

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

CONDIÇÕES FÍSICAS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO
RESULTANTES DO SEU MANEJO E INDICADORES DE QUALIDADE PARA
REDUÇÃO DA EROSÃO HÍDRICA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Leandro Bochi da Silva Volk
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)
Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

Porto Alegre (RS), Brasil
Setembro de 2006

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

CONDIÇÕES FÍSICAS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO
RESULTANTES DO SEU MANEJO E INDICADORES DE QUALIDADE PARA
REDUÇÃO DA EROSIÃO HÍDRICA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Leandro Bochi da Silva Volk
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)
Mestre em Ciência do Solo (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
Setembro de 2006

AGRADECIMENTOS

Ao professor Neroli Pedro Cogo, orientador, pela experiência e pelos conhecimentos que me foram passados, pela paciência com minhas falhas e pela amizade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelos ensinamentos transmitidos.

À UFRGS, pelos recursos financeiros, físicos e humanos disponibilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de pós-graduação concedida.

À Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, na pessoa do seu Diretor, professor Carlos Ricardo Trein, pelos recursos físicos, e aos seus funcionários, pelo apoio.

Ao projeto CNPq/PRONEX–Solos, pelos recursos financeiros, e ao seu funcionário, Técnico Agrícola Agostinho de Oliveira, pelo auxílio na condução dos experimentos no campo.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFRGS que, de alguma forma, me auxiliaram.

Aos colegas e amigos Alaerto Marcolan, Juliana Gomes, Josué Beutler e Alexandre Xavier, pela amizade e companheirismo.

Aos colegas de curso da pós-graduação, pela convivência.

Aos bolsistas de iniciação científica João Paulo Dornelles Reck e Gustavo Portz, pela dedicação e amizade, que tornaram o trabalho mais ameno.

Aos meus pais, Nelson e Sandra, meus sogros, Antonio e Jussara, meus irmãos, Pietro, Marcus, Júlio e Fernando.

À minha esposa Gabriela, em especial, pelo amor, apoio, carinho e compreensão dedicados, incondicionalmente, durante o curso.

A DEUS.

CONDIÇÕES FÍSICAS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLO RESULTANTES DO SEU MANEJO E INDICADORES DE QUALIDADE PARA REDUÇÃO DA EROÇÃO HÍDRICA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL^{1/}

Autor: Leandro Bochi da Silva Volk

Orientador: Neroli Pedro Cogo

SINOPSE:

O conhecimento aprimorado do fenômeno da erosão é de fundamental importância no monitoramento da inter-relação sistemas de manejo do solo - sustentabilidade de agroecossistemas. Com isso em mente, desenvolveu-se um estudo em campo, na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, entre maio de 2000 e abril de 2004, com o objetivo de quantificar as perdas de solo e água por erosão hídrica em diferentes formas de manejo do solo, com vistas à identificação de indicadores físicos de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial e à investigação de valores dos coeficientes das variáveis do subfator PLU (uso anterior da terra) do modelo RUSLE de predição da erosão. Para isso, aplicou-se chuva simulada sobre um Argissolo Vermelho com textura superficial franco argilo arenosa e declividade média de $0,12 \text{ m m}^{-1}$, cultivado em semeadura direta por diferentes períodos com diferentes seqüências culturais, e exibindo diferentes condições físicas na camada superficial: superfície não-mobilizada, com e sem cobertura por resíduo cultural, e superfície mobilizada, sem cobertura por resíduo cultural. Realizaram-se sete testes de chuva simulada, num período de seis meses, utilizando o simulador de chuva de braços rotativos, todos eles na intensidade constante de chuva de 64 mm h^{-1} e duração de 1,5 h. As diferentes seqüências culturais promoveram diferentes condições físicas na camada superficial do solo, traduzidas pelos diferentes valores das características físicas de superfície e subsuperfície avaliadas, antes e após o preparo, o que se refletiu em diferentes respostas da erosão e do escoamento superficial. A perda de água foi a mais elevada no solo não mobilizado, mesmo com elevada cobertura superficial, e foi a mais baixa no solo recém-mobilizado, sem cobertura superficial. A perda de solo foi a mais baixa no solo não-mobilizado, com elevada cobertura superficial, acompanhada de perto pela perda tanto do solo não-mobilizado quanto do recém-mobilizado, ambos sem cobertura superficial, aumentando na medida em que o solo era repetidamente preparado, contudo. A massa de raízes mortas das culturas, o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água e o índice de rugosidade superficial do solo (IR) mostraram-se bons indicadores de qualidade para redução da perda total de água em todas as condições físicas estudadas da camada superficial do solo, e muito bons indicadores para redução da perda total de solo - exceto a condição com elevada cobertura superficial, na qual o efeito das referidas variáveis foi irrelevante. Os valores encontrados para o coeficiente c da variável massa de raízes do subfator PLU do modelo RUSLE ficaram na faixa reportada na literatura.

^{1/} Tese de Doutorado 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. (149 p.) – Setembro, 2006.

PHYSICAL CONDITIONS OF THE SURFACE SOIL LAYER RESULTING FROM ITS MANAGEMENT AND QUALITY INDICATORS FOR REDUCING WATER EROSION AND SURFACE RUNOFF ^{1/}

Author: Leandro Bochi da Silva Volk
Adviser: Neroli Pedro Cogo

SUMMARY:

Full knowledge of the erosion phenomenon is fundamental for monitoring the interrelation soil management systems – agroecosystems sustainability. Considering this, a field study was developed at the EEA/UFRGS, in Eldorado do Sul, State of Rio Grande do Sul, Brazil, between May, 2000 and April, 2004, with the objective of quantifying soil and water losses caused by rainfall erosion under different forms of soil management, in order to identify physical indicators of quality for reducing water erosion and surface runoff, as well as to investigate coefficient values for the variables associated with the PLU (prior land use) sub-factor in the RUSLE's erosion prediction model. To accomplish this, simulated rainfall was applied on a typical, sandy clay loam, Paleudult soil, having 0.12 m m⁻¹ average slope-steepness, cultivated in no till by different periods of time with different crop sequences, and exhibiting different physical conditions in the surface layer: consolidated soil surface, with and without crop residue on it, and freshly-tilled soil surface, without crop residue on it. Seven simulated rainfall, erosion tests were run within a period of six months, all of them under 64.0 mm h⁻¹ rainfall intensity and for 1.5-hr rainfall duration. The different crop sequences promoted different soil physical conditions in the surface layer, translated by the different values of the evaluated surface and subsurface soil physical characteristics, before and after tillage, which differently affected erosion and surface runoff. Water loss was highest in the untilled soil surface, regardless of residue cover on it, and lowest in the freshly-tilled soil surface, even though without crop residue on it, and it was kept this way until the end of the experiment. Soil loss was lowest in the untilled, covered soil surface, followed closely by either untilled or freshly-tilled soil surfaces, both without crop residue on it, but it substantially increased as subsequent tillage operations were performed. Crop dead roots mass, mean-weight-diameter (MWD) of soil aggregates in water, and soil surface-roughness index (IR) showed to be good indicators of quality for reducing water loss in all of the studied surface soil layer's physical conditions, and very good indicators for reducing soil loss - except the condition with high residue cover on it, in which the effect of the referred variables was irrelevant. The values obtained for the c-coefficient associated with the crop root mass variable in the PLU sub-factor of RUSLE's erosion prediction model stayed within the range reported in the literature.

^{1/} Doctorate thesis in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (149 p.) - September, 2006.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Erosão hídrica pluvial do solo.....	4
2.1.1. O processo de erosão hídrica pluvial do solo no senso físico, as formas de energia atuantes no mesmo e suas fases básicas ou subprocessos.....	4
2.1.2. Os fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo.....	5
2.1.3. Predição da erosão hídrica pluvial do solo.....	7
2.1.3.1. O modelo RUSLE de predição da erosão hídrica pluvial do solo.....	8
2.1.3.2. O fator C – cobertura e manejo do solo no modelo RUSLE.....	10
2.1.3.3. Efeito residual do uso da terra e erosão hídrica pluvial do solo.....	10
2.1.3.4. O subfator PLU – uso anterior da terra no modelo RUSLE.....	11
2.1.3.4.1. Massa de raízes e erosão hídrica pluvial do solo.....	12
2.2. Qualidade do solo.....	14
2.2.1. Conceito de qualidade do solo.....	14
2.2.2. Qualidade física do solo para o crescimento de plantas e de animais.....	18
2.2.3. Qualidade física do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial.....	18
2.2.4. Conflitos de qualidade física do solo para o cumprimento de algumas de suas funções.....	23
2.2.5. Indicadores de qualidade física do solo para a função específica ou subfunção de minimizar a erosão hídrica pluvial nas terras agrícolas.....	25
2.3. Hipóteses de trabalho.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Localização e solo da área experimental.....	29
3.2. Condição de realização da pesquisa e unidades experimentais.....	30
3.3. Esclarecimento dos tratamentos considerados no estudo.....	31
3.4. História do uso do solo na área experimental utilizada na pesquisa.....	31
3.5. Detalhamento dos tratamentos de manejo considerados no estudo, do início ao fim da pesquisa (maio de 1996 a outubro de 2003).....	33
3.5.1. História do uso do solo nas parcelas experimentais antes da implantação dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (período compreendido entre maio de 1996 e	

abril de 2000).....	34
3.5.2. História do uso do solo nas parcelas experimentais a partir da implantação dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003).....	36
3.5.3. Tratamentos de manejo (uso anterior da terra) considerados no estudo (período compreendido entre maio de 1996 e outubro de 2003), apresentados de forma sintética, com base na sua preponderância no tempo de experimentação.....	37
3.6. Esquema operacional utilizado na implantação e na condução dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (segunda etapa da pesquisa - maio de 2000 a outubro de 2003).....	38
3.7. Testes de erosão com chuva simulada empregados.....	40
3.8. Amostragens e determinações efetuadas.....	42
3.8.1. No campo, no solo das parcelas experimentais, após quatro (04) anos de uso do solo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, em maio de 2000, antes da implantação do segundo conjunto de tratamentos.....	42
a) Densidade do solo.....	42
b) Porosidade total do solo.....	42
c) Estabilidade dos agregados de solo em água.....	42
3.8.2. No campo, no solo das parcelas experimentais, após os três anos e meio (3,5 anos) de uso do solo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo, em outubro de 2003, logo após a colheita das culturas em vigência, porém antes do preparo do solo e do início dos testes de erosão com chuva simulada.....	43
a) Massa de resíduos culturais superficiais.....	43
b) Cobertura do solo por resíduo cultural.....	44
c) Rugosidade superficial do solo.....	44
d) Massa seca de raízes mortas das culturas.....	44
e) Teor de matéria orgânica do solo.....	45
f) Estabilidade dos agregados de solo em água.....	45
g) Densidade do solo.....	45
h) Teor de água no solo.....	45
i) Porosidade total, macro e microporosidade do solo.....	45
j) Resistência do solo à penetração mecânica.....	45
3.8.3. No campo, no solo das parcelas experimentais, após o preparo do solo, porém antes dos testes de erosão com chuva simulada.....	46
a) Massa seca de raízes mortas das culturas.....	46
b) Estabilidade dos agregados do solo em água.....	46
3.8.4. No campo, durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada.....	46
a) Tempos de início e equilíbrio da enxurrada.....	46
b) Velocidade da enxurrada.....	46

c) Amostragem da enxurrada para avaliação da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos e transportados na mesma, nas classes de 2,00 mm a < 0,038 mm.....	47
d) Taxa instantânea de descarga da enxurrada e coleta de amostras para determinação da concentração instantânea de sedimentos na mesma.....	47
3.8.5. No campo, após a realização dos testes de erosão com chuva simulada.....	47
a) Rugosidade superficial do solo.....	47
b) Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas.....	47
3.8.6. Em laboratório.....	47
a) Distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada, nas classes de 0,250 mm a < 0,038 mm.....	47
b) Taxa de perda de solo sob a condição de equilíbrio da enxurrada e perda total de solo.....	48
c) Perda total de água.....	48
d) Taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada.....	48
e) Coeficiente de enxurrada (parâmetro C da Fórmula Racional).....	48
f) Índice D ₅₀ dos sedimentos erodidos e transportados na enxurrada na sua condição de equilíbrio.....	48
3.9. Ajustes de resultados.....	49
3.10. Análise estatística e interpretação dos resultados.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1. Parâmetros físicos de solo e planta nas parcelas experimentais em dois momentos distintos entre a implantação do primeiro e o término do período experimental do segundo conjunto de tratamentos considerados no estudo, antes da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada empregados na realização deste trabalho.....	51
4.1.1. Condição física interna ou de subsuperfície do solo após 4 anos de uso do mesmo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, avaliada por ocasião da implantação do segundo conjunto de tratamentos.....	51
4.1.2. Condição física interna ou de subsuperfície do solo após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo - em continuidade ao primeiro conjunto de tratamentos - avaliada antes do seu preparo e da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada.....	53
4.1.3. Condição física externa ou de superfície do solo após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo, avaliada antes do seu preparo e da aplicação dos testes de chuva simulada.....	58

4.2. Parâmetros físicos de solo e planta nas parcelas experimentais por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada.....	59
4.2.1. Parâmetros físicos internos ou de subsuperfície do solo...	59
4.2.1.1. Massa seca de raízes mortas.....	59
4.2.1.2. Índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP).....	68
4.2.1.3. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas.....	73
4.2.2. Parâmetros físicos externos ou de superfície do solo.....	75
4.2.2.1. Índice de rugosidade superficial do solo.....	75
4.2.2.2. Cobertura superficial do solo por resíduo cultural.....	79
4.3. Parâmetros de erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados.....	80
4.3.1. Tempos de início e equilíbrio da enxurrada.....	80
4.3.2. Taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada.....	85
4.3.3. Coeficiente de enxurrada, parâmetro C da Fórmula Racional.....	87
4.3.4. Velocidade da enxurrada na sua condição de equilíbrio....	88
4.3.5. Perda total de água na forma de enxurrada.....	90
4.3.6. Taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada.....	92
4.3.7. Índice da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada (D ₅₀) na sua condição de equilíbrio.....	94
4.3.8. Perda total de solo.....	95
4.4. Inter-relações das variáveis de manejo do solo medidas no estudo com as variáveis observadas de erosão hídrica.....	98
4.4.1. Inter-relações com vistas à avaliação do efeito da degradação induzida da estrutura do solo nas perdas de água e solo por erosão hídrica.....	100
4.4.1.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x redução da massa de raízes, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	100
4.4.1.2. Perda total de água x redução da massa de raízes e estabilidade de agregados.....	103
4.4.1.3. Taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada x redução da massa de raízes, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	105
4.4.1.4. Perda total de solo x redução da massa de raízes e estabilidade de agregados	107
4.4.1.5. Efeito residual do uso do solo com culturas anuais na sua perda por erosão hídrica.....	110
4.4.2. Inter-relações com vistas à avaliação de indicadores físicos da qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado e de valores dos coeficientes das variáveis do subfator PLU do modelo RUSLE.....	112

4.4.2.1. Inter-relações pontuais sob condições físicas distintas da camada superficial do solo, avaliadas antes do processo de degradação induzida da sua estrutura (testes de chuva T1, T2 e T3).....	112
4.4.2.1.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	112
4.4.2.1.2. Perda total de água por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	115
4.4.2.1.3. Taxa constante de perda de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	118
4.4.2.1.4. Perda total de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	122
4.4.2.1.5. Eficácia de redução da erosão hídrica da massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo com vistas ao subfator PLU do modelo RUSLE.....	126
4.4.2.2. Inter-relações temporalmente embasadas na condição física exclusiva da camada superficial do solo mobilizada e descoberta, avaliadas durante o processo de degradação induzida da sua estrutura (testes de chuva T3 a T7).....	129
4.4.2.2.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	131
4.4.2.2.2. Perda total de água por erosão hídrica x massa de raízes mortas e estabilidade de agregados do solo.....	133
4.4.2.2.3. Taxa constante de perda de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo.....	135
4.4.2.2.4. Perda total de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas e estabilidade de agregados do solo.....	137
5. CONCLUSÕES.....	140
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Condições ideais de alguns atributos físicos do solo relacionados com a qualidade física do mesmo para o cumprimento satisfatório de algumas de suas funções específicas ou subfunções.....	24
2. Sugestão de uma nova forma de consideração da qualidade do solo para a sua função específica de resistir à erosão hídrica causada pela água da chuva nas terras agrícolas.....	27
3. Composição granulométrica, teor de matéria orgânica (MO) e valores de densidade de volume (Ds), porosidade total (P) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo presente na área experimental utilizada na pesquisa, em duas de suas camadas, na sua condição original de pastagem natural de longo prazo, avaliados em fevereiro de 1995	30
4. Testes de erosão com chuva simulada realizados, datas de sua aplicação e condição física superficial do solo reinante por ocasião da realização dos mesmos, nos tratamentos considerados no estudo.....	42
5. Teor de matéria orgânica e valores de densidade, porosidade total e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em água após 4 anos de uso do mesmo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, em duas de suas camadas, avaliados em maio de 2000, por ocasião da implantação do segundo conjunto de tratamentos da pesquisa.....	52
6. Massa seca de raízes mortas, teor de matéria orgânica e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em água após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), em duas de suas camadas, avaliados em outubro de 2003, antes do preparo do solo e da aplicação dos testes de chuva simulada.....	55
7. Valores de densidade do solo (Ds), teor gravimétrico de água (Ug) e macro, micro e porosidade total do solo após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), em duas de suas camadas, avaliados em outubro de 2003, antes do preparo do solo e da aplicação dos testes de chuva simulada.....	56
8. Massa seca de resíduo cultural, percentagem de cobertura e índice de rugosidade (IR) superficiais do solo antes do seu preparo e da aplicação dos testes de chuva simulada, avaliados em outubro de	

2003, nos tratamentos estudados.....	59
9. Teor de água no solo antecedente aos testes de erosão com chuva simulada realizado, nos tratamentos estudados.....	74
10. Cobertura superficial do solo por resíduo cultural antes de cada teste de erosão com chuva simulada realizado, nos tratamentos estudados.....	80
11. Quantidade de água da chuva infiltrada e, ou, retida na superfície do solo antes do início da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	83
12. Índice da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada (D_{50}) na sua condição de equilíbrio nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	95

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Aparelho simulador de chuva de braços rotativos utilizado na pesquisa, operando sobre um par de parcelas experimentais de erosão.....	30
2. Área Experimental de Erosão com Chuva Simulada III, na EEA/UFRGS, mostrando no plano intermediário as parcelas de erosão utilizadas na pesquisa, instaladas próximo à fonte de água que abastecia o aparelho simulador de chuva empregado no estudo.....	33
3. Resistência do solo à penetração mecânica antes do seu preparo e da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.....	57
4. Massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento.....	61
5. Massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento.	62
6. Proporção da massa seca de raízes mortas (Mrz) na camada de solo de 10 a 20 cm com relação a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento.....	65
7. Relação da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm com o tempo de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento.....	67
8. Relação da redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm com o tempo de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento.....	68
9. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na sua camada de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 nos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	69
10. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15	

cm para T3 a T7 com o tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	71
11. Relação da redução relativa percentual do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com o tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	71
12. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	72
13. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	73
14. Índice de rugosidade superficial do solo (IR) em momentos distintos por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.....	76
15. Relação do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido após a aplicação das chuvas simuladas nos testes T3 a T7 com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados de solo em água (DMP) medido na sua camada de 0 a 15 cm antes da aplicação das chuvas, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	78
16. Relação do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido após o seu preparo inicial por meio de uma gradagem leve (antes do teste T3) com o diâmetro médio ponderado (DMP) dos seus agregados medido na sua camada de 0 a 10 cm antes do preparo, resultante dos tratamentos empregados no estudo.....	79
17. Tempo de início da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	81
18. Tempo de equilíbrio da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	84
19. Taxa de infiltração de água no solo (if_0) na condição de equilíbrio da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	86

20. Coeficiente de enxurrada – parâmetro C da Fórmula Racional - nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	87
21. Velocidade da enxurrada na sua condição de equilíbrio nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	89
22. Perda total de água por erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	91
23. Taxa de perda de solo sob a condição de equilíbrio da enxurrada (TPSq _c) nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	93
24. Perda total de solo por erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados.....	98
25. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (iq _c) com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos do experimento.....	101
26. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (iq _c) com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	101
27. Relação da taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada (iq _c) com a redução relativa percentual do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva simulada, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	102
28. Relação da perda total de água da chuva com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos do experimento.....	104
29. Relação da perda total de água da chuva com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	104

30. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	106
31. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	106
32. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva simulada, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	107
33. Relação da perda total de solo com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos do experimento.....	109
34. Relação da perda total de solo com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	109
35. Fator residual do uso do solo com culturas anuais relacionado à erosão hídrica em função do tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, calculados com base nos dados de perda total de solo obtidos na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7).....	111
36. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (iq_c) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	114
37. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (iq_c) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado em distintas condições físicas da camada superficial do solo,	

independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	114
38. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (if_c) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	115
39. Relação da perda total de água com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento..	117
40. Relação da perda total de água com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado, em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	117
41. Relação da perda total de água com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	118
42. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	120
43. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	121
44. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	121
45. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento..	123

46. Relação da perda total de solo com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado, em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	124
47. Relação da perda total de solo com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	124
48. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto, nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento..	128
49. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{qc}) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	131
50. Relação da taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{qc}) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	132
51. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{qc}) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	132
52. Relação da perda total de água com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	134
53. Relação da perda total de água com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7),	

independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	134
54. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	135
55. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	136
56. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	136
57. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.....	138
58. Relação da perda total de solo com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.....	138

1. INTRODUÇÃO

O solo, a água, o ar, a energia solar (luz e calor) e as plantas constituem os recursos naturais essenciais à vida na Terra. Desta forma, eles são, todos, igualmente importantes. No entanto, existe uma diferença definida entre eles no que diz respeito a sua destrutibilidade, com o solo sendo o mais importante. Isto se deve ao fato de que o solo pode sofrer um processo intenso de erosão quando mal utilizado pelo homem (erosão acelerada ou antrópica), resultando em taxas de desgaste e remoção do mesmo que podem largamente superar as taxas naturais tanto de formação e renovação de solo quanto de erosão do solo (erosão geológica ou natural). Por esta razão, para propósitos práticos - considerando a escala de tempo do ser humano - o solo deve ser tratado como um recurso natural não-renovável, o que ressalta a importância de sua conservação, especialmente no que se refere ao controle da erosão. Tal importância do solo está alicerçada no fato de que ele é o principal meio de produção de alimentos na crosta terrestre, tanto para o homem quanto para os animais. Seu cuidado, pois, é um pré-requisito à sobrevivência das espécies vivas da Terra.

A erosão é a mais extensiva, prejudicial e preocupante forma de degradação do solo no planeta, principalmente aquela causada pela água da chuva e da enxurrada a ela associada. Estudos do efeito da erosão sobre as civilizações antigas mostram que uma das principais causas da queda de florescentes impérios foi a degradação do solo por tal fenômeno. Apesar dos incessantes esforços dos cientistas de solo e profissionais de agronomia, a erosão acelerada continua sendo a principal causa de degradação do solo no planeta. É estimado que 84% da degradação de solo no mundo é devida à erosão, sendo 56% pela erosão hídrica e 28% pela erosão eólica. O mau manejo da terra (não observância das classes de capacidade de uso do solo ou da aptidão agrícola da terra), o mau manejo da cultura (más decisões de

manejo tomadas posteriormente à escolha de um dado tipo de uso da terra) e a não utilização ou utilização errônea de práticas conservacionistas de suporte (práticas complementares de controle da erosão), permitem um processo de erosão do solo intenso, fazendo com que ele seja o maior responsável, tanto pela redução da sua capacidade produtiva para as culturas (dano direto da erosão), quanto pelo assoreamento e poluição das fontes superficiais de água, como reservatórios e rios (danos indiretos da erosão). Os danos indiretos da erosão são causados pelos produtos da mesma, quais sejam, sedimentos e substâncias químicas (nutrientes das plantas e defensivos agrícolas) transportados no escoamento superficial da erosão hídrica e no vento da erosão eólica. O processo erosivo é também o principal responsável pela redução da capacidade do solo de regular os fluxos de água, gás e calor entre ele e a atmosfera. Esta função do solo como regulador ambiental, entretanto, está intimamente relacionada a sua capacidade produtiva, a qual, por sua vez, é determinada pela qualidade física, química e biológica do mesmo.

Devido à estreita relação entre sistemas de manejo agrícola e sustentabilidade de agroecossistemas, vem de longa data a necessidade de se identificar e definir indicadores de qualidade do solo. A qualidade do solo é constituída de um elemento inerente ou natural, determinado pelos materiais geológicos e processos de sua formação, e de um elemento dinâmico, determinado pelas práticas de manejo adotadas pelos indivíduos que utilizam a terra, seja qual for a finalidade. Deste modo, um sistema de manejo agrícola poderá ser considerado sustentável somente se ele for economicamente viável e se ele mantiver ou melhorar a qualidade do solo, porém sem comprometer a qualidade ambiental além de um grau que possa ser aceito pela sociedade (Karlen & Stott, 1994).

Os esforços para definir e quantificar qualidade do solo não são novos, tendo-se chegado ao consenso de que é muito difícil o estabelecimento de condições padrão para sua avaliação. Nenhuma medição, seja ela de natureza química, física ou biológica, tem, por si só, capacidade de indexar a qualidade de um solo, uma vez que isso vai depender das funções pré-definidas para o mesmo (Karlen & Stott, 1994). Assim, para que corretamente se possa definir indicadores de qualidade do solo, é necessário que se defina antes os objetivos ou as funções do mesmo. Uma vez bem caracterizados, tais

indicadores de qualidade poderão servir como parâmetros da capacidade do solo de servir bem uma ou mais de suas funções, dentre as quais se destaca a de meio para o crescimento de plantas e de animais, seja do ponto de vista sócio-econômico, seja do ponto de vista ambiental (Papendick & Parr, 1992; Karlen & Stott, 1994; Beare, 2002).

Com base no que foi exposto, é necessário que se busque mais e melhores informações tanto sobre o processo de erosão do solo em si quanto sobre os fatores que o afetam, nas condições locais de clima e solo, principalmente aquelas que dizem respeito às variáveis da inter-relação cobertura - manejo do solo. Por ainda não se dispor de informações desse tipo em nosso meio, obtidas de forma sistemática e em base científica, não se pode efetuar estimativas confiáveis de perda de solo por erosão no Brasil, com vistas à elaboração de planejamentos conservacionistas de uso da terra em base quantitativa. Tais estimativas de perda de solo são usualmente feitas por meio de equações matemáticas, dentre as quais se destaca o modelo "RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation", versão atual do predecessor e mundialmente conhecido modelo "USLE - Universal Soil Loss Equation". Esse modelo apresenta elevado potencial de uso no Brasil, porém o mesmo não pôde ainda ser implementado em nosso meio por falta de dados de pesquisa local. Um número muito reduzido de trabalhos de pesquisa dessa natureza foi desenvolvido no Brasil, o que ratifica a necessidade de se desenvolver mais e melhores pesquisas no assunto. Informações desse tipo irão também auxiliar a avaliação da qualidade física do solo do ponto de vista de infiltração de água no mesmo e de minimização da sua erosão hídrica pluvial, no que se refere à produção agrícola aumentada e sustentada em nosso meio.

Considerando o que foi exposto, realizou-se o presente trabalho de pesquisa com os seguintes objetivos principais: a) avaliar a estrutura do solo sob diferentes manejos culturais no que se refere a sua capacidade de permitir a livre entrada de água da chuva na superfície do solo e de resistir à erosão hídrica pluvial, b) investigar valores de coeficientes das variáveis associadas ao subfator PLU (uso anterior da terra) do modelo RUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Revisada) de predição da erosão e c) com base nos resultados obtidos, identificar indicadores de qualidade física do solo para redução da erosão hídrica e do escoamento superficial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica será separada em dois tópicos principais, a saber: erosão hídrica pluvial do solo e qualidade do solo.

2.1. Erosão hídrica pluvial do solo

2.1.1. O processo de erosão hídrica pluvial do solo no senso físico, as formas de energia atuantes no mesmo e suas fases básicas ou subprocessos

No senso físico, o processo de erosão do solo, seja ele causado pela água (erosão hídrica), seja ele causado pelo vento (erosão eólica), pode ser descrito como trabalho realizado pelos agentes erosivos. Trabalho é uma grandeza escalar, a qual resulta do produto de uma força pelo deslocamento que ela causa em um corpo.

Na erosão hídrica pluvial do solo, a força causadora de trabalho é representada pelo processo de queda das gotas chuva (força aplicada no modo normal à superfície do solo) e pelo movimento da enxurrada ou escoamento superficial dela originado (força aplicada no modo tangencial à superfície do solo), enquanto as partículas primárias e secundárias do solo que estão a sua superfície representam o corpo o qual sofre movimento.

A força causadora de erosão hídrica do solo provém da energia mecânica, manifestada nas suas formas clássicas de energia cinética ou de movimento, $E_c = mv^2/2$ (originada do movimento de água) e energia potencial ou de posição, $E_p = mgh$ (originada de corpos de água ou solo situados em diferentes posições no terreno, em estado de repouso). A energia cinética (E_c) da água se origina do movimento de uma dada massa (m) da mesma, seja ela na forma de gotas de chuva, seja ela na forma de enxurrada, a qual se desloca com uma dada velocidade (v), seja do processo de queda das gotas da chuva, seja do movimento da enxurrada. A energia potencial (E_p) de uma da massa

(m) de água (armazenada) ou de solo (na sua posição original) se origina da diferença de posição ou altura (h) da mesma em relação a outra massa e, por isto, ela também é referida como energia de posição. Uma vez que a aceleração devido à força da gravidade (g) é, essencialmente, constante, a energia potencial de uma dada massa de água ou de solo é proporcional a sua altura acima do nível para o qual ela pode descender ou cair. Assim, uma dada quantidade de energia potencial vai depender da massa de água ou de solo e da diferença de elevação entre a posição original da mesma e a base do declive para o qual ela poderá descender ou cair. Segundo o princípio de conservação de energia de Lavoisier, a energia cinética ou de movimento pode se transformar em energia potencial ou de repouso, e vice-versa. De maneira geral, os maiores danos causados ao solo pela erosão hídrica pluvial nas terras agrícolas são devidos à energia cinética da água em movimento, seja ela na forma de chuva, seja ela na forma de enxurrada originada da chuva.

O processo erosivo do solo pode ser dividido em três fases básicas ou subprocessos, a saber: desagregação, transporte e deposição. Na erosão hídrica pluvial, a desagregação consiste na separação das partículas de solo (individualizadas ou na forma de agregados) da massa que as contém, tanto pela ação de impacto das gotas, quanto pela ação cisalhante da enxurrada originada da chuva. Da mesma forma, o transporte das partículas de solo desagregadas se dá tanto pelo salpico originado do impacto das gotas da chuva quanto pelo movimento da enxurrada, podendo estes dois processos serem simultâneos. Nos terrenos inclinados, a maior parte do transporte das partículas de solo desagregadas se dá pelo movimento da enxurrada. A deposição ou sedimentação do material que foi desagregado e transportado, terceira e última fase do processo erosivo, ocorre quando a carga de sedimentos na enxurrada é maior do que a sua capacidade de transporte (Ellison, 1947; Foster & Meyer, 1977).

2.1.2. Os fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo

Fundamentalmente, a magnitude do processo de erosão hídrica pluvial do solo vai depender da resultante de duas forças distintas, porém agindo em direções opostas, a saber: capacidade da chuva (e da enxurrada dela originada) de causar erosão do solo e habilidade do solo de resistir à ação

da chuva (e da enxurrada dela originada) (Hudson, 1995).

A capacidade da chuva de causar erosão do solo (erosividade da chuva) vai depender de várias das suas características, mas, principalmente, da intensidade, duração e probabilidade de ocorrência ou período de retorno da chuva. A intensidade da chuva resulta da razão entre quantidade e duração da mesma, enquanto esta última é a que vai determinar a quantidade total de chuva. De modo geral, quanto maior a duração da chuva, tanto maior é a sua quantidade total e menor a sua intensidade média. Uma chuva de alta intensidade contém gotas de maior diâmetro do que uma chuva de baixa intensidade, conseqüentemente, maior é a sua velocidade terminal de queda. Por outro lado, quanto maior a duração da chuva, apesar da sua menor intensidade média, tanto maior será a massa ou quantidade total da mesma. Como foi tratado no item 2.1.1, a energia cinética da chuva vai depender da sua quantidade (massa da chuva) e da sua intensidade (velocidade de queda das gotas da chuva). Assim, chuvas de maior quantidade e, ou, maior intensidade irão possuir mais energia cinética e, decorrente disto, maior capacidade de causar erosão do solo. Tais chuvas apresentam baixa probabilidade de ocorrência ou elevado período de retorno, conseqüentemente, elevada erosividade (Wischmeier, 1962; Foster & Meyer, 1977; Hudson, 1995).

A habilidade do solo de resistir à erosão causada pela água da chuva (e da enxurrada dela originada), por sua vez, também é determinada por vários fatores, mas, principalmente, da erodibilidade do solo, topografia do terreno e práticas de manejo agrícola. A erodibilidade do solo diz respeito a sua vulnerabilidade ou suscetibilidade à erosão, sendo, pois, a recíproca da sua resistência à erosão. Ela resulta da interação de atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos do solo. A distribuição de tamanho das partículas do solo, o teor de matéria orgânica, a estrutura e a permeabilidade são as características físicas de solo que mais se relacionam com sua erodibilidade (Wischmeier & Smith, 1978). A topografia do terreno é composta pelos elementos: comprimento, inclinação e formato ou curvatura do declive. Estes fatores influenciam a quantidade e a velocidade da enxurrada, as quais, por sua vez, irão determinar a quantidade e o tamanho das partículas de solo em suspensão na mesma (Wischmeier & Smith, 1978; Hudson, 1995). O manejo do solo a ser adotado numa dada área representa a principal forma de se

umentar a sua resistência à erosão, seja ela hídrica, seja ela eólica. A proteção da superfície do solo contra a ação erosiva, propiciada pelo seu manejo, principalmente decorre do crescimento das plantas e dos seus resíduos culturais remanescentes, os quais agem contra o impacto direto das gotas da chuva, dissipando, parcial ou totalmente, a energia cinética das mesmas, além de contribuírem para a melhor estrutura do solo e de servirem como obstáculo físico ao livre escoamento do fluxo superficial de água (Wischmeier & Smith, 1978; Cogo, 1981; Amado et al., 1989). Os métodos de preparo do solo e de semeadura das culturas e as práticas conservacionistas de suporte, como terraços agrícolas, também são componentes de manejo que determinam a resistência de um solo à erosão, uma vez que eles resultam em diferentes condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, expressivamente interferindo na ação dos agentes erosivos (Wischmeier, 1973; Cogo, 1981; Volk et al., 2004).

Por meio do estudo e da avaliação quantitativa dos fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo a campo, relacionados às principais forças envolvidas no processo (de ataque, dos agentes erosivos, e de resistência, do solo), foram desenvolvidos modelos empíricos de predição da perda de solo por tal fenômeno, que será o assunto abordado a seguir.

2.1.3. Predição da erosão hídrica pluvial do solo

Segundo Hudson (1995), a primeira investigação científica em erosão do solo foi feita pelo cientista de solo Wollny, na Alemanha, entre os anos de 1877 e 1895. Pequenas parcelas foram utilizadas para observações e medições de diversos efeitos relacionadas ao processo erosivo, como interceptação da água chuva pela cobertura superficial do solo propiciada pelas plantas e pelos seus resíduos culturais, deterioração da estrutura do solo pela ação dos agentes erosivos e influência do tipo de solo e da declividade do terreno na enxurrada e na erosão hídrica. Contudo, foi e continua sendo os Estados Unidos da América o líder na pesquisa em erosão hídrica do solo no mundo. O primeiro experimento de erosão com o objetivo de quantificar o processo erosivo causado pela água da chuva e da enxurrada dela originada foi conduzido pelo Serviço Florestal Americano, em 1915, em Utah, no estado do Colorado, seguido de um estudo conduzido por Miller, no estado de

Missouri, em 1917, resultando, em 1923, na primeira publicação de resultados de erosão hídrica do solo oriundos de parcelas experimentais de campo. Mais tarde, Hugh Hammond Bennett, cognominado o Pai da Conservação do Solo em todo o mundo, estabeleceu, entre os anos de 1928 e 1933, uma rede de dez estações experimentais de conservação do solo nos Estados Unidos, chegando a quarenta e quatro delas em 1940. Diversos trabalhos em erosão hídrica do solo foram, então, desenvolvidos por pesquisadores americanos, na década de 1930, como os de Bayer, Borst, Woodburn e Musgrave, culminando com o primeiro estudo detalhado, sob condições de chuva natural, realizado por Laws, em 1940, e com a primeira análise da ação mecânica das gotas da chuva sobre o solo, por Ellison, em 1944 (Hudson, 1995). A pesquisa analítica em erosão hídrica pluvial do solo, no entanto, rumou para objetivos mais específicos somente a partir de 1954, por meio de um estudo nacional americano, onde foram avaliados os resultados de experimentos de campo até então desenvolvidos, resultando na identificação e na representação matemática das principais variáveis associadas ao processo erosivo pela água da chuva e da enxurrada dela originada, como será esclarecido a seguir.

2.1.3.1. O modelo “RUSLE” de predição da erosão hídrica pluvial do solo

Como foi comentado no item anterior, as tentativas de se predizer a perda de solo por erosão hídrica pluvial são antigas. Cook (1936) apresentou o primeiro modelo matemático de predição da erosão hídrica pluvial do solo, e Zingg (1940) publicou a primeira equação de predição da perda de solo por tal fenômeno, a qual considerava, apenas, o comprimento e a inclinação do declive. Com a evolução da pesquisa em conservação do solo nos Estados Unidos, novos fatores e melhorias foram agregados às equações existentes, ao mesmo tempo em que foi gerado um grande volume de dados de pesquisa local. A partir desses dados, Wischmeier & Smith (1965, 1978) desenvolveram a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (“Universal Soil Loss Equation - USLE”), a qual é apresentada como:

$$A = R . K . L . S . C . P$$

onde A é a perda média anual (de longo prazo) de solo calculada pela

equação, R o fator erosividade da chuva e da enxurrada dela originada, K o fator erodibilidade do solo, L o fator comprimento do declive, S o fator inclinação do declive, C o fator cobertura e manejo do solo e P o fator prática conservacionista de suporte. Desde então, novas melhorias foram adicionadas à referida equação, chegando-se ao modelo atualmente em vigor, denominado de Equação Universal de Perda de Solo Revisada – EUPSR (“Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE”) (Renard et al., 1997). Doravante, por questão de simplificação, será empregado apenas o termo RUSLE para denotar a Equação Universal de Perda de Solo Revisada, como ela é conhecida e referida no Brasil.

A RUSLE é um modelo empírico de predição da erosão hídrica pluvial do solo designado a calcular a perda média anual (de longo prazo) de solo essencialmente originada da erosão em entressulcos e da erosão em sulcos, combinadas, sob condições especificadas de regime de chuva, tipo de solo, comprimento, inclinação e formato do declive, práticas de manejo e práticas conservacionistas de suporte. A estimativa da perda de solo feita pela equação, em princípio, é válida para o local específico que ela está sendo calculada, e ela se refere, somente, ao solo que foi desagregado e transportado do terreno inclinado pela ação combinada da chuva e da enxurrada dela originada. A equação não computa, portanto, a deposição de sedimentos (sedimentação) ao longo do declive que sofreu erosão. Tal modelo de predição da perda de solo por erosão consiste de um programa computacional para sua operacionalização, e inclui dados de pesquisa que não estavam disponíveis à época do desenvolvimento do modelo USLE. Apesar de estrutura idêntica à do modelo USLE, o modelo RUSLE adota uma nova tecnologia para o cálculo dos seus seis fatores e, a qualquer momento, novos dados de pesquisa podem ser adicionados à equação (Renard et al., 1997). Dentre os seis componentes da equação, o fator C é, ao mesmo tempo, o mais envolvente e o mais complexo de ser obtido, tendo em vista que ele reflete o efeito combinado da cobertura e do manejo do solo na erosão, sendo, por isto, o mais freqüentemente utilizado para comparar impactos relativos das opções de manejo nos planos de conservação do solo, e o qual será enfatizado no restante desta primeira parte da revisão bibliográfica.

2.1.3.2. O fator C – cobertura e manejo do solo no modelo RUSLE

O efeito quantitativo deste fator na erosão hídrica pluvial do solo é obtido pela razão da perda de solo de um terreno cultivado numa dada condição de cobertura e de manejo com a perda de solo de um terreno mantido continuamente descoberto e preparado convencionalmente no sentido do declive. Na RUSLE, este fator é calculado para intervalos regulares de 15 dias, por meio da expressão:

$$SLR = PLU . CC . SC . SR . SM$$

onde SLR (“Soil Loss Ratio”) é a razão de perda de solo para uma dada condição de cobertura e de manejo do solo; PLU (“Prior Land Use”) o subfator uso anterior da terra; CC (“Canopy-Cover”) o subfator cobertura do solo pela copa das plantas; SC (“Surface-Cover”) o subfator cobertura superficial do solo - por plantas em contato direto com o mesmo e, ou, por resíduos culturais; SR (“Surface-Roughness”) o subfator rugosidade superficial do solo; e SM (“Soil-Moisture”) o subfator umidade do solo. No presente trabalho, será tratado apenas do subfator PLU – uso anterior da terra, o qual será abordado a seguir.

2.1.3.3. Efeito residual do uso da terra e erosão hídrica pluvial do solo

O efeito residual do uso da terra na erosão hídrica pluvial do solo considera, no tempo, os seguintes aspectos: efeito das raízes das plantas e da incorporação dos resíduos culturais na melhoria da estrutura do solo, em termos de estabilidade de agregados, densidade e conteúdo de matéria orgânica do solo, relacionados a sua resistência à ação erosiva; efeito do preparo do solo ou da sua ausência na rugosidade e na porosidade superficiais do mesmo; efeito da atividade biológica no solo e, provavelmente, muitos outros fatores (Wischmeier, 1975; Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). No modelo RUSLE, tais efeitos são integrados no subfator PLU (uso anterior da terra) por meio da consideração da variação, no tempo, de dois componentes do mesmo, a saber: (i) consolidação da superfície do solo e (ii) massa de raízes vivas e, ou, mortas e de resíduos culturais incorporados na camada superficial do solo, os quais são utilizados no cálculo da razão de perda de solo (SLR), como será esclarecido a seguir.

2.1.3.4. O subfator PLU – uso anterior da terra no modelo RUSLE

O subfator PLU – uso anterior da terra representa o efeito do manejo anterior do solo na porção interna da sua estrutura, bem como o efeito das práticas anteriores de preparo do solo na consolidação da sua superfície e na determinação da quantidade de raízes e de resíduos culturais incorporados ao solo, relacionados à erosão hídrica. Este subfator é obtido por meio da expressão:

$$PLU = C_f \cdot e^{(-c \cdot B_u)}$$

onde C_f é o fator consolidação da superfície do solo; c o coeficiente que representa a eficácia relativa da massa de raízes e de resíduos culturais incorporados ao solo na redução da erosão; B_u a massa de raízes vivas e, ou, mortas e de resíduos culturais incorporados na camada dos 10 cm superiores de solo; e e a base do logaritmo neperiano.

O subfator C_f expressa a variação temporal na erosão hídrica pluvial do solo como resultado do efeito: (i) das operações anteriores de preparo e cultivo do solo que causaram alterações na sua densidade, porosidade, estabilidade de agregados e rugosidade superficial e na taxa de decomposição das raízes das culturas e dos resíduos culturais incorporados ao mesmo e (ii) da interrupção das operações de preparo do solo em tais parâmetros, uma vez que, cessadas as mesmas, o solo tende a reconsolidar e se tornar menos erodível (Dissmeyer & Foster, 1981; Streck & Cogo, 2003; Volk et al., 2004). Assim, em solo recém e integralmente preparado, como no preparo convencional tradicional (uma aração e duas gradagens), o valor de C_f é igual a 1,0. Em solo não mais preparado e não mais cultivado, tal valor decresce exponencialmente no tempo, podendo chegar ao valor de 0,45, após sete anos de paralisação das operações de preparo do solo, nas condições dos Estados Unidos da América (Dissmeyer & Foster, 1981). Nas condições do Brasil, mais especificamente no estado do Rio Grande do Sul, Streck & Cogo (2003), avaliando o efeito da reconsolidação do solo na sua perda física por erosão hídrica pluvial, na presença e na ausência de cultivo, em condições de campo, encontraram valor de C_f igual a 0,16 para o solo não mais preparado e não mais cultivado e igual a 0,06 para o solo não mais preparado, porém, continuamente cultivado, após 2,5 anos de interrupção do seu preparo. No

entanto, a pura e simples comparação de valores, reportados pelos referidos autores, em países distintos, não é possível, tendo em vista as contrastantes diferenças locais no que se refere tanto ao tipo de solo e sistema de cultivo empregados nos estudos quanto às condições climáticas dominantes.

A variável B_u expressa o efeito que as raízes vivas e, ou, mortas das culturas e os resíduos culturais incorporados ao solo têm nas taxas de perda de solo por erosão hídrica pluvial. A eficácia destes materiais na redução da erosão pode se manifestar de duas formas. A primeira diz respeito à ação mecânica exercida pelas raízes das plantas e pelos resíduos culturais incorporados ao solo (Renard et al., 1997; Cogo & Streck, 2003; Volk et al., 2004). A segunda se refere às substâncias orgânicas exsudadas pelas raízes das plantas e pelos resíduos culturais incorporados em decomposição, as quais servem tanto como agente ligante na agregação das partículas de solo quanto como fonte de energia para os microrganismos, resultando no aumento da agregação do solo e, deste modo, da sua resistência à erosão hídrica pluvial (Renard et al., 1997; Cogo & Streck, 2003; Volk et al., 2004). O efeito especificamente dos resíduos culturais incorporados ao solo na redução da erosão hídrica pluvial vai variar com a quantidade, tipo, tamanho, forma de manejo e tempo de incorporação dos mesmos, sendo mais notório logo após a sua incorporação. Posteriormente, seu efeito vai diminuindo e vão aumentando as perdas de solo por erosão (Brown et al., 1989; Cogo & Streck, 2003).

