FAO. 2001. Lecture notes on the major soils of the world.. *World Soil Resources Reports*, vol. 94, Rome.
- Ferreira, I.M., Ferreira, A.R., Sims, D.A. 1984. *Análise Preliminar dos Dados dos Talhões de Erosão do Centro Experimental de Vale Formoso, Alentejo (Portugal), em Termos da Equação Universal de Perda de Solo, para os Anos de 1962/63 – 1979/80*. Direcção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola. Lisboa.
- Martins, J.C., Pires, F.P., Oliveira, A.V. & Horta, C. 2001. Escoamento de água superficial e perda de solo numa pastagem semeada sujeita a diferentes níveis de fertilização, na região do Baixo Alentejo. *Pastagens e Forragens*, **22**: 81-89.
- Murillo, M., Moreno, V., González, F., Schnabel, S., Prieto, P. & Paredes, J. 2000. Efecto de distintas técnicas de in-

roducción y mejora de pastos sobre la evolución de la vegetación y erosión del suelo. In Conselleria de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria, Xunta de Galicia (ed.) *III Reunión Ibérica de Pastagens e Forragens*, pp. 283-288. Centro de Investigacións Agrarias Mabegondo, Espanha.

- Roxo, M.J. 1994. *A Acção Antrópica no Processo de Degradação de Solos. A Serra de Serpa e Mértola*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor no Ramo de Geografia e Planeamento Regional na Especialidade Ambiente e Recursos naturais. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Serrão, M.G., Domingues, H., Fernandes, M., Martins, J. Pires, F., Saraiva, I., Fareleira, P., Matos, N., Ferreira, E., Campos, A., Horta, C. & Dordio, A. 2008. Contributo para a melhoria de solos marginais destinados a pastagens pela aplicação de lama residual urbana, sem riscos ambientais. *Revista de Ciências Agrárias* (Em publicação).
- Steiner, K. 1996. *Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management*. GTZ. Margraf Verlag. Weikersheim, Germany.