

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

TÍTULO:

**RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO OCASIONADA POR UMA
ESCARIFICAÇÃO APLICADA APÓS CINCO E MEIO ANOS DE USO DE
SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO, E SUAS RELAÇÕES COM A
EROSIVIDADE DA CHUVA E EROSÃO HÍDRICA EM UM NITOSSOLO
HÁPLICO.**

AUTOR:

WILSON ANTONIO ZOLDAN JUNIOR

Lages, (SC), Brasil, Dezembro de 2006

WILSON ANTONIO ZOLDAN JUNIOR

Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico.

LAGES, SC, BRASIL, DEZEMBRO

2006

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERNÁRIAS – CAV
DEPARTAMENTO DE SOLOS

WILSON ANTONIO ZOLDAN JUNIOR
(Engenheiro Agrônomo CAV/UDESC)

Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico.

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre
em Ciência do Solo

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

LAGES, SC, BRASIL, DEZEMBRO

2006

WILSON ANTONIO ZOLDAN JUNIOR

Engenheiro Agrônomo

Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma escarificação aplicada após cinco e meio anos de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico.

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de
MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Aprovado em:

Pela banca examinadora:

Homologado em:

Por:

Dr. Ildegardis Bertol
Orientador – CAV/UDESC

Dr. Osmar Klauberg Filho
Coordenador do Programa de Mestrado
em Agronomia, Coordenador Técnico
do Curso de Mestrado em Ciência do
Solo

Dr. Álvaro Luiz Mafra

CAV/UDESC

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias

Dr. Milton da Veiga
EPAGRI – CAMPOS NOVOS

LAGES, DEZEMBRO DE 2006

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ildegardis Bertol, pela firme orientação, amizade e exemplo de profissionalismo.

Aos demais professores do Curso de Mestrado em Ciência do Solo, em especial Jaime Antônio de Almeida e Álvaro Luiz Mafra, do CAV – UDESC, pela dedicada atenção, convívio e ensinamentos.

Aos meus pais, Wilson e Delmira e aos meus irmãos, Vinícius e Jocelane, pela compreensão e confiança depositados em mim.

Aos colegas, bolsistas de Iniciação Científica, Leonardo F. Brignoni, Rafael Pegoraro, Evandro L. Fabian e Eduardo Zavaschi, pelo auxílio na condução do experimento no campo e na realização das análises de laboratório.

Aos colegas de Curso de Mestrado, em especial, Fernando Bonafé Sei, Élen Ramos Nichele, André Júlio do Amaral, Fabrício Tontello Barbosa, Rodrigo Vieira Lucianoe Clenilso Motta Sens, pela convivência e amizade.

Aos Eng^{os} Agrônomos Edilceu dos Santos e Almir Luiz Vedana Zaparolli, respectivamente Diretor de Ensino e Professor do Centro Educacional Profissionalizante Caetano Costa, pela concessão da área experimental e apoio nos trabalhos de campo, sem os quais a execução desta pesquisa não teria sido possível.

À Eva Vidal Vázquez, Investigadora Científica da Universidade de Santiago de Compostela, Espanha, pelo fornecimento do programa computacional de cálculo da rugosidade, bem como pelo auxílio no referido cálculo.

Enfim, a UDESC, Brasil, e UDC, Espanha, pelo auxílio financeiro para a bolsa PROMOP e para o custeio da pesquisa, respectivamente.

**RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO OCASIONADA POR UMA
ESCARIFICAÇÃO APLICADA APÓS CINCO E MEIO ANOS DE USO DE
SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO, E SUAS RELAÇÕES COM A EROSIVIDADE
DA CHUVA E EROSÃO HÍDRICA EM UM NITOSSOLO HÁPLICO^{1/}**

Autor: Wilson Antonio Zoldan Junior

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

RESUMO

A cobertura e o manejo do solo são os fatores mais importantes na redução da erosão hídrica, dependente dos resíduos culturais e copa das plantas, rugosidade superficial do solo, efeito residual do uso do solo e teor de água no solo. Com o objetivo de estudar o efeito de uma operação de escarificação e de chuvas intensas sobre a rugosidade e a tortuosidade superficial e sobre a erosão hídrica do solo, conduziu-se um experimento sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico Alumínico típico, com declividade média de 0,17 m m⁻¹, em São José do Cerrito, SC, no período de junho de 2005 a março de 2006. O estudo foi efetuado em um experimento conduzido por cinco e meio anos, com os seguintes tratamentos: preparo convencional com aração + duas gradagens (PCE), semeadura direta sobre resíduos culturais queimados (SQE) e semeadura direta tradicional (STE), todos com cultivo do solo, além de um preparo convencional com aração + duas gradagens, mantido permanentemente descoberto, com eliminação da vegetação espontânea através de escarificações manuais (SCE). Efetuaram-se cinco testes de chuva simulada, com intensidade constante de 64 mm h⁻¹ e durações de 20, 30, 40, 50 e 60 minutos, respectivamente. A rugosidade e a tortuosidade superficial foram determinadas imediatamente antes da operação de preparo do solo com escarificador, imediatamente após escarificação e imediatamente após cada teste de chuva simulada. A rugosidade e a tortuosidade superficial ao acaso variaram entre os tratamentos e entre as épocas de determinações e influenciaram a erosão hídrica. Antes do preparo do solo, a rugosidade ao acaso foi 83%, 57% e 38% maior no tratamento PCE do que no SCE, SQE e STE, respectivamente, enquanto após o preparo do solo com escarificador, esta rugosidade foi 14%, 23% e 108% maior no tratamento STE que no SQE, PCE e SCE, respectivamente. A aplicação dos cinco testes de chuva simulada e a ocorrência de chuva natural diminuiu a rugosidade superficial ao acaso em todos os tratamentos. No STE, esta rugosidade ao final das chuvas era 8% e 11% maior que no SQE e PCE, respectivamente. As marcas de preparo do solo influenciaram mais a rugosidade superficial ao acaso do que a declividade do terreno. A tortuosidade ao acaso da superfície do solo se comportou de modo semelhante à rugosidade ao acaso, tanto entre tratamentos quanto entre épocas de determinação. A erosão hídrica diminuiu com o aumento da rugosidade superficial do solo, e com o aumento da intensidade de preparo do solo e aumentou com o aumento do número de chuvas simuladas aplicadas.

PALAVRAS CHAVE: chuva simulada, erosão hídrica, microrelevo superficial.

^{1/}Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Dezembro de 2006.

**SOIL SURFACE ROUGHNESS CAUSED BY SCARIFYING APPLIED AFTER
FIVE AND MEAN YEARS OF USE WITH SOIL MANAGEMENT SYSTEMS, AND
THIS RELATIONSHIP WITH THE RAINFALL EROSION AND WATER
EROSION ON HAPLUOX SOIL^{1/}**

Author: Wilson Antonio Zoldan Junior

Adviser: Dr. Ildegaris Bertol

ABSTRACT

The factor soil covering and management is the most important in reducing water erosion, influenced by soil cover, to depend by crop residues and plant canopy, soil surface roughness, residual effect of the use, and soil water content. With the objective of studying the effect of a chisel operation and intense rainfall on the soil surface roughness and tortuosity and soil water erosion, it was carried out an experiment under simulate rainfall on a Typic Hapludox, with slope of $0,17 \text{ m m}^{-1}$, in São José of Cerrito, SC, Southern Brazil, from June, 2005 to March, 2006. The experiment was conducted in soil management systems during five and a half years. The treatments were: i) conventional tillage with soil crop (CTC); ii) no tillage on burned cultural residues with crops (NBC); iii) traditional no tillage with crops (NTC), and iv) besides a conventional tillage without crops (BSC). Five simulated rainfall tests were applied with constant intensity of 64 mm h^{-1} and durations of 20, 30, 40, 50 and 60 minutes, respectively. The soil surface roughness and tortuosity were evaluated immediately before the tillage operation with chisel, immediately after chiseling, and immediately after each simulated rainfall test. The random soil surface roughness and tortuosity varied among the treatments and among the times and they influenced the water erosion. Before the soil tillage, the random roughness was 83%, 57% and 38% higher in the treatment CTC than in BSC, NBC and NTC, respectively, while after the soil tillage with chisel, this roughness was 14%, 23% and 108% larger in the treatment NTC than in NBC, CTC and BSC, respectively. The application of the five tests of simulated rainfall reduced the surface roughness in all of the treatments. In NTC, this roughness at the end of the rainfall was 8% and 11% higher than in NBC and CTC, respectively. The marks of soil tillage influenced more the random soil surface roughness than the steepness of the land. The random soil surface tortuosity behaved in the similar way as the random roughness, so much among treatments as among determination times. The water erosion decreased with the increase of the soil surface roughness. Like this, the water erosion decreased with the increase of the soil tillage intensity and it increased with the increase of the applied rainfall number.

KEYWORDS: simulate rainfall, water erosion, surface microrelief.

^{1/}Dissertation of master Soil Science, Center of Agroveterinary Science, Santa Catarina State University, Lages, December, 2006.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Erosão hídrica do solo	3
2.1.1. Fatores que afetam a erosão hídrica do solo	4
2.2. Rugosidade superficial do solo	8
2.2.1. Considerações gerais	8
2.2.2. Influência do preparo do solo na rugosidade superficial	10
2.2.3. Influência da consolidação do solo na rugosidade superficial	12
2.2.4. Influência da chuva sobre a rugosidade superficial do solo	13
2.2.5. Influência das propriedades físicas do solo sobre a rugosidade superficial	15
2.2.6. Influência da rugosidade superficial na erosão hídrica	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Localização da área experimental e características da região	20
3.2. Solo	20
3.3. Histórico da área experimental	21
3.4. Tratamentos de preparo do solo	23
3.5. Unidade experimental	24
3.6. Aparelho simulador de chuvas e chuvas simuladas aplicadas	25
3.7. Medida da rugosidade da superfície do solo	27
3.7.1. Descrição do rugosímetro utilizado	28
3.7.2. Área amostrada e obtenção dos dados de rugosidade	29
3.7.3. Rugosidade da superfície do solo	30
3.7.4. Obtenção das fotos	30
3.8. Obtenção de amostras de solo	31
3.9. Determinações efetuadas em campo, após o preparo do solo com escarificador	31

3.10. Determinações efetuadas em campo, antes da aplicação dos testes de chuva simulada	32
3.10.1. Teor de água atual do solo	32
3.11. Determinações efetuadas em campo, durante a aplicação dos testes de chuva simulada	32
3.11.1. Tempos de empoçamento, início e término da enxurrada	32
3.11.2. Amostragem da enxurrada	32
3.11.3. Velocidade da enxurrada	33
3.11.4. Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas	33
3.12. Determinações efetuadas em campo, após a aplicação dos testes de chuva simulada	34
3.13. Procedimentos, determinações e cálculos efetuados no laboratório	34
3.13.1. Características físicas do solo	34
3.13.2. Índices de rugosidade da superfície do solo	36
3.13.2.1. Retirada de tendência dos dados originais	36
3.13.2.2. Cálculo dos índices de rugosidade	37
3.13.3. Intensidade, volume total e erosividade das chuvas ocorridas	37
3.13.4. Volume da enxurrada	39
3.13.5. Volume total de infiltração de água no solo	40
3.13.6. Concentração de sedimentos na enxurrada	40
3.13.7. Taxa instantânea e quantidade total de perda de solo	41
3.13.8. Índice D_{50} dos sedimentos transportados na enxurrada	41
3.14. Ajuste de dados para perdas de solo e água	42
3.15. Tratamento estatístico	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Propriedades físicas do solo	44
4.1.1. Densidade do solo	44
4.1.2. Volume de macroporos	46
4.1.3. Teor de carbono orgânico	47
4.1.4. Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP)	48
4.2. Índice de rugosidade superficial do solo	50
4.2.1. Índice de rugosidade original do solo	50
4.2.2. Índice de rugosidade linear do solo	52
4.2.3. Índice de rugosidade ao acaso do solo	54
4.3. Índice de tortuosidade superficial do solo	58
4.3.1. Índice de tortuosidade original do solo	58
4.3.2. Índice de tortuosidade linear do solo	60
4.3.3. Índice de tortuosidade ao acaso do solo	62
4.4. Relações da rugosidade superficial do solo com as propriedades do solo	66
4.4.1. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x DMP	66
4.4.2. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x CO	69
4.4.3. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x D_s	71
4.5. Influência da rugosidade superficial do solo na erosão hídrica	73
4.5.1. Teor de água no solo imediatamente antes do início dos testes de	

chuva simulada	73
4.5.2. Tempo de empoçamento e de início da enxurrada	74
4.5.3. Infiltração total de água no solo	76
4.5.4. Volume total de enxurrada	77
4.5.5. Concentração de sedimentos na enxurrada	78
4.5.6. Perda total de solo	79
4.5.7. Índice D_{50}	81
5. CONCLUSÕES	83
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
7. ANEXOS	91

LISTA DE TABELAS

	<i>Página</i>
Tabela 1. Duração das chuvas simuladas aplicadas	27
Tabela 2. Intensidade das chuvas simuladas aplicadas	38
Tabela 3. Volume total de chuvas simuladas aplicadas	39
Tabela 4. Erosividade das chuvas simuladas aplicadas e das chuvas naturais ocorridas durante o período experimental.....	39
Tabela 5. Valores de densidade global de um Nitossolo Háplico alumínico, determinada antes do preparo do solo com escarificador e após as chuvas simuladas aplicadas (média de duas repetições)	45
Tabela 6. Valores de volume de macroporos determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições).....	47
Tabela 7. Valores de carbono orgânico do solo determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)	48

Tabela 8. Valores de diâmetro médio ponderado de agregados do solo determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições).....	49
Tabela 9. Rugosidade da superfície do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).....	51
Tabela 10. Tortuosidade da superfície do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo com escarificador e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)	59
Tabela 11. Teor de água em duas profundidades do solo antes de cada teste de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).....	74
Tabela 12. Tempo de empoçamento da enxurrada na superfície do solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).....	75
Tabela 13. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições).....	76
Tabela 14. Infiltração total observada de água no solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)	77
Tabela 15. Volume total de enxurrada ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h ⁻¹ , em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições).....	78
Tabela 16. Concentração de sedimentos na enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições).....	79
Tabela 17. Perda total de solo ajustada para a intensidade e chuva planejada de 64 mm h ⁻¹ e para a declividade média das parcelas experimentais de 0,17 m m ⁻¹ , em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições).....	80
Tabela 18. Índice D ₅₀ dos sedimentos transportados pela enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições).....	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ilustração do rugosímetro utilizado no estudo	28
Figura 2. Relação entre o DMP e o teor de carbono orgânico, CO, determinados antes da escarificação na camada de 0,5 – 3,0 cm, em um Nitossolo Háplico alumínico	50
Figura 3. Relação entre a rugosidade linear e a rugosidade original da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico submetidos a escarifi-cação mecânica (média de duas repetições)	53
Figura 4. Relação entre a rugosidade ao acaso e a rugosidade linear da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)	53
Figura 5. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície RR, e o índice de erosividade das chuvas, EI ₃₀ , sob diversos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica	57
Figura 6. Relação entre a tortuosidade linear e a tortuosidade original da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)	61
Figura 7. Relação entre a tortuosidade ao acaso e a tortuosidade linear da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico submetido à escarificação mecânica (média de duas repetições)	61
Figura 8. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o índice de erosividade das chuvas, EI ₃₀ , sob diversos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica.....	65

Figura 9. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e o diâmetro médio ponderado de agregados, DMP, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)	68
Figura 10. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o diâmetro médio ponderado de agregados, DMP, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)	68
Figura 11. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e o teor de carbono orgânico, CO, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).....	70
Figura 12. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o teor de carbono orgânico, CO, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)	70
Figura 13. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e a densidade do solo, Ds, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).....	72
Figura 14. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e a densidade do solo, Ds, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)	72

ANEXOS

	Página
Anexo1. Declividade média das parcelas experimentais (valor de cada repetição).....	91
Anexo 2. Densidade do solo de um Nitossolo Háplico alumínico, determinada antes do preparo do solo com escarificador e após as chuvas simuladas aplicadas (valor de cada repetição).....	92
Anexo 3. Volume de macroporos antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição).....	93
Anexo 4. Carbono orgânico do solo determinado antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição)	93
Anexo 5. Diâmetro médio ponderado de agregados do solo determinado antes o preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição).....	94
Anexo 6. Rugosidade do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de preparo de um Nitossolo submetido à escarificação mecânica (valor de cada repetição)	95
Anexo 7. Tortuosidade do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de preparo de um Nitossolo submetido a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	96
Anexo 8. Teor de água em duas profundidades do solo antes de cada teste de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição)	97

Anexo 9. Tempo de empoçamento da enxurrada na superfície do solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	97
Anexo 10. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	98
Anexo 11. Infiltração total observada de água no solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	98
Anexo 12. Volume total de enxurrada ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h^{-1} , em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico submetido a escarificação mecânica (valor de cada repetição)	99
Anexo 13. Concentração de sedimentos na enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	99
Anexo 14. Perda total de solo ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h^{-1} e para a declividade média das parcelas experimentais de $0,171 \text{ m m}^{-1}$, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	100
Anexo 15. Índice D_{50} dos sedimentos transportados pela enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (valor de cada repetição).....	100

1. INTRODUÇÃO

A erosão hídrica tem sido um grande problema na agricultura brasileira, afetando, em maior ou menor grau, a sustentabilidade dos agroecossistemas. O preparo do solo desempenha importante papel na erosão hídrica de áreas cultivadas. O processo de degradação do solo, principalmente pela erosão hídrica, é gradual e irreversível, já que o solo, uma vez perdido, torna-se irrecuperável. Além disso, o tempo necessário para que se forme solo a partir do material de origem é extremamente longo.