2.1.3.4.1. Massa de raízes e erosão hídrica pluvial do solo

As raízes das plantas atuam na redução da erosão hídrica pluvial do solo de duas formas. Primeiro, fisicamente ligando as partículas de solo entre si e agindo como barreira mecânica ao livre movimento de água e de solo. Em segundo lugar, por meio da exsudação de substâncias orgânicas, as quais irão atuar como agentes ligantes na formação de agregados do solo, melhorando a qualidade física da sua estrutura. As plantas se diferenciam quanto à influência de suas raízes na melhoria da estrutura do solo, principalmente os grandes grupos de gramíneas e leguminosas. As gramíneas têm recebido atenção especial neste sentido, face ao efeito que elas exercem na agregação das partículas de solo e na estabilização de tais agregados, devido sua maior capacidade de regeneração, maior produção de matéria seca e denso sistema

radicular. As leguminosas, por sua vez, se destacam pela qualidade da sua matéria seca, de fácil decomposição pelos microrganismos do solo.

A formação, estabilidade e qualidade dos agregados de solo, afetadas pelo uso agrícola, possuem elevada correlação com a densidade de raízes (Silva, 1993). A estabilidade dos agregados de solo depende diretamente da ação de raízes e de hifas de fungos e, deste modo, do crescimento do sistema radicular das plantas. As raízes das plantas estimulam a agregação estável no solo, tanto pela promoção de uma alta população microbiana na rizosfera, quanto pelo suprimento de resíduos orgânicos. As gramíneas perenes e algumas plantas invasoras, por meio de seu sistema radicular fasciculado, têm efeito positivo na agregação e na estabilidade dos agregados de solo (Silva & Mielniczuk, 1997). Algumas leguminosas, como o tremoço azul (*Lupinus angustifolius*), não diferem das gramíneas quanto à produção de matéria seca de raízes, tendo o mesmo efeito sobre os agregados do solo (Campos et al., 1999). Dissmeyer & Foster (1981) destacam a importância das raízes finas das plantas, principalmente na camada dos 5 cm superiores de solo, que, juntamente com a matéria orgânica, promovem a formação de macroagregados estáveis. Desta forma, a proporção de macroagregados declina com a diminuição do conteúdo de matéria orgânica do solo e da quantidade de raízes e com o aumento da compactação causada pelo tráfego de máquinas e, ou, de animais (Allison, 1968; Tisdall & Oades, 1982). Esta situação pode se agravar com a queima ou remoção dos resíduos culturais, com o preparo do solo em condições inadequadas de umidade, com as excessivas operações de revolvimento da camada arável e com a não reposição dos nutrientes retirados do solo pelas culturas (Allison, 1968).

Campos et al. (1999) observaram que a cobertura do solo no inverno tem importante influência na estabilidade da estrutura do solo, uma vez que ela dissipa a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva, diminui a amplitude térmica e mantém a umidade do solo. Estes fatores favorecem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a atividade microbiana, propiciando um ambiente benéfico à agregação do solo. Os sistemas de rotação de culturas que incluem a combinação de pastagens perenes de gramíneas e leguminosas, além de culturas anuais, são os mais eficientes na manutenção de uma boa estrutura do solo. As pastagens perenes atuam por

período mais prolongado, no qual as gramíneas influenciam por meio do seu sistema radicular extenso e em constante renovação, enquanto as leguminosas influenciam pelo nitrogênio biologicamente fixado e pela sua baixa relação C/N, elevando a taxa de decomposição das suas raízes (Harris et al., 1966; Lal & Greenland, 1979). Assim, fica evidenciado que as gramíneas e leguminosas atuam em processos distintos de agregação do solo, onde uma complementa a ação da outra, fazendo com que a combinação gramínea-leguminosa seja a mais eficiente na manutenção da boa estrutura do solo.

Do exposto, nota-se a complexidade dos fatores ligados ao uso e ao manejo do solo que influem na redução da sua erosão hídrica pluvial. Assim, os esforços despendidos pela pesquisa na derivação do subfator PLU – uso anterior da terra associado ao modelo RUSLE, serão de grande valia para se poder efetuar estimativas confiáveis de perda de solo por erosão hídrica pluvial no Brasil, com vistas à elaboração de planejamentos conservacionistas de uso da terra em base quantitativa. Ao mesmo tempo, tal subfator tem relação direta com a qualidade do solo para fins de crescimento de plantas e de animais e de minimização da erosão hídrica nas terras agrícolas, podendo, deste modo, seu estudo servir de base para se identificar e definir indicadores de qualidade física do solo para tais finalidades. Este, pois, é o assunto principal que será tratado a seguir, e que constitui a segunda parte desta revisão bibliográfica.

2.2. Qualidade do solo

2.2.1. Conceito de qualidade do solo

O solo, juntamente com a água, o ar, a energia solar (luz e calor) e as plantas, é um recurso natural essencial à vida na Terra. Ele é o meio que faz com que os demais recursos interajam para permitir o crescimento das plantas terrestres, principal fonte de alimento para o homem e para os animais. Tal importância do solo se deve ao seu papel de interface entre a litosfera, a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera (Brady & Weil, 2002). Como já foi referido na parte introdutória deste trabalho, embora não haja diferença em importância entre os recursos naturais essenciais à vida na Terra, há uma diferença definida no que diz respeito à destrutibilidade dos mesmos, ou seja, no que se refere às possibilidades de sua restauração quando eles se encontram em avançado estágio de degradação, especialmente o solo. Isto se deve ao fato de que o solo possui taxas de formação e renovação, portanto, de reposição,

muito baixas, quando comparadas às taxas de degradação por ação antrópica, especialmente pela erosão acelerada. Assim, quando mal utilizado pelo homem, o solo pode sofrer um processo erosivo acentuado, com perdas físicas do mesmo, em adição à perda de água na forma de enxurrada, no caso da erosão hídrica pluvial, que podem grandemente superar as taxas naturais tanto de formação e de renovação de solo, quanto de erosão do solo (erosão geológica ou natural). Como resultado da erosão acelerada, especialmente a hídrica pluvial, a capacidade produtiva do solo para as culturas no local de origem do fenômeno é reduzida (dano direto da erosão) e problemas ambientais, de outras naturezas, fora do local de ocorrência do fenômeno, são criados (danos indiretos da erosão). Estes últimos dizem respeito ao assoreamento e à poluição das fontes superficiais de água, especialmente no meio rural, mas, também, no meio urbano, causados pela sedimentação dos produtos da erosão (partículas sólidas e substâncias químicas adsorvidas e, ou dissolvidas e transportadas na água de escoamento superficial da erosão hídrica).

Segundo Karlen & Stott (1994), o reconhecimento público de que é essencial manter em equilíbrio os recursos essenciais e finitos do planeta, em função do permanente crescimento de sua população, e o reconhecimento de que o solo é tão vulnerável à degradação quanto o são a água e o ar, constituíram a força por detrás dos esforços que estão sendo despendidos no sentido de melhor entender e melhor monitorar o que se denomina de qualidade ou “saúde” do solo. Cabe salientar que o crescente, e cada vez mais acentuado, interesse atual no tema qualidade do solo está associado com o assim denominado desenvolvimento sustentável. Como será visto adiante, entretanto, não é possível quantificar a qualidade do solo por meio de uma simples medição ou um simples indicador da mesma. Devido a isto, nas décadas de 1970 e 1980, principalmente nos Estados Unidos da América, a ênfase na pesquisa em erosão do solo foi no sentido de avaliar os diferentes sistemas de manejo do solo com o propósito de controlar os processos de erosão hídrica pluvial e erosão eólica do solo, para minimizar o declínio da sua capacidade produtiva para as culturas, causado pelas perdas de solo e água resultantes de tais fenômenos (Karlen et al., 2003). Segundo estes autores, a pesquisa em qualidade do solo, no entanto, passou a ser impulsionada

somente a partir da década de 1990.

O termo qualidade do solo é, muitas vezes, utilizado na literatura indistintamente do termo “saúde” do solo. No entanto, Gregorich (2002) faz uma distinção entre ambos, argumentando que o conceito de qualidade do solo engloba, já, o conceito de “saúde” do solo, uma vez que este último enfatiza mais as propriedades orgânicas e algumas outras mais dinâmicas do solo. Segundo o autor em questão, o conceito de qualidade do solo deve permitir uma visão mais ampla do mesmo, como o componente-chave para, de forma sustentada, suportar os demais ecossistemas terrestres.

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do mesmo de servir uma função dentro dos limites de um ecossistema e de interagir positivamente com o ambiente externo a ele (Larson & Pierce, 1994) ou, alternativamente, como o grau de ajustamento de um solo a um uso específico, ou seja, sua habilidade ou capacidade de servir uma função específica (Gregorich, 2002). O solo pode ser considerado como possuindo cinco funções principais (funções primárias do solo), ou seja, servindo como: (i) meio de crescimento de plantas e de animais, (ii) regulador do suprimento de água, (iii) receptor e tamponador de descartes ou contaminantes, (iv) *habitat* para organismos de solo e (v) suporte para construções (Brady & Weil, 2002; Gregorich, 2002). Gregorich (2002), em função do seu conceito de qualidade do solo, ressalta que o desenvolvimento de uma arquitetura de trabalho útil para consideração da qualidade do solo deve iniciar com uma descrição clara das funções as quais a mesma deve ser baseada, isto é, aquelas que, provavelmente, irão influir no desempenho do solo. Além disso, deve-se ter em mente que a qualidade do solo é constituída de um elemento natural ou inerente, determinado pela interação entre seu material geológico de origem e processos pedogenéticos, como teor de argila, mineralogia, presença ou não de horizonte B textural ou coeso, etc., e de um elemento dinâmico, determinado pelas práticas de manejo adotadas pelo homem, como tipo de uso da terra, tipo e intensidade de preparo do solo, forma de manejo dos resíduos culturais, tipo de rotação de culturas, etc. Tais práticas de manejo, quando corretamente utilizadas, irão manter e, até, melhorar a qualidade do solo. Por outro lado, práticas de manejo inapropriadas, quando sujeitas a fenômenos naturais intensos, como, por exemplo, a erosão acelerada, podem diminuir a

qualidade do solo, principalmente aquela natural ou inerente, podendo criar uma espiral crescente de degradação do solo (Ditzler, 2002).

Outros dois importantes conceitos envolvidos na qualidade do solo são o de resistência e o de resiliência. Resistência do solo refere-se à capacidade do solo de resistir a mudanças ou deformações quando confrontado com qualquer tipo de força ou perturbação externa ou, alternativamente, à capacidade do solo de continuar cumprindo integralmente uma ou mais de suas funções após ele ter sido confrontado com alguma força ou perturbação externa (Herrick & Wander, 1998). Por sua vez, resiliência do solo refere-se à capacidade do solo de se recompor das mudanças ou deformações promovidas por forças ou perturbações externas ou, em outras palavras, de readquirir sua capacidade plena de cumprir uma ou mais de suas funções após ter sofrido mudanças ocasionadas por forças externas (Seybold et al., 1999). Durante o período de distúrbio, causado pela ação de uma força externa (natural ou antrópica), a qualidade do solo é função da sua resistência. Após o período de distúrbio, a qualidade do solo passa a ser função da sua resiliência. Assim, tanto a resistência do solo ao distúrbio imposto, quanto sua resiliência após o mesmo, serão tanto maiores quanto melhor for a qualidade do solo. A resistência e a resiliência do solo atuam em conjunto para manter a sua qualidade. Contudo, a capacidade do solo de resistir a um distúrbio ou de se recompor dele, pode ser degradada ou perdida, como resultado do seu uso e, ou, do manejo inadequado, resultando em diminuição da sua qualidade (Seybold et al., 1999). Assim, o entendimento e o monitoramento completos de qualidade do solo irão permitir que os profissionais de agronomia possam avaliar melhor a sustentabilidade dos diferentes tipos de uso da terra e dos diferentes sistemas de manejo do solo empregados nas terras agrícolas (Gregorich, 2002).

Da mesma forma como os solos são estudados por meio das suas características e propriedades físicas, químicas e biológicas, a qualidade do solo pode ser estudada separando-a em qualidade física, química e biológica (Karlen & Stott, 1994). No presente trabalho, somente irão ser tratados de aspectos relacionados com a qualidade física do solo, tendo em mente a sua função primária de meio para o crescimento de plantas e de animais, porém, especificamente relacionada com a erosão hídrica pluvial.

2.2.2. Qualidade física do solo para o crescimento de plantas e de animais

Yoder (1937) foi um dos primeiros pesquisadores a sugerir e a enumerar características estruturais do solo ligadas a sua condição física “ideal” (“good tilth”) para realização das operações de preparo do solo e para o crescimento de plantas. Com base nessas características, Karlen & Stott (1994) sugerem que, para cumprir a sua função primária de meio para o crescimento de plantas e de animais, o solo deve cumprir as seguintes funções específicas ou subfunções: (i) oferecer mínima resistência à penetração de raízes; (ii) permitir a livre entrada e a moderada retenção de água da chuva; (iii) apresentar boa aeração e permitir boa troca de gases com a atmosfera; (iv) apresentar mínima competição entre água e ar na ocupação do seu espaço poroso; (v) apresentar máxima resistência à erosão; (vi) facilitar a incorporação de plantas para adubação verde e resíduos orgânicos; (vii) promover a atividade biológica; e (viii) promover tração estável para máquinas e implementos agrícolas.

Como foi referido no item 1, a erosão hídrica pluvial é a mais extensiva e prejudicial forma de degradação do solo do planeta e, como tal, a maior responsável pela diminuição da sua capacidade produtiva para as culturas. Por esta razão, é de fundamental importância que se considere a qualidade física do solo com vistas à minimização de tal fenômeno, de modo que ele possa cumprir a sua função primária de meio para crescimento de plantas e de animais sem degradação. Assim, doravante, nesta revisão bibliográfica, será dada ênfase às condições físicas do solo que se relacionam com a sua máxima resistência à erosão hídrica pluvial.

2.2.3. Qualidade física do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial

Segundo Karlen & Stott (1994), o Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (SCS/USDA) estabeleceu várias metas no que se refere ao tema qualidade do solo, as quais podem ser tomadas como base para finalidades afins e incluem o seguinte: (i) identificação de parâmetros que sejam mensuráveis com a tecnologia corrente; (ii) estabelecimento de critérios ou de valores para quantificar tais parâmetros; (iii) desenvolvimento de uma arquitetura de trabalho útil para avaliar qualidade

do solo a curto e médio prazo; (iv) identificação de todos os componentes de manejo e seus efeitos sobre a qualidade do solo; e (v) avaliação do conhecimento existente e dos dados de pesquisa disponíveis para poder se determinar tanto indicadores de qualidade do solo apropriados, quanto procedimentos para combiná-los válidos. Em adição, Karlen & Stott (1994) sugerem que, para avaliação da qualidade física do solo do ponto de vista de minimização da erosão hídrica pluvial, deveria ser avaliada a sua capacidade de: (i) permitir a livre entrada de água da chuva na sua superfície; (ii) permitir o movimento interno da água que infiltrou no seu perfil; (iii) resistir às forças de degradação física originadas do impacto das gotas da chuva e da ação cisalhante da enxurrada dela originada; e (iv) servir de meio para o crescimento de plantas e de animais. Por conseguinte, a avaliação de indicadores de qualidade física do solo em relação à minimização da erosão hídrica pluvial traduzem a sua capacidade de atender a cada um de tais requisitos.

Os requisitos (i) permitir a livre entrada de água da chuva na superfície do solo e (ii) permitir o movimento interno da mesma no seu perfil são de fundamental importância na redução da erosão hídrica pluvial, já que o excedente da água da chuva irá escoar sobre o terreno inclinado e, dependendo da sua quantidade e da sua velocidade, será capaz de, não só transportar partículas de solo desagregadas para fora da área de interesse, como também de desagregar mais o solo, pela sua ação cisalhante (Schwab et al., 1981). A infiltração da água da chuva no solo, contudo, além das suas condições físicas de superfície e subsuperfície, também é determinada pela disponibilidade de água para infiltrar, a qual, por sua vez, é função da quantidade total e da intensidade da chuva.

Dentre as condições físicas de superfície do solo que afetam a infiltração de água da chuva no mesmo, se destacam a presença de selo e, ou, de crosta e de rugosidade superficial ou microrrelevo. O selamento superficial do solo ocorre devido à ação de impacto das gotas da chuva diretamente sobre o solo desnudo, fazendo com que as partículas de solo desagregadas obstruam os seus poros e acabem selando sua superfície, diminuindo a taxa de infiltração de água da chuva e aumentando a quantidade de enxurrada, conseqüentemente, aumentando a erosão hídrica. Desta forma, o maior ou o menor selamento da superfície do solo é determinado pela sua cobertura

superficial, seja ela constituída de resíduos culturais ou plantas rasteiras, seja ela constituída da copa das plantas, bem como pela resistência do solo à desagregação de suas partículas. Já a rugosidade superficial do solo, tanto a orientada quanto a ao acaso, devido às microdepressões e microelevações constituintes da mesma, é a grande responsável pela retenção, infiltração e detenção superficial da água da chuva no solo, além de aumentar a superfície efetiva deste último para infiltrar água e de diminuir a velocidade da enxurrada. Com mais água da chuva retida, infiltrada e detida na superfície do solo, menor serão a taxa de descarga e a quantidade total de enxurrada, fato que, aliado à menor velocidade de escoamento da mesma, irá limitar a sua capacidade erosiva, conseqüentemente, diminuindo a erosão hídrica pluvial do solo (Cogo, 1981; Karlen & Stott, 1994; Hudson, 1995).

Quanto às condições físicas de subsuperfície do solo que afetam a infiltração de água da chuva no mesmo, se destacam a textura, o teor de água no solo antecedente às chuvas e as variáveis ligadas a sua estrutura, como macro, micro e porosidade total e estabilidade dos agregados de solo (McIntyre, 1958; Mannering et al., 1968; Schwab et al., 1981; Karlen & Stott, 1994). Em igualdade de condições, solos de textura arenosa irão permitir maior infiltração de água do que solos de textura argilosa. Um solo com teor de água antecedente às chuvas mais elevado terá o seu espaço aéreo diminuído em relação a um solo seco, o que irá propiciar menor infiltração de água. A porosidade total do solo diz respeito à porção do seu volume total que pode ser preenchida com líquidos ou com gases, a qual é, de modo geral, ao redor de 50%, e pode ser separada em macroporosidade (poros que retém água na tensão de, até, 0,06 bar) e microporosidade (poros que retém água nas tensões acima de 0,06 bar). A porosidade total do solo é fortemente influenciada pelo manejo, e influencia muito a infiltração e a retenção de água no mesmo, uma vez que é por meio dos poros do solo que ocorre a entrada e a redistribuição interna da água da chuva. A relação entre macro e microporos do solo traduz a qualidade da sua porosidade, sendo, também, diretamente afetada pelo manejo. Solos bem estruturados apresentam volume de macro e microporos semelhante. O cultivo inapropriado do solo aumenta a sua densidade e, conseqüentemente, reduz sua macroporosidade e porosidade total, podendo, contudo, não afetar a microporosidade (Grohmann, 1960;

Machado & Brum, 1978 e Jorge & Prado, 1988).

Além das características físicas de subsuperfície do solo acima discutidas, muitos autores relatam a estabilidade dos agregados de solo como um dos principais indicadores da qualidade da sua estrutura (Allison, 1968; Tisdall & Oades, 1982; Silva & Mielniczuk, 1997; Albuquerque et al., 2000). Segundo Lynch & Bragg (1985), um solo com agregados estáveis mantém melhor a sua estrutura, mesmo quando ele sofre mudanças bruscas no teor de água, permitindo uma grande variedade de tamanho de poros. Assim, um solo com agregados estáveis apresentará grande quantidade de poros com diâmetro maior do que 75 μm , os quais controlam a taxa de infiltração de água no mesmo, permitindo que a água infiltre apenas por ação da força da gravidade. Ao mesmo tempo, tal solo apresentará poros com diâmetro entre 0,1 e 15 μm que atuarão na retenção de água para as plantas e para a sua biota (Karlen & Stott, 1994). McIntyre (1958) observou que um agregado de solo estável na superfície do mesmo aumentou significativamente a infiltração de água ao seu redor, uma vez que, não ocorrendo o seu rompimento, seja pela ação de impacto das gotas da chuva, seja pelo seu rápido umedecimento, não ocorrerá obstrução do espaço poroso ao seu redor. Wilson & Browning (1945), estudando sistemas de cultivo para a cultura do milho, em esquema de rotação de culturas e como cultivo isolado, observaram que existe uma relação inversa entre percentagem de agregados maiores do que 0,25 mm de diâmetro e perdas de solo e água por erosão, ratificando que solos bem estruturados resistem mais a este fenômeno. A estabilidade dos agregados de solo é de suma importância no estudo da erosão hídrica pluvial do solo não só frente à ação de impacto das gotas da chuva e à ação cisalhante da enxurrada, mas, também, frente ao rápido umedecimento dos mesmos. Um solo com agregados pouco resistentes ao rápido umedecimento será facilmente erodido quando exposto à ação da chuva (Yoder, 1936), além de ficar sujeito ao selamento da sua superfície, tendo em vista que as partículas de solo desagregadas podem obstruir os seus poros, limitando a infiltração de água no mesmo (Tisdall & Oades, 1982; Le Bissonnais, 1996; Le Bissonnais & Arrouyas, 1997) e, desta forma, facilitando o processo erosivo pela enxurrada (Albuquerque et al., 2000).

Em relação ao requisito (ii) permitir o movimento interno da água que infiltrou no perfil de solo, dentre os cinco anteriormente arrolados, ele diz

respeito às condições físicas de subsuperfície do solo que permitem que a água percole tanto verticalmente, dando origem ao fluxo base ou fluxo subterrâneo, quanto lateralmente, dando origem ao fluxo subsuperficial ou interfluxo. A este requisito, estão associadas as mesmas condições físicas de subsuperfície do solo já mencionadas (textura, teor de água no solo antecedente às chuvas, porosidade total, macro e microporosidade e estabilidade de agregados), porém, agora, devendo-se adicionar a elas a condutividade hidráulica do solo (Karlen & Stott, 1994).

O processo de erosão hídrica pluvial do solo é, essencialmente, um fenômeno de superfície. Assim, além do solo permitir a entrada superficial e o movimento interno da água da chuva no seu perfil, ele deve resistir à desagregação de suas partículas causada tanto pela ação de impacto das gotas da chuva quanto pela ação cisalhante da enxurrada dela originada. A magnitude do processo de desagregação das partículas de solo vai depender, além das características físicas da chuva em si, da porcentagem de cobertura do solo por plantas e, ou, por resíduos culturais e da habilidade das unidades estruturais ou agregados do solo de resistirem às forças erosivas da chuva e do fluxo superficial dela originado (Foster & Meyer, 1977).

A cobertura do solo diz respeito à proteção da sua superfície com vegetação viva (copa das plantas) e, ou, com vegetação morta (resíduos culturais remanescentes). Sua função principal é a de proteger o solo da ação de impacto direto das gotas da chuva, dissipando, parcial ou totalmente, a energia cinética das mesmas, além de contribuir para a melhoria da sua estrutura e de servir como obstáculo físico ao livre escoamento da enxurrada (Cogo, 1981; Amado et al., 1989). Além do pronunciado efeito de redução da erosão, a cobertura do solo também é importante para evitar a formação de selos e, ou, de crostas, manter a sua umidade e regular a sua temperatura, conseqüentemente, melhorar as condições físicas do solo para a aeração e para a emergência das plântulas. Porém, estando o solo parcial ou totalmente exposto à ação erosiva da chuva e da enxurrada dela originada, a magnitude do processo erosivo irá depender da resistência das unidades estruturais do solo à desagregação de suas partículas por tais agentes.

Ainda no que se refere à qualidade física do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial, além de permitir a livre entrada e o

rápido movimento interno da água da chuva no mesmo e, também, de resistir à degradação física, como já foi comentado, é de fundamental importância que o solo apresente condições favoráveis ao crescimento inicial e ao desenvolvimento posterior das culturas que são nele estabelecidas, não só para tornar o sistema produtivo economicamente viável, mas, também, porque são exatamente as plantas e os seus resíduos culturais que irão dar proteção à superfície do solo, requerimento fundamental para reduzir a erosão hídrica pluvial nas terras agrícolas (Mannering et al., 1968; Karlen & Stott, 1994).

2.2.4. Conflitos de qualidade física do solo para o cumprimento de algumas de suas funções

Como já foi comentado, a qualidade do solo está intimamente relacionada à função a qual ele deve servir. Assim, o solo deve apresentar, entre outros requisitos, condições físicas adequadas para servir bem uma dada função, seja ela primária ou secundária. Entretanto, em algumas situações, podem ocorrer conflitos entre as condições físicas de solo requeridas para que ele sirva bem uma dada função e aquelas requeridas para que ele sirva bem uma outra função. Dentre esses conflitos, o que mais se sobressai é aquele que ocorre com os atributos físicos de solo necessários para que ele sirva bem a função específica ou subfunção de minimizar a erosão hídrica pluvial e aqueles necessários para que ele sirva bem outra(s) função(es) específica(s) ou subfunção(ões), dentro da sua função primária ou principal de servir de meio para o crescimento de plantas e de animais (Cogo et al., 2003). Na tabela 1 são apresentados alguns exemplos de conflitos de qualidade física do solo para o cumprimento de algumas de suas funções específicas, dentro da função principal de meio de crescimento de plantas e de animais. Assim, neste contexto, é pensamento generalizado que a consolidação e, ou, a compactação da superfície do solo, são prejudiciais à penetração e ao desenvolvimento das raízes das plantas, bem como à infiltração de água no mesmo. Por outro lado, como já foi comentado no item 2.1.3.4, quando o solo se encontra consolidado e, ou, compactado superficialmente, ele resiste mais à erosão hídrica pluvial do que quando ele se encontra mobilizado (Schäfer et al., 2001; Volk et al., 2004). Em relação à tração de máquinas e de equipamentos agrícolas sobre o solo, a consolidação e a compactação da sua superfície é benéfica, pela melhor

condição de tráfego que elas propiciam. Por outro lado, no que se refere à operação de equipamentos no solo, a consolidação e a compactação da sua superfície é maléfica, tendo em vista o elevado esforço de tração requerido para operar sob tal condição. No que tange à rugosidade superficial do solo, praticamente ela não influi na penetração de raízes no mesmo, no entanto, ela é fundamental na retenção e na infiltração superficiais da água da chuva e na resistência do solo à erosão, este último fato sendo explicado pela diminuição do volume e da velocidade do escoamento superficial (item 2.1.2). Já uma elevada rugosidade superficial do solo, diminui a eficiência de tração do maquinário agrícola. Quanto ao teor de água no solo, ele deve ser intermediário (estado de úmido) para o bom desenvolvimento das raízes das plantas, mas, para a infiltração de água, resistência à erosão e tração do maquinário agrícola, quanto menor for o seu valor tanto melhor. Em relação à presença de resíduos culturais sobre o solo, quanto maior for a sua quantidade, tanto melhor será para o solo resistir à ação erosiva da chuva e da enxurrada dela originada, bem como para auxiliar na infiltração da água da chuva no mesmo. Por outro lado, uma elevada quantidade de resíduos culturais sobre o solo irá diminuir a eficiência da tração do maquinário agrícola (Cogo et al., 2003).

TABELA 1. Condições ideais de alguns atributos físicos do solo relacionados com a qualidade física do mesmo para o cumprimento satisfatório de algumas de suas funções específicas ou subfunções

Atributo físico do solo	Função específica ou subfunção de qualidade do solo			
	Penetração de raízes ¹	Retenção e infiltração superficiais de água ²	Resistência à erosão hídrica ³	Tração do maquinário agrícola ⁴
Consolidação/compactação superficial	ausente	ausente	elevada	elevada
Rugosidade superficial	indiferente	elevada	elevada	baixa
Teor de água	intermediário	baixo	intermediário	baixo
Quantidade de resíduos culturais superficiais	indiferente	elevada	elevada	baixa

¹ Oferecer mínima resistência à penetração de raízes; ² Permitir livre entrada e moderada retenção de água da chuva no perfil de solo; ³ Apresentar máxima resistência à desagregação pelos agentes erosivos; ⁴ Promover tração estável para máquinas e implementos agrícolas.

Do exposto, claramente percebe-se a importância de se pré-definir a função do solo para a qual será medida ou avaliada a sua qualidade. Isto porque, tanto os indicadores a serem utilizados, quanto sua importância relativa dentro da função e respectivos valores críticos, irão variar de acordo com a função escolhida.

2.2.5. Indicadores de qualidade física do solo para a função específica ou subfunção de minimizar a erosão hídrica pluvial nas terras agrícolas

Conforme já foi comentado no item 2.2.3, Karlen & Stott (1994) sugeriram uma estrutura de trabalho para combinar indicadores de qualidade física do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial, elaborada com base nos requisitos do modelo “WEPP – Water Erosion Prediction Project”. Entretanto, os autores enfatizam que, dependendo da região fisiográfica (clima, relevo, etc.) e da forma de erosão dominante (entressulcos, sulcos, voçorocas, etc.), outras combinações de indicadores são possíveis.

Souza et al. (2003) utilizaram a metodologia de trabalho sugerida por Karlen & Stott (1994) num estudo de caso, onde objetivaram o estabelecimento de um índice quantitativo de qualidade do solo para a produção de citros, com base em indicadores físicos e químicos do mesmo, em três classes de solos coesos. Tal metodologia de trabalho mostrou-se prática e adequada, inclusive, permitindo a identificação de indicadores limitantes para a produção de citros nas três classes de solo estudadas.

Apesar da constatação de praticidade e adequabilidade encontradas por Souza et al. (2003) na metodologia de Karlen & Stott (1994), Cogo et al. (2003), baseando-se nas três fases do processo erosivo causado pela água da chuva e na importância relativa de cada uma delas no processo, propuseram modificações em tal metodologia para a avaliação quantitativa da qualidade física do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial, como pode ser visto na tabela 2. Baseando-se no que foi exposto no item 2.1, Cogo et al. (2003) argumentam que a primeira e mais importante fase do processo erosivo pela água da chuva e da enxurrada dela originada é a desagregação das partículas do solo pela ação de impacto das gotas de chuva e pela ação cisalhante do escoamento superficial. Assim, estes autores sugerem que a subfunção mais crítica de qualidade física do solo para minimizar a erosão

hídrica pluvial deva ser a resistência que o mesmo oferece à desagregação de suas partículas pela ação dos agentes erosivos recém-referidos, atribuindo a mesma o maior peso relativo (45%) dentre todas as subfunções por eles consideradas. A segunda fase do processo erosivo é caracterizada pelo transporte das partículas de solo que foram desagregadas na primeira fase, o qual, predominantemente, se dá pelo escoamento superficial ou enxurrada (no caso da erosão hídrica pluvial). Com base neste processo, os autores sugerem que a segunda subfunção mais importante de qualidade física do solo para tal propósito deva ser a de facilitar a entrada de água no solo através da sua superfície, para reduzir o volume do escoamento superficial, atribuindo à mesma o peso relativo de 35%. Como já foi comentado nos itens 2.1.2 e 2.2.3, o que, em última análise, determina a capacidade erosiva da enxurrada, é a combinação do seu volume e da sua velocidade. Assim, Cogo et al. (2003), baseando-se no fato de que a energia cinética da enxurrada ($E_c = mv^2/2$), prima causa do cisalhamento e do transporte de solo pelo fluxo superficial, varia com o quadrado da sua velocidade, argumentam que o solo deve dificultar o movimento da mesma e resistir à degradação física pela sua ação cisalhante. Considerando este fato, os autores atribuíram o valor relativo de 10% para esta última subfunção, dentro da função de minimização da erosão hídrica pluvial.

No item 2.2.3, foi comentada a importância do teor de água no solo antecedente às chuvas no processo de erosão hídrica pluvial, onde solos com elevado teor de água no início das mesmas saturam mais rapidamente e, assim, favorecem a enxurrada e a erosão. Em função desse fato, Cogo et al. (2003) sugeriram, como última subfunção entre as quatro por eles consideradas, para fins de minimização da erosão hídrica pluvial do solo, a capacidade do solo de facilitar o movimento e o armazenamento internos da água da chuva, atribuindo a mesma o peso relativo de 10%.

Na tabela 2, além das subfunções às quais o solo deve servir para minimizar a erosão hídrica pluvial, são também sugeridos indicadores das mesmas, em dois níveis de consideração (1º e 2º), e seus respectivos pesos relativos. Tal consideração de indicadores de qualidade do solo em dois níveis de importância se justifica para os casos em que não é possível ou viável a medição direta do indicador considerado no primeiro (1º) nível de importância, podendo-se, então, fazer uma estimativa indireta do mesmo por meio da

TABELA 2. Sugestão de uma nova forma de consideração da qualidade do solo para a sua função específica de resistir à erosão hídrica causada pela água da chuva nas terras agrícolas (Cogo et al., 2003)

Subfunção de qualidade do solo	Peso relativo da subfunção (%)	Indicador de qualidade do solo		Peso relativo do indicador na subfunção (%)	Indicador de qualidade do solo	
		Nível I			Nível II	
1. Resistir à degradação física por ação do impacto das gotas da chuva	45	Cobertura por resíduos culturais		30		
		Resistência ao cisalhamento por impacto das gotas da chuva		10	Textura	6
					Tipo do mineral de argila	2,5
					Argila dispersa em água	1,5
		Estabilidade dos agregados em água		5	Textura	2,5
2. Facilitar a entrada de água no solo através da sua superfície (reduzir o volume do escoamento superficial)	35	Capacidade de infiltração de água		25	Tipo do mineral de argila	1
					Teor de matéria orgânica	1
					Biomassa microbiana	0,5
					Textura	8
					Rugosidade superficial	8
3. Dificultar o movimento do escoamento superficial e resistir à degradação física por ação de cisalhamento do mesmo	10	Cobertura por resíduos culturais		10	Selo/crosta superficial	4
		Rugosidade superficial do solo ao acaso		5	Macroporos	3
		Quantidade de resíduos culturais superficiais		5	Tipo do mineral de argila	2
4. Facilitar o transporte e o armazenamento internos da água	10	Condutividade hidráulica		6	Textura	2,5
					Teor de água capilar	1,5
					Tipo do mineral de argila	1
		Porosidade total		1,5	Densidade do solo	1
		Macroporosidade		2,5	Raízes de plantas	1,5
			Minhocas	1		

medição dos indicadores considerados no segundo (2º) nível de importância (Karlen & Stott, 1994; Gregorich, 2002; Carter, 2002).

Para finalizar o assunto em pauta, ressalta-se que, para se desenvolver um índice quantitativo de qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial, medições subjetivas, qualitativas e quantitativas de todos os indicadores físicos e químicos considerados apropriados e significativos devem ser combinadas de forma consistente e reproduzível (Karlen & Stott, 1994; Cogo et al., 2003; Souza et al., 2003).

2.3. Hipóteses de trabalho

Em consonância com os objetivos da pesquisa e com base no que foi exposto na revisão bibliográfica, três hipóteses centrais de trabalho foram formuladas no presente estudo, como segue:

- 1) diferentes espécies culturais, por possuírem diferentes sistemas radiculares, associadas a diferentes manejos de solo, devido às inúmeras interações na inter-relação de suas variáveis, condicionam diferentes estruturas de solo, as quais, por sua vez, afetam de modo diferente tanto a infiltração de água no solo, portanto o escoamento superficial, quanto a perda de solo por erosão hídrica pluvial;
- 2) a mobilização integral e freqüente do solo, devido romper os seus agregados e facilitar a perda do seu carbono orgânico, rapidamente degrada as boas condições físicas estruturais do mesmo criadas pelo manejo, e
- 3) decorrente do exposto em 1 e 2, é possível identificar características e, ou, propriedades físicas do solo capazes de servir de indicadores de sua qualidade para fins de infiltração de água e de minimização da erosão hídrica pluvial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e solo da área experimental

Os experimentos que geraram os dados utilizados na elaboração deste trabalho foram instalados na Área Experimental de Erosão com Chuva Simulada III, 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, entre as latitudes 30°00' e 30°15' sul e as longitudes 51°30' e 51°45' oeste de Greenwich, distando, aproximadamente, 60 km de Porto Alegre, RS.

A EEA/UFRGS está situada na região fisiográfica da Depressão Central-RS, a qual caracteriza-se por apresentar relevo formado por planícies aluviais amplas e pendentes sedimentares onduladas de dezenas de metros. Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é do tipo "Cfa" (subtropical úmido e sem estiagem), 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). A precipitação pluviométrica média anual da região é ao redor de 1.400 mm, com média mensal de 120 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo presente na área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999; Streck et al., 1999), apresentando textura franco argilo arenosa na camada superficial, horizontes diagnósticos A moderado e B textural, profundidade e drenagem moderadas, declividade média de 0,12 m m⁻¹ e profundidade efetiva inferior a 80 cm (Lopes, 1984; Streck, 1999). Na tabela 3 são apresentadas algumas características físicas e o teor de matéria orgânica do solo em questão na sua condição original de pastagem natural de longo prazo, avaliados em fevereiro de 1995, conforme Badelucci (1997) e Cassol et al. (1999).

TABELA 3. Composição granulométrica, teor de matéria orgânica (MO) e valores de densidade de volume (Ds), porosidade total (P) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo presente na área experimental utilizada na pesquisa, em duas de suas camadas, na sua condição original de pastagem natural de longo prazo, avaliados em fevereiro de 1995 (Badelucci, 1997; Cassol et al., 1999)

Camada de solo cm	Granulometria			MO	Ds	P	DMP
	Areia	Silte	Argila				
	g kg ⁻¹				kg m ⁻³	m ³ m ⁻³	mm
0 - 10	560	180	260	30	1.501	0,445	4,1
10 - 20	550	140	310	21	1.662	0,380	3,5

3.2. Condições de realização da pesquisa e unidades experimentais

A pesquisa foi desenvolvida nas condições reais de campo, porém sob a ação de chuva simulada. Para isso, utilizou-se o aparelho simulador de chuva de braços rotativos (Swanson, 1965), o qual asperge água na forma de gotas simultaneamente sobre duas parcelas experimentais – parcelas de erosão ou unidades experimentais (Figura 1). No presente trabalho, cada par de parcelas de erosão foi utilizado como repetição de tratamento. Assim, houve duas repetições por tratamento na presente pesquisa. Tais parcelas de erosão possuem dimensões de 3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento cada uma, sendo a última dimensão disposta no sentido do declive do terreno, e são espaçadas entre si, num mesmo par de parcelas, de 3,5 m, conforme recomendações de EMBRAPA (1975). Cada parcela foi delimitada nas suas laterais e porção superior por chapas galvanizadas com 2,0 m de comprimento por 0,20 m de altura, as quais foram cravadas 0,10 m no solo. Na porção inferior de cada parcela foi instalada uma calha de coleta da enxurrada,



FIGURA 1. Aparelho simulador de chuva de braços rotativos utilizado na pesquisa, operando sobre um par de parcelas experimentais de erosão.

a qual foi acoplado um cano plástico com 100 mm de diâmetro, com declividade suficiente para conduzir o escoamento superficial até uma trincheira localizada 6 m metros abaixo, onde eram, intermitentemente, a cada três minutos, coletadas as amostras de enxurrada, conforme será melhor descrito adiante.

3.3. Esclarecimento dos tratamentos considerados neste trabalho

Os tratamentos especialmente planejados para a realização deste trabalho, envolvendo preparos de solo, sistemas e tipos de cultivo e formas de manejo de resíduos culturais, foram implantados na área experimental referida no item 3.1 e ilustrada na figura 2 em maio de 2000, sendo conduzidos pelo período de tempo de 3,5 anos (até outubro de 2003). No entanto, foi também considerado no estudo a história de uso do solo na área experimental que antecedeu o estabelecimento dos mesmos (fator uso anterior da terra ou efeito residual do uso da terra), a qual se sucedeu no período compreendido entre maio de 1996, quando o solo saiu da sua condição original de pastagem natural de longo prazo e passou a ser utilizado com experimentos de outros estudos, até abril de 2000, quando foram implantados os tratamentos especialmente planejados para a realização deste trabalho. Desta forma, houve 4 anos de experimentação inicial na pesquisa, ou seja, de maio de 1996 a abril de 2000, também envolvendo tratamentos de preparo do solo, sistemas e tipos de cultivo e formas de manejo de resíduos culturais, porém distintos dos implantados no último período da mesma (maio de 2000 a outubro 2003). Por esta razão, os tratamentos apresentados na seção de resultados e discussão deste trabalho são referidos como tratamentos que, no somatório dos tempos de pesquisa na área experimental em questão, vigoraram por 7,5 anos, entre maio de 1996 e outubro de 2003, em que pese os tratamentos implantados nos últimos 3,5 anos (entre maio de 2000 e outubro de 2003) terem sido os que, provavelmente, mais influência tiveram nas variáveis utilizadas na elaboração deste trabalho, principalmente aqueles que tiveram o solo de suas parcelas experimentais cultivado.

3.4. História do uso do solo na área experimental utilizada na pesquisa

Historicamente, até março de 1995, o solo onde foi instalada a área

experimental utilizada na pesquisa (Figura 2) vinha sendo usado com campo natural (predominantemente gramíneas) sob pastejo animal (bovinos) de baixa carga (condição que poderia ser denominada de pastagem natural de baixa a regular qualidade). No período compreendido entre abril e novembro de 1995, a área experimental foi utilizada por Badelucci (1997), para realização de um estudo de infiltração de água no solo e de perdas de solo e nutrientes no escoamento superficial da erosão hídrica, sob a ação de chuva simulada, envolvendo métodos de melhoramento da pastagem nativa, porém sem nenhum revolvimento do solo. Finalizado esse estudo, a área experimental permaneceu em pousio natural (sem interferência antrópica) até o final de março de 1996, com o objetivo de recuperar a sua massa vegetativa original, quando novamente predominava na mesma a pastagem natural de gramíneas. Ao final de abril de 1996, a área experimental foi dessecada por meio da aplicação de herbicida, e a partir do final de maio do mesmo ano ela passou a ser utilizada para o estudo desenvolvido por Streck (1999), versando sobre o efeito residual de pastagem natural dessecada, com e sem preparo do solo, portanto com e sem incorporação do resíduo cultural ao solo, sobre a erosão hídrica e parâmetros relacionados, também sob a ação de chuva simulada. Completada a fase de campo desse estudo, em maio de 1997, parte da área experimental passou a ser utilizada para o estudo desenvolvido por Moraes (1999), versando sobre comprimentos críticos de declive para a erosão hídrica em diferentes manejos de resíduos culturais no sistema de semeadura direta, novamente sob a ação de chuva simulada, porém dessa vez concomitante à aplicação de fluxos extras de água limpa na cabeceira das parcelas experimentais para simular longos comprimentos de rampa, requeridos em tal tipo de estudo. Finalizada a fase de campo desse estudo, em outubro de 1998, a área experimental foi mantida com os mesmos preparos de solo e as mesmas seqüências culturais que vinham sendo utilizados pelos últimos autores referidos, até abril de 2000.

Em maio de 2000, foram então instalados na área experimental os tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (segundo conjunto de tratamentos considerado na pesquisa), os quais vigoraram até outubro de 2003, quando foi iniciada a aplicação da série de testes de erosão com chuva simulada empregada no estudo, com vistas à

avaliação do efeito residual do uso da terra (subfator PLU do modelo RUSLE) na qualidade da estrutura do solo, relacionado à erosão hídrica pluvial e ao escoamento superficial dela originado, a qual foi finalizada em abril de 2004.



FIGURA 2. Área Experimental de Erosão com Chuva Simulada III, na EEA/UFRGS, mostrando no plano intermediário as parcelas de erosão utilizadas na pesquisa, instaladas próximo à fonte de água que abastecia o aparelho simulador de chuva empregado no estudo.

As particularidades dos tratamentos de manejo considerados na elaboração deste trabalho, envolvendo preparos de solo, sistemas e tipos de cultivo e formas de manejo de resíduos culturais, implantados desde o início da pesquisa propriamente dito (maio de 1996) até o momento de realização do primeiro teste de erosão com chuva simulada integrante da série empregada na realização do estudo (outubro de 2003), serão fornecidas a seguir.

3.5. Detalhamento dos tratamentos de manejo considerados no estudo, do início ao fim da pesquisa (maio de 1996 a outubro de 2003)

Para a realização da pesquisa como um todo, em dez (10) parcelas de erosão como as descritas no item 3.2 e ilustradas na figura 2, foram instalados cinco (05) tratamentos de manejo do solo, em duplicata (repetição de tratamento), num delineamento próximo ao completamente casualizado (foi pré-determinado que o par de parcelas de erosão constituiria a repetição dos tratamentos, casualizando-se, assim, apenas os tratamentos num dado par de parcelas). Tais tratamentos envolveram preparos de solo, seqüências de

culturas e formas de manejo de resíduos culturais. Com o intuito de facilitar o entendimento desses tratamentos, desde o início até o fim da pesquisa, será fornecido a seguir um detalhamento dos mesmos, em dois momentos distintos: i) o que havia e o que foi feito nas parcelas experimentais antes da implantação dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (período compreendido entre maio de 1996 e abril de 2000) e ii) o que havia e o que foi feito nas parcelas experimentais a partir de então até o momento de aplicação do primeiro teste de erosão com chuva simulada integrante da série planejada para a concretização do estudo (período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003). De fato, no seu todo a pesquisa tratou da investigação do efeito do uso anterior da terra (efeito residual) com culturas anuais sobre a erosão hídrica pluvial e o escoamento superficial a ela associado. Assim, fundamentalmente, os tratamentos da mesma são tratamentos de uso anterior da terra, tal e qual concebido e utilizado no trato do subfator PLU (“prior land use” – uso anterior da terra) do fator C (cobertura e manejo do solo) do modelo RUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Revisada) de predição da erosão hídrica (Renard et al., 1997).

3.5.1. História do uso do solo nas parcelas experimentais antes da implantação dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (período compreendido entre maio de 1996 e abril de 2000)

Após a dessecação química da pastagem natural original, ao final de abril de 1996, os seguintes tratamentos de manejo foram implantados na área experimental, ao final de maio de 1996, em cada par de parcelas de erosão (repetição de tratamento) existente na mesma (Streck, 1999; Moraes, 1999):

- Tratamento 1 (parcelas 1 e 2): aveia preta-milho em semeadura direta (1 ano de vigência); sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial adicionada – pousio coberto (0,5 ano de vigência); soja em semeadura direta na parcela 1 e sem preparo e sem cultivo do solo, sem cobertura superficial adicionada na parcela 2 – pousio descoberto (0,5 ano de vigência); sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial adicionada na parcela 1 – pousio coberto, e sem

- preparo e sem cultivo do solo, sem cobertura superficial adicionada na parcela 2 – pousio descoberto (0,5 ano de vigência); milho-aveia preta em semeadura direta (1,5 anos de vigência);
- Tratamento 2 (parcelas 3 e 4): aveia preta-milho em preparo do solo convencional (1 ano de vigência); aveia-soja em semeadura direta (1 ano de vigência); sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial adicionada – pousio coberto (0,5 ano de vigência); milho-aveia preta em semeadura direta (1,5 anos de vigência);
 - Tratamento 3 (parcelas 5 e 6): sem preparo e sem cultivo do solo, sem cobertura superficial - o resíduo cultural da pastagem nativa dessecada foi mecanicamente removido – pousio descoberto (4 anos de vigência);
 - Tratamento 4 (parcelas 7 e 8): preparo do solo convencional a cada 2,5 meses, com incorporação do resíduo cultural da pastagem nativa dessecada, e mantido sem cultivo na parcela 7, e preparo do solo convencional a cada 6 meses, com incorporação do resíduo cultural da pastagem nativa dessecada, e mantido sem cultivo na parcela 8 (2 anos de vigência); preparo do solo convencional a cada 6 meses e mantido continuamente sem cultivo e descoberto nas duas parcelas – parcelas “padrão” ou tratamento testemunha a partir de então (2 anos de vigência), e
 - Tratamento 5 (parcelas 9 e 10): sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial pelo resíduo cultural da pastagem nativa quimicamente dessecada – pousio coberto (2 anos de vigência); sem preparo e sem cultivo do solo, sem cobertura superficial – pousio descoberto (2 anos de vigência).

