

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROSÃO HÍDRICA APÓS MUDANÇA NO
TIPO DE USO DA TERRA, EM DOIS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E
DOIS TIPOS DE ADUBAÇÃO**

Tatiane Bagatini
Dissertação de Mestrado

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROÇÃO HÍDRICA APÓS MUDANÇA NO
TIPO DE USO DA TERRA, EM DOIS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E
DOIS TIPOS DE ADUBAÇÃO**

Tatiane Bagatini
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
10 de janeiro de 2011

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

B146p Bagatini, Tatiane

Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação / Tatiane Bagatini. — Porto Alegre : T. Bagatini , 2011.

xiii, 73f.; il.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

1. Solo : Erosão Hídrica 2. Preparo do Solo 3. Erosão Hídrica : Sistema de Cultivo I. Título.

CDD: 631.4

TATIANE BAGATINI
Engenheira Agrônoma - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

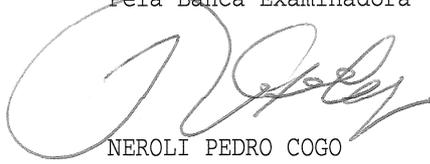
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Faculdade de Agronomia

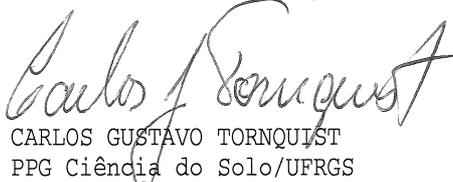
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 10.01.2011
Pela Banca Examinadora



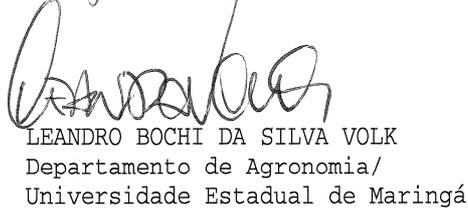
NEROLI PEDRO COGO
Orientador-PPG Ciência do Solo



CARLOS GUSTAVO TORNQUIST
PPG Ciência do Solo/UFRGS



ILDEGARDIS BERTOL
Departamento de Solos e
Recursos Naturais/UDESC



LEANDRO BOCHI DA SILVA VOLK
Departamento de Agronomia/
Universidade Estadual de Maringá

Homologado em: 17.02.2011
Por



FLÁVIO A. O. CAMARGO
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Aos meus pais, Mário e Teresinha;
aos meus irmãos, Cleimar e Fernanda, e.
aos meus *nonnos*, em especial
o *nonno* Guido (*in memoriam*).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Neroli Pedro Cogo, pela orientação, dedicação, incentivo, apoio incondicional e, em especial, amizade e carinho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGCS/FA/UFRGS), pela transmissão de conhecimentos, paciência e disponibilidade a qualquer hora, bem como pela convivência e amizade.

Ao PPGCS e ao Departamento de Solos da FA/UFRGS, pela oportunidade para realização do curso e pelas facilidades concedidas.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de pós-graduação.

À Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em nome do seu diretor, professor Renato Levien, pela infra-estrutura e facilidades concedidas.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa em erosão do solo, que efetivamente participaram na realização deste trabalho, André Júlio do Amaral, Jeane Cruz Portela, Luciléia Gilles, Gustavo Portz, Henrique Thomas Queiroz, Silmara da Luz Correia e Elias Davi Kuck, pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo e laboratório e pela “torcida” para que tudo saísse bem, bem como pelas brincadeiras descontraídas e amizade.

Aos funcionários da EEA/UFRGS, senhores Ozébio, Celso e Paulo, pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo e pela amizade.

Aos meus pais, Mário João Bagatini e Teresinha Bagatini, pelo apoio incondicional. Minha mãe, que me ensinou a enfrentar a vida de cabeça erguida, e meu pai, um exemplo de serenidade e tranquilidade.

Aos meus irmãos, Cleimar e Fernanda, pelas suas existências e importâncias na minha vida, bem como pelo apoio incondicional e irrestrito.

Aos meus *nonnos* maternos, Guido (*in memoriam*) e Maria Veronese, e paternos, David e Maria Bagatini, pela força e pelo carinho.

Ao colega de graduação e de bolsa de iniciação científica, Gustavo Portz, pelo carinho especial e pela compreensão irrestrita.

Aos meus amigos e colegas da Casa do Estudante da Faculdade de Agronomia e Veterinária (CEFAV) da UFRGS, Willian Heintze, Juliana Arnort e Luciano Barros Zini, pela amizade e pelos momentos de descontração.

Aos amigos e colegas do PPGCS/UFRGS, em especial os alocados na Sala de Mecanização Agrícola, Osmar Conte, Jonatan Müller, Michael Mazurana, Diane Alba, Sidinei Leandro Klöckner Stürmer, Francieli Weber e Letícia Sequinatto, por repartirem expectativas, anseios, objetivos e conhecimentos e ensinamentos, bem como por compartilharem dessa oportunidade única e bonita, de convivência mútua, de construção pessoal e profissional, levado a efeito tudo de forma despretensiosa e com muita ternura, muito carinho e muito amor fraternal.

PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROSIÃO HÍDRICA APÓS MUDANÇA NO TIPO DE USO DA TERRA, EM DOIS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E DOIS TIPOS DE ADUBAÇÃO^{1/}

Autor: Tatiane Bagatini
Orientador: Neroli Pedro Cogo

RESUMO

Com o passar do tempo, a substituição da vegetação nativa por plantas cultivadas, se não devidamente planejada e conduzida, resultará em solos com capacidade produtiva diminuída e com propensão à erosão aumentada, prejudicando a produção de alimentos, a conservação do solo e da água e o ambiente como um todo. Com isso em mente, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar a erosão hídrica pluvial do solo em área originalmente de campo nativo, nos seus segundo e terceiro anos de uso com culturas anuais em fileira (respectivamente feijão miúdo - *Vigna unguiculata* - e sorgo - *Sorghum bicolor*), nos métodos de preparo do solo reduzido (escarificação) e sem preparo (semeadura direta) e nos tipos de adubação mineral (NPK) e orgânica (esterco curtido de aves), além de uma condição sem adubação. O estudo foi desenvolvido em campo, na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul (RS), nos verões de 2007/2008 e 2008/2009. Usou-se chuva simulada e um Argissolo Vermelho distrófico típico com textura franco-arenosa na camada superficial e declividade média de 0,13 m m⁻¹. Aplicaram-se duas chuvas em cada ciclo cultural, a primeira logo após a implantação dos tratamentos e semeadura das culturas e a segunda cerca de noventa dias mais tarde (estádio fenológico de enchimento de legumes no caso do feijão miúdo e de maturação no do sorgo). Para isso, utilizou-se o aparelho simulador de chuva de braços rotativos, com as chuvas tendo sido aplicadas na intensidade constante planejada de 64 mm h⁻¹ e com duração de 1,5 h cada uma. Avaliaram-se atributos de solo e planta nas parcelas experimentais e de erosão hídrica no escoamento superficial. Observou-se que a mudança no tipo de uso da terra, no tempo e modo feitos na pesquisa, diminuiu a densidade do solo e aumentou a macroporosidade e a porosidade total, ao mesmo tempo em que, excetuando a condição sem adubação, não causou perdas relevantes de solo e água por erosão hídrica. A mobilização do solo pela escarificação, na maior parte dos casos, favoreceu a infiltração e a retenção superficial da água da chuva e, em decorrência, diminuiu sua perda na forma de enxurrada, ao mesmo tempo em que satisfatoriamente controlou a perda de solo por erosão. A ausência de mobilização do solo na semeadura direta, também na maior parte dos casos, induziu a formação de maior enxurrada, mas em compensação controlou melhor a erosão. Comparadas à condição sem adubação, a adubação mineral e a adubação orgânica ambas contribuíram para reduzir a erosão e a enxurrada nos dois métodos de preparo do solo usados no estudo, com as diferenças entre si tendo sido inconstantes.

^{1/} Dissertação de mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS (87p) – Janeiro, 2011.

SOIL AND WATER LOSSES BY RAINFALL EROSION AFTER CHANGE IN THE TYPE OF LAND USE, IN TWO TILLAGE METHODS AND TWO FERTILIZATION TYPES^{1/}

Author: Tatiane Bagatini
Adviser: Neroli Pedro Cogo

SUMMARY

Over time, the substitution of the native vegetation by cultivated plants, if not properly planned and conducted, will result in soils with reduced productivity capacity and with increased susceptibility to erosion, impairing the food production, the soil and water conservation, and the environment as a whole. With that in mind, this research work was carried out with the objective of evaluating the soil erosion by rainfall in an area originally with native pasture, in its second and third years of use with annual row crops (respectively cowpea - *Vigna unguiculata* - and sorghum - *Sorghum bicolor*), in the reduced (chiseling) and the without (direct seeding) soil tillage methods and in the mineral and the organic fertilization types, besides a condition without fertilization. The study was developed in the field, at the Agriculture Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil, in the summers of 2007/2008 and 2008/2009. Simulated rainfall and an Ultisol with a sandy loam texture in the surface layer and 0.13 m m⁻¹ average slope steepness were used in the study. Two rains were applied in each crop cycle, the first immediately after treatments establishment and crops seeding and the second one about ninety days later (fulfillment of legumes in the case of cowpea and maturation of the sorghum cropstages). To accomplish that, the rotating boom rainfall simulator was used, with the rains having being applied at the designed, constant rainfall intensity of 64.0 mm h⁻¹ and with 1.5 h duration each. Attributes of soil and plants were measured in the experimental plots, and of water erosion in the surface runoff. It was observed that the change in the type of land use, in the time and the way it was done in the research, diminished the soil bulk density and increased both the macroporosity and the total porosity, at the same time that, excluding the condition without fertilization, did not cause relevant soil and water losses by rainfall erosion. The mobilization of the soil by chiseling, in the majority of the cases, favored the infiltration and the retention of the rainfall water in the soil surface and, as consequence, diminished its loss in the form of surface runoff, at the same time that satisfactorily controlled the soil loss by erosion. The absence of soil mobilization in the direct seeding, also in the majority of the cases, induced the formation of greater surface runoff, but in compensation controlled the erosion better. Compared to the condition without fertilization, the mineral and the organic fertilization both contributed for reducing erosion and runoff in the two soil tillage methods used in the study, with the differences between them having being inconstant.

^{1/} Master dissertation in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS (87?p) – Janeiro, 2011.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Considerações básicas sobre o processo de erosão hídrica do solo pela água da chuva e da enxurrada a ela associada	4
2.2. Métodos de preparo do solo versus condições físicas resultantes versus erosão.....	5
2.3. Tipos de adubação versus condições físicas do solo versus erosão.....	8
2.4. Mudança no tipo de uso da terra versus erosão.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Localização, solo, histórico da área experimental e natureza da pesquisa.....	13
3.2. Tratamentos estudados e sua implantação	14
3.3. Unidades experimentais.....	16
3.4. Aparelho simulador de chuva e testes de erosão	17
3.5. Amostragens e determinações	17
3.5.1. No solo da área experimental, antes do início da pesquisa.....	17
3.5.1.1. Caracterização física.....	17
3.5.1.2. Caracterização química	19
3.5.2. No solo das parcelas experimentais, logo após o seu preparo e a semeadura das culturas, antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada	19
3.5.2.1. Cobertura por resíduo cultural	20
3.5.2.2. Rugosidade superficial induzida pelo preparo e consolidação da camada arável do solo	20
3.5.3. No solo das parcelas experimentais, ao redor de noventa dias do preparo do solo e da semeadura das culturas, antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada.....	21
3.5.3.1. Caracterização física do solo	21
3.5.3.2. Caracterização química do solo	21
3.5.3.3. Avaliação de atributos de planta	22
3.5.4. Durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada	23
3.5.4.1. Checagem da intensidade das chuvas	23
3.5.4.2. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas	23
3.5.4.3. Tempo de início da enxurrada	23
3.5.4.4. Altura da lâmina de água da chuva retida e infiltrada na superfície do solo no período de pré-enxurrada	24
3.5.4.5. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada	24
3.5.4.6. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada	24
3.5.4.7. Taxas instantâneas de perda de solo	25
3.5.4.8. Perda total de água.....	25
3.5.4.9. Perda total de solo	25
3.6. Ajuste de dados	26
3.7. Análise e interpretação dos resultados	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Variáveis de manejo do solo	27

4.1.1. Condições físicas subsuperficiais do solo durante o período experimental	27
4.1.2. Condições físicas superficiais do solo durante o período experimental	35
4.1.3. Atributos de planta durante o período experimental	37
4.2. Variáveis de erosão hídrica do solo	40
4.2.1. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas	40
4.2.2. Distribuição temporal das taxas instantâneas de descarga da enxurrada (hidrogramas), das concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada e das taxas instantâneas de perda de solo por erosão (sedimentogramas)	42
4.2.3. Tempo de início da enxurrada	51
4.2.4. Altura da lâmina de água da chuva superficialmente retida e infiltrada no solo no período de pré-enxurrada	54
4.2.5. Perda total de água.....	56
4.2.6. Perda total de solo	59
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
7. APÊNDICES	71

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Cobertura por resíduo cultural, rugosidade superficial induzida pelo preparo e consolidação da camada arável do solo, avaliadas logo após o seu preparo e/ou a semeadura das culturas, antes da realização do primeiro teste de erosão em cada uma destas últimas, nos tratamentos estudados.....36
2. Atributos de planta contemplados na pesquisa, avaliados aproximadamente noventa dias após a semeadura das culturas (estádio fenológico de enchimento de legumes para o feijão miúdo – março de 2009 – e de maturação para o sorgo – março de 2010, antes do teste de erosão realizado em cada um dos referidos estádios), nos tratamentos estudados39
3. Teor de água no solo, em duas de suas camadas, avaliado em duas épocas em cada ciclo cultural contemplado na pesquisa, antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.....41

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Teor de matéria orgânica no solo (MO) na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).....28
 2. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo, na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).30
 3. Densidade do solo (Ds) na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).....32
 4. Macro, micro e porosidade total do solo na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).....34
 5. Vista geral das condições físicas superficiais do solo logo após o seu preparo e a semeadura das culturas, em dois tratamentos selecionados (Obs: a e b, feijão miúdo, e c e d, sorgo, com as imagens da esquerda pertencendo à escarificação e da direita à semeadura direta).37
- FIGURA 6. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a e b), no verão

de 2007/2008, e logo após a semeadura e no estágio fenológico de maturação do sorgo (c e d), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.....	44
7. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) e taxas instantâneas de perda de solo por erosão (TPS) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura do feijão miúdo (a e b), no verão de 2007/2008, e do sorgo (c e d), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados (Obs: não houve erosão mensurável nos testes realizados no estágio fenológico enchimento de legumes da primeira e no de maturação da segunda cultura referidas).	49
8. Tempo de início da enxurrada (Ti) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo, no verão de 2007/2008, e logo após a semeadura e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.	53
9. Altura da lâmina de água da chuva superficialmente retida e infiltrada no solo no período de pré-enxurrada (LAPE), nos testes de erosão realizados logo após a semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a), no verão de 2007/2008, e logo após a semeadura e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.	55
10. Perda total de água (PTA) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a), no verão de 2007/2008, e logo após a semeadura e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.	58
11. Perda total de solo (PTS) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura do feijão miúdo (verão de 2007/2008) e do sorgo (verão de 2008/2009), nos tratamentos estudados (Obs: não houve perda mensurável de solo nos testes de erosão realizados no estágio fenológico de enchimento de legumes da primeira e no de maturação da segunda cultura referidas).	61

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Página

1. Teor de matéria orgânica e valores de alguns atributos físicos do solo na sua camada de 0 - 0,10 m, avaliados em três épocas distintas durante a condução dos experimentos (uma no verão de 2007/2008 e duas no verão de 2008/2009, antecedendo os testes de erosão realizados nessas épocas), nos tratamentos estudados72
- 2.. Parâmetros físicos de erosão nos testes de chuva simulada realizados na semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo - no verão de 2007/2008 e na semeadura e no estágio de maturação do sorgo – verão 2008/2009, nos tratamentos estudados.....73

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de vital importância, pois, além de servir de suporte à espécie humana, animal e vegetal e às edificações, constitui o principal meio para a produção de alimentos na Terra. Assim, o solo é um componente fundamental em todos os ecossistemas terrestres, com vários processos e ciclos de transformações ocorrendo dentro e fora dele, de naturezas diversas (química, física e biológica). Entretanto, quando mal usado e mal manejado, o solo pode chegar à degradação total. Via de regra, a degradação do solo decorre da atividade humana mal planejada e mal conduzida, contribuindo muito para isso a substituição da vegetação nativa por plantas cultivadas, principalmente de ciclo anual, sem a devida observância da aptidão agrícola da terra. A degradação do solo também é devida muito ao seu mau manejo e das culturas, como preparos intensos, pastoreio intensivo, cultivo excessivo, monocultura, entre outros. Assim, a substituição da vegetação nativa por culturas agrícolas geralmente provoca desequilíbrios no solo, com os processos físicos, químicos e biológicos que nele se desenvolvem podendo chegar a um grau de desenvolvimento negativo capaz de, até, totalmente inviabilizar a produção agrícola, técnica e economicamente.

Em relação ao tipo de uso da terra, no Brasil, segundo dados do IBGE (2006), nos últimos trinta anos ocorreu uma expressiva diminuição das áreas com pastagem nativa, o que sobremaneira aumentou as áreas com pastagem plantada e com lavouras temporárias (as usadas com culturas de ciclo anual). Já no estado do Rio Grande do Sul, o principal e maior ecossistema ainda existente, com vegetação nativa, é o do Bioma Pampa. Na década de 70, esse bioma abrangia uma área ao redor de 14 milhões de hectares praticamente somente com campo nativo, e, hoje, estima-se que tal não passa de 4 milhões de hectares (MAPA, 2007). Fundamentalmente, no passado isso ocorreu

devido às áreas de campo nativo terem sido gradativa e aceleradamente substituídas por lavouras com culturas de ciclo anual, enquanto hoje o processo persiste porque, o que resta de tais áreas, está sendo usado, também gradativa e aceleradamente, com silvicultura, o que preocupa muito.

Dentre as formas conhecidas de degradação do solo, a erosão, seja ela hídrica ou eólica, é a mais extensiva e preocupante. Estimativas da FAO (Hudson, 1995) apontam que 84% da degradação dos solos agrícolas do Mundo são devidos à erosão, com 56% dos casos atribuídos à erosão hídrica e 28% à erosão eólica. A seriedade da degradação do solo pela erosão está no fato de que, sob esse processo, o mesmo é removido de um ponto na superfície do terreno e depositado em outro, na maior parte das vezes distante do local original. Isto faz com que, para propósitos práticos, na escala de tempo do ser humano, o solo seja considerado como um recurso natural não-renovável, uma vez que suas taxas de desgaste e remoção pela erosão induzida pela atividade do homem podem superar em muitas vezes suas taxas naturais (até mesmo artificiais) de renovação e reposição de solo.

A erosão do solo normalmente resulta em dois grandes tipos de prejuízo: danos diretos ou na lavoura e danos indiretos ou fora da lavoura. O primeiro deles (danos diretos ou na lavoura) diz respeito à redução da capacidade produtiva do solo para o crescimento de plantas, causada pela diminuição da sua profundidade efetiva para o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e da sua capacidade de absorver, reter e liberar água e nutrientes para as mesmas. Isto, principalmente, é devido à remoção física do solo em si, mas também à remoção preferencial da matéria orgânica e de alguns nutrientes dissolvidos na água de escoamento superficial, o que irá se refletir em menor rendimento das culturas e em aumento dos custos de produção, conseqüentemente menor lucratividade líquida para o produtor rural, além das inevitáveis conseqüências econômicas, sociais e ambientais que advém de tais fatos (Cogo e Levien, 2002). O segundo tipo de prejuízo causado pela erosão (danos indiretos ou fora da lavoura) está relacionado com o assoreamento de valas, canais, partes baixas do terreno e fontes superficiais de água e poluição destas, o que irá se refletir em diminuição da capacidade de armazenamento e/ou de condução de água das mesmas e redução da sua qualidade (processo de eutrofização), motivados, todos, pelos produtos da erosão (partículas de

solo e substâncias químicas a elas adsorvidas e/ou dissolvidas na água do escoamento superficial - em se tratando da erosão hídrica pluvial do solo).