A rugosidade superficial se constitui numa das condições físicas de superfície do solo mais importante do ponto de vista de redução da erosão hídrica. A rugosidade tem efeito positivo na retenção e infiltração superficial da água da chuva no solo, na redução do volume e da velocidade da enxurrada e no aprisionamento dos sedimentos erodidos, com efeitos marcantes na conservação do solo e da água.

A maior ou menor rugosidade da superfície do solo permite armazenar diferentes quantidades de água nas microdepressões, sendo que superfícies mais rugosas têm maior capacidade de armazenar água temporariamente em relação a superfícies menos rugosas. A quantidade de água que infiltra no solo depende, em grande parte, da retenção de água na superfície, já que a maior parte da água armazenada na superfície do solo tende a infiltrar. Assim, elevados valores de rugosidade estão relacionados à elevada infiltração de água no solo. Ainda, pode-se dizer que, além de aumentar a infiltração, a rugosidade da superfície

do solo aumenta a resistência hidráulica do escoamento superficial e, portanto, reduz a velocidade da enxurrada.

Em diferentes condições de clima e solo, o método de preparo a ser adotado tem um importante papel no processo erosivo. Ao se submeter o solo a um sistema de manejo conservacionista, onde o preparo é executado por meio de escarificador, a rugosidade da superfície, formada pelas elevações e depressões, torna-se o fator mais importante porque permite alta infiltração da água da chuva. Este tipo de preparo conservacionista do solo tem características intermediárias entre o preparo convencional e a semeadura direta, já que a escarificação resulta em aumento de rugosidade e porosidade superficial, mantendo elevada cobertura do solo, sem provocar compactação subsuperficial.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a rugosidade ocasionada por uma operação de escarificador em distintos sistemas de manejo do solo cultivados durante cinco anos e meio e relacioná-la com a erosividade das chuvas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Erosão hídrica do solo

A erosão hídrica pluvial do solo é o resultado de um trabalho mecânico que requer energia, a maior parte dela fornecida pelas gotas de chuva, mas, também, pela enxurrada superficial (Wischmeier & Smith, 1958). Este trabalho se dá em três fases: desagregação, transporte e deposição das partículas do solo (Ellison, 1947). A desagregação consiste no desprendimento ou ruptura das partículas da massa do solo, sendo a fase mais importante do processo erosivo, pois, se não houver a desagregação inicial, poderá não haver o transporte e, consequentemente, a deposição. O transporte consiste na remoção das partículas desagregadas para algum lugar fora do ponto de origem, enquanto a deposição, última fase do processo erosivo, ocorre toda vez que a massa de sedimentos em suspensão na água da enxurrada excede sua capacidade de transporte. A deposição é seletiva, de modo tal que as partículas de maior tamanho e/ou densidade são depositadas primeiramente e, as demais, posteriormente (Ellison, 1947; Foster & Meyer 1972; Foster, 1982).

Na erosão hídrica pluvial, o impacto das gotas de chuva e o escoamento de água sobre a superfície do solo são os agentes erosivos ativos. A enxurrada superficial é o principal agente transportador das partículas de solo, a qual pode se mover sobre ampla área, na forma de lâmina delgada (fluxo laminar), como ocorre na erosão em entressulcos,

ou, em função da microtopografia do terreno, concentrar-se em canais (fluxo concentrado), como ocorre na erosão em sulcos (Ellisson, 1947).

Na erosão em entressulcos, que ocorre principalmente na superfície de solos descobertos, a desagregação do solo se dá pelo impacto das gotas de chuva, enquanto o transporte das partículas desagregadas se dá pela ação do salpico ocasionado pelo impacto das gotas combinado à ação do escoamento laminar turbulento. O impacto das gotas de chuva, embora em geral não cause desagregação do solo abaixo da lâmina de água, tem sua capacidade de desagregação e transporte aumentada por criar turbulência no fluxo. Na erosão em sulcos, que ocorre principalmente na superfície de solos descobertos, tanto a desagregação quanto o transporte são causados pela ação da enxurrada concentrada nos sulcos (Meyer et al., 1975; Albert et al., 1980; Foster, 1982).

2.1.1. Fatores que afetam a erosão hídrica do solo

A erosão hídrica pluvial do solo é determinada pela combinação de fatores físicos e de manejo, tais como o clima, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas de suporte, os quais se manifestam com intensidade variável (Wischmeier, 1959; Wischmeier & Smith, 1978). Matematicamente, para idênticas condições de topografia, cobertura e manejo do solo, a erosão hídrica pluvial é igual ao produto da erosividade da chuva pela erodibilidade do solo (Hudson, 1995).

O clima interfere na intensidade, duração e volume das chuvas, as quais influenciam o tamanho e energia das gotas e as características da enxurrada e, assim, definem sua erosividade (fator R da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE e da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada - RUSLE). A chuva e a enxurrada, as quais afetam a

desagregação e transporte do solo na erosão hídrica pluvial, são os principais componentes do fator clima e se constituem nos agentes ativos da erosão hídrica pluvial. Assim, o fator R da USLE e da RUSLE representa a capacidade potencial da chuva e da enxurrada em causar erosão hídrica pluvial do solo (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).

O solo é o agente passivo no processo de erosão hídrica pluvial. Sua susceptibilidade natural à erosão é representada pelo índice de erodibilidade do solo (fator K da USLE e RUSLE), o qual expressa a taxa de perda de solo por unidade de índice de erosividade (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). O fator K, portanto, reflete o efeito combinado das propriedades intrínsecas do solo na erosão hídrica. Algumas dessas propriedades influenciam a capacidade de infiltração de água do solo e, portanto, determinam o volume e a taxa de enxurrada superficial. Outras influenciam a capacidade do solo resistir à desagregação e ao transporte pelos agentes erosivos e, portanto, determinam a concentração de sedimentos na enxurrada (Wischmeier & Mannering, 1969).

A topografia do terreno é composta basicamente pela inclinação do terreno e comprimento da rampa que, em conjunto, afetam a taxa de erosão hídrica pluvial do solo. Estes dois fatores são avaliados separadamente, mas, no campo, ocorrem concomitantemente e, para fins de estudo do seu efeito sobre a erosão hídrica, são considerados como um fator único, o fator topográfico (fator LS da EUPS e da EUPSR) (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). As perdas de solo por unidade de área aumentam com o aumento do comprimento de rampa, decorrente do aumento do volume de enxurrada superficial que faz aumentar sua capacidade de desagregação e transporte (Wischmeier & Smith, 1978). Entretanto, as perdas de solo aumentam mais acentuadamente com o aumento da inclinação do declive do que com o aumento do comprimento da rampa, uma vez que a influência do grau do declive na velocidade e no

volume de enxurrada é maior (Wischmeier & Smith, 1978). Assim, a erosão hídrica pluvial do solo é proporcional à inclinação do declive elevada à potência média de 1,5, enquanto em relação ao comprimento da rampa ela é proporcional à potência média de 0,5 (Hudson, 1995).

Por definição, o fator cobertura e manejo (C) e a relação entre as perdas de solo de uma dada área sob determinados tipos de cobertura vegetal, manejo e preparo, e as perdas de solo de uma área continuamente preparada no sentido paralelo ao declive, em pousio, descoberta e com rugosidade mínima (parcela padrão). Assim, o fator C varia de zero a um, aproximando-se de zero nos sistemas de manejo conservacionistas e de um nos sistemas de manejo convencionais, sendo igual a um na parcela padrão da USLE e da RUSLE (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). O fator cobertura e manejo do solo (fator C da USLE e da RUSLE) é o mais importante na redução da erosão hídrica, pois, além de ser mais facilmente implementado no solo, ele reduz mais expressivamente a erosão hídrica do que os demais fatores (Wischmeier & Smith, 1978). A cobertura do solo inclui aquela ocasionada pelos resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo e pelas copas das plantas (Foster, 1982).

O fator C varia amplamente para cada tipo de cultura, tipo de preparo, manejo e cultivo do solo, quantidade, tipo e forma de manejo dos resíduos culturais. Além da variação da erosividade e erodibilidade, o fator C sofre o efeito da variação do período vegetativo, cobertura do solo pela copa das plantas, cobertura do solo por resíduos culturais, manejo dos resíduos culturais, tipo de preparo do solo, tipo de rotação de culturas e efeito residual de cultivos anteriores (Wischmeier & Smith, 1978).

No sistema convencional de preparo de solo, ocorre intenso revolvimento, com conseqüente quebra dos agregados na camada superficial e alta decomposição dos resíduos

vegetais e da matéria orgânica, além da eliminação da cobertura vegetal, com considerável efeito prejudicial à qualidade da estrutura do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). A cobertura do solo por resíduos vegetais é afetada pelo sistema de preparo e manejo do solo, o qual ainda exerce influência sobre as propriedades físicas do solo na camada superficial, alterando a taxa de infiltração de água e a enxurrada superficial e, portanto, afetando as perdas de solo (Cogo, 1981; Bertol, 1987; Bertol, 1997a).

Os sistemas de manejo conservacionistas de solo, com pouca ou quase nenhuma mobilização, tais como o cultivo mínimo e a semeadura direta, respectivamente, mantém os resíduos vegetais na superfície e promovem aporte contínuo de matéria orgânica na camada superficial do solo. Estes aspectos, dentre outros, são responsáveis pela formação e manutenção de estrutura de boa qualidade no solo (Bayer & Mielnickzuk, 1997). Em contrapartida, a ausência de preparo do solo por longo tempo, como no caso da semeadura direta, aumenta a densidade do solo e reduz a porosidade na superfície do solo (Bertol et al., 2001), aumenta a estabilidade dos agregados, e diminui a rugosidade superficial (Schick et al., 2000a; Leite, 2003; Mello et al., 2003; Bertol et al., 2006).

Por definição, o fator práticas conservacionistas (P) estabelece a relação entre as perdas de solo de uma área, sob dada prática conservacionista de suporte, e as perdas de solo de uma área contígua, sem nenhuma dessas práticas (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997). As práticas conservacionistas de suporte (fator P da USLE e RUSLE) compreendem o preparo e cultivo em contorno, o cultivo em faixas em contorno com rotação de culturas e o terraceamento. Estas práticas objetivam, principalmente, reduzir a ação erosiva da enxurrada superficial, sendo complementares às práticas conservacionistas básicas, dadas pela cobertura e manejo do solo.

2.2. Rugosidade superficial do solo

2.2.1. Considerações gerais

A rugosidade da superfície do solo é representada pela microondulação do terreno, mais precisamente pelas microelevações e microdepressões da superfície do solo, bem como pela sua distribuição espacial (Kuipers, 1957; Allmaras et al., 1966).

Assim, a rugosidade depende de fatores intrínsecos do solo, tais como o tipo de solo e umidade do solo no momento do seu preparo (Allmaras et al., 1967), mas, principalmente, depende do tipo de preparo. A maior parte dos estudos sobre rugosidade superficial do solo e sua evolução tem sido motivados pela necessidade de dados para calcular o volume de água retida nas microdepressões da superfície do solo (Larson, 1962; Moore & Larson, 1979; Linden, 1979; Onstand, 1984; Zobeck & Onstand, 1987; Kamphorst et al., 2000).

Burwell et al. (1963) sugeriu que podem ser reconhecidos dois tipos de rugosidade de superfície: aquela orientada pelo preparo, a qual é influenciada pelas marcas do preparo, e aquela aleatória, a qual é caracterizada pela ocorrência irregular de elevações e depressões na superfície do terreno. O primeiro tipo pode ser ilustrado pela rugosidade produzida pelas marcas do preparo do solo, ou seja, é caracterizada pela presença ordenada de elevações (pequenos diques) e depressões (pequenos sulcos) na superfície do terreno, as quais podem estar dispostas na direção do declive ou transversal ao mesmo. O segundo tipo é caracterizado pela ocorrência irregular de elevações e depressões, não permitindo, por meio da observação visual, identificar-se à direção do preparo. Tanto a rugosidade superficial ao acaso quanto à orientada no sentido transversal ao declive, reduzem as perdas de solo e

água por erosão hídrica, uma vez que elas aumentam a retenção superficial da água da chuva, aumentando a infiltração da mesma no solo e reduzindo a quantidade e velocidade do escoamento superficial e, ainda, aprisionando sedimentos.

Grande parte das diferenças nos valores de rugosidade é determinada pela orientação do perfil (conjunto de agulhas do rugosímetro) no momento da leitura no campo. Essas diferenças nos valores de rugosidade são maiores quando o perfil é colocado na direção transversal à orientação do preparo do solo. Por isso, para obter-se a real rugosidade superficial numa condição de terreno sem declive, é necessário eliminar a influência da orientação ocasionada pelas marcas de preparo do solo, criando a aleatoriedade na rugosidade. Portanto, o valor da rugosidade aleatória é real e a da rugosidade orientada é superestimada, pois ela resulta do somatório de variações devidas à declividade do terreno e às marcas de preparo do solo com a rugosidade ao acaso.

O microrelevo da superfície do solo pode ser representado por um índice, o qual pode apresentar uma importante relação inversa com a erosão hídrica, devido à retenção da água e dos sedimentos nas microdepressões da superfície do solo (Dexter, 1977). A capacidade de retenção de água nas microdepressões da superfície do solo é um parâmetro que pode ser utilizado na conservação da água e do solo, pois a rugosidade promove aumento na retenção de água e redução simultânea do escoamento superficial e, consequentemente, redução da erosão hídrica (Zobeck & Onstad, 1987). Portanto, os processos hidrológicos de infiltração de água no solo e escoamento superficial estão relacionados entre si, sendo, também, dependentes da capacidade de retenção temporária de água na superfície do solo.