Com base no exposto, verifica-se que, na primeira etapa da pesquisa (período compreendido entre maio de 1996 e abril de 2000), se sucederam quatro (04) anos ou oito (08) ciclos culturais de uso diferenciado do solo nas parcelas experimentais do estudo em questão, o qual pode ter tido, em algum grau, em função do assim denominado efeito residual do uso da terra,

influência nas condições físicas internas ou de subsuperfície do solo à frente (período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003), relacionada com os objetivos da pesquisa. Tal pressuposição, contudo, será analisada na seção de resultados e discussão deste trabalho.

3.5.2. História do uso do solo nas parcelas experimentais a partir da implantação dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003)

- Tratamento 1 (parcelas 1 e 2): aveia preta-milheto em semeadura direta, porém removendo-se o resíduo cultural da cultura anterior para a semeadura da cultura seguinte, para posterior adição do mesmo na superfície do solo das parcelas do Tratamento 2 (3,5 anos de vigência);
- Tratamento 2 (parcelas 3 e 4): sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial por resíduo cultural adicionado, proveniente das parcelas do Tratamento 1 – pousio coberto (3,5 anos de vigência);
- Tratamento 3 (parcelas 5 e 6): ervilhaca-feijão miúdo em semeadura direta, porém removendo-se o resíduo cultural da cultura anterior para a semeadura da cultura seguinte, para posterior adição do mesmo na superfície do solo das parcelas do Tratamento 5 (3,5 anos de vigência);
- Tratamento 4 (parcelas 7 e 8): preparo do solo convencional e mantido continuamente sem cultivo e descoberto – parcelas “padrão” ou tratamento testemunha (3,5 anos de vigência), e
- Tratamento 5 (parcelas 9 e 10): sem preparo e sem cultivo do solo, com cobertura superficial por resíduo cultural adicionado, proveniente das parcelas do Tratamento 3 – pousio coberto (3 anos de vigência); aveia preta em semeadura direta, porém removendo-se o resíduo cultural remanescente para a implantação da mesma, o qual há três anos vinha sendo sistematicamente adicionado na superfície dessas parcelas (0,5 ano de vigência).

Com base no exposto, verifica-se que, na segunda etapa da pesquisa (período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003), se sucederam três anos e meio (3,5 anos) ou sete (07) ciclos culturais de uso diferenciado do solo nas parcelas experimentais do estudo em questão, que, somados ao período de tempo da primeira etapa (04 anos – maio de 1996 a abril de 2000), totalizaram sete anos e meio (7,5 anos) ou quinze (15) ciclos culturais de uso diferenciado do solo na pesquisa como um todo, desde o seu início, em maio de 1996, até o fim do período experimental propriamente dito, em outubro de 2003.

Para facilitar o entendimento dos tratamentos acima referidos, os quais serão tomados como os responsáveis pelo efeito do uso anterior da terra nas variáveis avaliadas no estudo, e para convenientemente referi-los nas tabelas e figuras deste trabalho, eles serão agrupados, convencionados e apresentados de forma sintética, do modo como será a seguir descrito.

3.5.3. Tratamentos de manejo (uso anterior da terra) considerados no estudo (período integral da pesquisa, entre maio de 1996 e outubro de 2003), apresentados de forma sintética, com base na sua preponderância no tempo de experimentação

- Tratamento 1 (parcelas 1 e 2): quatro anos de uso do solo com a sucessão aveia preta-milho (Av-Mi) e três anos e meio com a sucessão aveia preta-milheto (Av-Mt), ambas em semeadura direta (SD) – convenção adotada e doravante a ser usada: **4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD**;
- Tratamento 2 (parcelas 3 e 4): quatro anos de uso do solo com a sucessão aveia preta-milho (Av-Mi), em semeadura direta (SD), seguidos de três anos e meio sem cultivo (Sc) e sem preparo do solo (SP) - convenção adotada e doravante a ser usada: **4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP**;
- Tratamento 3 (parcelas 5 e 6): quatro anos sem cultivo (Sc) e sem preparo do solo (SP), seguidos de três anos e meio de uso do solo com a sucessão ervilhaca-feijão miúdo (Er-Fm), em semeadura direta (SD) – convenção adotada e doravante a ser usada:

4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD;

- Tratamento 4 (parcelas 7 e 8): sete anos e meio sem cultivo (Sc) e com preparo do solo convencional (PC) - parcelas “padrão” ou tratamento testemunha (T) – convenção adotada e doravante a ser usada: **7,5Sc,PC (T)**, e
- Tratamento 5 (parcelas 9 e 10): sete anos sem cultivo (Sc) e sem preparo do solo (SP) e meio ano de uso do solo com aveia preta (Av) em semeadura direta (SD) – convenção adotada e doravante a ser usada: **7Sc,SP/0,5Av,SD**.

3.6. Esquema operacional utilizado na implantação e na condução dos tratamentos de manejo especialmente planejados para a realização deste trabalho (segunda etapa da pesquisa - maio de 2000 a outubro de 2003)

As culturas utilizadas nos tratamentos de manejo especialmente delineados para a realização deste trabalho (segunda etapa da pesquisa - período compreendido entre maio de 2000 e outubro de 2003), foram as de aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca (*Vicia sativa*), milho (*Pennisetum americanum*) e feijão miúdo (*Vigna unguiculata*). A aveia preta e a ervilhaca foram implantadas no método sem preparo do solo ou semeadura direta, empregando-se uma máquina semeadora-adubadora de fluxo contínuo, provida com discos duplos excêntricos - para colocação das sementes e dos adubos no solo. O espaçamento adotado na semeadura das referidas culturas foi de 0,17 m entre fileiras, equivalendo, aproximadamente, à população de 350.000 plantas ha⁻¹. O milho e o feijão miúdo foram implantados manualmente, em pequenos sulcos, abertos com enxada de pequeno porte (sacho), no espaçamento de 0,17 m entre fileiras para a primeira cultura, equivalendo, aproximadamente, à população de 300.000 plantas ha⁻¹, e de 0,40 m entre fileiras e 0,40 m entre plantas para a segunda cultura, equivalendo, aproximadamente, à população de 63.000 plantas ha⁻¹.

Efetou-se a adubação de manutenção por ocasião da semeadura de todas as culturas, aplicando-se 250 kg ha⁻¹ dos adubos N, P e K (fórmula 5-20-20), tendo os mesmos sido incorporados ao solo por meio da máquina semeadora-adubadora nas culturas da aveia preta e do milho e distribuídos superficialmente, a lanço, nas culturas da ervilhaca e do feijão miúdo. Em

adição, efetuou-se a aplicação única de 50 kg ha⁻¹ de N (uréia) - adubação de cobertura - nas culturas da aveia preta e do milho, aos 30 dias após a semeadura.

As operações de preparo do solo e de semeadura das culturas foram efetuadas sempre no sentido do declive do terreno, conforme filosofia de obtenção de valores do fator C – cobertura e manejo do modelo RUSLE de predição da erosão hídrica (Renard et al., 1997). O preparo do solo no método convencional consistiu de uma aração e de duas gradagens, empregando-se arado reversível de três discos, com 0,75 m de diâmetro, em velocidade próxima a 4,5 km h⁻¹, e grade niveladora excêntrica de trinta e seis discos, com 0,54 m de diâmetro (grade leve), em velocidade próxima a 5,0 km h⁻¹, ambos esses equipamentos montados no trator. O preparo do solo com gradagem, utilizado na seqüência dos testes de erosão com chuva simulada realizados, foi efetuado com a mesma grade niveladora recém referida.

A colheita das culturas foi realizada manualmente, com o corte da parte aérea das plantas sendo efetuado rente à superfície do solo, por meio do emprego de roçadora costal provida com lâmina de aço. Em prosseguimento, as plantas colhidas foram retiradas das parcelas experimentais e picadas em trilhadora estacionária em fragmentos com comprimento ao redor de 15 a 20 cm. Nos tratamentos com as sucessões culturais de aveia preta e milho (Av-Mt) e ervilhaca e feijão miúdo (Er-Fm), ambas implantadas em semeadura direta (SD), os resíduos culturais das mesmas foram removidos das parcelas experimentais antes da semeadura das culturas subseqüentes, para adição, ainda frescos, na superfície do solo das parcelas dos dois tratamentos sem cultivo e sem preparo do solo (Sc, SP), porém somente após terem sido removidos os resíduos culturais que ainda havia nas mesmas, remanescentes do ciclo cultural anterior. O tratamento sem cultivo e sem preparo do solo que sistematicamente recebia, desde maio de 2000, uniformemente espalhados na superfície do seu solo os resíduos culturais de ervilhaca e feijão miúdo (parcelas 9 e 10), de forma intercalada, teve, em maio de 2003, tal processo de adição de resíduo interrompido, passando a ser cultivado com aveia preta, em semeadura direta (Av,SD), porém apenas por um ciclo cultural. A razão da mudança nesse tratamento, já ao final da segunda etapa da pesquisa, foi a de criar condições para se poder verificar a ação de, apenas, um único ciclo

cultural com a referida cultura na melhoria da estrutura do solo, para fins de comparação com o tratamento que permaneceu sempre sem preparo e sem cultivo do solo, no que se refere as suas influências na erosão hídrica pluvial e no escoamento superficial a ela associado. Por sua vez, a razão de se adicionar diferentes tipos de resíduo cultural na superfície do solo das parcelas experimentais dos dois tratamentos sem cultivo e sem preparo do solo (Sc, SP), foi a de proteger a superfície do mesmo contra a ação direta dos agentes climáticos, ao mesmo tempo em que acompanhar a redução na quantidade de massa de tais resíduos no decorrer do tempo sob as reais condições de campo (os resultados dessa investigação, contudo, não fazem parte deste trabalho).

3.7. Testes de erosão com chuva simulada empregados no estudo

Para a concretização do estudo, sete (07) testes de erosão com chuva simulada (T1 a T7) foram aplicados nos tratamentos de manejo delineados para a realização deste trabalho, exceto o tratamento testemunha ou parcela “padrão”, o qual foi submetido a um único teste de chuva (sexto - T6), para não demasiadamente fragmentar o solo da sua parcela experimental e, assim, manter a sua característica de parcela “padrão” (Wischmeier & Smith, 1978). Cada teste de erosão com chuva simulada realizado consistiu da aplicação de uma chuva na intensidade constante planejada de 64 mm h^{-1} , com duração de 90 minutos, por meio do emprego do simulador de chuva de braços rotativos (referido no item 3.2 e ilustrado na Figura 1), idealizado por Swanson (1965). O primeiro teste de chuva (T1) foi aplicado em 28 de outubro de 2003, imediatamente após a adequação dos tratamentos para o mesmo, ou seja, colheita das culturas em vigência (aveia preta e ervilhaca) e redistribuição uniforme dos seus resíduos culturais na superfície do solo das parcelas experimentais constituintes dos tratamentos em estudo (exceto tanto as duas parcelas do tratamento testemunha ou “padrão”, as quais permaneceram sempre descobertas, quanto as duas parcelas de um dos tratamentos sem cultivo e sem preparo do solo, as quais já continham resíduo cultural de milho do ano anterior uniformemente espalhado na sua superfície, em estágio de decomposição de intermediário a avançado, sem ter sido realizado nenhum preparo do solo em tal teste de chuva. Este primeiro teste de chuva (T1) é referido neste trabalho como teste realizado com a superfície do solo não

mobilizada (consolidada), na presença de elevada cobertura por resíduo cultural (80% a 100%). Onze (11) dias após a realização do teste T1, em 07 de novembro de 2003, os resíduos culturais foram, na medida do possível, totalmente removidos da superfície do solo nas parcelas experimentais e, logo, foi realizado o segundo teste de chuva (T2), também sem ter sido realizado nenhum preparo do solo. Este segundo teste de chuva (T2) é referido neste trabalho como teste realizado com a superfície do solo não mobilizada (consolidada), na ausência de cobertura por resíduo cultural (em que pese ter permanecido algum dele na superfície do solo nas parcelas experimentais de três tratamentos, impossível de ser removido sem mexer com a superfície do solo – realmente o que se queria evitar - propiciando valores de cobertura de, até, 13%, como será melhor discutido na seção de resultados e discussão). Aos 26 (em 03/12/03), 42 (em 19/12/03), 98 (em 13/02/04), 154 (em 23/03/04) e 172 (em 15/04/04) dias após a realização do segundo teste de chuva (T2), foram, respectivamente, realizados o terceiro (T3), o quarto (T4), o quinto (T5), o sexto (T6) e o sétimo (T7) teste, porém, dessas vezes, com o solo de todos os tratamentos tendo sido, imediatamente antes da aplicação de cada teste de chuva, mobilizado por meio da passagem de uma grade leve, na profundidade média de 15 cm, empregando-se a grade niveladora excêntrica de 36 discos, com 0,54 m de diâmetro cada um, já referida, e todos eles na completa ausência (0%) de cobertura do solo por resíduo cultural. Tais testes de chuva (T3 a T7) são referidos neste trabalho como testes realizados com a superfície do solo mobilizada, portanto não mais consolidada, como ela era antes da aplicação dos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), também na completa ausência (0%) de cobertura por resíduo cultural. Como foi referido anteriormente, o tratamento testemunha ou parcela “padrão” foi a exceção nestes últimos cinco testes de chuva (T3 a T7) - efetuados com o solo mobilizado por meio da passagem de uma grade leve - tendo em vista que o solo da sua parcela experimental foi preparado no método convencional (uma aração e duas gradagens) e, em adição, uma única vez (sexto teste - T6) durante todo o período de realização dos testes de chuva, como já foi esclarecido.

Na tabela 4 estão expressas as denominações dos testes de erosão com chuva simulada realizados, as datas de sua aplicação e a condição física

superficial do solo reinante por ocasião de sua realização, nos diferentes tratamentos considerados no estudo.

TABELA 4. Testes de erosão com chuva simulada realizados, datas de sua aplicação e condição física superficial do solo reinante por ocasião de sua realização, nos tratamentos considerados no estudo

Teste nº	Data de aplicação	Condição física superficial do solo reinante no momento de aplicação dos testes de chuva simulada, nos tratamentos estudados				
		4Av-Mi/ 3,5Av-Mt,SD	4Sc,SP/ 3,5Er-Fm,SD	7Sc,SP/ 0,5Av,SD	4Av-Mi,SD/ 3,5Sc,SP	7,5Sc,PC
1	28/10/03	c/res., SP	c/res., SP	c/res., SP	c/res., SP	n/realizado
2	07/11/03	s/res., SP	s/res., SP	s/res., SP	s/res., SP	n/realizado
3	03/12/03	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	n/realizado
4	19/12/03	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	n/realizado
5	13/02/04	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	n/realizado
6	24/03/04	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	1Ar+2Gr
7	27/04/04	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	s/res., 1Gr	n/realizado

OBS: Av = aveia preta; Mi = milho; Mt = milheto; Er = ervilhaca; Fm = feijão miúdo; Sc = sem cultivo; SP = sem preparo do solo; SD = semeadura direta; PC = preparo convencional; Ar = aração; Gr = gradagem; c/res.= com resíduo cultural na superfície do solo; s/res.= sem resíduo cultural na superfície do solo.

3.8. Amostragens e determinações

3.8.1. No campo, no solo das parcelas experimentais, após os quatro (04) anos de uso do solo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, em maio de 2000, antes da implantação do segundo conjunto de tratamentos

a) Densidade do solo: foram retiradas três amostras de solo de cada parcela experimental, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo, utilizando anel volumétrico, sendo analisadas conforme o método descrito em Forsythe (1975) e com os resultados tendo sido expressos em kg m^{-3} .

b) Porosidade total do solo: foram retiradas três amostras de solo de cada parcela experimental, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo, utilizando anel volumétrico, sendo analisadas conforme o método descrito em Danielson & Sutherland (1986) e com os resultados tendo sido expressos em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

c) Estabilidade dos agregados de solo em água: foram retiradas três

amostras de solo de cada parcela experimental, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo, as quais foram passadas, ainda na umidade de campo, em um conjunto de peneiras sobrepostas, com malhas equivalentes aos diâmetros de 7,96 mm e 4,76 mm. Os agregados de solo retidos na peneira com malha de 4,76 mm foram acondicionados em frascos plásticos e levados ao laboratório para análise. Chegados ao laboratório, os agregados de solo foram secos ao ar por um período de tempo de, no mínimo, 72 horas, ao final do qual eles foram novamente passados na peneira com malha de 4,76 mm, descartando-se a porção da amostra que passava pela mesma. Para a análise da distribuição de tamanho dos agregados de solo em água propriamente dita, foi utilizada a metodologia descrita por Yoder (1936), a qual consiste no peneiramento de uma amostra de solo de 50 g (seca ao ar) em água, constituída dos agregados de solo que passaram na peneira com malha de 7,96 mm e ficaram retidos na peneira com malha de 4,76 mm, sobre um conjunto de peneiras com malhas equivalentes aos diâmetros de 4,76, 2,00, 1,00, 0,5 e 0,25 mm, sendo a distribuição percentual dos agregados nas diferentes classes de tamanho obtida pela razão entre a quantidade do material retido em cada peneira e a quantidade total de solo presente na amostra, expressando-se os resultados, após a devida ponderação, em termos de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, na unidade de mm.

3.8.2. No campo, no solo das parcelas experimentais, após os três anos e meio (3,5 anos) de uso do solo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo, em outubro de 2003, logo após a colheita das culturas em vigência, porém antes do preparo do solo e do início dos testes de erosão com chuva simulada

a) Massa de resíduos culturais superficiais: após a colheita das culturas nas parcelas experimentais, os resíduos culturais das mesmas, dentro de cada parcela (38,5 m²), foram integralmente removidos, pesados e, imediatamente, uniformemente redistribuídos na superfície do solo das parcelas experimentais de onde eles provieram. Coletou-se uma amostra dos mesmos dentro de cada parcela experimental para determinação de sua umidade, para posterior correção e expressão dos resultados em base de massa seca em estufa a 60°C, tendo os mesmos sido expressos em Mg ha⁻¹.

b) Cobertura do solo por resíduo cultural: foi avaliada pelo método do cordão marcado, conforme descrito em Hartwig & Laflen (1978), em duas diagonais sobre cada parcela experimental, sendo os resultados expressos em $m^2 m^{-2}$.

c) Rugosidade superficial do solo: foi medida por meio do emprego de um perfilômetro ou rugosímetro, similar ao descrito por Burwell et al. (1963). O equipamento em questão apresentava 2,60 m de largura e 0,55 m de altura, com 100 varetas de alumínio dispostas verticalmente e espaçadas entre si de 2,5 cm, possibilitando a tomada de 100 leituras de elevações e depressões da superfície do solo, transversalmente e nas porções superior, central e inferior de cada parcela, totalizando 300 leituras por parcela. O cálculo do índice de rugosidade superficial do solo (IR) foi efetuado pelo método proposto por Cogo et al. (2000), empregando-se a seguinte equação:

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

onde n é o número de leituras efetuadas e h a leitura das elevações e depressões da superfície do solo, em cm, com os resultados finais também sendo expressos em cm. Nessa avaliação, não foi feita nenhuma distinção entre rugosidade ao acaso e rugosidade orientada, com o resultado obtido sendo interpretado como rugosidade global, dessa forma avaliada.

d) Massa de raízes mortas das culturas: foram coletadas três amostras de solo por parcela, constituídas de cinco sub-amostras, em três posições dentro de cada parcela experimental - porção superior, intermediária e inferior - tanto na camada de solo de 0 a 10 cm quanto na de 10 a 20 cm. Uma sub-amostra foi retirada na fileira da cultura (entre plantas), duas lateralmente e próximas à fileira da cultura e duas na posição intermediária entre duas fileiras da cultura. Tais amostras de raízes, junto com o solo, foram retiradas com o auxílio de um trado de ferro de formato cilíndrico, com 4,7 cm de diâmetro, resultando num volume de solo amostrado de $173,5 \text{ cm}^3$. Após a coleta, as amostras de solo contendo raízes foram levadas à casa-de-vegetação para secagem ao ar. Em prosseguimento, as amostras foram manualmente fragmentadas, lavadas e tamisadas em água, utilizando uma

peneira com malha equivalente ao diâmetro de 0,5 mm, sendo posteriormente postas a secar em estufa a 60°C, com os resultados tendo sido expressos em kg ha⁻¹.

e) Teor de matéria orgânica do solo: foi coletada uma amostra de solo composta, constituída de três sub-amostras, em três posições dentro de cada parcela experimental – porção superior, intermediária e inferior - tanto na camada de solo de 0 a 10 cm quanto na de 10 a 20 cm, as quais foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solo e Água do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, para fins de avaliação do estado de fertilidade do solo, segundo os métodos descritos em Tedesco et al. (1985).

f) Estabilidade dos agregados de solo em água: foi avaliada de modo similar ao descrito no item 3.8.1 (letra c).

g) Densidade do solo: foi avaliada de modo similar ao descrito no item 3.8.1 (letra a).

h) Teor de água no solo: utilizando as mesmas amostras de solo coletadas para a avaliação da densidade do solo, foi avaliado o teor gravimétrico de água no mesmo, seguindo a metodologia descrita em Forsythe (1975), com os resultados tendo sido expressos em kg kg⁻¹.

i) Porosidade total, macro e microporosidade do solo: foram retiradas três amostras de solo de cada parcela, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm do solo, utilizando anel volumétrico, sendo analisadas conforme o método descrito em Danielson & Sutherland (1986), com os resultados tendo sido expressos em m³ m⁻³.

j) Resistência do solo à penetração mecânica: foi medida em cada parcela experimental, por meio do uso de um penetrógrafo mecânico de registro eletrônico, com profundidade de penetração e resistência máxima admissível de, respectivamente, 0,60 m e 7.500 kPa, provido com haste do tipo cone padrão, da ASAE (1996), com ângulo de 30° e área basal de 130 mm², provido de armazenador digital de dados. O método utilizado na obtenção dos valores desta variável foi o descrito em Forsythe (1975). Cada medida de resistência do solo à penetração consistiu de uma transecta transversal ao declive do terreno, prospectando-se quinze pontos, espaçados entre si de 0,20 m, com os resultados tendo sido expressos em kPa.

3.8.3. No campo, no solo das parcelas experimentais, após o preparo do solo, porém antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada

a) Massa de raízes mortas das culturas: foi avaliada de modo similar ao descrito no item 3.8.2 (letra d), exceto os pontos e o momento de coleta das amostras, os quais, nessas vezes, foram escolhidos aleatoriamente nas parcelas experimentais e amostrados antes de um dado teste de chuva ter sido realizado. Isto se deu pelo fato de que, nessa fase de realização dos testes de chuva simulada, o solo foi preparado por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, antes de cada teste, misturando e deixando soltas as duas camadas do mesmo que eram antes avaliadas (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), o que dificultou a amostragem de solo nas mesmas (com o trado de ferro de formato cilíndrico utilizado) antes do teste de chuva e fez desaparecer as socas das culturas que antes do preparo estavam à vista e serviam de guia na amostragem.

b) Estabilidade dos agregados de solo em água: foi avaliada de modo similar ao descrito no item 3.8 (letra c), porém, nessas vezes, devido à realização do preparo do solo por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, antes de cada teste de chuva, o que misturou as suas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, como já foi explicado no item anterior, a amostragem foi feita na camada única de 0 a 15 cm do solo, antes da aplicação da chuva.

3.8.4. No campo, durante a realização dos testes de erosão com chuva simulada

a) Tempos de início e equilíbrio da enxurrada: foram registrados com cronômetro, a partir do início das chuvas simuladas, com os resultados tendo sido expressos em min.

b) Velocidade da enxurrada: foi medida pouco antes do final das chuvas simuladas, quando a enxurrada apresentava taxa de descarga constante, registrando-se o tempo gasto para o deslocamento de um corante (azul de metileno, 2%) sobre um segmento de seis metros de comprimento, demarcado na porção central e ao longo de cada parcela experimental, com os resultados tendo sido expressos em $m s^{-1}$.

c) Amostragem da enxurrada para avaliação da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos e transportados na mesma, nas classes de 2,00 mm a < 0,038 mm: no mesmo momento em que foi feita a medição da velocidade da enxurrada – condição de equilíbrio – foram recolhidas amostras da mesma na saída da calha coletora para determinação da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos que nela estavam sendo transportados. Para isso, acoplou-se um conjunto de peneiras com malhas equivalentes aos diâmetros de 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm sobre um balde plástico, com capacidade de 1 L, o qual foi posicionado sob o fluxo de enxurrada, até próximo o seu enchimento. Os sedimentos retidos em cada peneira foram transferidos para potes plásticos, com o auxílio de uma bisnaga plástica contendo água. O material que, no momento da coleta, passou na peneira de 0,25 mm e ficou armazenado no balde, foi levado para o laboratório para posterior fracionamento em classes de tamanho mais estreitas, como será melhor descrito adiante.

d) Taxa instantânea de descarga da enxurrada e coleta de amostras para determinação da concentração instantânea de sedimentos na mesma: intermitentemente, a cada três minutos, a partir do início da enxurrada, foram coletadas amostras da mesma durante tempos de coleta que variaram de três a cinco segundos, conforme a intensidade de escoamento de água. No mesmo momento, foram também coletadas amostras da enxurrada em frascos plásticos, com capacidade de 1,0 L, para posterior determinação, em laboratório, da concentração instantânea de sedimentos na mesma.

3.8.5. No campo, após a realização dos testes de erosão com chuva simulada

a) Rugosidade superficial do solo: foi avaliada de modo similar ao descrito no item 3.8.2 (letra c).

b) Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas: foi feita por meio da colocação de vinte pluviômetros sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva, e posterior cálculo da lâmina de água aplicada, com os resultados tendo sido expressos em mm h^{-1} .

3.8.6. Em laboratório

a) Distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos e transportados

na enxurrada, nas classes de 0,250 mm a <0,038 mm: os sedimentos que, no momento da coleta das amostras de enxurrada no campo, passaram na peneira com malha de 0,250 mm e foram recolhidos nos baldes plásticos, ao chegarem no laboratório foram agitados com bastão de vidro para novamente ficarem em suspensão e, mais uma vez, serem fracionados. Para isso, foi utilizado um conjunto de peneiras com malhas equivalentes aos diâmetros de 0,105; 0,053 e 0,038 mm. O material sólido retido em cada peneira foi colocado em estufa para secagem, a 105 °C, sendo posteriormente calculada a fração de sedimentos em cada classe de tamanho, cujos valores foram utilizados na determinação do índice D_{50} , como será melhor explicado adiante.

b) Taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada e perda total de solo: a taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada foi obtida com base na média aritmética dos resultados da multiplicação da concentração instantânea de sedimentos na enxurrada pela taxa instantânea de descarga desta no momento da sua coleta, e dividindo o resultado encontrado pela área da parcela experimental, expressando-se os resultados em $\text{kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A perda total de solo foi obtida por meio da integração dos valores da taxa instantânea de perda do solo no tempo, expressando-se os resultados em kg ha^{-1} .

c) Perda total de água: foi obtida por meio da integração das taxas instantâneas de descarga da enxurrada no tempo, expressando-se os resultados em porcentagem da chuva aplicada (%).

d) Taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada: foi calculada pela diferença entre a intensidade da chuva aplicada e a taxa constante de enxurrada observada, expressando-se os resultados em mm h^{-1} .

e) Coefficiente de enxurrada (parâmetro C da Fórmula Racional): foi calculado pela razão entre a taxa de enxurrada sob descarga constante (em mm h^{-1}) e a intensidade da chuva aplicada (em mm h^{-1}), sendo os seus resultados adimensionais.

f) Índice D_{50} dos sedimentos erodidos e transportados na enxurrada na sua condição de equilíbrio: foi determinado com base na amostragem de enxurrada feita pouco antes do final das chuvas, por meio da interpolação linear entre os valores da distribuição acumulada dos sedimentos transportados

na enxurrada para as porcentagens imediatamente inferior e imediatamente superior a 50%, em base de massa, conforme ilustrado em Cogo (1981).

3.9. Ajuste de resultados

Quando os valores de intensidade das chuvas simuladas aplicadas diferiram por 5% ou mais do valor da intensidade da chuva planejada (64,0 mm h⁻¹), os valores observados de enxurrada total, perda total de solo e taxa média de perda de solo sob descarga constante da enxurrada foram ajustados para a intensidade da chuva planejada. A perda de solo foi ainda ajustada para a declividade média das parcelas experimentais. Esses ajustes foram efetuados conforme sugerido por Cogo (1981), os quais serão descritos a seguir.

A enxurrada total ajustada foi obtida subtraindo-se a quantidade total de água infiltrada observada (chuva total aplicada menos enxurrada total observada) da quantidade total da chuva planejada (intensidade da mesma x sua duração). A perda total de solo e a taxa média de perda de solo sob descarga constante da enxurrada foram ajustadas para a intensidade da chuva planejada multiplicando-se os valores observados de perda de solo pelo quadrado da razão entre a intensidade da chuva planejada e a intensidade da chuva observada. Depois desse ajuste, as perdas de solo foram também corrigidas para a declividade média do solo das parcelas experimentais (0,12 m m⁻¹), multiplicando-se os seus valores pelo resultado da divisão do valor "S" do declive médio de 0,12 m m⁻¹ pelo valor "S" do declive de cada unidade experimental, com o uso da fórmula $S = 0,065 + 4,65 \text{ sen } \theta + 65,41 (\text{sen } \theta)^2$, onde θ é o ângulo do declive (Wischmeier & Smith, 1978).

3.10. Análise estatística e interpretação dos resultados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância, com as médias tendo sido comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, por meio do uso do programa computacional ESTAT (Sistema para Análises Estatísticas, v.2.0), desenvolvido pelo Pólo Computacional do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP (Jaboticabal). Empregando o mesmo programa, foram também efetuadas análises de regressão - linear e curvilínea - utilizando as variáveis de manejo mais influentes e os parâmetros de erosão hídrica mais importantes observados estudo. A escolha do modelo matemático utilizado para correlacionar as

variáveis de manejo do solo com os parâmetros de erosão hídrica foi baseada naquele cujos resultados refletissem melhor o comportamento do fenômeno frente às variáveis consideradas na relação. O grau de significância de ajuste dos modelos foi baseado na metodologia apresentada por Fischer & Yates (1971). A interpretação final dos dados, em adição à consideração estatística, foi também baseada em teorias de mecânica de erosão hídrica do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Parâmetros físicos de solo e planta nas parcelas experimentais em dois momentos distintos entre a implantação do primeiro e o término do período experimental do segundo conjunto de tratamentos considerados no estudo, antes da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada empregados na realização deste trabalho

4.1.1. Condição física interna ou de subsuperfície do solo após os 4 anos de uso do mesmo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, avaliada por ocasião da implantação do segundo conjunto de tratamentos

Na tabela 5 são apresentados os resultados de algumas características físicas internas ou de subsuperfície do solo nas suas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, avaliadas em maio de 2000, por ocasião da implantação do segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), decorridos quatro (04) anos de sua saída da condição original de pastagem natural de longo prazo ou do início do cultivo no mesmo com culturas anuais em fileiras. Comparando estes resultados com aqueles obtidos quando o solo ainda se encontrava na condição original de pastagem natural de longo prazo (Tabela 3, na página 30 da seção de material e métodos), verifica-se que o uso do mesmo com os tratamentos implantados por Streck (1999) e por Morais (1999) para a realização dos seus estudos (período compreendido entre abril de 1996 e maio de 2000) influenciaram em grau baixo as características originais do solo, sendo isso mais evidente na camada de 0 a 10 cm do mesmo. Assim, comparando os resultados da tabela 5 com os da tabela 3, verifica-se que o teor de matéria orgânica, a porosidade total e o diâmetro médio ponderado

(DMP) dos agregados de solo em água foram levemente diminuídos e a densidade do solo foi levemente aumentada no referido período, o que pode ser considerado um fato normal, em função da mudança no tipo de uso da terra (de pastagem natural para culturas anuais em fileiras). Comparando agora as diferenças nessas características entre os tratamentos estudados exclusivamente na segunda época de avaliação (maio de 2000 - Tabela 5), verifica-se que os resultados de densidade e porosidade total do solo foram estatisticamente iguais nas duas camadas de solo avaliadas (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), enquanto o teor de matéria orgânica foi estatisticamente diferente na camada superficial e o índice de estabilidade dos agregados de solo em água (DMP) na camada subsuperficial. Estas diferenças nos resultados são explicadas pela presença e tipo de cultivo em dois dos tratamentos estudados e pela ausência de cultivo nos outros três tratamentos, nessa primeira etapa da pesquisa (abril de 1996 a maio de 2000), bem como pelo preparo do solo (convencional) no caso do tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T).

TABELA 5. Teor de matéria orgânica e valores de densidade, porosidade total e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do solo em água após 4 anos de uso do mesmo com o primeiro conjunto de tratamentos considerado no estudo, em duas de suas camadas, avaliados em maio de 2000, por ocasião da implantação do segundo conjunto de tratamentos da pesquisa

Tratamento	Matéria orgânica g kg ⁻¹	Densidade do solo kg m ⁻³	Porosidade total m ³ m ⁻³	DMP mm
----- 0 a 10 cm -----				
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	27 a	1.527 a	0,424 a	3,93 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	27 a	1.605 a	0,394 a	3,70 ab
7Sc,SP/0,5Av,SD	25 ab	1.590 a	0,400 a	2,92 b
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	25 ab	1.643 a	0,380 a	3,18 ab
7,5Sc,PC (T)	19 b	- ¹	-	0,80 c
----- 10 a 20 cm -----				
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	22 a	1.643 a	0,380 a	3,29 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	21 a	1.615 a	0,391 a	2,01 b
7Sc,SP/0,5Av,SD	20 a	1.620 a	0,389 a	1,97 b
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	21 a	1.624 a	0,387 a	2,63 ab
7,5Sc,PC (T)	18 a	-	-	0,95 c

¹A determinação não foi efetuada. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, numa mesma camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.1.2. Condição física interna ou de subsuperfície do solo após os 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo – em continuidade ao primeiro conjunto de tratamentos – avaliada antes do seu preparo e da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada

Nas tabelas 6 e 7 estão apresentados os resultados de alguns parâmetros que denotam a condição física interna ou de subsuperfície do solo existente nas parcelas experimentais após 7,5 anos o mesmo ter saído da sua condição original de pastagem natural de longo prazo e passado a ser cultivado com culturas anuais em fileiras, sendo o seu uso nos últimos 3,5 anos, contudo, marcado pelo segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho). Em relação aos dados da tabela 6, verifica-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos estudados no que se refere à massa de raízes mortas, teor de matéria orgânica e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água nas duas camadas de solo avaliadas, com o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD sendo o que apresentou maior valor de massa seca de raízes mortas nas duas camadas. O cultivo continuado do solo por 7,5 anos com este último tratamento criou boas condições físicas no mesmo, resultando no maior rendimento de massa seca de raízes mortas observado no estudo. Já o tratamento 7Sc,SP/0,5Av,SD, com o cultivo isolado de aveia preta ao final do período experimental, apresentou baixos valores de massa seca de raízes mortas nas duas camadas de solo avaliadas (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), sendo, respectivamente, 4,3 e 2,3 vezes menor do que os observados nas mesmas camadas de solo no tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD. O tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, tendo a ervilhaca como sua última cultura no período experimental, apesar do seu baixo valor de massa seca de resíduo cultural (Tabela 8 adiante), apresentou valor de massa seca de raízes mortas apenas 1,68 vezes menor do que o observado no tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, independentemente da camada de solo avaliada. Quanto aos valores percentuais da razão entre a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, eles foram muito baixos (10%) em dois dos três tratamentos que tiveram o solo cultivado no último período experimental, quando comparados com o valor

médio de 35% obtido por Streck (1999) com uma pastagem natural de gramíneas que havia sido quimicamente dessecada (45 dias após a dessecação). Esta diferença, provavelmente, pode ser creditada à elevada concentração de raízes na camada de solo de 0 a 10 cm no presente estudo, o que diminuiu o valor da razão. Os valores da razão observados neste estudo são, também, inferiores aos registrados nos arquivos computacionais do modelo RUSLE de predição da erosão hídrica (Renard et al., 1997), nos Estados Unidos, os quais variam de 20% a 25%. Neste caso, da mesma forma como argumentado por Streck (1999), as diferenças nos resultados provavelmente são devidas às diferenças em clima, solo e tipo de cultura entre locais. No que se refere aos valores da Estabilidade dos agregados de solo em água (DMP – Tabela 6), eles foram significativamente afetados pelos tratamentos estudados. Assim, verifica-se que os valores do teor de matéria orgânica e de DMP foram sempre maiores na camada mais superficial do solo (0 a 10 cm), à exceção do tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), cujos valores destas variáveis foram semelhantes nas duas camadas de solo avaliadas. O acúmulo de matéria orgânica na camada mais superficial do solo já era esperado, tendo em vista ou a continua presença de resíduos culturais na superfície do solo ou a maior massa de raízes mortas na sua camada de 0 a 10 cm. Da mesma forma como foi observado por Silva & Mielniczuk (1997) e por Tisdall & Oades (1982), a presença de maior quantidade de raízes e de matéria orgânica na camada superficial do solo induziu maior resistência aos seus agregados. Assim, decorrente do acúmulo de matéria orgânica na camada mais superficial do solo, os valores de DMP dos seus agregados foram maiores na camada de solo de 0 a 10 cm do que na de 10 a 20 cm. O tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, devido o grande aporte de raízes à massa do solo durante os seus 7,5 anos de cultivo com a sucessão cultural aveia preta-milho/aveia preta-milheto, foi o que apresentou maiores valores tanto de matéria orgânica quanto de DMP na camada mais superficial do solo (0 a 10 cm). Os tempos de cultivo cada vez menor nos demais tratamentos resultaram em valores também cada vez menor de teor de matéria orgânica e de DMP nas duas camadas de solo avaliadas, igualmente como foi observado por Allison (1968), Dissmeyer & Foster (1981), Tisdall & Oades (1982), Silva & Mielniczuk (1997) e Cogo & Streck (2003).

TABELA 6. Massa seca de raízes mortas, teor de matéria orgânica e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), em duas de suas camadas, avaliados em outubro de 2003, antes do preparo do solo e da aplicação dos testes de chuva simulada

Tratamento	Raízes mortas			Matéria orgânica		DMP	
	0-10 cm	10-20 cm	Proporção ¹	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
	----- Mg ha ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----		----- mm -----	
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	13,5 ² a	1,3 a	0,10	30 a	22 a	4,06 a	2,59 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	8,0 ³ b	0,8 b	0,10	28 ab	22 a	3,94 a	2,42 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	3,1 ² c	0,8 b	0,26	22 b	20 ab	2,80 b	1,51 b
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	0 d	0 c	0,0	22 b	20 ab	2,10 b	0,88 c
7,5Sc,PC (T)	0 d	0 c	0,0	19 c	18 b	0,98 c	0,89 c

¹ Massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm/massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm; ² raízes de aveia preta; ³ raízes de ervilhaca. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Quanto às características físicas de solo mostradas na tabela 7, ressalta-se que o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), por ter tido o seu solo mobilizado no método convencional (aração e duas gradagens) duas vezes ao ano durante todo o período experimental, tinha os valores de densidade e porosidade do solo sujeitos a grande variação no tempo. Por esta razão, estas duas variáveis não foram avaliadas no mesmo. Prosseguindo com a análise dos dados da tabela 7, verifica-se que, de modo geral, independentemente da camada de solo avaliada, os valores de densidade e macro, micro e porosidade total do solo não foram significativamente modificados após os 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho) em nenhuma das camadas de solo avaliadas, em que pese terem sido a massa seca de raízes mortas, o teor de matéria orgânica e o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água (Tabela 6). Independentemente disto, observa-se que os valores de densidade e microporosidade do solo foram menores na sua camada de 0 a 10 cm, independentemente do tratamento estudado. Este comportamento já era esperado, tendo em vista o maior teor de matéria orgânica presente na camada superficial do solo e, conseqüentemente, maior atividade biológica na mesma, o que promoveu melhor estruturação geral do solo em tal camada. Como

conseqüência disso, os valores de macroporosidade e porosidade total do solo também foram sempre maiores na sua camada de 0 a 10 cm. Quanto aos teores de água no solo no momento de sua amostragem para a avaliação das referidas características físicas, eles também não diferiram significativamente entre os tratamentos estudados nas duas camadas de solo avaliadas, porém foram sempre ligeiramente superior na camada de 10 a 20 cm, o que pode ser considerado um fato normal.

TABELA 7. Valores de densidade do solo (Ds), teor gravimétrico de água (Ug) e macro, micro e porosidade total do solo após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), em duas de suas camadas, avaliados em outubro de 2003, antes do preparo do solo e da aplicação dos testes de chuva simulada

Tratamento	Ds kg m ⁻³	Ug kg kg ⁻¹	Porosidade do solo		
			Macro	Micro	Total
----- 0 a 10 cm -----					
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	1.565 a	0,164 a	0,151 a	0,269 a	0,420 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	1.556 a	0,159 a	0,150 a	0,269 a	0,419 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	1.593 a	0,164 a	0,145 a	0,285 a	0,412 a
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	1.547 a	0,158 a	0,161 a	0,263 a	0,422 a
7,5Sc,PC (T)	- ¹	-	-	-	-
----- 10 a 20 cm -----					
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	1.583 a	0,169 a	0,132 a	0,278 a	0,410 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	1.588 a	0,168 a	0,131 a	0,281 a	0,412 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	1.590 a	0,170 a	0,127 a	0,287 a	0,410 a
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	1.582 a	0,173 a	0,123 a	0,291 a	0,414 a
7,5Sc,PC (T)	-	-	-	-	-

¹A determinação não foi efetuada. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, numa mesma camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Na figura 3 estão apresentados os resultados da resistência do solo à penetração mecânica após 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho), avaliada pouco antes do seu preparo e do início da série de testes de erosão com chuva simulada empregada no estudo. Esta avaliação foi efetuada com o solo se encontrando com o seu teor de água na faixa do friável (Ug = 0,18 kg kg⁻¹), condição esta favorável ao desenvolvimento

das raízes da maioria das plantas cultivadas. Para fins de interpretação dos dados desta variável, considerou-se o valor de 2.000 kPa como sendo o limite superior para o desenvolvimento normal das raízes das plantas (Taylor et al., 1966). Sob tal estado de umidade no solo e na ausência de preparo do mesmo, todos os tratamentos apresentaram valor de resistência à penetração mecânica superior a 2.000 kPa abaixo dos 40 cm de profundidade do solo. Isto já era esperado, tendo em vista o tipo de solo utilizado no estudo (Argissolo Vermelho distrófico típico), com presença de uma camada de textura mais argilosa a partir de tal profundidade. No tratamento com preparo convencional do solo ou testemunha (7,5Sc,PC ou T), devido à mobilização do solo no mesmo até, aproximadamente, 20 cm de profundidade, já era esperada menor resistência à penetração mecânica em tal camada. Nesta profundidade, apenas o tratamento com o cultivo isolado de aveia preta (7Sc,Sp/0,5Av,SD) apresentou valor de resistência do solo à penetração mecânica acima de 2.000 kPa na camada mais superficial (0 a 6 cm). Isto ocorreu devido à ausência de preparo e de

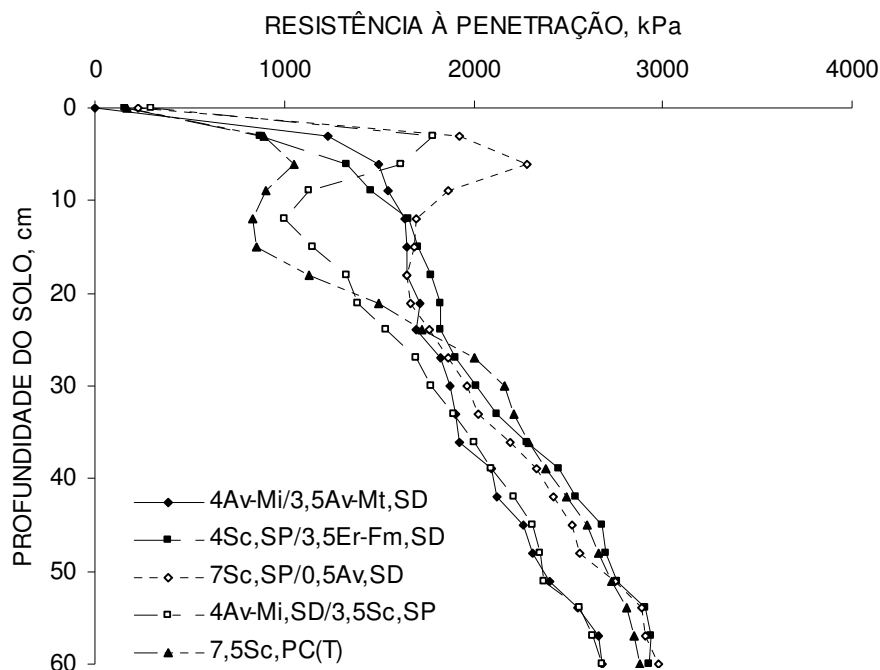


FIGURA 3. Resistência do solo à penetração mecânica antes do seu preparo e da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados.

cultivo do solo neste tratamento durante os sete anos que antecederam o cultivo único de aveia preta no mesmo. Entretanto, é importante salientar que esta condição física do solo prevaleceu apenas até a realização dos dois primeiros testes de erosão com chuva simulada (T1 e T2), tendo em vista que, para a realização dos demais testes (T3 a T7), o solo foi mobilizado por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, antes de cada um deles.

