

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

***EFEITOS DA MOBILIZAÇÃO DO SOLO NO DESTACAMENTO DE
PARTÍCULAS DE SOLO PELO IMPACTO DAS GOTAS DE ÁGUA DA CHUVA,
ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO LAMINAR, NA CULTURA DO
TRIGO, NUM SOLO FRANCO-ARGILO-LIMOSO***

FERNANDO JOSÉ DE BARROS TEIXEIRA

ÉVORA

2000

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DO SOLO E DA ÁGUA

***EFEITOS DA MOBILIZAÇÃO DO SOLO NO DESTACAMENTO DE
PARTÍCULAS DE SOLO PELO IMPACTO DAS GOTAS DE ÁGUA DA CHUVA,
ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO LAMINAR, NA CULTURA DO
TRIGO, NUM SOLO FRANCO-ARGILO-LIMOSO***



FERNANDO JOSÉ DE BARROS TEIXEIRA

Dissertação apresentada na Universidade de Évora
para satisfação parcial dos requisitos para obtenção do
grau de Mestre

ÉVORA

2000

Para a minha mãe

ÍNDICE GERAL

Índice de tabelas	6
Índice de figuras	7
Agradecimentos	8
Resumo	10
Summary	12
1. Introdução	14
2. O destacamento de partículas de solo, escoamento superficial, e transporte de sedimentos: revisão bibliográfica e análise com ênfase no efeito dos sistemas de mobilização	17
2.1 Introdução	17
2.2 Cobertura do solo pelos resíduos das culturas anteriores e erosão	19
2.3 Propriedades mecânicas do solo, destacamento de partículas, e sistemas de mobilização do solo	20
2.4 Estabilidade dos agregados e sistemas de mobilização do solo	23
2.5 Formação da crosta e erosão	27
2.6 Sumário e conclusões	30
3. Material e métodos	32
3.1 Descrição do sítio e delineamento experimental	32
3.2 Destacamento de partículas de solo pelas gotas de água da chuva (Salpico)	35
3.3 Transporte na água do escoamento superficial das partículas destacadas	37
3.4 Matéria orgânica	39
3.5 pH	39
3.6 Estabilidade dos agregados em água	39
3.7 Resistência à penetração	40
3.8 Densidade aparente e porosidade	42
3.9 Condutividade hidráulica	43
3.10 Taxa de infiltração	43
3.11 Medição do teor de água do solo	45
3.12 Cobertura do solo	45

3.13 Precipitação	46
3.14 Análise estatística	47
4. Resultados e discussão	48
4.1 Análise da precipitação	48
4.2 Salpicos	49
4.3 Escoamento superficial e sedimentos	60
5. Conclusão	69
Bibliografia	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Dados físicos e químicos do solo	33
Tabela 4.1 Dados relativos à precipitação ocorrida entre finais de Dezembro de 1998 e Maio de 1999 na Herdade da Revilheira, Reguengos de Monsaraz	48
Tabela 4.2 Dados relativos à quantidade de salpicos para as chuvadas ocorridas entre finais de Dezembro de 1998 e Maio de 1999	49
Tabela 4.3 Massa de resíduos à superfície do solo (g m^{-2}) e grau de cobertura	51
Tabela 4.4 Estabilidade dos agregados em água (%)	54
Tabela 4.5 Resultados das análises químicas efectuadas no solo da superfície (0-0,02 m)	54
Tabela 4.6 Densidade aparente do solo da superfície (0,01-0,04 m), em diferentes datas	55
Tabela 4.7 Resistência à penetração do solo da superfície (0,01-0,04 m), em diferentes datas	55
Tabela 4.8 Dados relativos à granulometria dos salpicos para as primeiras 4 chuvadas	56
Tabela 4.9 Dados relativos ao escoamento superficial produzido pelas chuvadas (mm)	60
Tabela 4.10 Porosidade do solo da superfície (0,01-0,04 m), em diferentes datas	62
Tabela 4.11 Densidade aparente do solo da camada mobilizada (0,10-0,15 m)	63
Tabela 4.12 Porosidade do solo da camada mobilizada (0,10-0,15 m)	64
Tabela 4.13 Dados relativos à massa de sedimentos transportados em suspensão na água do escoamento superficial, em unidades de massa por área (g m^{-2})	66
Tabela 4.14 Dados relativos à massa de sedimentos transportados em suspensão na água do escoamento superficial, em termos de concentração (g l^{-1})	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Aspecto geral de um talhão em sementeira directa	34
Figura 3.2 Aspecto geral dos talhões do ensaio	34
Figura 3.3 Imagem do funil montado, utilizado na medição da massa de salpicos	36
Figura 3.4 Imagem dos 3 elementos que compõem o aparato de recolha de salpicos (funil, garrafa e cilindro em PVC)	36
Figura 3.5 Imagem de um talhão de erosão	38
Figura 3.6 Esquema dos talhões de erosão	38
Figura 3.7 Imagem dos agregados antes da determinação da estabilidade em água	41
Figura 3.8 Aparelho para crivagem em água, usado na determinação da estabilidade dos agregados em água	41
Figura 3.9 Permêmetro de Guelph	44
Figura 3.10 Equipamento utilizado na medição das taxas de infiltração pelo método do duplo anel	44
Figura 4.1 Salpicos, em percentagem da quantidade observada em mobilização tradicional	50
Figura 4.2 Relação entre a energia cinética para destacar 1 g de solo e a taxa de cobertura	52
Figura 4.3 Estabilidade dos agregados em água	53
Figura 4.4 Imagem que mostra partículas de grandes dimensões soltas, à superfície do solo	57
Figura 4.5 Quantidade de energia necessária para destacar 1 g de solo, em função das chuvadas ($J g^{-1}$)	58
Figura 4.6 Resultados dos testes de infiltração	61
Figura 4.7 Resultados das medições da condutividade hidráulica saturada de campo	63
Figura 4.8 Resistência à penetração (Mpa) nos primeiros 0,45 m de profundidade	64
Figura 4.9 Perfil hídrico do solo em 3 datas diferentes	65

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho só foi possível devido ao contributo de um grande número de pessoas que, sob pena de omitir alguém, e expressando desde já o meu mais sincero pedido de desculpas nessa eventualidade, passo a enunciar:

Ao Professor Gottlieb Basch, do Departamento de Fitotecnia da Universidade de Évora, agradeço, antes de tudo, a confiança e amizade. Agradeço também o apoio, disponibilidade, e sugestões, como orientador, que sem dúvida contribuíram para uma maior qualidade desta tese.

A todo o corpo docente do mestrado, um muito obrigado pelos valiosos conhecimentos transmitidos. Permitam-me mencionar o Professor Gonçalves Ferreira, que leccionou a disciplina de *Sistematização e Conservação do Solo*, área de estudo que prezo especialmente, apenas para dizer que esta tese deve muito às suas lições.

À comissão do curso, Prof. Ricardo Serralheiro, Prof.ª Maria do Rosário Oliveira, e Prof. Francisco Lúcio Santos, agradeço a organização, conselhos e amizade.

Aos colegas do curso, indistintamente, acredito que fomos a prova que um grupo de pessoas pode prosseguir um objectivo comum sem atropelo de valores tão importantes como a amizade, o respeito e o dever de cooperação.

Aos técnicos do Departamento de Fitotecnia, Engenheiros Manuel Brandão, Filipa Santos, e Manuel Figo, agradeço a ajuda na instalação do ensaio.

Aos Engenheiros Casas-Novas e Nuno Riscado, e restante pessoal da Herdade da Revilheira, agradeço a ajuda e facilidades concedidas.

À Sra. Eng. Helena Carolino e à D. Luiseta Palma, do Laboratório de Física do Solo da Universidade de Évora, agradeço a colaboração, empenho e dedicação nas determinações efectuadas nesse laboratório.

Guardo as últimas palavras para a Rita, minha namorada, pela paciência, pelo tempo que nos roubei, e pela leitura atenta do texto.

Évora, Janeiro de 2000

Fernando José de Barros Teixeira

RESUMO

Um ensaio de campo foi conduzido por forma a avaliar os efeitos dos sistemas de mobilização tradicional (MT), reduzida (MR) e sementeira directa (SD) sobre o destacamento de partículas de solo pelo impacto das gotas de água de chuva, o volume de escoamento superficial, e a massa de sedimentos transportados em suspensão.

Decorreu num ensaio de mobilizações para a cultura do trigo, com 3 anos, em blocos casualizados com 3 tratamentos e 3 repetições, com chuva natural, durante o Inverno de 1998/99, num solo franco-argilo-limoso com 5 % de declive. A medição do destacamento foi realizado com funis preparados para o efeito, com 20 cm de diâmetro, e o escoamento superficial em talhões com 2 m². Alguns parâmetros físicos e químicos do solo foram medidos por forma a descrever as diferenças induzidas pelos diferentes sistemas de mobilização na superfície do solo. A cobertura do solo pelos resíduos foi medida antes da 1^a chuvada tanto em termos de massa como de percentagem de área coberta.

Das 15 chuvadas registadas apenas 7 produziram escoamento superficial. A massa média de partículas destacadas foi sempre superior com a MT, seguido pela MR (38,8 a 87,4 % da massa média com a MT) e a SD (5,9 a 57,1 %). Os resultados sugerem que as diferenças encontradas entre as superfícies mobilizadas têm origem nas diferentes percentagens de área coberta pelos resíduos, e na estabilidade dos agregados e crosta, resultante de diferentes teores de matéria orgânica. Não foram encontradas diferenças em termos de densidade aparente ou de resistência do solo à penetração entre as superfícies mobilizadas, sendo os valores para a SD muito mais elevados. A energia cinética da chuva, necessária para destacar 1 g de solo, aumentou da 1^a chuvada para as seguintes, devido à formação de crosta nas superfícies mobilizadas, aumentando mais

tarde, à medida que a cobertura proporcionada pela canopia aumentava. A energia cinética total de uma chuvada aparentemente fornece melhores resultados na predição da massa total de material destacado que o índice de erosividade EI30.

Embora o efeito dos diferentes sistemas de mobilização para o 1º evento chuva/escoamento superficial não tenha sido estatisticamente significativo, mesmo para $P=0,10$, foi observada uma tendência: a SD teve o maior volume de escoamento superficial, seguido da MR (64% da quantidade média de SD) e da MT (52%). Esta tendência desapareceu nos eventos subsequentes, aparentemente o desenvolvimento da crosta superficial teve um efeito tão importante quanto a camada superficial naturalmente compactada do tratamento SD no controlo da infiltração. A massa total de sedimentos transportados em suspensão na água que constituiu escoamento superficial, no cômputo das 7 chuvadas, foi maior com a MT, seguido da MR (69% da quantidade com a MT) e da SD (40%). No entanto, se analisarmos chuvada a chuvada, a massa de sedimentos transportados seguiu padrões diferentes. A concentração dos sedimentos foi sempre maior com a MT, a MR apresentou 43 a 86% da concentração média com a MT, e a SD 22 a 53%.

A medição da massa de material destacado permitiu destrinçar o destacamento do transporte e, assim, reconhecer diferenças entre os sistemas de mobilização que de outra forma passariam despercebidas. Este trabalho mostra que a redução da intensidade da mobilização pode conduzir a uma redução na massa de material destacado, para além da simples diferença no grau de cobertura proporcionado pelos resíduos, significando uma redução no transporte de sedimentos em suspensão na água do escoamento superficial, em especial nas situações em que a capacidade de transporte do escoamento superficial não é o factor restritivo no processo erosivo.

SUMMARY

A field trial was carried out in order to assess the effects of the traditional, reduced and no-tillage systems on soil detachment by raindrop impact, overland flow volume and sediment load.

It was conducted on a 3 years old wheat crop tillage trial (with a randomised design for 3 treatments with 3 replicates, i.e. 9 plots), under rainfed conditions, during the winter of 1998/99, on a clay loam with a 5% slope. Splash was measured with splash-funnels with 20 cm in diameter, and overland flow on 2 m² plots. Selected physical and chemical parameters were measured in order to describe tillage-induced differences in the surface soil. Soil residue cover was measured prior to the first rainfall event both in terms of mass and percent cover.

From the 15 rainfall events only 7 produced runoff. Average splash detachment was always higher under traditional tillage, followed by reduced tillage (38.8 to 87.4 % of the average amount under traditional tillage) and no-tillage (5.9 to 57.1 %). The results suggest that the differences found between the tilled surfaces are due to the residues and the different aggregate and crust stability, induced by different organic matter contents under each tillage system. No differences were found in terms of dry bulk density or soil penetration resistance between the tilled surfaces. The kinetic energy of the rainfall needed to splash 1 g of soil per m² followed a growth pattern, at a first stage, as a seal was formed on the tilled surfaces, and latter as the canopy cover increased. The total rainfall kinetic energy apparently provides a better mean to predict total soil detachment than the EI30.

Though the effect of the tillage treatments for the first rainfall/runoff event was not statistically significant, even at 0,10 level, the following trend could be observed: no-tillage had the highest runoff volume, followed by reduced tillage (64% of the average amount under no-tillage) and traditional tillage (52%). This trend disappeared in subsequent events, which

suggests that soil seal development had as much of an effect as the naturally compacted surface layer of the no-tillage treatment in controlling infiltration. Total sediment load over the 7 events was highest under traditional tillage, followed by reduced tillage (69% of the average amount under traditional tillage) and no-tillage (40%). Nevertheless, differences in the sediment load on an event basis followed different patterns. Sediment concentration was always higher under traditional tillage, reduced tillage had 43 to 86% of the average concentration under traditional tillage, and no-tillage 22 to 53%.

The measurement of particle detachment by raindrops allowed unravelling detachment from transport and thus recognising differences between the tillage systems that would otherwise pass unnoticed. This work shows that the reduction in tillage intensity may lead to a reduction in the sediment load, specially in situations where the sediment transport capacity of the overland flow is not the restrictive factor for erosion.

1- INTRODUÇÃO

A erosão do solo pela água tem como consequência não apenas a depleção do solo mas também a diminuição da capacidade dos reservatórios e da secção dos cursos de água e danos ou maiores custos de manutenção nas infra-estruturas situadas nos cursos de água ou nos leitos de cheia. Um outro problema associado à erosão é a diminuição da qualidade da água, para várias utilizações, tanto pelos sedimentos em suspensão como pelos nutrientes, pesticidas, metais pesados, e outros produtos químicos a eles adsorvidos.

Valores considerados admissíveis para a perda de solo por hectare e por ano são adoptados de forma arbitrária, baseados em aspectos mais relacionados com a perda de produtividade do solo e sustentabilidade a longo prazo das práticas agrícolas, do que em aspectos económicos e ambientais fora das zonas onde ocorre erosão (e.g. Rosewell e Edwards, 1988). Este impacto ambiental e económico nas zonas onde ocorre a deposição dos sedimentos, e a qualidade da água, poderão tornar-se os factores decisivos na adopção de políticas conducentes à adopção por parte dos agricultores de sistemas de mobilização de conservação do solo.

As práticas de mobilização de conservação do solo são muitas vezes definidas como aquelas em que pelo menos 30% da superfície do solo ficam cobertos por resíduos de plantas após as operações de mobilização (e.g. Edwards *et al.*, 1988). Estas definições têm por base os resultados de vários trabalhos que mostram uma relação directa entre o grau de cobertura do solo e a redução da erosão e do escoamento superficial (Sturgul *et al.*, 1990; Bradford e Huang, 1994). No entanto, nem sempre ocorre uma redução do volume de água de escoamento superficial por utilização de sistemas de mobilização de conservação do solo; quando a infiltração é limitada pelo tipo de solo, drenagem

interna, ou compactação, o volume de água escoado superficialmente pode ser igual ou superior ao verificado com os sistemas de mobilização tradicional (Logan *et al.*, 1994; Myers e Wagger, 1996).

Muito embora os mecanismos não sejam completamente compreendidos, para ocorrer erosão do solo pela água é necessário que haja destacamento das partículas de solo e o seu transporte pela água que constitui escoamento superficial. O destacamento das partículas de solo resulta tanto do impacto das gotas de água, chuva ou rega por aspersão, como das forças de cisalhamento do escoamento superficial. A formação de escoamento superficial por seu lado depende das taxas de infiltração do solo e da capacidade de armazenamento da superfície do solo.