Baseado no exposto, vê-se a importância do cuidado que se deve ter no uso do solo para fins de exploração agrícola, principalmente no caso de haver mudança no tipo de uso terra de culturas permanentes para culturas anuais em fileira. Aliás, por oportuno, e para encerrar esta seção, o último aspecto mencionado constituiu o foco principal deste trabalho, do qual também resultaram as hipóteses e os objetivos da pesquisa que deu origem ao mesmo, os quais são apresentados ao final da seção seguinte, relacionados com a erosão hídrica pluvial do solo e com o escoamento superficial a ela associado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Considerações básicas sobre o processo de erosão hídrica do solo pela água da chuva e da enxurrada a ela associada

Fundamentalmente, a erosão hídrica pluvial do solo que ocorre nas terras cultivadas é devido à ação da chuva (agente ativo) diretamente no solo (agente passivo). Assim, a quantidade final de erosão hídrica em um dado local vai depender de uma combinação entre o poder ou a habilidade da chuva de causar erosão no solo (erosividade) e a capacidade ou habilidade do solo de resistir à ação da chuva (erodibilidade) (Hudson, 1995). Em 1944, o pesquisador norte-americano W. D. Ellison (Ellison, 1944), por meio de experimentos de laboratório, descobriu que a causa principal da ocorrência da erosão hídrica nas terras cultivadas era a ação de impacto das gotas da chuva diretamente sobre o solo descoberto, e não a ação abrasiva ou cisalhadora ou entalhadora da enxurrada, como até então se pensava. Baseado na sua descoberta, o referido pesquisador efetuou a divisão clássica do processo erosivo do solo, universalmente conhecida e adotada, separando-o em três fases básicas (subprocessos de erosão), assim caracterizadas: 1ª fase – desagregação: desprendimento, separação ou desalojamento das partículas de solo da massa que as contém, tanto na forma de partículas primárias ou individuais, como as frações de areia, silte e argila, quanto na forma de partículas secundárias ou agregados, que são os conglomerados das partículas primárias; 2ª fase – transporte: movimento ou deslocamento das partículas desagregadas do solo sobre a superfície do terreno, e 3ª fase - deposição ou sedimentação: fim do transporte; parada ou assentamento das partícula desagregadas do solo que se encontram em transporte na enxurrada, em algum ponto sobre a superfície do terreno, geralmente fora do local de origem do fenômeno.

O processo de erosão hídrica pluvial do solo é afetado por vários fatores e varia muito de local para local, em função da presença e do nível das variáveis envolvidas, com os principais deles sendo: regime de chuva, tipo de solo, comprimento e inclinação do declive, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte ou práticas complementares de controle da erosão. Uma vez que a erosão é um processo predominantemente de superfície, as condições físicas da camada arável do solo, internas e externas, mas principalmente as últimas, são as que irão determinar as perdas totais finais de solo e água pelo fenômeno em um dado local. Fundamentalmente, essas condições físicas irão depender do tipo de uso da terra e do sistema de manejo do solo e da cultura empregados no processo de produção vegetal, os quais irão conferir ao solo diferentes graus de cobertura, rugosidade e consolidação superficiais, bem como diferentes características e propriedades internas, notadamente volume total e distribuição de tamanho de poros e estabilidade e distribuição de tamanho de agregados. No conjunto, as referidas condições físicas irão determinar a resistência do solo à ação erosiva da chuva e da enxurrada a ela associada e a facilidade com que a água da primeira irá infiltrar na superfície do solo e se movimentar no seu interior, culminando com as perdas totais finais de solo e água por erosão hídrica em dado local (Wischmeier, 1973; Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997; Volk 2002 e 2006; Portela, 2009).

2.2. Métodos de preparo do solo versus condições físicas resultantes versus erosão

O efeito do preparo do solo nas suas condições físicas, internas e externas, vai depender do grau de revolvimento ou mobilização do mesmo e da intensidade de tráfego associada, do tipo de equipamento e implemento utilizado no preparo, do manejo dos resíduos culturais e das condições de umidade no seu interior, além de outras particularidades, vigentes no momento do preparo (Vieira, 1985). Os tipos de equipamento e implemento utilizados no preparo do solo substancialmente alteram suas condições físicas, uma vez que, cada um deles, atua de maneira própria no mesmo e, assim, altera suas propriedades também de maneira própria (Bertol et al., 2000). Desta forma, métodos de preparo do solo como a semeadura direta, irão causar mobilização

de solo somente na linha de semeadura, permitindo maior arranjo natural do solo, devido ao não-revolvimento e à pressão causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Já no preparo convencional, isto não acontece, devido ao contínuo revolvimento do solo no mesmo.

Machado et al. (1981) verificaram que as operações de preparo do solo associadas ao método convencional não causaram alterações nas suas características e propriedades físicas nos primeiros quatro anos de uso agrícola do mesmo, sendo que somente a partir do oitavo ano a densidade, a macro, a micro e a porosidade total do solo foram sensivelmente modificadas, e com as maiores delas tendo sido observadas somente a partir do décimo ano de uso agrícola, em um solo da classe dos latossolos. Por outro lado, Urchei (1996) e Stone & Silveira (2001) constataram que, após três a quatro anos de uso agrícola do solo, a semeadura direta apresentou valores de densidade e microporosidade maiores, e de porosidade total e macroporosidade menores, comparados aos observados no preparo convencional. Já Falleiro et al. (2003), também observaram valores de densidade do solo maiores na semeadura direta do que no preparo convencional, porém sem diferença entre a macro e a microporosidade, em área cultivada com os referidos métodos de preparo, já, por quinze anos.

Por influenciarem as características e propriedades físicas do solo, os métodos usados no seu preparo também têm grande influência na erosão hídrica pluvial que nele poderá vir a ocorrer, no que se refere tanto à perda de solo pelo referido processo, quanto à perda de água da chuva na forma de enxurrada. Tais métodos de preparo se diferenciam uns dos outros por resultarem em diferentes condições físicas externas e internas do solo, mas, principalmente, as primeiras. Neste sentido, dentre os preparos de solo de caráter conservacionista, o reduzido, realizado por meio de escarificação, seguida ou não de gradagem, caracteriza-se por apresentar média a grande rugosidade e pouca ou nenhuma consolidação superficiais. Disso, decorre também maior porosidade total na camada mobilizada do solo, porém menor cobertura por resíduos culturais, quando comparada ao método sem preparo ou técnica de semeadura direta/plantio direto. Isto ocorre porque os métodos de preparo do solo variam muito quanto à extensão de superfície do terreno trabalhada, profundidade de preparo e grau de fragmentação da massa de solo

mobilizada (torrões), e, desta forma, influenciando as taxas de perda e as perdas totais de solo e água por erosão hídrica também de modo diferente (Burwell et al., 1963; Burwell et al., 1966; Burwell e Larson, 1969; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Volk et al., 2004, Gilles et al., 2009).

A cobertura por resíduos culturais e a rugosidade superficial induzida pelo preparo são as condições físicas de superfície do solo mais importantes no que diz respeito ao controle da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado. A permanência dos resíduos culturais na superfície do solo é de fundamental importância porque eles atuam na dissipação da energia cinética das gotas da chuva junto ou rente à superfície do solo, impedindo a desagregação inicial de suas partículas e decorrente formação de selos e/ou crostas superficiais. Estes fatos irão resultar em aumento da infiltração da água da chuva na superfície do solo e em diminuição da enxurrada e da erosão. A cobertura superficial do solo, seja ela constituída por resíduos culturais ou vegetação viva de hábito rasteiro, além dos benefícios mencionados, irá atuar como barreira física no que se refere à diminuição da velocidade da enxurrada e, paralelamente a isto, irá filtrar e induzir deposição das partículas erodidas do solo que se encontram sob transporte na mesma no próprio local de ocorrência do fenômeno (Mannering et al. 1968; Wischmeier e Smith, 1978; Cogo, 1981; Cogo et al., 1984; Cogo et al., 2003). Por sua vez, a rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de seu preparo é importante porque ela aumenta as capacidades de retenção e infiltração da água da chuva na sua superfície e, em adição, aprisiona os sedimentos da erosão e reduz o volume e a velocidade da enxurrada. Estes fatos, em conjunto, irão determinar pequena, média ou grande perda de solo e água por erosão hídrica pluvial, dependendo da presença e do nível das variáveis envolvidas no processo (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Castro et al., 2006; Volk & Cogo, 2009). Com base nas considerações efetuadas, pode-se dizer que, na escarificação, seguida ou não da passagem de grade (leve), devido sua média a alta rugosidade superficial e manutenção de, ainda, boa quantidade de resíduos culturais na superfície do solo, os valores de perda de solo e água por erosão hídrica pluvial na mesma irão ser substancialmente diminuídos. Isto é devido a maior capacidade de retenção e infiltração superficial da água da chuva no referido método de preparo do solo, bem como

maior capacidade de aprisionamento dos sedimentos erodidos (Cogo et al., 1983; Gilles et al., 2009). Já o método sem preparo do solo ou técnica de semeadura direta, devido à baixa rugosidade superficial, em geral apresenta valores de perda de água da chuva na forma de enxurrada maiores do que a escarificação, conforme também observado por Gilles et al. (2009). Entretanto, devido ao relativamente alto grau de consolidação superficial e manutenção da quase totalidade dos resíduos culturais na superfície do solo, os valores de perda de solo na semeadura direta, de modo geral, podem ser considerados baixos, quando comparados aos da escarificação, em que pese esta última também ser bastante eficaz na redução da perda de solo (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983 e Cogo et al., 1984; Castro et al., 2006; Gilles et al., 2009).

Com base no exposto, vê-se que, mesmo com a aplicação de práticas de manejo do solo relativamente simples, como manutenção dos resíduos culturais em superfície e criação de rugosidade superficial ou microrelevo, é possível substancialmente reduzir as perdas de solo e água por erosão hídrica pluvial, às vezes até dentro dos níveis toleráveis, o que irá reduzir os custos de produção agrícola e, o mais importante, efetivamente contribuir para a preservação do solo, da água e do ambiente.

2.3. Tipos de adubação versus condições físicas do solo versus erosão

As escassas pesquisas no assunto de influência de tipos de adubação nas características e propriedades físicas do solo, têm demonstrado que a utilização de adubação orgânica, independentemente do seu tipo ou natureza, se de origem vegetal ou de origem animal, no longo prazo causa melhoria nas mesmas, quando comparada à adubação mineral (Oades e Waters, 1991; Melo et al., 2005; Pires et al., 2005; Diana et al., 2007; Zhao et al., 2009). Esses autores observaram que, sob adubação orgânica (lodo de esgoto, esterco bovino, esterco bovino e biossólido derivado de estação de tratamento de esgoto), houve aumento da taxa de infiltração de água no solo, diminuição da densidade global e aumento da porosidade total e da estabilidade de agregados, entre outros efeitos positivos. Fundamentalmente, isto se deve ao aumento do teor de matéria orgânica no solo, em função do contínuo aporte de adubação orgânica no mesmo.

Como se sabe, a matéria orgânica é um constituinte do solo de fundamental importância, tomando parte em vários dos seus processos. Dentre eles, destaca-se o da agregação do solo, cujo grau de desenvolvimento irá se refletir na estabilidade de seus agregados, por conseguinte na maior ou menor resistência do mesmo à erosão hídrica pluvial e na maior ou menor facilidade com que a água da chuva irá infiltrar na sua superfície e se movimentar no seu interior (Tisdall e Oades, 1982; Dexter, 1988). Segundo esses autores, o processo de agregação do solo se desenvolve em três etapas principais. A primeira está relacionada com a floculação das partículas constituintes da fração de argila, a segunda com a união dessas partículas, tanto entre si quanto entre outras partículas (de maior tamanho, como a areia e o silte), e tanto minerais quanto orgânicas (estas últimas agindo como agente de cimentação), formando os microagregados, e a terceira e última etapa com a união destes últimos, formando os macroagregados do solo. Entretanto, é importante dizer que existem outros processos relacionados com a formação e estabilização dos agregados do solo, cabendo destacar os decorrentes dos ciclos de umedecimento e secagem e os relacionados com a ação dos microorganismos do mesmo e com o crescimento das raízes das plantas (Dexter, 1988). Dentre estes últimos, talvez o mais importante seja o que se relaciona com o sistema radicular das plantas. Isto ocorre porque as raízes, ao unirem os microagregados por meio de emaranhamento físico e produção de exsudatos, aumentam a estabilidade dos macroagregados do solo (Silva & Mielniczuk, 1997). Desta forma, e tendo em vista que os agregados do solo constituem as unidades básicas da sua estrutura, aquele que tiver agregados mais estáveis irá manter melhor e por mais tempo esta última, mesmo quando há mudanças bruscas no conteúdo de umidade, devido a grande variedade de tamanho de poros que um solo do tipo como o descrito irá apresentar (Lynch & Bragg, 1985).

Em se tratando da erosão hídrica pluvial do solo, a estabilidade dos seus agregados é de suma importância não só frente à ação erosiva de impacto das gotas da chuva e cisalhante da enxurrada, como também frente ao rápido umedecimento do mesmo. Um solo que possui agregados menos resistentes e é mais susceptível ao rápido umedecimento, será mais facilmente erodido quando exposto à ação da chuva (Yoder, 1936), além do que ficará

mais sujeito ao fenômeno do selamento superficial. Isto porque as partículas desagregadas do solo podem grandemente obstruir seus poros, restringindo a infiltração de água no mesmo (Tisdall & Oades, 1982; Le Bissonnais, 1996; Le Bissonnais & Arrouyas, 1997) e facilitando a erosão pela enxurrada (Albuquerque et al., 2000; Volk, 2006).

O tipo de adubação afeta a erosão hídrica pluvial do solo de forma variada, direta e indiretamente. Faucette et al. (2004) observaram que a utilização de cama de aviário favoreceu o escoamento superficial, comparado a outros compostos orgânicos e ao tratamento testemunha. Segundo esses autores, isso ocorreu porque a cama de aviário apresenta um comportamento hidrofóbico, o que pôde ser constatado após a aplicação de uma chuva com intensidade alta durante uma hora, em que o referido material continuava, praticamente, seco. Em relação à perda de solo por erosão, os mesmos autores observaram que, sob altas quantidades de esterco, tenha ele sido de aves, suínos ou bovinos, houve diminuição da mesma, devido os referidos materiais terem servido de barreira física contra o impacto direto das gotas da chuva. Resultados semelhantes a esses foram também observados por Kleinman e Sharpley (2003) e McDowell e Sharpley (2003). No mesmo contexto do que vem sendo falado, Kleinman et al. (2002) constataram que a quantidade de solo perdida por erosão foi tanto menor quanto maior a percentagem de cobertura do solo proporcionada pelo esterco. Assim, pode-se dizer que, logo após a aplicação de grandes quantidades de esterco ao solo, e no que se refere à erosão hídrica pluvial, o mesmo tem efeito semelhante ao da cobertura por resíduos culturais, porém, por bem menor período de tempo.

2.4. Mudança no tipo de uso da terra versus erosão.

No desenvolvimento do ciclo hidrológico, a vegetação natural tem importância fundamental, especialmente no que diz respeito ao escoamento superficial ou enxurrada, portanto, também no que se refere à erosão hídrica pluvial do solo (Overland e Kleeberg, 1991). A substituição da vegetação natural por outros tipos de uso da terra, como recreação, urbanização, agricultura, etc., não só pode aumentar os riscos de inundação (urbana e rural), como também os de erosão, principalmente quando, no caso do uso da terra para fins agrícolas, são usadas culturas anuais em fileira (Rompaey et al,

2001). Isto se deve às alterações biofísicas que ocorrem no solo e que modificam suas características e propriedades intrínsecas originais, com a severidade dos danos podendo ser potencializada, dependendo do tipo de solo, da topografia do terreno, do tipo de vegetação a ser incluído no novo tipo de uso da terra e do sistema de manejo do solo (inclui-se aqui também o manejo da cultura).

Especificamente no que se relaciona com os objetivos deste trabalho (verificar a influência da mudança no tipo de uso da terra nas condições físicas do solo e na erosão hídrica e no escoamento superficial a ela associado, sob diferentes formas de manejo, usando parcelas experimentais de tamanho relativamente pequeno e sob a ação de chuva simulada), as referências bibliográficas existentes são bastante escassas. O que foi encontrado a respeito, são trabalhos que avaliaram a influência da mudança no tipo de uso da terra, porém utilizando ferramentas de modelagem, para fins de avaliação da concentração de sedimento e das vazões máximas da enxurrada em bacias hidrográficas de tamanho relativamente grande (Kithiia, 1997; Van Oost et al., 1999; Van Rompaey et al., 2001; Bakker, et al., 2005; Solaimani et al., 2009). Esses estudos, entretanto, partem de cenários não mais com a vegetação natural típica de dado local ou dada região, mas sim com o uso atual da terra, portanto já tendo havido muitas alterações no sistema, e indo para cenários, teoricamente, menos prejudiciais, do ponto de vista de degradação do solo. Nesse contexto (estudos em bacias hidrográficas de tamanho relativamente grande), cabe mencionar o trabalho realizado por Overland e Kleeberg (1991), usando o modelo USLE de predição da erosão hídrica pluvial do solo, desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978), alguns modelos hidrológicos e mapas com cenários de uso da terra de diferentes épocas, para estimar as prováveis concentrações de sedimento e vazões máximas da enxurrada nos mesmos. Os autores antes mencionados constataram que, na medida em que diminuíram as áreas com vegetação nativa, houve aumento do pico da enxurrada de 5 a 30%, dependendo do local, com conseqüente aumento da concentração de sedimentos na mesma de 90 a 700%. Vê-se, pois, que a mudança no tipo de uso da terra, qualquer que seja a condição de momento, pode causar sérios problemas de degradação do solo, conseqüentemente, sérios danos ambientais.

Considerando o exposto na introdução e na revisão bibliográfica deste trabalho, formularam-se as seguintes hipóteses por ocasião do planejamento da pesquisa que deu origem ao mesmo:

- a) a perda de solo e de água por erosão hídrica pluvial nas terras cultivadas, principalmente quando há mudança no tipo de uso da terra, irá variar com o método de preparo do solo e de semeadura da cultura empregado, uma vez que as condições físicas externas e internas da camada superior do solo, que regem os processos de infiltração de água e de resistência à erosão, estão diretamente relacionadas com as ações ou os aspectos referidos;
- b) as perdas mencionadas acima também irão variar com a adubação e tipo da mesma, uma vez que, dos mesmos, irão resultar diferentes níveis de desenvolvimento vegetal, por conseguinte diferentes quantidades de biomassa aérea ou dossel e de biomassa subterrânea ou raízes produzida, o que irá proporcionar diferentes graus de proteção e resistência ao solo contra a ação erosiva da água da chuva e da enxurrada a ela associada.

Para testar as hipóteses acima, delinearão-se os seguintes objetivos na pesquisa:

- a) quantificar a perda total de solo e de água por erosão hídrica pluvial em área de campo nativo já submetida a um cultivo de ciclo anual (milho - primeiro ano de experimentação), e, agora, sendo submetida a dois novos cultivos (feijão miúdo e sorgo – respectivamente segundo e terceiro anos de experimentação), nos métodos de preparo do solo reduzido (escarificação) e sem preparo (semeadura direta) e nos tipos de adubação mineral (fertilizante comercial contendo NPK) e orgânica (esterco curtido de aves), além de uma condição sem adubação (uma em cada método de preparo do solo);
- b) com base nos resultados obtidos, aprimorar a pesquisa no assunto e, dentro do possível, sugerir formas adequadas de mudança no tipo de uso da terra, para fins de produção vegetal, com vistas a melhor conservação do solo e da água e melhor preservação do ambiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização, solo, histórico da área experimental e natureza da pesquisa

Os experimentos dos quais foram obtidos os dados para a realização deste trabalho foram instalados na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS, localizada no km 146 da rodovia BR 290, município de Eldorado do Sul (RS), distando cerca de 60 km de Porto Alegre (RS).

A EEA/UFRGS está situada na região fisiográfica da Depressão Central-RS, a qual se caracteriza por apresentar relevo formado por planícies aluviais amplas e pendentes sedimentares onduladas com dezenas de metros. A precipitação pluvial média anual da região é ao redor de 1.400 mm, com média mensal aproximada de 120 mm (Bergamaschi e Guadagnin, 1990). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa - subtropical úmido com verão quente, com a temperatura do mês mais frio oscilando entre -3 °C e 18 °C e a do mês mais quente superior a 22 °C (Mota, 1961).

O solo da área experimental atualmente se encontra classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Lopes, 1984), possuindo textura franco-arenosa na camada superficial, horizontes diagnósticos A moderado e B textural, profundidade e drenagem moderadas, declividade média de 0,13 m m⁻¹ (Gilles et al., 2009) e profundidade efetiva inferior a 0,80 m (Lopes, 1984; Streck, 1999).

Originalmente a área experimental era usada com pastagem nativa, predominando na mesma poáceas (principalmente grama forquilha - *Paspalum notatum*), e tendo recebido um cultivo de milho (*Zea mays*) no verão de 2006/2007, em função de um estudo realizado por Gilles (2008), seguido de pousio no inverno de 2007.