4.1.3. Condição física externa ou de superfície do solo após os 3,5 anos de uso do mesmo com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo, avaliada antes do seu preparo e da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada

Na tabela 8 estão apresentados os valores de alguns parâmetros que caracterizam a condição física externa ou de superfície do solo existente por ocasião do início da aplicação dos testes de erosão com chuva simulada, em outubro de 2003, antes do mesmo sofrer qualquer tipo de mobilização, após ele ter sido usado por 3,5 anos com o segundo conjunto de tratamentos considerado no estudo (especialmente planejado para a realização deste trabalho). Analisando os dados da referida tabela, verifica-se que a cultura de aveia preta produziu maior massa seca de resíduo cultural após sua colheita do que a cultura de ervilhaca, independentemente do tempo de cultivo da mesma no experimento, conseqüentemente ela propiciou maior cobertura superficial do solo. O cultivo continuado do solo por 7,5 anos com o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD promoveu boas condições físicas no mesmo, resultando no maior rendimento de massa seca de resíduo cultural observado no estudo. A cultura de ervilhaca produziu 64% menos massa seca de resíduo cultural, comparado com o valor médio obtido para a cultura de aveia preta. Mesmo assim, ela ainda proporcionou elevada cobertura superficial do solo (82%). É interessante ressaltar a persistência do resíduo cultural de milho no tempo, o qual, mesmo após 12 meses sujeito às ações do clima (chuva, vento, luz, temperatura, umidade, etc.) e dos microrganismos do solo, ainda apresentou valores de massa seca (embora no estágio de “resíduos velhos”) e cobertura superficial do solo semelhantes ao resíduo de ervilhaca, o qual foi avaliado logo após a colheita, quando ele ainda se encontrava fresco. Estes resultados reafirmam a

importância das gramíneas na produção de massa seca de resíduo cultural e equivalente cobertura superficial do solo, premissa básica nas práticas de controle da erosão de caráter vegetativo, seja ela a hídrica, seja ela a eólica (Hudson, 1995). No que se refere à rugosidade superficial do solo (Tabela 8), o tratamento com preparo convencional ou testemunha (7,5Sc,PC ou T) foi o único que apresentou valor relativamente elevado do índice (IR) nessa época de avaliação do mesmo, sendo ele, contudo, remanescente dos dois preparos anuais que este tratamento regularmente recebia. Nos demais tratamentos, a rugosidade superficial do solo, expressa pelo índice IR, avaliado antes do preparo e da aplicação dos testes de chuva simulada, era baixa, devido ao fato deles estarem sem preparo, já, por sete (07) anos, sendo cultivados em semeadura direta ou, então, simplesmente não cultivados.

TABELA 8. Massa seca de resíduo cultural, percentagem de cobertura e índice de rugosidade (IR) superficiais do solo antes do seu preparo e da aplicação dos testes de chuva simulada, avaliados em outubro de 2003, nos tratamentos estudados

Tratamento	Tipo de resíduo	Condição do resíduo	Massa de resíduo	Cobertura do solo	IR
			Mg ha ⁻¹	%	cm
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	Aveia preta	fresco	12,2 a	100 a	0,059 b
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	Ervilhaca	fresco	3,5 c	82 b	0,049 b
7Sc,SP/0,5Av,SD	Aveia preta	fresco	8,1 b	97 a	0,057 b
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	Milheto	velho ²	3,4 c	80 b	0,025 b
7,5Sc,PC (T)	- ¹	-	0 d	0 c	0,226 a

¹A variável não se fazia presente; ²resíduo exposto ao tempo e à ação microbiana por 12 meses. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.2. Parâmetros físicos de solo e planta nas parcelas experimentais por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada

4.2.1. Parâmetros físicos internos ou de subsuperfície do solo

4.2.1.1. Massa seca de raízes mortas

Nas figuras 4 e 5 estão apresentados os resultados de massa seca de raízes mortas das últimas culturas empregadas no experimento, naqueles tratamentos em que o solo foi cultivado nos últimos 3,5 anos, obtidos,

respectivamente, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, em cada um dos testes de erosão com chuva simulada realizados. É importante neste momento lembrar que, para a realização dos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), o solo nas parcelas experimentais de todos os tratamentos se encontrava na ausência de preparo, estando pois, com sua superfície consolidada, enquanto que, para a realização dos demais testes (T3 a T7), ele foi previamente preparado por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, encontrando-se pois, nesses testes de chuva, com a sua superfície mobilizada (não mais consolidada).

Analisando primeiramente os dados da figura 4, com os resultados de massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, observa-se que os mesmos variaram significativamente entre os tratamentos considerados em todos os testes de erosão com chuva simulada realizados. O tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, tendo a aveia preta como sua última cultura no período experimental, foi o que apresentou maior valor de massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo antes do primeiro teste de chuva (T1) e, mesmo com a sua diminuição no tempo, ele se manteve superior aos demais tratamentos até o último teste (T7). O tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, tendo a ervilhaca como sua última cultura no período experimental, foi o segundo a apresentar maior valor de massa seca de raízes mortas em tal camada de solo antes do primeiro teste de chuva (T1), porém, ele se igualou ao tratamento 7Sc,SP/0,5Av,SD, também com a cultura de aveia preta, a partir do quinto teste (T5). Quanto aos valores de massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm (Figura 5), observa-se que eles também variaram significativamente nos tratamentos considerados em todos os testes de chuva realizados, embora em menor magnitude do que na camada de solo de 0 a 10 cm (Figura 4). O tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD continuou apresentando os maiores valores de massa seca de raízes mortas (de aveia preta) em todos os testes de chuva realizados, enquanto que os tratamentos 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (com raízes de ervilhaca) e 7Sc,SP/0,5Av,SD (com raízes de aveia preta) apresentaram valores desta variável semelhantes entre si, porém somente até a realização do segundo teste de chuva (T2). A partir do terceiro teste de chuva (T3), o último tratamento referido apresentou os menores valores da variável em questão até o final dos testes.

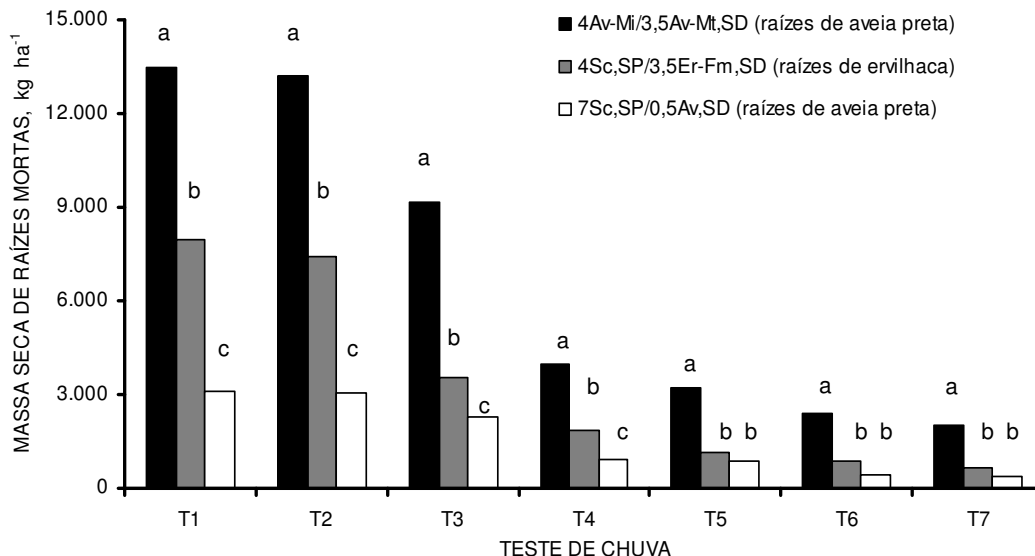


FIGURA 4. Massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

No que se refere especificamente ao comportamento da redução temporal da massa seca de raízes mortas, ocasionada pelo tempo em si mas, também, pela ação mecânica das chuvas simuladas aplicadas e dos preparos de solo (inicial e reparos) realizados a partir do terceiro teste de chuva (T3), conforme pode ser visto pelos dados apresentados nas figuras 4 e 5, é interessante distinguir três intervalos de tempo a respeito, a saber: a) período compreendido entre os testes de chuva T1 e T2 (até os 11 dias após a colheita das culturas, b) período compreendido entre os testes de chuva T2 e T3 (dos 11 aos 37 dias após a colheita das culturas) e c) período compreendido entre os testes de chuva T3 e T7 (dos 37 aos 172 dias após a colheita das culturas). Como pode ser observado na figura 4, não ocorreu nenhuma redução apreciável nos valores de massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm nos primeiros 11 dias após a colheita das culturas, entre os testes de chuva T1 e T2, quando o solo não havia ainda sido mobilizado, independentemente dos tratamentos considerados. Entre o segundo (T2) e o

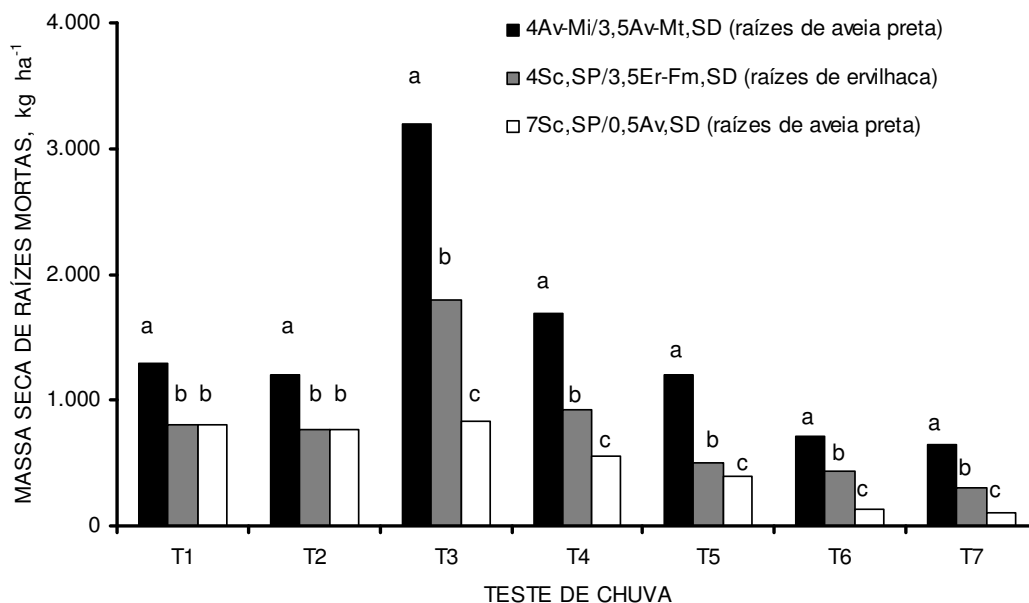


FIGURA 5. Massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas de mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

terceiro (T3) teste de chuva, entretanto, ou seja, após a primeira mobilização do solo por meio da passagem de uma grade leve até profundidade média de 15 cm, a qual foi realizada imediatamente antes do terceiro teste (T3), verifica-se que ocorreu acentuada redução nos valores de massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo nos três tratamentos considerados, causada pela mobilização do solo. A mobilização do solo foi responsável por esse acontecimento por duas razões principais: 1) causando a fragmentação mecânica dos agregados de solo e das raízes e, como tal, intensificando a aeração e a atividade biológica no solo, conseqüentemente auxiliando a diminuição da massa de raízes mortas no mesmo, e 2) misturando o solo nas duas camadas avaliadas (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), conseqüentemente diminuindo a massa de raízes na primeira camada e aumentando na segunda. No intervalo de tempo que compreendeu a mobilização inicial do solo, entre os testes de chuva T2 e T3, a redução da massa de raízes mortas na camada de

solo de 0 a 10 cm se deu, principalmente, pela mistura das duas camadas de solo (0 a 10 cm e 10 a 20 cm) durante o seu preparo, por meio da passagem da grade leve. Nesse período, a maior redução nos valores de massa seca de raízes mortas ocorreu no tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (52%, em relação ao valor existente antes do teste T2 - no caso, com raízes de ervilhaca), enquanto que os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD, ambos com raízes de aveia preta, apresentaram reduções de, respectivamente, 30% e 25%, em relação aos valores existentes antes do teste T2. Do terceiro (T3) ao quarto (T4) teste de chuva, a redução nos valores de massa seca de raízes mortas se deu de maneira mais intensa, devido não só à primeira mobilização do solo, efetuada antes do teste T3, mas também devido ao tempo transcorrido entre estes dois testes de chuva (16 dias). Nesse período, os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD (com raízes de aveia preta), 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (com raízes de ervilhaca) e 7Sc,SP/0,5Av,SD (com raízes de aveia preta), foram reduzidos em, respectivamente, 56%, 48% e 57%, em relação aos valores observados antes do teste T3. Considerando o período inteiro de realização dos testes de erosão com chuva simulada (do primeiro aos 172 dias após a colheita das culturas), os valores de massa seca de raízes mortas nos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD (com raízes de aveia preta), 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (com raízes de ervilhaca) e 7Sc,SP/0,5Av,SD (com raízes de aveia preta), foram reduzidos em, respectivamente, 85%, 91% e 88%, em relação aos valores iniciais (existentes antes do primeiro preparo do solo e do início da aplicação dos testes de chuva - antes de T1). A redução mais acentuada nos valores da variável em questão verificada no tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, tendo a ervilhaca como sua última cultura no período experimental, se deveu ao fato da mesma ser uma leguminosa e, portanto, apresentar baixa relação C/N nos seus tecidos, o que facilitou sua degradação pelos microrganismos do solo.

Em relação à diminuição dos valores de massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm (Figura 5), ela foi distinta da observada na camada de solo de 0 a 10 cm (Figura 4). Até os 11 dias após a colheita das culturas, entre os testes de chuva T1 e T2, ocorreu diminuição dos valores de massa seca de raízes mortas nos três tratamentos considerados na camada subsuperficial do solo, porém em taxas muito baixas, a exemplo do que foi verificado na camada superficial (Figura 4). Dos 11 aos 37 dias após a colheita

das culturas, entre os testes de chuva T2 e T3, a mobilização do solo por meio da passagem de uma grade leve até a profundidade média de 15 cm misturou o solo das camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, ocasionando diminuição da massa seca de raízes mortas na primeira camada e aumento na segunda, como já foi comentado. Dos 37 até os 172 dias após a colheita das culturas, entre os testes de chuva T3 e T7, a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm diminuiu de modo semelhante ao observado na camada de solo de 0 a 10 cm. Considerando o período inteiro de realização dos testes de chuva simulada (do primeiro aos 172 dias após a colheita das culturas), a massa de raízes mortas na camada de solo de 10 a 20 cm nos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD (com raízes de aveia preta), 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (com raízes de ervilhaca) e 7Sc,SP/0,5Av,SD (com raízes de aveia preta), foi reduzida em, respectivamente, 50%, 63% e 85%, em relação aos valores iniciais (existentes antes do primeiro preparo do solo e do início da aplicação dos testes de chuva simulada - antes de T1).

Na figura 6 estão apresentados os valores da proporção da massa seca de raízes mortas existente na camada de solo de 10 a 20 cm, em relação à massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, por ocasião da realização de cada teste de erosão com chuva simulada, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento. O conhecimento desta informação é útil para se poder estimar a massa de raízes na camada de solo de 10 a 20 cm no modelo RUSLE, quando se dispõe apenas da massa de raízes na camada de solo de 0 a 10 cm. Os motivos para as diferenças observadas nos valores de tal proporção por ocasião da realização do primeiro teste de chuva (T1) já foram apresentados no item 4.3.1 deste trabalho.

No que se refere à variação temporal dos valores da proporção a partir do teste de chuva T1, observa-se grande variação nos mesmos nos três tratamentos considerados, fato este distinto do observado por Streck (1999). No período compreendido entre o primeiro (T1) e o segundo (T2) teste de chuva (até os 11 dias após a colheita das culturas), a variação nos valores da proporção entre tratamentos foi pequena (0,16 na média dos mesmos). No período compreendido entre o segundo (T2) e o terceiro (T3) teste de chuva (dos 11 aos 37 dias após a colheita das culturas), os valores da proporção aumentaram expressivamente, o que se deveu à mistura das duas camadas de

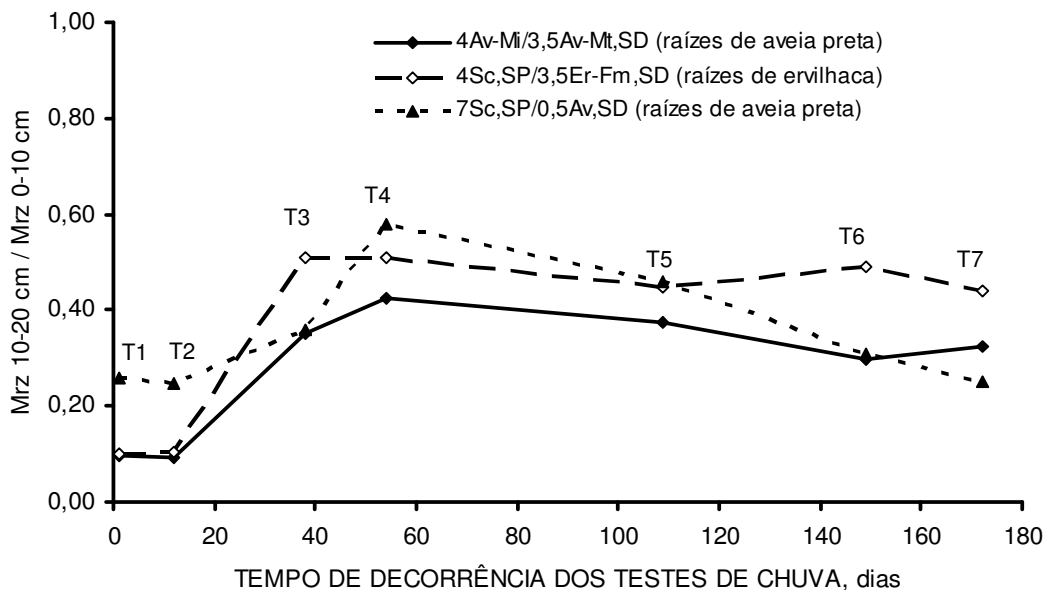


FIGURA 6. Proporção da massa seca de raízes mortas (Mrz) na camada de solo de 10 a 20 cm em relação à massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias).

solo avaliadas, ocasionada pela primeira operação de preparo do solo, por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, realizada antes do terceiro teste de chuva (T3), como já foi referido. Assim, pode ser verificado que o valor médio da proporção aumentou de 0,16 (entre T1 e T3) para 0,41 (antes de T4). No restante do período de realização dos testes de chuva, entre o terceiro (T3) e o sétimo (T7) teste (dos 37 aos 172 dias após a colheita das culturas), os valores da proporção tiveram comportamento variado, mas, de modo geral, tenderam a diminuir nos três tratamentos considerados. Isto se deveu, provavelmente, às repetidas operações de preparo do solo, por meio da passagem da grade leve, até a profundidade média de 15 cm, antes de cada teste de erosão com chuva simulada realizado no estudo.

Para finalizar a discussão do assunto em pauta, na figura 7 estão apresentados os resultados dos modelos matemáticos utilizados para

descrever a redução temporal absoluta da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos três tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento, independentemente da condição física da superfície do solo reinante no momento de sua avaliação (não mobilizada, com e sem cobertura por resíduo cultural, associada aos testes de chuva T1 e T2, ou mobilizada e descoberta, associada aos testes de chuva T3 e T7). No modelo RUSLE de predição da erosão, é utilizado o modelo exponencial $y = ae^{bx}$ para descrever a redução da biomassa vegetal (raízes vivas e, ou, mortas e resíduos culturais) de uma dada cultura no tempo, tanto na condição quando ela se encontra no interior do solo quanto na condição quando ela é mantida na sua superfície (Renard et al., 1997). Cogo & Streck (2003), diferentemente do que é utilizado no modelo RUSLE, encontraram que o modelo potência $y = ax^b$ foi o que melhor descreveu a redução temporal da massa de raízes mortas de uma pastagem natural de gramíneas, a qual havia sido quimicamente dessecada, com e sem resíduo cultural superficial e com e sem preparo do solo, e que o modelo exponencial $y = ae^{bx}$ foi o que melhor descreveu a redução temporal da massa de resíduo cultural mantida na superfície do solo. Observa-se na figura 7 que a redução temporal dos valores de massa seca de raízes mortas das últimas culturas empregadas no experimento (aveia preta e ervilhaca) foi bem descrita (de modo muito significativo) pelo modelo potência nos três tratamentos em consideração, concordando com os dados encontrados por Cogo & Streck (2003), sem diferença apreciável nos valores do coeficiente angular das equações de regressão, os quais variaram de -0,388 a -0,493. Para ilustrar melhor esta discussão, na figura 8 são apresentados os modelos matemáticos que descrevem a redução temporal relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos três tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento. Observa-se que os três tratamentos em consideração apresentaram redução temporal relativa percentual dos valores de massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo semelhante, notadamente os dois tratamentos que continham raízes de aveia preta (4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 7Sc,Sp/0,5Av,SD), os quais exibiram valores do coeficiente angular de suas equações de regressão muito semelhantes (18,28 e 19,98). A redução temporal relativa percentual dos valores de massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo foi

muito acentuada nos primeiros vinte dias após a mobilização do solo por meio de uma gradagem nos três tratamentos considerados. Observa-se ainda que o tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (com raízes de ervilhaca) apresentou redução temporal relativa percentual dos valores de massa seca de raízes mortas pouco mais acentuada do que a verificada nos outros dois tratamentos.

As raízes das plantas constituem fator de grande importância na aproximação e na estabilização das partículas do solo durante o processo de sua agregação (Allison, 1968; Dissmeyer & Foster 1981; Tisdall & Oades, 1982; Silva & Mielniczuk, 1997). Neste trabalho, elas tiveram influência nos valores dos índices de Estabilidade dos agregados de solo em água (DMP) e de rugosidade superficial do solo (IR), bem como na persistência dos mesmos no tempo, conseqüentemente nas perdas de solo e água causadas pela erosão hídrica sob a ação de chuva simulada, como será visto adiante.

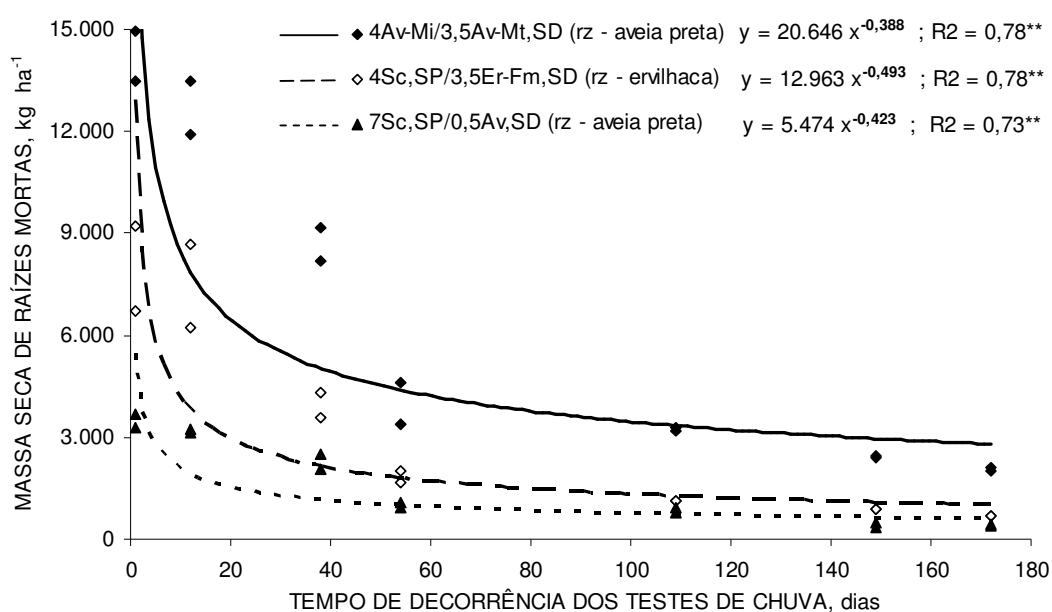


FIGURA 7. Relação da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm com o tempo de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento (OBS: o teste T1 foi aplicado no 1º dia, o T2 aos 11 dias, o T3 aos 37 dias, o T4 aos 54 dias, o T5 aos 109 dias, o T6 aos 149 dias e o T7 aos 172 dias após a colheita das últimas culturas do experimento).

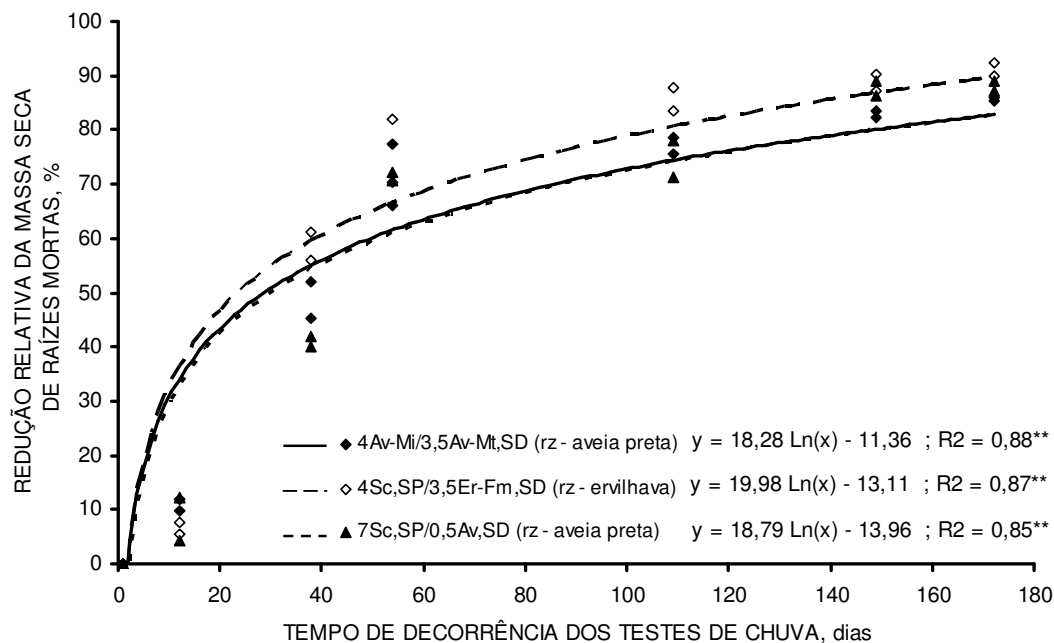


FIGURA 8. Relação da redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm com o tempo de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos com as últimas culturas empregadas no experimento (OBS: o teste T1 foi aplicado no 1º dia, o T2 aos 12 dias, o T3 aos 37 dias, o T4 aos 54 dias, o T5 aos 109 dias, o T6 aos 149 dias e o T7 aos 172 dias após a colheita das últimas culturas empregadas no experimento).

4.2.1.2. Índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP)

Na figura 9 estão apresentados os valores do índice da estabilidade dos agregados de solo em água (DMP) na camada de solo de 0 a 10 cm para os dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), efetuados com a superfície do solo não mobilizada (consolidada), e na camada de solo de 0 a 15 cm para os cinco demais testes (T3 a T7), efetuados com a superfície do solo mobilizada (não consolidada) - as razões para esta diferença na profundidade de amostragem já foram expostas na seção de material e métodos deste trabalho - realizados do primeiro aos 172 dias após a colheita das culturas, nos tratamentos estudados (exceto o tratamento testemunha - 7,5Sc,PC ou T, o qual foi avaliado somente no sexto teste de chuva - T6). Observa-se na referida figura que houve diferenças significativas nos valores desta variável entre os tratamentos considerados em todos os testes de chuva realizados, o que é

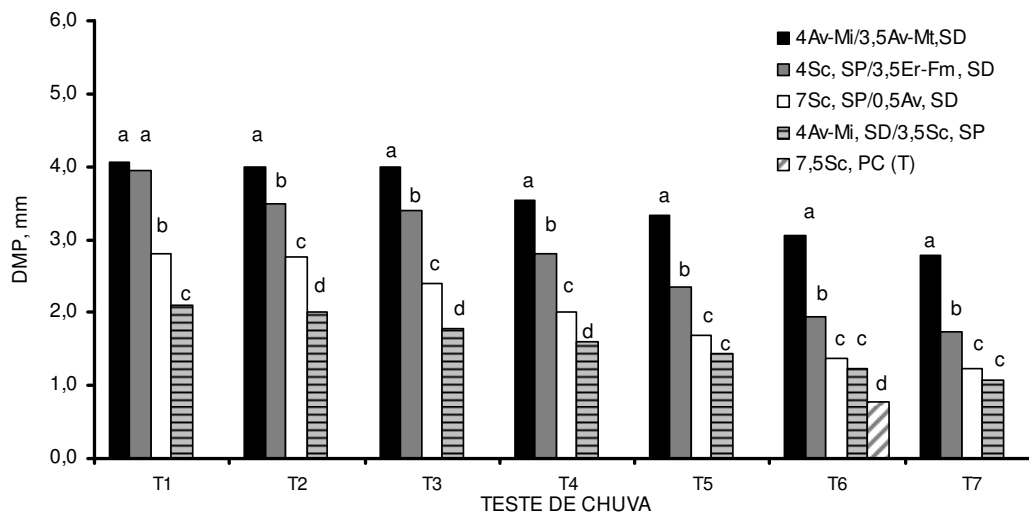


FIGURA 9. Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 nos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados (Obs.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias; 3) o tratamento testemunha – 7,5Sc,PC ou T – foi avaliado apenas no teste T6). Médias seguidas de mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

explicado pelos diferentes sistemas radiculares e valores de massa de raízes mortas das culturas empregadas no estudo (Figura 4), associado a alguma diferença, contudo, nos teores de matéria do solo de tais tratamentos (Tabela 6). Os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, devido conterem o maior teor de matéria orgânica e a maior massa de raízes mortas na camada superficial do solo antes do primeiro teste de chuva (T1), apresentaram os maiores valores do índice DMP nessa ocasião. Do segundo (T2) ao último (T7) teste de chuva, devido à acentuada redução ocorrida nos valores de massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo (Figura 8), os valores de DMP no tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD também reduziram de forma mais acentuada e passaram a diferir dos valores observados no tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD. Os tratamentos 4Av-Mi,SD/3,5SP,SC e 7Sc,SP/0,5Av,SD, por apresentarem menor teor de matéria orgânica e menor

valor de massa de raízes mortas na camada superficial do solo do que os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, apresentaram valor de DMP inferior a estes últimos durante o período inteiro de realização dos testes de chuva simulada, e mantiveram-se distintos entre si até o quarto teste (T4). A partir do quinto teste de chuva (T5), no entanto, tais tratamentos passaram a apresentar valores da variável semelhantes entre si. Por sua vez, o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T) foi o que apresentou menor valor de DMP dos agregados de solo dentre os observados no período experimental, o que é um fato normal, tendo em vista a ausência de cultivo e o preparo continuado do solo (anualmente) no método convencional (uma aração e duas gradagens) no mesmo.

Nas figuras 10 e 11 estão apresentados os resultados das relações da redução, respectivamente, absoluta e relativa percentual dos valores de DMP com o tempo de ocorrência dos testes de erosão com chuva simulada realizados. Fundamentalmente, estas reduções se deram em função da diminuição da massa seca de raízes mortas no tempo (Figura 8) e, conseqüentemente, do teor de matéria orgânica no solo, causadas pelo tempo em si mas, também, pela ação das sucessivas aplicações de chuva simulada e pelas operações de preparo do solo realizadas (por meio da passagem de uma grade leve), estas últimas sendo efetuadas a partir do terceiro teste de chuva (T3), o que fragmentou muito os agregados do solo. Decorrente destes fatos, verifica-se na figura 11 que os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD sofreram redução dos valores de DMP dos seus agregados, entre o início e o fim da aplicação dos testes de chuva simulada, de 34%, 60% e 60%, respectivamente. A diminuição dos valores de DMP no tempo, no tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, além dos fatores já mencionados, também se deu pela diminuição do teor de matéria orgânica no solo após a cessação do seu cultivo, já por 3,5 anos. Este tratamento sofreu 48% de redução no valor de DMP dos agregados de solo do início ao fim dos testes de erosão com chuva simulada. A menor redução relativa no valor do índice DMP neste tratamento, em comparação aos demais, foi devida ao reduzido valor do mesmo já antes do primeiro teste de chuva (T1).

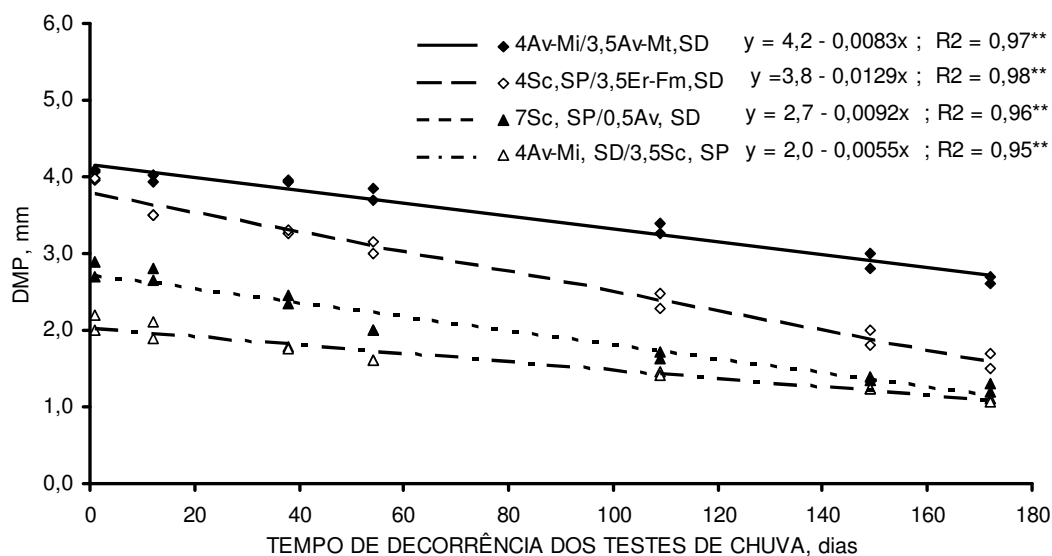


FIGURA 10. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada de solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com o tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados (OBS: o teste T1 foi aplicado no 1º dia, o T2 aos 12 dias, o T3 aos 37 dias, o T4 aos 54 dias, o T5 aos 109 dias, o T6 aos 149 dias e o T7 aos 172 dias após a colheita das últimas culturas empregadas no experimento).

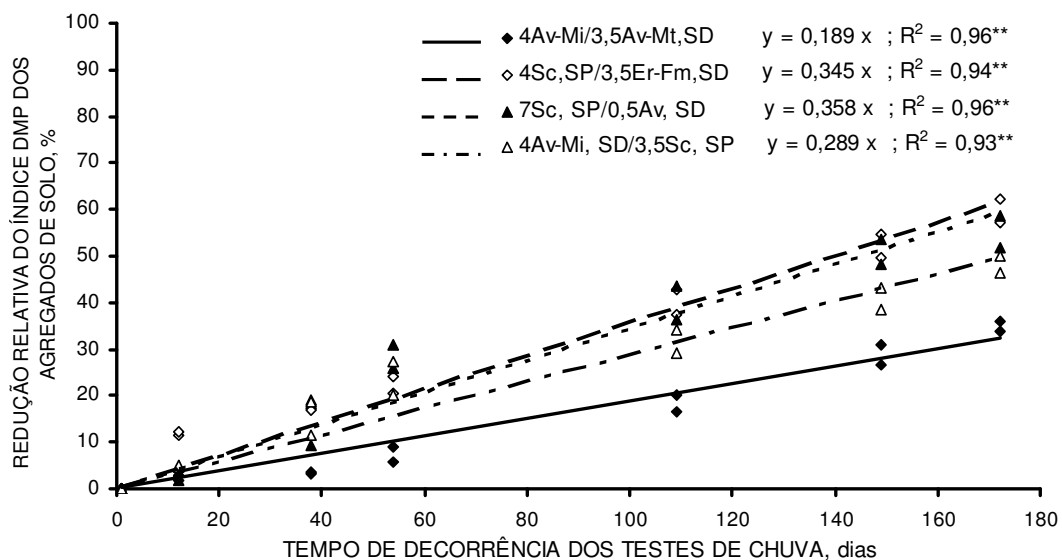


FIGURA 11. Relação da redução relativa percentual do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo e água na camada de solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com o tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, nos tratamentos com cultivo do solo estudados (OBS: o teste T1 foi aplicado no 1º dia, o T2 aos 12 dias, o T3 aos 37 dias, o T4 aos 54 dias, o T5 aos 109 dias, o T6 aos 149 dias e o T7 aos 172 dias após a colheita das últimas culturas empregadas no experimento).

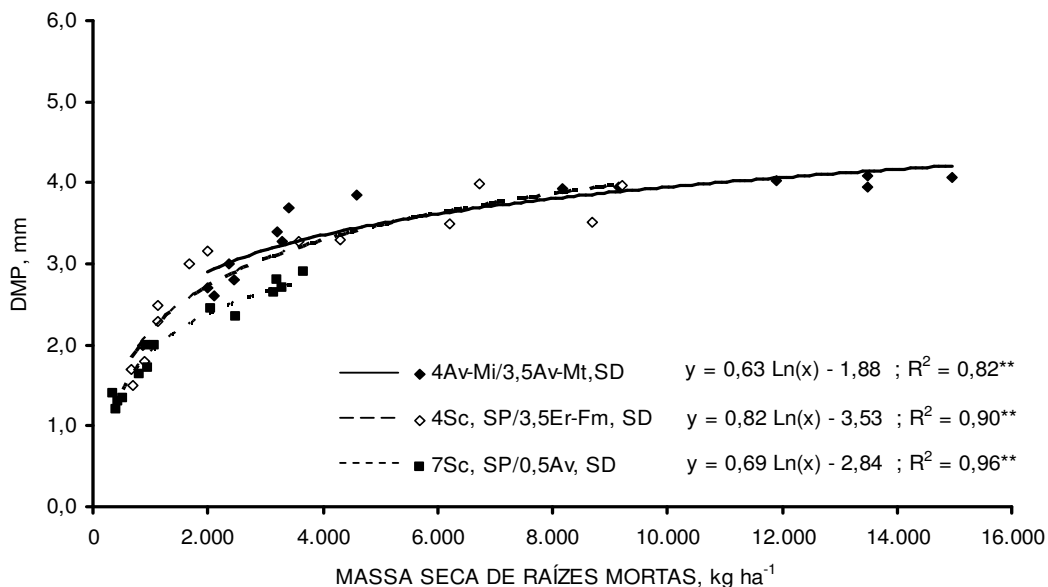


FIGURA 12. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo e água na camada de solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

Como já foi comentado no item 4.2.2, as raízes das plantas têm efeito marcante na aproximação e na estabilização das partículas de solo. Considerando este aspecto, na figura 12 é apresentada a relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água, avaliado na camada de solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e na camada de 0 a 15 cm para T3 a T7, pelas razões já expostas na seção de material e métodos, com a massa seca de raízes mortas, avaliada na camada de solo de 0 a 10 cm, utilizando para tal os dados obtidos nos três tratamentos em consideração. Verifica-se que, em os três tratamentos, o modelo apresentou relação altamente significativa entre estas duas variáveis, com os valores de DMP crescendo de modo logarítmico com o aumento dos valores de massa seca de raízes mortas, com pouca diferença nos valores do coeficiente angular em suas equações de regressão (0,63 a 0,82). Por outro lado, na figura 13 é apresentada a relação entre o DMP dos agregados de solo e água e a redução temporal relativa da massa seca de raízes mortas. Observa-se que, com a diminuição dos valores desta última variável, os valores do índice DMP dos agregados de solo em

água decaíram de modo exponencial nos três tratamentos em consideração. Segundo Yoder (1936), Tisdall & Oades (1982), Le Bissonnais (1996), Le Bissonnais & Arrouyas, (1997) e Albuquerque et al. (2000), a estabilidade dos agregados de solo em água, representada pelo índice DMP, é diretamente relacionada com a resistência do mesmo à desagregação de suas partículas pela ação da chuva e da enxurrada que dela se origina, tendo reflexo nas perdas de solo e água por erosão hídrica, como será visto adiante.

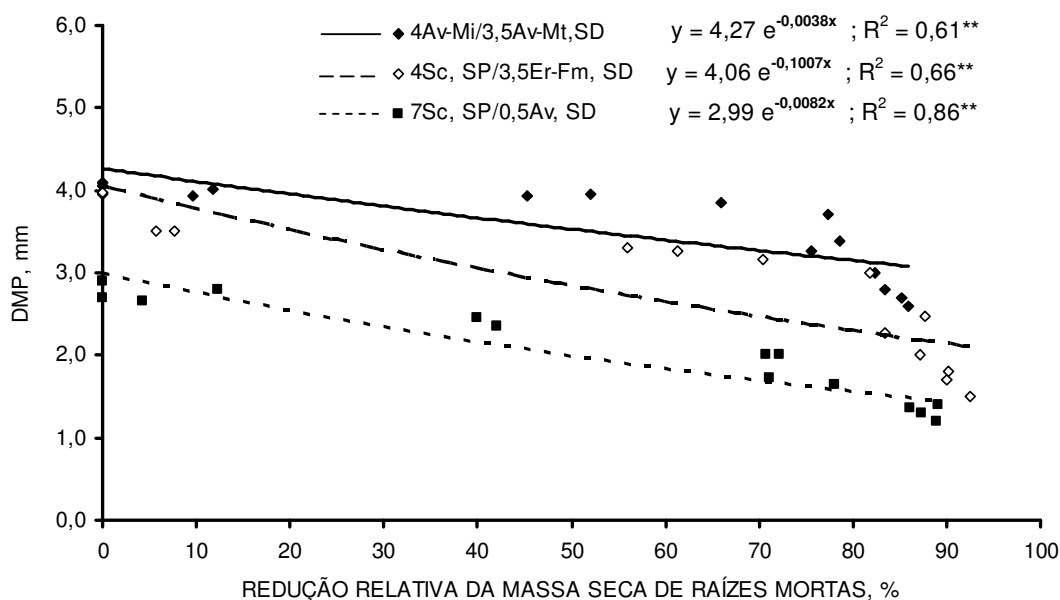


FIGURA 13. Relação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água na camada do solo de 0 a 10 cm para T1 e T2 e de 0 a 15 cm para T3 a T7 com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, nos tratamentos com cultivo do solo estudados (OBS: o teste T1 foi aplicado no 1º dia, o T2 aos 12 dias, o T3 aos 37 dias, o T4 aos 54 dias, o T5 aos 109 dias, o T6 aos 149 dias e o T7 aos 172 dias após a colheita das últimas culturas empregadas no experimento).

4.2.1.3. Teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas

Na tabela 9 é apresentado o teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, nos tratamentos estudados. Observa-se que, independentemente das camadas avaliadas, o teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas, num mesmo teste de chuva, não variou significativamente entre os tratamentos

estudados, sendo, contudo, sempre ligeiramente superior na camada de 10 a 20 cm. Observa-se também que, antes do primeiro teste de chuva (T1), o teor de água no solo antecedente às chuvas foi ligeiramente superior aos dos demais testes, o que é explicado pela presença de resíduos culturais na superfície do solo neste teste de chuva, os quais diminuíram a evaporação de água do solo. Devido à remoção dos resíduos culturais após a aplicação deste primeiro teste de chuva (T1), verifica-se que o teor de água no solo antes do segundo teste (T2) foi, aproximadamente, 13% mais baixo do que antes do primeiro. Nos testes subsequentes (T3 a T7), devido à uniformização das camadas de solo em consideração pela passagem de uma grade leve, efetuada no dia anterior à aplicação das chuvas, observa-se que os teores de água no solo antecedentes às chuvas simuladas entre tratamentos também foram uniformizados. Em função destes resultados, pode-se considerar que o teor de água no solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas não constituiu fonte de variação no presente estudo, no que se refere às perdas de solo e água por erosão hídrica.