Muitos modelos têm sido desenvolvidos para o cálculo da erosão, transporte de sedimentos e deposição. O mais notório de entre eles, e provavelmente aquele com maior utilização a nível mundial pelos serviços de extensão e de conservação do solo, é a *Equação Universal de Perda de Solo* (do inglês, *Universal Soil Loss Equation*), de Wischmeier e Smith (*in* Ghadiri e Rose, 1992). A principal limitação deste modelo é que antes de ser utilizado num sítio, os factores da equação têm de ser determinados para esse sítio, o que representa um enorme volume de trabalho. Após a determinação dos factores da equação, a utilização dos meios informáticos permite criar aplicações extremamente úteis para os serviços de extensão, de que é exemplo o programa *SOLOSS* dos serviços australianos (Rosewell e Edwards, 1988).

A base estatística da *Equação Universal de Perda de Solo* leva a que nos últimos anos a atenção tenha-se focado em modelos cujos objectivos sejam a representação dos processos envolvidos na erosão do solo, uma vez que estes processos são mais “universais” (Ghadiri e Rose, 1992). Isto é reforçado pelo resultado de diversos estudos que mostram a necessidade do desenvolvimento de modelos de erosão baseados em

processos fundamentais, como o destacamento e transporte (e.g. Bradford e Huang, 1994), e em processos do solo como a formação de crosta (e.g. Le Bissonnais e Singer, 1992).

A erodibilidade dos solos é um dos parâmetros mais importantes e talvez o mais difícil de determinar, principalmente porque é impossível estabelecer um estado padrão para a sua determinação. Ghadiri e Rose (1992) observam que uma das razões para a tentativa de desenvolvimento de modelos de base física é de que os parâmetros definidos em tais modelos possam ter um significado físico mais definitivo do que o factor K (erodibilidade) da *Equação Universal de Perda de Solo*.

A hipótese que deu lugar a este trabalho é a de que em solos muito susceptíveis à formação de crosta, diferentes sistemas de mobilização dão lugar a superfícies que reúnem propriedades químicas e físicas diferentes, para além do grau de cobertura pelos resíduos, que afectarão de forma mais ou menos extensa o destacamento de partículas pelo impacto das gotas de água da chuva, a infiltração, e o transporte de sedimentos no escoamento superficial.

Os objectivos deste trabalho foram: a) avaliar o efeito dos sistemas de mobilizações sobre o destacamento de partículas de solo pelo impacto das gotas de água, infiltração, e transporte de sedimentos no escoamento superficial; b) clarificar a importância de diferentes parâmetros físicos e químicos da superfície do solo no destacamento de partículas, e na formação e propriedades da crosta; c) aumentar a compreensão que existe do fenómeno erosão dos solos, e apontar novas áreas de estudo.

2- O DESTACAMENTO DE PARTÍCULAS DE SOLO PELO IMPACTO DAS GOTAS DE ÁGUA DA CHUVA, ESCOAMENTO SUPERFICIAL, E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE COM ÊNFASE NO EFEITO DOS SISTEMAS DE MOBILIZAÇÃO

2.1- Introdução

A mobilização dos solos é realizada com diferentes objectivos. Destacam-se o controlo de infestantes, mudança na estrutura do solo, por exemplo para permitir o funcionamento em condições favoráveis dos semeadores convencionais, e para a incorporação de resíduos das culturas, fertilizantes, etc..

A necessidade da adopção de sistemas de mobilização de conservação do solo tantas vezes apregoada, é o reconhecimento da não sustentabilidade, nas nossas condições climáticas e edáficas, de certas práticas agrícolas que teimam em persistir. Devido ao seu carácter preventivo, que não curativo, e ainda à insensibilidade ou relutância de muitos interventores no espaço rural, torna-se necessário demonstrar as potencialidades destes sistemas não apenas nos aspectos agronómicos e económicos mas também ambientais.

Para ocorrer erosão do solo pela água é necessário que haja destacamento das partículas de solo, pelo impacto na superfície do solo das gotas de água e/ou pela força de cisalhamento do escoamento superficial, e o seu transporte pela água que constitui escoamento superficial. Assim, para prevenir a erosão do solo pela água é necessário conservar e/ou aumentar, tanto o quanto possível, a infiltrabilidade dos solos, o que

significa a redução da capacidade de transporte e destacamento de partículas do escoamento superficial, e proteger a superfície do solo do impacto directo das gotas de água, através de cobertos vivos e/ou resíduos de culturas, o que resulta na diminuição do destacamento de partículas bem como da formação de crosta.

A formação de escoamento superficial depende da intensidade da precipitação e/ou rega por aspersão, da evolução da taxa de infiltração do solo ao longo do evento precipitação/regagem, e da capacidade de armazenamento da superfície do solo. Os diferentes sistemas de mobilização dos solos dão lugar a superfícies com diferentes níveis de rugosidade (e.g. Eltz e Norton, 1997), dos quais depende a capacidade de armazenamento superficial, bem como a diferentes estruturas (e.g. Roth e Eggert, 1994), das quais dependem as taxas de infiltração. Outras propriedades da superfície do solo, resultantes de diferentes sistemas de mobilização, como o grau de cobertura oferecido pelos resíduos das culturas, teor em matéria orgânica, cationes de troca, etc., desempenham também um papel muito importante na definição da extensão a que um determinado solo está sujeito aos processos erosivos, de uma forma directa e/ou indirecta, através da protecção ou pelas características que confere aos agregados ou crostas.

Neste trabalho apenas analisaremos alguns parâmetros físicos e químicos da superfície do solo que são afectados pelos diferentes sistemas de mobilização. Factores como a textura, fundamentais na definição da erodibilidade de um solo mas cujos sistemas de mobilização não têm nenhum efeito a curto ou médio prazo sobre eles, não serão analisados em particular.

2.2- Cobertura do solo pelos resíduos das culturas anteriores e erosão

Os sistemas de mobilização de conservação do solo são muitas vezes definidos como aqueles em que pelo menos 30% da superfície do solo fica coberto por resíduos de plantas de culturas anteriores, após a operação de mobilização (e.g. Edwards *et al.*, 1988). Com os sistemas de sementeira directa estes graus de cobertura podem ascender aos 90% e mais, à sementeira, dependendo da cultura anterior (e.g. Sallaway *et al.*, 1988).

A importância dos resíduos nos processos de erosão reside, em larga medida, na protecção da superfície do solo em relação ao impacto directo das gotas de água. Este efeito de protecção repercute-se tanto na infiltração como na massa de material erodido. Bradford e Huang (1994), num estudo de campo, com um solo franco-limoso, com chuva artificial aplicada a uma intensidade de 70 mm h^{-1} em talhões para o estudo de erosão laminar, observaram que a remoção de resíduos de milho, $0,26 \text{ kg m}^{-2}$, a que correspondia um grau de cobertura de 12% da superfície do solo, foi suficiente para diminuir a taxa de infiltração final de 62,1 para $39,2 \text{ mm h}^{-1}$ e aumentar a perda de solo de 0,13 para $0,52 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Embora estes resultados dêem conta da importância dos resíduos, a sua interpretação exige um certo cuidado. Para um mesmo pequeno grau de cobertura do solo proporcionado pelos resíduos, o efeito sobre a infiltração não pode ser tido de forma independente do tipo de resíduo (e.g. palha de trigo ou de girassol), ao que acresce, a diferentes taxas de infiltração, diferentes superfícies inundadas, o que implica diferentes taxas de destacamento, como veremos mais adiante.

Outros efeitos dos resíduos são o armazenamento de água por adesão e coesão, o retardamento do início da infiltração da água no solo, e a diminuição mecânica da

velocidade do escoamento superficial. Savabi e Stott (1994), num estudo de laboratório, observaram que a taxa de intercepção de água por diferentes resíduos, com uma massa por unidade de área de 5949 kg/ha, e uma intensidade de precipitação de 25 mm h⁻¹, era máxima no início da aplicação de água, e que decrescia com o tempo até ser atingida a quantidade máxima de armazenamento de água nos resíduos, após uma chuva acumulada de 12 mm, só então a taxa a que era colhida a água na superfície de controlo igualava a intensidade da chuva aplicada. Particularmente no caso da sementeira directa, a quantidade de resíduos pode ser suficiente para diminuir a velocidade do escoamento superficial e simultaneamente garantir uma altura de água relativamente elevada devido ao armazenamento de água nos resíduos. O efeito de “almofada” da água que acumula à superfície do solo em relação ao impacto das gotas de água pode desempenhar um papel muito importante na diminuição do destacamento de partículas. Shultz *et al.* (1985) observaram que, para as suas condições experimentais, uma altura de água de 4 mm era suficiente para reduzir a zero o destacamento de partículas.

2.3- Propriedades mecânicas do solo, destacamento de partículas, e sistemas de mobilização do solo

A compactação dos solos resulta de um jogo de forças que actua interna e/ou externamente ao solo, com o aumento da densidade (ou correspondente diminuição da porosidade). Relacionado com o aumento da densidade está o aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Quanto maior a resistência dos solos ao cisalhamento menor a massa de partículas destacadas pelo impacto das gotas de água (Al-Durrah e Bradford , 1981, 1982; Shultz *et al.*, 1985; Ekwue e Ohu, 1990).

O uso da resistência ao cisalhamento do solo como índice de erodibilidade foi proposto pela primeira vez por Chorley (Morgan, 1996). Al-Durrah e Bradford (1981), num estudo de laboratório, mediram a massa de salpicos destacada pelo impacto de uma gota de água (de uma altura de 8,9 m), e puderam estabelecer uma função linear entre a massa de partículas destacadas e a razão entre a energia cinética da gota de água e a resistência ao cisalhamento do solo, com um coeficiente de correlação (r) de 0,97. Quando 9 solos foram testados, Al-Durrah e Bradford (1982) descobriram que o coeficiente de determinação para cada solo mantinha-se alto, r^2 de 0,88 a 0,97, mas que para o conjunto dos solos, caía para 0,81. Uma outra observação importante deste trabalho foi que, quando outras propriedades do solo foram utilizadas como variáveis independentes para a predição da massa de salpicos, o coeficiente de determinação máximo foi de 0,61.

Estes estudos fundamentais, embora importantes para a compreensão do mecanismo de destacamento de partículas de solo, não são por si só suficientes para a predição da erosão laminar de um solo. A resistência ao cisalhamento de um solo não é uma constante, diminuindo à medida que o teor de água aumenta, como acontece durante uma chuvada ou fornecimento de água por aspersão. Também, para que haja erosão é necessário que haja acumulação de água à superfície, i.e. a intensidade da aplicação de água superior à taxa de infiltração, e escoamento superficial; esta água acumulada à superfície terá efeito sobre o destacamento de partículas pelas gotas de água. Shultz *et al.* (1985), num estudo de laboratório, com chuva artificial de intensidade 102 mm h^{-1} , e um solo franco-limoso, observaram uma elevada correlação entre a resistência ao cisalhamento e a taxa de produção de salpicos, com um crescimento exponencial da taxa de produção de salpicos à medida que o teor de água do solo aumentava e diminuía a

resistência ao cisalhamento. Atingida a saturação, ponto em que a taxa de produção de salpicos foi máxima, e à medida que a profundidade de água acumulada à superfície aumentava, a taxa de produção de salpicos diminuía, sendo de zero aos 4 mm de profundidade.

A observação dos efeitos que os diferentes sistemas de mobilização têm sobre a densidade aparente dos primeiros centímetros de profundidade do solo não são tão abundantes quanto a vastíssima literatura, que descreve os efeitos dos sistemas de mobilização sobre as propriedades físicas dos solos, faria esperar. No entanto, com o sistema de sementeira directa, regra geral, verifica-se o aumento da densidade aparente e resistência ao cisalhamento, comparativamente ao verificado com outros sistemas de mobilização (e.g. Unger e Jones, 1998). De acordo com o exposto acima poder-se-ia esperar que desta compactação verificada nos primeiros centímetros do solo resultasse uma diminuição da erosão. Bradford e Huang (1994), num estudo de campo, com um solo franco-limoso, com chuva artificial aplicada a uma intensidade de 70 mm h^{-1} em talhões para o estudo de erosão laminar, observaram que o efeito da cobertura do solo proporcionado por resíduos era superior ao efeito da perturbação do solo na manutenção de altas taxas de infiltração e na redução da perda de solo, num solo em sementeira directa. No mesmo sentido foram as observações realizadas por Sturgul *et al.* (1990), que não encontraram nenhuma diferença na perda de solo, um solo franco-limoso, entre uma cama de semente de luzerna preparada com lavoura e uma em sementeira directa cujos resíduos foram removidos. Uma observação que pode ser feita a ambos os trabalhos é que a massa de partículas destacadas não foi medida, bem como outros factores, pelo que a interpretação dos resultados dá lugar a muita especulação.

2.4- Estabilidade dos agregados e sistemas de mobilização do solo

Para uma utilização racional de um determinado solo, a compreensão dos processos que estão por detrás do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre o uso do solo e as práticas associadas, e a estabilidade dos agregados é fundamental. Assim, e antes de analisarmos o efeito dos sistemas de mobilização sobre a agregação das partículas do solo, interessa focar a nossa atenção sobre os processos e mecanismos de agregação.

Para a formação de agregados é condição primeira a existência de partículas que, pelas suas características, promovam a ligação entre as partículas individuais. De entre estas partículas, de dimensões inferiores a 2 μm , destacam-se os minerais de argila. Horn *et al.* (1994) referem que a formação de agregados tende a ocorrer apenas para solos com um teor em argila superior a 15%. Convém ainda referir que os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio podem desempenhar um papel muito importante na agregação de alguns solos. Lima e Anderson (1997) citam uns autores que observaram em solos ricos em óxidos uma correlação positiva maior entre a agregação e óxido de ferro livre do que em relação a qualquer outra propriedade do solo.

O papel que a matéria orgânica assume na estabilização dos agregados não é claro. O estudo dos mecanismos pelos quais os diferentes componentes da matéria orgânica do solo interagem com os colóides minerais no processo de agregação e na dispersão da argila têm frequentemente conduzido a conclusões contraditórias. A correlação positiva que tem sido encontrado entre a matéria orgânica do solo e a estabilidade dos agregados, é em parte devido à contribuição de catiões polivalentes como o Al, Fe, Ca e Mg (Gu e Doner, 1993).

Na gênese dos agregados, a formação de ligações entre os colóides minerais e ácidos húmicos (complexos argilo-húmicos) tem sido apontado por vários autores como essencial para a estabilização dos agregados. Com efeito, as ligações argilo-húmicas conferem uma maior resistência aos agregados em relação à acção da água devido à maior irreversibilidade que adquirem por secagem (Botelho da Costa, 1985). No entanto os resultados dos trabalhos publicados não é unânime quanto ao papel que os ácidos húmicos desempenham como agentes de agregação do solo. Gu e Doner (1993), num estudo da influência de 3 polianiões orgânicos (um ácido húmico do solo, um polissacárido do solo, e um polissacárido aniónico comercial) e de hidróxido de Al na dispersão da argila e sobre a agregação, observaram que o ácido húmico não era um agente de floculação, e que na ausência de catiões polivalentes as substâncias húmicas carregadas negativamente podem não contribuir para a estabilização dos agregados do solo.

Outras substâncias orgânicas, como as resultantes do metabolismo extra-celular das bactérias, os exsudados das raízes, fungos, etc., parecem ter um efeito apreciável sobre a estabilidade dos agregados. Isto pode ficar a dever-se aos polissacáridos (gomas, hemiceluloses, mucilagens, etc.) que se encontram nos vegetais, bactérias e fungos (e.g. Tisdall e Oades., 1982).

A importância que o pH do solo adquire no que concerne ao processo de agregação reside, entre outros, dos efeitos sobre a solubilidade de algumas espécies químicas, e sobre o balanço da carga eléctrica dos colóides. De um modo geral, o pH ácido de um solo traduz uma situação em que o grau de saturação do complexo de troca do solo é muito baixo, encontrando-se uma relativamente elevada concentração de óxidos de alumínio e/ou ferro livre e Al e/ou Fe de troca. Nestas circunstâncias podemos ter uma estabilidade acrescida dos agregados, tanto por via de uma maior floculação induzida

pelo maior número de cargas positivas que surgem na superfície dos colóides minerais, como por um maior efeito flocculante dos ácidos húmicos pela presença de Al de troca como foi observado por Gu e Doner (1993). Para um pH alcalino, quanto maior a concentração de electrólitos maior a facilidade com que ocorre a flocculação da argila. Isto é especialmente verdade se catiões forem polivalentes, e em particular o Ca. A presença de Na no complexo de troca, quando em proporção relativamente elevada, induz ao estado disperso das argilas, devido à grande quantidade de moléculas de água que consegue coordenar.