A pesquisa foi desenvolvida nas condições reais de campo, porém usando chuva simulada, por meio da utilização do aparelho simulador de chuva de braços rotativos, idealizado por Swanson (1965).

3.2. Tratamentos estudados e sua implantação

Os tratamentos estudados, em número de seis, sem repetição (falta de espaço físico adequado na área experimental), constituíram-se de métodos de preparo do solo e tipos de adubação, incluindo um tratamento sem adubação ou testemunha. Como planta-teste foi usado o feijão miúdo (*Vigna unguiculata*), no verão de 2007/2008, e o sorgo (*Sorghum bicolor*), no verão 2008/2009. Mais especificamente, os tratamentos constaram do seguinte:

- Tratamento 1: escarificação, sem adubação (tratamento testemunha 1) - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como ESC sem ad.;
- Tratamento 2: escarificação, adubação mineral - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como ESC ad. min.;
- Tratamento 3: escarificação, adubação orgânica - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como ESC ad. org.;
- Tratamento 4: semeadura direta, sem adubação (tratamento testemunha 2) - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como SD sem ad.;
- Tratamento 5: semeadura direta, adubação mineral - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como SD ad. min.;
- Tratamento 6: semeadura direta, adubação orgânica - nas tabelas e figuras deste trabalho este tratamento encontra-se referido como SD ad. org.

A operação de escarificação foi realizada com equipamento escarificador de hastes parabólicas, munido de ponteiros estreitas (0,06 m de largura cada uma), em número de cinco, as quais se encontravam espaçadas uma da outra de 0,45 m e operaram no solo à profundidade de 0,20/0,25 m. Esse

equipamento portava rolo destorroador, com o objetivo de dar melhor acabamento ao leito de semeadura das culturas a serem implantadas.

A semeadura do feijão miúdo, em ambos os tratamentos de preparo do solo, foi realizada em 20/12/2007, por meio do emprego de máquina semeadora-adubadora de precisão, com discos de corte de palha do tipo desencontrados, seguidos de hastes sulcadoras (0,02 m de largura cada uma), as quais operaram no solo à profundidade de 0,06 m. Essas hastes sulcadoras são usadas com a finalidade de colocar o adubo em profundidade no solo, variando a mesma de 0,06 m a 0,12 m. Neste trabalho, entretanto, tendo em vista que os adubos em ambos os tratamentos de preparo do solo foram aplicados manual e superficialmente, a lanço, as referidas hastes sulcadoras serviram apenas para causar alguma mobilização no solo nos tratamentos com semeadura direta, devido o solo se encontrar com sua superfície consolidada, e uma mobilização adicional (circunstancial) nos tratamentos com escarificação. O espaçamento entre as fileiras do feijão miúdo foi de 0,45 m e sua densidade de semeadura de 15,7 sementes por metro linear, perfazendo uma população aproximada de 350.000 plantas por hectare.

A semeadura do sorgo, em ambos os tratamentos de preparo do solo, foi realizada em 08/12/2008, por meio do emprego de máquina semeadora-adubadora de fluxo contínuo (para sementes miúdas), provida de discos duplos desencontrados (função de colocação das sementes no solo). O espaçamento entre as fileiras dessa cultura foi de 0,17 m e a quantidade de sementes de 15 kg por hectare. As operações de preparo do solo e semeadura das culturas foram realizadas no sentido do declive do terreno, conforme filosofia de obtenção do fator C – cobertura e manejo do solo dos modelos “USLE – Universal Soil Loss Equation” e “RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation” de predição da erosão hídrica (respectivamente, Wischmeier e Smith, 1978; Renard et al., 1997).

A adubação usada foi baseada nos resultados da análise de solo feita em laboratório, seguindo as recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004). Conforme mencionado, os adubos, tanto mineral quanto orgânico, foram aplicados manual e superficialmente, a lanço, antes das operações de preparo do solo e

semeadura das culturas. Para a cultura do feijão miúdo (verão 2007/2008), nos tratamentos com adubação mineral usou-se superfosfato triplo (200 kg ha^{-1}) e cloreto de potássio (75 kg ha^{-1}) – não foi usado nitrogênio nessa cultura -, e nos tratamentos com adubação orgânica foi usada cama de aviário curtida (2.100 kg ha^{-1}). Para a cultura do sorgo (verão 2008/2009), nos tratamentos com adubação mineral usou-se uréia (60 kg ha^{-1}), superfosfato triplo (180 kg ha^{-1}) e cloreto de potássio (42 kg ha^{-1}), enquanto que nos tratamentos com adubação orgânica também foi usada cama de aviário curtida (3.500 kg ha^{-1}). A adubação nitrogenada de cobertura (cultura do milho) foi dividida em duas aplicações de 30 kg ha^{-1} de N cada uma, sendo a primeira por ocasião da semeadura da cultura, e a segunda, 35 dias mais tarde. A quantidade aplicada da cama de aviário (kg ha^{-1} , base seca) foi calculada com base no teor total de fósforo (P) contido na mesma, e na quantidade desse elemento recomendada para cada uma das culturas estudadas.

3.3. Unidades experimentais

As unidades experimentais constituíram-se de parcelas de erosão com 3,5 m de largura por 11 m de comprimento cada uma, com a maior dimensão sendo disposta no sentido do declive do terreno. O espaçamento entre parcelas, num dado par, para posicionamento do aparelho simulador de chuva, foi de 3,5 m, e o espaçamento entre pares de parcelas, foi de 4,0 m.

As laterais e a extremidade superior de cada parcela foram delimitadas com chapas galvanizadas, com 2,0 m de comprimento por 0,20 m de altura cada uma, as quais foram cravadas 0,10 m no solo. Na extremidade inferior de cada parcela foi instalada uma calha coletora da enxurrada ou do material integral da erosão (partículas de solo + água de escoamento superficial), confeccionada também com chapa galvanizada, a qual foi mantida coberta (com tampa construída com o mesmo material referido) durante todo o tempo de aplicação das chuvas. A cada uma dessas calhas acoplou-se um cano plástico (PVC), com 6 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, o qual conduzia a enxurrada até uma pequena trincheira localizada 6 m abaixo, onde eram, intermitentemente, a cada três minutos, coletadas amostras da mesma.

3.4. Aparelho simulador de chuva e testes de erosão

O aparelho simulador de chuva utilizado no estudo foi o de braços rotativos, idealizado por Swanson (1965). Esse aparelho é constituído de uma estrutura de aço, montada sobre um chassi, também de aço, provido de quatro rodas pneumáticas, para fins de transporte do mesmo de um local para outro, em adição a uma coluna central para entrada de água no aparelho, ao redor da qual, na parte superior, são acoplados, horizontalmente, dez braços giratórios, construídos com aço galvanizado, com três bicos aspersores (tipo V-Jet 80/100) em cada braço. Assim, esse aparelho distribui gotas de água em forma de leque ou V invertido (referida como chuva simulada) sobre duas unidades experimentais ou parcelas de erosão, de modo uniforme e simultaneamente.

Efetuaram-se quatro testes de erosão com chuva simulada neste trabalho, sendo dois na cultura do feijão miúdo e dois na do sorgo. Esses testes foram realizados na intensidade constante de chuva planejada de 64 mm h^{-1} e com duração de 1,5 h cada um deles, perfazendo um total de altura de lâmina de água aplicada (planejada) de 96 mm, em cada chuva. O primeiro teste de erosão foi realizado logo após a semeadura das culturas, sendo em 20 de dezembro de 2007 para o feijão miúdo e em 08 de dezembro de 2008 para o sorgo. O segundo teste de erosão, foi realizado aproximadamente noventa dias mais tarde, sendo em 14 de março de 2008 para o feijão miúdo (estádio fenológico de enchimento de legumes) e em 13 de março de 2009 para o sorgo (estádio fenológico de maturação da panícula).

3.5. Amostragens e determinações

3.5.1. No solo da área experimental, antes do início da pesquisa

Antes do início da pesquisa, o solo da área experimental foi caracterizado física e quimicamente, do modo descrito a seguir.

3.5.1.1. Caracterização física

Para esta avaliação, foram coletadas amostras compostas de solo, cada uma delas constituídas de duas subamostras, em cada local onde, pouco

mais tarde, seriam instaladas as unidades experimentais da pesquisa ou parcelas de erosão. Assim, foram coletadas amostras para determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados, densidade global, macro, micro e porosidade total do solo, na sua camada de 0 a 0,10 m. Os métodos e procedimentos usados nessas determinações foram como descrito a seguir.

- Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados

Para esta determinação, usaram-se amostras de solo preparadas enquanto ainda no campo, com a umidade atual do solo, constituídas de agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,76 mm, as quais foram levadas para o laboratório e postas a secar ao ar por, aproximadamente, uma semana. O teor de água no solo nas amostras secas ao ar, para posterior conversão da massa de solo usada na análise em base de massa seca em estufa, foi determinado pelo método gravimétrico, secando-se as mesmas a 105°C, por 24 horas, conforme descrito em EMBRAPA (1997). Os agregados de solo foram separados nas classes de tamanho de 8 a 4,76 mm; 4,76 a 2 mm; 2 a 1; 1 a 0,5 mm; 0,5 a 0,25 mm e <0,25 mm, usando a técnica de peneiramento em água, conforme originalmente descrita por Yoder (1936) e posteriormente rerepresentada por Kemper e Chepil (1965). Neste trabalho, entretanto, foram usadas amostras de solo com massa de 50 g cada uma e tempo e velocidade de oscilação do conjunto de peneiras de, respectivamente, 10 minutos e 45 ciclos por minuto, diferentemente do método original, que preconiza amostra de solo com 25 g de massa e tempo e velocidade de oscilação do conjunto de peneiras de, respectivamente, 30 minutos e 30 ciclos por minuto. Os resultados obtidos foram expressos na unidade de milímetro (mm).

- Densidade do solo

Para esta determinação, coletaram-se duas amostras de solo em cada parcela experimental, com estrutura não-deformada, utilizando cilindros metálicos com 0,05 m de altura e 0,085 m de diâmetro e retirando as mesmas da região entre as fileiras das culturas, as quais foram analisadas conforme se encontra

descrito em EMBRAPA (1997). Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de mega grama por metro cúbico (Mg m^{-3}).

- Macro, micro e porosidade total

Para estas determinações, coletaram-se amostras de solo do mesmo modo como para a determinação da densidade do solo. A porosidade total do solo foi determinada conforme se encontra descrito em EMBRAPA (1997), e a macro e microporosidade por sucção, utilizando funil e coluna de água com 0,6 m de altura, conforme se encontra descrito em Bouma (1973). Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de metro cúbico por metro cúbico ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

3.5.1.2. Caracterização química

Para esta avaliação, foram consideradas as características do solo usualmente empregadas na avaliação do seu estado geral de fertilidade, como pH em água, fósforo extraível, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, teor de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e saturação por bases. Para isso, foram coletadas amostras compostas de solo, constituídas de seis subamostras cada uma, em cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,15 m. Essas amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, tendo sido analisadas conforme se encontra descrito em Tedesco et al. (1995). Os resultados dessas determinações, exceto o teor de matéria orgânica, não foram usados na elaboração deste trabalho, razão pela qual não são nele apresentados (serão futuramente, entretanto, em outro trabalho, o qual versará sobre a perda de nutrientes por erosão).

3.5.2. No solo das parcelas experimentais, logo após o seu preparo e a semeadura das culturas, antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada

Nesta ocasião, três determinações principais foram efetuadas, do tipo e modo descritos a seguir.

3.5.2.1. Cobertura por resíduo cultural

A cobertura do solo por resíduo cultural (no início da pesquisa essencialmente vegetação espontânea dessecada) foi determinada pelo método da corda numerada ou linha de transecção de pontos, conforme consta em Hartwig e Laflen (1978). Para isso, utilizou-se fita métrica com 10 m de comprimento, a qual foi estendida nas diagonais de cada parcela experimental (duas repetições por parcela, pois), contando-se os pontos da mesma que, a cada 0,10 m, ao longo da fita métrica, e olhando na vertical, interceptavam algum tipo de resíduo cultural. O número de vezes que os pontos da fita métrica interceptavam uma dada peça de resíduo cultural foi considerado como sendo a percentagem de cobertura do solo pelo mesmo. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de metro quadrado por metro quadrado (m² m⁻²).

3.5.2.2. Rugosidade superficial induzida pelo preparo e consolidação da camada arável do solo

A rugosidade superficial do solo induzida pelo seu preparo foi avaliada por meio do uso de um pequeno perfilômetro ou rugosímetro, possuindo vinte varetas de alumínio, dispostas verticalmente, similar ao descrito por Burwell et al. (1963). Quantitativamente, esta avaliação foi feita apenas na cultura do feijão miúdo. Assim, com o aparelho referido, foram efetuadas leituras das elevações da superfície do solo em dois locais representativos dentro de cada parcela experimental, tomando-se a média dos valores obtidos como referência. O método de cálculo para a avaliação da rugosidade superficial do solo foi o do índice de rugosidade georeferenciado, conforme se encontra descrito em Castro et al. (2000), usando a seguinte fórmula:

$$IR = \sqrt{\sum_{i=2}^n \frac{h_i - h_{i-1}}{n-1}}$$

onde n é o número de leituras efetuadas e h as leituras das elevações e depressões da superfície do solo. Os resultados obtidos foram expressos na unidade de centímetro (cm). Na cultura do sorgo a rugosidade superficial do solo foi avaliada qualitativamente, por meio da observação visual,

com base nos termos descritivos e nas fotos ilustrativas apresentados por Johnson et al. (1979) e Rennard et al. (1997). A avaliação da consolidação da camada arável do solo também foi feita qualitativamente, por meio da observação visual e tato da massa de solo com objeto pontiagudo, e simplesmente empregando-se os termos presente e ausente para referi-la, o que era mais do que suficiente para a finalidade pré-almejada com a mesma.

3.5.3. No solo das parcelas experimentais, ao redor de noventa dias do preparo do solo e da semeadura das culturas, antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada

Ao redor de noventa dias da implantação dos tratamentos ou do preparo do solo e da semeadura das culturas, nos dois anos de experimentação, quando o feijão miúdo se encontrava no estágio fenológico de enchimento de legumes e o sorgo no de maturação da panícula, correspondendo a uma semana antes da realização do segundo teste de erosão em cada uma das culturas, realizou-se nova caracterização física e química do solo nas unidades experimentais ou parcelas de erosão, juntamente com a avaliação de alguns atributos de planta, conforme descrito a seguir.

3.5.3.1. Caracterização física do solo

As características físicas do solo avaliadas nessa época da pesquisa, foram as de densidade global, macro, micro e porosidade total, além do teor de água, na sua camada de 0 a 0,10 m, usando a mesma metodologia descrita no item 3.5.1.1.

3.5.3.2. Caracterização química do solo

As características químicas do solo avaliadas nessa época da pesquisa, foram as de pH, fósforo extraível, potássio, cálcio e magnésio trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases, além do teor de matéria orgânica, nas suas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, usando a mesma metodologia descrita no item 3.5.1.2. Pela mesma razão apresentada por ocasião da descrição da primeira caracterização química do solo, os resultados das

determinações mencionadas, exceto o teor de matéria orgânica, não são apresentados neste trabalho.

3.5.3.3. Avaliação de atributos de planta

Os atributos de planta avaliados nessa época da pesquisa foram os de altura média de planta (apenas na cultura do sorgo), biomassa aérea (dossel) e biomassa subterrânea (raízes), do modo descrito a seguir.

A medição da altura das plantas foi efetuada com fita métrica, tomando-se dez delas (representativas) em cada unidade experimental, para cada uma das culturas usadas no estudo, e posteriormente fazendo-se a média aritmética das leituras. Os resultados foram expressos na unidade de metro (m).

A avaliação da biomassa aérea (dossel) foi efetuada por meio da coleta de plantas representativas de cada cultura, de uma área de 1 m² em cada parcela experimental, sendo as mesmas postas a secar em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de quilograma por hectare (kg ha⁻¹).

A avaliação da biomassa subterrânea (raízes) foi efetuada por meio da coleta de amostras compostas de solo, constituídas de seis subamostras cada uma, usando trado de ferro de formato cilíndrico com 0,059 m de diâmetro. As subamostras foram coletadas de uma área representativa em cada parcela experimental, próximo às plantas do feijão miúdo e do sorgo, da seguinte forma: duas subamostras na região da linha (entre plantas) e quatro na da entre linhas (duas de cada lado das plantas), na camada de solo de 0 a 0,10 m. Essas amostras foram levadas ao laboratório, levemente destorroadas e postas a secar ao ar. Após secas, as amostras foram lavadas sob jato de água de torneira, usando peneira com abertura de malha de 0,5 cm, e separando-se as raízes da massa de solo que as envolviam. A seguir, as raízes foram postas a secar em estufa com ventilação forçada, a 60°C, até peso constante. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de quilograma por hectare (kg ha⁻¹).

3.5.4. Durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada

Várias determinações foram efetuadas durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada, conforme descrito a seguir.

3.5.4.1. Checagem da intensidade das chuvas

Para esta avaliação, foram colocados, estrategicamente, vinte canecos de alumínio, usados como pluviômetros e especialmente confeccionados para tal, sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva. A checagem da intensidade das chuvas aplicadas foi efetuada por meio da medição dos volumes de água contidos nos canecos de alumínio e dividindo-se o valor médio dos mesmos pelo tempo de duração das chuvas. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de milímetro por hora (mm h^{-1}).

3.5.4.2. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas

Para esta avaliação, foram coletadas amostras compostas de solo, constituídas de três subamostras cada uma, nas camadas de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, em cada unidade experimental, usando trado convencional de amostragem (tipo calador). As amostras de solo foram acondicionadas em latas de alumínio, vedadas e levadas ao Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFRGS, onde foram pesadas e postas a secar em estufa a 105°C , até peso constante. O teor de água nas amostras, em base gravimétrica, foi calculado conforme se encontra descrito em Forsythe (1975). Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de quilograma por quilograma (kg kg^{-1}).

3.5.4.3. Tempo de início da enxurrada

Esta avaliação foi feita com cronômetro, a partir do início das chuvas simuladas, com os resultados tendo sido expressos na unidade de minuto (min).

3.5.4.4. Altura da lâmina de água da chuva retida e infiltrada na superfície do solo no período de pré-enxurrada

A altura da lâmina de água da chuva retida e infiltrada na superfície do solo no período de pré-enxurrada (LAPE) foi obtida por cálculo direto, usando os valores observados de intensidade das chuvas aplicadas e os tempos de início da enxurrada. Os resultados obtidos foram expressos na unidade de milímetro (mm).

3.5.4.5. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada

As taxas instantâneas de descarga (vazões) da enxurrada foram medidas em intervalos de tempo de três minutos cada um, usando provetas graduadas de 0,5; 1 e 2 L (conforme o fluxo) e cronômetro. Para isso, a proveta era posicionada sob o fluxo de enxurrada que provinha da parcela experimental, coletando-se um dado volume da mesma, em um dado período de tempo (quinze até três segundos, dependendo da intensidade do fluxo). Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de milímetro por hora (mm h^{-1}).

3.5.4.6. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada

Nos mesmos intervalos de tempo em que foram medidas as taxas instantâneas de descarga da enxurrada (três em três minutos), foram também coletadas amostras da mesma para posterior determinação, em laboratório, das suas concentrações instantâneas de sedimento (partículas de solo removidas pela erosão) e perda total de solo. Para isso, utilizaram-se potes plásticos com capacidade de 1,0 L cada um, os quais eram posicionados sob o fluxo de enxurrada e enchidos até seu limite, sendo posteriormente levados ao laboratório para novos procedimentos analíticos. Chegados ao laboratório, os referidos potes plásticos foram pesados e, a cada um deles, adicionados 3 mL de solução saturada (5%) de alúmen de potássio (comercial), deixando-os em repouso por vinte e quatro horas para decantação dos sedimentos. Em prosseguimento, drenou-se a água sobrenadante contida nos potes plásticos com um sifão construído com mangueira plástica, e colocaram-se os mesmos a secar em estufa a 60°C , até peso constante. As concentrações de sedimento na enxurrada foram obtidas pela divisão das massas secas (60°C) dos sedimentos contidos nas

amostras pelos seus volumes totais. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de grama por grama (g g^{-1}).

3.5.4.7. Taxas instantâneas de perda de solo

As taxas instantâneas de perda de solo foram obtidas multiplicando-se as concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada pelas correspondentes taxas instantâneas de descarga da mesma, e posteriormente dividindo-se os resultados encontrados pela área da parcela experimental ($38,5 \text{ m}^2$). Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos nas unidades de quilograma por hectare por hora ($\text{kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

3.5.4.8. Perda total de água

A perda total de água na forma de enxurrada foi obtida integrando-se os valores das taxas observadas de descarga da enxurrada, obtidos no campo, a cada três minutos (item 3.5.4.5), sobre o período inteiro de duração das chuvas (90 minutos), conforme se encontra mais detalhadamente descrito em Cogo (1981), porém usando o programa computacional PEDEROSÃO, desenvolvido pelo professor Elemar Antonino Cassol, do Departamento de Solos da UFRGS. Os resultados obtidos foram expressos na unidade de percentagem (%), em relação à quantidade total de água aplicada em cada chuva.