TABELA 9. Teor de água no solo antecedente aos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados

Tratamento	Teor de água no solo						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
----- kg kg ⁻¹ -----							
----- 0 a 10 cm -----							
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	0,164 a	0,144 a	0,121 a	0,129 a	0,122 a	0,120 a	0,123 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	0,159 a	0,138 a	0,117 a	0,132 a	0,124 a	0,121 a	0,123 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	0,164 a	0,142 a	0,121 a	0,133 a	0,123 a	0,121 a	0,123 a
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	0,158 a	0,143 a	0,122 a	0,128 a	0,123 a	0,120 a	0,122 a
7,5Sc,PC (T)	- ¹	-	-	-	-	0,120 a	-
----- 10 a 20 cm -----							
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	0,169 a	0,163 a	0,144 a	0,142 a	0,148 a	0,140 a	0,145 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	0,168 a	0,166 a	0,135 a	0,144 a	0,149 a	0,138 a	0,146 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	0,170 a	0,165 a	0,138 a	0,143 a	0,152 a	0,139 a	0,146 a
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	0,173 a	0,161 a	0,142 a	0,142 a	0,150 a	0,141 a	0,145 a
7,5Sc,PC (T)	-	-	-	-	-	0,141 a	-

¹O teste de chuva não foi realizado (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, numa mesma camada de solo, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.2.2. Parâmetros físicos externos ou de superfície do solo

4.2.2.1. Índice de rugosidade superficial do solo

Na figura 14 estão apresentados os valores do índice de rugosidade superficial do solo (IR), obtidos em três momentos distintos por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, a saber: a) antes do preparo inicial do solo e da aplicação dos testes de chuva T1 e T2, b) após o preparo inicial do solo porém antes da aplicação do teste de chuva T3 e c) após os testes de chuva T3 a T7. Como já foi discutido no item 4.1.2, o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), com preparo convencional do solo, foi o único que apresentou valor elevado do índice de rugosidade superficial do solo (IR) antes do seu primeiro preparo (avaliado antes da aplicação dos testes de chuva T1 e T2), sendo ele, no entanto, remanescente dos dois preparos anuais que este tratamento regularmente recebia durante o período inteiro de desenvolvimento da pesquisa. Nessa ocasião (antes do preparo inicial do solo), os demais tratamentos apresentaram valor de IR muito baixo e semelhante entre si. O preparo do solo por meio de uma aração e duas gradagens (método convencional) no tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), efetuado antes da aplicação do sexto teste de chuva (T6 – único teste do qual ele participou), aumentou sua rugosidade superficial apenas 2,7 vezes, em relação à rugosidade existente antes do preparo (medida antes dos testes T1 e T2), um acréscimo bem menor do que o ocorrido nos demais tratamentos, porém, ele foi maior do que o observado por Castro et al. (2006) em estudo semelhante, o que pode ser explicado pela metodologia que foi utilizada neste trabalho para a medição da rugosidade superficial do solo, a qual diferiu da utilizada pelos autores referidos. A intensa mobilização do solo ocasionada pelo preparo convencional no tratamento testemunha, associada à elevada energia cinética da chuva aplicada ($1.278 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ – com base na intensidade constante de chuva de 64 mm h^{-1} e duração de 90 minutos, usadas em cada teste de chuva) e à baixa estabilidade dos agregados de solo no mesmo (índice DMP - Tabela 7), reduziram sua rugosidade superficial após a aplicação do sexto teste de chuva (T6) ao valor inicial existente antes do preparo (avaliado antes dos testes T1 e T2), o que já não foi observado em nenhum outro tratamento, porém, foi semelhante ao observado por Castro et al. (2006). O preparo do solo por meio da passagem de uma grade leve, efetuado nos demais tratamentos a

partir do terceiro teste de chuva (T3), mobilizou o solo com intensidade semelhante e induziu valores altos de rugosidade superficial em todos eles, porém, em graus diferenciados, dependentes da condição física estrutural do solo pré-existente, ocasionada pelas diferentes seqüências culturais empregadas no estudo. Os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD tiveram sua rugosidade superficial aumentada pela ação da primeira gradagem (realizada antes da realização do teste de chuva T3) cerca de 20 vezes, enquanto que os tratamentos 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, a tiveram em cerca de 12 e 17 vezes, respectivamente. Após o terceiro teste de chuva (T3), todos os tratamentos, exceto o testemunha (7,5Sc,PC ou T), tiveram redução relativa dos valores de seus índices de rugosidade superficial do solo (IR) pela ação da chuva ao redor de 50%, condizendo com o observado

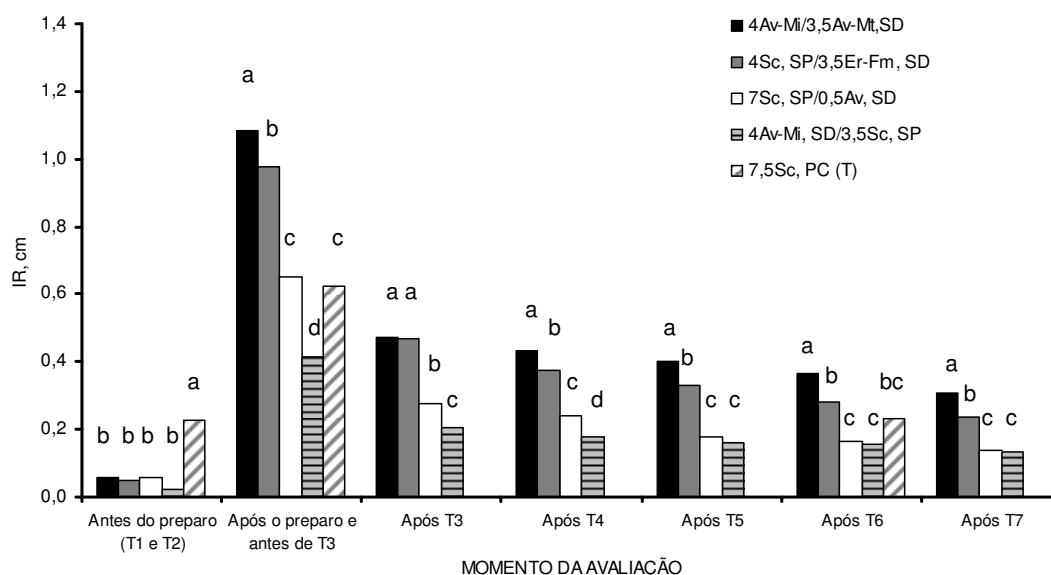


FIGURA 14. Índice de rugosidade superficial do solo (IR) em momentos distintos por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias; 3) o valor de IR do tratamento testemunha – T – registrado no momento após o preparo e antes de T3 no gráfico corresponde, de fato, a antes de T6). Médias seguidas da mesma letra, num mesmo momento de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

por Castro et al. (2006). Contudo, os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD apresentaram valor absoluto de tal índice semelhante entre si e, em média, eles foram 1,8 vezes maior do que o observado nos demais tratamentos, indicando maior estabilidade dos seus agregados à ação desagregadora da chuva, como já foi discutido no item 4.2.3. Nos demais testes de chuva simulada (T4 a T7), o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD permaneceu com o seu maior valor de índice de rugosidade superficial do solo, seguido do tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD. Assim como foi observado para a massa de raízes mortas (Figura 4) e para o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de solo em água (Figura 9) na camada superficial do solo (0 a 10 cm), a partir do quinto teste de chuva (T5) os tratamentos 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP passaram a exibir os menores valores do índice de rugosidade superficial do solo (IR), tendo sido, todos, estatisticamente semelhantes entre si.

Com a diminuição da massa de raízes mortas (Figuras 7 e 8) e do índice de estabilidade dos agregados de solo em água (DMP - Figuras 10 e 11), pelas ações do tempo, das sucessivas chuvas simuladas aplicadas e dos repetidos preparos de solo realizados por meio da passagem de uma grade leve no mesmo, do terceiro (T3) ao sétimo (T7) teste de chuva, os valores do índice de rugosidade superficial do solo (IR) obtidos após a aplicação de cada teste de chuva simulada foram gradativamente diminuindo nos quatro tratamentos em que ele foi continuamente avaliado (Figuras 14 e 15). Assim, observa-se na figura 15 que os valores do índice de rugosidade superficial do solo obtidos após a aplicação dos últimos cinco testes de chuva (T3 a T7), os quais retratam a rugosidade que resistiu mais à ação das chuvas simuladas e, deste modo, persistiu por mais tempo após a sua aplicação, foram diminuindo de modo exponencial em todos os tratamentos em consideração, com as relações das variáveis envolvidas tendo sido altamente significativas em todos eles. A relação matemática apresentada na figura 15 ilustra bem a diminuição da capacidade do solo de resistir ao rebaixamento da sua rugosidade superficial induzida pelo preparo pela ação de impacto das gotas da chuva, conforme vai diminuindo a estabilidade dos seus agregados.

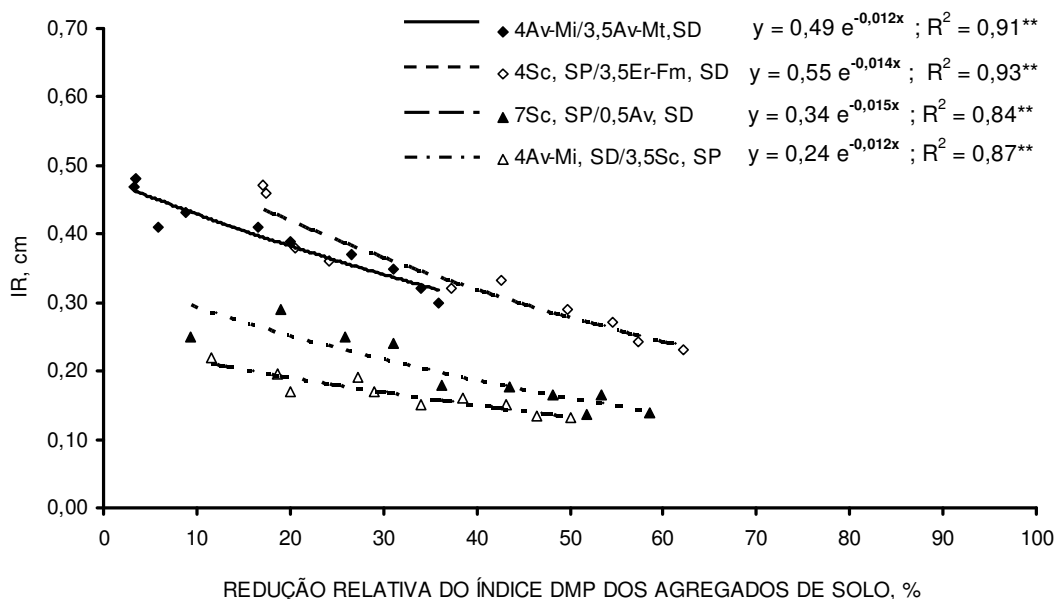


FIGURA 15. Relação do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido após a aplicação das chuvas simuladas nos testes T3 a T7 com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados de solo em água (DMP) medido na sua camada de 0 a 15 cm antes da aplicação das chuvas, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve, nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

A importância da estabilidade dos agregados de solo em água na determinação da sua rugosidade superficial induzida pelo preparo é bem ilustrada na figura 16. Observa-se que a regressão entre os índices de rugosidade superficial do solo (IR) e estabilidade dos seus agregados em água (DMP) foi altamente significativa, com os valores da primeira variável crescendo muito (comportamento tipo potência) com pequenos aumentos nos valores da última, como também foi constatado por Bertol et al. (2006).

Do mesmo modo como foi observado por Burwell et al. (1969), Cogo et al. (1983, 1984), Bertol et al. (1987, 1989, 2006) e Castro et al. (2006), os valores do índice de rugosidade superficial do solo obtidos neste estudo influenciaram diretamente as perdas de solo e água por erosão hídrica, bem como outros parâmetros que normalmente se encontram associados a tal fenômeno, como será visto adiante.

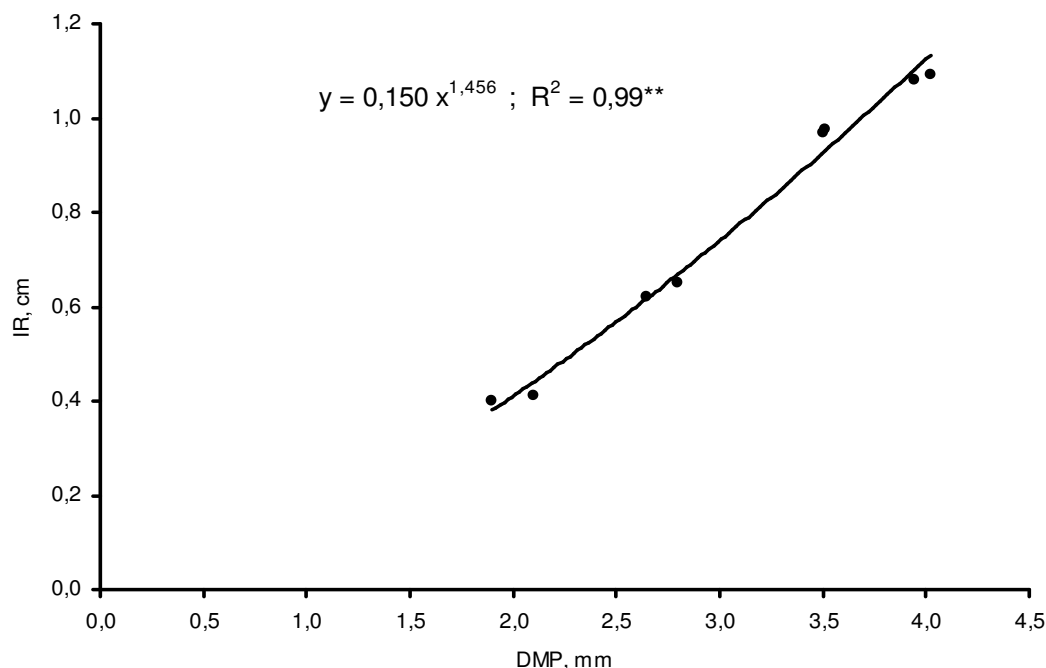


FIGURA 16. Relação do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido após o primeiro preparo por meio de uma gradagem leve (antes do teste T3) com o diâmetro médio ponderado (DMP) dos seus agregados medido na camada de solo de 0 a 10 cm antes do preparo, resultante dos tratamentos empregados no estudo.

4.2.2.2. Cobertura superficial do solo por resíduo cultural

Na tabela 10 estão apresentados os valores de cobertura superficial do solo propiciados pelos diferentes resíduos culturais que foram deixados na sua superfície ao final do experimento, avaliados imediatamente antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada. É interessante neste momento lembrar que, no que se refere ao primeiro teste de chuva (T1), a cobertura superficial do solo foi avaliada após os resíduos culturais terem sido removidos das parcelas experimentais, para avaliação de sua massa, e retornados de modo uniformemente espalhados à superfície das mesmas. Assim, verifica-se na tabela 10 que, nessa ocasião (antes da realização do primeiro teste de chuva - T1), apesar de haver diferenças nos valores de cobertura do solo por resíduo cultural entre tratamentos, todos eles eram elevados. Para a realização do segundo teste de chuva (T2), os resíduos culturais que haviam sido deixados na superfície do solo nas parcelas experimentais (para a realização do teste T1) foram totalmente removidos das

mesmas, para se efetuar o teste de chuva na condição de solo com a superfície não-mobilizada (consolidada) e descoberta. No entanto, em que pese o cuidado tido nessa operação, verifica-se na tabela 10 que algum resíduo cultural permaneceu nas parcelas experimentais dos tratamentos com cultivo, impossível de ser removido sem mexer com a superfície do solo, fato que, realmente, se queria evitar, sendo, por esta razão, deixado nas mesmas, como já foi comentado no item 3.7. Assim, nessa ocasião, todos os tratamentos apresentaram valores de cobertura superficial do solo relativamente baixos. É oportuno ressaltar que, em ambas essas ocasiões, ou seja, antes da realização dos testes de chuva T1 e T2, a avaliação da cobertura superficial do solo foi feita antes de ter sido realizado qualquer preparo do solo, pois, para a realização dos demais testes (T3 a T7), o solo foi, sempre, previamente preparado por meio da passagem de uma grade leve no mesmo, resultando em cobertura superficial nula em todos os tratamentos estudados.

TABELA 10. Cobertura superficial do solo por resíduo cultural antes dos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados

Tratamento	Cobertura superficial do solo		
	Teste 1	Teste 2	Testes 3 a 7
	----- % -----		
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	100 ¹ a	12 a	0
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	82 ² b	13 a	0
7Sc,SP/0,5Av,SD	97 ¹ a	10 a	0
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	80 b	0 b	0
7,5Sc,PC (T)	- ³	-	0 ⁴

¹Valor equivalente ao resíduo cultural de aveia preta; ²Valor equivalente ao resíduo cultural de ervilhaca; ³não foi efetuado o teste de chuva; ⁴valor referente apenas ao Teste 6. (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.3. Parâmetros de erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados

4.3.1. Tempos de início e equilíbrio da enxurrada

Os resultados dos tempos de início e equilíbrio da enxurrada obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados, respectivamente, nas figuras 17 e 18. Observa-se que os

valores destes parâmetros variaram significativamente entre os tratamentos estudados, principalmente o tempo de início da enxurrada, porém, de modo diferente nos diferentes testes de erosão com chuva simulada realizados. O que mais influenciou o comportamento destes parâmetros, principalmente o tempo de início da enxurrada, como será visto a seguir, foi o índice de rugosidade superficial do solo, do mesmo modo como foi observado por Cogo et al. (1983), Bertol et al. (1987), Mello et al. (2003), Volk et al. (2004) e Castro et al. (2006).

Analisando primeiramente os dados da figura 17, com os resultados do tempo de início da enxurrada, observa-se que, apesar das diferenças nos seus valores nos tratamentos em consideração, eles foram muito baixos nos dois primeiros testes de chuva simulada (T1 e T2), comparados com os valores observados nos demais testes e, inclusive, no tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T) no sexto teste (T6), evidenciando a baixa capacidade da superfície do solo de reter, deixar infiltrar e deter água da chuva nestes dois primeiros testes de chuva. Este fato se deveu à elevada consolidação e à baixa

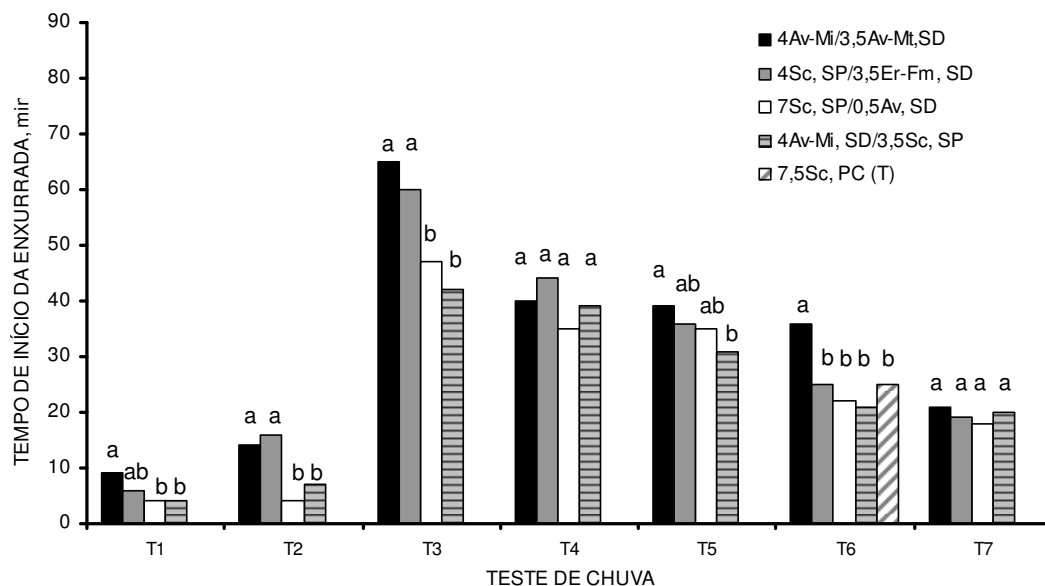


FIGURA 17. Tempo de início da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

rugosidade superficial do solo por ocasião da realização destes dois testes iniciais de chuva (Figura 14), em função dele não ter sido preparado nos mesmos. Apesar disso, observa-se que os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD apresentaram os maiores valores de tempo de início da enxurrada nestes dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), indicando que, mesmo com a superfície dos seus solos consolidada e apresentando baixa rugosidade superficial, portanto baixa capacidade de retenção superficial de água da chuva, eles apresentaram capacidade de infiltração de água no solo melhor do que os outros dois tratamentos considerados, ocasionada pela melhor qualidade de suas seqüências culturais no que se refere à estruturação global do solo. O preparo do solo por meio da passagem de uma grade leve, até a profundidade média de 15 cm, realizado antes do terceiro teste de chuva (T3), substancialmente aumentou a rugosidade superficial em todos os tratamentos avaliados (Figura 14), o que se refletiu no retardamento da enxurrada nos mesmos. Desta forma, os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, por apresentarem os maiores valores do índice de rugosidade superficial do solo no terceiro teste de chuva (T3), foram os que apresentaram os maiores valores do tempo de início da enxurrada no mesmo. Conforme foi discutido no item 4.2.4, o preparo periódico do solo por meio da passagem de uma grade leve no mesmo antes de cada teste de chuva, a partir do terceiro teste (T3 a T7), auxiliou a diminuição da estabilidade dos seus agregados em água em todos os tratamentos nesse período (Figuras 9, 10 e 11), o que se refletiu em valores decrescentes do índice de rugosidade superficial do solo no mesmo (Figura 14), resultando em tempos de início da enxurrada também decrescentes do terceiro (T3) ao sétimo (T7) teste de chuva. No último teste de chuva (T7), apesar dos diferentes valores do índice de rugosidade superficial do solo nos quatro tratamentos em consideração (Figura 14), os tempos de início da enxurrada não diferiram significativamente entre si (Figura 17).

A informação sobre o tempo de início da enxurrada é importante para se poder estimar a quantidade de água da chuva que poderá infiltrar e, ou, ficar retida na superfície do solo antes do início da enxurrada. Os dados calculados para este tipo de informação estão apresentados na tabela 11. Verifica-se que, por ocasião da realização do primeiro (T1) e do segundo (T2) teste de chuva,

quando o solo ainda não havia sido mobilizado e, portanto, ainda se encontrava com sua superfície consolidada e apresentando baixa rugosidade superficial, todos os tratamentos apresentaram baixa quantidade de água da chuva infiltrada e, ou retida na superfície do solo até o momento em que a enxurrada iniciou, com o valor máximo calculado igual a 12% da quantidade total de chuva aplicada. No terceiro teste de chuva (T3), as condições físicas do solo para infiltrar água foram favorecidas pelo seu preparo recente, por meio da passagem de uma grade leve, nos quatro tratamentos avaliados, os quais apresentaram valor de quantidade de água infiltrada e, ou retida na sua superfície que variou de 31% a 48% do total da chuva aplicada. A quantidade de água da chuva que infiltrou e, ou, ficou retida na superfície do solo antes do início da enxurrada diminuiu em todos os tratamentos a partir do terceiro teste de chuva (T3), pelos mesmos motivos que levaram à diminuição dos tempos de início da enxurrada nos mesmos em tal teste, como há pouco foi comentado.

TABELA 11. Quantidade de água da chuva infiltrada e, ou, retida na superfície do solo antes do início da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados

Tratamento	Água infiltrada e, ou, retida na superfície do solo antes do início da enxurrada						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	----- % da chuva aplicada -----						
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	6,7	10,4	48,1	29,6	28,9	26,7	15,6
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	4,4	11,9	44,4	32,6	26,7	18,5	14,1
7Sc,SP/0,5Av,SD	3,0	3,0	34,8	25,9	25,9	16,3	13,3
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	3,0	5,2	31,1	28,9	23,0	15,6	14,8
7,5Sc,PC (T)	- ¹	-	-	-	-	18,5	-

¹O teste de chuva não foi realizado (OBS: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias).

Em relação aos valores do tempo de equilíbrio da enxurrada, verifica-se na figura 18 que eles variaram expressivamente entre os tratamentos estudados apenas nos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), quando o solo ainda se encontrava não mobilizado (superfície consolidada), apresentando variação muito pequena nos demais testes (T3 a T7), nos quais o solo foi

sucessiva e repetidamente preparado por meio da passagem de uma grade leve antes de cada teste. Ainda em relação aos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, por apresentarem infiltração de água no solo mais elevada do que os demais tratamentos, fizeram com que a enxurrada nos mesmos demorasse, respectivamente, 55 e 72 minutos para atingir a sua condição de equilíbrio e, assim, escoar com taxa constante. Nos tratamentos 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, nestes mesmos testes de chuva, a enxurrada demorou,

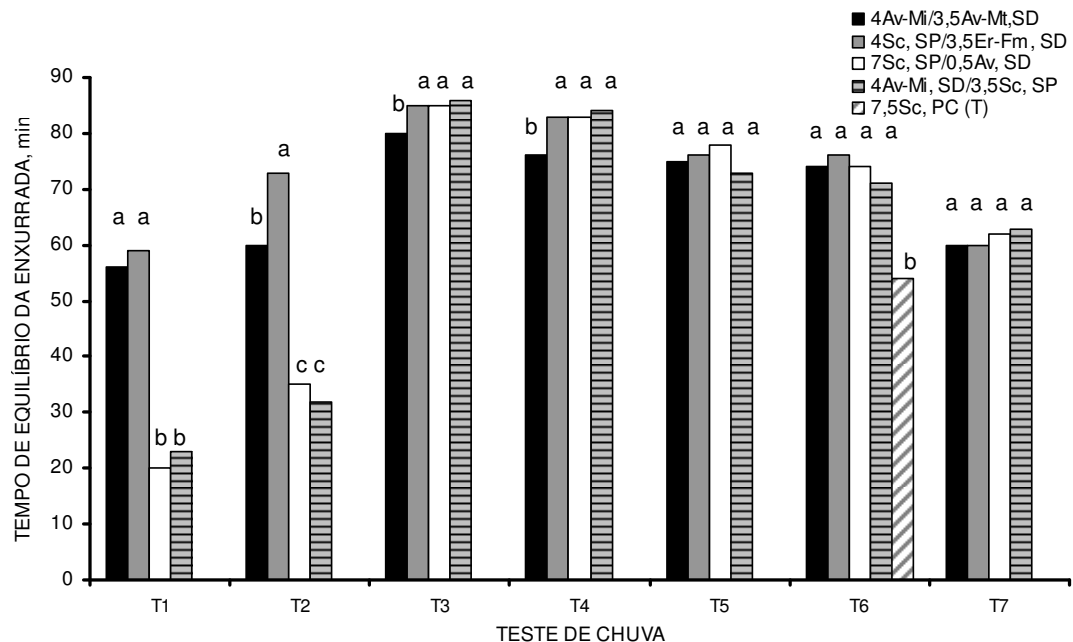


FIGURA 18. Tempo de equilíbrio da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas de mesma letra (num mesmo teste de chuva) não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

respectivamente, 20 e 34 minutos para atingir a sua condição de equilíbrio e, assim, escoar com taxa constante. No terceiro teste de chuva (T3), ocasião em que todos os tratamentos apresentavam o valor mais elevado do índice de

rugosidade superficial do solo (Figura 14), a enxurrada atingiu a sua condição de equilíbrio somente quase ao final das chuvas, aos 80 a 85 minutos, nos quatro tratamentos em consideração. No terceiro (T3) e quarto (T4) testes de chuva, apenas o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD apresentou tempo de equilíbrio da enxurrada significativamente inferior aos demais tratamentos.

Do mesmo modo como os tempos de início da enxurrada entre tratamentos decresceram nos últimos cinco testes de chuva (T3 a T7), os tempos de equilíbrio da mesma também decresceram em todos os tratamentos em que eles foram avaliados.

O diferente comportamento dos tempos de início e equilíbrio da enxurrada observado neste estudo, determinado pelas diferentes condições físicas de superfície e subsuperfície do solo associadas aos tratamentos estudados, influenciou diretamente as perdas de solo e água por erosão hídrica, como será visto adiante.

4.3.2. Taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada

Os resultados da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados na figura 19. Observa-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos estudados em todos os testes de chuva simulada realizados, exceto o último teste (T7). Nos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), quando o solo em todos os tratamentos não havia ainda sido mobilizado (superfície consolidada) e apresentava baixa rugosidade superficial (Figura 14), o tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD foi o que apresentou os maiores valores da taxa constante de infiltração de água no solo, seguido do tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, sem diferença significativa entre eles no teste T1 e com diferença significativa no teste T2, enquanto os outros dois tratamentos considerados apresentaram os valores mais baixos e estatisticamente semelhantes entre si. Estes resultados mostram a melhor condição física do solo para infiltrar água nos dois tratamentos com maior tempo de cultivo no período experimental, propiciada pelas suas distintas seqüências culturais, por ocasião da realização dos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2). O preparo inicial do solo por meio da passagem de uma

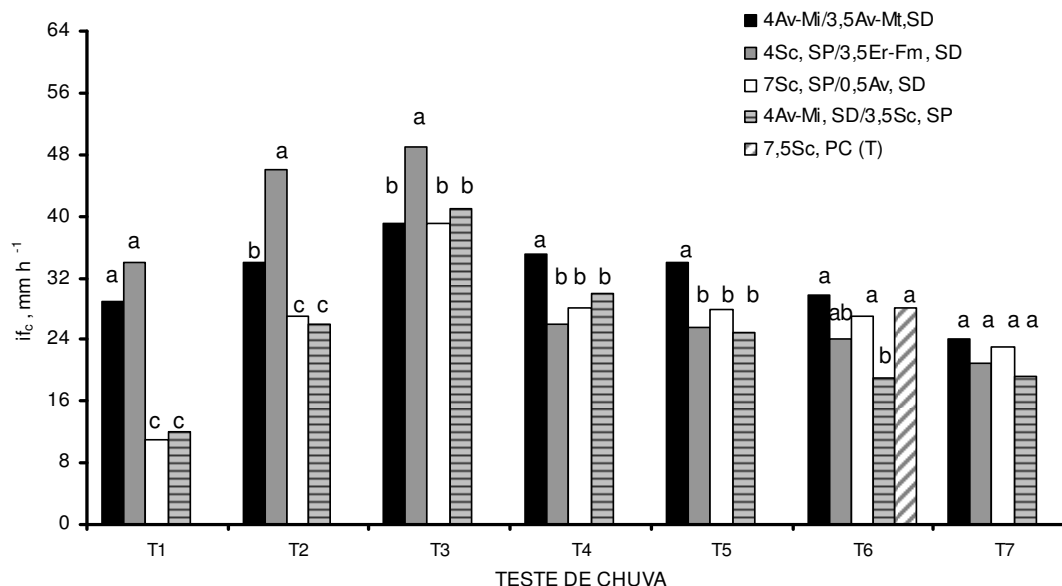


FIGURA 19. Taxa de infiltração de água no solo (if_c) na condição de equilíbrio da enxurrada nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (Obs.: 1) T1=solo não preparado e coberto, T2=solo não preparado e descoberto, T3 a T7=solo preparado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

grade leve, até a profundidade média de 15 cm, antes da aplicação do terceiro teste de chuva (T3), além de aumentar o índice de rugosidade superficial do solo (Figura 14) e de retardar os tempos de início e equilíbrio da enxurrada (Figuras 17 e 18), resultou nas maiores taxas de infiltração de água no solo sob a condição de equilíbrio da enxurrada observadas no estudo, nos quatro tratamentos avaliados, tanto em relação ao restante dos testes de chuva (T4 a T7), quanto em relação aos dois testes iniciais dos mesmos (T1 e T2). Por ocasião da realização dos últimos quatro testes de chuva (T4 a T7), quando o solo em todos os tratamentos foi sucessiva e repetidamente mobilizado por meio da passagem de uma grade leve, a taxa constante de infiltração de água no solo diminuiu gradativamente nos quatro tratamentos avaliados, do mesmo modo como foi observado com o índice de estabilidade dos agregados de solo em água (DMP – Figura 9) e com o índice de rugosidade superficial do solo (IR – Figura 14), os quais também tiveram seus valores diminuídos nesse período.

O tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), no sexto teste de chuva (T6 - único teste em que ele foi avaliado), apresentou taxa constante de infiltração de água próxima a dos tratamentos com os últimos cultivos do solo e superior a do tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP.

4.3.3. Coeficiente de enxurrada, parâmetro C da Fórmula Racional

O coeficiente de enxurrada - parâmetro C da Fórmula Racional de predição da descarga máxima de enxurrada – é obtido pela razão da taxa máxima de descarga da enxurrada com a intensidade da chuva no momento de pico da enxurrada. Os valores deste coeficiente, calculados com os dados obtidos neste trabalho, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados na figura 20. Como é lógico, verifica-se que o coeficiente de enxurrada (C) variou ao inverso da taxa constante de infiltração da água da chuva no solo. Deste modo, pode-se considerar que os fatores que

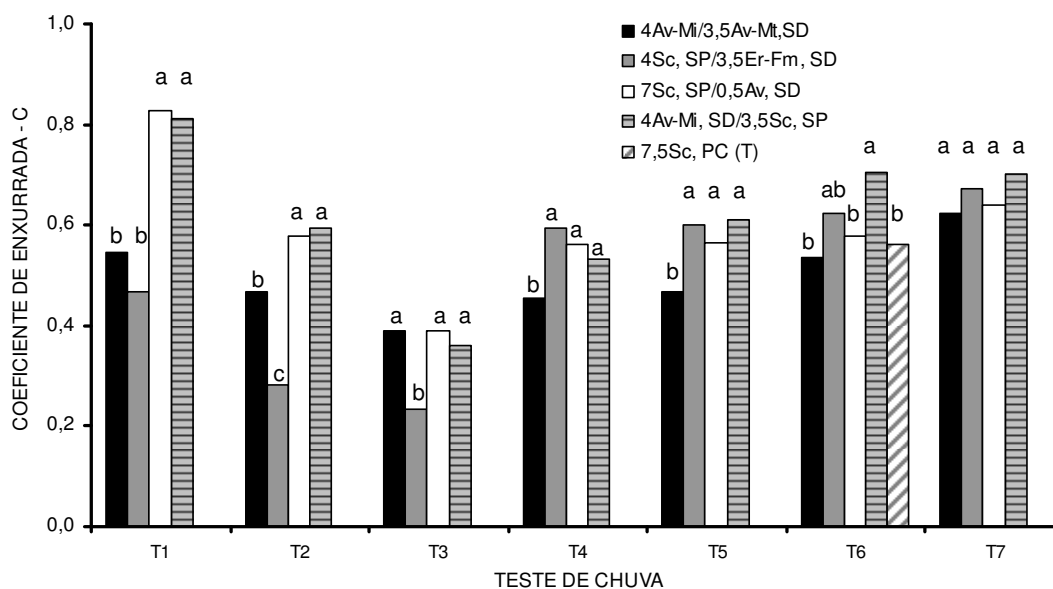


FIGURA 20. Coeficiente de enxurrada - parâmetro C da Fórmula Racional - nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (Obs.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, num mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

influenciaram a taxa constante de enxurrada igualmente influíram os valores do parâmetro C, os quais foram baixos quando a taxa constante de infiltração de água no solo era elevada, fato este acontecido no terceiro teste de chuva (T3), em todos os tratamentos, e altos quando a taxa constante de infiltração de água no solo era baixa. Os valores obtidos do coeficiente de enxurrada (C) estão na faixa reportada por Schwab et al. (1981) e Bertol et al. (2006) para situações agrícolas, como as utilizadas neste estudo.

4.3.4. Velocidade da enxurrada na condição de equilíbrio

A velocidade da enxurrada neste estudo foi avaliada já ao final da aplicação das chuvas simuladas, próximo aos 90 minutos de decorrência das mesmas, quando ela já havia atingido a sua condição de equilíbrio (taxa de descarga constante). Os valores desta variável obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada, estão apresentados na figura 21. Ressalta-se que a velocidade da enxurrada não foi medida no primeiro teste de chuva (T1) porque o solo no mesmo se encontrava com elevada quantidade de resíduo cultural, impossibilitando a visualização do deslocamento do corante utilizado na sua medição (azul de metileno a 2%). Analisando os dados da figura 21, observa-se que houve diferenças significativas nos tratamentos estudados em todos os testes de chuva realizados. O tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), baseado no único teste de chuva do qual ele participou (sexto – T6), foi o que apresentou maior valor de velocidade da enxurrada no estudo, explicado pelo fato do mesmo ter propiciado a formação de sulcos na superfície do solo da sua parcela experimental, em função dele ter sido intensamente mobilizado (preparo convencional) e, por esta razão, se encontrar com sua estrutura fragilizada. No segundo teste de chuva (T2), quando o solo ainda não havia sido mobilizado (superfície consolidada) e se encontrava praticamente descoberto (Tabela 10), constatou-se que, por não ter havido formação de sulcos na superfície do solo das parcelas experimentais dos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD, o fluxo superficial de água nos mesmos ocorreu de forma predominantemente laminar, explicando os baixos valores de velocidade da enxurrada nos referidos tratamentos em tal teste de chuva. Ao mesmo tempo, neste mesmo teste de chuva (T2), os tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD

apresentaram valores de velocidade da enxurrada muito baixos e semelhantes entre si, explicados pela maior taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada nestes dois tratamentos, neste teste de chuva (Figura 20). Apesar da consolidação da superfície do solo por ocasião da realização do segundo teste de chuva (T2), o tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP permitiu a formação de sulcos na sua parcela experimental e, decorrente disso, a enxurrada no mesmo escoou com velocidade semelhante às observadas nos testes de chuva T4 a T7, quando o solo se apresentava, já, mobilizado pela operação da gradagem leve efetuada nos mesmos. Por ocasião da realização do terceiro teste de chuva (T3), o aumento da rugosidade superficial do solo pelo preparo, por meio de uma gradagem leve, determinou os menores valores de velocidade da enxurrada observados no estudo, independentemente do

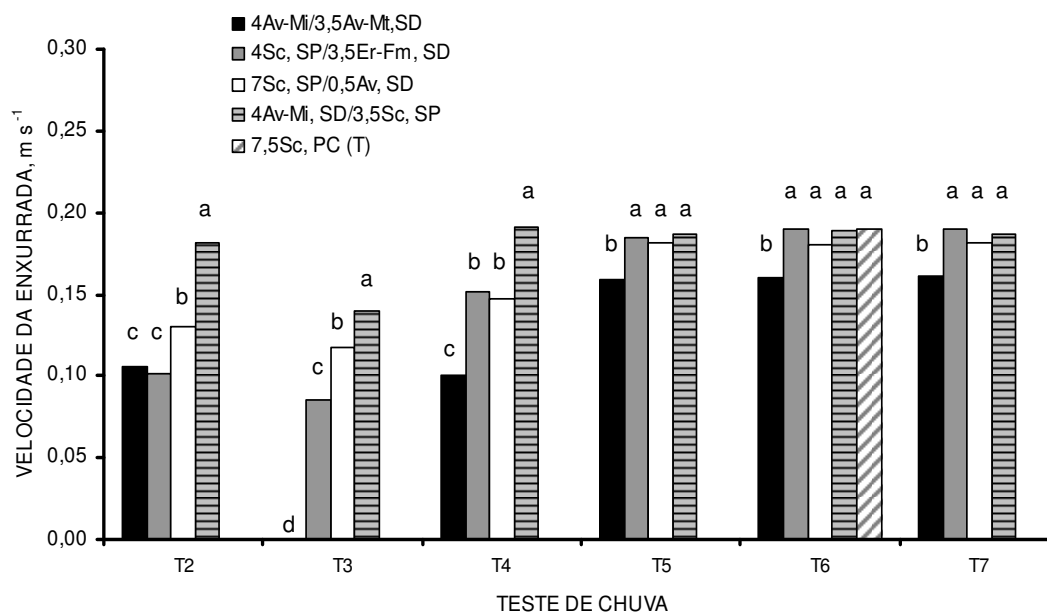


FIGURA 21. Velocidade da enxurrada na sua condição de equilíbrio nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias; 3) não foi medida a velocidade da enxurrada em T1 devido à elevada quantidade de resíduos culturais no mesmo). Médias seguidas da mesma letra, no mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

tratamento estudado. No quarto teste de chuva (T4), o índice de rugosidade superficial do solo após o seu re-preparo se apresentava mais baixo do que no teste anterior (T3) nos quatro tratamentos avaliados (Figura 14), fato que, somado à formação de sulcos mais intensa em suas superfícies, comparada à formação de sulcos verificada no teste T3, determinou valores de velocidade da enxurrada superiores aos do terceiro teste. Do quinto (T5) ao sétimo (T7) teste de chuva, apenas o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD apresentou valores de velocidade da enxurrada significativamente inferiores aos demais tratamentos. A velocidade da enxurrada é o componente de energia de movimento (cinética) que mais determina a capacidade do escoamento superficial de desagregar e de transportar partículas de solo nos terrenos inclinados, tendo influência direta na perda de solo por erosão hídrica, como será visto a diante.

4.3.5. Perda total de água na forma de enxurrada

Os resultados de perda total de água da chuva na forma de enxurrada obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados na figura 22. Verifica-se que houve diferenças significativas nos valores desta variável entre os tratamentos estudados em todos os testes de erosão com chuva simulada realizados, exceto o último (T7). Nos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), apesar das diferenças significativas entre tratamentos, os resultados de perda total de água foram os mais altos do estudo nos quatro tratamentos avaliados, o que pode ser explicado pela ausência de preparo do solo nos mesmos, já por sete anos. Este fato ocasionou elevada consolidação e baixa rugosidade superficiais do solo e, decorrente disso, baixa infiltração de água no mesmo em tais testes (Figura 19), concordando com os resultados observados por Cogo et al. (1983), Eltz et al. (1984), Streck & Cogo (2003), Volk et al. (2004) e Castro et al. (2006) em condições semelhantes nos seus estudos. No terceiro teste de chuva (T3), o preparo inicial do solo por meio de uma gradagem leve elevou muito a sua rugosidade superficial nos quatro tratamentos avaliados (Figura 14), resultando em elevados tempos de início e equilíbrio da enxurrada (Figuras 17 e 18) e em elevadas taxas constantes de infiltração de água no solo (Figura 19), determinando os mais baixos valores de perda de água observados no estudo,

comparados aos valores dos demais testes de chuva (T4 a T7), do mesmo modo como foi observado por Cogo et al. (1983), Levien et al. (2000), Streck & Cogo (2003), Volk et al. (2004) e Castro et al. (2006) em condições semelhantes nos seus estudos. Nos testes de chuva subsequentes (T4 a T7), devido o efeito combinado da diminuição do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP – Figura 9) e do índice de rugosidade superficial do solo (IR – Figura 14), resultante dos re-preparos do solo, a enxurrada iniciou e alcançou taxas constantes de descarga cada vez mais cedo (Figura 20) e apresentou taxas constantes de infiltração de água no solo cada vez mais baixas (Figura 19), o que resultou em valores crescentes de perda total de água em todos os tratamentos estudados. No último teste de chuva (T7), as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo estavam, já, bastante degradadas e eram semelhantes entre si, fazendo com que os valores de perda total de água da chuva na forma de enxurrada entre os tratamentos

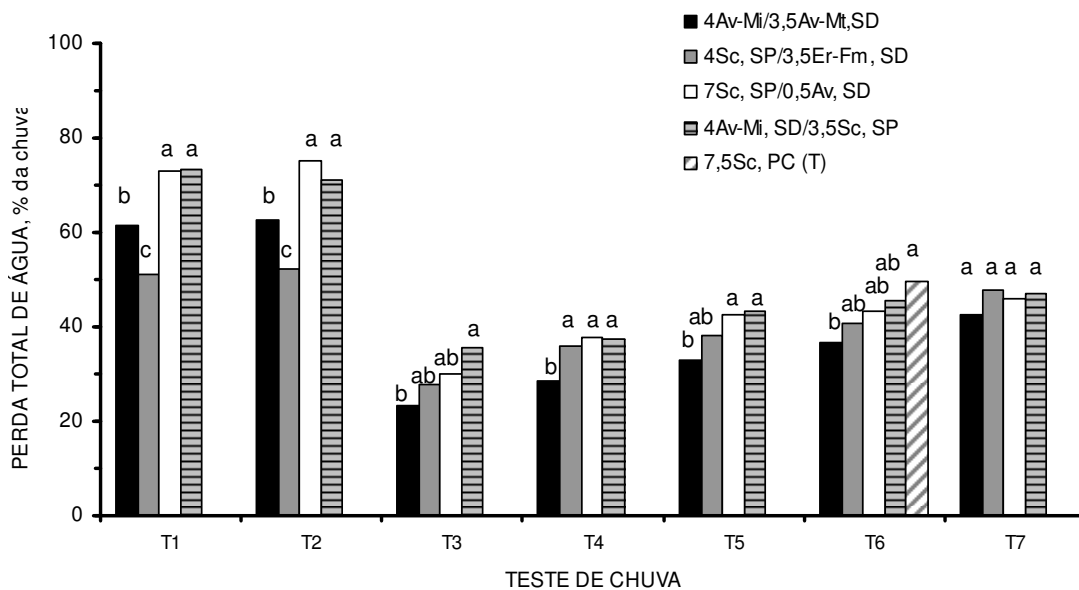


FIGURA 22. Perda total de água por erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, (no mesmo teste de chuva) não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

estudados ficassem estatisticamente iguais. Ao mesmo tempo, é importante salientar que as perdas de água observadas neste último teste de chuva (T7) nos tratamentos avaliados foram muito semelhantes às observadas no sexto teste (T6) para o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), o qual se apresentava com o seu solo bastante degradado, tendo em vista o mesmo nunca ter sido cultivado e ter sido continuamente preparado no método convencional. Os crescentes valores de perda total de água por erosão hídrica observados do terceiro (T3) ao sétimo (T7) teste de chuva indicam que o preparo periódico do solo nos mesmos, embora sendo executado por meio de uma simples gradagem leve em cada um deles, induziu uma espiral crescente de degradação física no mesmo, como salientado por Ditzler (2002).

4.3.6. Taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada

Os resultados de taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada (descarga constante) obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados na figura 23. Observa-se que houve diferenças significativas nos mesmos entre os tratamentos estudados em todos os testes de erosão com chuva simulada realizados, com as taxas de perda de solo crescendo com o tempo de decorrência destes últimos. De modo geral, as taxas de perda de solo sob enxurrada constante foram as mais baixas em todos os tratamentos nos três primeiros testes de chuva (T1, T2 e T3). No primeiro teste (T1), isto é explicado, principalmente, pela presença de elevada cobertura superficial do solo por resíduos culturais em todos os tratamentos avaliados (Tabela 8), mas, também, pela elevada consolidação da superfície do solo, pelo fato dele não ter ainda sido preparado em tal teste, enquanto no segundo teste de chuva (T2), o ocorrido é explicado essencialmente por esta última razão. A cobertura superficial do solo no teste T1 dissipou a energia cinética do processo de queda das gotas da chuva e a consolidação da sua superfície conferiu resistência ao mesmo, agindo, ambas, contra a desagregação de suas partículas, tanto pela ação de impacto das gotas da chuva, quanto pela ação cisalhante da enxurrada, fazendo com que as taxas de perda de solo fossem reduzidas. Assim, mesmo com baixos valores do índice de rugosidade superficial do solo (Figura 14) e da taxa constante de infiltração de água (Figura 19), além dos elevados valores de

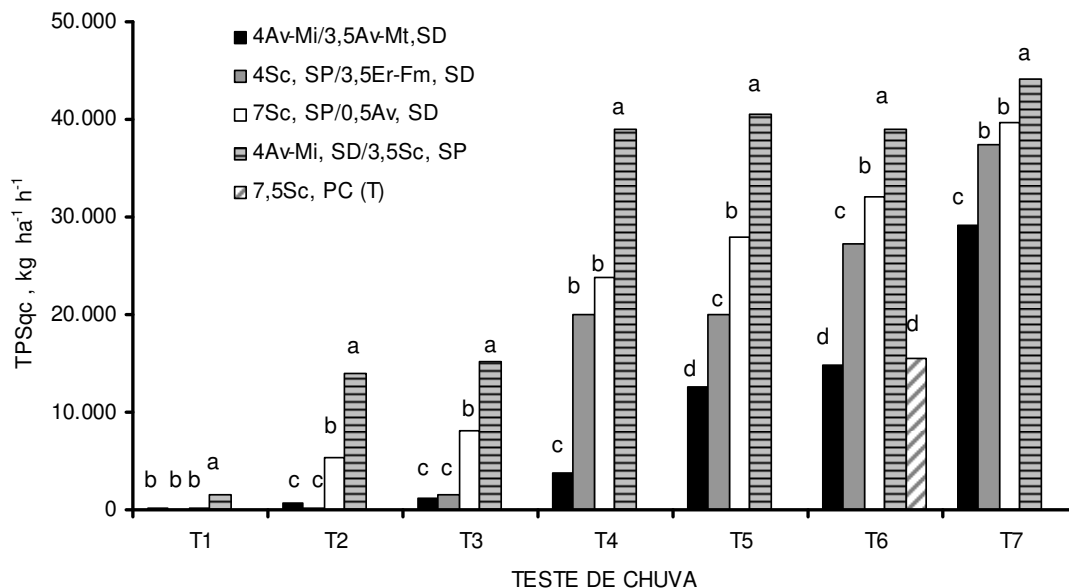


FIGURA 23. Taxa de perda de solo sob a condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, no mesmo teste de chuva, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

perda total de água na forma de enxurrada (Figura 22), as taxas de perda de solo sob descarga constante da enxurrada foram as mais baixas do estudo nestes dois primeiros testes de chuva (T1 e T2), principalmente nos tratamentos que tiveram o seu solo cultivado até o final do período experimental (4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD). Ainda em relação ao segundo teste de chuva (T2), o tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP se apresentava sem raízes, totalmente descoberto e com elevada velocidade da enxurrada por ocasião da sua realização, resultando no maior valor de taxa de perda de solo sob enxurrada constante em tal teste. Do terceiro (T3) ao sétimo (T7) teste de chuva, independentemente dos tratamentos avaliados, a espiral crescente de degradação física do solo induzida pelos repetidos preparos do mesmo por meio da operação de uma gradagem leve ocasionou valores decrescentes do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP - Figura 10) e da taxa constante de infiltração de água (Figura 19) e valores crescentes de velocidade da enxurrada

(Figura 21), resultando nas crescentes taxas de perda de solo observadas no estudo (Figura 23).