Ao uso agrícola dos solos podem corresponder práticas capazes de conduzir à diminuição da massa de partículas permanentemente agregadas, o que pode resultar na degradação dos solos e perda da sua fertilidade. Vários autores apontam os efeitos do uso agrícola de um solo sobre factores como o balanço da matéria orgânica do solo (e.g. Ekwue, 1990), a intensidade da mobilização do solo (e.g. Roth e Eggert, 1994), a utilização de correctivos que veiculem matéria orgânica e/ou cálcio (e.g. Chan e Heenan, 1998), e o grau de cobertura da superfície do solo, como muito importantes na aferição sobre o estado e sentido do processo de agregação (agregados ↔ partículas não agregadas). Isto fica-se a dever a alguns processos já conhecidos, importantes na génese e estabilização dos agregados, nomeadamente a química e geometria da superfície dos colóides, do pH, força iónica, e composição da solução do solo. Outros processos importantes na individualização e estabilização dos agregados residem nos ciclos de humedecimento e secagem a que os solos estão sujeitos (e.g. Horn, 1990), e de congelação/descongelação, muito embora nem sempre se encontre uma correlação positiva entre ciclos de congelação/descongelação e a estabilidade dos agregados (e.g. Terpstra, 1989).



A estrutura do solo resultante da mobilização depende do tipo de solo, o teor em água, do tipo de alfaia, e dos detalhes históricos de manejo do sítio (Addiscott e Dexter, 1994). Um dos efeitos mais mencionados na literatura da mobilização sobre a estrutura do solo é o resultado da acção física directa sobre os agregados pelas alfaias. Muitos trabalhos publicados mostram que em solos cultivados há uma maior proporção de agregados fragmentados e de material não agregado (e.g. Roth e Eggert, 1994). No entanto, e se atendermos apenas aos agregados da superfície do solo, com a mobilização do solo para a preparação de camas de semente há uma tendência para ocorrer agregados grandes junto à superfície e mais pequenos em profundidade, verificando-se o oposto em solos em sementeira directa (Addiscott e Dexter, 1994). Estas diferenças ficam-se a dever à maior exposição da superfície dos solos naturais (ou em sementeira directa) a ciclos de secagem/humedecimento mais intensos uma vez que os agregados dos solos mobilizados foram formados numa outra posição do perfil vindo para a superfície aquando das mobilizações.

Um outro resultado da mobilização é o aumento da macroporosidade, acompanhada pela mistura vigorosa dos resíduos vegetais com a massa do solo. Esta maior macroporosidade tem como resultado a criação de condições propicias para o aumento da taxa de oxidação das substâncias orgânicas (e.g. Chan *et al*, 1992), com consequente diminuição do teor de matéria orgânica do solo, o que pode conduzir à diminuição da estabilidade dos agregados do solo. Pela importância que os agregados superficiais têm na conservação do solo e da água, as diferenças na distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil também adquire uma importância relevante. Vários trabalhos têm mostrado que a mobilização leva a uma diferente distribuição da matéria orgânica no perfil quando comparado com o solo natural ou em sistemas de não mobilização (sementeira directa), em que se verifica uma acumulação de matéria orgânica à

superfície do solo (Carvalho e Basch, 1995, Haynes e Knight, 1989). O manejo dos resíduos das culturas é importante na evolução do teor de matéria orgânica do solo mas a nossa compreensão do efeito líquido das diferentes práticas de controlo dos resíduos sobre a evolução dos teores de matéria orgânica do solo está longe de nos poder fornecer instrumentos úteis na tomada de decisões de gestão do solo. Chan *et al.* (1992) estudaram o efeito da queima/retenção dos resíduos e diferentes sistemas de mobilização numa rotação de trigo/tremoço, e observaram que a queima dos resíduos tinha o mesmo efeito na redução da massa total de matéria orgânica do solo quanto a prática da mobilização do solo.

A importância que as minhocas têm sobre a agregação do solo resulta no facto, entre outros, dos seus excrementos serem eles próprios agregados estáveis. A sua existência está intimamente relacionada com a disponibilidade e tipo de matéria orgânica do solo, o teor em cálcio do solo, e da intensidade de mobilização a que o solo é sujeito. As minhocas são também responsáveis pela formação de uma rede de luras, que podem desempenhar um papel muito importante na infiltração de água no solo (e.g. Edwards *et al.*, 1988). A mobilização reduz o número de minhocas por unidade de área (e.g. Ball, 1994).

2.5- Formação da crosta e erosão

A formação da crosta é devida a dois mecanismos complementares: (i) a desintegração física dos agregados e a sua compactação pelo impacto das gotas de água; (ii) a dispersão química e o movimento de partículas de argila (*wash in*) para as regiões de 0,1 a 0,5 mm de profundidade (Levy *et al.*, 1986). O efeito de cada um destes mecanismos, e o seu efeito conjunto, sobre os processos de erosão é ainda em grande

medida desconhecido.

A estabilidade dos agregados em água está intimamente dependente dos mecanismos de fragmentação dos agregados: (i) pelas forças de cisalhamento desenvolvidas durante o impacto das gotas de água; (ii) pela pressão desenvolvida pelo ar aprisionado no interior dos agregados (*air slacking*); (iii) dispersão química das argilas (e.g. Levy *et al.*, 1986). Assim, dos mecanismos físicos ((i) e (ii)) vem que os agregados secos ao ar são mais resistentes ao impacto das gotas de água, devido à maior resistência ao cisalhamento, e que os agregados húmidos são mais resistentes à pressão exercida pelo ar, uma vez que boa parte dos poros está ocupado por água. Quanto à dispersão química das argilas, esta está intimamente relacionada com a valência dos catiões de troca, e a taxa em que ocorre é aumentada pela agitação das partículas de solo causada pelo impacto das gotas de água (e.g. Shainberg e Levy, 1996). A importância destes mecanismos nos processos de erosão é confirmada em diversos trabalhos. Por exemplo, Le Bissonnais e Singer (1992) observaram que ao humedecimento prévio, tanto dum solo franco-limoso como dum franco-argilo-limoso, correspondia uma redução significativa do desenvolvimento da crosta, do escoamento superficial, e da erosão, e que este efeito se fazia sentir mesmo após 3 aplicações sucessivas, espaçadas no tempo, de chuva artificial com uma intensidade de 40 mm h^{-1} durante 1 hora. Isto significa que, para estes solos, a fragmentação dos agregados pela pressão exercida pelo ar é muito importante. No entanto, Mohammed e Kohl (1987), também com um solo franco-limoso, observaram que aparentemente a crosta desenvolvia-se ao mesmo grau, para o mesmo nível de energia cinética, embora partindo de estados iniciais de teor de água no solo diferentes. Num outro trabalho, Levy *et al.* (1986) estudaram os efeitos da salinidade da água de rega, e da percentagem de sódio de troca, sobre a estabilidade da crosta, para um solo franco-arenoso e um franco-limoso, e observaram que as crostas em que a dispersão

química das argilas complementou a fragmentação física dos agregados, solos com elevada percentagem de sódio de troca expostos a chuva de água destilada, eram mais estáveis e menos afectadas pela energia de impacto das gotas de água, salinidade da água, ou pela extensão da secagem entre aplicações de água.

Durante uma chuvada há uma mudança estrutural que se opera na superfície do solo. Ekwue e Ohu (1990), num estudo de laboratório, com solos francos, franco-arenosos e franco-argilo-arenosos, com diferentes teores de matéria orgânica, e uma intensidade de aplicação de água de 81 mm h^{-1} , e energia cinética de $25,88 \text{ J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, observaram que quanto maior fosse o tempo de uma chuvada, maior seria a compactação da superfície do solo, medido pela resistência ao cisalhamento, e menor a taxa de destacamento de solo. Os autores explicaram o aumento da compactação em termos da fragmentação dos agregados e pelo movimento das partículas finas para os espaços inter-agregados, e a redução do destacamento em termos do aumento da resistência ao cisalhamento da superfície do solo e da redução do número de agregados de grande dimensão ao longo da chuvada que, por fragmentação, dão lugar a partículas facilmente destacadas pelo impacto das gotas de água. Estes resultados podem dar lugar a interpretações erradas do efeito da desintegração física dos agregados, e da sua compactação pelo impacto das gotas de água, no processo de erosão laminar, principalmente pelo facto de não ter ocorrido acumulação de água à superfície, no entanto, não deixa de ser muito útil em termos do estudo da formação da crosta. Outros trabalhos mostram uma clara redução da resistência ao cisalhamento à medida que ocorre a saturação do solo da superfície, com o aumento da taxa de partículas de solo destacado (e.g. Shultz *et al.*, 1985). Francis e Cruse (1983) mediram o efeito do potencial mátrico da água do solo sobre a estabilidade dos agregados, considerado como inversamente proporcional à massa de

material destacado pelo impacto de gotas de água, e observaram que uma pequena redução do potencial mátrico de 0 para -500 Pa era suficiente para reduzir consideravelmente a massa de material destacado. Al-Durrah e Bradford (1981) também observaram este efeito do potencial mátrico na massa de partículas destacadas por uma gota de água. Estes resultados mostram que práticas que aumentem a drenagem interna, ainda que originando pequenas reduções do potencial mátrico, promovem a estabilidade estrutural. No entanto, em solos nus, muito susceptíveis à formação de crosta, via a pequena estabilidade dos agregados em água, o significado será muito pequeno.

Durante uma chuvada ou rega por aspersão, a diminuição da taxa de infiltração resulta tanto da diminuição na vertical do gradiente hidráulico como do desenvolvimento de crosta. Mohamed e Kohl (1987), num estudo de campo, com um solo franco-limoso e chuva artificial de variada intensidade e energia cinética, observaram não apenas uma redução da quantidade de água infiltrada directamente atribuível ao desenvolvimento de uma crosta superficial mas também uma redução da taxa de infiltração com o aumento da energia cinética aplicada. Estes autores observaram uma consolidação nos primeiros 3 mm, com a densidade aparente a passar de 1,05, antes da aplicação da água com elevada energia cinética, para 1,63.

2.6 Sumário e conclusões

Quando comparados com o sistema de sementeira directa, os sistemas de mobilização tradicional e reduzida apresentam uma superfície do solo mais vulnerável ao destacamento de partículas pelo impacto das gotas de água da chuva/regagem por aspersão, devido à menor quantidade de resíduos à superfície.

Aparentemente, as diferentes estruturas físicas do solo da superfície, a que correspondem diferentes comportamentos mecânicos, induzidas pelos diferentes sistemas de mobilização, conduzem, em ensaios de campo com chuva artificial, a perdas de solo por erosão similares, apesar da existência de estudos que mostram uma relação estreita entre o destacamento de partículas e as propriedades mecânicas do solo. É provável uma maior estabilidade dos agregados do solo da superfície com a diminuição da intensidade da mobilização, e em especial com os sistemas de sementeira directa, como resultado do aumento do teor de matéria orgânica nessa camada de solo, aumento da actividade microbiana, e a subsistência da macrofauna, grandemente reduzida com os sistemas de mobilização tradicionais.

A formação de crosta é regida por mecanismos complexos, não totalmente compreendidos, mas que assentam fundamentalmente na estabilidade dos agregados no que concerne à resistência ao cisalhamento, devido às forças desenvolvidas durante o impacto das gotas de água, à pressão exercida pelo ar no seu interior, quando este está submergido em água, e à dispersão química das argilas. Assim, é previsível que os sistemas de mobilização reduzida, e em especial os sistemas de sementeira directa, pela protecção dos agregados da superfície oferecida pelos resíduos, e pela estabilidade acrescida dos agregados mencionada no parágrafo anterior, sejam menos susceptíveis ao desenvolvimento de crosta, ou que esta se desenvolva a um menor grau.

A relação estreita entre o desenvolvimento de crosta, a infiltração, o escoamento superficial e a erosão, permite-nos confiar na redução da erosão com os sistemas de mobilização que garantam um grau relativamente elevado de cobertura do solo, e que contribuam para uma maior estabilidade dos agregados.

3- MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho teve como objectivo o estudo do impacto dos sistemas de mobilização tradicional, reduzida e sementeira directa, sobre o destacamento de partículas de solo pelo impacto de gotas de água de chuva natural e seu transporte na água que constituiu escoamento superficial, na cultura do trigo.

As determinações laboratoriais abaixo descritas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade de Évora. A determinação dos catiões de troca e condutividade eléctrica do solo foram realizadas no Laboratório Químico-Agrícola, também da Universidade de Évora, em regime de prestação de serviço. Assim, e apenas para referenciar os métodos utilizados no Laboratório Químico-Agrícola, a extracção dos catiões de troca foi realizada com uma solução de *acetato de amónio* e a determinação por espectroscopia de absorção atómica, e a condutividade eléctrica foi medida com um condutímetro. As amostras de solo utilizadas nas determinações laboratoriais resultaram sempre da amostragem em pelo menos 5 pontos em cada talhão.

3.1- Descrição do sítio e delineamento experimental

Os dados foram colhidos na “Herdade da Revilheira”, da Direcção Regional de Agricultura do Alentejo, em Reguengos de Monsaraz.

Um ensaio de mobilizações foi utilizado para a instalação dos equipamentos e recolha dos dados (Figura 3.1 e 3.2). Segue um delineamento simples, com 9 talhões casualizados, 3 tratamentos com 3 repetições. Os talhões apresentam uma área de 60 m² (20 m × 3 m), coincidindo o maior comprimento com o declive, que é de 5%. Este

ensaio de mobilizações apresenta, de forma muito sucinta, o seguinte historial: começa no Inverno de 1996/7, com a cultura do trigo e sistemas de mobilização tradicional (lavoura + gradagem), reduzida (escarificador + vibrocultor) e sementeira directa; no Inverno de 1997/8 a excessiva precipitação não permitiu a realização das mobilizações. Para o Inverno de 1998/9, o período a que corresponde a recolha dos dados apresentados nesta tese, os talhões com o tratamento mobilização tradicional foram lavrados com uma charrua de aivecas, a uma profundidade aproximada de 0,3 m, sendo de seguida gradados com uma grade de discos; para os talhões com o tratamento mobilização reduzida, o baixo teor de humidade que o solo apresentava na altura das mobilizações obrigou à utilização de um conjunto de alfaia diferente do utilizado no Inverno de 1996/7, consistindo na passagem de um chisel, seguido de uma gradagem com uma grade de discos, a uma profundidade aproximada de 0,15 m. A sementeira do trigo (var. centauro) foi realizada com um semeador de sementeira directa “John Deere”, com um espaçamento entre linhas de 0,18 m, com uma dotação de semente de 190 kg/ha, e a aplicação de fundo de 220 kg/ha de um adubo binário (18/46/0). Todas as operações foram feitas segundo a direcção do declive, o maior comprimento dos talhões.

O solo onde está instalado o ensaio de mobilizações é um franco-argilo-limoso. Alguns dados físicos e químicos deste solos encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Dados físicos e químicos do solo.

Hor.	Prof. cm	Textura (<2mm)				M.O. %	pH (H ₂ O)	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca m.e. por 100g	Mg m.e. por 100g	Na m.e. por 100g	C.T.C. m.e. por 100 g
		A.g. %	A.f. %	Limo %	Arg. %								
A	0-30	14,8	21,7	34,3	29,2	1,23	6,15	13	192	5,45	5,81	0,53	15,84
	30-60	9,2	17,8	38,5	34,5	0,82	7,04	7	100	7,18	10,19	0,85	-



Figura 3.1 Aspecto geral de um talhão em sementeira directa.



Figura 3.2 Aspecto geral dos talhões do ensaio.

3.2- Destacamento de partículas de solo pelas gotas de água da chuva (Salpico)

Para quantificar o efeito dos sistemas de mobilização do solo sobre a massa de partículas destacadas pelo impacto das gotas de água da chuva, e projectada a alguma distância, recorreremos a um conjunto formado por funis e garrafas, de acordo com as Figuras 3.3 e 3.4. Foram instalados 9 conjuntos, 1 em cada talhão, numa posição central, após a sementeira. Os funis ficaram com folga suficiente para prevenir a entrada de água de armazenamento ou de escoamento superficial, aproximadamente 0,5 cm. A instalação destes conjuntos obrigou a algumas precauções, como a cobertura do solo com plástico para evitar a contaminação da superfície com solo retirado do buraco que alberga a garrafa, ou trabalhar com precaução por forma a diminuir ao mínimo a modificação da estrutura do solo pelo pisoteio.

Após cada chuvada, as amostras de salpicos foram levadas para o laboratório, onde foram secas em estufa a 105 °C, e pesadas. A relação entre a massa de salpicos colhida e a massa de partículas destacadas é expressa por unidade de área (g m^{-2}).