3.5.4.9. Perda total de solo

A perda total de solo foi obtida integrando-se os valores do resultado da multiplicação dos valores observados das taxas de descarga da enxurrada pelos das concentrações de sedimento na mesma, obtidos ao longo da aplicação das chuvas, conforme se encontra mais detalhadamente descrito em Cogo (1981), porém também usando programa computacional PEDEROSÃO, j referido. Os resultados obtidos foram expressos nas unidades de quilograma por hectare (kg ha^{-1}).

3.6. Ajuste de dados

Devido à variação observada na intensidade das chuvas simuladas (Figura 6), em relação à intensidade da chuva planejada ou chuva do projeto ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), os valores observados de perda total de água e perda total de solo foram ajustados para a intensidade desta última. A perda total de solo foi ainda ajustada para a declividade média do solo nas parcelas experimentais ($0,13 \text{ m m}^{-1}$), obtida pela média aritmética dos valores de declividade de cada uma delas, conforme se encontra registrado em (Gilles, 2008). Esses ajustes foram efetuados conforme se encontra descrito em Cogo (1981).

3.7. Análise e interpretação dos resultados

Pelo fato de não ter havido repetição dos tratamentos na pesquisa, por conseguinte não tendo sido feita a análise estatística dos resultados, os dados obtidos foram analisados e interpretados com base em teorias e conceitos desenvolvidos em estudos de mecânica da erosão hídrica pluvial do solo sobre as terras cultivadas, os quais foram tomados como elementos de lógica, adicionado do que pôde ser visto *in loco*, atentamente visualizando-se o desenrolar do processo de erosão e de escoamento superficial nas parcelas experimentais, enquanto nelas eram aplicadas as chuvas simuladas. Este procedimento não invalida o aspecto científico da pesquisa, em que pese se ter consciência de que teria sido melhor desenvolver um trabalho seguindo determinado delineamento ou esquema experimental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção será desenvolvida levando em consideração dois grupos principais de variáveis, avaliadas durante o desenvolvimento da pesquisa. Assim, primeiramente serão tratadas as variáveis de manejo do solo, no que se refere a quanto e como e/ou por que elas foram afetadas pelos tratamentos estudados, usando como referência seus valores originais, quando o solo ainda se encontrava na condição de campo nativo. Em prosseguimento, serão tratadas as variáveis de erosão hídrica pluvial do solo, também no que se refere a quanto e como e/ou como e por que elas foram afetadas pelos tratamentos estudados, ao mesmo tempo em que verificando sua relação com as variáveis de manejo do solo referidas há pouco. Passar-se-á, pois, à apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa, conforme informado.

4.1. Variáveis de manejo do solo

4.1.1. Condições físicas subsuperficiais do solo durante o período experimental

- Teor de matéria orgânica

Os resultados da avaliação do teor de matéria orgânica no solo (MO), na sua camada de 0 a 0,10 m, efetuada em diferentes épocas desde pouco antes do primeiro estabelecimento dos tratamentos na área experimental, quando o solo ainda se encontrava na condição de campo nativo, até o último ciclo cultural abrangido por esta pesquisa (segundo e terceiro anos de cultivo com culturas anuais em fileira), antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, são apresentados na figura 1.

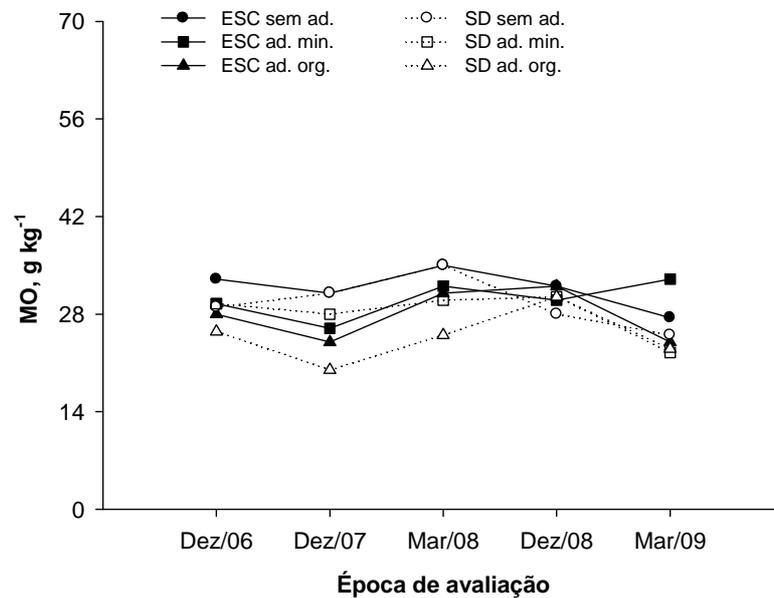


FIGURA 1. Teor de matéria orgânica no solo (MO) na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1^a época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2^a época – semeadura do feijão miúdo; 3^a época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4^a época – semeadura do sorgo; 5^a época – maturação do sorgo).

Analisando os dados apresentados na figura 1, verifica-se que, por ocasião da abertura ou instalação da área experimental, com o solo ainda na sua condição original de campo nativo (avaliação feita em dezembro de 2006, por Gilles, 2008), os valores de matéria orgânica no solo, em cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, se encontravam relativamente próximos uns dos outros, com valor médio aproximado de 28 g kg⁻¹. Dentro de limites, isso indica a relativamente boa uniformidade do solo na área experimental, quanto à variável em consideração. Em relação às demais épocas de avaliação (agora já no período experimental da presente pesquisa), comparadas entre si e com a época recém analisada (primeira), os valores de matéria orgânica no solo diferiram pouco entre si, em todos os tratamentos, tenham eles sido de preparo do solo ou tipos de adubação, sem tendência ou regularidade nos seus resultados. Essa variação relativamente

pequena e irregular nos teores de matéria orgânica do solo, tanto entre tratamentos quanto entre épocas de avaliação, pode ser considerada normal, uma vez que o tempo de experimentação (três anos) foi relativamente curto para se poder detectar mudanças apreciáveis no conteúdo dessal variável.

- Diâmetro médio ponderado de agregados

Os resultados da avaliação do diâmetro médio ponderado de agregados do solo (DMP), na sua camada de 0 a 0,10 m, efetuada em diferentes épocas desde pouco antes do primeiro estabelecimento dos tratamentos na área experimental, com o solo ainda na sua condição de campo nativo, até o último ciclo cultural abrangido por esta pesquisa (segundo e terceiro anos de cultivo com culturas anuais em fileira), antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, são apresentados na figura 2. Devido a questões operacionais e tempo, não foi possível avaliar a variável em consideração por ocasião da semeadura do feijão miúdo (Dez/08), razão pela qual na referida figura constam apenas quatro épocas de avaliação. Analisando os dados na figura 2, verifica-se que, por ocasião da abertura ou instalação da área experimental, quando o solo ainda se encontrava na sua condição original de campo nativo (primeira avaliação, efetuada em dezembro de 2006, por Gilles, 2008), os valores de DMP, em cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, diferiram um pouco mais entre si, comparados aos de matéria orgânica (Figura 1), com valor médio aproximado de 4,8 mm. Com base nisso, e dentro de limites, pode-se dizer que o solo da área experimental se apresentava relativamente uniforme também quanto à essa variável. Em relação às demais épocas de avaliação (agora já no período experimental desta pesquisa), comparadas entre si e com a época recém analisada (primeira), verifica-se que as diferenças nos valores de DMP entre tratamentos, apesar de irregulares ou sem tendência, se mativeram aproximadamente como na primeira avaliação (condição de campo nativo) e, exceto os tratamentos com semeadura direta na última avaliação (Mar/09), que tiveram seus valores aumentados, tenderam a diminuir com o passar do tempo. Considerações sobre esses fatos serão efetuadas a seguir.

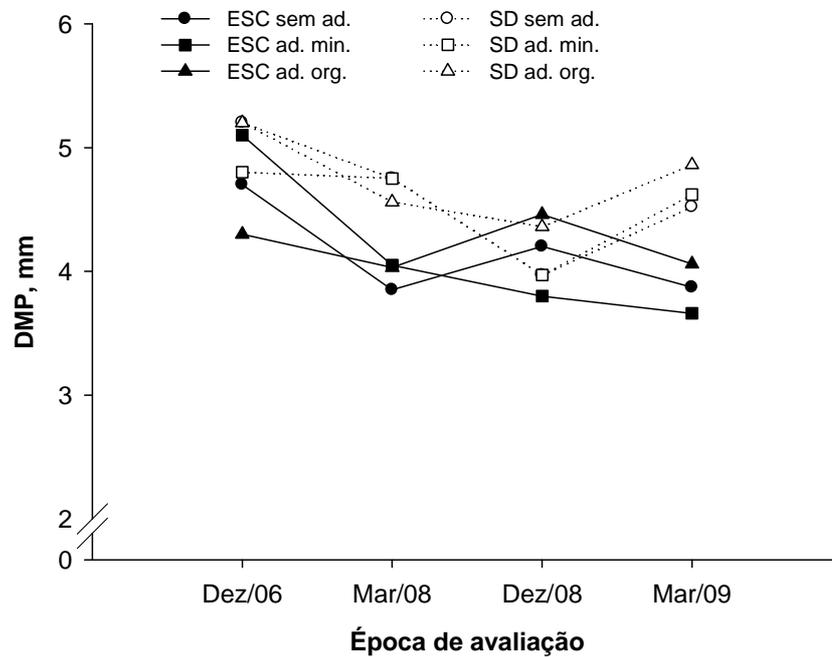


FIGURA 2. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo, na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).

As diferenças nos valores de DMP neste estudo podem também terem sido devido à variação nos ciclos de umedecimento e secagem do solo, uma vez que são muito afetados por eles (Dexter, 1991), bem como pela variação devido à ação das raízes das plantas (Carpenedo e Mielniczuk, 1990; Volk 2006). Alguns trabalhos têm demonstrado que a semeadura direta, principalmente na camada mais superficial do solo, tende a apresentar valores de DMP maiores com o passar do tempo (Albuquerque et al., 1994; Andreola et al., 2000; Costa et al., 2003), comparados aos de escarificação e/ou do preparo convencional, o que, neste estudo, algumas vezes ocorreu. A tendência de, neste estudo, os valores de DMP diminuírem com o passar do tempo (exceto três casos na última avaliação), comparados aos do solo na sua condição original de campo nativo, muito provavelmente se deveu à mudança no tipo de uso da terra, em que, quando

passado de pastagem nativa para culturas anuais em fileira, o processo de cultivo, por si só, mesmo com o tempo de experimentação tendo sido relativamente curto (três anos), foi suficiente para causar algum prejuízo à estrutura do solo.

- Densidade global

Os resultados da avaliação da densidade global ou do solo, na sua camada de 0 a 0,10 m, efetuada em diferentes épocas desde pouco antes do primeiro estabelecimento dos tratamentos na área experimental (solo ainda na condição de campo nativo) até o último ciclo cultural abrangido por esta pesquisa (segundo e terceiro anos de cultivo com culturas anuais em fileira), antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, são apresentados na figura 3. Analisando os dados nessa figura, verifica-se que, de modo semelhante ao ocorrido com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo (Figura 2), houve considerável irregularidade (falta de tendência) nos resultados no que se refere às condições de adubação, em qualquer dos métodos de preparo do solo, mas com os valores tendo sido maiores na semeadura direta do que na escarificação e, exceto a última época de avaliação, em que houve aumento, todos eles consideravelmente diminuindo com o passar do tempo. Observa-se também que, principalmente na escarificação, os valores de densidade do solo tenderam a serem menores nas avaliações efetuadas pouco antes da semeadura das culturas (segunda e quarta épocas de avaliação) e maiores nas efetuadas no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (terceira época de avaliação) e de maturação do sorgo (quinta época de avaliação). Considerações sobre essas ocorrências serão efetuadas a seguir.

A irregularidade observada nos valores de densidade do solo entre as condições de adubação, em parte pode ser explicada pelo relativamente curto período de tempo da experimentação (três anos) e, em parte, pelo relativamente pequeno número de amostras coletadas nas parcelas experimentais (duas, ao acaso) para proceder tal tipo de avaliação. Os maiores valores de densidade do solo observados na semeadura direta se deveram à ausência de mobilização de solo na mesma, assim como os menores valores observados na escarificação se deveram, exatamente, à mobilização do solo, que é um dos principais recursos a

serem lançadas mãos para deixá-lo mais solto e, assim, com melhores condições físicas para deixar entrar ar e água na sua superfície e a mesma se movimentar melhor no seu interior (Stone et al., 2001; Falleiro et al., 2003). Entretanto, esses autores ressaltam que o efeito positivo da escarificação nas condições físicas do solo, decorrente da sua mobilização, é efêmero, tendendo a diminuir e, até, desaparecer com o passar do tempo, dependendo de condições. Em relação aos menores valores de densidade do solo nas épocas de avaliação que antecederam o seu preparo e a semeadura das culturas, uma possível razão pode estar relacionada com a grande quantidade de raízes da cultura de inverno (no caso aveia preta), presente no solo nessa época de avaliação (não quantificada, porém visível e facilmente constatada), o que também foi observado por Debiasi (2008).

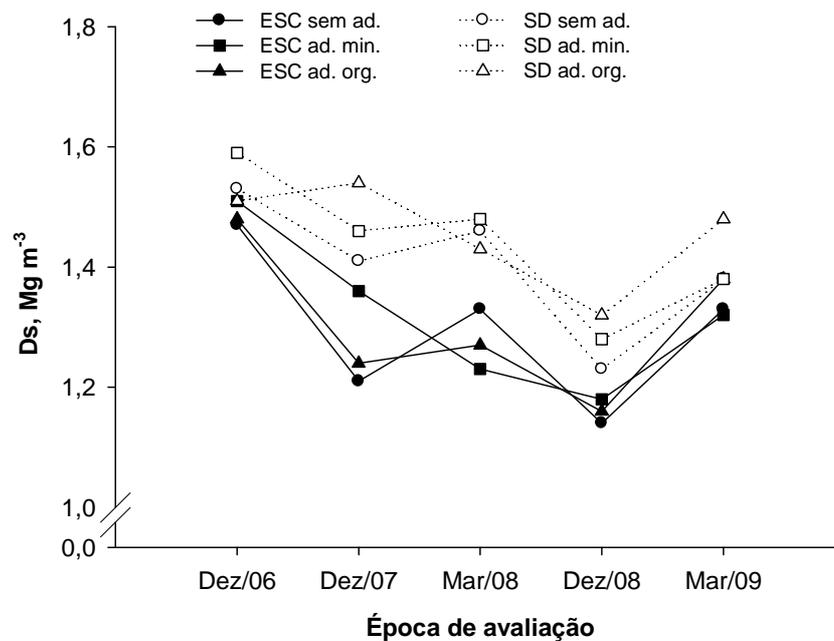


FIGURA 3. Densidade do solo (Ds) na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1^a época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2^a época – semeadura do feijão miúdo; 3^a época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4^a época – semeadura do sorgo; 5^a época – maturação do sorgo).

- Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os resultados da avaliação destas variáveis, na camada de solo de 0 a

0,10 m, efetuada em diferentes épocas desde pouco antes do primeiro estabelecimento dos tratamentos na área experimental (solo ainda na condição de com campo nativo) até o último ciclo cultural abrangido por esta pesquisa (segundo e terceiro anos de cultivo com culturas anuais em fileira), antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, são apresentados na figura 4. Analisando os dados nessa figura, verifica-se que, de modo geral, a macroporosidade e a porosidade total do solo foram um pouco maiores na escarificação e a microporosidade um pouco maior na semeadura direta. Resultados semelhantes foram obtidos por Tormena et al. (1998); Bertol et al., (2000); Tormena et al., (2004) e Bertol et al., (2004). Observa-se também na figura 4 que, com raras exceções, a macroporosidade tendeu a aumentar, a microporosidade a diminuir e a porosidade total foi pouca alterada com o passar do tempo, sem tendência clara ou definida nos resultados quanto à influência dos tipos de adubação, em qualquer dos métodos de preparo do solo. Considerações a respeito dessas ocorrências serão efetuadas a seguir.

O comportamento e as diferenças observadas nos resultados das variáveis em consideração, em parte podem ser explicadas pelas mesmas razões apontadas na análise dos resultados de densidade do solo, vista anteriormente. Igualmente como lá, devem ser incluídas aqui as razões decorrentes das variações ao acaso e do relativamente pouco tempo de experimentação (três anos). Especificamente no que se refere aos métodos de preparo de solo, como também argumentado por Tormena et al. (2004), há que se dizer que a sua mobilização aumenta o número de poros drenáveis ou macroporos, enquanto que os preparos com mínimo ou nenhum revolvimento de solo reduzem a porosidade total e invertem a proporção de poros de maior tamanho ou macroporos, em relação a poros de menor tamanho ou microporos, e, ao final, havendo predominância destes últimos. Outro fator que pode ter influenciado os resultados está relacionado com a presença de bioporos, sejam eles formados pelas raízes ou pela microbiota do solo. Segundo Dexter (1991), esses canais fazem parte de processos naturais de melhoria das características do solo, como aumento da macroporosidade e, em decorrência, da infiltração de água (Bennie, 1996; Nicoloso et al., 2008)

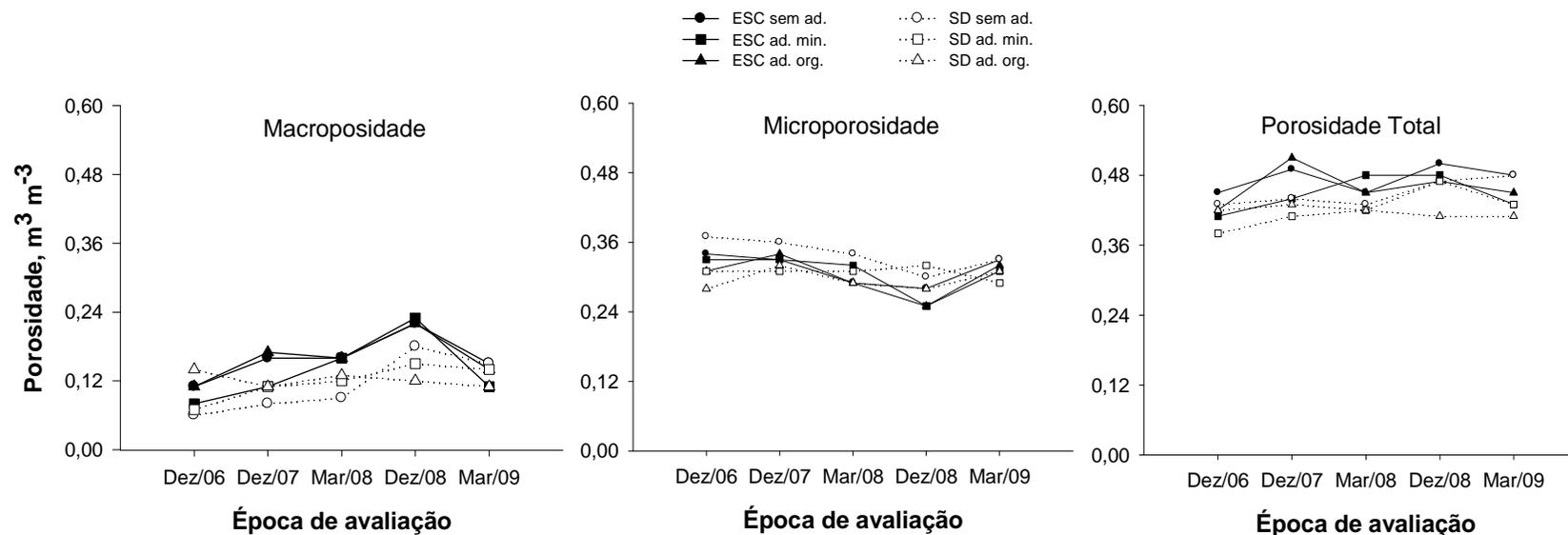


FIGURA 4. Macro, micro e porosidade total do solo na sua camada de 0 a 0,10 m, em diferentes épocas durante o período experimental, nos tratamentos estudados (Obs: 1ª época – solo ainda na condição de campo nativo, com os valores mostrados correspondendo a cada local onde, poucos dias mais tarde, pela primeira vez foram estabelecidos os tratamentos da pesquisa, usando a cultura do milho como planta-teste, conforme consta em Gilles, 2008; 2ª época – semeadura do feijão miúdo; 3ª época – enchimento de legumes do feijão miúdo; 4ª época – semeadura do sorgo; 5ª época – maturação do sorgo).