2.2.2. Influência do preparo do solo na rugosidade superficial

A rugosidade da superfície do solo em terras cultivadas depende de vários fatores, tais como tipo, intensidade e período de tempo de preparo do solo, quantidade e tipo de resíduo cultural, conteúdo de água do solo no momento do preparo, tipo de solo (Allmaras et al., 1966; Cogo, 1981; Römkens & Wang, 1986; Kamphorst et al., 2000; Schick et al., 2000; Vidal Vázquez, 2002; Bertol et al., 2006), bem como da declividade do terreno. Para a manutenção da rugosidade, ou seja, sua persistência no tempo, fatores como volume e intensidade das chuvas, enxurrada superficial, tipo e grau de degradação física do solo, devem ser levados em consideração (Dexter, 1977; Cogo, 1981; Paz González & Taboada Castro, 1996; Eltz & Norton, 1997; Schick et al., 2000; Vidal Vázquez, 2002; Bertol et al., 2006). Dentre todos estes fatores, o preparo do solo exerce papel fundamental na rugosidade.

A rugosidade da superfície do solo pode variar consideravelmente com os diferentes tipos de preparo. De acordo com Zobeck & Onstad (1987), são esperadas variações até mesmo com o mesmo equipamento, principalmente quando ocorrem variações de umidade do solo, velocidade e profundidade de preparo, quantidade e qualidade de resíduo vegetal e textura de solo. Os autores observaram que as variações devido a estes fatores podem ser maiores do que aquelas ocorridas entre tipos de preparo.

O método de preparo do solo a ser adotado numa dada área depende das condições de clima e solo locais, devendo ser ajustado a cada situação. O desconhecimento e/ou a desconsideração deste fator pode levar os agricultores a utilizarem um método de preparo do solo que nem sempre é o mais adequado para suas condições, o que poderá acelerar a degradação de suas terras de cultivo (Larson & Gill, 1973). De modo geral, o aumento do número de operações, principalmente com equipamentos de preparo secundário do solo,

diminui a rugosidade e a porosidade total da camada preparada (Burwell et al., 1963) e aumenta a desagregação e a quantidade de solo disponível ao transporte (Cogo, 1981).

A forma mais usual de modificar a rugosidade superficial do solo é por meio de preparo, revelando a importância desta operação de manejo no aumento da rugosidade superficial e, consequentemente, na capacidade de armazenagem de água e retenção de sedimentos na superfície do solo (Bertol et al., 2004; Castro et al., 2006; Bertol et al., 2006). Assim, o solo submetido a um sistema de manejo conservacionista, tal como o preparo é mínimo que executado por meio de escarificador com ou sem gradagem, apresenta a superfície mais rugosa do que quando submetido a um sistema de manejo convencional, onde o preparo é intensivo e executado por meio de arado de discos, seguido de operações com grade. No preparo convencional do solo, por sua vez, a superfície se apresenta mais rugosa do que quando o solo é mantido por algum tempo sem preparo, como é o caso do sistema de manejo em semeadura direta (Cogo, 1981; Bertol, 1995; Bertol et al., 1997; Schick et al., 2000; Bertol et al., 2004; Bertol et al., 2006).

No sistema de semeadura direta, grande parte da rugosidade superficial do solo é representada pelos resíduos vegetais remanescentes dos cultivos anteriores, enquanto pequena parte da rugosidade é representada pela ondulação da superfície do solo propriamente dita. A rugosidade superficial formada por resíduos vegetais apresenta menor capacidade de reter água de enxurrada na superfície do solo do que a rugosidade formada pelo preparo. Embora a rugosidade do resíduo seja mais persistente no tempo do que a rugosidade do solo, esta é composta por microdepressões e microelevações da superfície do terreno, o mesmo não ocorrendo com o do resíduo.

Na ausência de resíduo vegetal sobre a superfície do solo e sob efeito de chuvas de longa duração e contínuas, a rugosidade superficial praticamente não tem efeito na retenção

e infiltração de água no solo (Castro et al., 2006; Bertol et al., 2006), pela formação de selo na superfície causado pelo impacto direto das gotas de chuva.

2.2.3. Influência da consolidação do solo na rugosidade superficial

A consolidação da superfície do solo é resultado do aumento da densidade do solo, que por sua vez afeta a porosidade total. O tamanho e resistência dos torrões estão relacionados com a densidade do solo (quanto maior a densidade do solo, maior o tamanho e a resistência dos torrões). A consolidação também está relacionada com o método de preparo do solo, ou seja, com o número de operações mecânicas ao qual é submetido o solo durante o seu preparo.

O tratamento de solo na parcela padrão, caracterizado por aracões, gradagens e escarificações manuais executadas duas vezes ao ano durante 15 anos e a completa ausência de vegetal, ocasionam acentuado rebaixamento do teor de matéria orgânica, da atividade biológica e da resistência dos agregados à ação da água. No entanto, apresentam índice de rugosidade ao acaso praticamente igual ao tratamento que difere deste somente pelo fato do solo ser cultivado, além dos resíduos vegetais permanecerem sobre o solo, sendo explicado pelo grande tamanho e elevada compacidade dos torrões formados no solo por ocasião do seu preparo naquele tratamento (Bertol et al., 2006). O preparo realizado sobre solo compactado resulta em maior número de torrões sobre a superfície do solo do que o mesmo preparo realizado sobre solo não compactado (Johnson et al., 1979).

2.2.4. Influência da chuva sobre a rugosidade superficial do solo

A rugosidade ao acaso da superfície do solo diminui com o aumento do impacto das gotas de chuva, devido ao efeito da energia cinética das mesmas que, incidindo diretamente sobre o solo, total ou parcialmente descoberto dependendo do tipo de manejo, desgastam as microelevações da superfície do solo (Bertol et al., 2004). Os sedimentos desagregados são depositados nas microdepressões, reduzindo, ainda, a infiltração de água no solo. A enxurrada superficial, por sua vez, pode reduzir a rugosidade ao acaso e, às vezes, aumentar a rugosidade orientada devido ao efeito dos sulcos de erosão (Bertol, 1986).

De acordo com Zobeck e Onstad (1987), a diminuição da rugosidade ocorre principalmente pela separação de sedimentos da massa do solo, especialmente nas cristas das microelevações do terreno, devido ao impacto das gotas de chuva e ao cisalhamento da enxurrada, com consequente acomodação destes sedimentos nas microdepressões do terreno. Três possíveis mecanismos tomam parte na diminuição da rugosidade da superfície do solo: a) as partículas de solo são erodidas das cristas dos torrões de solo e depositadas nas depressões; b) as partículas são redistribuídas para dentro do solo, pelos seus poros, aumentando a densidade na superfície do solo, e; c) os agregados são rompidos pelo impacto das gotas de chuva, ocorrendo o carregamento de materiais mais finos para dentro dos espaços porosos do solo. Possivelmente, todos os mecanismos ocorrem ao mesmo tempo, com diferentes intensidades (Onstad, 1984a).

Aproximadamente 70% do decréscimo da rugosidade ao acaso ocorre durante o período anterior ao início da enxurrada, na superfície de solo preparado com aração e aração + gradagem + rastel (Buwel et al., 1966). Este mesmo comportamento também foi constatado por Burwell & Larson (1969) e Cogo et al. (1984), os quais, investigando a redução da rugosidade superficial do solo pela ação da chuva em solo recentemente mobilizado, verificaram que o maior decréscimo da mesma ocorreu no período de tempo

que antecedeu à enxurrada. Isto resulta em que o decréscimo da rugosidade da superfície se relaciona exponencialmente com o acúmulo de energia cinética da chuva, como também constatado por Dexter (1977), Johnson et al. (1979), Cogo (1981) e Bertol et al. (2005), que relatam menor tempo de início de enxurrada nas superfícies mais rugosas do que nas menos rugosas quando mais ou menos intensidade de chuva foi aplicada, respectivamente.

Steichen (1984), estudando a relação entre a infiltração de água no solo e a rugosidade da superfície, com e sem cobertura vegetal, em semeadura direta, escarificação, aração e aração + gradagem, usando chuva simulada, observou que uma função de decréscimo exponencial descrevia a mudança da rugosidade ao acaso pelo efeito da chuva para solo preparado e não preparado. O tratamento com escarificação apresentou maior infiltração de água no solo do que a semeadura direta, devido à maior rugosidade superficial. Todos os tratamentos com cobertura de resíduos vegetais apresentaram maior infiltração de água no solo do que os mesmos tratamentos sem cobertura por resíduos.

Em sistemas de manejo do solo que sofrem algum tipo de mobilização, o aumento do índice de rugosidade superficial do solo pela ação do preparo é maior do que a correspondente redução pela ação da chuva (Castro et al., 2006; Bertol et al., 2006). Em sistemas de manejo do solo onde não ocorre mobilização, a ação da chuva simulada contínua de longa duração é muito pequena sobre a rugosidade, comparada à modificação da rugosidade ocorrida nas superfícies de solo mobilizado (Castro et al., 2006).

Assim, a rugosidade superficial ao acaso diminui com o aumento do volume e intensidade da chuva (Cogo, 1981; Eltz & Norton, 1997; Vidal Vázquez, 2002; Bertol et al., 2004; Bertol et al., 2006), enquanto a rugosidade orientada aumenta com o aumento da enxurrada superficial (Bertol, 1995).

2.2.5. Influência das propriedades físicas do solo sobre a rugosidade superficial

A rugosidade da superfície do solo em terras cultivadas também depende de outros fatores, tais como estabilidade dos agregados, densidade e porosidade do solo (Lehrsch et al., 1987), as quais determinam, em parte, a qualidade da estrutura e regulam a velocidade e o grau de sua degradação.

Dentre as propriedades físicas do solo que estão relacionadas com a rugosidade superficial, a densidade do solo explica mais de 50% da variação na rugosidade superficial, enquanto a umidade do solo no momento do preparo responde apenas por 21% da variação na rugosidade da superfície do solo (Lehrsch et al., 1987). Os autores informam ainda que, entre as combinações de propriedades do solo que mais se relacionam com a rugosidade superficial, estão à estabilidade de agregados, a densidade do solo e a taxa com que se desintegram os agregados.

O principal papel da matéria orgânica é agregar partículas de argila e/ou complexos argila-húmus entre si, em solos com altos teores de argila. A manutenção de agregados grandes e estáveis na superfície do solo é importante para a obtenção de elevada taxa de infiltração, com consequente baixa taxa de erosão hídrica. Além disso, os resíduos vegetais sobre a superfície do solo evitam o selamento superficial e pode aumentar a estabilidade dos agregados de solo, aumentando a persistência da rugosidade superficial e, por sua vez, reduzir as perdas de solo e água por erosão hídrica nas terras agrícolas.

Em estudo sobre rugosidade da superfície do solo, Bertol et al. (2006) relacionaram a estabilidade de agregados em água, representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), com a rugosidade da superfície do solo, representada pelo índice de rugosidade ao acaso do solo (RR), utilizando diferentes sistemas de manejo

do solo. Os autores verificaram que o DMP e DMG se relacionam inversamente com os valores de decaimento da rugosidade da superfície do solo. Esse comportamento é justificado quando o sistema de manejo do solo utilizado é o pregaro convencional, que ocasiona a parcial quebra mecânica dos agregados, com consequente diminuição do teor de matéria orgânica e da resistência dos agregados pela ação da água. A ausência de pregaro, quando o solo é manejado pelo sistema de semeadura direta, por outro lado, diminui a rugosidade da superfície do solo e aumenta o teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados estruturais, sendo estes menos susceptíveis à erosão hídrica (Wischmeier & Mannering, 1969), além de manter a densidade do solo em valores menores (Bertol et al., 2005; Bertol, 2006).

Solos com maior rugosidade superficial apresentam maior porosidade total do que solos com superfície lisa, os quais apresentam maior armazenagem e infiltração de água e menor escoamento superficial (Cogo 1981). A maior porosidade total da camada preparada, a qual é uma consequência da rugosidade superficial do solo, causa um maior retardamento no tempo de início da enxurrada (Castro et al., 2006).

A energia cinética da chuva incidindo sobre a superfície de um solo descoberto, causa à desagregação superficial com consequente compactação e selamento superficial. O resíduo vegetal, por outro lado, protege o solo contra o efeito desagregador da chuva (Duley, 1939; Tacket & Pearson, 1965).

2.2.6. Influência da rugosidade superficial na erosão hídrica

A presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo resulta na redução da erosão hídrica pela maior persistência da rugosidade superficial (Burwell et al., 1966;

Cogo, 1981; Bertol, 1986 e 1995; Bertol et al., 2006), proporcionada pela proteção que os resíduos vegetais oferecem à mesma.

A erosão hídrica que ocorre em áreas agrícolas, entre outros fatores, depende do manejo ao qual o solo é submetido. A rugosidade da superfície do solo é um componente indispensável na redução da erosão hídrica quando nenhum ou baixos níveis de resíduos estão presentes na superfície do solo.

A rugosidade da superfície do solo induzida por métodos de preparo reduz as perdas de solo e água por erosão hídrica pela retenção e infiltração superficiais da água da chuva, aprisionamento dos sedimentos da erosão e redução do volume e velocidade do escoamento superficial (Castro et al., 2006). Os autores ainda informam que, com o passar do tempo, devido à ação das chuvas e das práticas culturais, a rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de preparo é normalmente reduzida, diminuindo sua eficácia relativa de redução da erosão hídrica.

Verifica-se aumento no tempo para início do escoamento superficial e aumento no tempo de infiltração de água no solo antes do início da enxurrada, por aumentos da rugosidade da superfície do solo induzida por métodos de seu preparo (Cogo et al., 1984). Além disso, os autores observaram um decréscimo no total de enxurrada para aumento dos índices de rugosidade superficial, quando nenhum resíduo vegetal estava presente. Na presença de resíduo vegetal, os efeitos do resíduo vegetal e da rugosidade da superfície do solo interagiram. Na ausência de cobertura por resíduo vegetal, o aumento na rugosidade diminuiu a perda de solo muito mais acentuadamente do que a perda de água.

As perdas de água, em geral, são menos afetadas do que as perdas de solo pelos sistemas de preparo e manejo utilizados (Cogo et al., 1984; Bertol et al., 1997). Isto se deve ao fato de o solo apresentar capacidade de infiltração de água limitada, a partir da qual a

taxa de enxurrada tende a se igualar em sistemas de preparo e manejo distintos (Bertol, 1994).

Na ausência de proteção da superfície do solo contra agentes erosivos, a rugosidade superficial induzida pelo preparo tem seu maior efeito no aprisionamento dos sedimentos da erosão, em relação à retenção e infiltração da água da chuva no solo (Castro et al., 2006). Os autores ainda informam que, na presença de resíduo vegetal, a perda total de solo foi drasticamente reduzida nos sistemas de preparos de solo estudados. As razões para isto são: presença de cobertura morta, que, além de dissipar a energia cinética de impacto das gotas da chuva de forma muito eficaz, minimiza a desagregação inicial das partículas de solo. Com isso, mantém melhor as condições físicas de superfície do solo criadas pelo preparo, tanto para a retenção e infiltração superficiais da água da chuva, quanto para o aprisionamento dos sedimentos da erosão nas suas microdepressões.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental e características da região

A pesquisa foi desenvolvida entre junho de 2005 e março de 2006, em uma área experimental do Centro Educacional Profissionalizante Caetano Costa (CEDUP), no município de São José do Cerrito, Estado de Santa Catarina. A área se situa a 28°55'44" de latitude Sul e 51°08'32" de longitude a oeste de Greenwich, na região do Planalto Sul Catarinense, onde o clima é do tipo Cfb, ou seja, subtropical úmido com verões amenos, segundo a classificação de Köppen, com altitude média é de 846 m.