De cada amostra de salpicos, seca e homogeneizada, foi retirada uma sub-amostra e procedeu-se à determinação da granulometria. De forma sucinta: a sub-amostra foi pesada e colocada num erlenmeyer previamente tarado e identificado, à qual se juntou 50 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio a 0,5 % (p/v), sendo levado a agitar durante 45 min., a 230 rpm; o material disperso era lavado para uma bateria de crivos (1000, 710, 500, 355, e 250 μm) e as partículas primárias retidas nos crivos eram lavados de novo para erlenmeyers, secos em estufa a 105°C e pesados. Estas análises só foram realizadas para os salpicos das primeiras 4 chuvadas.

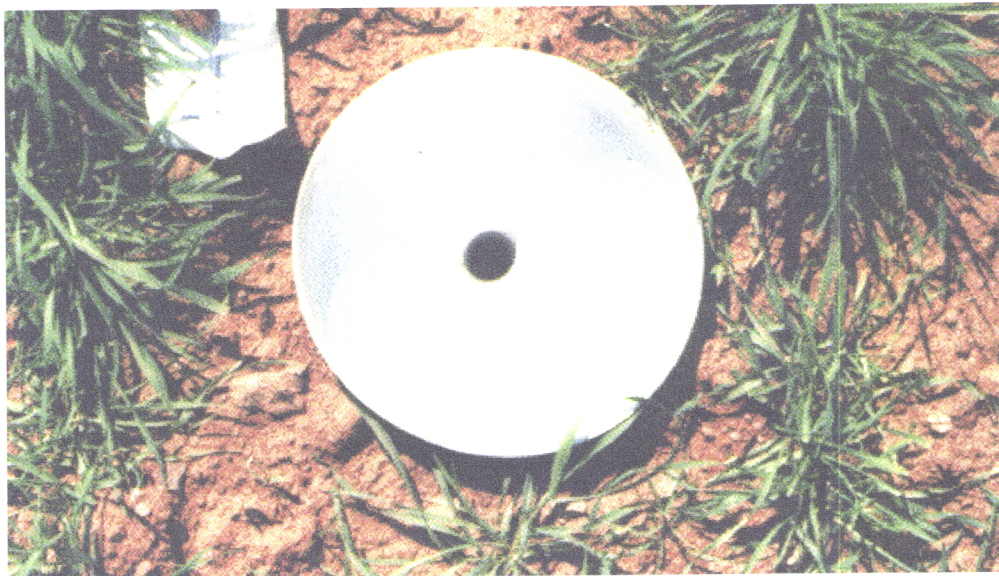


Figura 3.3 Imagem de funil montado, utilizado na medição da massa de salpicos.



Figura 3.4 Imagem dos 3 elementos que compõem o aparato de recolha de salpicos (funil, garrafa e cilindro em PVC).

3.3- Transporte na água do escoamento superficial das partículas destacadas

O transporte das partículas destacadas, em suspensão, na água do escoamento superficial foi avaliado por recurso a pequenos talhões de erosão (Figuras 3.5 e 3.6). Estes talhões, com uma área de 2 m², estão particularmente adaptados, pelo seu pequeno tamanho, ao estudo do escoamento superficial enquanto meio de transporte dos salpicos. Foram instalados 9 talhões de erosão, 1 em cada talhão do ensaio de mobilizações.

De forma breve, os talhões de erosão são delimitados por chapas de metal, com 0,30 m de altura, do qual 0,2 m está acima do solo; na parte inferior do talhão existe uma caleira que recebe o escoamento superficial conduzindo-o para um tubo de PVC que liga a um pequeno reservatório. Para minimizar a perturbação da superfície do solo, principalmente para os talhões com o tratamento sementeira directa, a interface entre a caleira e a superfície do solo foi feita em cimento (Figura 3.6).

Após cada chuvada que produziu escoamento superficial, os recipientes que receberam o escoamento superficial foram substituídos, e as amostras contidas nos recipientes transportadas para o laboratório.

O volume da água era medido, e, sempre que superior a 4 dm³, uma amostra com este volume era colhida: a água e sedimentos contidos no recipiente eram vigorosamente agitados de forma a que os sedimentos ficassem em suspensão, colhendo-se duas amostras com 2 dm³ cada para um recipiente em plástico. As amostras ficavam a decantar aproximadamente 48 horas. Após este período, a água era extraída do recipiente através de um sifão, reservando-se 250 ml desta água para a determinação da massa de partículas que ainda se encontravam em suspensão. Os sedimentos depositados eram então lavados para copos e secos em estufa a 105 °C, até peso constante, e pesados.



Figura 3.5 Imagem de um talhão de erosão.

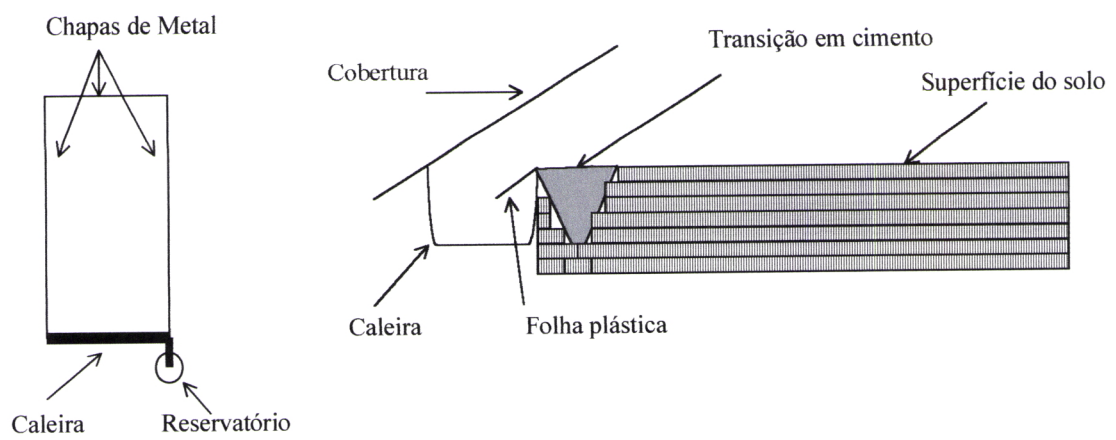


Figura 3.6 Esquema dos talhões de erosão.

3.4- Matéria orgânica

A determinação do teor de matéria orgânica do solo da superfície (0 a 0,02 m), na terra fina, foi realizado pelo método de Lichterfelder, que se baseia na oxidação da matéria orgânica com uma mistura de di-cromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), e a determinação da quantidade de Cr^{3+} , formado da reacção de $Cr_2O_7^{2-}$ com o solo, por colorimetria (Schlichting e Blume, 1966).

3.5- pH

Foi realizado a determinação do pH do solo da superfície (0 a 0,02 m), na fracção terra fina, segundo duas metodologias: em suspensão em água e numa solução 1 N de cloreto de potássio (KCl). A relação terra fina: água destilada ou solução de KCl adoptada foi de 1:2,5. Utilizou-se um potenciómetro de marca *Crison* (modelo micro pH 2000), com eléctrodos de vidro.

3.6- Estabilidade dos agregados em água

A estabilidade dos agregados em água foi determinada em amostras colhidas em Dezembro, antes das primeiras chuvas.

Amostras de solo da camada superficial, primeiros 0,02 m, foram colhidas para recipientes rígidos tendo o cuidado de as perturbar o menos possível. Estas amostras foram então crivadas de forma pouco enérgica, numa bateria de crivos, por forma a separar duas classes de tamanho de agregados: agregados retidos no crivo com malha de

4mm, e agregados retidos no crivo de 2 mm mas que passavam o crivo de 4 mm (Figura 3.7).

A determinação da estabilidade dos agregados em água foi realizado por um método próximo do descrito por Angers e Mehuys (1993). De forma sucinta: uma sub-amostra com aproximadamente 10g de agregados (P1) era pesada e distribuída gentilmente sobre um crivo de 1 mm previamente molhado, humedecendo por capilaridade durante aproximadamente 10 min.; este crivo era então montado sobre um outro com uma malha de 250 µm e o conjunto colocado na máquina de crivagem em água (Figura 3.8), sendo o nível da água ajustado por forma a que os agregados permanecessem submersos durante a agitação; após um tempo de crivagem de 2 min., os agregados e outras partículas que permanecessem nos crivos eram lavados para erlenmeyers previamente tarados, um para cada crivo, secos em estufa a 105°C e pesados (P2). Para corrigir o erro associado à areia e/ou outros elementos grosseiros, 50 ml de uma solução de hexametáfosfato de sódio a 0,5 % (p/v) era adicionado a cada erlenmeyer, sendo levados a agitar durante 45 min., a 230 rpm; o material assim disperso era lavado para o respectivo crivo (1 ou 0,25 mm) e as partículas primárias retidas nos crivos eram lavados de novo para o mesmo erlenmeyer, secos em estufa a 105°C e pesados (P3). Uma outra sub-amostra dos agregados era utilizada no cálculo do teor de água, por secagem em estufa a 105°C durante 4 horas (PA). O cálculo da percentagem de agregados estáveis em água obedece à seguinte fórmula:

$$\% = 100 \times (P2 - P3) / ((P1 / (1 + PA)) - P3)$$

3.7- Resistência à penetração

O efeito dos sistemas de mobilização sobre a resistência à penetração foi medido em 2

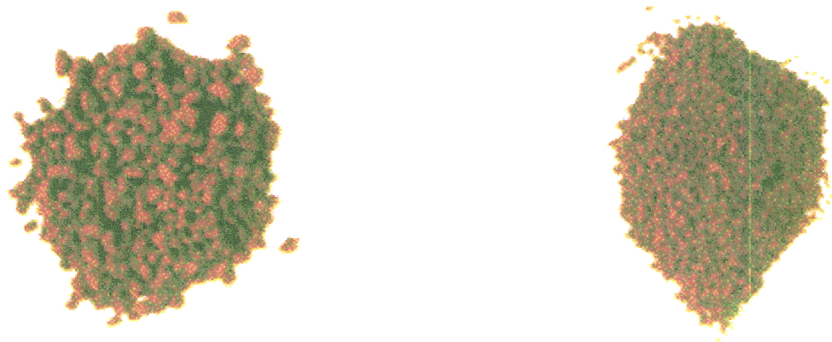


Figura 3.7 Imagem dos agregados antes da determinação da estabilidade em água (Esq. 2 a 4 mm; Dta 1 a 2 mm).

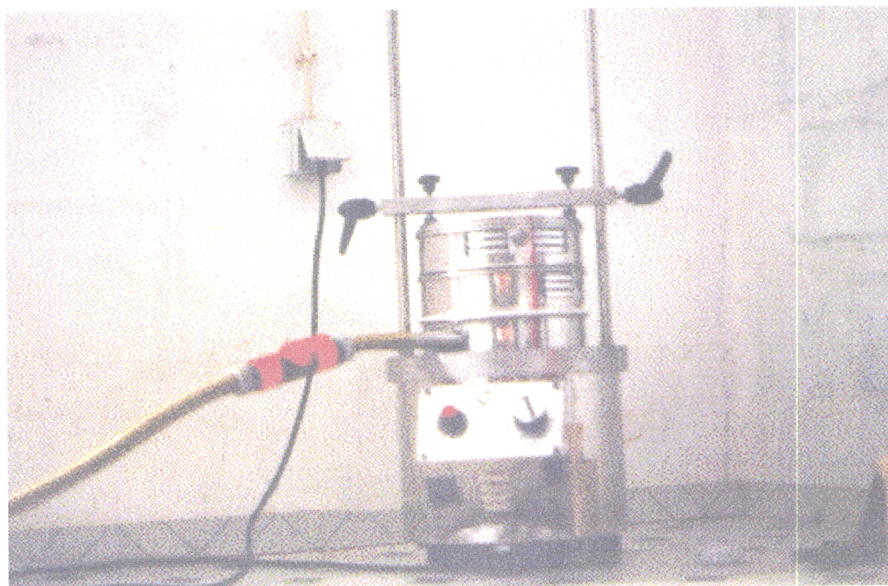


Figura 3.8 Aparelho para crivagem em água, usado na determinação da estabilidade dos agregados em água.

datas: 3 de Fevereiro e 22 de Março de 1999. Para o efeito utilizámos um penetrómetro (Eijkelkamp *Penetrologger*), com registo digital dos valores de resistência que o solo opõe ao cone, a intervalos de profundidade de 0,01 m, e indicador para o controlo da taxa de penetração. O cone utilizado tem um diâmetro de 11,3 mm e um ângulo de 60°. Em cada data fizemos um mínimo de 5 penetrações por talhão, até uma profundidade de 0,5 m.

3.8- Densidade aparente e porosidade

A medição da densidade aparente da superfície do solo (profundidade 0,01 a 0,04 m) e da água retida a diferentes potenciais de pressão foi realizada em 3 datas: a 13 de Janeiro, 22 de Março e 5 de Julho de 1999. Na última data estas determinações também foram efectuadas em amostra de solo da profundidade 0,1 a 0,15 m.

Amostras de solo não perturbadas foram colhidas com cilindros de aço, com um diâmetro interno de 0,05 m e uma altura de 0,03 m, o que corresponde a um volume de $58,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3$. Os cilindros foram cravados, na vertical, na superfície do solo com auxílio de um guia e martelo. Para as amostra tiradas à profundidade de 0,10-0,15 m, foi aberto um pequeno perfil, tendo os cilindros sido cravados na horizontal, numa parede lateral. Na 3ª data, para ultrapassar o problema do baixo teor de humidade que o solo apresentava, 72 horas antes da colheita das amostras foi adicionado cuidadosamente água ao solo por forma a criar um bolbo húmido com aproximadamente 0,3 m de profundidade. Em cada data foram colhidos 3 amostras por talhão, e por profundidade no caso da 3ª data.

A percentagem de água no solo a pF 1, 1,8 e 2,54 foi determinada pelo método de sucção com limo. A percentagem de água a pF 4,2 foi realizado com a membrana de

pressão. A densidade aparente foi obtido por secagem do solo dos cilindros em estufa a 105 °C, até alcançar peso constante, conhecido que é o volume dos cilindros.

3.9- Condutividade hidráulica

O efeito dos sistemas de mobilização sobre a condutividade hidráulica saturada, de campo, do solo foi medido em 3 datas: a 21 de Dezembro de 1998, antes das primeiras chuvas, a 7 de Abril e 22 de Junho de 1999.

O método utilizado foi o do permeâmetro de Guelph (Figura 3.9). O procedimento adoptado foi o padrão, que consta do manual de instruções que acompanha o equipamento (permeâmetro de Guelph, modelo 2800).

Em cada data fizeram-se 9 leituras, 1 em cada talhão, a uma profundidade de 0,2 m.

3.10- Taxa de infiltração

Como para a condutividade hidráulica, também a taxa de infiltração à superfície do solo foi medida em 3 datas: a 6 de Janeiro, 8 de Abril e 23 de Junho de 1999.

O método utilizado foi o do duplo anel. Os diâmetros internos do anel exterior e do interior foi de 0,4 e 0,2 m respectivamente. A lâmina de água foi mantida com 0,02 m de altura em ambos os anéis. A alimentação em água do anel exterior foi feito com um reservatório, preparado para o efeito, com um funcionamento hidráulico baseado no Princípio de Mariotte. Para uma leitura mais rigorosa do volume de água infiltrada no anel interior recorreu-se ao permeâmetro de Guelph, tendo o cuidado de prendê-lo firmemente ao seu tripé, com fita adesiva, de forma a que a sua base tocasse apenas levemente a superfície do solo (Figura 3.10).

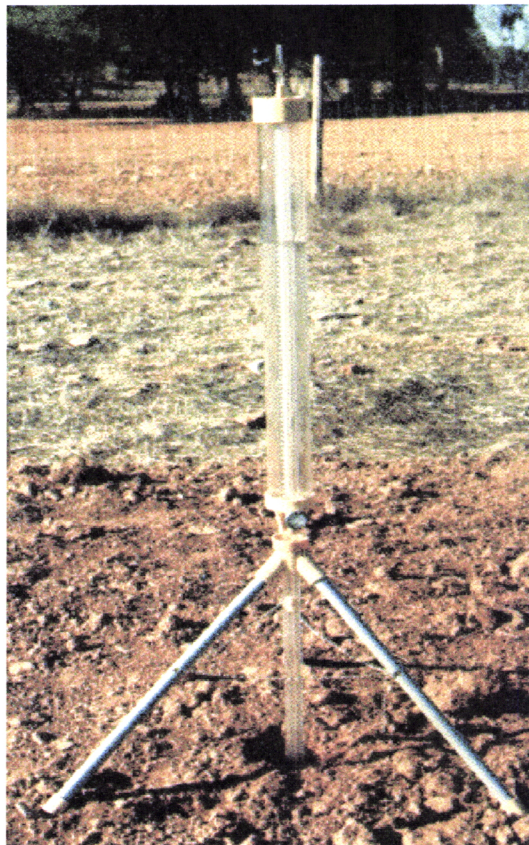


Figura 3.9 Permêmetro de Guelph.