4.1.2. Condições físicas superficiais do solo durante o período experimental

- Cobertura por resíduos culturais, rugosidade superficial induzida pelo preparo e consolidação da camada arável

Os resultados da avaliação destas variáveis, efetuada logo após as operações de preparo do solo e/ou semeadura das culturas, são apresentados na tabela 1. Analisando os dados nessa tabela, verifica-se que a cobertura por resíduos culturais e a consolidação da superfície do solo foram maiores nos tratamentos com semeadura direta, enquanto que a rugosidade superficial induzida pelo preparo foi maior nos tratamentos com escarificação, devido, respectivamente, à não-mobilização e à mobilização do solo. O relativamente baixo valor de cobertura por resíduos culturais logo após a semeadura do feijão miúdo, nos dois métodos de preparo do solo (Figuras 5a e 5b), se deveu ao fato de não ter sido efetuado o cultivo de inverno no ano de 2007, por conseguinte não tendo sido produzida a quantidade de resíduos culturais que se produziria caso o mesmo tivesse sido feito. O resíduo que existia era constituído de vegetação espontânea dessecada. Já logo após a semeadura do sorgo (Figuras 5c e 5 d), a quantidade de resíduos culturais produzida foi grande, principalmente nos tratamentos com adubação (média em torno de 7.000 kg ha⁻¹, contra 2.500 kg ha⁻¹ na média dos tratamentos sem adubação – Tabela 2), porque foi semeada aveia preta como cultura de inverno de 2008. Devido a isso, também foram grandes os valores de cobertura do solo por tais resíduos, comparados aos do ano anterior, especialmente nos tratamentos com semeadura direta. Quanto à rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de seu preparo (Tabela 1), verifica-se que foram maiores (numérica e qualitativamente) nos tratamentos com escarificação do que nos com semeadura direta, em qualquer das condições de adubação. Essa ocorrência pode ser considerada normal, uma vez que as hastes do escarificador causaram maior revolvimento no solo do que as hastes sulcadoras da máquina de semeadura direta. Como será visto adiante, a rugosidade superficial do solo induzida pelo seu preparo influenciou os valores das variáveis de erosão hídrica pluvial medidas neste estudo.

TABELA 1. Cobertura por resíduo cultural, rugosidade superficial induzida pelo preparo e consolidação da camada arável do solo, avaliadas logo após o seu preparo e/ou a semeadura das culturas, antes da realização do primeiro teste de erosão em cada uma destas últimas, nos tratamentos estudados

Tratamento	Cobertura por resíduo cultural		Rugosidade induzida pelo preparo		Consolidação da camada arável
	Cultura do feijão miúdo ¹ -----m ²	Cultura do sorgo ² m ² -----	Cultura do feijão miúdo ---cm---	Cultura do sorgo	Cultura do feijão miúdo e do sorgo
ESC ³ sem ad.	0,19	0,35	1,02	Média/grande	Ausente
ESC ad. min.	0,18	0,63	1,22	Média/grande	Ausente
ESC ad. org.	0,16	0,57	1,04	Média/grande	Ausente
SD ⁴ sem ad.	0,57	0,69	0,64	Mínima/pequena	Presente
SD ad. min.	0,52	1	0,22	Mínima/pequena	Presente
SD ad. org.	0,62	0,96	0,39	Mínima/pequena	Presente

¹Resíduos culturais remanescentes, predominantemente constituídos de vegetação espontânea dessecada. ²Resíduos culturais remanescentes de aveia preta e de alguma vegetação espontânea dessecada. ³Escarificação. ⁴Semeadura direta (Obs: a cobertura do solo no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo e de maturação do sorgo era de 100% em todos os tratamentos, constituída de resíduos culturais remanescentes, de alguma vegetação espontânea e do dossel das próprias plantas).

No que se refere à consolidação da camada arável do solo (Tabela 1), neste estudo em grande extensão ela esteve presente somente nos tratamentos com semeadura direta, uma vez que nos tratamentos com escarificação o solo foi mobilizado pelas hastes do escarificador, usado na referida operação. Assim, do mesmo modo como para a rugosidade superficial induzida pelo preparo, verificar-se-á adiante que a consolidação da camada arável do solo também influenciou os valores das variáveis de erosão hídrica pluvial medidas neste estudo.

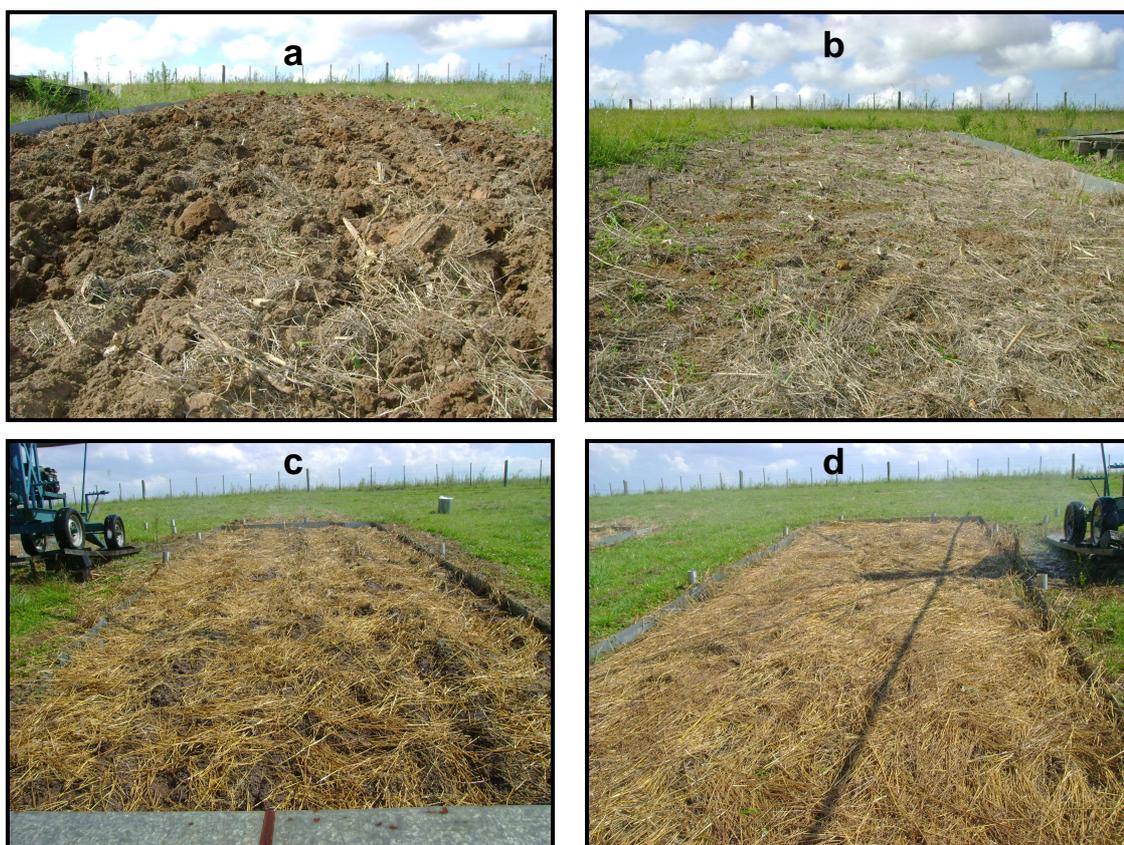


FIGURA 5. Vista geral das condições físicas superficiais do solo logo após o seu preparo e a semeadura das culturas, em dois tratamentos seleccionados (Obs: a e b, feijão miúdo, e c e d, sorgo, com as imagens da esquerda pertencendo à escarificação e da direita à semeadura direta).

4.1.3. Atributos de planta durante o período experimental

Os resultados da avaliação de alguns atributos de planta (altura média, biomassa aérea e biomassa subterrânea), efetuada cerca de noventa dias após a semeadura das culturas (estádio fenológico de enchimento de legumes no caso do feijão miúdo e de maturação no do sorgo), antes da realização do segundo teste de erosão com chuva simulada em cada uma destas últimas, são apresentados na tabela 2. Analisando os dados nessa tabela, verifica-se que os atributos de planta referidos diferiram entre os tratamentos estudados, tanto em relação aos métodos de preparo do solo quanto aos tipos de adubação, como será discutido a seguir.

A altura média de plantas do sorgo (Tabela 2), praticamente não diferiu entre os métodos de preparo do solo e tipos de adubação, exceto a condição sem adubação, na qual foi maior na escarificação do que na semeadura direta e menor

do que em qualquer uma das condições com adubação. No que se refere à biomassa vegetal aérea, em ambas as culturas e em qualquer das condições de adubação, foi maior na escarificação do que na semeadura direta. Em relação ao tipo de adubação, na semeadura direta a biomassa vegetal aérea não foi influenciada, nem na situação com o feijão miúdo, nem com a do sorgo, enquanto que na escarificação ela foi maior na adubação mineral quando com a primeira cultura e maior na adubação orgânica quando com a segunda cultura referida. Chama a atenção nos resultados a grande diferença na quantidade de biomassa vegetal aérea produzida pelas culturas usadas no estudo, em qualquer das situações da pesquisa, com superioridade marcante da do sorgo sobre a do feijão miúdo, o que é normal, entretanto, tendo em vista serem elas culturas distintas. Quanto à biomassa vegetal subterrânea, de modo parecido ao da biomassa vegetal aérea, em ambas as culturas e em qualquer das condições de adubação foi maior na escarificação do que na semeadura direta, e em ambos os métodos de preparo do solo foi menor na condição sem adubação do que nas com adubação. Especificamente em relação ao tipo de adubação, o comportamento da biomassa vegetal subterrânea foi bastante irregular, tanto no que se relaciona aos métodos de preparo do solo quanto aos tipos de cultura. Dessa vez, chama a atenção nos resultados a pouca quantidade de biomassa vegetal subterrânea produzida pela cultura do sorgo, na camada de solo de 0 - 0,10 m, comparada à produzida pela cultura do feijão miúdo, contrariamente ao ocorrido com a biomassa vegetal aérea e, também, com os valores obtidos por outros autores (Volk & Cogo, 2008; Portela, 2009). Possíveis explicações para algumas das ocorrências relatadas serão dadas a seguir.

TABELA 2. Atributos de planta contemplados na pesquisa, avaliados aproximadamente noventa dias após a semeadura das culturas (estádio fenológico de enchimento de legumes para o feijão miúdo – março de 2009 – e de maturação para o sorgo – março de 2010, antes do teste de erosão realizado em cada um dos referidos estádios), nos tratamentos estudados

Tratamento	Altura média de plantas		Biomassa aérea		Biomassa subterrânea (0 - 0,10 m)	
	Feijão miúdo	Sorgo	Feijão miúdo	Sorgo	Feijão miúdo	Sorgo
	-----m-----		-----kg ha ⁻¹ -----			
ESC ¹ sem ad.	- ³	1,62	3.700	10.800	4.520	1.050
ESC ad. min.	- ³	2,08	5.800	17.400	5.100	1.990
ESC ad. org.	- ³	2,08	4.213	19.500	4.990	2.360
SD ² sem ad.	- ³	1,44	2.470	9.100	3.540	1.000
SD ad. min.	- ³	2,04	3.963	16.900	4.240	1.350
SD ad. org.	- ³	2,04	4.088	16.900	3.470	1.740

¹Escarificação. ²Semeadura direta. ³Não avaliada

A maior produção de biomassa vegetal aérea e de biomassa vegetal subterrânea nos tratamentos com escarificação, em qualquer das condições de adubação e em ambos os tipos de cultura, se deveu, essencialmente, à mobilização do solo, aumentando a relação área/volume do mesmo e, em decorrência, diminuindo sua densidade global, ao mesmo tempo em que aumentando a macroporosidade e a porosidade total da sua camada mobilizada. (lembra-se que esta última inclui as microdepressões ou cavidades originadas do preparo ou vazios grandes superficiais), assim facilitando a penetração de raízes e permitindo maior crescimento vegetal como um todo. Há ainda que se considerar que, decorrente das melhores condições físicas momentâneas superficiais e subsuperficiais do solo na escarificação, comparadas às da semeadura direta, aumentam as taxas de infiltração de água no solo, o que eleva seu conteúdo de umidade para posterior aproveitamento pelas plantas, além da melhor disponibilidade de nutrientes pelo processo de difusão, em função do aumento da sua dissolução em água (Costa et al., 2009). A menor quantidade de biomassa vegetal aérea e subterrânea nos tratamentos sem adubação, comparada aos com adubação, em ambos os tipos de cultura e em qualquer dos métodos de preparo do solo, foi um acontecimento normal, motivado pela insuficiência de elementos nutritivos necessários ao crescimento vegetal. Quanto às diferenças nos atributos

de planta, em função do tipo de adubação (mineral e orgânica), conforme mencionado não houve tendência nos resultados, nem em relação aos tipos de cultura, nem em relação aos métodos de preparo do solo, o que deixa o assunto para ser esclarecido melhor em estudos futuros, de mesma natureza deste. Entretanto, se supõe as seguintes principais causas para tal ocorrência: relativamente curto período de experimentação (três anos), falta de repetição nos tratamentos da pesquisa e pequeno número de amostras coletadas nas parcelas experimentais, para devidamente avaliar tais atributos de planta, principalmente no que se refere à biomassa de raízes, que foi a que apresentou maior irregularidade nos resultados. Ademais, e por se julgar de importância, informa-se que era esperado, pelo menos no curto prazo, maior produção de biomassa vegetal aérea e subterrânea na adubação mineral, o que, de fato, em um e outro caso ocorreu, em função da maior disponibilidade de nutrientes na mesma, decorrente da maior solubilidade desse tipo de adubo em água, comparado ao adubo orgânico usado no estudo (esterco seco de aves).

4.2. Variáveis de erosão hídrica do solo

4.2.1. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas

Na tabela 3 são apresentados os resultados da avaliação do teor de água no solo, em duas de suas camadas, efetuada em duas épocas em cada ciclo cultural contemplado na pesquisa (feijão miúdo e sorgo), antecedendo os testes de erosão com chuva simulada que foram realizados nos mesmos, nos tratamentos estudados. A variável em pauta perfaz outra condição, inerente à camada superficial do solo, que pode afetar muito as variáveis de erosão hídrica.

TABELA 3. Teor de água no solo, em duas de suas camadas, avaliado em duas épocas em cada ciclo cultural contemplado na pesquisa, antecedendo os testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados

Tratamento	Teor de água no solo							
	Feijão miúdo – Verão de 2007/2008				Sorgo – Verão de 2008/2009			
	Semeadura		Enchimento de legumes		Semeadura		Maturação	
	0–0,1 m	0,1–0,2 m	0–0,1 m	0,1–0,2 m	0–0,1 m	0,1–0,2 m	0–0,1 m	0,1–0,2 m
	-----kg kg ⁻¹ -----							
ESC ¹ sem ad ³ .	0,16	0,17	0,10	0,11	0,16	0,17	0,16	0,17
ESC ad. min ⁴ .	0,13	0,14	0,09	0,09	0,19	0,17	0,11	0,14
ESC ad. org ⁵ .	0,13	0,15	0,09	0,09	0,12	0,17	0,14	0,15
SD ² sem ad.	0,16	0,16	0,14	0,12	0,17	0,17	0,15	0,15
SD, ad. min.	0,13	0,13	0,09	0,10	0,16	0,15	0,13	0,13
SD ad. org.	0,12	0,13	0,09	0,11	0,14	0,16	0,13	0,13

¹Escarificação. ²Semeadura direta. ³Sem adubação. ⁴Adubação mineral. ⁵Adubação orgânica.

Analisando os dados na tabela 3, verifica-se que o teor de água no solo, para uma mesma camada do mesmo e uma mesma época de avaliação, variou relativamente pouco entre os tratamentos estudados, exceto uma e outra variação mais expressiva entre as épocas de avaliação. Observa-se também na referida tabela que os maiores valores de teor de água no solo, de modo geral, estiveram sempre associados à camada do mesmo de 0,10 - 0,20 m. Esses resultados podem ser considerados normais, assim dispensando qualquer comentário adicional a respeito. Com base no exposto, pode-se dizer que a umidade antecedente do solo, para um mesmo teste de erosão ou uma mesma época de avaliação, não constituiu causa de variação nos resultados da pesquisa que merecesse preocupação, no que se refere aos valores das variáveis de erosão hídrica que foram medidas na medidas, e as quais serão apresentadas e discutidas a seguir.

4.2.2. Distribuição temporal das taxas instantâneas de descarga da enxurrada (hidrogramas), das concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada e das taxas instantâneas de perda de solo por erosão (sedimentogramas)

Em função das feições de cada método de preparo do solo e/ou de semeadura da cultura usado no estudo e da variação comumente observada nos resultados de pesquisas de erosão do tipo desta, e com o intuito de contribuir com informações para a área de conhecimento do assunto, julgou-se interessante detalhar os processos de erosão hídrica pluvial do solo e do escoamento superficial a ele associado ao longo das chuvas simuladas aplicadas ou o comportamento temporal dos mesmos. Assim, usando os valores observados das taxas instantâneas de descarga da enxurrada e de suas correspondentes concentrações de sedimento, construíram-se os hidrogramas de enxurrada e os sedimentogramas de erosão, os quais são apresentados, respectivamente, nas figuras 6 e 7, para cada cultura usada no estudo. Por questão de coerência com os processos representados por essas figuras, são informados nas mesmas os valores reais ou observados das intensidades das chuvas simuladas aplicadas, os quais poderão ser úteis no cálculo dos valores do coeficiente de enxurrada - C - da Fórmula Racional de predição da vazão ou taxa de descarga máxima da enxurrada. Os resultados

apresentados nessas figuras serão analisados e discutidos conforme sua ordem de obtenção no campo, do modo feito a seguir.

Iniciando a análise com os hidrogramas da enxurrada (Figura 6), verifica-se que, exceto os associados ao teste de erosão realizado no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (Figura 6b), em que, de modo geral foram muito parecidos e apresentaram valores baixos de suas feições morfológicas, se diferenciaram muito entre si, com valores altos e baixos. Isto aconteceu no que se refere tanto ao tempo de partida ou início do escoamento superficial e tempo de equilíbrio, quanto à forma e magnitude, conforme os tratamentos estudados. Entretanto, observa-se que não houve regularidade ou constância da referida diferenciação entre os tratamentos nos mencionados testes de erosão ou períodos de desenvolvimento das culturas, tenham eles sido de preparo do solo ou de condições de adubação, ora uns se sobressaindo, ora outros. Independentemente disto, contudo, em todos os testes de erosão ou períodos de desenvolvimento das culturas se destacaram os hidrogramas associados ao tratamento semeadura direta sem adubação (SD sem ad.) como os que mais rapidamente se desenvolveram e apresentaram magnitude maior, e os associados ao tratamento escarificação com adubação mineral (ESC ad. min.), na maior parte dos testes de erosão, como os que mais tardiamente se desenvolveram e apresentaram magnitude menor, com os demais tratamentos tendo apresentado comportamento bastante variado, conforme mencionado. No que se refere à distribuição temporal das taxas instantâneas de descarga da enxurrada, verifica-se na figura 6 e suas divisões que foi bastante uniforme praticamente em todas as situações da pesquisa, gradativamente aumentando seus valores com o transcorrer das chuvas e atingindo ou tendendo a atingir o tempo ou a condição de equilíbrio, porém em magnitudes diferentes, conforme os tratamentos. Resultados semelhantes aos relatados, também foram observados por Bertol et al (2008) e Portela (2009), em estudos do tipo deste. Algumas considerações sobre essas ocorrências, serão efetuadas a seguir.