A região onde se situa a área experimental se caracteriza por apresentar relevo variável, ou seja, suave ondulado, ondulado e forte ondulado, predominando as duas últimas formas, com extensos bosques de capoeira e de mata secundária, intercalados por araucárias (*Araucaria angustifolia*) e por pequenas áreas de pastagem de campo natural.

3.2. Solo

O solo da área experimental, descrito por Mello (2002), apresenta, 680 g kg^{-1} de argila, 110 g kg^{-1} de silte e 210 g kg^{-1} de areia no horizonte A. No horizonte B, apresenta 659 g kg^{-1} de argila, 111 g kg^{-1} de silte e 230 g kg^{-1} de areia. Este solo foi classificado como sendo Nitossolo Háplico alumínico (Terra Roxa Estruturada). Em condições naturais, o teor de carbono orgânico do solo é 1,35 % no horizonte A e 0,29 % no horizonte B (Bertol et al., 2003a).

3.3. Histórico da área experimental

Até março de 2000 a área experimental era utilizada com pastagem de campo natural que havia sido melhorado. O melhoramento foi feito com a introdução de azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*), além de 3 t ha^{-1} de calcário dolomítico, aplicado na superfície do solo. Em março de 2000, a área foi sistematizada para instalar tratamentos de preparo do solo e cultivo com soja (*Glycine max*), para estudo de chuva simulada. Nesta ocasião, parte da área foi preparada com duas arações e três gragadens, na qual seriam instalados os tratamentos solo sem cultivo (SC), cultivo mínimo (CM) e preparo convencional (PC). Na área dos dois últimos tratamentos, realizou-se a correção da acidez e da fertilidade do solo, com a incorporação de 11 t ha^{-1} de calcário dolomítico e 300 kg ha^{-1} de adubo da fórmula 5-30-15 (COMISSÃO, 1995). O restante da área, na qual seriam instalados os tratamentos semeadura direta sobre o campo dessecado (SD) e semeadura direta sobre o campo queimado (SQ), não sofreu nenhum preparo do solo, tendo sido aplicada, em superfície, na mesma ocasião, metade da dose de calcário recém-referida.

Em abril de 2000, semeou-se aveia preta para cobertura do solo, em semeadura direta, em toda área com exceção do SC. A aveia preta foi dessecada em outubro de 2000. Em novembro de 2000, foi semeada soja e instalados os tratamentos conforme descrito em Mello (2002). Entre novembro de 2000 e fevereiro de 2001, foram aplicados três testes de chuva simulada para o estudo de erosão hídrica, sobre os tratamentos SC, PC, CM, SD e SQ em trabalho conduzido por de Mello (2002).

Após a colheita da soja, em abril de 2001, semeou-se ervilhaca comum (*Vicia sativa*) em toda a área, em semeadura direta, com exceção daquela onde estava localizado o tratamento SC. Em outubro do mesmo ano, durante a floração desta cultura, a mesma foi dessecada. Sobre os resíduos culturais de ervilhaca, em novembro de 2001, os tratamentos SC e PC foram reparados e foi semeado milho (*Zea mays*) no tratamento PC. A partir desta ocasião, o tratamento CM foi conduzido em semeadura direta, de agora em diante denominada semeadura direta tradicional (ST), porque o solo havia sido preparado e corrigido anteriormente. Em junho de 2002, foi semeada aveia preta antes da colheita do milho. Em novembro do mesmo ano, a aveia preta foi dessecada e reparados os tratamentos SC e PC e, então, semeado o feijão (*Phaseolus vulgaris*) no PC, conforme descrito em Leite (2003). Entre novembro de 2001 e janeiro de 2003, foram aplicados três testes de chuva simulada em cada um dos cultivos de milho e feijão para o estudo de erosão hídrica conduzido por Leite (2003).

Em abril de 2003, imediatamente após a colheita do feijão, semeou-se nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) em semeadura direta em todos os tratamentos, com exceção daquele onde estava localizado o SC. Em novembro de 2003, após o nabo atingir a floração plena, o mesmo foi dessecado quimicamente. Sobre os resíduos culturais do nabo, em novembro de 2003, os tratamentos SC e PC foram reparados, sendo semeada soja no tratamento PC,

conforme descrito em Engel (2005). Entre novembro de 2003 e março de 2004, foram aplicados cinco testes de chuva simulada para o estudo de erosão hídrica, sobre todos os tratamentos para o trabalho de Engel (2005). Em março de 2004, foi semeada ervilhaca comum em semeadura direta, com exceção do tratamento SC.

Em novembro de 2004, depois de manejada a cultura da ervilhaca, foram repreparados os tratamentos SC e PC e foi semeado milho no tratamento PC, tendo sido colhido em maio de 2005. Em junho de 2005, os tratamentos SC e PC foram repreparados, e semeada aveia preta manualmente a lanço, com exceção do tratamento SC. Em novembro do mesmo ano, no tratamento SC foi realizado um nivelamento da superfície das unidades experimentais devido aos sulcos ocasionados pela chuva natural. Também em novembro, durante a floração da aveia, a mesma foi dessecada e, após, todos os tratamentos, com exceção do SC, permaneceram com o resíduo da aveia até a execução do presente trabalho, em janeiro de 2006.

3.4. Tratamentos de preparo do solo

Tratamento 1 – preparo convencional sem cultivo do solo durante cinco anos e meio. Fez-se uma aração a 0,20 m e duas gradagens a 0,15 m de profundidade, duas vezes ao ano no sentido paralelo ao declive, e efetuaram-se escarificações manuais. O solo permaneceu sem preparo e efetuaram-se capinas e escarificações manuais nos últimos seis meses (SCE). Assim, durante o período de cinco anos e meio, a superfície do solo foi mantida livre de vegetação e desprovida de crosta superficial.

Tratamento 2 – preparo convencional cultivado durante cinco anos e meio (PCE). Fez-se uma aração a 0,20 m e duas gradagens a 0,15 m de profundidade duas vezes ao ano. Ao

final do período de cinco anos e meio, retirou-se o resíduo cultural de aveia da superfície do solo.

Tratamento 3 – semeadura direta em campo natural sem preparo do solo, cultivada durante cinco anos e meio (SQE). Os resíduos vegetais (do campo antes do primeiro cultivo e das culturas após os demais cultivos) foram queimados.

Tratamento 4 – semeadura direta a partir do segundo cultivo do solo, implantada sobre preparo convencional efetuado no momento da instalação da área experimental (há cinco anos e meio), denominada semeadura direta tradicional, cultivada durante cinco anos e meio, com retirada dos resíduos culturais (STE).

Cultivou-se, em rotação, aveia preta, soja, ervilhaca comum, milho, aveia preta, feijão, nabo forrageiro, soja, ervilhaca comum, milho e aveia preta. Em novembro de 2005, todos os tratamentos que continham aveia preta, foram dessecados. Dia 11 de janeiro de 2006, retiraram-se os resíduos vegetais da superfície do solo dos tratamentos PCE e STE e, no tratamento SQE, os resíduos vegetais foram queimados. A escarificação mecânica recém referida foi efetuada em 12 de janeiro de 2006, sobre o solo aproximadamente no ponto de friabilidade, acionada por trator no sentido paralelo ao declive. O escarificador possuía 13 hastas distanciadas 0,25 m uma das outras, as quais trabalharam a uma profundidade de 0,18 m.

3.5. Unidade experimental

A unidade experimental possuía área útil de 38,5 m², com dimensão de 3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento, no sentido paralelo ao declive. Cada parcela era limitada na extremidade superior e nas laterais por chapas galvanizadas com 20 cm de

altura e cravadas 10 cm no solo. A extremidade inferior era delimitada por uma calha coletora da enxurrada que, conectada a um tubo de PVC, conduzia a enxurrada até o local de coleta, situado 6 m abaixo da mesma. Foram utilizadas oito parcelas, compreendendo quatro tratamentos com duas repetições, com declividade média de $0,17 \text{ m m}^{-1}$ e amplitude de variação da declividade de 0,13 a $0,21 \text{ m m}^{-1}$ (Anexo 1).

3.6. Aparelho simulador de chuvas e chuvas simuladas aplicadas

A pesquisa foi realizada em condições de chuva simulada, com a utilização de um aparelho simulador de chuvas de braços rotativos, o qual cobre simultaneamente duas parcelas experimentais distanciadas entre si de 3,5 m (Swanson, 1975; EMBRAPA, 1975). Tal aparelho possui 30 bicos, distribuídos de forma helicoidal em 10 braços, com comprimento de 7,5 m cada um, formando uma espiral concêntrica. Durante a condução do experimento, o simulador operou com 15 bicos abertos para produzir chuvas com intensidade planejada de 64 mm h^{-1} . A intensidade da chuva foi controlada por meio de dois manômetros, um deles localizado a aproximadamente 7 m da entrada de água no simulador, operando com pressão de $12,5 \text{ kg cm}^{-2}$, e o outro na torre do simulador, com pressão de $6,5 \text{ kg cm}^{-2}$.

As chuvas simuladas foram programadas para serem aplicadas levando-se em consideração que o maior decréscimo na redução da rugosidade superficial do solo pela ação da chuva em solo recentemente mobilizado, ocorre no período antecedente à enxurrada (Burwell et al., 1966; Burwell & Larson, 1969; Cogo et al., 1984), o que foi confirmado recentemente por Castro et al. (2006) e Bertol et al. (2006). Portanto, foram

realizados cinco testes de chuva simulada, com diferenças de duração e intensidade que se refletissem no volume.

Foram efetuados cinco testes de chuva simulada, com intensidade constante planejada de 64 mm h^{-1} e durações variáveis, a seguir descritas: primeira chuva (12/01/2006), após a escarificação do solo, com duração de 20 minutos; segunda chuva (16/01/2006), com duração de 30 minutos; terceira chuva (23/01/2006), com duração de 40 minutos; quarta chuva (01/02/2006), com duração de 50 minutos; e quinta chuva (07/02/2006), com duração de 60 minutos.

A superfície do solo permaneceu descoberta durante o período do experimento e, no intervalo de alguns testes ocorreram algumas chuvas naturais. Assim entre os testes dois e três precipitou 57 mm, distribuídas em duas chuvas de 51 e 6 mm, respectivamente. Entre os testes três e quatro, precipitou 21 mm e, entre os testes quatro e cinco, precipitou 30 mm.

O tempo de duração de cada teste de chuva simulada foi igual nos tratamentos e crescente do primeiro para o último teste (Tabela 1), com a intenção, além de causar redução da rugosidade superficial, deoccasionar alguma erosão hídrica que permitisse relacioná-la com o decréscimo da rugosidade. Assim, as chuvas do segundo teste tiveram duração 50% superior às do primeiro, as do terceiro 33% superior às do segundo, as do quarto 25% superior às do terceiro e, as do quinto teste, 20% superior às do quarto.

Tabela 1. Duração das chuvas simuladas aplicadas

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
	minuto
SCE	20	30	40	50	60
PCE	20	30	40	50	60
SQE	20	30	40	50	60

STE	20	30	40	50	60
SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.					

3.7. Medida da rugosidade da superfície do solo

Para se obter a rugosidade da superfície do solo, utilizou-se um rugosímetro com uma câmara fotográfica a ele acoplada. Esta técnica se baseia no registro fotográfico de um conjunto de 20 agulhas que, assentadas sobre o solo, representam, na extremidade superior, o microrelevo do terreno. Assim, a distância existente entre as extremidades superiores das agulhas do rugosímetro e uma linha de referência, situada em uma posição qualquer abaixo, dependente da distância até o nível do solo, é registrada na foto. Portanto, o registro das alturas do microrelevo se realiza mediante tomadas de fotografias em diferentes posições e posterior tratamento das fotos mediante análise de imagens (Lado Liñares, 1998).

Em comparação com outros métodos de maior precisão, tais como o do rugosímetros a “laser”, os quais não necessitam de dispositivos de medida da superfície do solo, a técnica usada neste estudo apresenta vantagens, tais como baixo custo, facilidade de transporte e de manejo no campo. As principais desvantagens deste método residem no fato de se obter dados de rugosidade numa escala muito pequena em relação ao “laser” e, ainda, o fato das agulhas efetuarem certa destruição da rugosidade durante a operação de leitura.

3.7.1. Descrição do rugosímetro utilizado

O rugosímetro utilizado para efetuar as medidas da rugosidade da superfície do solo consta de uma tábua formando um plano de fundo, na qual, na extremidade inferior e

formando um ângulo de 90°, encontra-se uma barra perfurada onde são colocadas as agulhas (Figura 1). No centro desta barra, outra barra é colocada perpendicularmente a ela, em cuja extremidade livre se localiza uma câmara fotográfica com a qual é fotografado o conjunto de agulhas para registrar a rugosidade do solo. Assim, a câmara sobre o suporte permanece unida ao rugosímetro pela barra perpendicular ao plano de fundo, para manter constante a distância entre a câmara fotográfica e o conjunto de agulhas no rugosímetro. Suportes metálicos são utilizados para nivelar as barras suspensas sobre eles, a fim de se obter um plano de referência horizontal sobre o qual se encontra o rugosímetro.



Figura 1. Ilustração do rugosímetro utilizado no estudo.

Para se efetuar as medidas é necessário descer as agulhas até entrarem em contato com a superfície do solo e cada perfil de rugosidade da superfície do solo se reproduz sobre o plano de fundo de acordo com as diferentes alturas dos extremos das agulhas. No decorrer da distância vertical, cada posição do perfil deve ser numerada para posterior identificação,

de tal modo que o perfil fique registrado na foto. Posteriormente, o conjunto de agulhas do rugosímetro é levantado cuidadosamente e deslizado para a próxima posição vertical, onde é tomada outra foto, e assim por diante, até a última posição.

3.7.2. Área amostrada e obtenção dos dados de rugosidade

As alturas da superfície do solo foram tomadas em 20 posições em cada parcela, distanciadas 3 cm uma das outras, cada uma contendo 20 agulhas (representando 20 pontos). A distância entre agulhas era também de 3 cm, formando, assim, uma quadricula de 0,6 m x 0,6 m (0,36 m² de área útil), permitindo a tomada de 400 pontos em cada parcela experimental.

Uma vez tirada as fotografias, os valores de altura dos diferentes pontos foram obtidos mediante o uso do programa “Profile Meter Program” (Wagner & Yiming Yu, 1991; Wagner, 1992). Este programa foi desenvolvido para a obtenção de dados de rugosidade utilizando técnicas de análise de imagem que detectam as alturas das agulhas em fotografias com formato digital, reduzindo, deste modo, o erro do operador no processo de digitalização manual.

Para se obter os valores de altura dos pontos amostrados, os perfis (fotos) pertencentes a uma mesma série de medidas foram ligados, criando uma superfície ortogonal. Assim, para cada ponto, tinha-se uma coordenada (XY) em função de sua distância, em ambos os eixos. Uma vez avaliadas as cotas individuais de cada superfície, se armazenavam estes dados em arquivos, a partir dos quais eram obtidos índices de rugosidade.

3.7.3. Rugosidade da superfície do solo

A rugosidade superficial do solo é apresentada nas formas de índice de rugosidade e índice de tortuosidade.

O índice de rugosidade é apresentado de três maneiras: a) contendo as tendências de declividade do terreno e marcas de preparo do solo, ou seja, índice de rugosidade original; b) índice de rugosidade sem a tendência da declividade do terreno e contendo a tendência das marcas de preparo do solo, ou seja, índice de rugosidade linear e; c) índice de rugosidade sem as tendências da declividade do terreno e marcas de preparo do solo, ou seja, índice de rugosidade ao acaso.

O índice de tortuosidade é apresentado de três maneiras: a) contendo as tendências de declividade do terreno e marcas de preparo do solo, ou seja, índice de tortuosidade original; b) índice de tortuosidade sem a tendência da declividade do terreno e contendo a tendência das marcas de preparo do solo, ou seja, índice de tortuosidade linear e; c) índice de tortuosidade sem as tendências da declividade do terreno e marcas de preparo do solo, ou seja, índice de tortuosidade ao acaso.