Figura 3.10 Equipamento utilizado na medição das taxas de infiltração pelo método do duplo anel.

Em cada data fizeram-se 9 observações, 1 em cada talhão. O tempo total de cada observação foi de 46 min, com o registo do volume infiltrado a intervalos de 2 min.

3.11- Medição do teor de água do solo

O teor de humidade do solo foi medido em diferentes datas com o intuito de caracterizar o efeito dos sistemas de mobilização sobre a evolução do perfil hídrico do solo e aquando das determinações da densidade aparente, condutividade hidráulica, taxas de infiltração e resistência à penetração.

Foram utilizados 3 métodos na medição do teor de humidade: o método gravimétrico e do TDR (*Time Domain Reflectometry*) até às profundidades de 0,05 –0,1 m, e o método da sonda de neutrões para as profundidades até 0,6 m. A medição com a sonda de neutrões envolveu a instalação de 18 tubos de acesso, em PVC, 2 por talhão, até uma profundidade de 0,7 m.

3.12- Cobertura do solo

A avaliação do grau de cobertura do solo pelos resíduos vegetais foi realizado segundo duas metodologias: peso dos resíduos e projecção vertical.

O peso dos resíduos foi determinado após a realização das mobilizações e sementeira, e antes das primeiras chuvas. Uma área de 0,1 m² foi amostrada em cada talhão, numa zona pré-definida dos talhões. Os resíduos foram transportados para o laboratório e pesados.

A medição da projecção vertical pelos resíduos sobre o solo foi realizado antes das primeiras chuvas. Foi fotografada uma zona pré-definida em cada talhão. No

laboratório, foi colocada uma grelha com 130 pontos sobre as fotografias, contando-se os pontos em que havia sobreposição com os resíduos. Os resultados são expressos em percentagem.

3.13- Precipitação

Os dados referentes à precipitação provêm de uma estação meteorológica instalada na vizinhança do ensaio (a aproximadamente 200 metros, em linha recta), da responsabilidade do Centro de Geofísica de Évora.

À semelhança de outros autores (e.g. Morin, 1996), definimos como chuvada a quantidade de chuva que cai num determinado período de tempo no qual o intervalo que medeia entre os segmentos de precipitação não excede 24 horas.

Os dados da precipitação têm intervalos entre observações de 10 minutos.

A caracterização das chuvadas foi feita com base no volume, intensidade, energia cinética e índice de erosividade.

A energia cinética foi calculada pela equação de Wischmeier e Smith (in Morgan, 1996): $KE = 11.87 + 8.73 \log_{10} I$, em que I é a intensidade da precipitação (mm/h) e KE a energia cinética ($Jm^{-2}mm^{-1}$).

Como índice de erosividade utilizámos o índice de Wischmeier e Smith (in Morgan, 1996), EI_{30} , que é dado pela multiplicação da energia cinética total da chuvada pela intensidade máxima em 30 minutos.

3.14- Análise estatística

A análise de variância dos resultados foi realizada com o programa *STATISTICA*¹.

A separação das média foi realizada por um método equivalente ao teste t de Student (lsd), para probabilidades $p=0,01$, $p=0,05$ e $p=0,10$.

¹ StatSoft. Inc. 2300 East 14 th Street. Tulsa. OK 74104, USA

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Análise da precipitação

A partir dos dados da precipitação colhidos entre finais de Dezembro de 1998 e Maio de 1999 (Tabela 4.1), pode ser observado que a altura total registada é de aproximadamente 296 mm em 15 chuvadas. Destas, as chuvadas 1, 8 e 13 contribuem com mais de 56 % da precipitação total e aproximadamente 60 % da energia cinética total. São estas também as chuvadas com o maior índice de erosividade (EI30).

Todos os eventos registados foram relativamente suaves, tendo a intensidade máxima observada a intervalos de 10 min, ocorrido durante o 1º evento, atingindo 37,57 mm h⁻¹.

Os valores de energia cinética foram calculados sendo, por isso, meramente indicativos.

Tabela 4.1 Dados relativos à precipitação ocorrida entre finais de Dezembro de 1998 e Maio de 1999 na Herdade da Revilheira. Reguengos de Monsaraz.

Evento	Início dia/mês	Duração nº de dias	Altura mm	Int. máx. mm h ⁻¹	Int. média mm h ⁻¹	E.C. total Jm ²	EI30 J mm m ² h ⁻¹
1	29-Dez	3	62,62	37,57	1,12	1314,63	36115,48
2	09-Jan	3	20,00	3,64	0,28	282,22	912,15
3	16-Jan	2	10,50	8,48	0,46	173,84	983,25
4	20-Jan	3	29,49	13,33	0,52	509,67	4324,04
5	09-Fev	1	5,05	3,64	0,28	71,86	174,18
6	24-Fev	4	7,88	12,12	0,44	131,49	637,48
7	03-Mar	4	3,43	7,27	0,29	51,50	166,44
8	09-Mar	6	64,24	25,45	0,47	1099,21	14654,69
9	24-Mar	1	16,56	18,18	0,79	318,59	4890,96
10	01-Abr	1	5,05	9,70	0,63	89,91	581,16
11	16-Abr	2	3,84	3,64	0,35	58,05	164,17
12	21-Abr	3	4,44	4,85	0,40	70,85	257,62
13	26-Abr	7	40,00	33,94	0,49	726,67	16733,77
14	05-Mai	3	13,13	6,06	0,33	196,55	794,05
15	17-Mai	3	9,90	12,12	0,38	160,39	647,97

4.2- Salpicos

A análise dos resultados é dividida em 2 partes: antes da emergência da cultura, as primeiras 4 chuvadas, e após. Grande parte da análise incidirá nos resultados obtidos antes da emergência da cultura uma vez que a presença das plantas de trigo em diferentes fases de desenvolvimento inviabilizam uma comparação entre eventos.

Tabela 4.2 Dados relativos à quantidade de salpicos para as chuvadas ocorridas entre finais de Dezembro de 1998 e Maio de 1999. Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P= 0,05$, ($P=0,10$), determinadas pelo teste LSD. Os dados relativos às chuvadas 10, 11 e 12 não constam da tabela devido a problemas surgidos com insectos, que impossibilitaram a sua determinação.

Evento	Altura (mm)	EI30 J mm m ⁻² h ⁻¹	Salpicos (g/m ²)		
			MT	MR	SD
1	62,62	36115,48	1244,80 ^{a(a)}	787,61 ^{a(b)}	78,52 ^b
2	20,00	912,15	171,78 ^{a(a)}	146,10 ^{a(a)}	34,48 ^b
3	10,50	983,25	69,71 ^{a(a)}	60,90 ^{a(a)}	9,76 ^b
4	29,49	4324,04	308,76 ^{a(a)}	268,65 ^{a(a)}	43,40 ^b
5	5,05	174,18	24,83 ^a	12,20 ^{b(a)}	1,49 ^{b(b)}
6	7,88	637,48	27,06 ^a	13,16 ^b	2,02 ^c
7	3,43	166,44	10,40 ^a	4,03 ^b	1,17 ^c
8	64,24	14654,69	163,72 ^a	91,04 ^b	16,98 ^c
9	16,56	4890,96	59,31 ^{a(a)}	48,38 ^{a(a)}	14,75 ^b
13	40,00	16733,77	86,26 ^a	36,50 ^{b(b)}	5,09 ^{b(b)}
14	13,13	794,05	15,60	11,03	8,91
15	9,90	647,97	22,39	12,52	11,25

Na Tabela 4.2 encontram-se os resultados relativos à massa de salpicos colhidos em cada chuvada durante o período de ensaio. No total, a mobilização tradicional deu origem a aproximadamente 22,0 ton/ha, a mobilização reduzida 14,9 e o sistema de sementeira directa 2,3. Estes resultados, expressos em unidade de massa por unidade de área, podem subestimar a quantidade de salpicos. Poesen e Torri (1988) estudaram o efeito do diâmetro dos funis na massa de salpicos colhido por unidade de superfície e estabeleceram uma relação, para as suas condições edafo-climáticas, entre a real massa de sedimentos destacados por unidade de área (RMSA), e a massa de sedimentos destacados por unidade de área do funil (MSA), que é função do diâmetro ($RMSA=MSA \times e^{0,054 D}$, em que D é o diâmetro). Se colocarmos a hipótese da validade

desta expressão para as nossas condições experimentais, a massa de salpicos será da ordem das 64 ton/ha com a mobilização tradicional, 44 com a mobilização reduzida, e 7 com a sementeira directa.

Se analisarmos os resultados de cada chuvada individualmente, observamos que o solo em sistema de mobilização tradicional apresentou sempre uma clara tendência para gerar uma maior massa de salpicos, seguido do solo em mobilização reduzida, e com valores muito menores o solo em sementeira directa. No entanto, a observação das percentagens de salpicos, em relação aos salpicos gerados em mobilização tradicional, mostra que as diferenças entre sistemas de mobilização estão longe de ser uma constante (Figura 4.1).

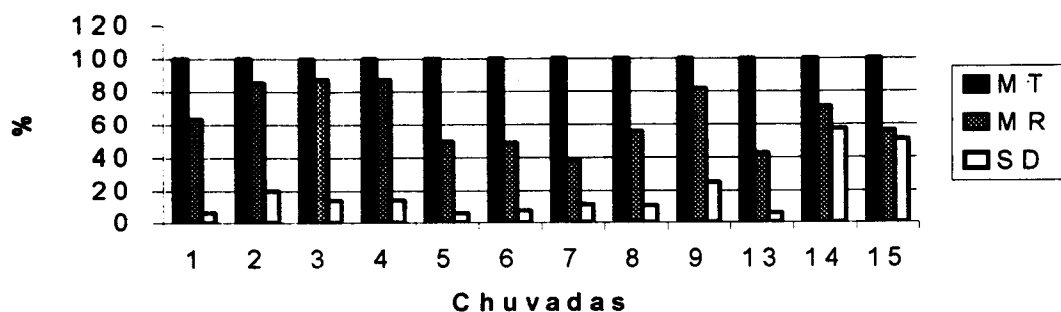


Figura 4.1 Salpicos, em percentagem da quantidade observada em mobilização tradicional (MT- mobilização tradicional; MR- mobilização reduzida; SD- sementeira directa).

Para a 1ª chuvada a massa de salpicos gerada em mobilização reduzida foi, em termos médios, de 63% da registada em mobilização tradicional, enquanto que para a 2ª, 3ª e 4ª chuvadas foi de aproximadamente 85%.

Estes resultados, quando analisados conjuntamente com os dados referentes ao grau de cobertura do solo (Tabela 4.3), permitem-nos observar que as diferenças na massa de

salpicos entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida para as chuvadas 2, 3 e 4 podem ser subscritas à diferença de grau de cobertura, admitindo que as partículas destacadas da superfície dos resíduos tem a mesma ordem de grandeza da massa de partículas destacadas que os resíduos interceptam, o mesmo não sucedendo para a chuvada 1.

Tabela 4.3 Massa de resíduos à superfície do solo (g m^{-2}) e grau de cobertura.

	MT	MR	SD
Massa (g m^{-2})	4,47	27,70	252,43
Taxa de Cobertura (%)	3,5	16,1	84,9

Durante a 1ª chuvada as superfícies mobilizadas sofreram uma grande transformação, passando de uma superfície relativamente grosseira, com grande rugosidade, composta por pequenos torrões, e agregados soltos, para uma superfície relativamente suave com uma crosta bem desenvolvida. Aparentemente, a oposição ao destacamento das partículas pelo solo em mobilização tradicional foi menor que para o solo em mobilização reduzida para esta 1ª chuvada, sendo função do grau de cobertura para as chuvadas 2,3 e 4. Assim, uma vez formada a crosta, o destacamento das partículas de solo será função das características da crosta, principalmente da sua estabilidade durante a secagem. Em chuvadas posteriores a massa de partículas destacadas volta a ser muito mais baixa com o sistema de mobilização reduzida. Esta ideia é reforçada pelos resultados das chuvadas 8 e 9: só a seguir a uma chuvada com uma altura de água relativamente elevada, chuvada 8, a diferença entre os sistemas de mobilização diminuí, chuvada 9.

Aceita-se que a cobertura do solo proporcionada pelos resíduos tenha efeito sobre a massa de partículas destacadas. A partir dos dados dos salpicos, e para cada chuvada, é possível expressar a energia cinética necessária para destacar 1 g de solo como função linear da taxa de cobertura, como é exemplo a Figura 4.2, referente à 1ª chuvada.

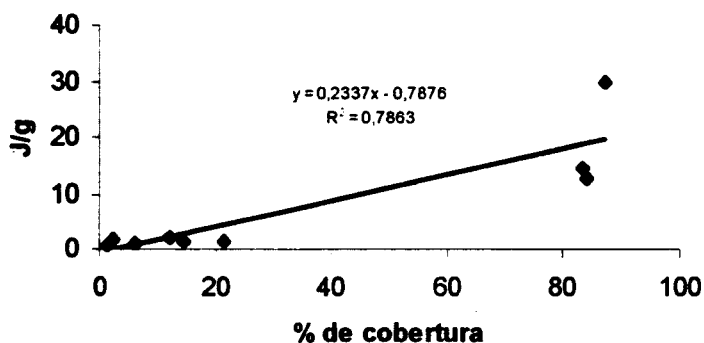


Figura 4.2 Relação entre a energia cinética para destacar 1 g de solo e a taxa de cobertura.

Esta função linear, referente à 1ª chuvada, tem um coeficiente de determinação $r^2=0,79$, enquanto que para as chuvadas 2, 3 e 4, o coeficiente de determinação é aproximadamente 0,54. Para as 4 chuvadas, o coeficiente de determinação volta a baixar para 0,45. Estes valores do coeficiente de determinação para estas chuvadas e para o seu conjunto, resultam da grande variância registada para o tratamento sementeira directa quanto à massa de salpicos mas também das diferenças de comportamento dos sistemas de mobilização em cada chuvada. Assim, não podemos isolar o efeito da cobertura oferecida pelos resíduos de outras variáveis do solo como o teor de humidade, rugosidade da superfície, etc., porque estas variáveis não foram medidas neste trabalho, mas podemos afirmar com alguma segurança que, em alguns eventos, outros factores para além da taxa de cobertura contribuíram para as diferenças registadas entre os sistemas de mobilização.

A mobilização dos solos nos sistemas de mobilização tradicional e reduzida resultou em camadas de semente relativamente grosseiras, compostas na quase totalidade de torrões de dimensões variáveis, agregados inteiros e partidos, e partículas primárias soltas. Por

outro lado, a sementeira directa apresentava uma superfície consolidada, aparentemente sem partículas soltas.

De uma primeira análise dos resultados que constam da Figura 4.3 sobressai a pequena estabilidade que estes agregados têm em água, particularmente evidente quando comparados com os resultados obtidos para um solo Barro preto da região de Beja, com os mesmos tratamentos de mobilização, para o qual a percentagem dos agregados estáveis maiores que 0,25 mm é da ordem dos 65 % (Teixeira, F. e G. Basch, dados não publicados). Estes resultados vêm de encontro ao observado no campo: após a primeira chuvada, era visível uma crosta bem desenvolvida na totalidade da superfície do solo nos sistemas de mobilização tradicional e reduzida. E ajudam a compreender a consolidação da superfície do solo em sementeira directa.