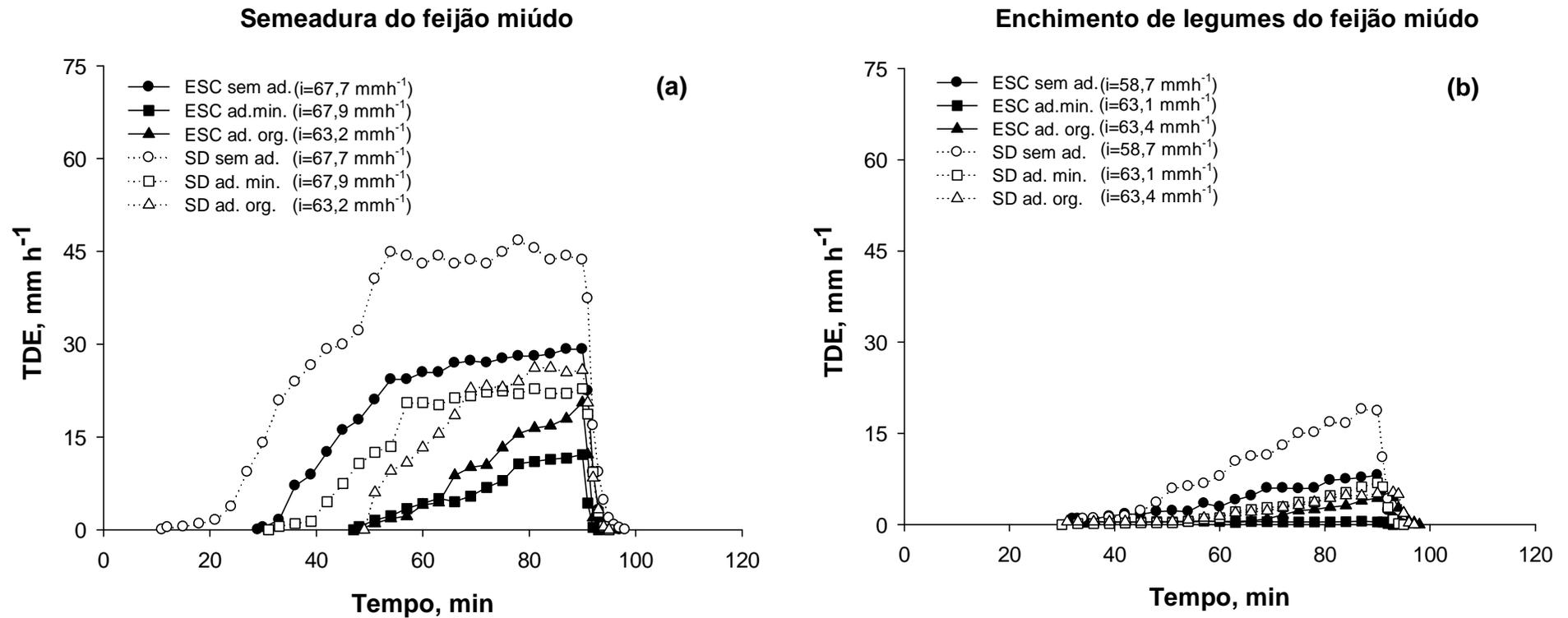


FIGURA 6. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) nos testes de erosão realizados logo após a sementeira e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a e b), no verão de 2007/2008, e logo após a sementeira e no estágio fenológico de maturação do sorgo (c e d), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados

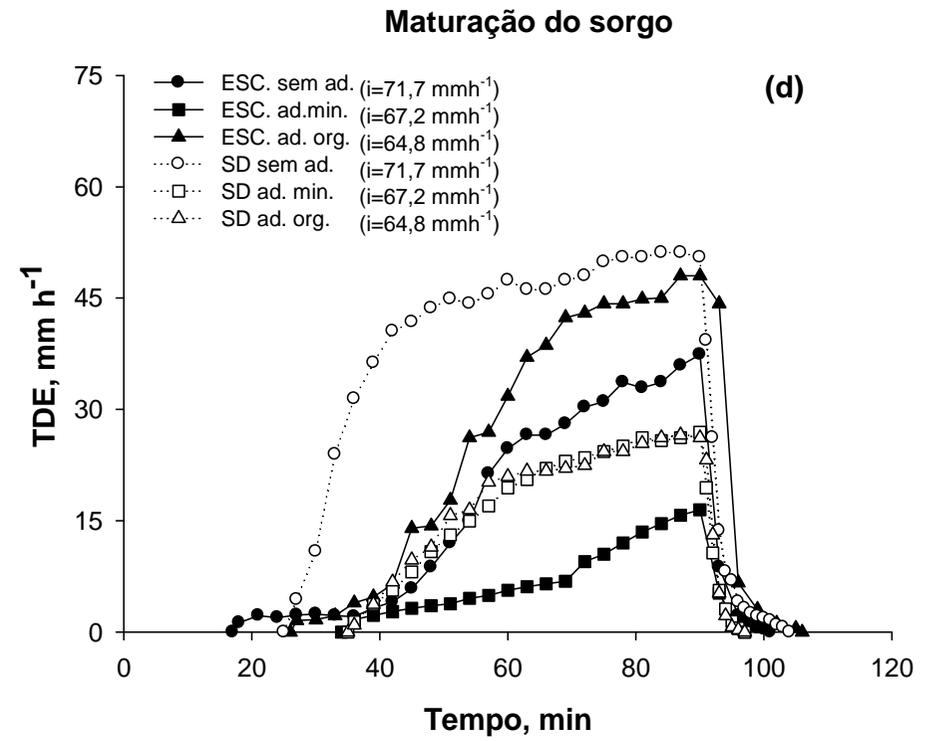
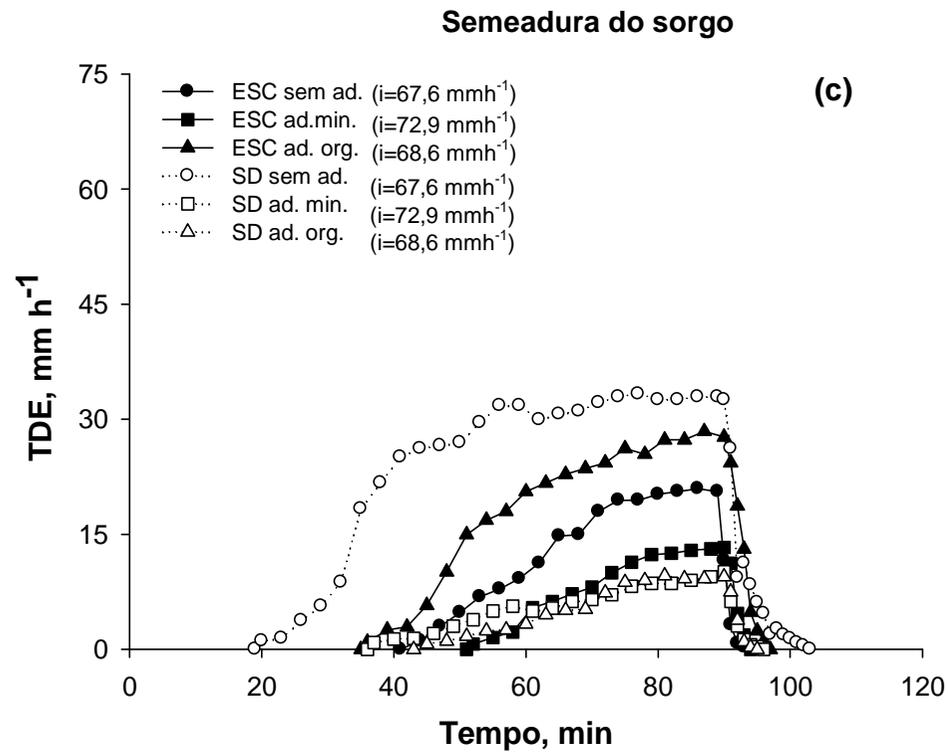


FIGURA 6. Continuação.

As razões para as diferenças nos hidrogramas de enxurrada entre os tratamentos foram devidas às diferentes condições físicas externas e internas do solo, principalmente as criadas pelo seu preparo e/ou pela semeadura das culturas, como cobertura por resíduos culturais e rugosidade superficial (Tabela 1), mas também devido à umidade do solo antecedente às chuvas simuladas (Tabela 3) e as próprias culturas, devido suas diferentes características fenológicas. Quanto à falta de regularidade ou inconstância das diferenças entre os tratamentos nos testes de erosão, provavelmente se deveu a alguma variação no solo, não medida ou não detectada nos procedimentos de análise usados, bem como à variação ao acaso. Por fim, no que diz respeito à distribuição temporal crescente e regular dos valores das taxas instantâneas de descarga da enxurrada, o primeiro fato é explicado pelo aumento do teor de água no solo com o transcorrer das chuvas e, o segundo, pelo fato de o escoamento superficial ser um processo contínuo e regular, relativamente pouco afetado pelas alterações nas condições físicas externas ou superficiais do solo, causadas pela ação das chuvas que sobre ele eventualmente incidem. Explicações mais plausíveis para as diferenças observadas nos hidrogramas de enxurrada, motivadas pelos tratamentos estudados, serão tentadas serem dadas adiante, durante a análise dos resultados do tempo de início da enxurrada e da quantidade total desta última ou perda total de água.

No que se refere aos sedimentogramas de erosão, os resultados obtidos são apresentados na figura 7, sendo que as figuras 7a e 7c os construídos com os dados das concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada e os das figuras 7b e 7d com os das taxas instantâneas de perda de solo por erosão. Os sedimentogramas em pauta foram construídos somente para os testes de erosão realizados logo após a semeadura das culturas usadas no estudo, tendo em vista que não houve erosão mensurável, nem no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo, nem no de maturação do sorgo, devido às integrais coberturas de solo nos mesmos, constituídas por resíduos culturais remanescentes e pelo dossel das referidas culturas, em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo.

Analisando os dados na figura 7 (letras a a d), verifica-se que ambos os tipos de sedimentograma da erosão apresentaram comportamento semelhante ao dos hidrogramas da enxurrada, no se refere ao início de desenvolvimento

ou tempo de partida, o que é normal, uma vez que, tão logo inicia a enxurrada, ela imediatamente transporta para fora da área de ocorrência do fenômeno alguma quantidade das partículas desagregadas do solo. Entretanto, quanto às demais feições ou características de construção (tempo de equilíbrio, forma e magnitude), resultantes dos tratamentos estudados, bem como quanto à distribuição temporal dos valores pertinentes, verifica-se na figura 7 e suas divisões que ambos os tipos de sedimentograma da erosão consideravelmente diferiram dos hidrogramas da enxurrada (Figura 6). Assim, na maioria das vezes, para qualquer das culturas usadas no estudo, se destacaram os sedimentogramas (ambos os tipos, de concentração de sedimento na enxurrada e de taxa de perda de solo por erosão) associados aos tratamentos com escarificação (ESC) como os que apresentaram maior magnitude. Dentre as condições de adubação, se sobressaiu a da sem adubação (ESC sem ad.), com os valores mais altos dos referidos sedimentogramas, e os associados aos tratamentos com semeadura direta (SD), como os que apresentaram sedimentogramas de menor magnitude e, de modo geral, dentre os mesmos também se sobressaindo o da condição sem adubação (SD sem ad.) com os valores mais altos. Quanto às diferenças nos sedimentogramas causadas pelo tipo de adubação (mineral e orgânica), foram pequenas, comparadas à da condição sem adubação. No que diz respeito à distribuição temporal dos valores usados na construção dos sedimentogramas em consideração, também diferiu da observada nos hidrogramas da enxurrada. Assim, observa-se na figura 7 e suas divisões que, nos tratamentos com escarificação (ESC), ambas, concentração de sedimento na enxurrada (Figuras 7a e 7c) e taxa de perda de solo por erosão (Figuras 7b e 7d), aumentaram com o transcorrer das chuvas e atingiram valores altos, porém sem alcançarem a condição de equilíbrio, enquanto que, nos tratamentos com semeadura direta (SD), os valores das referidas variáveis permaneceram praticamente inalterados no tempo e apresentaram valores baixos. Verifica-se também na figura 7 e suas divisões, como ocorreu com os hidrogramas da enxurrada (Figura 6), que houve boa regularidade na distribuição temporal dos valores das variáveis em consideração. Algumas considerações a respeito das ocorrências relatadas serão efetuadas a seguir.

A maior variação ocorrida nos sedimentogramas da erosão, comparada à verificada nos hidrogramas da enxurrada, é explicada pelo fato de o processo de deposição das partículas erodidas ser bem mais afetado pelas condições físicas externas ou superficiais do solo, tanto as causadas pelos tratamentos que lhe são aplicados quanto as decorrentes das irregularidades ao acaso, do que o processo de escoamento superficial. Quanto às magnitudes dos sedimentogramas da erosão terem sido maiores no teste de erosão realizado logo após a semeadura do feijão miúdo do que do sorgo, se deveu ao fato de, na primeira cultura, ter havido menor percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais (Tabela 1), uma vez que as parcelas experimentais da mesma haviam permanecido na condição de pousio durante o inverno anterior e, assim, apresentavam maior área descoberta diretamente exposta à desagregação de partículas pela ação de impacto das gotas da chuva, além de estarem mais propícias ao livre transporte de solo pela ação da enxurrada. O mesmo pode ser dito em relação às diferenças nos sedimentogramas causadas pelos tratamentos de preparo do solo, em que os com escarificação apresentaram maior magnitude do que os com semeadura direta, porque possuíam menores valores de percentagem de cobertura por resíduos culturais (Tabela1) e, em adição, tiveram seu solo relativamente bastante mobilizado. Estes fatos, em conjunto, propiciaram maior concentração de sedimento na enxurrada e maior taxa de perda de solo, resultando em sedimentogramas da erosão bem maiores nos tratamentos com escarificação do que com semeadura direta. Em relação à pequena diferença nos sedimentogramas da erosão causada pelos tipos de adubação (mineral e orgânica), comparada à observada na condição sem adubação, provavelmente se deveu ao pouco tempo de experimentação, não sendo ainda possível detectar tal efeito, além da variação ao acaso, como já mencionado. Considerações adicionais sobre o conjunto de dados que deu origem aos sedimentogramas da erosão em discussão, serão efetuadas adiante, durante a análise dos resultados das perdas totais finais de solo por erosão.

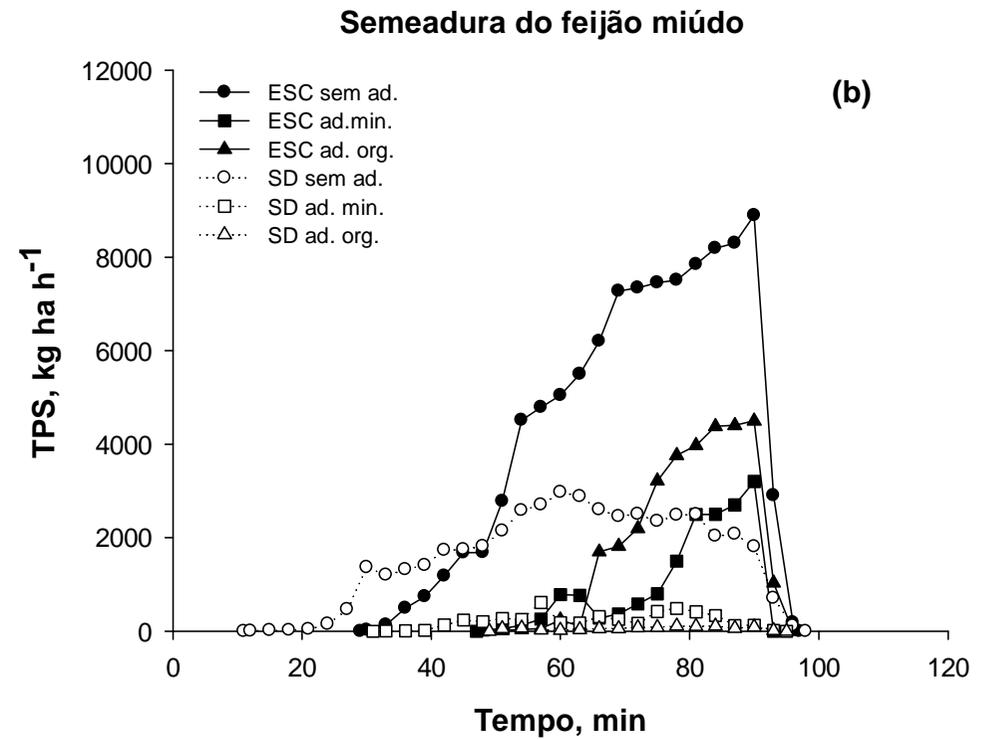
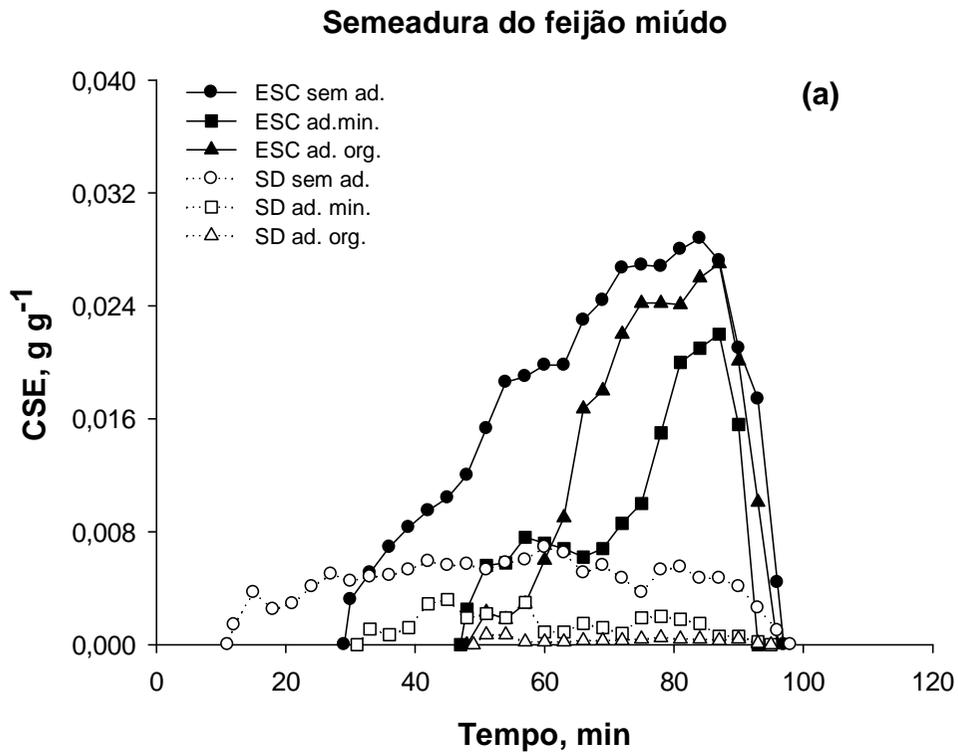


FIGURA 7. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) e taxas instantâneas de perda de solo por erosão (TPS) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura do feijão miúdo (a e b), no verão de 2007/2008, e do sorgo (c e d), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados (Obs: não houve erosão mensurável nos testes realizados no estágio fenológico enchimento de legumes da primeira e no de maturação da segunda cultura referidas).