4.3.7. Índice da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada (D_{50}) na sua condição de equilíbrio

O índice D_{50} expressa o tamanho das partículas do solo em que 50% das mesmas (no caso em base de massa) é superior e 50% é inferior a tal tamanho, dando boa idéia da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos que são transportados na enxurrada e da capacidade desta última de transportar solo, desta forma retratando as condições físicas de superfície do solo que, numa dada situação, governam o processo erosivo causado pela água da chuva. Os valores deste índice, obtidos já ao final das chuvas simuladas, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão apresentados na tabela 12. Verifica-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos estudados somente no terceiro (T3) e no quarto (T4) testes de chuva. O tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), no único teste de chuva em ele participou (sexto - T6), por ter tido o solo na sua parcela experimental preparado no método convencional (uma aração e duas gradagens), o que promoveu intensa desestruturação do mesmo, e por estar ele totalmente descoberto, proporcionou baixa resistência à desagregação de suas partículas pelo impacto das gotas chuva e pela ação cisalhante da enxurrada, fatos que, associado à elevada velocidade desta última no mesmo, resultou no maior valor do índice D_{50} observado no estudo, o qual não diferiu significativamente, contudo, dos demais tratamentos avaliados em tal teste de chuva (T6). No primeiro teste de chuva (T1), em complementação ao que foi discutido sobre a taxa de perda de solo sob enxurrada constante (Item 4.3.6), a presença de elevada cobertura do solo por resíduo cultural nos tratamentos avaliados determinou valores do índice D_{50} muito baixos, indicando que foram transportados na enxurrada apenas sedimentos do tamanho dos constituintes da fração silte+argila (< 0,05 mm, pela classificação de Atterberg). No segundo teste de chuva (T2), a presença de cobertura superficial do solo, embora baixa (pouco mais de 10% - Tabela 10), pela razão já exposta, e a reduzida velocidade da enxurrada nos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, resultaram no transporte de sedimentos de menor

tamanho nos mesmos do que nos tratamentos 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, mesmo com valores semelhantes de velocidade da enxurrada entre eles, pelo fato destes últimos apresentarem, possivelmente, baixa resistência da superfície do solo nas suas parcelas experimentais contra a desagregação das suas partículas pela ação da chuva e da enxurrada dela originada. Por ocasião da realização do terceiro teste de chuva (T3), as condições físicas externas ou de superfície do solo promovidas pelo seu primeiro preparo foram eficientes na redução do tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada apenas no tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, o qual ainda apresentava elevados valores de massa de raízes (Figura 4), índice de estabilidade dos agregados em água (DMP - Figura 9) e índice de rugosidade superficial do solo (IR - Figura 14), os quais, possivelmente, conferiram maior resistência ao mesmo contra a desagregação de suas partículas pela ação da chuva e da enxurrada dela originada. Nos demais testes de chuva (T4 a T7), os valores do índice D_{50} foram relativamente elevados e semelhantes entre si em todos os tratamentos avaliados.

TABELA 12. Índice da distribuição de tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada (D_{50}) na sua condição de equilíbrio nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados

Tratamento	Índice D_{50}						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	----- mm -----						
4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD	<0,038 a	0,048 b	0,296 b	0,402 a	0,359 a	0,526 a	0,431 a
4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD	<0,038 a	<0,038 b	0,425 a	0,466 a	0,424 a	0,453 a	0,455 a
7Sc,SP/0,5Av,SD	<0,038 a	0,465 a	0,597 a	0,389 a	0,438 a	0,518 a	0,552 a
4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP	<0,038 a	0,472 a	0,548 a	0,475 a	0,520 a	0,471 a	0,480 a
7,5Sc,PC (T)	- ¹	-	-	-	-	0,650 a	-

¹A variável não se fazia presente (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2): intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.3.8. Perda total de solo

Os resultados de perda total de solo (no período de tempo de 1,5 horas de duração de cada uma das chuvas simuladas aplicadas) obtidos no estudo, em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, estão

apresentados na figura 24. Observa-se que, com exceção do primeiro teste (T1), no qual a cobertura do solo por resíduo cultural era elevada (Tabela 10), os valores de perda total de solo variaram significativamente entre os tratamentos estudados em todos os testes de erosão com chuva simulada realizados e, de modo geral, eles aumentaram à medida em que os mesmos iam sendo realizados. Excetuando o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T), o qual participou de, apenas, um teste de chuva simulada (sexto - T6), a sucessão de testes de chuva simulada aplicada, associada às repetidas operações de preparo do solo por meio de uma gradagem leve do terceiro teste (T3) em diante, provocou uma espiral crescente de degradação física do solo em todos os tratamentos avaliados, conseqüentemente diminuindo a qualidade do mesmo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial. É importante ressaltar o fato de que a cobertura do solo por resíduo cultural foi altamente eficaz em reduzir a perda total de solo por erosão hídrica no primeiro teste de chuva (T1), não tendo tido, entretanto, a mesma eficácia na redução da perda total de água (Figura 19). De fato, como já foi comentando, as perdas totais de água foram as mais elevadas do estudo nos dois primeiros testes de chuva (T1 e T2 – Figura 19), o que é explicado pelo fato do solo não ter sido preparado para a sua realização, exibindo uma superfície consolidada e, assim, restritiva à infiltração de água no mesmo. Estes resultados concordam com os observados por Cogo et al. (1983), Volk et al. (2004) e Castro et al. (2006) em condições semelhantes nos seus estudos. No segundo teste de chuva (T2), a cobertura por resíduos culturais (mesmo com valores baixos – Tabela 10), a consolidação superficial e a melhor condição estrutural do solo promovida pela melhor qualidade de cultivo nos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, foram determinantes das perdas totais de solo muito baixas observadas nos mesmos. O tratamento 7Sc,SP/0,5Av,SD, mesmo com cobertura superficial do solo semelhante às dos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, apresentou perda total de solo 14 vezes mais elevada do que eles no segundo teste de chuva (T2), o que pode ser explicado pela sua frágil condição estrutural superficial, resultante de, apenas, um cultivo de aveia preta no mesmo. Já o tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, mesmo com a superfície do solo na sua parcela experimental consolidada, como nos demais tratamentos, se apresentava totalmente descoberto, resultando em perda de

solo 35 vezes mais elevada do que a dos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD. No terceiro teste de chuva (T3), as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo foram bastante modificadas pelo seu preparo por meio da operação de uma gradagem leve, a qual expôs, pela primeira vez, a estrutura do solo à ação erosiva direta da chuva e da enxurrada dela originada. Em função disso, as perdas totais de solo nos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD e 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD foram aumentadas em, respectivamente, 100% e 150%, em relação aos valores observados no segundo teste de chuva (T2), quando o solo não havia ainda sido preparado e, portanto, se encontrava com a sua superfície consolidada. Contudo, a melhor condição estrutural do solo nos dois últimos tratamentos mencionados, associada ao elevado aumento verificado na sua rugosidade superficial, ocasionado pelo preparo do mesmo por meio de uma gradagem leve, resultou em perdas totais de solo expressivamente menor do que nos tratamentos 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP. O preparo do solo nestes dois últimos tratamentos, apesar de ter acelerado a degradação física de suas estruturas, aumentou muito a rugosidade superficial em ambos (Figura 12) e, por esta razão, aumentou a retenção de água e de sedimentos nas micro-depressões criadas em suas superfícies, resultando em diminuição das perdas totais de solo nos mesmos de, respectivamente, 56% e 28%, em relação aos valores observados no segundo teste de chuva (T2). No quarto teste de chuva (T4), a rugosidade superficial do solo induzida pelo seu preparo manteve a sua eficácia de redução da perda de solo apenas no tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, provavelmente pela sua maior massa de raízes (Figura 4) e maior estabilidade dos seus agregados em água (DMP – Figura 9), ainda presentes nessa ocasião. A redução da eficácia da rugosidade superficial do solo de reter água e sedimentos no quarto teste de chuva nos tratamentos 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD, 7Sc,SP/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP levaram a perdas de solo nos mesmos de, respectivamente, 15, 5 e 2 vezes mais elevadas do que as verificadas no terceiro teste (T3). No quinto (T5) e sexto (T6) testes de chuva, o tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD apresentou valor de perda total de solo crescente do primeiro para o segundo, contudo, ambos os valores foram expressivamente menor do que os observados nos demais tratamentos, enquanto os tratamentos 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD

apresentaram valores da variável em questão semelhantes entre si. Já no tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP, ainda nos testes de chuva T5 e T6, o valor de perda total de solo também foi crescente do primeiro para o segundo, porém ambos os valores foram bastante superiores aos dos demais tratamentos, inclusive o tratamento testemunha (7,5Sc,PC ou T). No sétimo e último teste de chuva (T7), apenas o tratamento 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP apresentou perda total de solo significativamente diferente e maior do que a observada nos demais tratamentos.

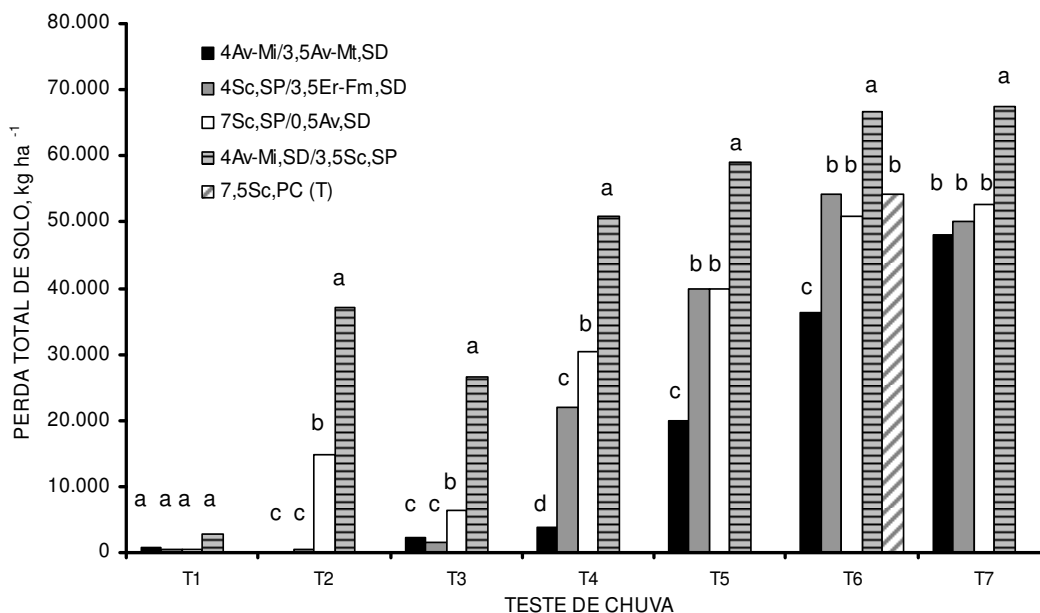


FIGURA 24. Perda total de solo por erosão hídrica nos testes de erosão com chuva simulada realizados, nos tratamentos estudados (OBS.: 1) T1=solo não mobilizado e coberto, T2=solo não mobilizado e descoberto, T3 a T7=solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto; 2) intervalo de tempo entre T1 e T2=11 dias, entre T2 e T3=26 dias, entre T3 e T4=16 dias, entre T4 e T5=55 dias, entre T5 e T6=40 dias e entre T6 e T7=23 dias). Médias seguidas da mesma letra (no mesmo teste de chuva) não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

4.4. Inter-relações das variáveis de manejo do solo medidas no estudo com as variáveis observadas de erosão hídrica

Neste item são apresentados os resultados das inter-relações das variáveis de manejo do solo medidas no estudo (características físicas de superfície e subsuperfície do solo induzidas pelos tratamentos estudados), tais

como massa de raízes mortas das culturas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo, com as variáveis de erosão hídrica observadas nos diversos testes de erosão com chuva simulada realizados, tais como taxa constante de infiltração de água no solo, perda total de água na forma de enxurrada, taxa constante de perda de solo e perda total de solo, em dois momentos distintos de avaliação das mesmas. No primeiro momento (item 4.4.1), em obediência à ordem pré-estabelecida de apresentação e discussão dos resultados deste trabalho, são apresentados os resultados das inter-relações com vistas à avaliação do efeito da degradação induzida da estrutura do solo na erosão hídrica pluvial e no escoamento superficial a ela associado. Tais inter-relações foram efetuadas com os dados oriundos exclusivamente dos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada (T3 a T7), os quais foram realizados, cada um deles, com o solo estando com sua camada superficial mobilizada por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm, e sem nenhuma cobertura superficial por resíduo cultural. Esta primeira análise das inter-relações de dados tem o fim precípuo de avaliar a alteração nos valores das variáveis de erosão hídrica observadas no estudo (variáveis dependentes) em função da alteração nos valores das variáveis de manejo do solo induzidas pelos tratamentos estudados (variáveis independentes), alterações essas causadas pela degradação imposta à estrutura do solo a partir do momento em que ele deixou de ser cultivado nas parcelas experimentais e passou a sofrer a ação dos preparos e das chuvas durante a realização dos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada empregados no estudo (T3 a T7), período esse em que o solo permaneceu com sua superfície continuamente mobilizada e desprovida de cobertura por resíduo cultural. No segundo momento (item 4.4.2), são apresentados os resultados das inter-relações com vistas à avaliação de indicadores físicos de qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado e, ao mesmo tempo, investigar valores dos coeficientes das variáveis do subfator PLU (uso anterior da terra) do modelo RUSLE de predição da erosão hídrica. Tais inter-relações, diferentemente das primeiras, foram efetuadas tanto com os dados oriundos dos três primeiros testes de erosão com chuva simulada (T1, T2 e T3), os quais foram realizados, cada um deles, com o solo estando com sua camada superficial distinguida por

três condições físicas distintas: a) solo não mobilizado, superfície consolidada, com elevada cobertura por resíduo cultural, associada ao teste de chuva T1; b) solo não mobilizado, superfície consolidada, com praticamente nenhuma cobertura por resíduo cultural, associada ao teste de chuva T2, e c) solo mobilizado pela primeira vez, superfície solta, sem nenhuma cobertura por resíduo cultural, associada ao teste de chuva T3, quanto com os dados oriundos dos últimos cinco testes de chuva (T3 a T7), os quais foram realizados na condição de solo periódica e repetidamente mobilizado e descoberto, já referida. Esta segunda análise possibilitará verificar se as características físicas de superfície e subsuperfície do solo (variáveis de manejo) induzidas pelos tratamentos estudados irão ou não variar com a condição física da camada superficial do solo reinante por ocasião da ocorrência do fenômeno da erosão hídrica pluvial no que se refere a sua influência no mesmo e, assim, poder identificar indicadores físicos de qualidade do solo para fins de minimização de tal fenômeno e do escoamento superficial a ele associado.

4.4.1. Inter-relações com vistas à avaliação do efeito da degradação induzida da estrutura do solo nas perdas de água e solo por erosão hídrica

4.4.1.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x redução da massa de raízes, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 25 a 27 são apresentadas as relações da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada com as reduções relativas percentuais respectivamente, da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, do índice de estabilidade dos agregados do solo (DMP) em água na sua camada de 0 a 15 cm e do índice de rugosidade (IR) superficial do solo medido logo após os testes de chuva nos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada realizados (T3 a T7), estando o solo, em cada teste, com sua superfície mobilizada (repreparada) por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm e totalmente descoberta, nos quatro tratamentos que tiveram o solo cultivado no período experimental. Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que a taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada foi

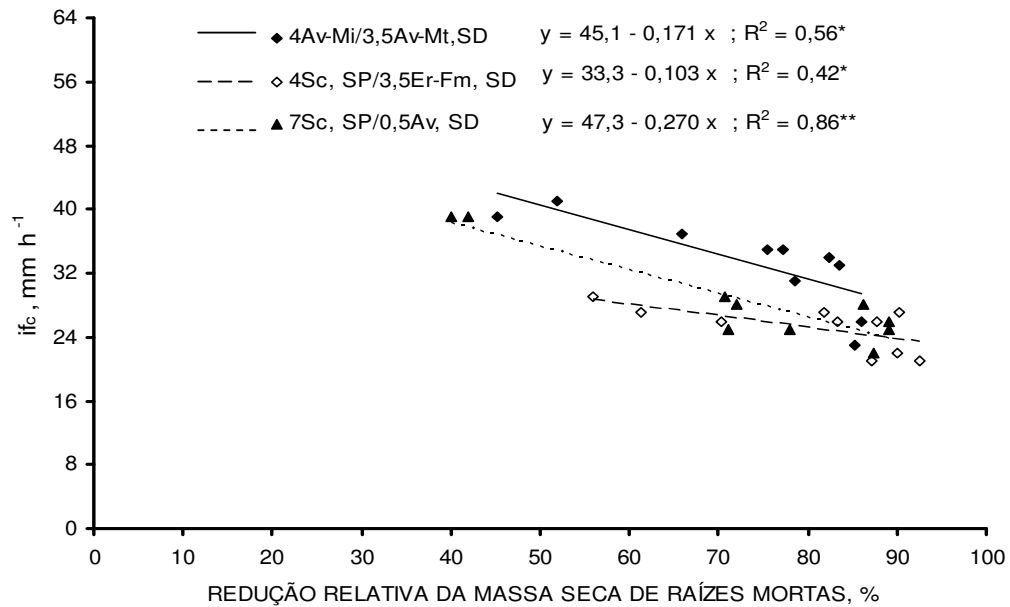


FIGURA 25. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

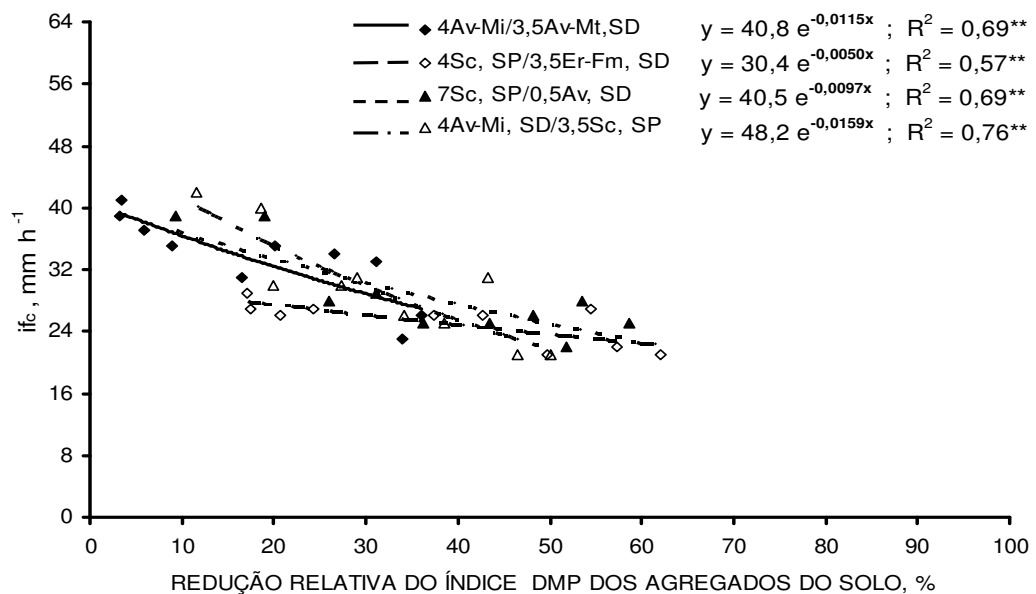


FIGURA 26. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

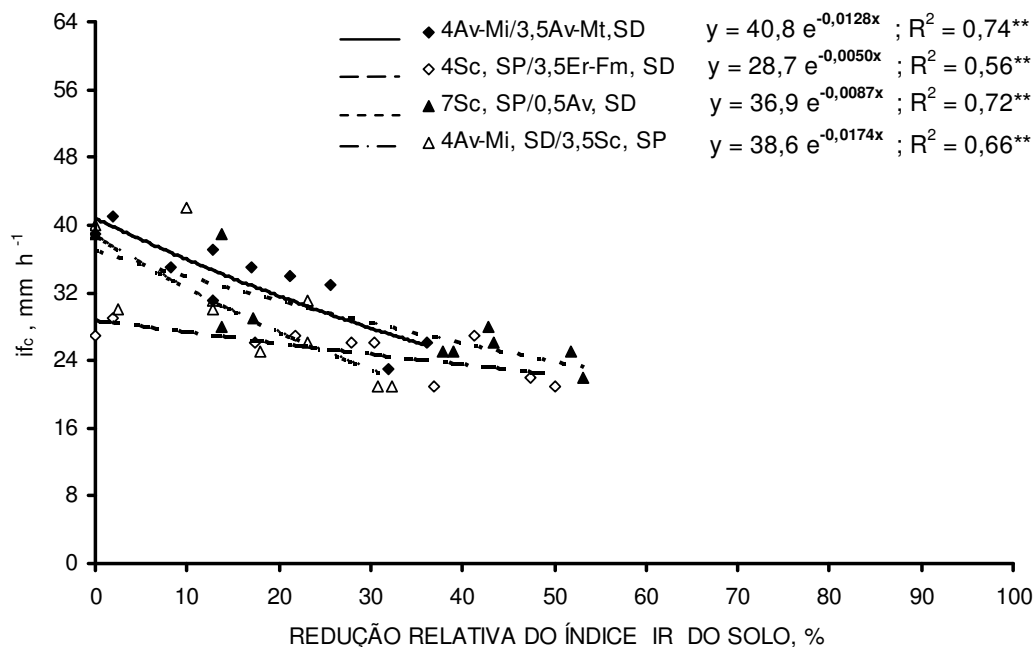


FIGURA 27. Relação da taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com a redução relativa percentual do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva simulada, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

significativamente correlacionada (nível de probabilidade de 1%, na quase totalidade dos casos) com as três variáveis de manejo consideradas, em todos tratamentos incluídos na análise. Assim, observa-se que, à medida que a estrutura do solo foi sendo degradada (analisada por meio dos valores crescentes de redução relativa percentual de uma dada variável de manejo na abcissa do gráfico), em função da cessação do cultivo do solo e das ações combinadas do tempo, dos reparos do solo e das sucessivas chuvas simuladas aplicadas, os valores da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada nos tratamentos avaliados foram diminuindo, de forma linear (inclinação das curvas de suave a moderada) na sua relação com a massa seca de raízes mortas (Figura 25) e de forma exponencial (inclinação das curvas de suave a moderada) na sua relação com os índices tanto de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP - Figura 26) quanto de rugosidade superficial do solo (IR - Figura 27). Com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2) oriundos das análises de regressão mostrados em tais figuras, a variação observada nos valores da taxa

de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada foi explicada, pelos modelos, de 42% a 86% pela variação nos valores da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, de 57% a 76% pela variação nos valores do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm e de 56% a 74% pela variação nos valores do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medidos logo após os testes de chuva simulada, dependendo do tratamento avaliado. O grau de ajuste dos modelos variou de significativo ou altamente significativo em todos os casos.

4.4.1.2. Perda total de água x redução da massa de raízes e estabilidade de agregados

Nas figuras 28 e 29 são apresentadas as relações da perda total de água da chuva na forma de enxurrada com as reduções relativas percentuais respectivamente, da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm e do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm nos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada realizados (T3 a T7), estando o solo, em cada um deles, com sua superfície mobilizada (repreparada) por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm, e totalmente descoberta, nos quatro tratamentos que tiveram o solo cultivado no período experimental. Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que a perda total de água por erosão hídrica foi significativamente correlacionada (nível de probabilidade de 5% em aproximadamente 43% dos casos e de 1% no restante deles) com as duas variáveis de manejo consideradas, em todos os tratamentos incluídos na análise. Assim, observa-se que, à medida que a estrutura do solo foi sendo degradada, analisada do mesmo modo e explicada pelas mesmas razões como anteriormente, os valores da perda total de água da chuva na forma de enxurrada nos tratamentos avaliados foram aumentando, de forma exponencial (inclinação das curvas de suave a moderada) tanto na sua relação com a massa seca de raízes mortas (Figura 28) quanto na sua relação com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP - Figura 29), ao inverso do observado com a taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada, o que está coerente. Com base nos valores do

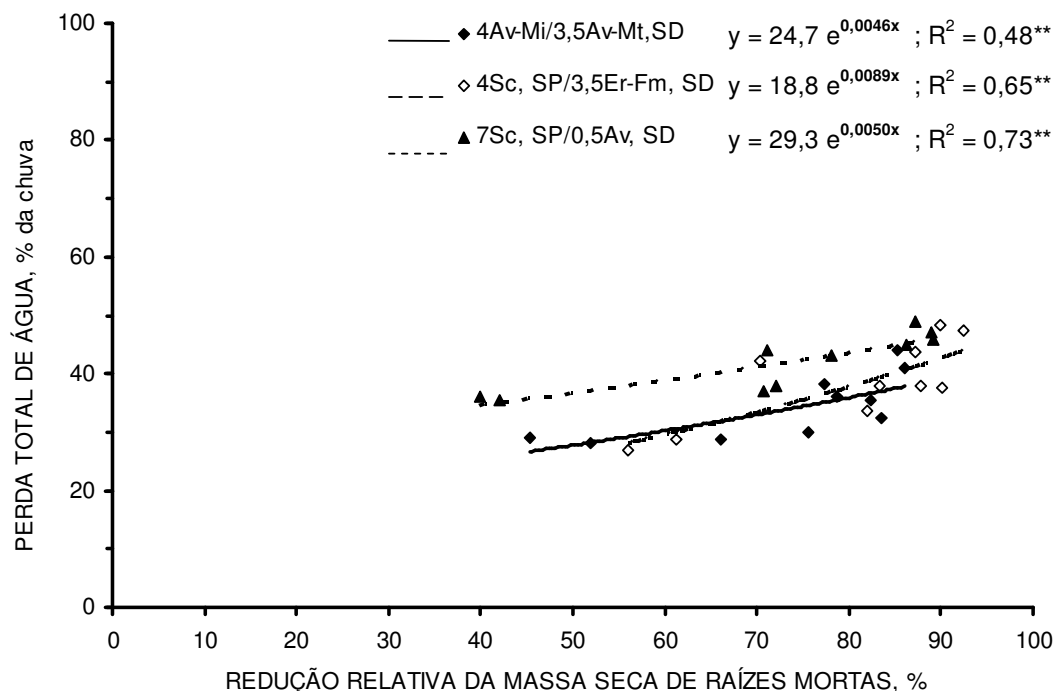


FIGURA 28. Relação da perda total de água da chuva com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

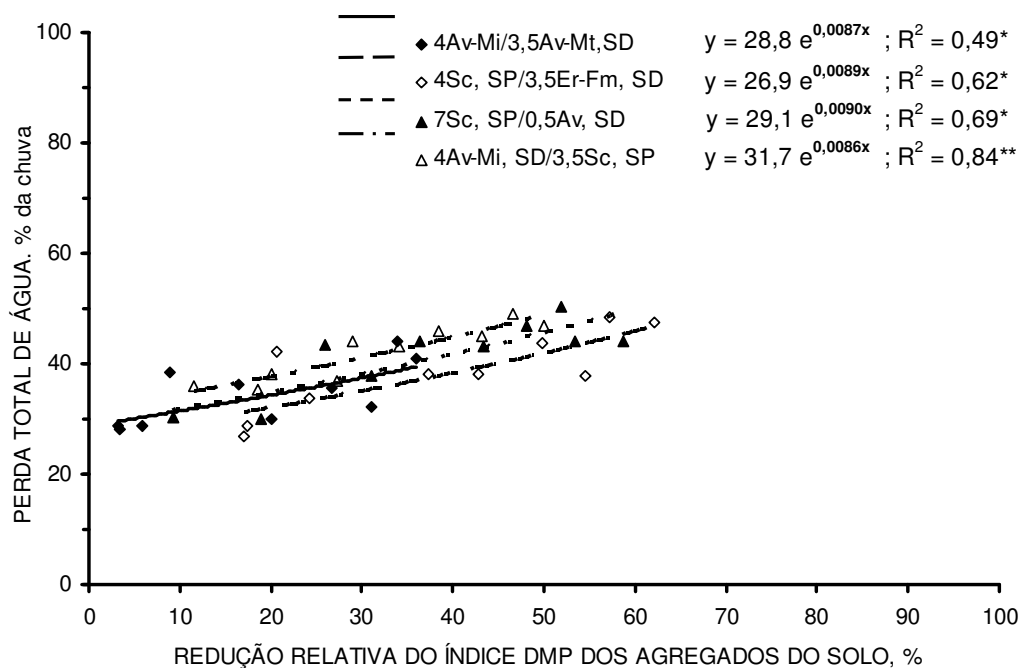


FIGURA 29. Relação da perda total de água da chuva com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

coeficiente de determinação (R^2) oriundos das análises de regressão mostrados em tais figuras, a variação observada nos valores da perda total de água foi explicada, pelos modelos, de 48% a 73% pela variação nos valores da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm e de 49% a 84% pela variação nos valores do índice de estabilidade dos agregados do solo (DMP) em água na sua camada de 0 a 15 cm, dependendo do tratamento avaliado. O grau de ajuste dos modelos variou de significativo a altamente significativo em todos os casos.

4.4.1.3. Taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada x redução da massa de raízes, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 30, 31 e 32 são apresentadas as relações da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada com as reduções relativas, respectivamente, da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm e do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva nos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada realizados (T3 a T7), estando o solo, em cada um deles, com sua superfície mobilizada (repreparada) por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm, e totalmente descoberta, nos quatro tratamentos que tiveram o solo cultivado no período experimental. Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que nas relações da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada com as três variáveis de manejo consideradas, os modelos ajustaram-se significativamente (nível de probabilidade de 1% em aproximadamente 65% dos casos e de 5% no restante deles), em todos os tratamentos incluídos na análise. Assim, observa-se que, à medida que a estrutura do solo foi sendo degradada, analisada do mesmo modo e explicada pelas mesmas razões como anteriormente, os valores da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada nos tratamentos avaliados foram aumentando, de forma exponencial (inclinação das curvas suave até pouco mais da metade do seu percurso e forte no restante dele) na sua relação com as três variáveis de manejo consideradas (Figuras 30 a 32).

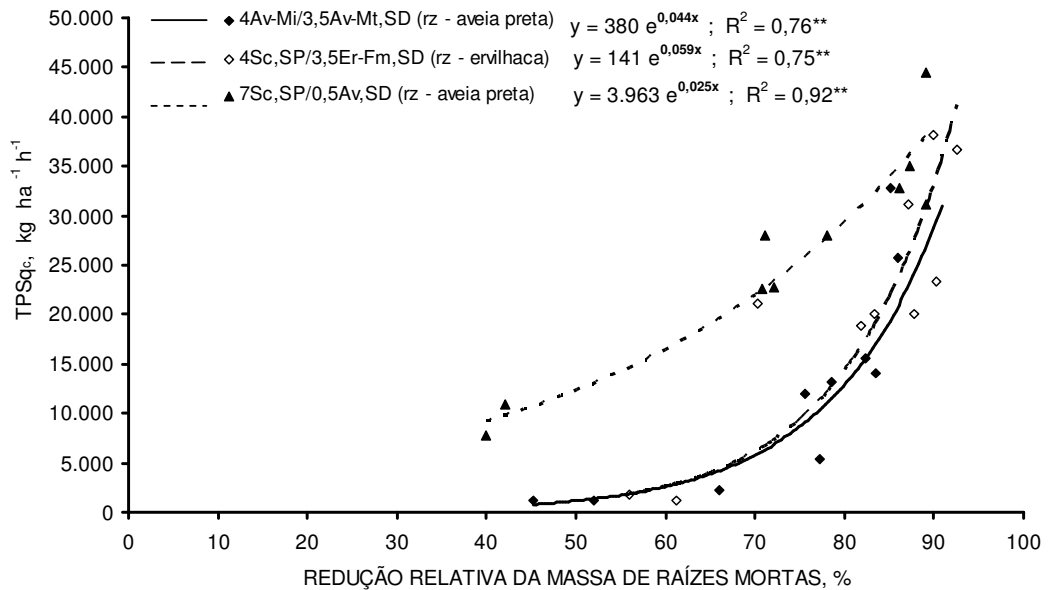


FIGURA 30. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

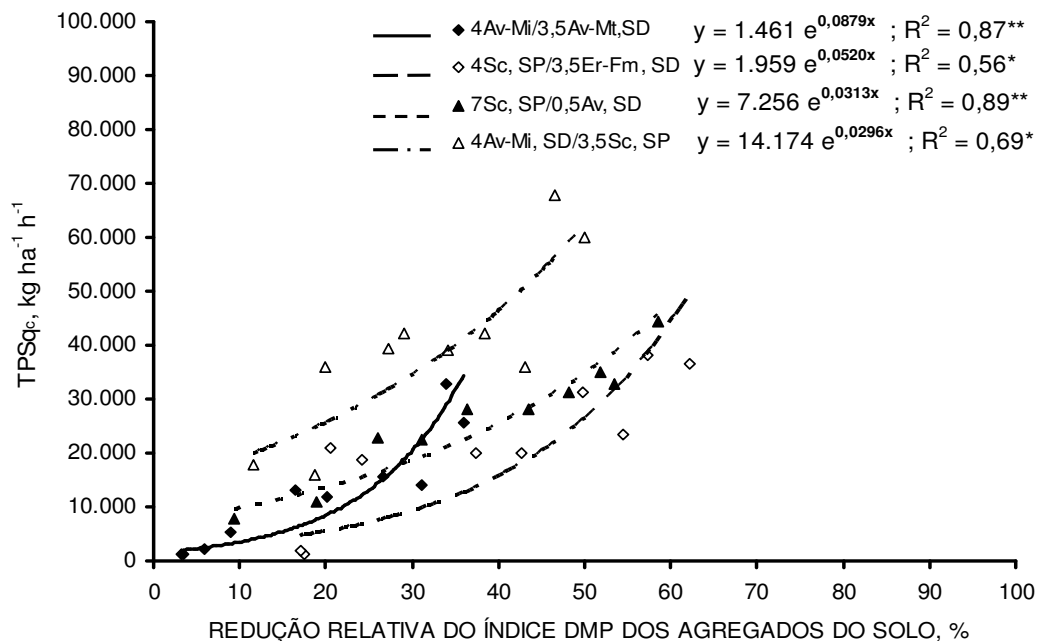


FIGURA 31. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

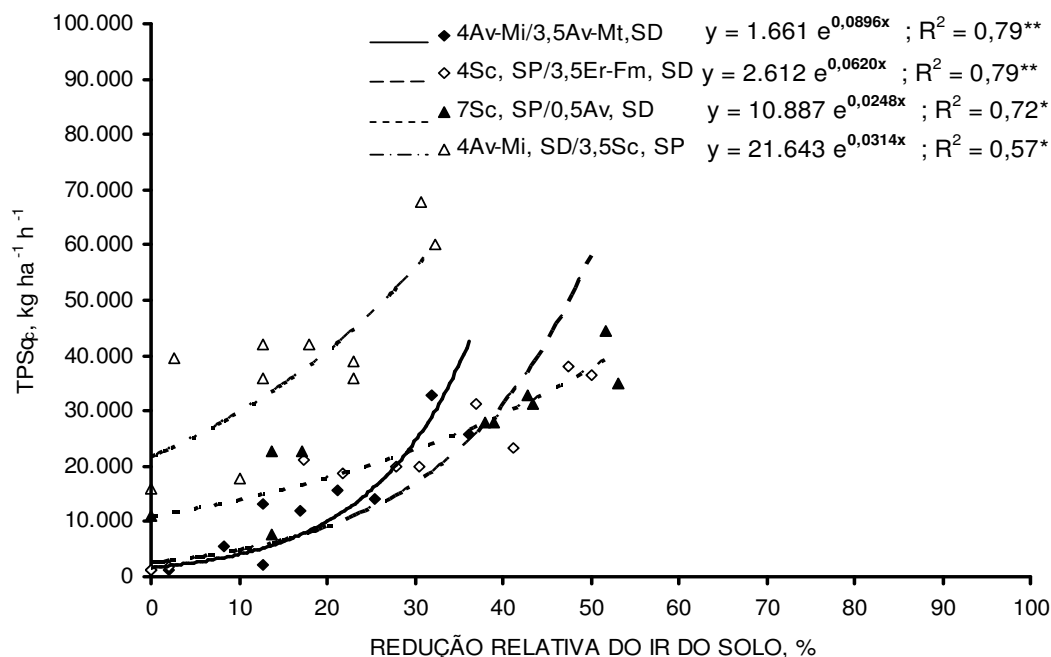


FIGURA 32. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a redução relativa percentual do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva simulada, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

Com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2) oriundos das análises de regressão mostrados em tais figuras, a variação observada nos valores da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada foi explicada, pelos modelos, de 75% a 92% pela variação nos valores da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, de 56% a 87% pela variação nos valores do índice de estabilidade dos agregados do solo (DMP) em água na sua camada de 0 a 15 cm e de 57% a 79% pela variação nos valores do índice de rugosidade (IR) superficial do solo medidos logo após os testes de chuva simulada, dependendo do tratamento avaliado. O grau de ajuste dos modelos variou de significativo a altamente significativo em todos os casos.

4.4.1.4. Perda total de solo x redução da massa de raízes e estabilidade de agregados

Nas figuras 33 e 34 são apresentadas as relações da perda total de solo com as reduções relativas percentuais, respectivamente, da massa seca de

raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm e do índice de estabilidade dos agregados do solo (DMP) em água na sua camada de 0 a 15 cm nos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada realizados (T3 a T7), estando o solo, em cada um deles, com sua superfície mobilizada (repreparada) por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm, e totalmente descoberta, nos quatro tratamentos que tiveram o solo cultivado no período experimental. Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que nas relações da perda total de solo com as duas variáveis de manejo consideradas, os modelos ajustaram-se significativamente (nível de probabilidade de 1% na totalidade dos casos), em todos os tratamentos incluídos na análise. Assim, observa-se que, à medida que a estrutura do solo foi sendo degradada, analisada do mesmo modo e explicada pelas mesmas razões como anteriormente, os valores da perda total de solo nos tratamentos avaliados foram aumentando, de forma exponencial (inclinação das curvas suave até pouco mais metade do seu percurso e forte no restante dele) na sua relação com a redução relativa percentual da massa de raízes mortas (Figura 33) e de forma linear (forte inclinação das curvas) na sua relação com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo (DMP) em água (Figura 34). Com base nos valores do coeficiente de determinação (R^2) oriundos das análises de regressão mostrados em tais figuras, a variação observada nos valores da perda total de solo foi explicada, pelos modelos, de 63% a 96% pela variação nos valores da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm e de 80% a 95% pela variação nos valores do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, dependendo do tratamento avaliado. O grau de ajuste dos modelos foi altamente significativo em todos os casos.

Baseado no que foi exposto nesta primeira abordagem das inter-relações de dados deste trabalho, pode-se dizer que as variáveis de manejo do solo medidas no estudo (características físicas de superfície e subsuperfície do solo induzidas pelos tratamentos estudados e submetidas a um processo de deterioração das mesmas) tiveram relação clara e direta com as variáveis observadas de erosão hídrica na condição de solo recém e repetidamente mobilizado e descoberto. O tipo e a magnitude dos valores das relações, contudo, dependentes do tipo específico de manejo do solo empregado.

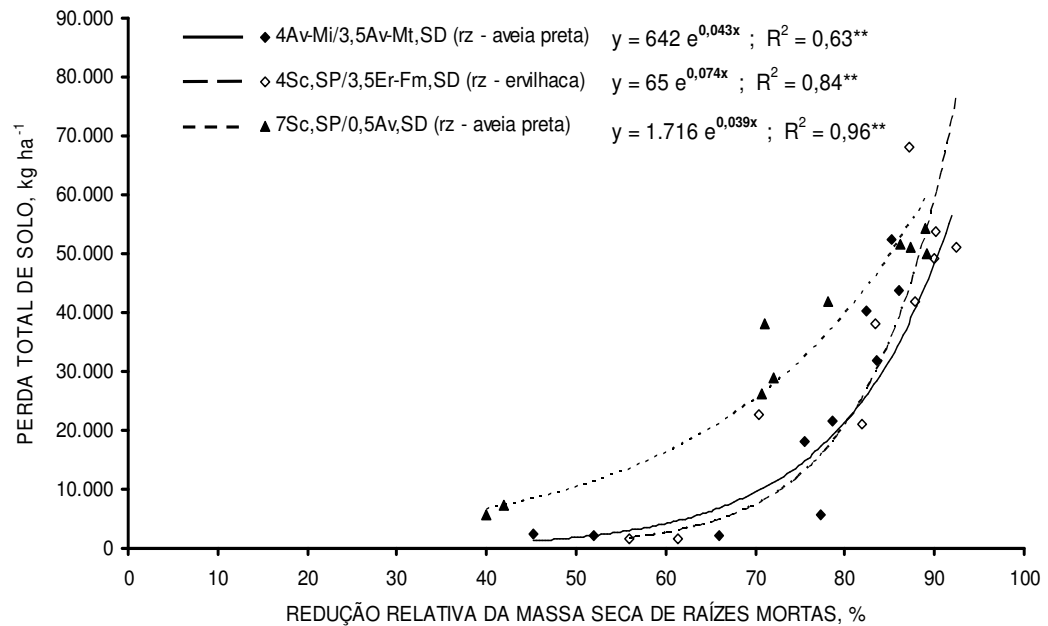


FIGURA 33. Relação da perda total de solo com a redução relativa percentual da massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

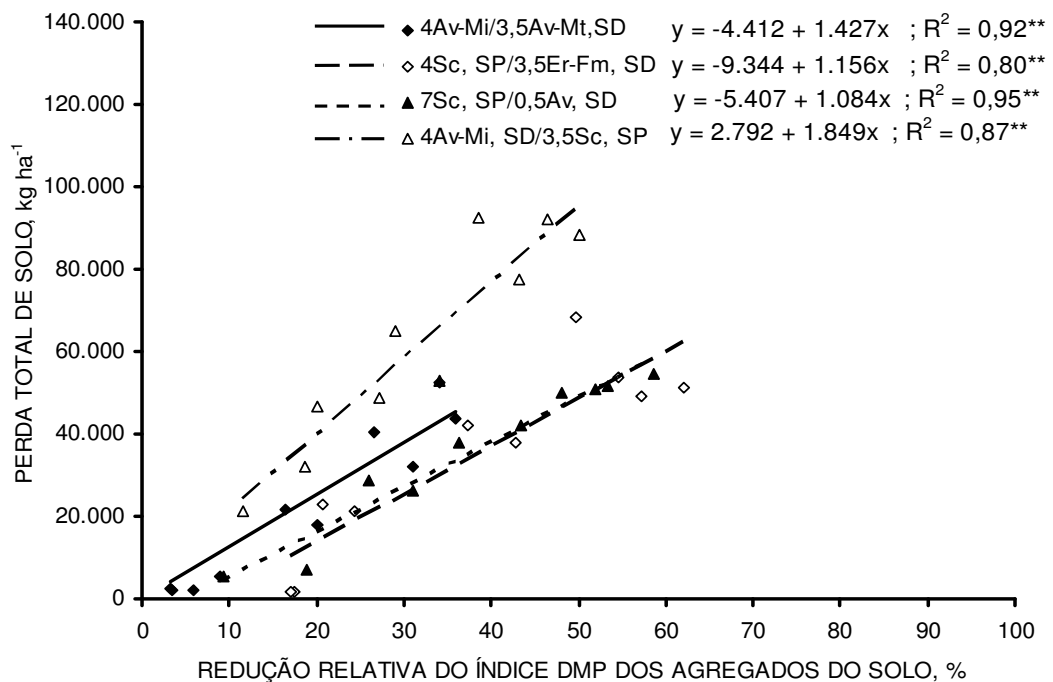


FIGURA 34. Relação da perda total de solo com a redução relativa percentual do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7), nos tratamentos com cultivo do solo estudados.

Independentemente destas variações, verificou-se que, à medida que os valores das características físicas de superfície e subsuperfície do solo avaliadas foram sendo rebaixados pela degradação imposta a sua estrutura, a infiltração de água no solo foi sendo diminuída e as perdas de água e solo sendo foram sendo aumentadas.