3.7.4. Obtenção das fotos

Para a obtenção das fotos o rugosímetro foi localizado na extremidade inferior do lado direito (olhando de baixo para cima) das unidades experimentais. Foi tomado um conjunto de 20 fotos para cada parcela, as quais foram devidamente armazenadas em arquivos para posterior processamento.

3.8. Obtenção de amostras de solo

Na parte superior esquerda de cada unidade experimental (olhando de baixo para cima), nas entrelinhas de cada parcela, foram coletadas amostras de solo para posterior análise em laboratório. Para determinação da densidade do solo, volume total de poros e volume de macroporos, amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas com auxílio de anéis de aço metálico com bordos cortantes (anéis de Kopeck), com capacidade interna de 50 cm³. Foram coletadas, ainda, amostras de solo com estrutura parcialmente deformada, por meio de pá de corte, as quais foram acondicionadas em potes plásticas para posterior determinação da estabilidade de agregados em água, densidade de partículas e carbono orgânico.

3.9. Determinações efetuadas em campo, após o preparo do solo com escarificador

Após a realização do preparo do solo com o escarificador foi tomado novo conjunto de fotos para cada unidade experimental nas mesmas posições descritas anteriormente, as quais foram armazenadas em arquivos para posterior processamento.

3.10. Determinações efetuadas em campo, antes da aplicação dos testes de chuva simulada

3.10.1. Teor de água atual do solo

Imediatamente antes da aplicação de cada teste de chuva simulada, foram coletadas amostras do solo em um ponto central de cada parcela, nas profundidades de 0 – 0,1 m e

0,1 – 0,2 m, para determinação do teor de água atual do solo. As amostras foram coletadas por meio de trado holandês e acondicionadas em potes de alumínio.

3.11. Determinações efetuadas em campo, durante a aplicação dos testes de chuva simulada

3.11.1. Tempos de empoçamento, início e término da enxurrada

Utilizando-se um cronômetro, foram registrados os tempos, em minutos, correspondentes ao empoçamento da água da chuva na superfície do solo, início e término da enxurrada, a partir do início das chuvas.

3.11.2. Amostragem da enxurrada

A partir do momento em que iniciou a enxurrada, foram feitas medições da sua taxa instantânea, em intervalos regulares de três minutos. Para tal, utilizou-se proveta graduada de 1.000 mL e 2.000 mL, conforme a necessidade, a qual era colocada sob a extremidade do cano conectado à calha coletora, de onde saía a enxurrada, durante 3, ou 5, ou 10 segundos, conforme a necessidade, registrando-se manualmente, em planilha, o volume e o tempo de coleta. Imediatamente após, colocava-se sob o fluxo um pote plástico com capacidade de um litro, o qual era mantido ali o tempo necessário para enchê-lo, objetivando a coleta de amostras da enxurrada para posterior determinação da concentração de sedimentos nela contidos.

3.11.3. Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada, quando possível (a partir do teste 3) foi medida nos últimos dez minutos de cada chuva. Para isto, utilizou-se um corante à base de azul de metileno a 2%, em água. Sobre cada parcela, foi demarcado um segmento de 6 m de comprimento, situado a 2,5 m da extremidade superior e a 2,5 m da extremidade inferior. No momento da determinação, o corante era jogado sobre a enxurrada na parte superior do segmento, tendo sido cronometrado o tempo transcorrido para percorrer os 6 metros, ou seja, até a parte inferior do segmento.

3.11.4. Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas

Com o auxílio de 20 pluviômetros distribuídos na superfície do solo sob a chuva simulada (fora das parcelas experimentais), fez-se a checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas durante os testes de chuva. Ao final das chuvas, o volume de água, em mL, de cada pluviômetro era registrado manualmente em planilha.

3.12. Determinações efetuadas em campo, após a aplicação dos testes de chuva simulada

Após a realização de cada teste de chuva simulada, eram tomadas novas fotos para posterior cálculo da rugosidade superficial, as quais eram armazenadas em arquivos para posterior processamento.

Após o término das chuvas simuladas do teste 5 e depois da tomada das fotos para rugosidade, foi novamente efetuada amostragem do solo para as mesmas determinações efetuadas antes do preparo do solo como descrito no item 3.8.

3.13. Procedimentos, determinações e cálculos efetuados no laboratório

3.13.1. Características físicas do solo

Para determinação do teor de água do solo, as amostras foram secas em estufa por 48 horas, à temperatura de 105°C e, por pesagem, calculou-se o teor de água (g g^{-1}). Na determinação da densidade do solo, levou-se em consideração a razão entre a massa de solo seco em estufa à 105°C e o seu respectivo volume ocupado no anel volumétrico (g cm^{-3}).

Para a determinação da densidade de partículas do solo, levou-se em consideração a quantidade de álcool necessário para completar o volume de um balão de 50 mL, contendo 20 g de solo seco em estufa (g cm^{-3}), EMBRAPA, 1997.

O volume total de poros (PT) foi calculado por meio da fórmula:

$$PT = 1 - (ds / dp)$$

onde:

PT = porosidade total do solo

ds = densidade de partículas (g cm^{-3})

dp = densidade do solo (g cm^{-3})

Utilizou-se a mesa de tensão para determinar o volume de macroporos do solo, na qual amostras saturadas foram succionadas por uma coluna de água de 60 cm, representada por um tubo com diâmetro interno de 1,5 mm. Levou-se em consideração a diferença entre o peso do anel volumétrico com solo saturado e o peso do anel volumétrico com solo succionado dividido pelo volume do anel. O volume de microporos do solo foi calculado por meio da fórmula:

$$Mi\% = PT\% - Ma\%$$

onde:

$Mi\%$ = volume de microporos do solo (%)

$Ma\%$ = volume de macroporos do solo (%)

$PT\%$ = volume de poros totais do solo (%)

A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento úmido por meio do método de Yoder (1936) e o cálculo, para expressar o diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), foi feito como proposto por Kemper & Chepil (1965), por meio da fórmula:

$$DMP = \sum [(AGRi / TAGR) * ci]$$

onde:

DMP = diâmetro médio ponderado de agregados (mm)

$AGRi$ = massa de agregados em cada classe (g)

$TAGR$ = massa de agregados da amostra inicial (g)

ci = diâmetro médio da classe de agregados i (mm)

O teor de carbono orgânico foi determinado segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

3.13.2. Índices de rugosidade da superfície do solo

A rugosidade da superfície do solo foi calculada com os dados originais lidos no campo, com os dados dos quais se eliminou a tendência da declividade do terreno e com os dados dos quais se eliminou simultaneamente a tendência da declividade e das marcas do preparo do solo. Nos três casos, a rugosidade da superfície do solo foi expressa nos índices descritos no item 3.7.3.

3.13.2.1. Retirada de tendência dos dados originais

A rugosidade superficial do solo é caracterizada pela aleatoriedade da distribuição das microdepressões e microelevações do terreno. Assim, é necessário eliminar as componentes de orientação, devido à declividade do terreno e às marcas do preparo do solo. Para retirar somente a tendência devido à declividade do terreno, realizou-se um ajuste da superfície linear por mínimos quadrados dos valores originais, de acordo com o método proposto por Miranda (2000). Para retirar simultaneamente as componentes devidas à declividade do terreno e às marcas do preparo do solo, realizou-se a correção dos dados na fila e na coluna de cada conjunto de 400 pontos, de acordo com o método proposto por Currence e Lovely (1970).

3.13.2.2. Cálculo dos índices de rugosidade

Com os dados aleatórios, ou seja, sem tendências de declividade e de marcas de preparo do solo, calculou-se a rugosidade ao acaso, RR (Currence e Lovely, 1970) e a tortuosidade ao acaso, T (Boiffin, 1984).

O índice RR foi calculado seguindo o procedimento de Currence e Lovely (1970), que expressa o RR como sendo o desvio médio dos dados de altura. Ao utilizar a equação proposta por Currence e Lovely (1970), não é necessária à transformação logarítmica dos dados, nem a eliminação dos valores extremos (10% maiores e dos 10% menores), como propuseram Allmaras et al. (1966).

O índice T foi calculado a partir da aproximação proposta por Boiffin (1984). O intervalo de variação de valores do índice T, calculado por este método, se encontra teoricamente entre $1 < T < \infty$.

3.13.3. Intensidade, volume total e erosividade das chuvas ocorridas

A intensidade planejada para a realização do experimento foi de 64 mm h^{-1} . Apesar da intensidade da chuva ter sido controlada por meio de dois manômetros, houve variações dentro de um mesmo teste para os diferentes tratamentos e, para o mesmo tratamento, entre os testes (Tabela 2). De posse do volume médio coletado nos pluviômetros (mL) e da área de captação dos mesmos ($53,6 \text{ cm}^2$), calculou-se a intensidade média observada da chuva aplicada, do seguinte modo: o volume de água coletado nos pluviômetros (média dos 20 pluviômetros), em mL, foi dividido por $53,6 \text{ cm}^2$. O resultado foi multiplicado pelo valor obtido da divisão de 60 minutos pelo tempo total de duração da chuva (minuto) e, então, multiplicado por 10, tendo sido expresso em mm h^{-1} . Assim, a menor intensidade ocorreu

no SCE, durante o teste 1 e, a maior, no tratamento PCE no teste 2. Em geral, as intensidades foram menores no teste 1 e maiores no teste 2.

Tabela 2. Intensidade das chuvas simuladas aplicadas

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
mm h^{-1}					
SCE	61	77	69	71	68
PCE	62	81	68	73	78
SQE	65	77	67	70	69
STE	66	76	73	70	73

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

As variações na intensidade das chuvas ocorridas entre os testes e entre os tratamentos, embora relativamente pequenas, resultaram, em combinação com as durações crescentes do primeiro para o último teste, em diferentes volumes de chuva aplicada (Tabela 3). Assim, os menores volumes ocorreram no teste 1, variando de 20 a 22 mm e, os maiores, no teste 5, variando de 68 a 78 mm. O volume total das chuvas aplicadas foi calculado dividindo-se a intensidade da chuva, em $mm h^{-1}$, por 60 minutos, e multiplicando-se o resultado pela sua duração (minuto), sendo o resultado expresso em mm.

Tabela 3. Volume das chuvas simuladas aplicadas

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
mm					
SCE	20	39	46	59	68
PCE	21	41	46	60	78
SQE	22	38	45	58	69
STE	22	38	49	58	73

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Ocorreram quatro chuvas naturais com volume total de 109 mm durante o período experimental. A tabela abaixo informa a erosividade das chuvas naturais e simuladas.

Tabela 4. Erosividade das chuvas simuladas aplicadas e das chuvas naturais ocorridas durante o período experimental

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
	EI ₃₀ , MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹				
	Chuva natural				
	-	-	299	87	131
	Chuva simulada				
SCE	256	621	669	868	950
PCE	265	686	648	917	1.273
SQE	294	612	624	854	982
STE	302	609	747	849	1.097

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

3.13.4. Volume da enxurrada

O volume total de enxurrada de cada chuva simulada aplicada foi obtido pela integração das taxas instantâneas de enxurrada, sendo os dados expressos em mm ou em porcentagem da chuva aplicada.

3.13.5. Volume total de infiltração de água no solo

O volume total de infiltração de água no solo foi calculado pela diferença entre o volume total de chuva simulada aplicada, em mm, e o volume total de enxurrada observada, em mm, sendo o resultado expresso em mm ou em porcentagem da chuva simulada aplicada.

3.13.6. Concentração de sedimentos na enxurrada

Os potes contendo as amostras de enxurrada, coletadas a cada três minutos durante os testes de chuva simulada (item 3.11.2.), foram transportados para o laboratório. Depois dos potes terem sido pesados, adicionou-se em cada um 10 gotas de solução saturada com alúmen de potássio a 5%, com o objetivo de precipitar os sedimentos em suspensão. Após decantarem os sedimentos, por 24 a 48 horas, succionou-se a água sobrenadante com o uso de um sistema de sifão, deixando uma lâmina de água de aproximadamente 1 cm sobre o sedimento. Em seguida, os potes foram levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 50 °C, por cerca de 60 a 72 horas e, quando secos, procedeu-se novamente a sua pesagem. A concentração de sedimentos na enxurrada foi então calculada dividindo-se o peso dos sedimentos secos pelo peso dos sedimentos + água, sendo o resultado expresso em porcentagem ou em kg m^{-3} . A concentração instantânea de sedimentos para cada minuto após o início da enxurrada, foi obtida pela interpolação linear das concentrações de sedimentos obtidas nos intervalos de três minutos, tendo sido expressa em mm h^{-1} . A concentração média de sedimentos durante o tempo inteiro de duração da enxurrada foi obtida por meio da média aritmética dos valores de concentração instantânea de sedimentos na enxurrada, sendo o resultado expresso em kg m^{-3} .

3.13.7. Taxa instantânea e quantidade total de perda de solo

A taxa instantânea de perda de solo foi calculada por meio da multiplicação da taxa instantânea de enxurrada, em $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, pela concentração instantânea de sedimentos, em kg m^{-3} , sendo o resultado expresso em kg h^{-1} . A quantidade total de perda de solo foi obtida pela integração das taxas instantâneas de perda de solo. Os resultados obtidos na parcela

experimental ($38,5\text{ m}^2$) na duração da chuva aplicada, foram extrapolados para $\text{t ha}^{-1}\text{ h}^{-1}$ para o caso da taxa instantânea de perda de solo e para t ha^{-1} para o caso da quantidade total de perda de solo.

3.13.8. Índice D_{50} dos sedimentos transportados na enxurrada

O índice D_{50} dos sedimentos transportados na enxurrada foi determinado a partir da sua distribuição de tamanho na enxurrada, por meio da construção de um gráfico. Nesse gráfico, foram plotadas a porcentagem acumulada de sedimentos na ordenada e, as diferentes classes de tamanho de sedimentos na abscissa, num procedimento igual ao descrito por Amado (1985).

3.14. Ajuste de dados para perdas de solo e água

Foi feito o ajuste de dados para a perda total de solo, em função da variação verificada na intensidade das chuvas simuladas aplicadas (Tabela 2) e na declividade das parcelas experimentais (Anexo 1). Os dados de perda total de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada de 64 mm h^{-1} e declividade média das parcelas experimentais de $0,17\text{ m m}^{-1}$. No caso da intensidade de chuva, o ajuste foi realizado dividindo-se a intensidade da chuva planejada pela intensidade da chuva observada, elevando-se este valor ao quadrado e multiplicando-se o resultado pela perda total de solo observada. Depois deste ajuste, a perda total de solo foi ajustada para a declividade média das parcelas experimentais de $0,17\text{ m m}^{-1}$, multiplicando-se a perda total de solo ajustada para a intensidade de chuva de 64 mm h^{-1} pelo fator de ajuste da declividade. O fator de

ajuste da declividade foi obtido da divisão do fator S do declive médio de 0,17 m m⁻¹ pelo fator S do declive de cada parcela, conforme metodologia de Wischmeier e Smith, (1978).

O fator S para determinado declive é calculado por:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 \operatorname{sen}^2 \theta$$

onde θ é o ângulo do declive em questão.

3.15. Tratamento estatístico

A significância estatística dos efeitos dos tratamentos sobre as variáveis estudadas, quando pertinente, foi testada por meio de análise da variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado, em quatro duplas de tratamentos, sendo, cada dupla, composta por duas repetições. As diferenças entre médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5% de significância.