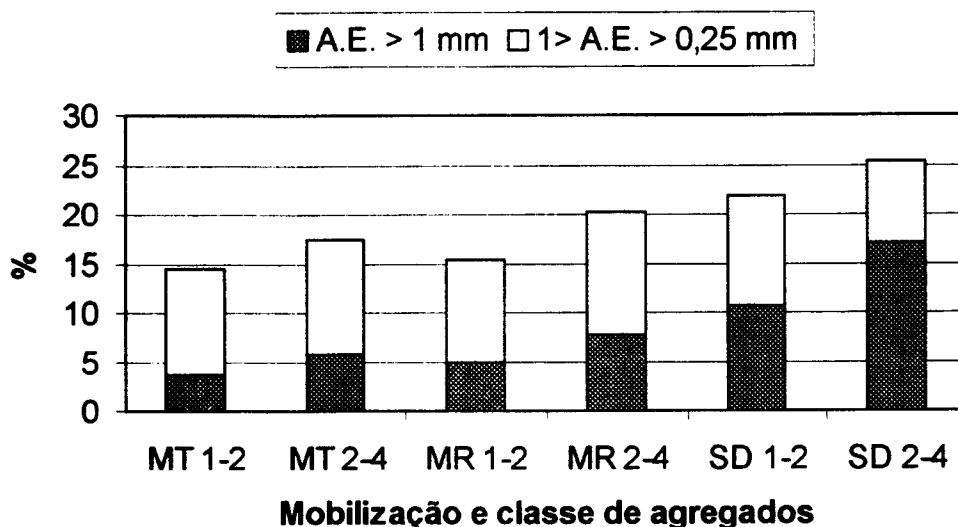


Figura 4.3 Estabilidade dos agregados em água em % (MT, MR e SD são respectivamente mobilização tradicional, reduzida e sementeira directa; 1-2 e 2-4 referem-se à classe de agregados, respectivamente 1 a 2 mm e 2 a 4 mm).

Como consta na Tabela 4.4, não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas de mobilização reduzida e tradicional. No entanto, entre estes sistemas de mobilização, a mobilização reduzida mostrou uma clara tendência para apresentar uma maior estabilidade para a classe de agregados de 2 a 4 mm. Uma observação que pode

ser tirada desta tabela é que, aparentemente, o tratamento mobilização não teve nenhum efeito sobre a percentagem de agregados estáveis em água de dimensão entre 1 e 0,25 mm, principalmente para os agregados da classe 1 a 2 mm. Para os agregados da classe 2 a 4 mm, a menor percentagem de agregados de dimensão entre 1 e 0,25 mm com a sementeira directa pode ficar a dever-se não a menor estabilidade mas à maior estabilidade dos agregados com dimensão superior a 1 mm.

Tabela 4.4 Estabilidade dos agregados em água (%). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para P= 0.01, (P=0.05) e ((P=0.10)), determinadas pelo teste LSD.

Talhão	Agregados c/ 1 a 2 mm		Agregados c/ 2 a 4 mm	
	>1mm	1 a 0,25 mm	>1mm	1 a 0,25 mm
MT	3,68 ^{a((a))}	10,74 ^{a((a))}	5,69 ^{a((a))}	11,75 ^{a((a))}
MR	4,88 ^{a((a))}	10,42 ^{a((a))}	7,78 ^{a((a))}	12,43 ^{a((a))((a))}
SD	10,55 ^b	11,33 ^{a((a))}	16,87 ^b	8,37 ^{a((b))((b))}

A razão para as diferenças na percentagem dos agregados estáveis de dimensão superior a 1 mm pode residir nos diferentes teores de matéria orgânica (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 Resultados das análises químicas efectuadas no solo da superfície (0-0,02 m). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para P< 0.01, (P=0.05) e ((P=0.10)), determinadas pelo teste LSD.

	Tratamentos de mobilização		
	MT	MR	SD
Mat. org. (%)	1,34 ^{a((a))}	1,74 ^{a((a))}	3,47 ^b
pH _{H2O}	6,0 ^{a((a))}	5,99 ^{a((a))}	6,26 ^b
pH _{KCl}	4,42 ^{a((a))}	4,53 ^{a((a))}	5,14 ^b
C. E. (mmhos cm ⁻¹)	0,07	0,09	0,12
P ₂ O ₅ (ppm)	61	115	162
K ₂ O (ppm)	291	241	388
Ca (meq/ 100 g)	5,54 ^{a((a))}	5,02 ^{a((a))}	4,35 ^{b((b))}
Mg (meq/ 100 g)	4,72	5,73	4,48
Na (meq/ 100 g)	0,42	0,47	0,46

Face a estes resultados da estabilidade dos agregados em água, as diferenças entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida não explica a enorme diferença na massa de salpicos entre estes sistemas de mobilização para a 1ª chuvada. Se defendermos que a diferença na estabilidade dos agregados está na origem das diferenças na massa de salpicos entre estes sistemas de mobilização para a 1ª chuvada, e defendemos, baseados na hipótese que os agregados destes sistemas terão para a energia cinética acumulada da

água aplicada, chuva ou rega por aspersão, valores diferentes antes de perderem a sua coerência, então, a questão que se põe é da validade do método utilizado para identificar diferenças na estabilidade dos agregados entre sistemas de mobilização.

Diferenças entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida na resistência do solo ao cisalhamento poderiam explicar as diferenças entre estes sistemas de mobilização quanto à massa de salpicos. No entanto, os valores da densidade aparente do solo da superfície, Tabela 4.6, mostram que não existem diferenças significativas entre estes sistemas, sendo as diferenças altamente significativas entre estes sistemas e a sementeira directa. No que concerne à evolução da densidade aparente com o tempo, e dentro de cada tratamento de mobilização, as únicas diferenças significativas encontradas foram entre a 1ª e a 3ª data para a sementeira directa, e a 2ª e 3ª data para a mobilização tradicional, para $P=0,10$.

Tabela 4.6 Densidade aparente do solo da superfície (0,01-0,04 m), em diferentes datas. Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P < 0,01$, ($P=0,05$) e ($P=0,10$). (°) Leitura por TDR; as restantes medidas de humidade foram realizadas por método gravimétrico e expressas em % do volume (v/v).

Data	13/1/1999			22/3/1999			5/7/1999		
	MT	MR	SD	MT	MR	SD	MT	MR	SD
Dap	1,43 ^{ab(a)}	1,45 ^{ab(a)}	1,66 ^b	1,40 ^{ab(a)}	1,40 ^{ab(a)}	1,62 ^b	1,46 ^{ax(a)}	1,41 ^{ax(a)}	1,59 ^{bx(b)}
T.H.(%)	15	16	24	18	19	24	28	25	24

A resistência à penetração foi medida e, reflexo da estreita relação com a densidade aparente, não foram encontradas diferenças entre os sistemas de mobilização reduzida e tradicional, sendo as diferenças altamente significativas entre estes sistemas e a sementeira directa (Tabela 4.7). Não foram encontradas diferenças significativas entre as datas.

Tabela 4.7 Resistência à penetração do solo da superfície (0-0,04 m), em diferentes datas. Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P < 0,01$. As leituras de humidade foram realizadas por método gravimétrico e expressas em % do volume (v/v).

Data	3/2/1999			22/3/1999		
	MT	MR	SD	MT	MR	SD
Resistência (M Pa)	0,40 ^a	0,39 ^a	1,59 ^b	0,25 ^a	0,25 ^a	1,56 ^b
T.H.(%)	23	23	26	18	19	24

O facto de não terem sido detectadas diferenças de resistência à penetração entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida, com o penetrómetro utilizado, não significa que não existam diferenças entre estes sistemas. Nearing e West (1988) estudaram diferentes instrumentos de medição da resistência do solo ao cisalhamento e observaram resultados muito diferentes entre os instrumentos testados.

No que concerne a granulometria das partículas que constituem os salpicos (Tabela 4.8), e com excepção para os salpicos do tratamento sementeira directa que não foram analisados por a massa não ser suficiente, uma primeira observação é o relativo enriquecimento dos salpicos em partículas com diâmetro superior a 250 µm, 28 a 38 % da massa total dos salpicos, em relação ao solo da superfície que apresenta aproximadamente 14,5 % de partículas de diâmetro inferior a 2000 µm¹ mas superior a 250 µm.

Tabela 4.8 Dados relativos à granulometria dos salpicos para as primeiras 4 chuvadas. A granulometria do solo da superfície está corrigida de partículas com diâmetro superior a 2000 µm. Não foi realizado a granulometria dos sedimentos para a sementeira directa devido à pequena massa disponível. (> 250 µm significa partículas com diâmetro superior a 250 µm mas inferior a 355 µm, etc.)

Evento		Partículas (%) superiores a:					
		0 a 250 µm	>250 µm	>355 µm	>500 µm	>710 µm	>1000 µm
1	MT	69,8	2,8	3,3	6,5	6,2	11,4
	MR	73,9	2,7	3,2	5,9	5,0	9,3
2	MT	62,7	4,8	5,9	7,7	7,4	11,6
	MR	61,7	4,5	6,9	8,6	7,3	11,0
3	MT	67,9	6,8	6,7	8,4	5,9	4,4
	MR	68,3	6,6	6,3	9,1	5,5	4,2
4	MT	69,3	5,3	5,1	7,6	6,3	6,5
	MR	67,0	5,2	4,9	8,0	6,4	8,5
Superfície	MT	85,9	1,5	2,0	2,9	2,7	5,0
	MR	84,9	1,8	1,9	3,4	2,7	5,3

¹ A utilização deste limite de 2000 µm assentou no facto de a massa de partículas destacadas com diâmetro superior não ter expressão.

Entre sistemas de mobilização, embora num ou outro caso se pudesse identificar uma tendência, os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, mesmo para $P=0,10$.

O enriquecimento em partículas de dimensão superior a $250\ \mu\text{m}$ é inesperado. Uma primeira explicação para este fenómeno pode residir, durante a consolidação da camada superficial na 1ª chuvada, numa superfície com uma maior percentagem destas partículas com diâmetro superior a $250\ \mu\text{m}$ soltas. Também, devido às forças de coesão e adesão que se formam entre as partículas mais finas, principalmente devido aos colóides, e à elevada consolidação a que são sujeitas pelo impacto das gotas de água, a energia cinética das gotas de água necessária para destacar estas partículas será maior. Estas explicações adiantadas, embora não tenham suporte experimental, são corroboradas pelas imagens colhidas durante o ensaio (Figura 4.4).

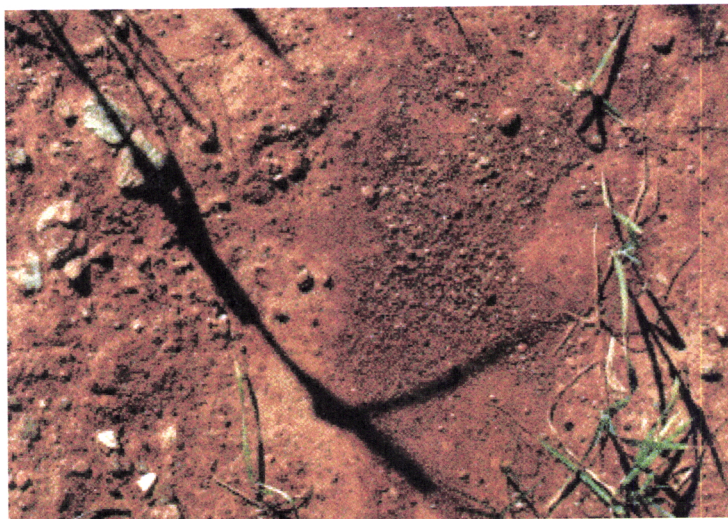


Figura 4.4 Imagem que mostra partículas de grandes dimensões soltas, à superfície do solo.

As características da precipitação, intensidade e energia cinética, jogam um papel importante nos processos de erosão. No entanto, o uso de um índice de erosividade como o EI30 não parece colher, para as nossas condições experimentais, bons resultados em termos de previsão do destacamento de partículas, especialmente para as chuvadas de baixa intensidade (Tabela 4.2).

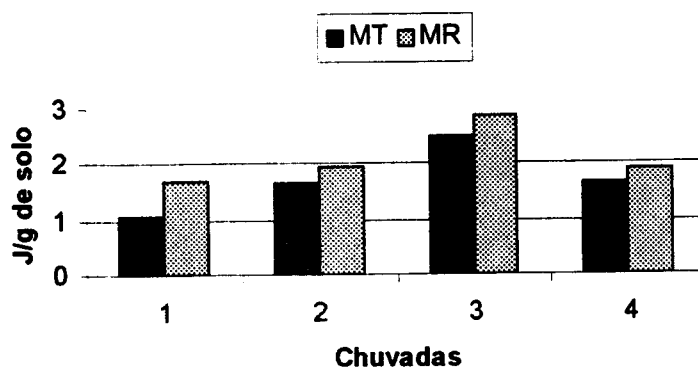


Figura 4.5 Quantidade de energia necessária para destacar 1 g de solo, em função das chuvadas ($J g^{-1}$). Os resultados da sementeira directa não são apresentados para permitir uma maior clareza na exposição.

Como pode ser observado na Figura 4.5, a energia cinética total parece ser muito mais adequado na previsão da massa total de material destacado durante uma chuvada. Estes resultados mostram que a massa total de partículas destacadas durante uma chuvada, nas nossas condições experimentais, e dentro dos limites observados, é em grande medida independente da intensidade da precipitação e das condições de teor de humidade e estrutura da superfície do solo. Isto permite-nos supor que, para este solo, com a obtenção de alguns valores extremos e o conhecimento da energia cinética acumulada necessária para a consolidação da superfície (formação da crosta), poder-se-ia estabelecer uma função simples entre a energia cinética de uma chuvada e a massa de partículas destacadas por unidade de área. Para isso, ter-se-ia que ultrapassar alguns constrangimentos resultantes da metodologia empregue neste estudo, como o carácter

aproximado dos valores de energia cinética calculados. A utilização de outras equações para o cálculo da energia cinética das chuvadas, desenvolvidas por outros autores, e.g. Zanchi e Torri, apresentados em Morgan (1996), a partir de dados da precipitação colhidos em outras regiões do globo, não colhe resultados muito diferentes daqueles apresentados nesta tese, grosso modo +/- 10%. No entanto, esta uniformidade entre as várias equações, no que concerne a chuvadas de baixa intensidade, não é garante da sua validade para as nossas condições climáticas, acrescido do facto de, para chuvadas de grande intensidade, colherem resultados muito distintos entre elas.

Em sùmula, para as diferenças registadas entre os sistemas de mobilização no que concerne o destacamento de partículas, é reconhecido o efeito da cobertura do solo pelos resíduos. Entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida foi possível observar que as diferenças na massa de salpicos vão para além da diferença de cobertura proporcionado pelos resíduos, i.e. outros factores contribuíram para as diferenças registadas. Estes factores são, muito possivelmente, uma maior estabilidade dos agregados e da crosta após secagem com a mobilização reduzida, muito embora a metodologia empregue na avaliação da estabilidade dos agregados em água não tenha permitido quantificar as diferenças. A uniformidade em termos da compactação da camada superficial, densidade aparente e resistência do solo à penetração, e a própria evolução da percentagem relativa da massa de material destacado em cada evento, corroboram a tese de uma maior estabilidade dos agregados e crosta após secagem do solo em sistema de mobilização reduzida em comparação com o tradicional.

O enriquecimento dos salpicos com partículas de dimensão superior a 250 μm em relação ao solo superficial é inesperado e deverá ser tomado em consideração em trabalhos futuros.

A energia cinética total mostrou ser um melhor indicador da massa de salpicos total gerada numa chuvada do que o EI30.

4.3- escoamento superficial e sedimentos

Das 15 chuvadas ocorridas apenas 7 produziram escoamento superficial (Tabela 4.9).

Uma razão para as relativamente baixas percentagens de escoamento superficial é devido, certamente, à pequena intensidade das chuvadas ocorridas (Tabelas 4.1 e 4.9).

Tabela 4.9 Dados relativos ao escoamento superficial produzido pelas chuvadas (mm).

Evento	Altura (mm)	Int. máx. (mm/h)	Escoamento superficial					
			MT		MR		SD	
			mm	% da chuva	mm	% da chuva	mm	% da chuva
1	62,62	37,57	4,00	6,39	4,92	7,85	7,72	12,32
2	20,00	3,64	1,47	7,33	1,5	7,50	1,47	7,33
3	10,50	8,48	0,38	3,65	0,6	5,71	0,37	3,49
4	29,49	13,33	2,90	9,83	3,38	11,44	2,73	9,24
8	64,24	25,45	3,60	5,60	2,75	4,28	4,93	7,68
9	16,56	18,18	0,82	4,93	0,58	3,52	0,56	3,37
13	40,00	33,94	1,86	4,65	1,02	2,55	1,57	3,92

Os volumes de escoamento superficial não foram afectados pelos tratamentos de mobilização a um nível estatisticamente significativo. No cômputo geral os valores de escoamento superficial foram de aproximadamente 8% da precipitação com o sistema de sementeira directa, e 6% com os outros sistemas. No entanto, se atendermos aos resultados da 1ª chuvada, podemos observar que o volume de escoamento superficial para os talhões em sementeira directa foi, valores médios, de 1,93 vezes o registado para a mobilização tradicional e 1,57 vezes o da mobilização reduzida. Esta tendência para um maior volume de escoamento superficial com a sementeira directa, embora se tenha verificado novamente na chuvada 8, só foi consistente na primeira chuvada ($P=0,18$). Uma explicação para este facto pode residir na formação de crosta nas superfícies dos

solos dos tratamentos de mobilização tradicional e reduzida, durante a 1ª chuvada, com a redução da infiltrabilidade.