4.4.1.5. Efeito residual do uso do solo com culturas anuais na erosão hídrica

O efeito residual do uso do solo com dada cultura ou sistema de culturas na erosão pode ser avaliado por meio de um fator denominado de fator residual - Fr (Wischmeier & Smith, 1978). Neste estudo, tal fator foi calculado para cada tratamento viável de ser incluído na análise por meio da razão das perdas de solo de cada um deles, obtidas em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, a partir do terceiro teste (T3 - quando o solo foi pela primeira vez preparado por meio da operação de uma gradagem leve na profundidade média de 15 cm), com as correspondentes perdas de solo obtidas no último teste de chuva (T7), as quais foram as mais elevadas do estudo e próximas à verificada no tratamento testemunha (parcela padrão ou unitária) no sexto teste de chuva (T6), indicando que o efeito residual do uso do solo na erosão com as culturas anuais utilizadas estava, já, praticamente terminando (valor da razão próximo ou igual a 1,0). Os resultados deste fator obtidos no presente trabalho, da forma como a que foi há pouco descrita, estão apresentados na figura 35. Analisando os dados desta figura, observa-se que a correlação das variáveis usadas na regressão foi altamente significativa em todos os tratamentos considerados, com comportamento distinto, entretanto, em um deles, mas todos apresentando valores crescentes do fator residual (Fr) com o tempo de ocorrência dos testes de erosão com chuva simulada (T3 a T7). O tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD foi o que apresentou comportamento distinto em tal relação, sendo ela linear, enquanto os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante entre si e, todos, exibindo relação do tipo curvilínea (modo potência). Observa-se ainda na figura 35 que o efeito residual do uso do solo na erosão com as culturas anuais utilizadas decaiu mais rapidamente e em igual grau nos tratamentos 7Sc,Sp/0,5Av,SD e 4Av-Mi,SD/3,5Sc,SP (aproximadamente 50% de redução do efeito ou $Fr=0,5$ nos

primeiros 10 a 15 dias), seguido de perto do tratamento 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD (aproximadamente 45% de redução do efeito ou $Fr=0,45$ nos primeiros 15 a 20 dias). Aproximadamente aos 65 dias de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada, os três últimos tratamentos se igualaram no que se refere à redução do efeito residual em questão (aproximadamente 75% de redução no mesmo ou $Fr=0,75$). A partir dos 65 dias, entretanto, o último tratamento referido superou os dois primeiros no que diz respeito ao valor do fator residual. Quanto ao tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, com comportamento distinto dos demais tratamentos (relação linear no primeiro e curvilínea nos últimos), os valores do seu fator residual foram moderadamente crescendo com o tempo de decorrência dos testes de erosão com chuva simulada, denotando a maior resistência da estrutura do solo no mesmo no que se refere à ação erosiva da chuva e da enxurrada dela originada. Tomando por base os resultados apresentados na figura 35, é possível constatar que a duração do efeito

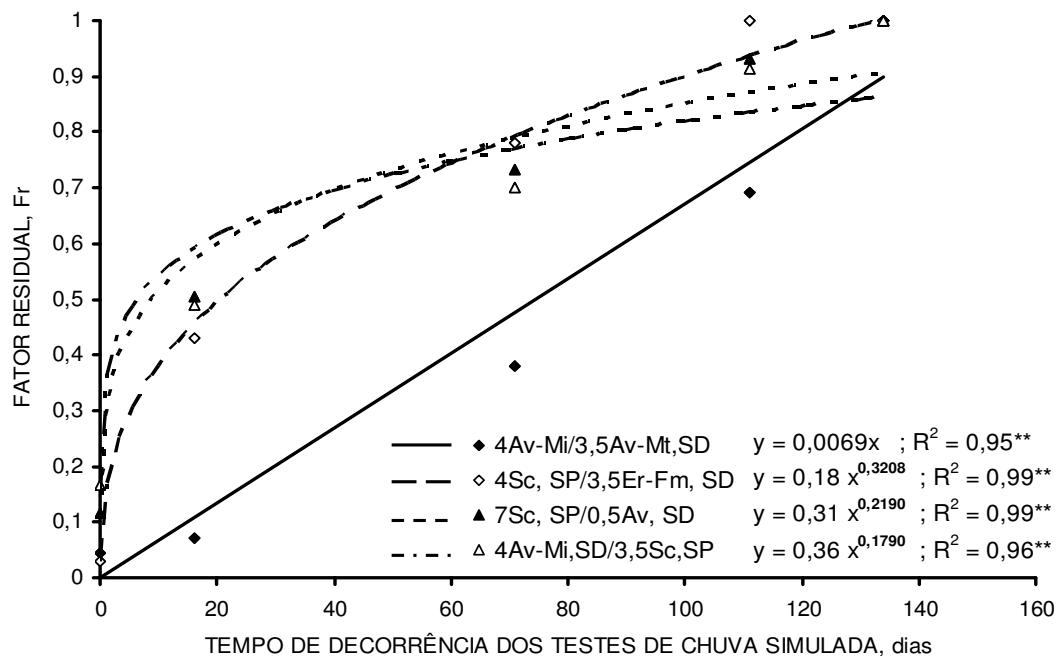


FIGURA 35. Fator residual do uso do solo com culturas anuais relacionado à erosão hídrica em função do tempo de decorrência dos testes de chuva simulada realizados, calculados com base nos dados de perda total de solo obtidos na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto (testes de chuva T3 a T7).

residual do uso do solo na erosão com as culturas anuais empregadas no presente trabalho (aproximadamente 5 meses) foi bem menor do que a relatada por Wischmeier (1973) e Cogo & Streck (2003) para pastagem (aproximadamente 2 anos). Esta diferença nos resultados é perfeitamente explicável, tendo em vista a maior capacidade das pastagens em geral de construir e de manter a qualidade física da estrutura do solo.

4.4.2. Inter-relações com vistas à avaliação de indicadores físicos da qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado e de valores dos coeficientes das variáveis do subfator PLU do modelo RUSLE

4.4.2.1. Inter-relações pontuais sob três condições físicas distintas da camada superficial do solo, avaliadas antes do processo de degradação induzida da sua estrutura (testes de chuva T1, T2 e T3)

4.4.2.1.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 36 e 37 são apresentadas as inter-relações da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada respectivamente, com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm e com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada e 0 a 15 cm, nas condições de solo não mobilizado (superfície consolidada), com e sem cobertura por resíduo cultural (testes de chuva T1 e T2), e solo recém-mobilizado (superfície solta), sem cobertura por resíduo cultural (teste de chuva T3), enquanto na figura 38 é apresentada a inter-relação da variável em questão com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após cada teste de chuva simulada, exclusivamente na condição solo mobilizado (superfície solta) e sem nenhuma cobertura por resíduo cultural (teste de chuva T3). Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que houve correlação significativa da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada em, apenas, 55% das situações apresentadas (nível de probabilidade de 1% em 15% das situações apresentadas e de 5% em 40% das situações apresentadas). Tais correlações

se deram com a massa de raízes mortas na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada) e coberto e descoberto, associadas aos testes de chuva T1 e T2 ($R^2=0,56$ e $0,53$, respectivamente - Figura 36), e com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada), tanto coberto quanto descoberto, associada, respectivamente, aos testes de chuva T1 e T2 ($R^2=0,76$ e $0,60$, respectivamente - Figura 37). Mannering et al. (1968) também encontraram correlação significativa entre a taxa de infiltração de água no solo e a estabilidade dos agregados. Já quando o solo se encontrava mobilizado (superfície solta) e descoberto (teste de chuva T3), o preparo do mesmo, por si só, instantaneamente modificou muito as condições físicas para infiltração de água na sua superfície, facilitando o processo (Mannering et al., 1968). Desta forma, as condições físicas do solo instantaneamente melhoradas pelo seu preparo se sobrepuseram ao efeito benéfico tanto da massa de raízes mortas quanto da estabilidade dos agregados do solo na infiltração de água no mesmo, fazendo com que sua correlação com as mesmas resultasse não significativa sob tal condição da camada superficial do solo (Figuras 36 e 37). Quanto à constatação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada não ter sido significativamente correlacionada (de fato, ela foi praticamente inexistente) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o teste de chuva T3 (solo mobilizado e descoberto – Figura 38), ela é explicada pelo fato de que a influência da rugosidade reside mais na quantidade total de água infiltrada antes do início da enxurrada do que na sua velocidade de infiltração propriamente dita, tendo em vista que, normalmente, por ocasião da taxa constante de infiltração, as microdepressões associadas à rugosidade superficial estão, já, totalmente preenchidas com água e com presença de selo, não tendo praticamente mais nenhum efeito na taxa constante de infiltração de água no solo, especialmente na condição de solo mobilizado e descoberto, como foi o presente caso. Resultados deste tipo foram também obtidos por Cassol et al. (1999) e por Castro et al. (2006) em estudos semelhantes. Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que a massa de raízes mortas e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) presentes na camada superficial do solo constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de aumento da taxa de

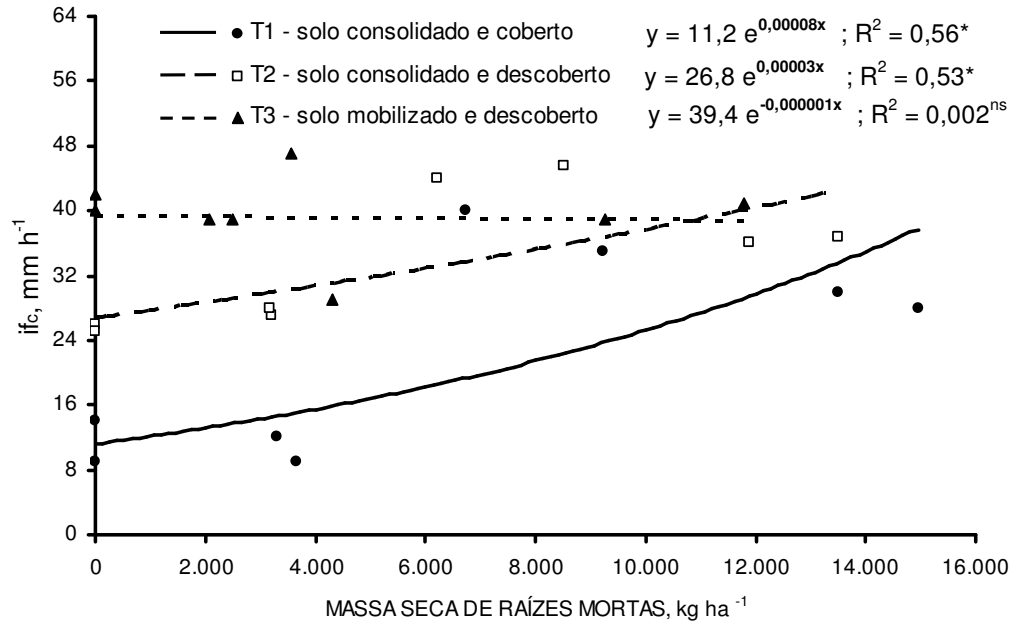


FIGURA 36. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

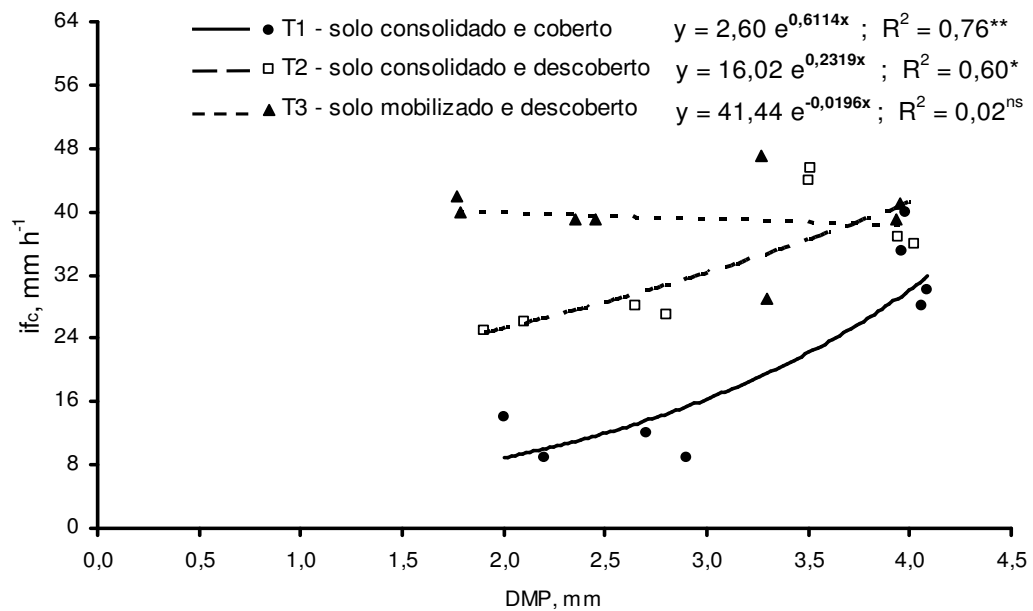


FIGURA 37. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

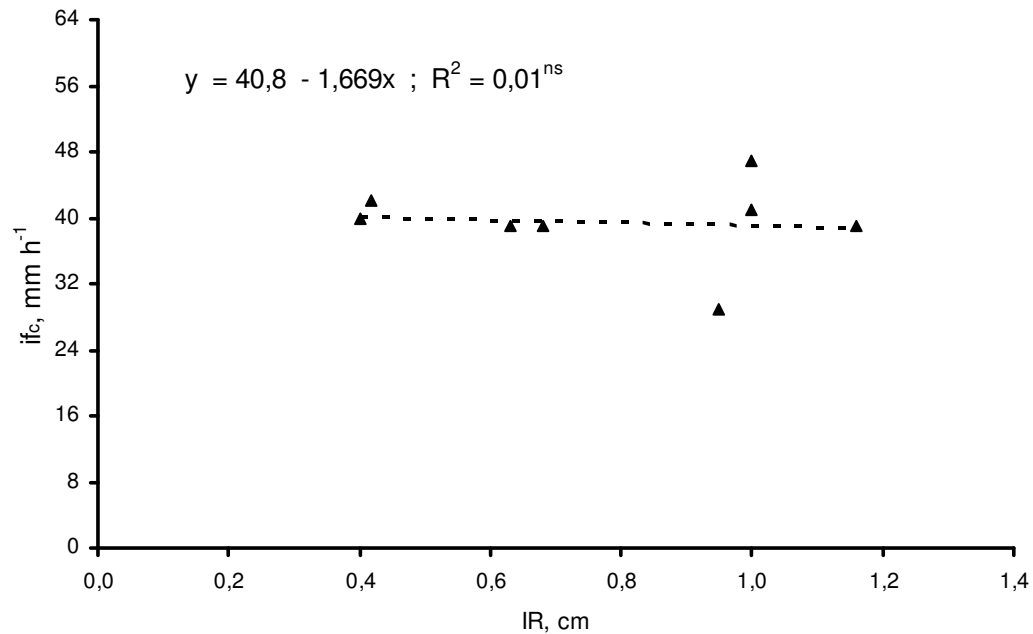


FIGURA 38. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (if_c) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

infiltração de água na sua superfície sob condição de saturação em grau satisfatório, portanto indicadores físicos da qualidade do solo para fins de redução da taxa máxima de descarga da enxurrada também satisfatórios, porém com limitação. A massa de raízes mortas ficou limitada como indicadora de qualidade para tal propósito à condição de solo consolidado e coberto e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) à condição de solo também consolidado, porém tanto coberto quanto descoberto (Figuras 36 e 37). Estas duas variáveis de manejo do solo, mais o índice de rugosidade superficial do solo – IR (Figura 38), não serviram o propósito em relação à variável de erosão hídrica em questão na condição de solo pela primeira vez mobilizado e descoberto.

4.4.2.1.2. Perda total de água por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 39 a 41 são apresentadas as inter-relações da perda

total de água da chuva na forma de enxurrada com as mesmas variáveis de manejo e nas mesmas condições físicas da camada superficial do solo como antes feito com a taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada (item 4.4.2.1.1). Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que nas relações da perda total de água por erosão hídrica com as três variáveis de manejo consideradas, nas três condições físicas da camada superficial do solo estudadas, com o tipo e a magnitude dos valores das relações, os modelos ajustaram-se significativamente (nível de probabilidade de 5% em 85% dos casos e de 1% no restante deles e valores do coeficiente de determinação R^2 variando de 0,50 a 0,85), contudo, dependentes da variável empregada e da condição física do solo avaliada. Independentemente destas variações, observa-se nas mesmas figuras que a perda total de água diminuiu com o aumento nos valores de qualquer uma das três variáveis de manejo consideradas, de modo linear na sua relação com a massa de raízes mortas (Figura 39), exponencial com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água - DMP (Figura 40) e potência com o índice de rugosidade superficial do solo - IR (Figura 41), com inclinação das curvas de suave a moderada em todas as relações. É importante chamar a atenção nestas figuras para os elevados valores da perda total de água na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada), independentemente da cobertura por resíduo cultural (testes de chuva T1 e T2), comparados aos valores na condição de solo mobilizado (superfície solta) e descoberto (teste de chuva T3), mesmo sob elevados valores da massa de raízes mortas e do índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP). Tal fato é explicado pela existência de baixa rugosidade superficial no solo, associada à consolidação da sua superfície, quando ele não é mobilizado, o que diminui a retenção e a infiltração superficiais de água no mesmo e permite maior escoamento superficial, mesmo sob elevado nível de cobertura do solo por resíduo cultural. Estes resultados indicam que, para lograr maior êxito na retenção e na infiltração superficiais de água, é desejável que o solo sofra alguma mobilização, como pode ser comprovado pelos resultados apresentados na figura 41. Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, independentemente da condição física da camada superficial do solo avaliada, a massa de raízes mortas e o índice de estabilidade dos agregados do solo

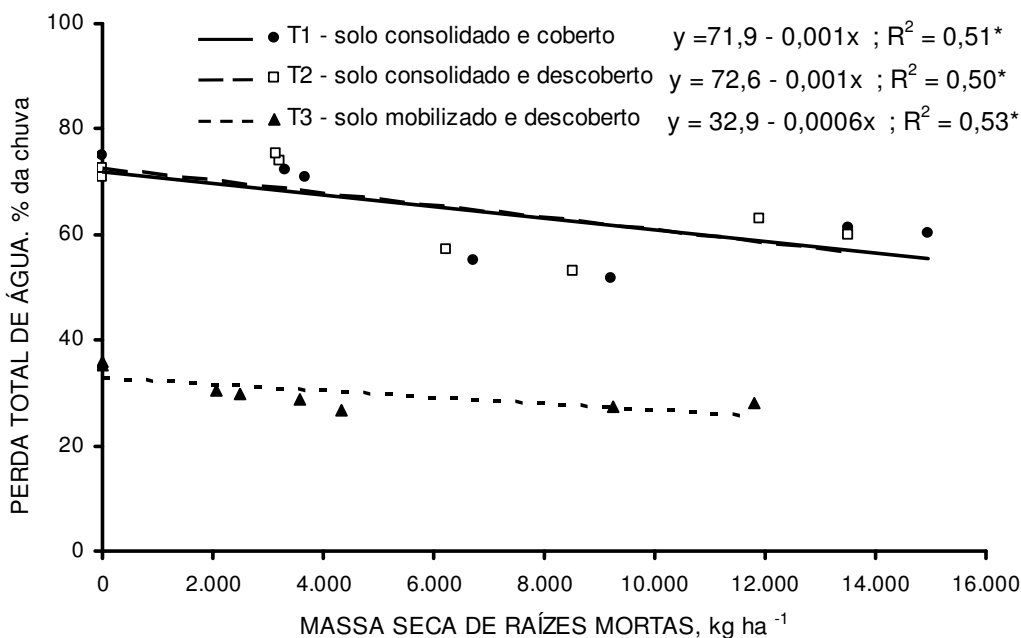


FIGURA 39. Relação da perda total de água com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

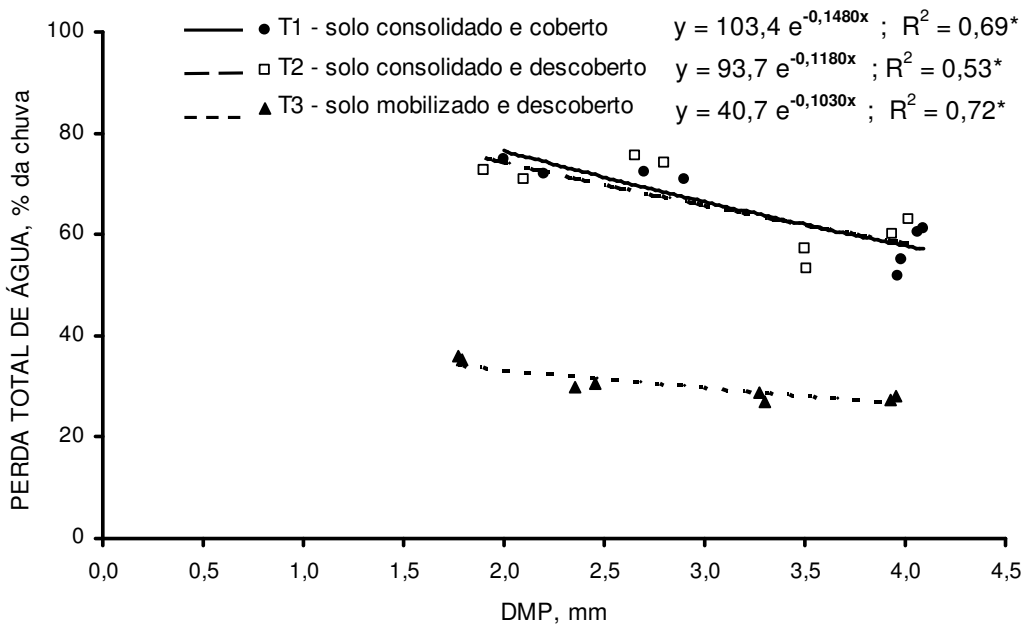


FIGURA 40. Relação da perda total de água com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado, em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados

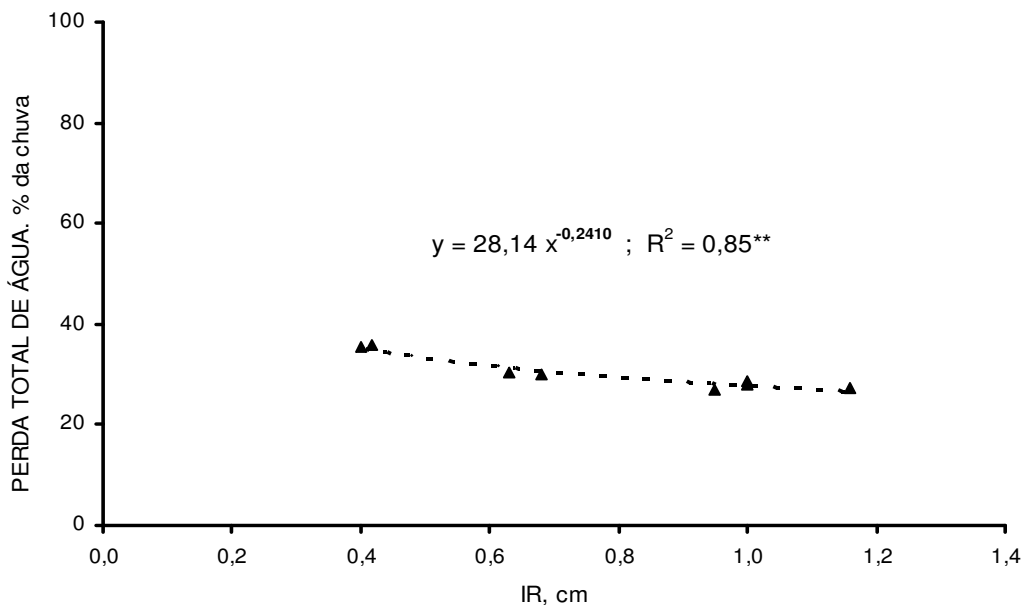


FIGURA 41. Relação da perda total de água com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta – teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

em água (DMP) constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de redução da perda total de água na forma de enxurrada em grau satisfatório, com resultado um pouco melhor para a segunda variável, enquanto o índice de rugosidade superficial do solo (IR) serviu o propósito em grau muito satisfatório na condição de solo pela primeira vez mobilizado e descoberto.

4.4.2.1.3. Taxa constante de perda de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 42 a 44 são apresentadas as inter-relações da taxa de perda de solo por erosão hídrica na condição de equilíbrio da enxurrada com as mesmas variáveis de manejo e nas mesmas condições físicas da camada superficial do solo como antes feito com a taxa constante de infiltração de água no solo (item 4.4.2.1.1) e com a perda total de água (4.4.2.1.2). Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que nas relações da taxa de perda de solo por erosão hídrica na condição de equilíbrio da enxurrada com as três variáveis de manejo consideradas, nas três condições físicas da camada

superficial do solo estudadas, exceto a condição de solo não mobilizado (superfície consolidada) e coberto, os modelos ajustaram-se significativamente (nível de probabilidade de 1% em 60% dos casos e de 5% no restante deles e valores do coeficiente de determinação R^2 variando de 0,55 a 0,93). Os modelos foram do tipo exponencial (inclinação das curvas de moderada a forte) e, inclusive, com a magnitude dos valores nas mesmas dentro de uma faixa relativamente estreita. Da mesma forma como ocorreu com a perda total de água, os valores da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada diminuíram com o aumento nos valores das três variáveis de manejo consideradas, porém de modo bem mais acentuado (inclinação das curvas de moderada a forte, em contraste com a inclinação suave a moderada verificada com a perda total de água). O grau de ajuste do modelo da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada com as três variáveis de manejo consideradas na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada) e coberto (teste de chuva T1) não foi significativa, o que se deveu à elevada cobertura superficial do solo presente em tal teste de chuva (80% a 100% - Tabela 8), a qual simplesmente anulou o efeito das mesmas. Isto é explicado pelo fato de que a cobertura superficial do solo, seja ela constituída de resíduo cultural, seja ela constituída de plantas rasteiras, representa a forma mais eficaz de se dissipar energia do impacto das gotas da chuva na sua superfície, minimizando e, até, impedindo a desagregação inicial das partículas do solo, como também constatado por Cogo (1981) e por Streck (1999) em condições semelhantes de trabalho. Quanto à diminuição dos valores da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada com o aumento dos valores da massa de raízes mortas (Figura 42) e do índice de estabilidade dos agregados do solo em água – DMP (Figura 43) na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada e baixa rugosidade superficial) e descoberto (teste de chuva T2), ela é explicada, além do efeito da consolidação do solo em si, pela maior resistência adquirida pela superfície do solo contra a desagregação das suas partículas sob tais níveis das referidas variáveis, enquanto na condição de solo mobilizado (superfície solta) e descoberto (teste de chuva T3), em adição às razões recém mencionadas, ela é explicada, em caráter muito especial, pela rugosidade superficial do solo resultante do seu preparo, a qual aprisiona os sedimentos da erosão nas microdepressões a ela associadas, o que já não

acontece quando o solo se encontra sem mobilizado com superfície praticamente lisa. Com base nos valores do coeficiente de determinação R^2 mostrados nas figuras 42 a 44, percebe-se que, de modo geral, a variação no índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) explicou melhor a variação na taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada do que a massa de raízes mortas, bem como ela foi melhor explicada por qualquer uma destas duas variáveis na condição de solo mobilizado (teste de chuva T3) do que na condição de solo não mobilizado (testes de chuva T1 e T2), ambas desprovidas de cobertura por resíduo cultural. As correlações mais elevadas da variável de erosão hídrica em questão ocorreram com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) e com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) na condição de solo mobilizado e descoberto do teste de chuva T3 ($R^2=0,93$, em ambas as relações – Figuras 43 e 44). Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, na ausência de cobertura do solo por resíduo cultural, independentemente da mobilização da sua camada superficial, a massa de raízes mortas e o índice de estabilidade dos agregados

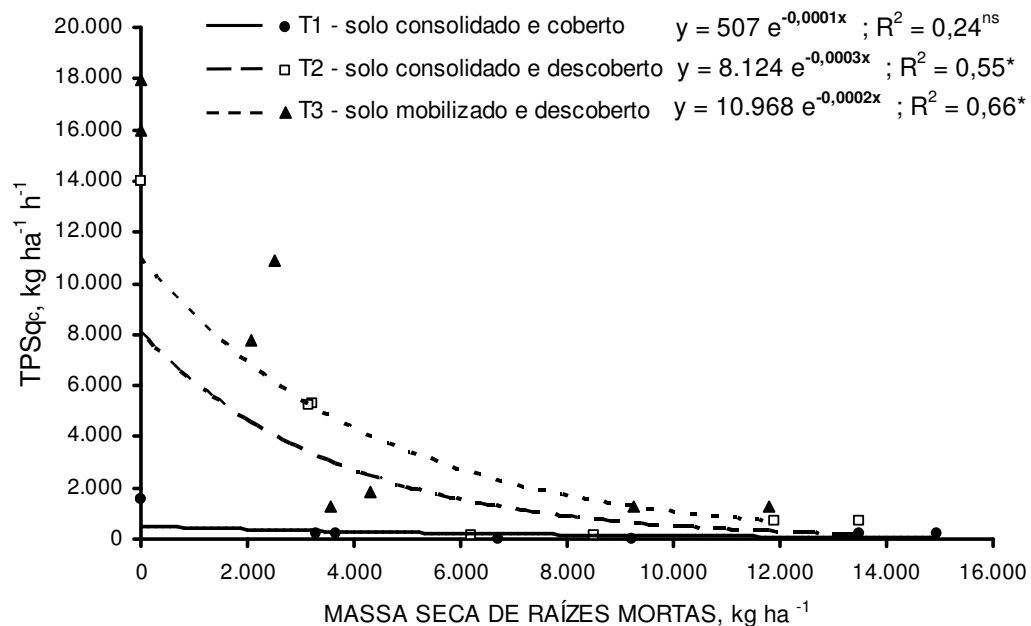


FIGURA 42. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada (TPSq_c) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

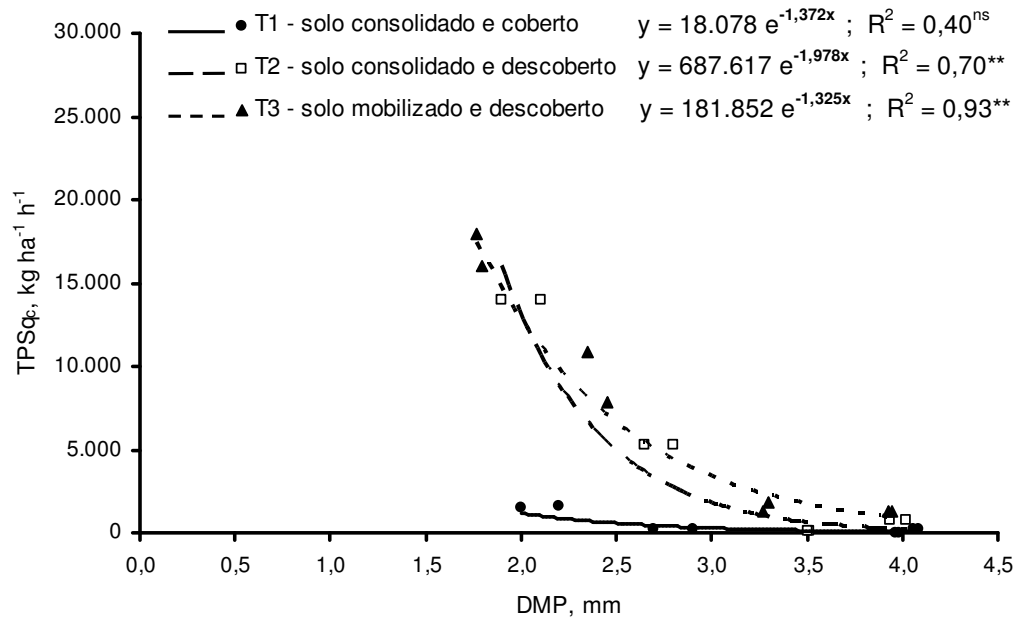


FIGURA 43. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

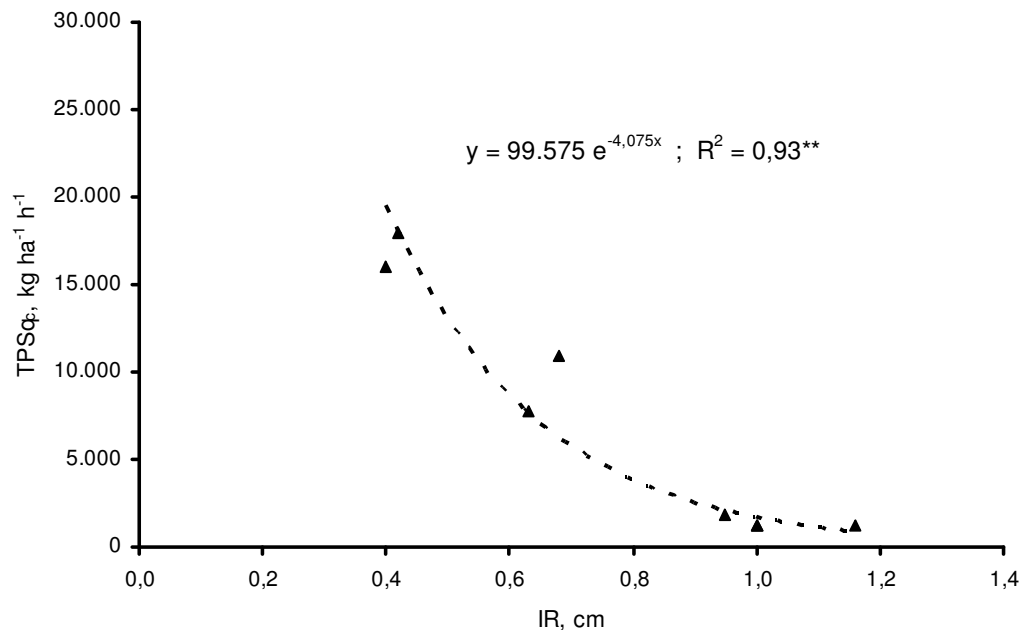


FIGURA 44. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberta - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

do solo em água (DMP) constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de minimização da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada em grau de satisfatório a quase muito satisfatório, com resultado um pouco melhor para a segunda variável, enquanto o índice de rugosidade superficial do solo (IR) serviu o propósito em grau muito satisfatório na condição de solo pela primeira vez mobilizado e descoberto, igualmente como ocorreu com a perda total de água da chuva na forma de enxurrada. As duas primeiras variáveis de manejo do solo, entretanto, não serviram o propósito em relação à variável de erosão hídrica em questão na condição de solo não mobilizado e coberto.

4.4.2.1.4. Perda total de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Nas figuras 45 a 47 são apresentadas as inter-relações da perda total de solo por erosão hídrica com as mesmas variáveis de manejo e nas mesmas condições físicas da camada superficial do solo como antes feito com a taxa constante de infiltração de água no solo (item 4.4.2.1.1), perda total de água (item 4.4.2.1.2) e taxa constante de perda de solo (item 4.4.2.1.3). Analisando os dados nas referidas figuras, observa-se que, como era esperado, a perda total de solo por erosão hídrica apresentou comportamento praticamente idêntico ao da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada no que se refere a sua relação com as três variáveis de manejo consideradas no estudo. Assim, o grau de ajuste dos modelos foi significativo (nível de probabilidade de 1% em 60% dos casos e de 5% no restante deles e valores do coeficiente de determinação R^2 variando de 0,59 a 0,92) com as três variáveis de manejo consideradas, nas três condições físicas da camada superficial do solo estudadas, exceto a condição de solo não mobilizado (superfície consolidada) e coberto, com todas as relações que foram estatisticamente significativas, exceto uma, sendo do tipo exponencial (inclinação das curvas de moderada a forte) e, igualmente como ocorreu com a taxa constante de perda de solo, com a magnitude dos valores nas mesmas dentro de uma faixa relativamente estreita. A inter-relação que foi exceção no que se refere ao tipo de comportamento (modo potência, com inclinação da curva forte) da variável de erosão hídrica em questão ocorreu com o índice de

rugosidade superficial do solo (IR) na condição de solo mobilizado (superfície solta) e descoberto do teste de chuva T3 (Figura 47). Igualmente como ocorreu com a taxa constante de perda de solo, baseado nos valores do coeficiente de determinação R^2 mostrados nas figuras 45 a 47, percebe-se que, de modo geral, a variação no índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) explicou melhor a variação na perda total de solo do que a massa de raízes mortas. No entanto, de modo oposto, a variação da variável de erosão hídrica em questão foi melhor explicada por qualquer uma destas duas variáveis de manejo na condição de solo não mobilizado do teste T2 (superfície consolidada) do que na condição de solo mobilizado do teste T3 (superfície solta), ambas desprovidas de cobertura por resíduo cultural. As correlações mais fortes da variável de erosão hídrica em questão ocorreram com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) na condição de solo mobilizado

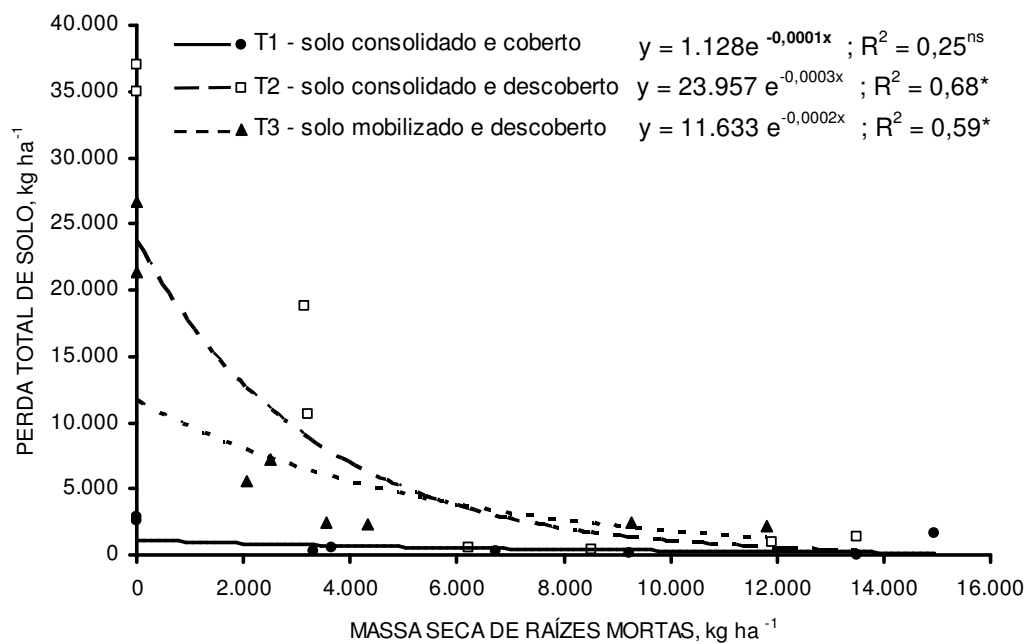


FIGURA 45. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

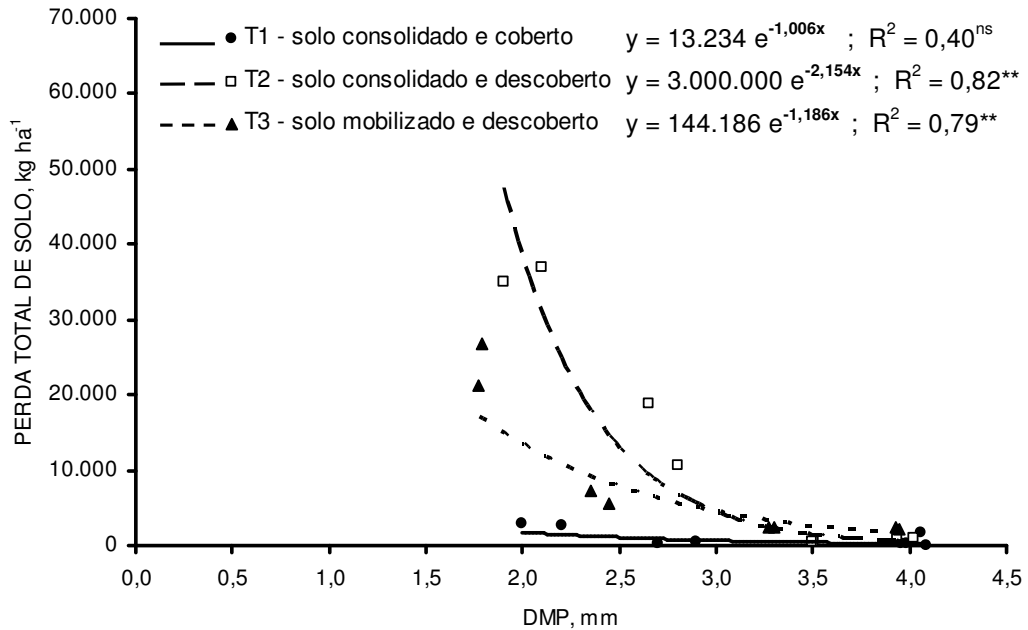


FIGURA 46. Relação da perda total de solo com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 10 para o solo não mobilizado e de 0 a 15 cm para o solo mobilizado, em distintas condições físicas da camada superficial do solo, independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

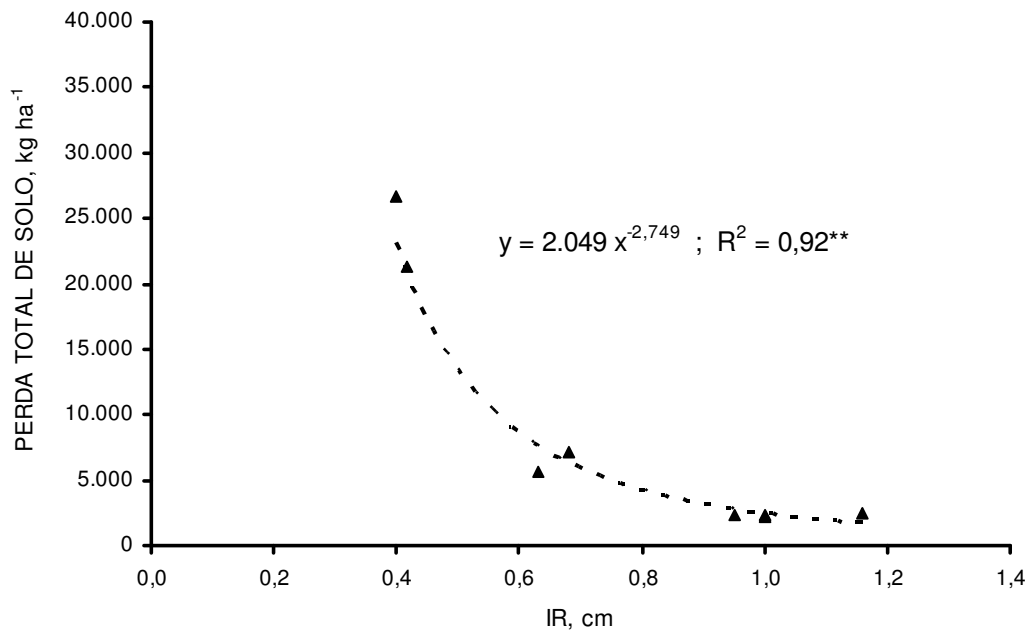


FIGURA 47. Relação da perda total de solo com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após o seu primeiro preparo (superfície solta e descoberto - teste de chuva T3), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

(superfície solta) e descoberto do teste de chuva T3 ($R^2=0,92$ – Figura 47) e com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na condição de solo não mobilizado (superfície consolidada) e descoberto do teste de chuva T2 ($R^2=0,82$ – Figura 46). Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, na ausência de cobertura do solo por resíduo cultural, independentemente da mobilização da sua camada superficial, a massa de raízes mortas e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) presentes na camada superficial do solo constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de redução da perda total de solo por erosão hídrica em grau de satisfatório a quase muito satisfatório, com resultado consideravelmente melhor para a segunda variável, enquanto o índice de rugosidade superficial do solo (IR) serviu o propósito em grau muito satisfatório na condição de solo mobilizado pela primeira vez e descoberto, igualmente como ocorreu com a perda total de água da chuva na forma de enxurrada e com a taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada. As duas primeiras variáveis de manejo do solo, entretanto, não serviram o propósito em relação à variável de erosão hídrica em questão na condição de solo não mobilizado e coberto.

Com base no que foi exposto neste item, pode-se dizer que as três variáveis de manejo do solo consideradas (massa de raízes mortas das culturas, índice de estabilidade dos agregados do solo em água – DMP e índice de rugosidade superficial do solo - IR) deram evidência de servir de promissores indicadores físicos da qualidade do solo para fins de redução da perda total de água da chuva na forma de enxurrada (escoamento superficial associado à erosão hídrica pluvial) ou, inversamente, para fins de aumento da quantidade total de água da chuva infiltrada no solo, independentemente da condição física da camada superficial do solo estudada (solo não mobilizado, coberto e descoberto, e solo pela primeira vez mobilizado e descoberto). Na mesma linha de consideração, as referidas variáveis de manejo do solo serviram o propósito de minimização da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada e da perda total de solo, exceto na condição de solo não mobilizado e coberto, em que a cobertura superficial do solo por resíduo cultural totalmente anulou o efeito das variáveis de manejo em consideração. Quanto à taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada,

serviram o propósito de indicadores físicos da qualidade do solo para fins de aumento da mesma a massa de raízes mortas das culturas na condição de solo não mobilizado e coberto e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) nas condições de solo não mobilizado, tanto coberto quanto descoberto. Nenhuma das variáveis de manejo em questão (massa de raízes mortas das culturas, índice de estabilidade dos agregados do solo em água – DMP e índice de rugosidade superficial do solo – IR) serviram o propósito de indicadores da qualidade do solo para fins de aumento da taxa de infiltração de água no mesmo na condição de equilíbrio da enxurrada na condição de solo pela primeira vez mobilizado e descoberto.