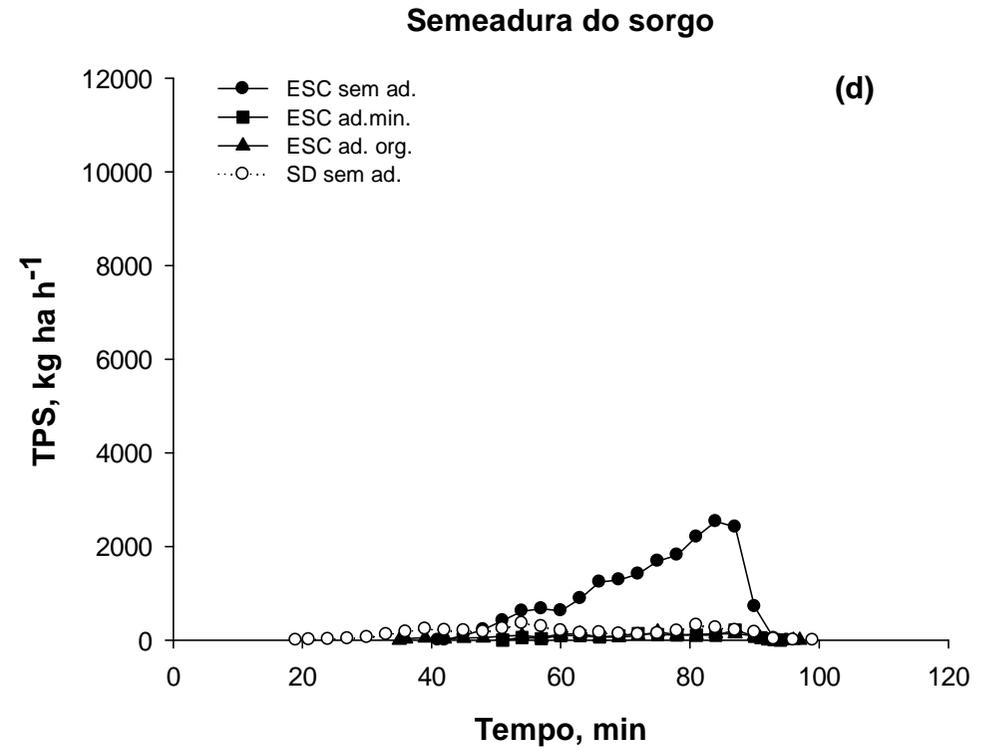
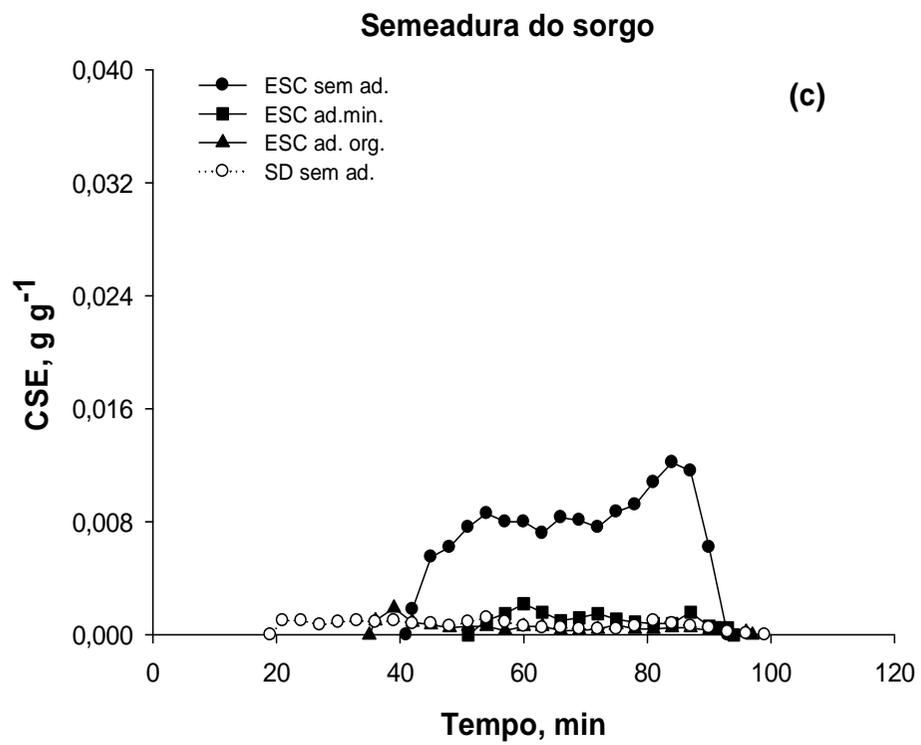


Figura 7. Continuação

4.2.3. Tempo de início da enxurrada

Na figura 8 são apresentados os resultados da medição do tempo de início da enxurrada (T_i), nos testes de erosão realizados na pesquisa, nos tratamentos estudados. Analisando os dados na referida figura, verifica-se que os valores de T_i foram relativamente altos em todos os tratamentos (de 30 a 50 minutos), em ambas as culturas usadas no estudo, exceto alguns deles (semeadura direta sem adubação – SD sem ad. - nos testes realizados na semeadura das culturas - Figuras 8a e 8b na ESC sem ad. no teste realizado na maturação do sorgo - Figura 8b), cujos valores foram relativamente baixos (pouco maiores do que 15 minutos). Em relação às épocas de aplicação das chuvas, observa-se que, tanto na cultura do feijão miúdo (Figura 8a) quanto na do sorgo (Figura 8b), os valores de T_i , de modo geral, foram maiores logo após a semeadura das culturas do que ao redor de noventa dias mais tarde (estádio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo e de maturação do sorgo). Em relação aos métodos de preparo do solo, observa-se que, logo após a semeadura das culturas, tanto a do feijão miúdo, quanto do sorgo, os valores de T_i foram maiores nos tratamentos com escarificação do que nos com semeadura direta, e maiores nos tratamentos com adubação do que nos sem adubação. Já em relação aos testes de erosão realizados no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo e no de maturação do sorgo, não houve tendência clara no que se refere ao efeito, tanto dos preparos de solo, quanto das condições de adubação. Algumas considerações sobre essas ocorrências serão efetuadas a seguir.

Os maiores valores de tempo de início da enxurrada na escarificação no teste de erosão realizado na semeadura das culturas, comparados aos da semeadura direta, podem ser explicados, principalmente, pela maior rugosidade superficial do solo na mesma (Tabela 2) e, decorrente dela, também maior porosidade total da camada preparada, o que favoreceu a retenção e a infiltração superficiais da água da chuva. Deve-se associar a isto, entretanto, a bem menor extensão de superfície de solo consolidada na escarificação, comparada à da semeadura direta, o que também favoreceu a retenção e a infiltração superficiais de água da chuva, apesar de a cobertura do solo por resíduo cultural ter sido bem mais baixa no primeiro método de preparo referido (média de 18% na cultura do feijão miúdo e de 52 % na do

sorgo) do que no segundo (média de 57% na cultura do feijão miúdo e de 88% na do sorgo). Os menores valores de tempo de início da enxurrada (T_i) no teste de erosão realizado no estágio de enchimento de legumes do feijão miúdo e no de maturação do sorgo, comparados ao realizado na semeadura dessas culturas, provavelmente se deveram às inferiores condições físicas (momentâneas) de superfície e subsuperfície do solo no referido teste, para reter e infiltrar água da chuva, especialmente a rugosidade superficial induzida pelo preparo e sua decorrente porosidade total da camada preparada, cujas capacidades para tais processos de captação de água normalmente decaem com o passar do tempo, perdendo efeito no que se refere às suas funções de retardamento da enxurrada, conforme argumentado com maior detalhe por Cogo (1981), Cogo et. al (1983) e Norton et al. (1985). As diferenças relativamente pequenas e irregulares no tempo de início da enxurrada entre os tipos de adubação, podem consideradas normais, uma vez que o tempo de experimentação foi relativamente curto para que os mesmos causassem efeito nas condições físicas internas do solo, possível de ser detectado com os métodos e procedimentos empregados nesta pesquisa.

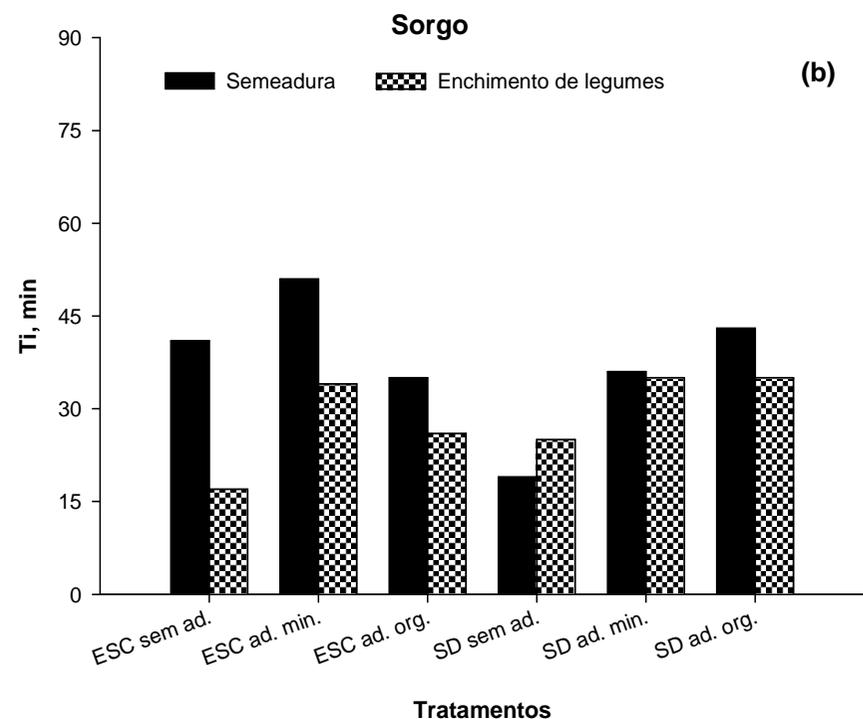
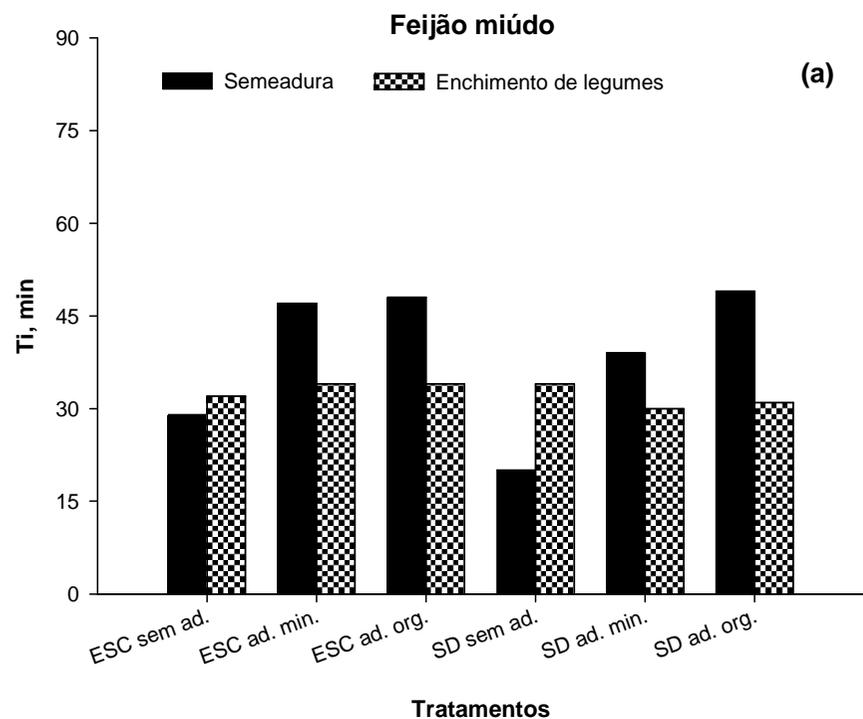


FIGURA 8. Tempo de início da enxurrada (T_i) nos testes de erosão realizados logo após a sementeira e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo, no verão de 2007/2008, e logo após a sementeira e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.

4.2.4. Altura da lâmina de água da chuva superficialmente retida e infiltrada no solo no período de pré-enxurrada

Na figura 9 são apresentados os valores de altura da lâmina de água da chuva retida e infiltrada na superfície do solo no período de pré-enxurrada (LAPE), calculada com base nos valores de tempo de início da enxurrada e de intensidade real das chuvas aplicadas. Essa variável tem paralelismo total com o tempo de início da enxurrada, uma vez que é diretamente proporcional a ele. Assim, toda a argumentação usada na discussão do tempo de início da enxurrada é válida também aqui, na discussão da altura da lâmina de água da chuva superficialmente retida e infiltrada no solo antes dele, razão pela qual não será feito nenhum comentário adicional a respeito, exceto em relação a um aspecto, muito importante, do ponto de vista de aplicação prática dos resultados. Trata-se da quantidade de água da chuva aportada e efetivamente retida no sistema solo seus atributos de superfície, para posterior aproveitamento pelas plantas. Assim, analisando os dados apresentados na figura 9, observa-se que, em qualquer dos tratamentos estudados, pode ser dito que os valores da variável em discussão foram altos e muito altos (desde próximos a 20 mm até quase 60 mm), o que garantiria boa quantidade de água no solo para revigoramento das plantas, caso elas estivessem passando por situação crítica de estiagem, bem como para o prosseguimento normal de seu desenvolvimento, durante algum tempo (até uma próxima estiagem).

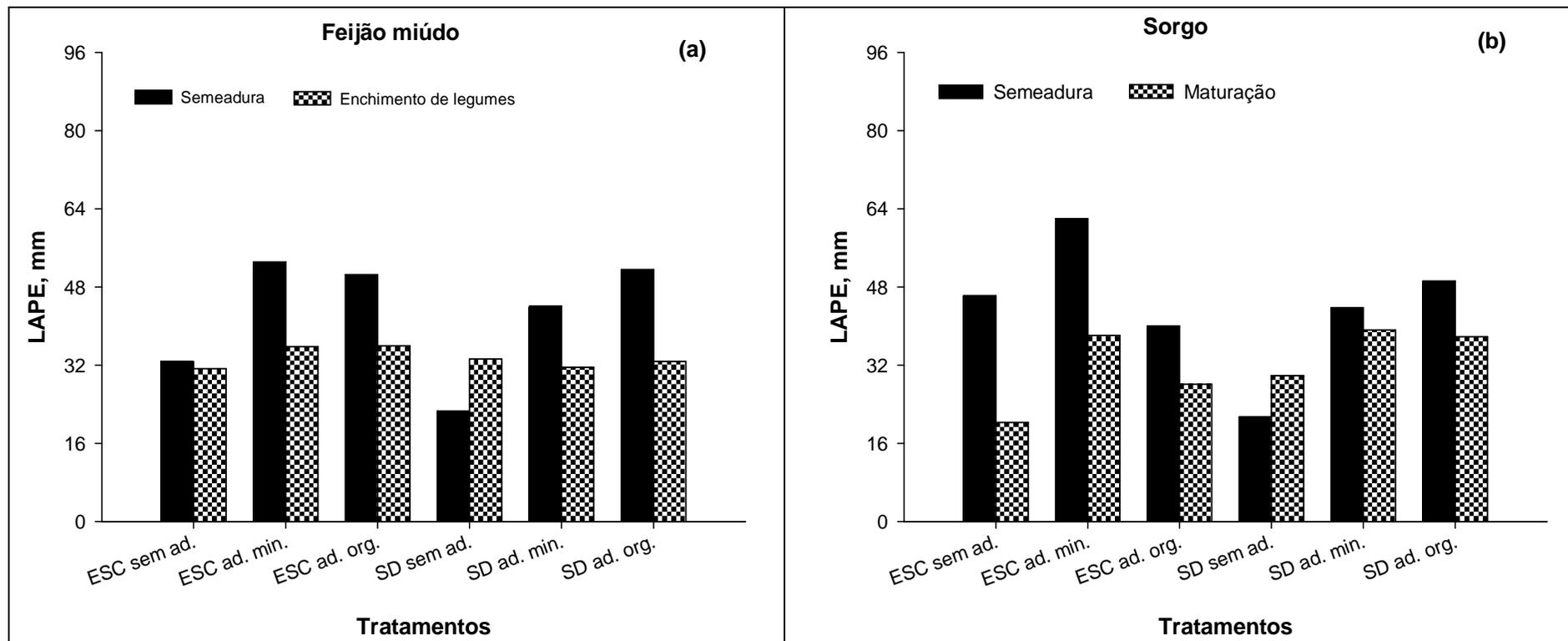


FIGURA 9. Altura da lâmina de água da chuva superficialmente retida e infiltrada no solo no período de pré-enxurrada (LAPE), nos testes de erosão realizados logo após a sementeira e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a), no verão de 2007/2008, e logo após a sementeira e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.

4.2.5. Perda total de água

Na figura 10 são apresentados os resultados da avaliação da perda total de água da chuva na forma de enxurrada (PTA), nos testes de erosão realizados na pesquisa, com a figura 10a contendo os dados obtidos com a cultura do feijão miúdo – logo após sua semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes -, e a figura 10b com a cultura do sorgo – logo após sua semeadura e no estágio de maturação da panícula -, nos tratamentos estudados. Analisando os dados na referida figura e suas divisões, verifica-se que a perda total de água da chuva na forma de enxurrada (PTA) foi relativamente baixa em todas as situações da pesquisa (menos do que 20% do total de chuva aplicada), exceto três casos, com valores relativamente altos (30% a 40%). Nos testes realizados durante o ciclo da cultura do feijão miúdo (Figura 10a), os valores de PTA foram menores nos tratamentos com escarificação do que nos com semeadura direta, bem como menores nas condições com adubação do que na sem adubação, em ambos os testes de erosão, mas menores no teste realizado no estágio de enchimento de legumes do que logo após a semeadura da referida cultura. Em relação aos testes de erosão realizados durante o ciclo da cultura do sorgo (verão de 2008/2009, logo após sua semeadura e no estágio de maturação - Figura 10b), os valores de PTA, de modo geral, também foram menores nos tratamentos com escarificação do que nos com semeadura direta, bem como menores nas condições com adubação (à exceção de um tratamento – ESC ad.org) do que na sem adubação, em ambos os testes de erosão. Porém, ao contrário do observado na cultura do feijão miúdo, os valores de PTA foram menores no teste de erosão realizado logo após a semeadura da cultura do que no estágio de maturação. Em relação às épocas de aplicação das chuvas, verifica-se que, logo após a semeadura das culturas, os valores de PTA, praticamente em todos os tratamentos, foram maiores na situação com o feijão miúdo do que com o sorgo, enquanto que, no estágio de enchimento de legumes da primeira cultura referida e no de maturação da segunda, os valores de PTA foram expressivamente maiores na situação com o sorgo do que com o feijão miúdo, em todos os tratamentos, ao contrário do observado logo após a semeadura de ambas essas culturas. Porém, ao comparar os resultados mencionados com os obtidos por Gilles (2006), observa-se que os valores da variável em

consideração tenderam a diminuir no teste de erosão realizado logo após a semeadura das culturas, e não apresentaram tendência clara no segundo teste. Resultados semelhantes a esses também foram observados por Portela (2009), porém menores do que os observados por Castro et al., (2006), Volk (2006) e Amaral (2010), em estudos da mesma natureza deste. Fundamentalmente, os fatos narrados estiveram associados à maior rugosidade e à menor consolidação superficial do solo na escarificação, resultando em maior capacidade de infiltração e retenção superficiais de água da chuva na mesma, comparada à semeadura direta, bem como à melhoria das condições físicas do solo na sua camada superficial, com o passar do tempo (maiores quantidades de biomassa vegetal aérea e subterrânea aportadas pelas culturas, conferindo maior proteção e maior resistência ao solo contra a ação erosiva). Quanto às condições de adubação, verifica-se nas figuras 10a e 10b que teve efeito positivo na redução da perda de água da chuva na forma de enxurrada, comparada à sua ausência, mas sem tendência clara quanto à influência do seu tipo (mineral e orgânica), o que, em parte, pode ser explicado pelo relativamente pouco tempo de experimentação e, em parte, pela variação ao acaso.

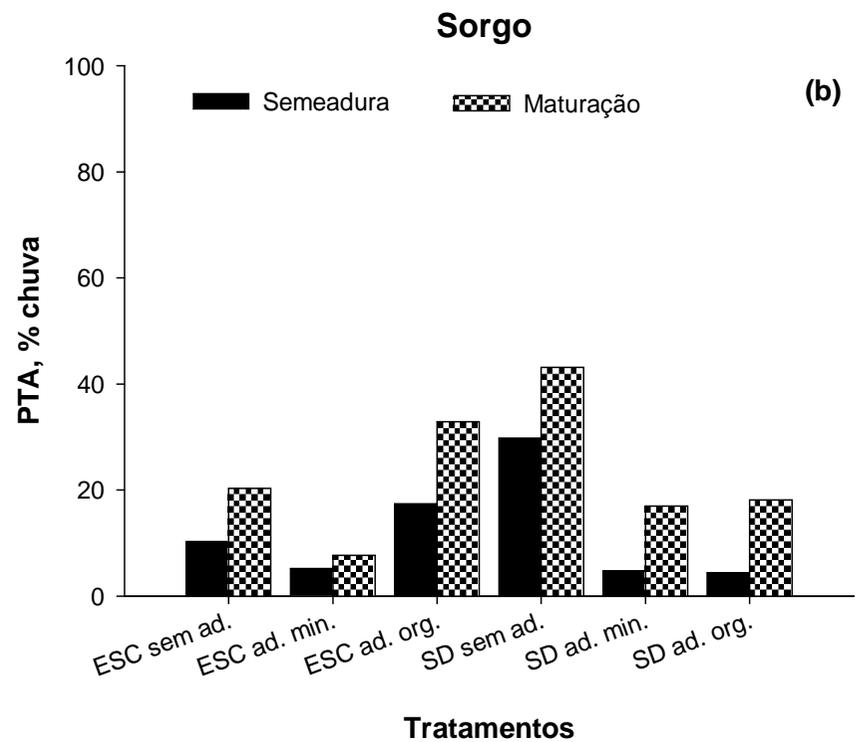
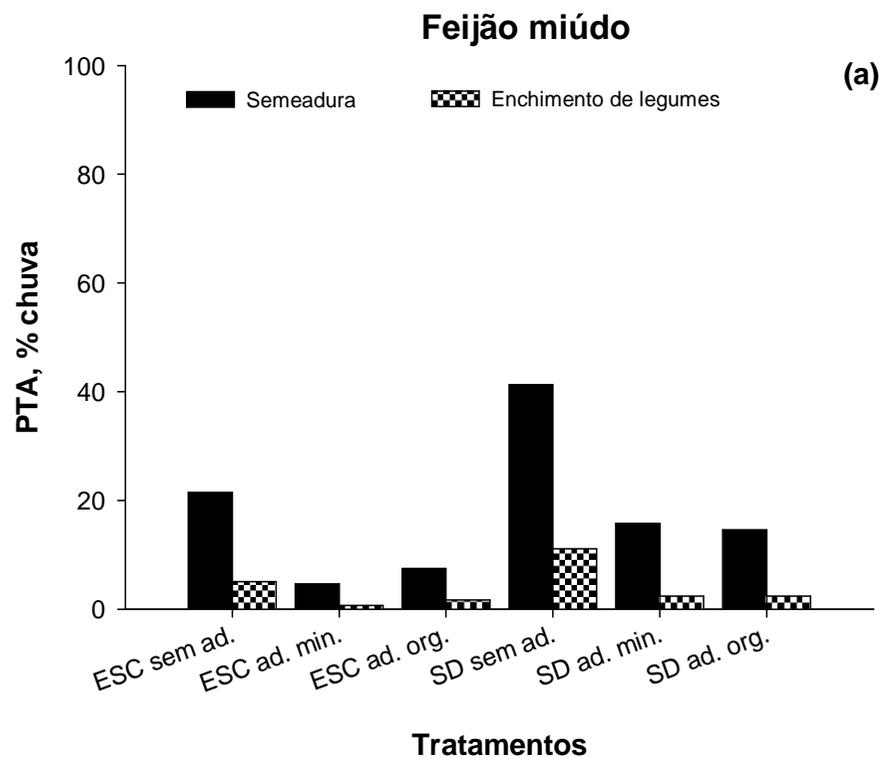


FIGURA 10. Perda total de água (PTA) nos testes de erosão realizados logo após a sementeira e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo (a), no verão de 2007/2008, e logo após a sementeira e no estágio fenológico de maturação do sorgo (b), no verão de 2008/2009, nos tratamentos estudados.