Os testes de infiltração, Figura 4.6, deram resultados muito diferentes do balanço escoamento/infiltração dos talhões de erosão (Tabela 4.9). Uma primeira explicação residirá no processo modelado com a metodologia empregue (método do duplo anel, infiltração com carga constante), que é distinto do processo de infiltração que ocorre com chuva ou rega por aspersão no campo, acrescido da grande perturbação da superfície do solo que o método implica, i.e. as crostas ficam profundamente fendilhadas. Assim, estes testes revelam mais a capacidade de transmissão de água dos primeiros centímetros de profundidade do solo, não contando com o efeito da crosta. Esta asserção é corroborada pelos resultados dos testes de condutividade hidráulica saturada de campo, Figura 4.7, e pela distribuição da porosidade na camada de solo superficial (Tabela 4.10).

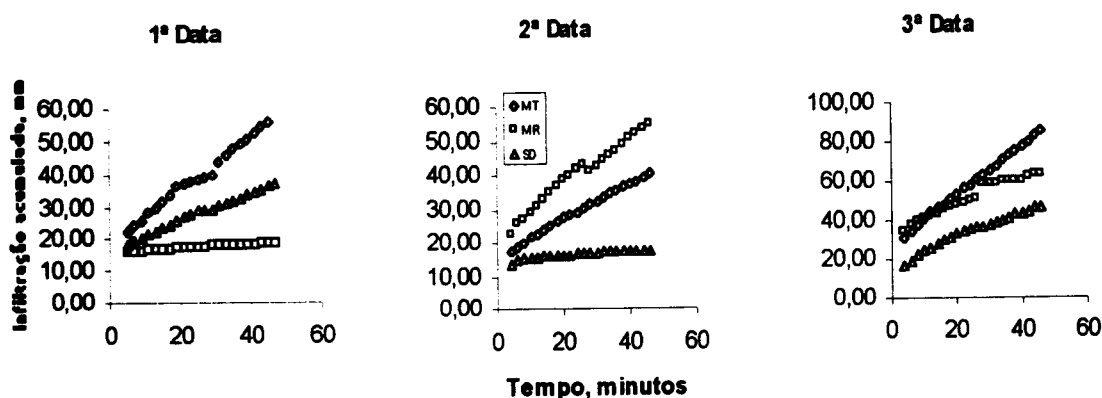


Figura 4.6 Resultados dos testes de infiltração realizados a 6 de Janeiro, 8 de Abril e 23 de Junho de 1999.

Com efeito, da observação da Tabela 4.10 retiramos que a muito maior porosidade que drena facilmente ($>50 \mu\text{m}$) da camada superficial com os sistemas de mobilização tradicional e reduzida deveria conduzir sempre a uma maior taxa de infiltração com

estes sistemas, mas como pudemos observar esta só se verificou na 1ª chuvada, devido à formação de crosta.

Tabela 4.10 Porosidade do solo da superfície (0,01-0,04 m), em diferentes datas. Os valores estão expressos em % do volume (v/v). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para P=0,01, (P=0,05) e ((P=0,10)), dentro de cada data e classe de porosidade.

Data	13/1/1999			22/3/1999			5/7/1999		
	MT	MR	SD	MT	MR	SD	MT	MR	SD
>300 µm	3,0 ^{a(a)}	2,6 ^(a)	1,3 ^b	3,5 ^(a)	4,1 ^{(a)(a)}	2,7 ^(b)	2,9 ^(a)	4,2 ^(a)	3,5 ^(a)
300 a 50 µm	10,1 ^a	7,5 ^b	4,5 ^c	13,6 ^{a(a)}	13 ^{a(a)}	5,9 ^b	11,4 ^{a(a)}	11,3 ^{a(a)}	7,2 ^b
50 a 10 µm	6,2 ^(b)	6,9 ^(a)	5,6 ^(c)	8,5 ^{a(a)}	7,8 ^{a(a)}	6,5 ^b	5,3 ^a	5,1 ^(a)	4,4 ^{b(b)}
10 a 0,2 µm	8,8 ^{a(a)}	10 ^{a(a)}	5,9 ^b	5,8 ^(a)	5,5	4,2 ^(b)	5,3 ^(a)	5,3 ^(a)	5,0 ^(a)
total	48,5 ^{a(a)}	47,9 ^{a(a)}	43 ^b	54,5 ^{a(a)}	53,5 ^{a(a)}	46,2 ^b	50,4 ^(a)	50,6 ^(a)	47,2 ^(b)

Ainda da Tabela 4.10 podemos observar que a porosidade total do solo da superfície em sementeira directa aumenta durante o ciclo da cultura, resultando essencialmente do aumento da percentagem de poros com dimensão superior a 50 µm. Este aumento é significativo, da data 1 para a 2, ao nível P=0,01. Para os sistemas de mobilização tradicional e reduzida, há um aumento da porosidade total a meio do ciclo, com o aumento da porosidade de diâmetro superior a 10 µm, e perda de porosidade no fim do ciclo, com realce para as perdas para os diâmetros inferiores a 50 µm. As diferenças da data 1 para a 2 e da 2 para a 3 foram significativas para a mobilização tradicional, ao nível P=0,01, e significativas para a mobilização reduzida, aos níveis P=0,01 e P=0,05 respectivamente.

Em termos da condutividade hidráulica saturada de campo, Figura 4.7, com excepção da 2ª data, a mobilização tradicional sempre apresentou valores muito superiores aos valores dos outros sistemas. Na 1ª data, as diferenças entre tratamentos só foram significativas entre a mobilização tradicional e a reduzida, ao nível P=0,05. Na 2ª data não houve diferenças significativas. Na 3ª data as diferenças entre o sistema de mobilização tradicional e os outros 2 sistemas foram altamente significativas (P=0,01).

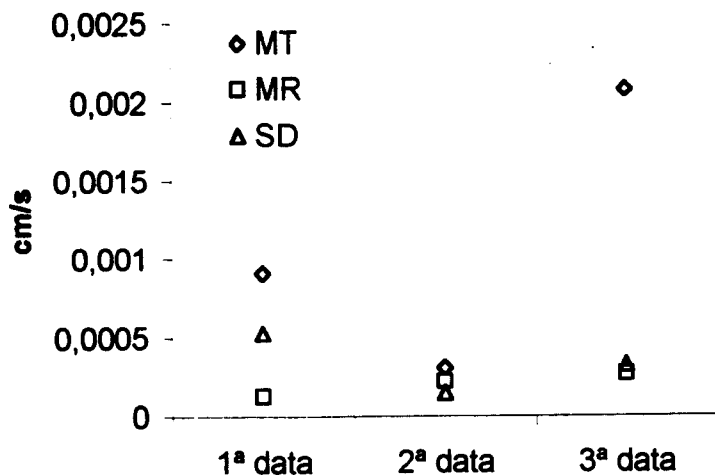


Figura 4.7 Resultados das medições da condutividade hidráulica saturada de campo, pelo método do permeâmetro de Guelph, a 0.2 m de profundidade, realizados a 21 de Dezembro de 1998, 7 de Abril e 22 de Junho de 1999.

Uma razão para a baixa condutividade hidráulica da mobilização reduzida na 1ª data pode residir no facto de, para a profundidade considerada, a mobilização do solo não conduzir a uma fragmentação comparável à da mobilização tradicional, e à destruição da rede de macroporos quando comparado com a sementeira directa. Na 3ª data, embora praticamente não haja diferenças entre os sistemas de mobilização no que respeita à densidade aparente e distribuição do tamanho dos poros, Tabela 4.11 e 4.12, a condutividade hidráulica com a mobilização tradicional é muito maior, provavelmente devido a maior continuidade dos poros a essa profundidade.

Tabela 4.11 Densidade aparente solo da camada mobilizada (0,10-0,15 m). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P < 0.01$, $(P=0.05)$ e $(P=0.10)$. As medidas de humidade foram realizadas por método gravimétrico e expressas em % do volume (v/v).

	5/7/1999		
	MT	MR	SD
Dap	1,52 ^(a)	1,53 ^(a)	1,55 ^(a)
T.H.(%)	19	28	19

Tabela 4.12 Porosidade do solo da camada mobilizada (0,10-0,15 m). Os valores estão expressos em % do volume (v/v). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para P=0,01, (P=0,05) e ((P=0,10)).

	5/7/1999		
	MT	MR	SD
>300 μm	2,3 ^(a)	2,4 ^(a)	2,5 ^(a)
300 a 50 μm	10,1 ^(a)	9,1 ^(a)	9,6 ^(a)
50 a 10 μm	4,2 ^{a(a)}	4,5 ^{a(a)}	5,7 ^b
10 a 0,2 μm	5,3 ^(a)	5,3 ^(a)	5,0 ^(a)
total	47,8 ^(a)	46,0 ^(a)	48,8 ^(b)

A análise do efeito dos tratamentos de mobilização no perfil de resistência do solo à penetração não acrescenta muito à discussão (Figura 4.8). Se tomarmos em atenção a forma das curvas, vemos a elevada consolidação do solo da superfície em sementeira directa, com valores próximos de 1,5 MPa, que decrescem para valores da ordem de 1 MPa aos 5 cm. Esta consolidação da superfície não é visível com os outros sistemas de mobilização.

Os efeitos da mobilização na diminuição da resistência à penetração, aparentemente, vão para além da profundidade do perfil mobilizado. Uma outra observação é a aparente evolução convergente dos perfis dos sistemas de mobilização reduzida e tradicional ao longo do ciclo. No entanto, estes dados não estão corrigidos do acréscimo de volume do solo induzido pela mobilização pelo que não se pode tirar nenhuma conclusão.

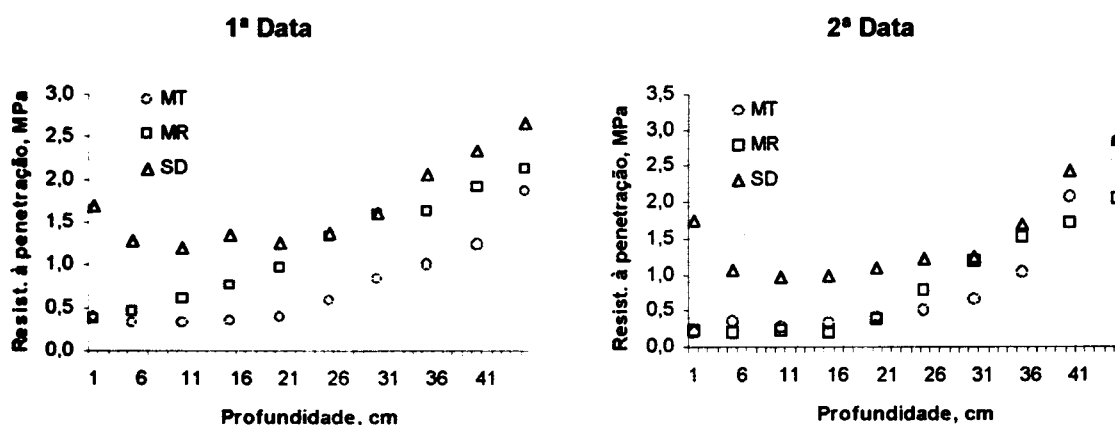


Figura 4.8 Resistência à penetração (MPa) nos primeiros 0,45 m de profundidade, a 2 de Fevereiro e 22 de Março de 1999.

A análise do efeito dos sistemas de mobilização na evolução do perfil hídrico do solo, de que é exemplo os que constam da Figura 4.9, mostra um maior teor de humidade com os tratamentos sementeira directa e mobilização reduzida, principalmente na camada de solo entre 30 e 50 cm de profundidade. Comportamento similar foi encontrado no solo da camada superficial (0 a 10 cm), com os sistemas de mobilização reduzida e sementeira directa a apresentarem valores de humidade ligeiramente superiores aos da mobilização tradicional.

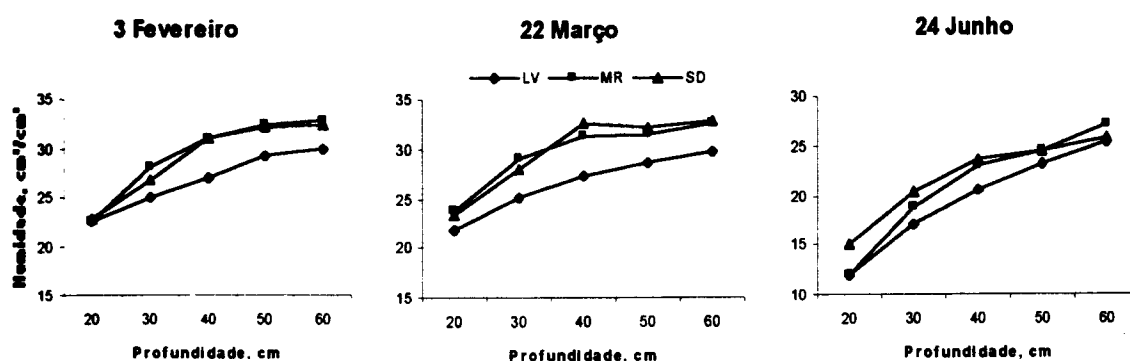


Figura 4.9 Perfil hídrico do solo em 3 datas diferentes.

Em conclusão, e face ao que foi exposto, as diferenças consistentes entre os sistemas de mobilização quanto à infiltrabilidade dos solos para a 1ª chuvada ficaram a dever-se à maior porosidade dos solos mobilizados. Nas chuvadas subsequentes, a formação de crosta nas superfícies mobilizadas durante a 1ª chuvada diminuiu a infiltrabilidade destes solos, que passaram a apresentar uma infiltrabilidade equivalente ao solo em sistema de sementeira directa. A pequena infiltrabilidade dos solos em sementeira directa fica a dever-se à elevada consolidação da camada superficial, que se traduz por uma elevada densidade aparente, e pequena percentagem de poros que drenam facilmente.

No que concerne à massa de partículas destacadas e transportadas em suspensão na água do escoamento superficial, a análise pode ser dividida em duas vertentes: a massa de partículas transportadas por unidade de área (g m^{-2}), e a concentração das partículas em suspensão, i.e. a massa de partículas por unidade de volume do escoamento superficial (Tabela 4.13 e 4.14).

Tabela 4.13 Dados relativos à massa de sedimentos transportados em suspensão na água do escoamento superficial, em unidades de massa por unidade de área (g m^{-2}). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P=0.05$ ($P=0.10$).

Evento	Altura (mm)	EI30 $\text{J mm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	Sedimentos		
			MT g m^{-2}	MR g m^{-2}	SD g m^{-2}
1	62,62	36115,48	8,17	8,36	7,35
2	20,00	912,15	0,80	0,45	0,42
3	10,50	983,25	0,40	0,31	0,11
4	29,49	4324,04	8,00	8,03	1,82
8	64,24	14654,69	5,65	1,93	1,69
9	16,56	4890,96	1,53	0,47	0,26
13	40,00	16733,77	9,22	3,67	1,78

Uma primeira observação tirada da Tabela 4.13 é que as diferenças registadas entre os tratamentos de mobilização, no que respeita à massa de material transportado em suspensão na água que constituiu escoamento superficial, não foram estatisticamente significativas. Isto fica-se a dever, principalmente, à grande variância nos valores de escoamento superficial encontrados para cada tratamento.

No cômputo das 7 chuvadas que produziram escoamento superficial, a mobilização reduzida deu lugar a uma massa de sedimentos de apenas 69 % da registada em mobilização tradicional, e a sementeira directa 40 %. Individualmente para cada chuvada, em média, a massa de partículas transportadas foi sempre inferior para os talhões em sementeira directa. À excepção dos eventos 1 e 4, a mobilização reduzida deu lugar a uma menor massa de sedimentos transportados que a mobilização tradicional. A razão de na 1ª chuvada a sementeira directa ter produzido em média uma

massa de sedimentos equiparável à dos outros sistemas de mobilização prende-se ao facto do volume de escoamento superficial ter sido muito superior ao dos outros sistemas de mobilização, apesar de em termos de concentração (g l^{-1}) os valores da sementeira directa terem sido menores (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 Dados relativos à massa de sedimentos transportados em suspensão na água do escoamento superficial, em termos de concentração (g l^{-1}). Letras diferentes significam diferenças estatísticas para $P=0.05$ ($P=0.10$).