4.4.2.1.5. Eficácia de redução da erosão hídrica da massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo com vistas ao subfator PLU do modelo RUSLE

Julgou-se oportuno neste momento, em função da recém feita discussão dos resultados de perda de solo por erosão hídrica em função das variáveis de manejo consideradas no estudo, tratar da eficácia de redução da erosão hídrica da massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo especificamente em relação ao subfator PLU (uso anterior da terra) do fator C (cobertura e manejo do solo) do modelo RUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Revisada) de predição da erosão hídrica (Renard et al, 1997). Como já foi comentado, a massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo neste estudo influenciou fortemente a estabilidade dos seus agregados em água (índice DMP - Figura 12) e, decorrente disso, ela também influenciou outras condições físicas internas e externas do solo relacionadas com a magnitude do processo erosivo causado pela água da chuva e da enxurrada dela originada. As raízes das culturas (vivas ou mortas) presentes na camada superficial do solo influenciam o processo de erosão hídrica pluvial de dois modos principais, a saber: a) pela facilidade ou dificuldade com que as partículas de solo são desagregadas da sua massa pela ação da chuva e, ou, da enxurrada dela originada e 2) pela maior ou menor capacidade do solo de deixar infiltrar água da chuva na sua superfície e de permitir o livre movimento da mesma no seu interior (Cogo & Streck, 2003). Já era esperado, portanto, que as perdas de solo por erosão hídrica observadas nos testes de chuva

simulada realizados neste estudo tivessem correlação significativa com a massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo, como é bem ilustrado na figura 48. Analisando os dados desta figura, observa-se que o aumento na massa seca de raízes mortas na camada superficial do solo causou a diminuição nas perdas de solo por erosão hídrica na condição de solo recém-mobilizado (superfície solta) e descoberto, a qual imperou durante a realização dos últimos cinco testes de chuva simulada (T3 a T7), ressaltando a importância das raízes das plantas na determinação da qualidade física do solo para fins agrícolas. Observa-se na figura 48 que as perdas de solo por erosão hídrica diminuíram acentuadamente (de forma exponencial) com aumentos na massa seca de raízes mortas no solo de, até, 3.500 kg ha^{-1} a 4.000 kg ha^{-1} , sendo o grau de ajuste dos modelos altamente significativas nos três tratamentos avaliados. A magnitude da eficácia de redução da erosão hídrica da massa de raízes presente na camada superficial do solo pode ser avaliada pela análise dos valores do coeficiente angular b das equações de regressão entre estas duas variáveis, mostrados na figura 48, para cada tratamento avaliado. Esta informação é fundamental no cálculo do subfator PLU - uso anterior da terra do fator C - cobertura e manejo do solo do modelo RUSLE de predição da erosão hídrica (Renard et al., 1997). Os valores do coeficiente b das equações de regressão mostrados na figura 48 são maiores do que os observados por Cogo & Streck (2003) para a relação da concentração de sedimentos na enxurrada na sua condição de equilíbrio com a quantidade da biomassa vegetal incorporada ao solo por eles utilizada (massa de raízes mortas+massa de resíduo cultural incorporado de uma pastagem nativa de gramíneas quimicamente dessecada). Esta diferença nos resultados se deve às diferentes culturas e às diferentes quantidades de raízes mortas das mesmas presentes na camada superficial do solo nos dois estudos referidos, sendo as quantidades de massa de raízes bastante superiores no presente estudo. No entanto, conforme bem salientado por Cogo & Streck (2003), os valores do coeficiente b encontrados neste estudo, bem como no estudo deles, a ser usados na descrição da eficácia de redução da erosão hídrica da massa de raízes mortas presente na camada superficial do solo, não são diretamente comparáveis com os valores registrados nos arquivos computacionais do modelo RUSLE. Isto porque, nos arquivos desse modelo, os valores do

coeficiente b se referem à massa de raízes (vivas e mortas) presente nos 2,54 cm superiores do solo (1,0 polegada), sendo necessário, para fins de comparação de valores, fazer a correção dos valores de b obtidos neste estudo, na camada de solo de 0 a 10 cm e no sistema métrico de medidas, para a camada de solo de 0 a 2,5 cm e no sistema inglês de medidas, tendo em vista que estes são os requerimentos do modelo RUSLE em relação a tal fator. Para isso, é necessário multiplicar os valores de b encontrados neste estudo pelo fator de correção 4,4127, para se fazer a devida correspondência com a profundidade e com o sistema de medidas usados no referido modelo, nos Estados Unidos. Feito isso, os valores do coeficiente b das equações de regressão associadas aos tratamentos 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD, 4Sc,SP/3,5Er-Fm,SD e 7Sc,SP/0,5Av,SD, mostrados na figura 48, passam a ser, respectivamente, iguais a -0,0013, -0,0048 e -0,0048. O valor corrigido do coeficiente b do tratamento 4Av-Mi/3,5Av-Mt,SD (-0,0013) ficou bastante

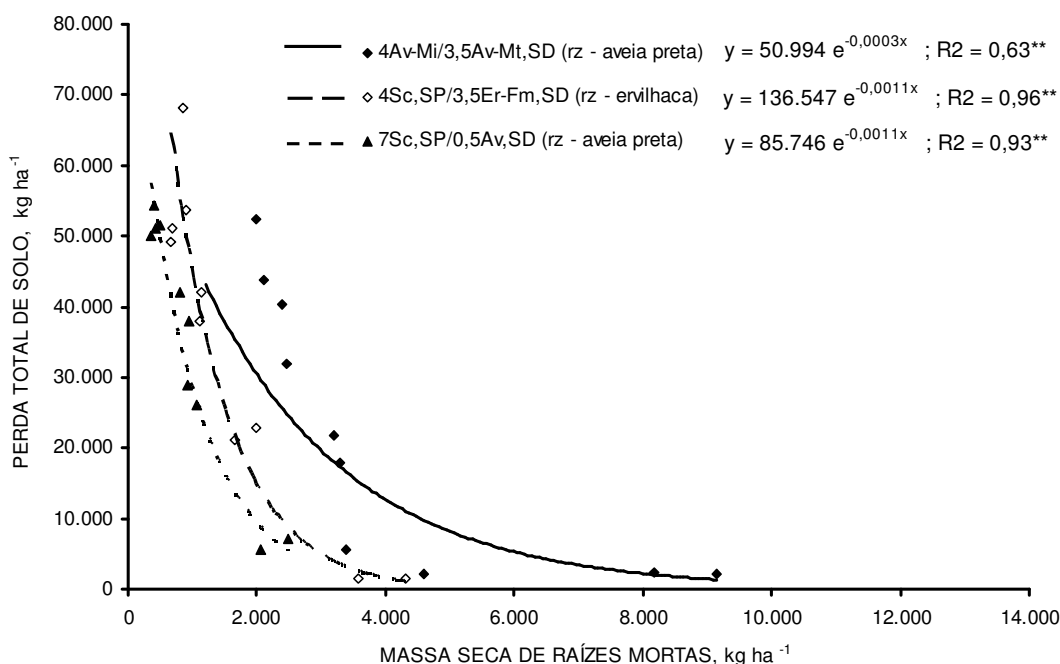


FIGURA 48. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm, na condição de solo mobilizado por meio de uma gradagem leve e descoberto, nos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

próximo dos valores observados por Cogo & Streck (2003) em seu estudo (-0,0010 e -0,0012) e dos utilizados no modelo RUSLE para a erosão em sulcos (-0,0018) e para a combinação erosão em sulcos-erosão em entressulcos (-0,0014). Quanto aos valores corrigidos do coeficiente b para os outros dois tratamentos avaliados neste estudo, eles diferiram muito tanto dos utilizados nos arquivos do modelo RUSLE quanto dos encontrados por Cogo e Streck (2003), principalmente pelo fato de que, neste estudo, utilizou-se exclusivamente a massa seca de raízes mortas na sua derivação, enquanto no referido modelo e no estudo de Cogo & Streck (2003) é considerada a biomassa vegetal subterrânea integral na sua derivação, ou seja, massa de raízes mortas+massa de resíduos culturais incorporados no solo. Certamente, mais estudos sobre o assunto devem ser realizados para a melhor afirmação dessas considerações.

4.4.2.2. Inter-relações temporalmente embasadas na condição física exclusiva de camada superficial solo continuamente mobilizada e descoberta, avaliadas durante o processo de degradação induzida da sua estrutura (testes de chuva T3 a T7)

As inter-relações apresentadas no item 4.4.2.1 (Figuras 36 a 49) refletem o efeito das condições físicas da camada superficial do solo resultantes da ação dos tratamentos estudados no processo erosivo na forma como elas se encontravam logo após o solo ter sofrido suspensão do seu processo de cultivo nas parcelas experimentais, sem ainda ter iniciado o processo de degradação induzida da sua estrutura propriamente dito, o qual ocorreu a partir do terceiro teste de erosão com chuva simulada (T3), com o solo sendo periódica e repetidamente mobilizado e permanecendo na completa ausência de cobertura. Tais relações, como já foi bem esclarecido, foram obtidas com os dados oriundos exclusivamente dos três primeiros testes de erosão com chuva simulada realizados (T1 e T2 - solo não mobilizado ou consolidado coberto e descoberto e T3 - solo mobilizado pela sua primeira vez e coberto) e permitiram inferir sobre as características físicas de superfície e subsuperfície do solo pretendidas de servir de indicadores da qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial

a ela associado que mais se sobressaíram sob tais condições físicas da camada superficial do solo.

Em prosseguimento ao objetivo recém mencionado, a partir deste momento serão outra vez apresentadas as inter-relações obtidas com os dados oriundos exclusivamente dos últimos cinco testes de erosão com chuva simulada realizados, com o solo sendo periódica e repetidamente mobilizado (por meio de uma gradagem leve, na profundidade média de 15 cm) e permanecido descoberto (testes de chuva T3 a T7), exatamente como foi feito com as inter-relações apresentadas e discutidas no item 4.4.1 (quando se tratou da avaliação do efeito da degradação induzida da estrutura do solo na erosão hídrica pluvial e no escoamento superficial a ela associado), porém, desta vez, combinando os pontos de todos os tratamentos considerados numa só análise. Este procedimento permitirá inferir sobre os pretensos indicadores físicos da qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado sob processo de degradação (induzida) das características físicas de superfície e subsuperfície do solo que, naturalmente, lhes servem de base, na já referida condição de solo periódica e repetidamente mobilizado e sem nenhuma cobertura por resíduo cultural. Os resultados desta análise são mostrados nas figuras 49 a 58. Por oportuno, é lembrado que não foram incluídas nesta análise as relações da perda total de água e da perda total de solo com o índice de rugosidade superficial do solo (IR). Isto porque, nesta seqüência de testes de erosão com chuva simulada (T3 a T7), tal variável de manejo do solo (IR) foi medida sempre após um dado teste de chuva ter sido realizado. Desta forma, revestiu-se de pouca consistência a sua relação com as referidas variáveis de erosão hídrica, as quais sofreram influência das características físicas da camada superficial do solo do início ao fim de cada chuva. Contudo, são apresentadas as inter-relações do índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido da forma como foi recém descrita com as taxas de infiltração de água e de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada, tendo em vista que estas variáveis de erosão hídrica foram medidas já quase ao final das chuvas, portanto muito próximas à medição do índice de rugosidade superficial do solo (IR) e, desta forma, revestindo-se de consistência as inter-relações entre elas.

4.4.2.2.1. Taxa constante de infiltração de água no solo x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Analisando as figuras 49 a 51, observa-se que a taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada, na combinação dos tratamentos considerados, se correlacionou significativamente (nível de probabilidade de 1%) tanto com a massa seca de raízes mortas (relação no modo potência, com inclinação da curva suave - Figura 49) quanto com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água DMP (relação no modo linear, com inclinação da curva de suave a moderada – Figura 50), com resultado um pouco melhor, entretanto, para a primeira variável ($R^2=0,55$, comparado com $R^2=0,49$ para a segunda variável), mas ela não se

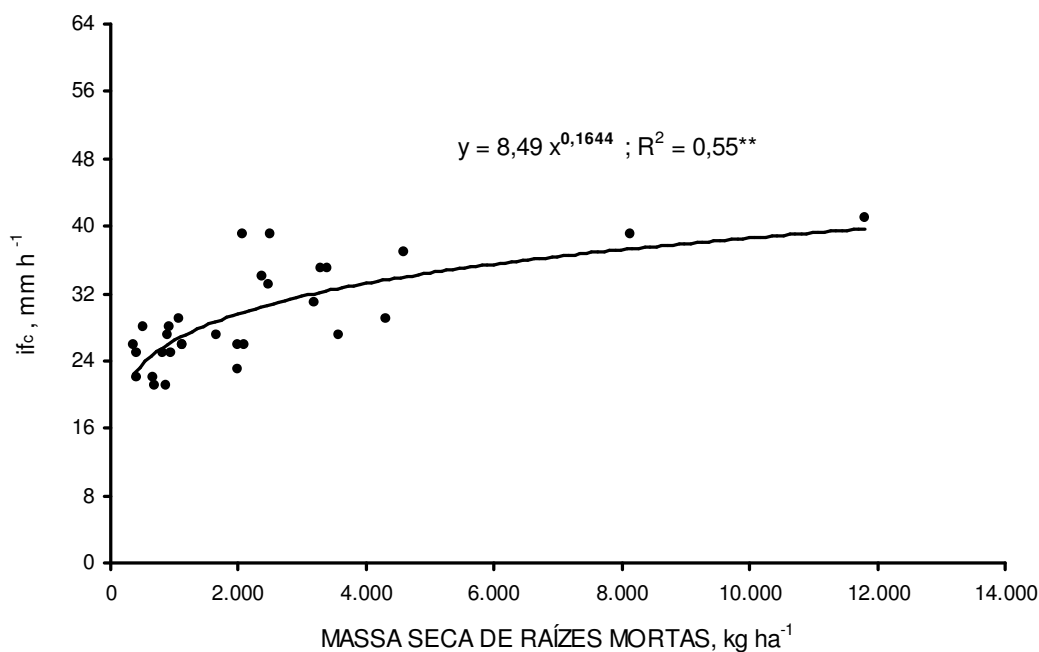


FIGURA 49. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{qc}) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

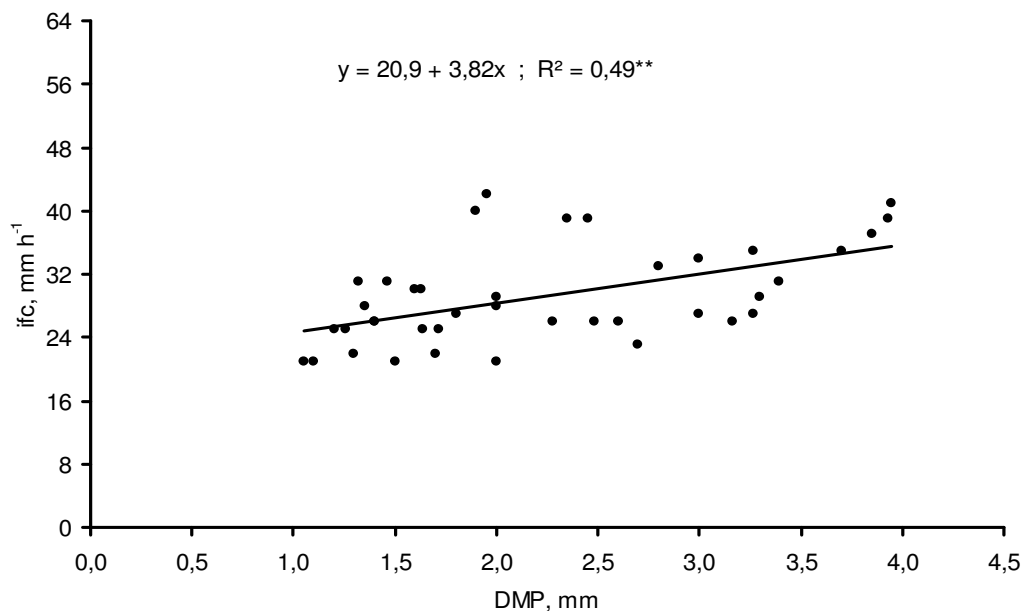


FIGURA 50. Relação da taxa de infiltração de água na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

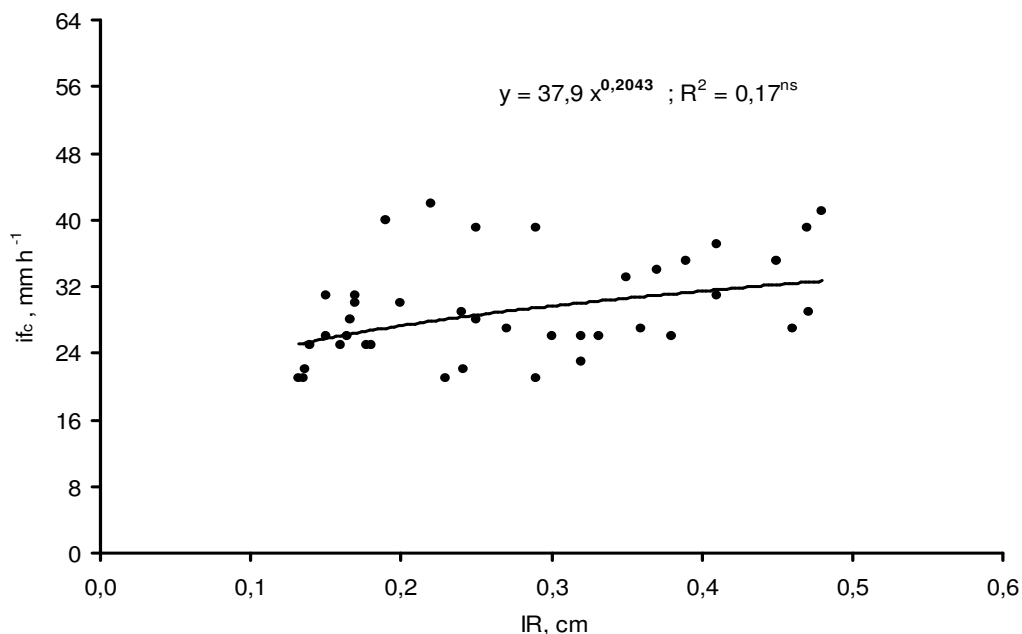


FIGURA 51. Relação da taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (i_{fc}) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

correlacionou do mesmo modo com o índice de rugosidade superficial do solo IR (Figura 50). As razões para estes resultados já foram dadas anteriormente. Com base nestes resultados, pode-se dizer que, sob tal condição de desenvolvimento do processo erosivo pluvial (superfície de solo mobilizada e descoberta, em processo de degradação), a massa de raízes mortas das culturas e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) presentes na sua camada superficial constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de aumento da taxa de infiltração da água da chuva no solo na condição de saturação do mesmo em graus satisfatórios, portanto podendo servir de indicadores de redução da taxa máxima de descarga do escoamento superficial associado à erosão hídrica pluvial também em graus satisfatórios. O índice de rugosidade superficial do solo (IR), entretanto, não serviu o propósito.

4.4.2.2. Perda total de água por erosão hídrica x massa de raízes mortas e estabilidade de agregados do solo

Analisando as figuras 52 e 53, observa-se que a perda total de água da chuva na forma de enxurrada, na combinação dos tratamentos considerados, se correlacionou significativamente (nível de probabilidade de 1%) tanto com a massa seca de raízes mortas (relação no modo potência, com inclinação da curva suave - Figura 52) quanto com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água DMP (relação no modo linear, com inclinação da curva de suave a moderada – Figura 53), com resultado um pouco melhor, entretanto, para a primeira variável ($R^2=0,71$, comparado com $R^2=0,61$ para a segunda variável), de modo similar ao ocorrido com a taxa constante de infiltração de água no solo (Figuras 49 e 50), porém um pouco superior (a julgar pelos maiores valores dos coeficientes de correlação R^2 na mesma). As razões para estes resultados também já foram dadas anteriormente. Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, sob tal condição de desenvolvimento do processo erosivo pluvial (superfície de solo mobilizada e descoberta, em processo de degradação), a massa de raízes mortas das culturas e o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) presentes na sua camada superficial constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de redução do escoamento superficial associado

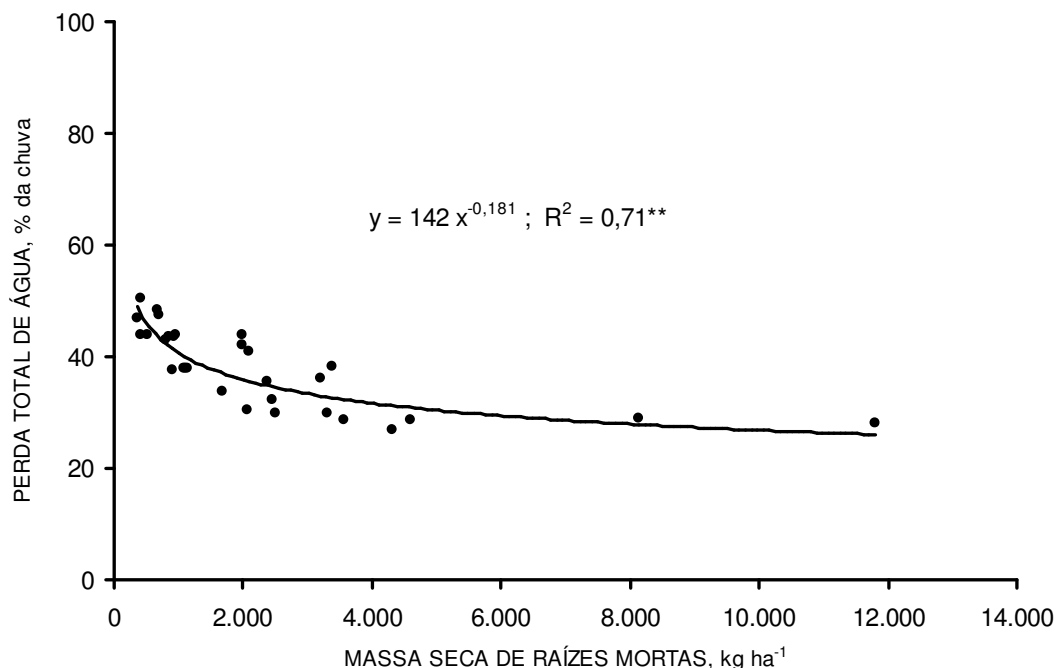


FIGURA 52. Relação da perda total de água com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

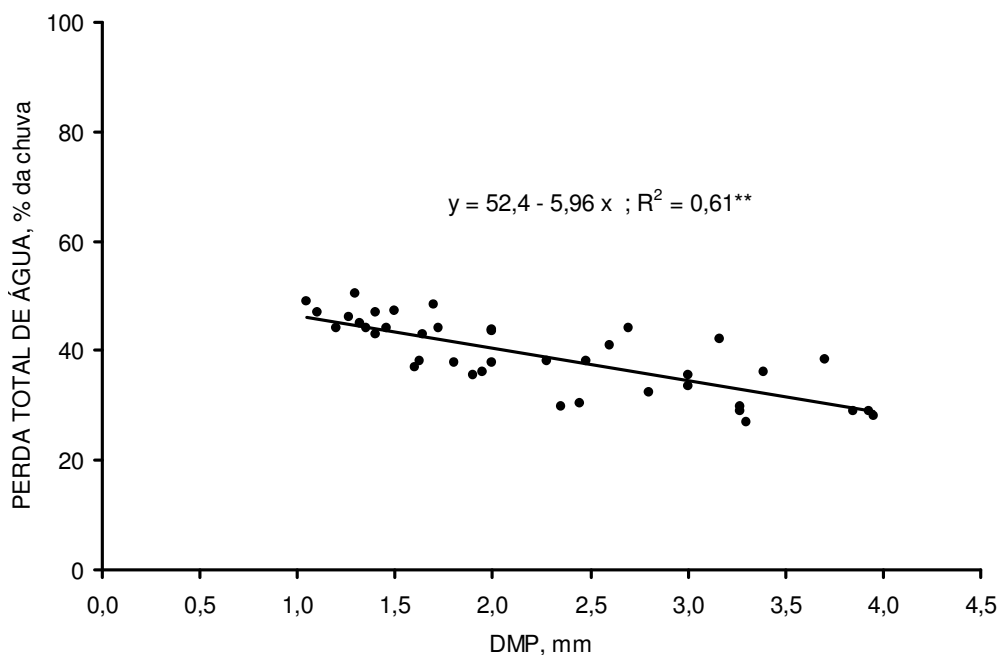


FIGURA 53. Relação da perda total de água com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

à erosão hídrica pluvial em graus satisfatórios, igualmente como ocorreu com a taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada, porém em valor um pouco mais elevado.

4.4.2.2.3. Taxa constante de perda de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas, estabilidade de agregados e rugosidade superficial do solo

Analisando as figuras 54 a 56, observa-se que a taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada, na combinação dos tratamentos considerados, se correlacionou significativamente (nível de probabilidade de 1%) com as três variáveis de manejo consideradas, sendo as relações no modo potência (inclinação da curva muito forte) para a massa seca de raízes mortas (Figura 54) e no modo exponencial (inclinação da curva forte) tanto para o índice de estabilidade dos agregados do solo em água DMP (Figura 55) quanto para o índice de rugosidade superficial do solo IR (Figura 56), com

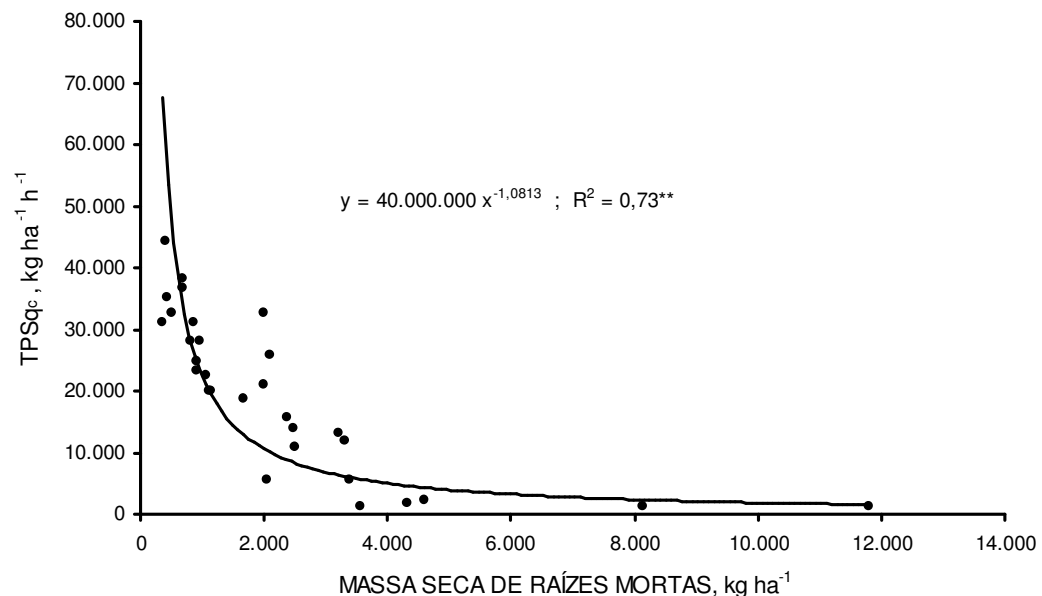


FIGURA 54. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada ($TPSq_c$) com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

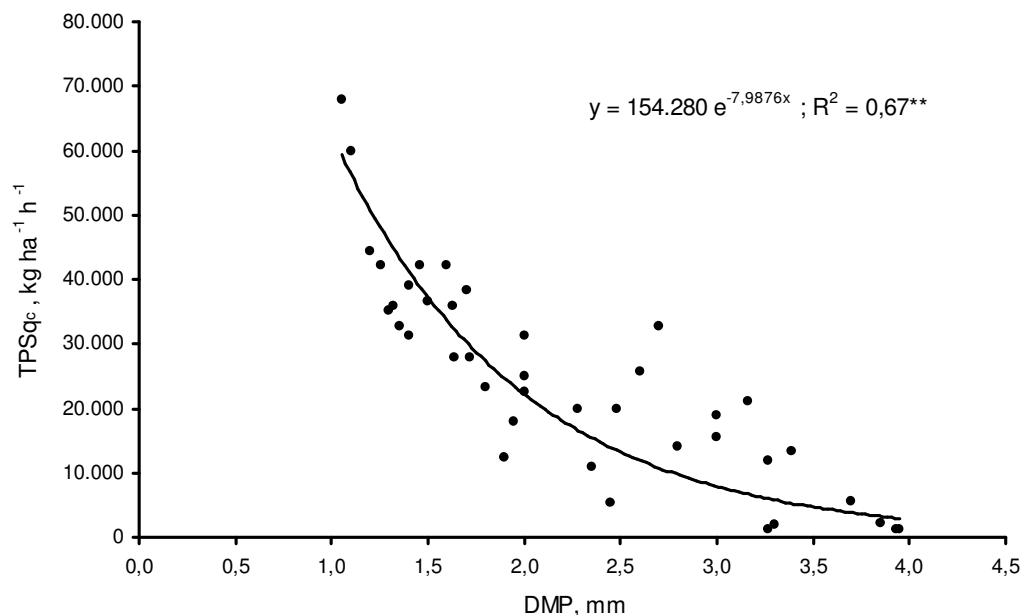


FIGURA 55. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada (TPSq_c) com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

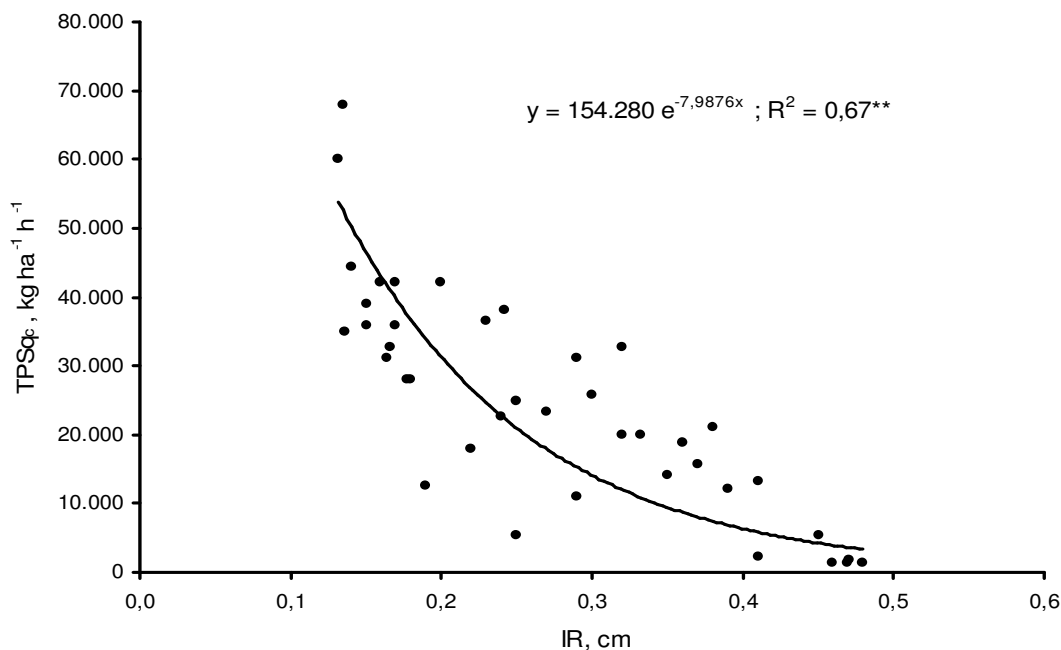


FIGURA 56. Relação da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada (TPSq_c) com o índice de rugosidade superficial do solo (IR) medido logo após os testes de chuva na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

resultado um pouco melhor, entretanto, para a primeira variável ($R^2=0,73$, comparado com $R^2=0,67$ para as duas últimas variáveis). As razões para estes resultados já foram dadas anteriormente. Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, sob tal condição de desenvolvimento do processo erosivo pluvial (superfície de solo mobilizada e descoberta, em processo de degradação), as três variáveis de manejo do solo em questão constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de minimização da taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada em grau muito satisfatório, expressivamente superando o grau verificado tanto com a taxa de infiltração de água no solo na condição de equilíbrio da enxurrada (Figuras 49 a 51) quanto com a perda total de água da chuva na forma de enxurrada (Figuras 52 e 53).

4.4.2.2.4. Perda total de solo por erosão hídrica x massa de raízes mortas e estabilidade de agregados do solo

Analisando as figuras 57 e 58, observa-se que a perda total de solo por erosão hídrica, na combinação dos tratamentos considerados, como era de se esperar, apresentou comportamento muito parecido ao verificado com a taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada, resguardados a magnitude dos valores nas suas relações e o tipo de relação nas suas associações com a massa seca de raízes mortas. Assim, verifica-se que o grau de ajuste do modelo da relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas (Figura 57) foi significativo (nível de probabilidade de 1%), porém, contrariamente ao que foi observado com a taxa constante de perda de solo (relação no modo potência, com inclinação da curva muito forte – Figura 54), de modo exponencial (forte inclinação da curva). Também observou-se que o grau de ajuste do modelo da relação da perda total de solo com o índice de estabilidade do solo em água DMP (Figura 58) foi significativo (nível de probabilidade de 1%), sendo o modelo exponencial (forte inclinação da curva), igualmente como foi verificado com a taxa constante de perda de solo (Figura 55). Os graus de ajuste dos modelos da relação em cada uma delas foram bastante próximos ($R^2=0,62$ com a primeira variável e $R^2=0,67$), bem como bastante próximos dos graus de ajuste dos modelos verificados na relação da taxa constante de perda de solo com estas mesmas duas variáveis de manejo

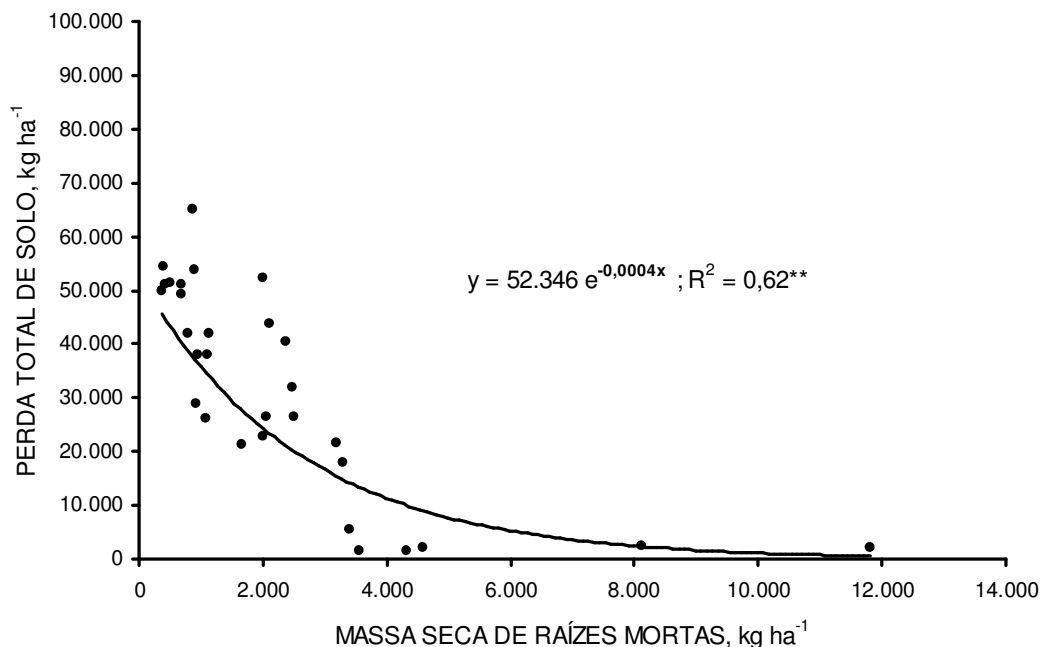


FIGURA 57. Relação da perda total de solo com a massa seca de raízes mortas na camada de solo de 0 a 10 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com os últimos cultivos empregados no experimento.

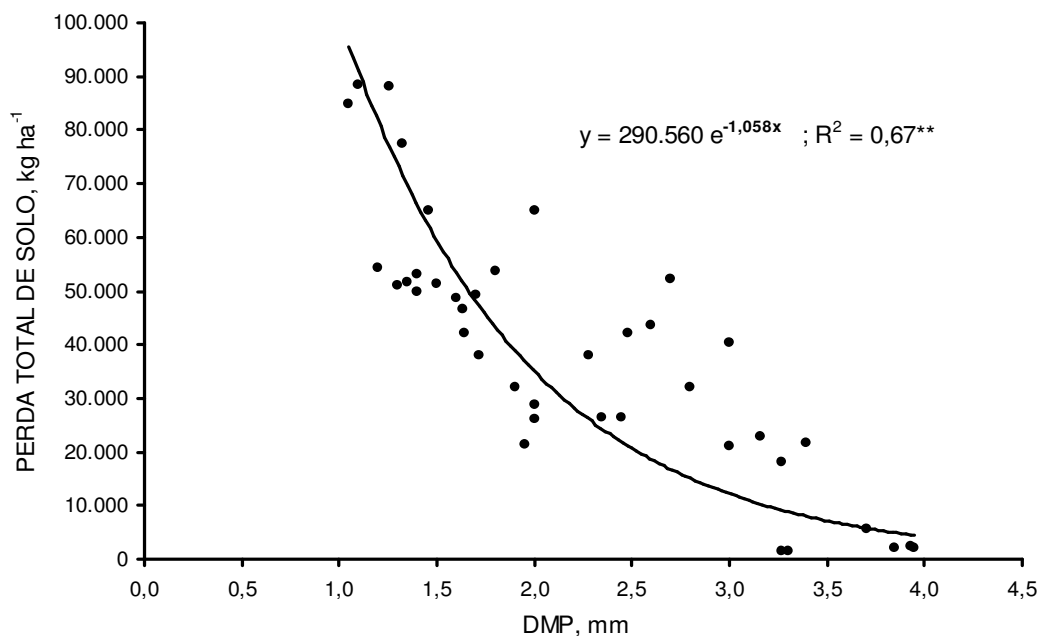


FIGURA 58. Relação da perda total de solo com o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) na sua camada de 0 a 15 cm na condição de solo com superfície mobilizada e descoberta em processo de degradação (testes de chuva T3 a T7), independentemente dos tratamentos com cultivo do solo estudados.

($R^2=0,73$ para a primeira variável e $R^2=0,67$ para a segunda – respectivamente Figuras 54 e 55). As razões para os resultados destas relações também já foram dadas. Com base nos resultados encontrados, pode-se dizer que, sob tal condição de desenvolvimento do processo erosivo pluvial (superfície de solo mobilizada e descoberta, em processo de degradação de suas características), tanto a massa seca de raízes mortas quanto o índice de estabilidade dos agregados do solo em água (DMP) presentes na camada superficial do solo constituíram indicadores físicos da qualidade do mesmo para fins de minimização da perda total de solo por erosão hídrica pluvial em grau muito satisfatório, igualmente como o verificado com a taxa de perda de solo na condição de equilíbrio da enxurrada (Figuras 54 e 55).

Com base no que foi exposto neste item, pode-se dizer que, na condição de solo continuamente mobilizado e descoberto, as três variáveis de manejo consideradas (massa de raízes mortas das culturas, índice de estabilidade dos agregados do solo em água – DMP e índice de rugosidade superficial do solo –IR) deram evidência de servir de promissores indicadores físicos da qualidade do solo para fins de minimização da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado.

5. CONCLUSÕES

Os diferentes tipos e modos de condução das seqüências culturais estudadas influenciaram de modo diferente as condições físicas da camada superficial do solo e, como tal, a erosão hídrica pluvial e o escoamento superficial a ela associado.

As seqüências culturais que produziram maior massa de raízes foram mais eficazes na melhoria das condições físicas da camada superficial do solo e, como tal, no controle da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado.

As características físicas da camada superficial do solo que se diferenciaram de modo significativo entre os tratamentos estudados foram a massa de raízes mortas, o teor de matéria orgânica, o diâmetro médio ponderado dos agregados de solo em água (índice DMP) e a rugosidade superficial do solo (índice IR), sem diferenças entre tratamentos, contudo, no que se refere aos valores de densidade, macro, micro e porosidade total do solo.

As características físicas da camada superficial do solo melhoradas pelo cultivo degradaram relativamente rápido (6 meses), tendo como causas principais a suspensão do cultivo e as ações mecânicas do preparo período e repetido do solo e das chuvas simuladas aplicadas, com seus valores praticamente igualando-se ao final dos testes de chuva e, como tal, igualando-se também os valores de perda de solo e água por erosão hídrica a elas associados.

A perda de água da chuva na forma de enxurrada foi a mais elevada no solo não-mobilizado, cultivado em semeadura direta, independentemente tanto do tipo e modo de condução das seqüências culturais, quanto da cobertura superficial por resíduo cultural, e foi a mais baixa no solo recém-

mobilizado, mesmo sem cobertura superficial por resíduo cultural, mantendo-se assim até o final do experimento.

Contrariamente ao observado com a perda de água, a perda de solo por erosão hídrica foi a mais baixa no solo não-mobilizado (cultivado em semeadura direta) provido de elevada cobertura superficial por resíduo cultural, seguida de perto pela perda tanto do solo não-mobilizado (cultivado em semeadura direta) quanto do solo recém-mobilizado, ambos sem cobertura superficial por resíduo cultural, com os seus valores aumentando expressivamente, entretanto, à medida em que o solo ia sendo preparado.

A massa de raízes mortas, o diâmetro médio ponderado dos agregados de solo em água (índice DMP) e a rugosidade superficial do solo (índice IR) mostraram-se bons indicadores físicos de qualidade para o propósito de redução da perda de água em todas as condições físicas estudadas da camada superficial do solo, e muito bons indicadores para o propósito de redução da perda de solo, porém excetuando-se para este último a condição de solo com elevada cobertura superficial, na qual o efeito das referidas variáveis foi irrelevante.

O efeito residual do uso do solo com culturas anuais na erosão hídrica, nas condições do estudo, foi bastante curto (6 meses), quando comparado com o efeito do uso do solo com pastagem (2 anos), observado na literatura.

Os valores obtidos do coeficiente c (-0,0013 e -0,0048), associado à variável massa de raízes do subfator PLU (uso anterior da terra) do modelo RUSLE de predição da erosão hídrica, ficaram na faixa reportada na literatura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, p. 141-151, 2000.
- ALLISON, F.E. Soil aggregation – some facts and fallacies as seen by a microbiologist. **Soil Science**. Baltimore, v. 106, n. 2, p. 136-143, 1968.
- AMADO, T.J.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p.251-253, 1989.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: ASAE standards 1996: standards engineering practices data. St Joseph, 1996. p.719. (ASAE S313.2).
- BADELUCCI, M.P. **Infiltração de água e perdas por erosão em diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa**. 1997. 137f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.
- BEARE, M.H. Quality and productivity. In: LAL, R. (Ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. 1476 p.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, 1990. 96p.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.187-192, 1987.
- BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.373-379, 1989.

- BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 1000p.
- BROWN, L.C.; FOSTER, G.R.; BEASLEY, D.B. Rill erosion affected by incorporated crop residue and seasonal consolidation. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 32, n. 3, p. 1967-1978, 1989.
- 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, p. 696-700, 1963.
- 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, p. 449-452, 1969.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 383-391, 1999.
- CARTER, M.R. Quality, critical limits and standardization. In: LAL, 2002. R. (ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. Marcel Dekker: New York, 2002. p. 1062-1065.
- CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; VAN LIER, Q.J.; BADELUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 923-931, 1999.
- CASTRO, L.G.; COGO, N.P.; VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 339-352, 2006.
- COGO, N.P. ; CASTRO, L.G. ; Q.J. Van Lier. Índices de rugosidade superficial e sua correlação com perdas de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DE ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **Anais...**Viçosa, MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 1 CD-ROM.
- COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette: Purdue University, 1981. 381 f. Thesis (PhD)- Purdue University, Purdue,1981.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R.; VOLK L.B.S. Indicadores de qualidade do solo: aspectos relacionados à erosão hídrica pluvial e à mecanização tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...**Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.

- 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, 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, p. 368-373, 1984.
- 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.
- COOK, H.L. The nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.1, n.1, p.60-64, 1936.
- DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed) **Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and mineralogical methods**. Madison: SSSA, 1986. p.433-461. (Agronomy Monogr, 9)
- DISSMEYER, G.E; FOSTER, G.R. Estimating the cover-management factor (C) in the soil loss equation for forest conditions. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 4, p. 235-240, 1981.
- DITZLER, C. Quality and erosion. In: LAL, R (Ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.1066-1068.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies. **Agronomy Engineering**, Washington, v. 28, p. 145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.
- ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; GUERRA, M.; ABRÃO, P.U.R. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho-Amarelo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, p. 245-249, 1984.
- EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre o uso do simulador de chuva em pesquisa de Conservação do Solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSAO COM SIMULADOR DE CHUVA, Londrina, 1975. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1975. p. 107-120.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 f.
- FISHER, R.A.; YATES, F. **Tabelas estatísticas para biologia, medicina e agricultura**. São Paulo: EDUSP, 1971. 150p.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San José: IICA, 1975. 212p.

- FOSTER, G.R.; MEYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water – an overview. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION AND SEDIMENTATION BY WATER, 1977, Illinois. **Proceedings...** St. Joseph, 1977. p. 1-13.
- GREGORICH, E.G. Quality. In: LAL, R (Ed.). **Encyclopedia of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.1058-1061.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, p. 319-328, 1960.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 18, p. 107-169, 1966.
- HARTWIG, R.O.; LAFLEN, J.M. A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 33, n. 2, p. 90-91, 1978.
- HERRICK, J.E.; WANDER, M.M. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: the importance of distribution, composition and soil biological activity. In: LAL,R.; KIMBLE, J.; FOLLET, R.; STEWART, B.A. (Eds). **Advances in Soil Science: Soil Processes and the Carbon Cycle**. Boca Ratón, Flórida: [s.n.], 1998. p. 405-425.
- HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3 ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 391p.
- JORGE, J.A.; PRADO, H. do. Porosidade, consistência e propriedades hídricas de três Podzólicos Vermelho-Amarelos e uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.1-6, 1988.
- KARLEN, D.L.; DITZLER, C.A.; ANDREWS, S.S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, p. 145-156, 2003.
- KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI. Soil Science Society of America, 1994 (Special Publication, 35).
- LAL, R.; GREENLAND, B.J. **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chichester: John Willey, 1979. p.7-85.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable environment. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, WI. Soil Science Society of America, 1994. (Special Publication, 35).

- LE BISSONNAIS, Y; ARROUYAS, D. Aggregate stability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 48, p. 39-49, 1997.
- LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 47, p. 425-437, 1996.
- LEVIEN, R.; LIER, Q.J.V. ; ALVES, A.G.C. Influence of surface crust on water infiltration rates measured by a rotating-boom rainfall simulator and a double-cylinder device. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.479-486, 2000.
- LOPES, P.R.C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. 1984. 116f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.
- LYNCH, J.M.; BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. **Advances in Soil Science**, New York, v. 2, p. 133-171, 1985.
- MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p.81-84, 1978.
- MANNERING, J.V.; MEYER, L.D.; JOHNSON, C.B. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p. 206-209, 1968.
- McINTYRE, D.S. Permeability measurement of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 185-189, 1958.
- MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 901-909, 2003.
- MORAIS, L.F.B. **Comprimentos críticos de declive para diferentes manejos de resíduos culturais no sistema plantio direto em um solo podzólico da depressão central – RS**. 1999. 162 f. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.
- MOTA, F.S. Estudos do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema de W. Köepen. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 107-116, 1961.
- PAPENDICK, R.I. ; PARR, J.F. Soil quality – the key to a sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, n. 7, p. 2-3, 1992.

- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. (Agriculture Handbook, 8).
- SCHÄFER, M.J.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; CASSOL, E.A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 431-441, 2001.
- SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMINSTER, T.W. **Soil and water conservation engineering**. New York: J. Willey, 1981. 525p. cap.4: Runoff.
- SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v. 1644, p. 224-234, 1999.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 113-117, 1997.
- SILVA, I.F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. 1993. 126f. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L.D.; SOUZA, L.F. da S. Indicadores físicos e químicos do solo sob o enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiro costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD-ROM.
- 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.
- STRECK, E.V.; COGO, N.P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 141-152, 2003.
- STRECK, E.V.; KÂMPF, N.; KLAMT, E. Atualização da classificação taxonômica das unidades de mapeamento do levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. **Informativo da EMATER/RS**. Série: solos. Porto Alegre, v.16, n.9, 1- 5p., 1999.

- SWANSON, N.P. A rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, p.1738-1743,1965.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER, Jr J.J. Soil Strength-root penetration relations for medium - to coarse - textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1985. 180p.: il.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.
- 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, p.763-774, 2004.
- WILSON, H.A.; BROWNING, G.M. Soil aggregation yields, runoff and erosion as affected by cropping systems. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.10, p. 51-57, 1945.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains**: guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, D.C: USDA, 1965. 47p. (Agr. Handbook, 282).
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning**. Washington, D.C: USDA,1978. 58p. (Agr. Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage to control water erosion. In: CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, 1973, Des Moines. **Proceedings...** Des Moines, 1973. p. 133-144.
- WISCHMEIER, W.H. Estimating the soil loss equations cover and management factor for undisturbed areas. In: Sediment Yield Workshop: present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. 1975, Washington. **Proceedings...** USDA : Washington, 1975. p.118-24.
- WISCHMEIER, W.H. Storms and soil conservation. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 17, p. 55-59, 1962.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v.28, n.337-351, 1936.
- YODER, R.E. The significance of soil structure in relation to the tilth problem. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 2, p. 21-33, 1937.

ZINGG, A.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff.
Agronomy Engineering, Washington, v.21, n.1, p.59-64, 1940.