Efetuou-se, por regressão potencial, a relação entre o diâmetro médio ponderado de agregados e o teor de carbono orgânico. Ainda, efetuaram-se regressões exponenciais entre a rugosidade ao acaso e o índice de erosividade das chuvas e entre a tortuosidade ao acaso e o índice de erosividade das chuvas. As seguintes regressões lineares foram feitas: rugosidade linear x rugosidade original; rugosidade ao acaso x rugosidade linear; tortuosidade linear x tortuosidade original; tortuosidade ao acaso x tortuosidade linear; rugosidade e tortuosidade ao acaso x diâmetro médio ponderado de agregados; rugosidade e tortuosidade ao acaso x teor de carbono orgânico; e rugosidade e tortuosidade ao acaso x densidade do solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades físicas do solo

4.1.1. Densidade do solo

Antes do preparo, a densidade do solo na camada superficial (0,5-3,0 cm) diferiu entre os tratamentos (Tabela 5). Na camada superficial, a menor densidade foi constatada no solo sem cultivo (SCE), seguida do preparo convencional (PCE) e semeadura direta queimada (SQE) e a maior na semeadura direta tradicional (STE), concordando com Bertol et al. (2004) e Bertol et al. (2006). A maior densidade na superfície do solo da STE é

explicada pelo não revolvimento do solo desde a instalação do experimento (cinco anos e meio), o que resultou em maior consolidação da superfície do solo do que nos demais tratamentos. O PCE apresentou menor densidade do solo do que a SQE e STE, explicado pelo revolvimento do solo, com aração seguida de gradagens, durante o período experimental. No entanto, a densidade deste tratamento, nessa camada, foi superior à do SCE, devido à pulverização do solo com as escarificações manuais, além do preparo com arado, grade e escarificação manual, mas, também, pela ausência de resíduo vegetal. Ainda antes do preparo, nas demais camadas do solo, os preparos SQE e STE também diferiram em geral dos preparos SCE e PCE. O PCE apresentou maior densidade do solo do que os demais tratamentos a partir de 5,0 cm de profundidade, demonstrando a ocorrência de camada compactada na subsuperfície do solo. Comparando as camadas do solo, todos os tratamentos apresentaram tendência de aumento da densidade da camada de 0,5-3,0 cm para a camada de 15,0-17,5 cm.

Tabela 5. Valores de densidade do solo de um Nitossolo Háplico alumínico, determinada antes do preparo do solo com escarificador e após as chuvas simuladas aplicadas (média de duas repetições)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
..... g cm^{-3}				
		Antes do preparo do solo		
SCE	0,86Dc	0,87Cc	1,21ABb	1,25Ba
PCE	1,01Cb	1,25Aa	1,27Aa	1,29Aa
SQE	1,07Bd	1,14Bc	1,22ABA	1,19Cb
STE	1,11Ab	1,18Bab	1,18Bab	1,21Ca
Após as chuvas simuladas aplicadas				
SCE	0,98Ba	0,99Aa	0,98Da	1,05Ba
PCE	1,06Ab	1,06Ab	1,26Aa	1,30Aa
SQE	0,85Dc	1,03Ab	1,11Cb	1,20Aa
STE	0,91Cc	0,98Ab	1,20Ba	1,21Aa

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e

minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV antes do preparo: 1,55%, CV após a realização das chuvas simuladas: 2,72%.

O valor de densidade da camada superficial do solo (0,5-3,0 cm) diminuiu apenas 6% após a aplicação das chuvas simuladas (Tabela 5), na média dos tratamentos. Bertol et al. (2006) observou redução maior, devido ao fato de que, em seu estudo, estes autores aplicaram um volume de chuva de 560 mm, enquanto que no presente estudo foi aplicado somente 238 mm (mais 109 mm de chuva natural). Outro fato a ser levado em conta é que a rugosidade produzida pela escarificação no presente estudo foi muito alta em comparação a que obtiveram Bertol et al. (2006) e, ainda, neste estudo, o solo apresentava, em geral, maior estabilidade estrutural do que no solo utilizado por aqueles autores. Após a aplicação das chuvas, a densidade do solo na camada superficial diferiu entre tratamentos. Na SQE e STE os valores foram menores do que no SCE e PCE, demonstrando a importância do não revolvimento com aração seguida de gradagens continuadamente ao longo dos anos, além da manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Nas camadas inferiores, tendeu a ocorrer menor diferenciação da densidade entre tratamentos, com exceção da camada 10,0-12,5 cm.

4.1.2. Volume de macroporos

Antes do preparo do solo, a STE apresentou volume de macroporos 54% menor do que a média dos demais tratamentos na camada de 0,5-3,0 cm (Tabela 6). Isto mostra que a não mobilização do solo durante cinco anos e meio possibilitou a consolidação do solo na camada de 0,5-3,0 cm, refletindo-se nas demais, com exceção da camada de 15,0-17,5 cm. O maior volume de macroporos na camada de 0,5-3,0 cm, no PCE e SCE, se deve ao

constante revolvimento do solo nestes tratamentos. Na SQE, isto é atribuído à manutenção da condição original do solo em termos de porosidade, apesar da queima. Na camada de 15,0-17,5 cm, além da SQE e STE diferirem entre si, também diferiram do PCE e do SCE, mostrando que a compactação do solo nas camadas mais profundas ocasionou redução do volume de macroporos nestes tratamentos.

Tabela 6. Valores de volume de macroporos determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
.....%.....				
SCE	24,8Aa	14,1Ab	5,6Bc	4,4Cc
PCE	24,9Aa	10,6Bb	5,6Bc	4,9Cc
SQE	25,5Aa	10,4Bb	8,5Ac	7,4Ac
STE	11,6Ba	7,3Cb	6,6Bc	5,7Bd

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 4,20%.

4.1.3. Teor de carbono orgânico

Antes do preparo, o teor de carbono orgânico do solo na camada superficial (0,5-3,0 cm) diferiu entre os tratamentos (Tabela 7). Nesta camada, o menor teor de carbono foi constatado no solo sem cultivo (SCE), seguida do preparo convencional (PCE), semeadura direta tradicional (STE) e semeadura direta queimada (SQE). O maior valor de carbono orgânico do tratamento SQE é atribuído a não mobilização do solo na implantação do experimento, e sua condução em sistema de semeadura direta, apesar da queima. O tratamento STE apresentou o segundo maior valor de carbono orgânico, apesar de ter sido

preparado convencionalmente na implantação do experimento, e, a partir daí, conduzido em sistema de semeadura direta, com permanência de resíduos vegetais na superfície do solo. O maior teor de carbono orgânico do PCE em relação ao SCE, apesar dos dois tratamentos sofrerem preparo convencional duas vezes ao ano, é explicado pela manutenção e incorporação de resíduos vegetais no solo do PCE em relação ao SCE. Além disso, o SCE sofreu pulverização do solo com escarificações manuais, acelerando a mineralização da matéria orgânica. Todos os tratamentos apresentaram redução no teor de carbono orgânico da camada superficial até a camada de 15,0-17,5 cm, com exceção do SCE e da STE na camada de 5,0-7,5 cm, indicando a importância da manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo na manutenção da matéria orgânica.

Tabela 7. Valores de carbono orgânico do solo determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
 g kg ⁻¹			
SCE	23,8 Dc	22,7 Cc	28,9 ABa	26,3 Ab
PCE	35,9 Ca	31,3 Bab	25,1 Bbc	22,1 Bc
SQE	55,6 Aa	36,9 Ab	29,9 ABbc	24,8 ABC
STE	43,9 Ba	29,9 Bc	32,9 Ab	26,5 Ad

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 6,34%.

4.1.4. Diâmetro médio ponderado de agregados (DMP)

Apesar de ter sido feito revolvimento do solo no PCE seis meses antes da coleta das amostras para a determinação da estabilidade dos agregados em água, os agregados

estruturais apresentaram alta estabilidade neste tratamento (Tabela 8). Assim, esse período em que o solo ficou em repouso (em termos de preparo) foi suficiente para que a estabilidade dos agregados aumentasse, tornando-se em geral igual ao SQE e STE. Contribuiu para isso a presença de resíduos vegetais no solo. No tratamento SQE, a alta estabilidade dos agregados se deve ao fato do solo nunca ter sido revolvido, apesar da queima dos resíduos vegetais. No SCE, a baixa estabilidade dos agregados é explicada pelo constante revolvimento do solo, em que a superfície permaneceu livre de plantas e resíduos vegetais e, sujeita à ação das chuvas naturais, além das chuvas simuladas. A alta estabilidade dos agregados na STE é atribuída ao não revolvimento do solo e à presença de resíduos vegetais na superfície do solo, durante todo o período experimental. Todos os tratamentos, com exceção do SCE apresentaram diminuição do DMP até a profundidade de 12,5 cm, ressaltando a importância dos resíduos vegetais (exceção da semeadura direta queimada), no caso da STE, no fortalecimento dos agregados estruturais.

Tabela 8. Valores de diâmetro médio ponderado de agregados do solo determinados antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
..... mm				
SCE	1,60Cab	1,07Cb	2,21Ca	2,37Ba
PCE	5,34ABa	4,39Bb	3,76Ac	3,84Abc
SQE	5,69Aa	4,86Ab	3,82Ac	3,51Ac
STE	5,26Ba	4,40Bb	2,92Bd	3,43Ac

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 5,50%.

O DMP da camada de 0,5 - 3,0 cm do solo relacionou-se potencialmente ($y = ya + ax^b$) com o teor de carbono orgânico da mesma camada do solo (Figura 2). A correlação foi

significativa, com elevado R^2 , indicando que o DMP apresenta alta dependência do carbono orgânico do solo. Este tipo de relação entre as variáveis indica, ainda, que o DMP aumenta com o aumento do teor de carbono orgânico de solo, a taxas decrescentes, como é lógico se espera para a relação destas variáveis.

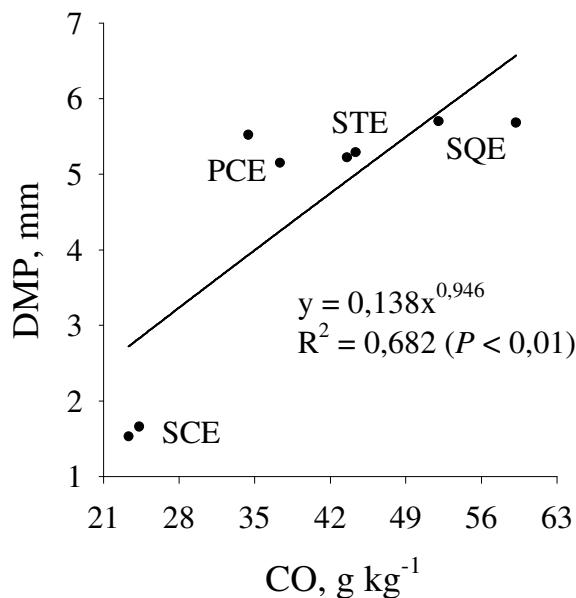


Figura 2. Relação entre o DMP e o teor de carbono orgânico, CO, determinados antes da escarificação na camada de 0,5 – 3,0 cm, em um Nitossolo Háplico alumínico.

4.2. Índice de rugosidade superficial do solo

4.2.1. Índice de rugosidade original do solo

Os valores de índice de rugosidade original do solo, obtidos antes do preparo, foram altos (Tabela 9) comparado aos dados obtidos por Bertol et al. 2006. Isto é devido à elevada declividade do terreno (Anexo 1), às marcas remanescentes de preparo do solo antecedente

e às marcas de sulcos de erosão pré-existentes. Estes valores são semelhantes aos obtidos por Vidal Vázquez (2002) e Bertol et al. (2006).

Após a realização do preparo do solo com escarificador, a rugosidade original aumentou 34% em relação à antes do preparo, na média dos tratamentos (Tabela 9). Assim, a rugosidade antes do preparo, que era de 27,3 mm, aumentou para 36,5 mm após o preparo, ou seja, um aumento de 9,2 mm na média dos tratamentos. Este aumento na rugosidade ocasionado pelo efeito do escarificador no preparo do solo, representa aumento na capacidade do solo em resistir à erosão hídrica.

Tabela 9. Rugosidade da superfície do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)

Momento da determinação	Tratamento			
	SCE	PCE	SQE	STE
..... mm				
Valores originais lidos no campo				
ANP	27,8Aa	21,6Aa	33,6Aa	26,2Aa
APP	36,1Ba	31,7Ca	41,1Aa	36,9Ba
AT1	36,8Aab	30,0Ba	45,9Aa	39,3ABa
AT2	29,8Aa	29,4Aa	42,8Aa	36,3Aa
AT3	28,5Aa	27,6Aa	39,4Aa	34,4Aa
AT4	28,7ABA	25,0Ba	41,3Aa	31,3ABa
AT5	27,9Ba	26,1Ba	45,9Aa	29,0Ba
Valores sem o efeito do declive				
ANP	7,5Cb	10,9Ac	9,2Be	8,2Bcd
APP	16,4Ba	22,6ABA	27,1Aa	25,3Aa
AT1	16,7Ba	20,3ABab	21,7ABb	23,2Aabc
AT2	15,1Aa	18,9Aabc	20,2Abc	24,5Aab
AT3	13,4Aab	17,1Aabc	17,7Acd	16,2Aabcd
AT4	14,5Ab	13,9Aabc	15,5Ad	14,9Abcd
AT5	19,3Aa	13,0Abc	14,7Ad	13,9Acd
Valores sem o efeito do declive e das marcas do preparo, RR				
ANP	4,2Bb	7,7Ac	4,9Bd	5,6ABd
APP	9,9Ba	16,8Aa	18,0Aa	20,6Aa
AT1	8,2Bab	14,4Aab	15,1Ab	17,6Aab
AT2	7,6Bab	12,0Aabc	13,9Ab	12,9Abc
AT3	5,1Bb	9,6ABbc	10,6Abc	11,9Ac
AT4	5,6Aab	9,4Abc	9,5Ac	11,2Ac

AT5	9,6Aa	8,5Ac	8,7Ac	9,4Acd
SCE – solo sem cultivo, escarificado; PCE – preparo convencional, escarificado; SQE – semeadura direta queimada, escarificada; STE – semeadura direta tradicional, escarificada. AT: após teste de chuva simulada; 1, 2, 3, 4 e 5: testes de chuva simulada 1, 2, 3, 4 e 5. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.				

A rugosidade produzida pelo preparo com escarificador teve seu aumento máximo no STE, com 10,7 mm, e enquanto o aumento mínimo foi na SQE, com 7,5 mm, mostrando que os tratamentos tiveram aumento semelhante de rugosidade pelo efeito do preparo com escarificador.

A rugosidade original ocasionada pela escarificação do solo tendeu a diminuir com a realização dos testes de chuva simulada, em todos os tratamentos, com exceção do tratamento SQE. Isto é explicado pelo efeito da energia cinética das chuvas que desgastaram as microelevações, cujos sedimentos desagregados, se depositaram nas microdepressões.

4.2.2. Índice de rugosidade linear do solo

Ao se retirar o efeito da declividade do terreno no cálculo da rugosidade, tornando-a linear (Tabela 9), o seu valor diminuiu em 67% em relação à rugosidade original (Tabela 9) para os dados antes do preparo do solo e em 37% para após o preparo, na média dos tratamentos. Isto demonstra a elevada influência que a declividade do terreno tem sobre a rugosidade superficial, tornando-a irrealmente elevada.

A rugosidade linear produzida pela escarificação do solo diminuiu após a realização dos testes de chuva simulada, com exceção do tratamento SCE.

Por outro lado, os sistemas de manejo aplicados anteriormente tiveram efeito significativo apenas nas determinações antes e imediatamente após a operação de escarificação.

O coeficiente de determinação, R^2 , entre rugosidade linear e original, indica que foi baixa a dependência entre estas variáveis (Figura 3). Este fato é decorrente, provavelmente, da grande influência das marcas do preparo do solo na rugosidade, quando comparada à influência da declividade do terreno. O coeficiente angular da reta indica que, para cada um milímetro de aumento da rugosidade original, a rugosidade linear foi aumentada em 0,40 milímetro, demonstrando que a declividade do terreno teve baixa influência sobre a rugosidade superficial do solo produzida pela operação de escarificação mecânica.