Evento	Altura (mm)	EI30 $\text{J mm m}^{-2} \text{h}^{-1}$	Sedimentos		
			MT g l^{-1}	MR g l^{-1}	SD g l^{-1}
1	62,62	36115,48	2,04 ^{a(a)}	1,70 ^{a(a)}	0,95 ^{a(a)}
2	20,00	912,15	0,54 ^a	0,30 ^{b(a)}	0,28 ^{b(a)}
3	10,50	983,25	1,05 ^{a(a)}	0,52 ^{a(a)}	0,31 ^{a(a)}
4	29,49	4324,04	2,76 ^{a(a)}	2,38 ^{a(a)}	0,67 ^b
8	64,24	14654,69	1,57 ^{a(a)}	0,70 ^{a(a)}	0,34 ^{a(a)}
9	16,56	4890,96	1,88 ^{a(a)}	0,80 ^{a(a)}	0,46 ^{a(a)}
13	40,00	16733,77	4,95 ^{a(a)}	3,60 ^{a(a)}	1,14 ^{a(a)}

Da Tabela 4.14 temos que a mobilização tradicional deu sempre origem a uma maior concentração de sedimentos no escoamento superficial, seguido da mobilização reduzida com 43 a 86 % da concentração registada para a mobilização tradicional, e a sementeira directa com 22 a 52 %. Também em termos de concentração, e à excepção dos eventos 2 e 4, as diferenças entre os tratamentos de mobilização não foram significativas devido à grande variância em cada tratamento. Para os primeiros 4 eventos, antes da emergência da cultura, as diferenças entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida, em termos da concentração de sedimentos, mostraram diferentes padrões dependendo aparentemente da erosividade da chuvada (Tabela 4.14): para uma erosividade da chuva relativamente elevada, eventos 1 e 4, as diferenças entre os tratamentos de mobilização foram relativamente pequenas; inversamente, para chuvadas de pequena erosividade, eventos 2 e 3, as diferenças foram maiores. Para as chuvadas subsequentes, com a canopia a fornecer já uma protecção razoável da superfície do solo, as diferenças permaneceram elevadas apesar da relativamente elevada erosividade das chuvadas.



Ao compararmos as chuvadas 2, 3 e 9, em termos de destacamento de partículas, pouca diferença é encontrada entre os sistemas de mobilização reduzida e tradicional (Tabela 4.2). No entanto, tanto em termos da concentração como da massa total de sedimentos no escoamento superficial, as diferenças são consideráveis para essas chuvadas (Tabelas 4.13 e 4.14). Uma explicação para este comportamento pode residir num eventual tamanho diferente das partículas agregadas destacadas com a mobilização tradicional e reduzida, o que originaria diferenças na massa de partículas transportadas em suspensão.

Para fecho da discussão, se tivermos em conta a importante massa de salpicos gerada, principalmente para as superfícies mobilizadas, podemos concluir que os valores de erosão relativamente baixos estão intimamente ligados à falta de capacidade de transporte do escoamento superficial, i.e. as chuvadas foram relativamente suaves, de baixa intensidade, dando origem a um volume de escoamento superficial relativamente baixo. A massa de salpicos registada sugere que para condições de declive maiores, o que resulta em menor armazenamento superficial da água mas principalmente numa maior velocidade de escoamento superficial, a massa de partículas de solo transportadas em suspensão poderão ser muito importantes.

5- CONCLUSÃO

De um ponto de vista pragmático, os resultados deste estudo mostram uma clara relação entre o destacamento de partículas de solo e o grau de cobertura proporcionado pelos resíduos e/ou plantas em desenvolvimento, que se traduz numa diminuição da massa de partículas destacadas com o aumento do grau de cobertura. Também, as diferenças entre os sistemas de mobilização tradicional e reduzida vão para além da simples diferença da percentagem de cobertura proporcionada pelos resíduos. Entre estes sistemas de mobilização, as diferenças na massa de salpicos foram atribuídas principalmente a diferente estabilidade dos agregados da superfície, e grau de cobertura pelos resíduos, para a 1ª chuvada; para as chuvadas 2, 3 e 4, após a formação da crosta, as diferenças foram atribuídas principalmente ao grau de cobertura proporcionado pelos resíduos; e para as chuvadas restantes, à estabilidade da crosta, função do intervalo de tempo entre chuvadas, i.e. da secagem.

O enriquecimento da massa de sedimentos, dos solos mobilizados, em partículas de dimensão superior a 250 μm é inesperado se tivermos em conta os resultados de Poesen (Morgan, 1996) que mostram que as partículas mais susceptíveis ao destacamento são aquelas compreendidas entre 0,063 e 0,250 mm de diâmetro. A importância desta observação reside na capacidade de transporte do escoamento superficial: nas nossas condições, a dimensão das partículas transportadas em suspensão na água do escoamento superficial foi sempre inferior a 250 μm , no entanto, em condições para as quais a capacidade de transporte seja maior estas partículas também serão transportadas.

No que concerne à predição da massa de partículas destacadas em função das características das chuvadas, para as nossas condições experimentais, e dentro dos limites observados, o uso do índice de erosividade EI30 não fornece bons resultados em termos da previsão do destacamento de partículas total numa chuvada em solos mobilizados (sistemas de mobilização tradicional e reduzida). O uso da energia cinética necessária para destacar 1 g de solo deu resultados muito mais constantes, e em grande medida independentes da intensidade máxima da precipitação e das condições de humidade e estrutura da superfície. O significado prático desta observação só poderá ser estabelecido a partir da quantificação das taxas de destacamento, em ensaio controlado, com chuva artificial.

Em termos do volume de escoamento superficial, a grande densidade aparente, que traduz uma situação de elevada compactação da superfície do solo com o tratamento sementeira directa, contribuiu para o maior volume de escoamento superficial durante a 1ª chuvada com este tratamento. Aparentemente, e para as chuvadas seguintes, o desenvolvimento da crosta superficial com os sistemas de mobilização tradicional e reduzida teve um efeito tão importante quanto a camada superficial naturalmente compactada do tratamento sementeira directa na limitação da infiltração. Este maior volume de escoamento superficial durante o 1º evento, com o tratamento sementeira directa, já observado em outros estudos, pode ter consequências negativas em termos ambientais, nomeadamente no que diz respeito ao transporte de produtos fitofarmacêuticos (Teixeira e Basch, 1998).

Quanto ao transporte de sedimentos em suspensão na água que constituiu escoamento superficial, os sistemas de mobilização reduzida e sementeira directa reduziram a massa

total transportada, e a concentração, em relação ao sistema de mobilização tradicional. Estes resultados são atribuídos, em grande medida, às diferenças verificadas no destacamento de partículas entre os sistemas de mobilização. No entanto, outros factores, como a rugosidade da superfície, desempenham um papel na capacidade de transporte do escoamento superficial que tem de ser levado em atenção para uma melhor compreensão do fenómeno.

Reservamos estas palavras finais para sublinhar da importância que se reveste a necessidade de aumentarmos o conhecimento que temos dos processos que ocorrem na fina camada superficial do solo, que estabelece a fronteira entre a atmosfera e a matriz do solo. Vários autores obtiveram expressões que descreveram a massa ou a taxa de destacamento de partículas de solo em função da energia cinética das gotas de água, resistência ao cisalhamento, e da taxa de fragmentação dos agregados (e.g. Nearing e Bradford (1985) e Ekwue e Ohu (1990)). Neste trabalho mostrámos uma relação estreita entre a energia cinética total de uma chuvada e a massa de partículas destacadas, para as 4 primeira chuvadas, antes da emergência da cultura. Parece-nos evidente que a complexidade no processo de destacamento de partículas de solo pelo impacto das gotas de água reside na estabilidade dos agregados e crosta ao impacto das gotas de água, e aos efeitos dos resíduos sobre a infiltração e destacamento. O desenvolvimento de um método simples e rápido, que permita relacionar a energia cinética da água aplicada à estabilidade dos agregados, é fundamental para a compreensão dos processos.

BIBLIOGRAFIA

- Addiscott, T.M. e A.R. Dexter. 1994. Tillage and crop residue management on losses of chemicals from soils. *Soil & Tillage Research* **30**, pp.125-168.
- Al-Durrah, M. e J.M. Bradford. 1981. New methods of studying soil detachment due to waterdrop impact. *Soil Science Society of America Journal* **45**, pp. 949-953.
- Al-Durrah, M. e J.M. Bradford. 1982. Parameters for describing soil detachment due to single waterdrop impact. *Soil Science Society of America Journal* **46**, pp. 836-840.
- Angers, D.A. e G.R. Mehuys. (1993) – “Aggregate stability to water”. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis*. M. R. Carter, Ed.. Canadian Society of Soil Science.
- Auerswald, K., C.K. Mutchler, e K.C. Mcgregor. 1994. The influence of tillage-induced differences in surface moisture content on soil erosion. *Soil & Tillage Research* **32**, pp.41-50.
- Ball, B.C. – “Experience with minimum and zero tillage in Scotland”. In: Proceedings of the EC-Workshop - I - on no-tillage crop production in the West-European Countries, 2, Giessen, 27-28 Junho, 1994, ed. F. Tebrugge, A. Böhrnsen, Wissenschaftlicher Fachverlag.
- Bradford, J.M. e C. Huang. 1994. Interrill soil erosion as affected by tillage and residue cover. *Soil & Tillage Research* **31**, pp.353-361.
- CARDOSO, J. V. J. C.. “Os Solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. I- A Sul do Rio Tejo”. Secretaria de Estado da Agricultura/Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, 1965, Lisboa.
- Carvalho, M. e , G. Basch– “Long term effects of two different soil tillage treatments on a vertisol in Alentejo region of Portugal”. In: Proceedings of the EC-Workshop - II - on no-tillage crop production in the West-European Countries, 2, Silsoe, 15-17 Maio, 1995, ed. F. Tebrugge, A. Böhrnsen, Wissenschaftlicher Fachverlag.
- Chan, K.Y. e D.P.Heenan. 1998. Effect of lime (CaCO₃) application on soil structural stability of a red earth. *Australian Journal of Soil Research* **36**, pp. 73-86.
- Chan, K.Y., W.P. Roberts, e D.P. Heenan. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Australian Journal of Soil Research*, 1992, pp..
- Chorom, M. e P. Rengasamy. Carbonate chemistry, pH, and physical properties of na alkaline sodic soil as affected by various amendements. *Australian Journal of Soil Research*, 1997, pp..
- Ekwue, E.I.. 1990. Organic-matter effects on soil strength properties. *Soil & Tillage Research* **16**, pp.289-297.
- Ekwue, E. I. e J. O. Ohu. 1990. A Model Equation to Describe Soil Detachment by Rainfall. *Soil & Tillage Research* **16**, pp.299-306.

- Eltz, L. F. e L. D. Norton. 1997. Surface Roughness Changes as Affected by Rainfall Erosivity, Tillage, and Canopy Cover. *Soil Science Society of America Journal* **61**, pp. 1746-1755.
- Francis, P. B. e R. M. Cruse. 1983. Soil Water Matric Potential Effects on Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal* **47**, pp. 578-581.
- Ghadiri, H. e C.W. Rose- "Modeling chemical transport in soils: natural and applied contaminants". Florida (EUA), Lewis Publishers, 1992, pp.1-11.
- Gu, B. e H.E. Doner. 1993. Dispersion and aggregation of soils as influenced by organic and inorganic polymers. *Soil Science Society of America Journal* **57**, pp. 709-716.
- Haynes, R.J. e T.L. Knight. 1989. Comparison of soil chemical properties, enzyme activities, levels of biomass N and aggregate stability in the soil profile under conventional and no-tillage in Canterbury, New Zeland. *Soil & Tillage Research* **14**, pp.197-208.
- Horn, R.. 1990. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. *Soil & Tillage Research* **17**, pp.265-289.
- Horn, R., e H. Taubner, M. Wuttke, e T. Baumgartl. 1994. Soil physical properties related to soil structure". *Soil & Tillage Research* **30**, pp.187-216.
- Le Bissonnais, Y. e M. J. Singer. 1992. Crusting, Runoff, and Erosion Response to Soil Water Content and Successive Rainfalls". *Soil Science Society of America Journal* **56**, pp. 1898-1903.
- Levy, G., I. Shainberge, e J. Morin. 1986. Factors Affecting the Stability of Soil Crusts in Subsequent Storms. *Soil Science Society of America Journal* **50**, pp. 196-201.
- Lima, J.M. e S.J. Anderson. 1997. Aggregation and aggregate size effects on extractable iron and aluminum in two Hapludoxs. *Soil Science Society of America Journal* **61**, pp. 965-970.
- Logan, T.J., D.J. Eckert, e D.G. Beak. 1994. Tillage, crop and climatic effects on runoff and tile drainage losses of nitrate and four herbicides. *Soil & Tillage Research* **30**, pp.75-103.
- Mohammed, D. e R. ^a Kohl. 1987. Infiltration Response to Kinetic Energy. *Transactions of the ASAE* **30(1)**, pp. 108-111.
- Morgan, R.P.C.- "Soil Erosion & Conesevation". 2^a ed., 1996, Londres, Inglaterra
- Morin, J. - "Rainfall Analysis". In *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*, ed. by Menachem Agassi, Marcel Dekker, Inc., 1996, Nova Iorque, EUA.
- Myers, J.L. e M.G. Wagger. 1996. Runoff and sediment loss from three tillage systems under simulated rainfall. *Soil & Tillage Research* **39**, pp.115-129.

- Nearing, M. A. e J. M. Bradford. 1985. Single Waterdrop Splash Detachment and Mechanical Properties of Soils. *Soil Science Society of America Journal* **49**, pp. 547-552.
- Nearing, M.A. e L.T. West.. 1988. Soil strength indices as indicators of soil consolidation. *Trans. Am. Soc. of Agricultural Eng.* **31**, pp. 471-476.
- Poesen, J. e D. Torri.– “The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part I: Field measurements. *Catena Supplement* 12, 1988, pp. 113-126.
- Rosewell, C.J. e K. Edwards– “SOILOSS – A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion”. *Soil Conservation Service of New South Wales, Technical Handbook* n° 11, 1988.
- Roth, C.H. e T. Eggert. 1994. Mechanisms of aggregate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils. *Soil & Tillage Research* **32**, pp.253-268.
- Sallaway, M. M., D. Lawson, e D. F. Yule. 1988. Ground Cover during Fallow from Wheat, Sorghum and Sunflower Stubble under Three Tillage Practices in Central Queensland. *Soil & Tillage Research* **12**, pp.347-364.
- Savabi, M.R. e D.E. Stott. 1994. Plant residue impact on rainfall interception”. *Transactions of the ASAE* **37(4)**, pp. 1093-1098.
- Schlichting, E. e Blume H. – “Bodenkundliches praktikum”. Ed Verlag Paul Parey, 1966, Hamburgo, Alemanha.
- Schultz, J.P., A. R. Jarret, e J. R. Hoover. 1985. Detachment and Splash of a Cohesive Soil by Rainfall. *Transactions of the ASAE* **28**, pp. 1878-1884.
- Shainberg, I. e G. J. Levy.– “Infiltration and Seal Formation Processes”. In *Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation*, ed. by Menachem Agassi, Marcel Dekker, Inc., 1996, Nova Iorque, EUA.
- Sturgul, S.J., T.C. Daniel. e D.H. Mueller. 1990. Tillage and canopy cover on interrill erosion from first-year alfafa. *Soil Science Society of America Journal* **54**, pp. 1733-1739.
- Teixeira, F. J. B. e G. Basch. “Effects of the traditional and no-tillage systems upon runoff and herbicide transport”. In *Water and the Environment. Innovation Issues in Irrigation and Drainage* (ed. L. S. Pereira e J. Gowing), E & FN Spon, London, 1998, pp. 27-34.
- Terpstra, R.. 1989. Formation of new aggregates under laboratory-simulated field conditions. *Soil & Tillage Research* **13**., pp.13-21.
- Tisdall, J. M. e J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* **33**, pp. 141-163.

Unger, P. W. e O. R. Jones. 1998. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research* 45,, pp.39-57.