4.2.6. Perda total de solo

Na figura 11 são apresentados os resultados da avaliação da perda total de solo (PTS) por erosão, nos testes realizados logo após a semeadura das culturas, exclusivamente. Isto porque não ocorreu perda mensurável de solo nos testes realizados, nem no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo, nem no de maturação do sorgo, devido à completa cobertura do solo nos mesmos, constituída pelos resíduos culturais remanescentes e pelas próprias plantas em crescimento, em qualquer dos anos de experimentação. Assim, analisando os dados na figura 11, verifica-se que, ao contrário do ocorrido com a perda total de água da chuva na forma de enxurrada, a perda total de solo por erosão foi menor nos tratamentos com semeadura direta do que nos com escarificação, em ambas os ciclos culturas e em qualquer das condições de adubação, bem como menor nas condições com adubação do que na sem adubação, em qualquer dos métodos de preparo do solo, sem tendência clara quanto à influência do tipo de adubação (mineral e orgânica). Esses dados são semelhantes aos encontrados por Portela (2009), Castro (2006) e Amaral (2010), porém menores do que os encontrados por Volk (2006), em estudos semelhantes a este. Observa-se também na figura 11 que a perda total de solo foi bem maior logo após a semeadura do feijão miúdo do que do sorgo, em qualquer das situações da pesquisa. Quando a perda de solo em discussão é comparada à observada no teste de erosão realizado no exato momento de conversão do uso da terra de campo nativo para área com culturas anuais em fileiras (Gilles, 2008), observa-se que, ao contrário do ocorrido com a perda total de água da chuva na forma de enxurrada, a qual tendeu a diminuir, a perda total de solo por erosão tendeu a aumentar, principalmente no teste realizado logo após a semeadura do feijão miúdo. Algumas considerações sobre essas ocorrências serão efetuadas a seguir.

A menor perda total de solo na semeadura direta, comparada à da escarificação, essencialmente se deveu a sua maior cobertura por resíduos culturais e maior consolidação superficial (Tabela 1), por conseguinte maior resistência à ação erosiva, independentemente das culturas e das condições de adubação. Quanto aos maiores valores de perda total de solo na ausência de adubação, em qualquer das culturas e dos preparos de solo, essencialmente se deveu ao menor crescimento vegetal sob tal condição,

conseqüentemente tendo sido produzida menor quantidade de biomassa vegetal aérea e subterrânea e menor percentagem de cobertura do solo, comparada às das condições com adubação (respectivamente Tabela 1 e Tabela 2). A menor perda total de solo logo após a semeadura do sorgo, comparada à do feijão miúdo, em qualquer das situações da pesquisa, se deveu ao fato de os valores de cobertura do solo por resíduos culturais terem sido expressivamente maiores na mesma (35% a 63% na escarificação e 69% a 100% na semeadura direta na cultura do sorgo, e 16% a 19% na escarificação e 52% a 62% na semeadura direta na cultura do feijão miúdo – Tabela 1). O comportamento irregular da perda total de solo quanto ao tipo de adubação (mineral e orgânica), em qualquer das situações da pesquisa, provavelmente em parte esteve associada ao relativamente pouco tempo de experimentação e, em parte, à variação ao acaso nas condições físicas internas do solo, conforme também argumentado em relação à perda total de água da chuva na forma de enxurrada.

Para finalizar o assunto em discussão, chama-se a atenção para o fato de que as perdas de solo neste estudo, exceto as ocorridas na condição sem adubação, não atingiram valor preocupante do ponto de vista de sua tolerância para fins de manutenção da capacidade produtiva do solo para desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas, conforme os valores de referência constantes em Wischmeier & Smith (1978). Assim, baseado nos limites de tolerância de perda de solo por erosão, estabelecidos por esses autores, se supõe que o valor de tolerância de perda de solo por erosão para o solo usado neste estudo (Argissolo Vermelho distrófico típico) esteja ao redor de 5 a 6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Desta forma, pode-se dizer que a mudança no tipo de uso da terra, no tempo e modo feitos nesta pesquisa, não ocasionou perda de solo por erosão que requeresse a tomada imediata de providências a respeito.

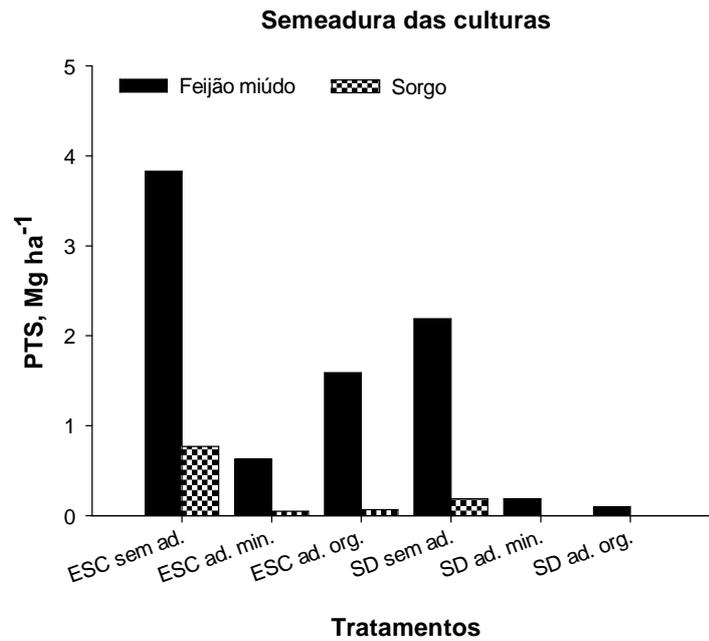


FIGURA 11. Perda total de solo (PTS) nos testes de erosão realizados logo após a semeadura do feijão miúdo (verão de 2007/2008) e do sorgo (verão de 2008/2009), nos tratamentos estudados (Obs: não houve perda mensurável de solo nos testes de erosão realizados no estágio fenológico de enchimento de legumes da primeira e no de maturação da segunda cultura referidas).

5.CONCLUSÕES

1. A mudança no tipo de uso da terra, no tempo e modo feitos na pesquisa, diminuiu a densidade do solo e aumentou a macroporosidade e a porosidade total.
2. Igualmente como acima, porém excluindo-se a condição sem adubação, a mudança no tipo de uso da terra, de modo geral, não causou perdas relevantes de solo e água por erosão hídrica.
3. A mobilização do solo pela escarificação, na maior parte dos casos, favoreceu a infiltração e a retenção superficial da água da chuva e, em decorrência, diminuiu a sua perda na forma de enxurrada, ao mesmo tempo em que satisfatoriamente controlou a perda de solo por erosão.
4. A ausência de mobilização do solo na semeadura direta, também na maior parte dos casos, induziu a formação de maior enxurrada, mas em compensação controlou melhor a erosão.
5. A adubação mineral e a adubação orgânica ambas contribuíram para reduzir a erosão e a enxurrada nos dois métodos de preparo do solo estudados, com as diferenças entre elas tendo sido inconstantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 275-280, 1994.

ALBUQUERQUE, J.A.; CASSOL, E.A.; REINERT, D.J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 141-151, 2000.

AMARAL, A. J. **Erosão hídrica e limites críticos de comprimento de declive em diferentes tipos e quantidades de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta**. 2010. 164 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura de inverno e da adubação orgânica e/ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 587-865, 2000.

BAKKER, M.M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL M.D.A. Soil erosion as a driver of land use change. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 105, n. 3, p. 467-481, 2005.

BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plant roots**. 2.ed. New York : M. Dekker, 1996. p.453-470.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F.; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.

BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; JUNIOR, W. A. Z. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-163, 2004.

BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; FABIAN, E.L.; PEGARARO, R.; ZAVASCHI, E.; GONZÁLEZ, A. P.; VÁSQUEZ, E.V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 243-250, 2008.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the water table**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim técnico 30).

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; AMEMIYA, M. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 27, n. 4, p. 696-700, 1963.

BURWELL, R. E.; ALEMARAS, R. R.; SLONEKER, L. L. Structural alteration of soil surfaces by tillage and rainfall. **Journal of soil and water conservation**, Ankeny, v. 21, n. 1, p. 61-64, 1966.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage - induced random roughness and pore space. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, n. 3, p. 449-452, 1969.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados em Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. ; VAN LIER, Q.J. Índices de rugosidade superficial e sua correlação com perdas de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **Anais...Viçosa**, 2000. 1 CD-ROM.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 339-352, 2006.

COMISSAO DE QUIMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem dos estados do RS e SC**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. 1981. 346 f. Tese (Doutorado) - West Lafayette: Purdue University, 1981.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil

aggregates. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v. 47, n. 5, p. 1005-1008, 1983.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, n. 2, p. 368-373, 1984.

COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity, human life. In: RAFTAN, L. Ed. **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. v.1, p.428-431.

COGO, N. P.; STRECK, E. V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 153-164, 2003.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 527-535, 2003.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; ANDRIGUETTI, M.H. distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1291-1301, 2009.

DEBIASI, H. **Recuperação física de um Argissolo compactado e suas implicações sobre o sistema solo máquina-planta**. 2008. 263 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2008.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 87-100, 1991.

DEXTER, A.R. Advances in characterisation in soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p.199-238, 1988.

DIANA G.; BENI C.; MARCONI S. Organic and Mineral fertilization: Effects on Physical Characteristics and Boron Dynamic in an Agricultural Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 9, p. 1332–1351, 2008.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies. **Agronomy Engineering**, Washington, v. 28, p. 145-147, 1944

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S. W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 1097-1104, 2003.

FAUCETTE, L.B.; RISSE, L.M.; NEARING, M.A.; GASKIN, J.W.; WEST, L.T. Runoff, erosion, and nutrient losses from compost and mulch blankets under simulated rainfall. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 59, n. 4, p. 154-160

FORSYTHE, W. **Física de suelos**: manual de laboratorio. San José, Costa Rica: IICA, 1975. 212 p.

GILLES, L. **Perdas por erosão na cultura do milho implantada sobre campo nativo, relacionadas com métodos de preparo do solo e tipos de adubação**. 2008. 88f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GILLES, L.; COGO, N. P.; BISSANI, C.A.; BAGATINI, T.; PORTELA, J.C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1427-1440, 2009.

HARTWIG, R. O.; LAFLEN, J. M. A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.33, n. 1, p.90-91, 1978.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3.ed. Ames: Iowa, State University Press, 1995. 391 p.

IBGE. 2007. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**.

JOHNSON, C.B; MANNERING, J.V.; MOLDENHAUER, W.C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, n. 4, p. 772-777, 1979

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (Ed.) **Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics, measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KITHIHA, S.M. Land use changes and their effects on sediment transport and soil erosion within the Athi drainage basin, Kenya. In: HUMAN Impact on Erosion and Sedimentation. [S.l.: s.n.], 1997. p. 145-150.

KLEINMAN, P.J.A.; SHARPLEY, MOYER, A.N.; B.G.; ELWINGER, G.F. Effect of mineral and manure phosphorus sources on runoff phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 3, p. 2026-2033, 2002.

KLEINMAN, P. J. A.; SHARPLEY, A. N. Effect of broadcast manure on runoff phosphorus concentrations over successive rainfall events. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 32, n. 5, p. 1072-1081, 2003.

LOPES, P. R. C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. 1984. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, n. 4, p. 425-437, 1996.

LE BISSONNAIS, Y; ARROUYAS, D. Aggregate stability and erodibility: Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 48, n.1, p. 39-49, 1997.

LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, New York, v. 2, n. 2, p. 133-171, 1985.

MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M.; BRUM, A. C. R. de. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 187-189, 1981.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **[Informações]** 2007. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em: dez 2010.

MCDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N. Phosphorus solubility and release kinetics as a function of soil test P concentration. **Geoderma**, Amsterdam, v. 112. n. 1, p. 143-154. 2003.

MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 67-72, 2004.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1723-1734, 2008.

PIRES, A. A.; MONNERAT, P. H.; MARCIANO, C. R.; PINHO, L. G. da R.; ZAMPIROLI, P. D; ROSA, R. C. C.; MUNIZ, R. A. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 1997-2005, 2008.

PORTELA, J. C. **Restauração da estrutura do solo por sequências culturais e sua relação com a erosão hídrica**. 2009. 206 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.29, n. 6, p.815-828, 1991.

OVERLAND, H.; KLEEBERG, H. B. Influence of land use change on discharge and sediment transport of floods. In: **SEDIMENT and Stream Water Quality in a Changing Environment**. [S.l. : s.n.], 1991.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1997. 384 p. (Agriculture handbook, 703).

SALAIMANI K., MODALLALDOUT S.; LOTFI S. Soil Erosion Prediction Based on Land Use Changes (A Case in Neka Watershed). **American Journal of agricultural and Biological Sciences**, Columbus, v.4, n. 1, p. 97-104, 2009.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

STRECK, E. V. **Erosão hídrica do solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo "RUSLE"**. 1999. 195 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SWANSON, N. P. A rotating – boom Rainfall Simulador. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 6, p 1738 -1743, 1965.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Hagerstown, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004

URCHEI, M.A. **Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho- Escuro argiloso e no**

crescimento e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. 1996. 150f. Tese (Doutorado - Agricultura) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1996.

VAN OOST, K.; GOVERS G.; DESMET P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. **Landscape Ecology**, Netherlands, v.15, n. 2, p. 577-589, 1999.

VAN ROMPAEY, A.J.J.; GOVERS, G.; PUTTEMANS, C. Modelling land use changes and their impact on soil erosion and sediment supply to rivers. **Earth Surface Process**, Malden, v. 27, n. 5, p. 481-494, 2002.

VOLK, L. B. S. **Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais.** 2002. 146f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 763-774, 2004.

VOLK, L. B. S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultante do seu manejo e identificadores de qualidade para redução da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial.** 2006. 68 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VOLK, L. B.S.; COGO, N. P. Inter-relação Biomassa Vegetal Subterrânea-Estabilidade de Agregados-Erosão Hídrica em Solo Submetido a Diferentes Formas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 32, n. 4, p. 1713-1722, 2008.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p.1459-1471, 2009.

WISCHMEIER, W. H. Conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Ankeny, 1973. **Proceedings...** Ankeny : Soil Conservation Society of America, 1973. p. 133-141.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington : USDA, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**,

Madison, v. 28 n. 1, p. 337-357, 1936.

ZHAO, Y.; WANG, P.; LI, J.; CHEN, Y.; YING, X.; LIU, S. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat maize cropping system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 36-42, 2009.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Teor de matéria orgânica e valores de alguns atributos físicos do solo na sua camada de 0 - 0,10 m, avaliados em três épocas distintas durante a condução dos experimentos (uma no verão de 2007/2008 e duas no verão de 2008/2009, antecedendo os testes de erosão realizados nessas épocas), nos tratamentos estudados

Tratamento	MO ¹ g kg ⁻¹	DMP ² mm	Densidade do solo Mg m ⁻³	Porosidade do solo		
				Macro -----m ³	Micro m ³ -----	Total
<u>Semeadura do feijão miúdo - verão de 2007/2008</u>						
ESC ³ sem ad.	31	⁻⁵	1,21	0,16	0,33	0,49
ESC ad. Min.	26	⁻⁵	1,36	0,11	0,33	0,44
ESC ad. Org.	24	⁻⁵	1,24	0,17	0,34	0,51
SD ⁴ sem ad.	31	⁻⁵	1,41	0,08	0,36	0,44
SD, ad. min.	28	⁻⁵	1,46	0,11	0,31	0,41
SD ad. Org.	20	⁻⁵	1,54	0,11	0,32	0,43
<u>Enchimento dos legumes do feijão miúdo – verão de 2007/2008</u>						
ESC ³ sem ad.	31	3,85	1,33	0,16	0,29	0,45
ESC ad. Min.	26	4,05	1,23	0,16	0,32	0,48
ESC ad. Org.	26	4,03	1,27	0,16	0,29	0,45
SD ⁴ sem ad.	32	4,75	1,46	0,09	0,34	0,43
SD, ad. min.	28	4,75	1,48	0,12	0,31	0,42
SD ad. Org.	20	4,56	1,43	0,13	0,29	0,42
<u>Semeadura do sorgo - verão de 2008/2009</u>						
ESC ³ sem ad.	32	4,20	1,14	0,22	0,28	0,50
ESC ad. Min.	30	3,80	1,18	0,23	0,25	0,48
ESC ad. Org.	32	4,46	1,16	0,22	0,25	0,47
SD ⁴ sem ad.	40	3,97	1,23	0,18	0,30	0,47
SD, ad. min.	30	3,97	1,28	0,15	0,32	0,47
SD ad. Org.	30	4,07	1,42	0,12	0,28	0,41
<u>maturação do sorgo – verão de 2008/2009</u>						
ESC ³ sem ad.	27	3,87	1,33	0,15	0,33	0,48
ESC ad. Min.	33	3,66	1,40	0,11	0,31	0,43
ESC ad. Org.	24	4,06	1,38	0,14	0,32	0,45
SD ⁴ sem ad.	25	4,52	1,28	0,15	0,33	0,48
SD, ad. min.	22	4,62	1,38	0,14	0,29	0,43
SD ad. Org.	23	4,86	1,48	0,11	0,31	0,41

¹Matéria orgânica. ²Diâmetro médio ponderado de agregados. ³Escarificação. ⁴Semeadura direta. ⁵Não determinado.

APÊNDICE 2.. Parâmetros físicos de erosão nos testes de chuva simulada realizados na semeadura e no estágio fenológico de enchimento de legumes do feijão miúdo - no verão de 2007/2008 e na semeadura e no estágio de maturação do sorgo – verão 2008/2009, nos tratamentos estudados.

Tratamento	Ti ¹	LAPE ²	PTA ³	PTS ⁴	Ti ¹	LAPE ²	PTA ³	PTS ⁴
	Feijão miúdo				Sorgo			
	<u>Semeadura</u>				<u>Semeadura</u>			
	---min---	--mm--	% chuva	Mg ha ⁻¹	---min---	--mm--	% chuva	Mg ha ⁻¹
Esc ⁵ . sem ad.	29	32,7	21,5	3,83	41	46,2	10,3	0,77
Esc. ad. min.	47	53,1	4,7	0,63	51	62,0	5,2	0,05
Esc. ad. org.	48	50,5	7,5	1,59	35	40,0	17,4	0,07
SD ⁶ sem ad.	11	22,6	41,3	2,19	19	21,4	29,8	0,19
SD ad. min.	31	44,1	15,8	0,19	36	43,7	4,8	- ⁷
SD ad. org.	49	51,6	14,6	0,10	43	49,2	4,4	- ⁷
	<u>Enchimento de legumes</u>				<u>Maturação</u>			
Esc ⁵ . sem ad.	32	31,3	5,1	- ⁷	17	20,3	20,3	- ⁷
Esc. ad. min.	34	35,8	0,7	- ⁷	34	38,1	7,7	- ⁷
Esc. ad. org.	34	35,9	1,7	- ⁷	26	28,1	32,9	- ⁷
SD ⁶ sem ad.	34	33,3	11,1	- ⁷	25	29,8	43,1	- ⁷
SD ad. min.	30	31,6	2,4	- ⁷	35	39,2	17,0	- ⁷
SD ad. org.	31	32,8	2,4	- ⁷	35	37,8	18,1	- ⁷

¹Tempo de início da enxurrada. ²Lâmina de água retida e infiltrada no antes do início da enxurrada. ³Perda total de água. ⁴Perda total de solo. ⁵Escarificação. ⁶Semeadura direta. ⁷A perda de solo existiu, porém, ela foi tão pequena que não pôde ser mensurada.