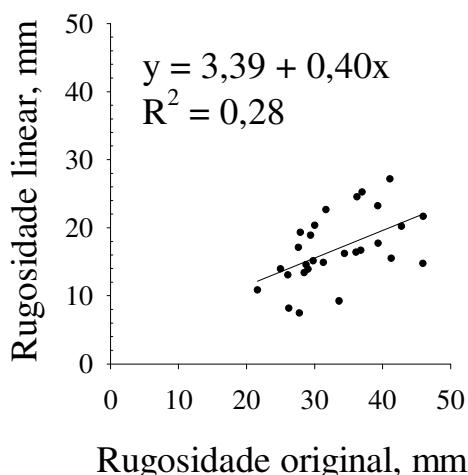


Figura 3. Relação entre a rugosidade linear e a rugosidade original da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

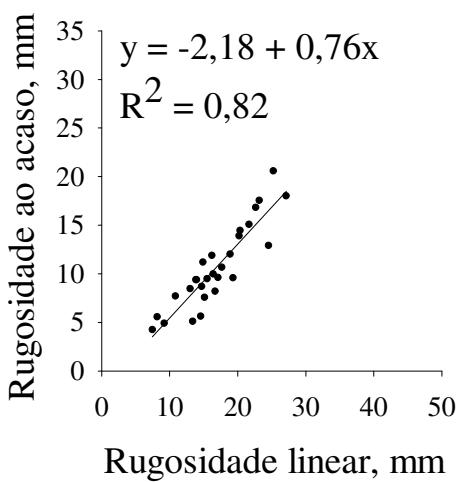


Figura 4. Relação entre a rugosidade ao acaso e a rugosidade linear da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

O coeficiente de determinação, R^2 , da equação da reta, que relacionou rugosidade ao acaso com rugosidade linear, indica um alto grau de correlação dessas variáveis (Figura 4).

O coeficiente angular da mesma equação indica que, para cada milímetro de aumento na rugosidade linear, a rugosidade ao acaso é aumentada em 0,76 milímetros. Assim, pode-se afirmar que a rugosidade superficial do solo é menos afetada pela eliminação do efeito da declividade do terreno (Figura 3), do que pela eliminação conjunta dos efeitos da declividade do terreno e das marcas de preparo do solo (Figura 4). Conclui-se, disso, que a rugosidade superficial do solo é mais fortemente influenciada pelas marcas de preparo do solo do que pela declividade do terreno, concordando com Bertol et al. (2006).

4.2.3. Índice de rugosidade ao acaso do solo

Os valores de rugosidade superficial ao acaso do solo (Tabela 9), obtidos com a escarificação sobre os diversos sistemas de preparo, foram semelhantes aos do trabalho por Eltz & Norton (1997), Vidal Vázquez (2002) e Bertol et al. (2006) e, também, enquadram-se como altos segundo a escala de valores de rugosidade ao acaso estabelecida por Renard et al. (1997) que é utilizada na Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE.

A operação de preparo do solo com escarificador aumentou a rugosidade superficial ao acaso em todos os tratamentos (Tabela 9). No solo sem cultivo (SCE), ocorreu o menor aumento, devido ao solo estar mais destorrado que nos demais. Isto é justificado pela contínua mobilização do solo durante cinco anos e meio com uma aração + duas gradagens duas vezes por ano, além de escarificações manuais com rastel. Os tratamentos preparo convencional (PCE), semeadura direta queimada (SQE) e semeadura direta tradicional (STE) apresentaram valores de rugosidade ao acaso estatisticamente iguais entre si e maiores do que SCE. Isto é justificado, para o caso da SQE, pelo fato de que, apesar da queima dos resíduos, o solo permaneceu sem revolvimento desde a implantação do

experimento.

No tratamento PCE, apesar de mobilizado com uma aração + duas gradagens durante cinco anos e meio, se manteve os resíduos vegetais no solo, enquanto no tratamento STE o solo foi manejado sob sistema de semeadura direta a partir da instalação do experimento, por isso, não foi preparado durante cinco anos e meio, mantendo-se os resíduos na superfície. O tratamento PCE apresentou o terceiro maior aumento de rugosidade superficial ao acaso, explicado pelo fato de ter sido cultivado, apesar de ter sido mobilizado com uma aração + duas gradagens durante cinco anos e meio, duas vezes por ano. Assim, os cultivos diferenciaram este tratamento do SCE, sem cultivo.

No tratamento SQE, o valor da rugosidade superficial ao acaso tendeu a diferenciar-se do PCE, pelo fato de ter sido instalado sobre campo natural e ter sido manejado sob semeadura direta, apesar dos resíduos vegetais do campo natural e das culturas terem sido queimados. O tratamento STE apresentou tendência de maior rugosidade superficial ao acaso, na maioria das situações, dentre os tratamentos, apesar de ter sido instalado sobre solo preparado convencionalmente há cinco anos e meio. A partir da instalação, foi manejado sob sistema de semeadura direta, cuja condição proporcionou a consolidação do solo em tal nível que a rugosidade ocasionada pela escarificação foi numericamente maior, embora estatisticamente igual, do que nos tratamentos PCE e SQE, em grande parte das determinações. Isto indica que este sistema de manejo do solo melhora a resistência da estrutura do solo frente à ação de implementos agrícolas, devido ao aumento da consolidação ao longo do tempo.

A rugosidade superficial ao acaso do solo obtida com a escarificação apresentou maior decréscimo com a aplicação das primeiras chuvas simuladas, enquanto nas chuvas finais o decréscimo foi menos expressivo, para todos os tratamentos com exceção do SCE

(Tabela 9), concordando com o que observaram Cogo (1981), Bertol (2005), Eltz & Norton (1997), Bertol et al. (2006) e Castro et al. (2006). No tratamento SCE, a rugosidade superficial diminuiu com o aumento das chuvas simuladas somente até o teste 3, elevando-se nos testes 4 e 5. Isto é explicado pelos sulcos de erosão produzidos pela enxurrada das chuvas simuladas. Diante disto, pressupõe-se a falta de sensibilidade do programa em retirar completamente o efeito destes sulcos no cálculo da rugosidade. Nos tratamentos PCE, SQE e STE, a rugosidade superficial ao acaso após pregaro do solo diminuiu 50%, 52% e 54%, respectivamente, após a realização do último teste de chuva simulada, em relação à rugosidade ao acaso imediatamente após o pregaro com escarificador e antes das chuvas.

Após 238 mm de chuva simulada aplicada e de 109 mm de chuvas naturais ocorridas, a rugosidade superficial ao acaso manteve valores iguais ou superiores àqueles encontrados anteriormente ao pregaro do solo, nos tratamentos PCE, SQE e STE (Tabela 9), indicando satisfatória persistência da rugosidade superficial neste tipo de solo, submetido a uma escarificação, frente à ação das chuvas simuladas.

A erosividade das chuvas simuladas influenciou o decaimento da rugosidade ao acaso da superfície do solo (Figura 5). Os testes 1 e 2, os quais totalizaram 60 mm de chuva simulada ($456 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), na média dos tratamentos, ocasionaram maior diminuição na rugosidade ao acaso da superfície do solo do que os testes 3, 4 e 5 que totalizaram 178 mm de chuva ($873 \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), na média dos tratamentos, cujo comportamento foi distinto nos diferentes tratamentos. Os tratamentos STE, SQE e PCE apresentaram coeficientes de decaimento da rugosidade superficial ao acaso do solo expressivamente maiores do que o SCE, o que pode estar relacionado com a maior rugosidade produzida pela escarificação nesses tratamentos.

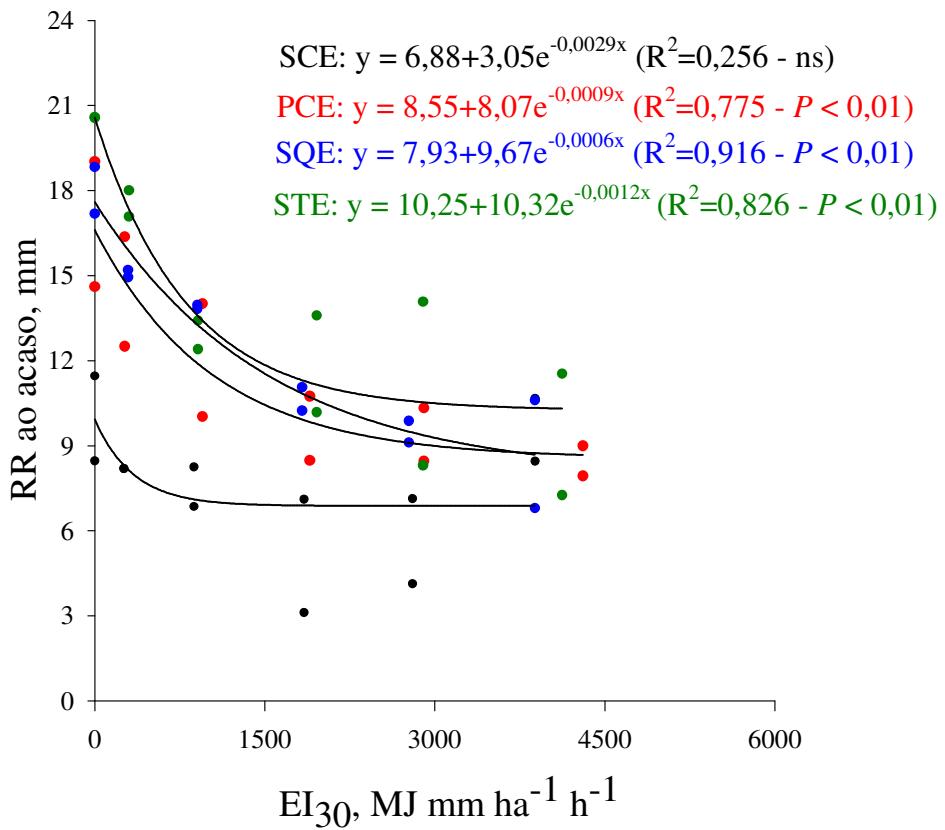


Figura 5. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície RR, e o índice de erosividade das chuvas, EI_{30} , sob diversos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica.

A não mobilização do solo nos tratamentos STE e SQE e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo no STE mantiveram elevada a agregação do solo e, com isso, o mesmo resistiu mais ao impacto das gotas de chuva do que nos demais tratamentos. Como resultado disso, a rugosidade superficial final, após terem sido aplicadas todas as chuvas simuladas, ainda era maior do que aquela encontrada no SCE antes da aplicação das chuvas simuladas. O tratamento SCE apresentou o menor coeficiente de decaimento da rugosidade da superfície do solo, justificado pela baixa rugosidade superficial produzida pela escarificação.

Em todos os tratamentos com cultivo do solo, o coeficiente de regressão entre rugosidade ao acaso da superfície do solo e índice de erosividade das chuvas foi elevado (Figura 5), indicando satisfatório ajuste do modelo exponencial aos dados, como constatado também por Cogo (1981) e Bertol et al. (2006). Portanto, pode-se afirmar que a variação da rugosidade superficial ao acaso foi principalmente devido à ação da erosividade das chuvas simuladas aplicadas e chuvas naturais ocorridas no período.

4.3. Índice de tortuosidade superficial do solo

4.3.1. Índice de tortuosidade original do solo

Os valores de índice de tortuosidade original do solo obtidos antes do preparo foram altos (Tabela 10), comparados aos obtidos por Bertol et al. 2006, devido à elevada declividade do terreno (Anexo 1), às marcas remanescentes de preparo do solo e às marcas de sulcos de erosão pré-existentes. Estes valores são semelhantes aos obtidos por Vidal Vázquez (2002) e Bertol et al. (2006).

Após a realização do preparo do solo com escarificador, a tortuosidade original aumentou 18% em relação à antes do preparo, na média dos tratamentos (Tabela 10). Assim, a tortuosidade antes do preparo, que era de 1,013, aumentou para 1,190 após o preparo, ou seja, um aumento de 0,178, na média dos tratamentos. Este aumento na tortuosidade ocasionado pelo efeito do escarificador no preparo do solo representa a dificuldade que a enxurrada terá para escoar pela superfície do solo e a capacidade de armazenagem superficial do solo.

A tortuosidade produzida pelo preparo com escarificador teve seu aumento máximo

no tratamento semeadura direta tradicional (STE), com 0,239, enquanto o aumento mínimo no preparo convencional (PCE), com 0,181, mostrando que os tratamentos tiveram aumento semelhante de tortuosidade pelo efeito do preparo com escarificador, com exceção do tratamento SCE.

Tabela 10. Tortuosidade da superfície do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo com escarificador e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico (média de duas repetições)

Momento da determinação	Tratamento			
	SCE	PCE	SQE	STE
Valores originais lidos no campo				
ANP	1,007Cc	1,019Ad	1,010BCd	1,014ABe
APP	1,086Ba	1,201Aa	1,221Aa	1,254Aa
AT1	1,074Bab	1,146Aab	1,167Ab	1,183Ab
AT2	1,066Bab	1,105ABcd	1,129ABb	1,140Ac
AT3	1,047Ab	1,066Acd	1,085Ac	1,086Ad
AT4	1,048Ab	1,051Acd	1,063Ac	1,061Ad
AT5	1,079Aab	1,044ABcd	1,049ABcd	1,018Be
Valores sem o efeito do declive				
ANP	1,007Cc	1,019Ad	1,010BCe	1,014ABe
APP	1,087Ba	1,201Aa	1,222Aa	1,253Aa
AT1	1,075Bab	1,147Aab	1,168Ab	1,183Ab
AT2	1,066Bab	1,105ABbc	1,130ABbc	1,140Ac
AT3	1,047Ab	1,066Acd	1,085Acd	1,086Ad
AT4	1,049Ab	1,051Acd	1,063Ad	1,061Ad
AT5	1,079Aab	1,044ABcd	1,049ABde	1,018Be
Valores sem o efeito do declive e das marcas do preparo, T				
ANP	1,006Cc	1,014Ac	1,007BCf	1,012Abe
APP	1,054Ba	1,167Aa	1,184Aa	1,220Aa
AT1	1,024Bbc	1,111Aab	1,137Ab	1,150Ab
AT2	1,030Babc	1,073ABbc	1,108Ac	1,109Ac
AT3	1,022Abc	1,040Abc	1,061Ad	1,065Ad
AT4	1,024Abc	1,030Ac	1,042Ade	1,043Ad
AT5	1,049Aab	1,026Bc	1,032Abe	1,010Be

SCE – solo sem cultivo, escarificado; PCE – preparo convencional, escarificado; SQE – semeadura direta queimada, escarificada; STE – semeadura direta tradicional, escarificada. AT: após teste de chuva simulada; 1, 2, 3, 4 e 5: testes de chuva simulada 1, 2, 3, 4 e 5. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A tortuosidade original ocasionada pela escarificação do solo diminuiu com a

realização dos testes de chuva simulada, em todos os tratamentos, de acordo com o que constaram também Cogo (1981), Eltz (1993), Eltz & Norton (1997), Bertol et al. (2006).

4.3.2. Índice de tortuosidade linear do solo

Ao se retirar o efeito da declividade do terreno no cálculo da tortuosidade, tornando-a linear (Tabela 10), o seu valor diminuiu em 0,04% em relação à tortuosidade original (Tabela 10) para os dados antes do preparo do solo e aumentou em 0,03% para após o preparo, na média dos tratamentos. Isto demonstra que a declividade do terreno não teve influência sobre a tortuosidade superficial, contrariamente ao que ocorreu com a rugosidade superficial.

A tortuosidade linear produzida pela escarificação do solo diminuiu após a realização dos testes de chuva simulada, com exceção do tratamento SCE, que teve pequeno aumento no último teste de chuva.

O alto coeficiente de determinação, R^2 , entre tortuosidade linear e original (Figura 6), indica o elevado grau de dependência da tortuosidade linear em relação à tortuosidade original. O coeficiente angular da reta indica que, para cada unidade de aumento da tortuosidade original, a tortuosidade linear foi aumentada na mesma proporção. Isto mostra que, ao contrário da rugosidade, a declividade do terreno não teve influencia sobre a tortuosidade superficial do solo produzida pela operação de escarificação mecânica.

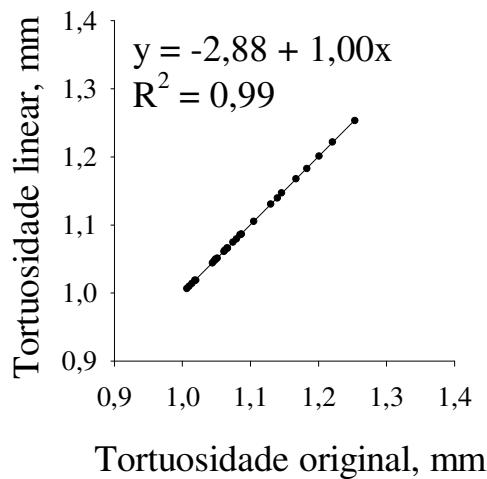


Figura 6. Relação entre a tortuosidade linear e a tortuosidade original da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

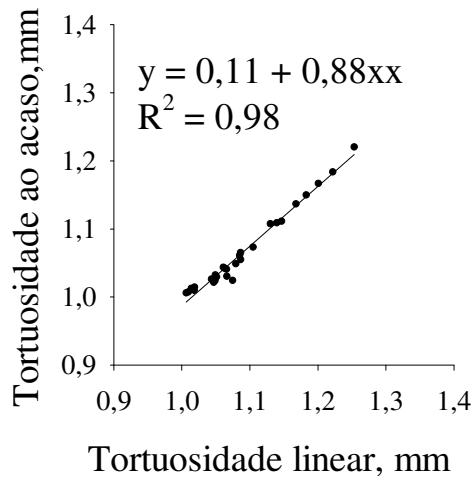


Figura 7. Relação entre a tortuosidade ao acaso e a tortuosidade linear da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico submetido à escarificação mecânica (média de duas repetições).

O alto coeficiente de determinação, R^2 , da equação da reta, que relacionou tortuosidade ao acaso com tortuosidade linear (Figura 7), indica uma estreita variação entre essas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que, para cada unidade de aumento na tortuosidade linear, a tortuosidade ao acaso é aumentada em 0,88. Assim, pode-se afirmar que a tortuosidade superficial do solo é mais afetada pela eliminação do efeito da declividade do terreno (Figura 6), do que pela eliminação conjunta dos efeitos da declividade do terreno e das marcas de preparo do solo (Figura 7). Conclui-se, disso, que a tortuosidade superficial do solo é mais fortemente influenciada pela declividade do terreno do que pelas marcas de preparo do solo, concordando com Bertol et al. (2006).

4.3.3. Índice de tortuosidade ao acaso do solo

Os valores de tortuosidade superficial ao acaso do solo (Tabela 10), obtidos com a escarificação sobre os diversos sistemas de pregaro são semelhantes aos obtidos por Eltz & Norton (1997), Vidal Vázquez (2002) e Bertol et al. (2006).

A operação de pregaro do solo com escarificador aumentou a tortuosidade superficial ao acaso em todos os tratamentos (Tabela 10). Assim, a tortuosidade superficial ao acaso, que antes do pregaro era de 1,010, passou para 1,156 após o pregaro, na média dos tratamentos, ou seja, um aumento de 0,146. No solo sem cultivo (SCE), ocorreu o menor aumento, devido ao solo estar mais destorrado que nos demais. Isto é justificado pela contínua mobilização do solo durante cinco anos e meio com uma aração + duas gradagens duas vezes por ano, além de escarificações manuais com rastel. Os tratamentos de pregaro convencional (PCE), semeadura direta queimada (SQE) e semeadura direta tradicional (STE) apresentaram valores de tortuosidade ao acaso estatisticamente iguais entre si e maiores do que o SCE. Isto é justificado, para o caso da SQE pelo fato de que, apesar da queima dos resíduos o solo permaneceu sem revolvimento desde a implantação do experimento.

O tratamento PCE, apesar de mobilizado com uma aração + duas gradagens durante cinco anos e meio, foi mantido os resíduos vegetais no solo, enquanto o tratamento STE o solo foi manejado sob sistema de semeadura direta a partir da instalação do experimento e, por isso, não foi preparado durante cinco anos e meio, mantendo os resíduos na superfície do solo. O tratamento PCE apresentou o segundo maior aumento de tortuosidade superficial ao acaso, explicado pelo fato de ter sido cultivado, apesar de ter sido mobilizado com uma aração + duas gradagens durante cinco anos e meio, duas vezes por ano. Assim, o cultivo diferenciou este tratamento do SCE, sem cultivo. No tratamento SQE o valor da tortuosidade superficial ao acaso tendeu a diferenciar-se do PCE, pelo fato de ter sido

instalado sobre campo natural e ter sido manejado sob semeadura direta, apesar de terem sido queimados os resíduos vegetais do campo natural e das culturas.

O tratamento STE apresentou tendência de maior tortuosidade superficial ao acaso, dentre os tratamentos, na maioria das situações, apesar de ter sido instalado sobre solo preparado convencionalmente há cinco anos e meio. A partir da instalação, foi manejado sob sistema de semeadura direta, cuja condição proporcionou a consolidação do solo em tal nível que a tortuosidade ocasionada pela escarificação foi numericamente maior, embora estatisticamente igual, do que nos tratamentos PCE e SQE, em grande parte das determinações. Isto indica que este sistema de manejo do solo melhora a resistência da estrutura do solo frente à ação de implementos agrícolas, devido ao aumento da consolidação ao longo do tempo.

As chuvas simuladas aplicadas diminuíram a tortuosidade superficial ao acaso do solo, obtida com a escarificação, nos tratamentos estudados, com exceção do SCE (Tabela 10), concordando com o que observaram Cogo (1981), Eltz (1993), Eltz & Norton (1997) e Bertol (2005) e Bertol et al. (2006). No tratamento SCE, a tortuosidade superficial diminuiu com o teste 1, aumentou levemente no teste 2, voltou a diminuir no teste 3, e nos testes 4 e 5 a tortuosidade superficial voltou a aumentar. Isto é explicado pelos sulcos de erosão produzidos pela enxurrada das chuvas simuladas. Diante disto, pressupõe-se a falta de sensibilidade do programa em retirar completamente o efeito destes sulcos no cálculo da tortuosidade. Nos tratamentos PCE, SQE e STE, a tortuosidade superficial ao acaso após o preparo do solo diminuiu 12%, 13% e 17%, respectivamente, após a realização do último teste de chuva simulada em relação à rugosidade ao acaso imediatamente após o preparo com escarificador e antes das chuvas. A maior redução da tortuosidade sofrida pela STE pode ser explicada pela maior tortuosidade produzida pelo preparo do solo nesse

tratamento, ou seja, maior a diferença entre a extensão da superfície do solo, incluindo as microelevações e microdepressões do referido segmento, e a mesma extensão em linha reta, ou seja, excluindo as distâncias referentes as microelevações e microdepressões, fazendo com que a energia cinética da chuva tenha mais tortuosidade superficial para destruir. Isto significa que a rugosidade ao acaso da superfície do solo (Tabela 9) é mais frágil quando comparada à tortuosidade ao acaso da superfície do solo (Tabela 10), ou seja, a rugosidade superficial é mais afetada por crescentes volumes de chuva aplicados.

Após 238 mm de chuva simulada aplicada e de 109 mm de chuvas naturais ocorridas, a tortuosidade superficial ao acaso manteve valores iguais ou superiores àqueles encontrados anteriormente ao preparo do solo (Tabela 10), com exceção do tratamento STE que sofreu redução brusca de tortuosidade no último teste de chuva simulada. Isto indica satisfatória persistência da tortuosidade superficial frente à ação das chuvas simuladas neste tipo de solo.

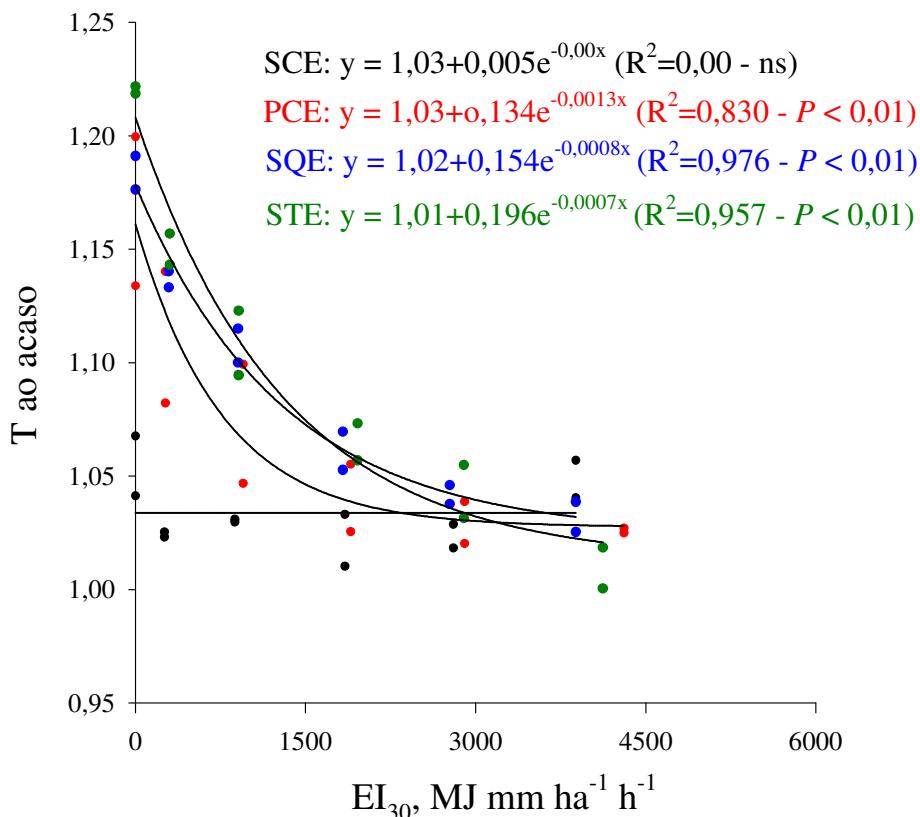


Figura 8. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o índice de erosividade das chuvas, EI_{30} , sob diversos sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica.

A erosividade das chuvas simuladas influenciou o decaimento da tortuosidade ao acaso da superfície do solo (Figura 8), de forma semelhante ao que ocorreu com a rugosidade. Os tratamentos STE, SQE e PCE apresentaram coeficientes de decaimento da tortuosidade superficial ao acaso do solo expressivamente maiores do que o SCE, o que é justificado pelo fato de que naqueles três tratamentos a tortuosidade produzida pela escarificação foi expressivamente maior do que no SCE.

A tortuosidade superficial final, após terem sido aplicadas todas as chuvas simuladas e chuvas naturais ocorridas no período, ainda era maior do que aquela encontrada no SCE antes da aplicação das chuvas simuladas. O tratamento PCE apresentou também

um ótimo desempenho, no que se refere ao coeficiente de decaimento da tortuosidade ao acaso, devido, provavelmente, ao pousio que permaneceu antes da escarificação. O tratamento SCE apresentou coeficiente de decaimento da tortuosidade da superfície do solo nula, justificado pela já baixa tortuosidade superficial produzida pela escarificação.

Em todos os tratamentos com cultivo do solo, o coeficiente de regressão entre tortuosidade ao acaso da superfície do solo e índice de erosividade das chuvas foi elevado (Figura 8), indicando satisfatório ajuste do modelo exponencial aos dados, como constatado também por Cogo (1981) e Bertol et al. (2006). Portanto, pode-se afirmar, que a variação da tortuosidade superficial ao acaso foi principalmente devido à ação da erosividade das chuvas simuladas aplicadas e chuvas naturais ocorridas no período.

4.4. Relações da rugosidade superficial do solo com as propriedades do solo

4.4.1. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x DMP

A rugosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se linear e positivamente com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados da camada de 0,5-3,0 cm (Figura 9). O coeficiente de determinação da equação da reta (R^2), indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que, para cada milímetro de aumento no DMP, a rugosidade ao acaso da superfície do solo aumenta em 2,17 milímetros. O tratamento SCE apresentou os menores valores de rugosidade ao acaso da superfície do solo e DMP, o que é explicado pelo constante revolvimento do solo. A superfície permaneceu livre de plantas e resíduos vegetais e, por isso, sujeita à ação das chuvas naturais e das chuvas simuladas. O tratamento SQE, por

outro lado, apresentou o maior valor de DMP e o segundo maior valor de rugosidade ao acaso da superfície do solo. O PCE apresentou o segundo maior valor de DMP e o terceiro maior valor de rugosidade ao acaso da superfície do solo, e, o STE, o terceiro maior valor de DMP e o maior valor de rugosidade ao acaso da superfície do solo. Isto é justificado pelo fato de que, apesar do PCE ser preparado convencionalmente, o período de tempo em que o solo ficou em repouso (seis meses) antes da coleta das amostras para a determinação da estabilidade dos agregados em água e dos testes de chuva simulada, foi suficiente para que a consolidação do solo se restabelecesse. Contribuíram para isso os resíduos vegetais que foram incorporados ao solo. Apesar da queima dos resíduos vegetais na SQE, houve a contribuição do não revolvimento do solo. O melhor desempenho do STE na rugosidade é atribuído ao fato do não revolvimento do solo e à presença de resíduos vegetais na superfície do mesmo, durante todo o período antecedente a esta pesquisa, proporcionando a consolidação do solo.

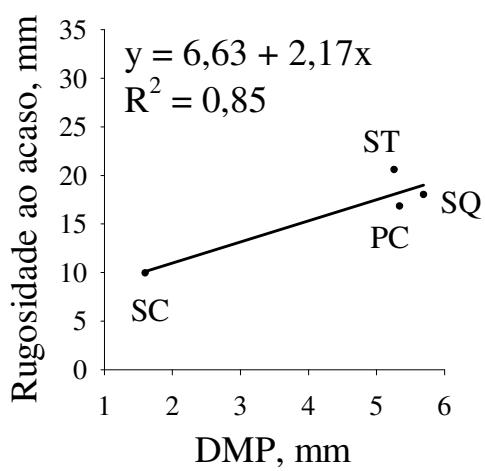


Figura 9. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e o diâmetro médio ponderado de agregados, DMP, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

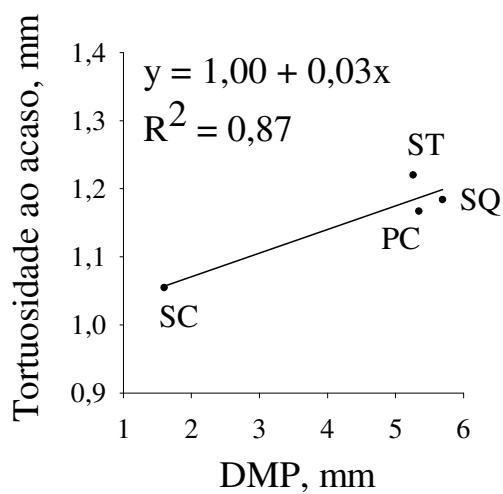


Figura 10. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o diâmetro médio ponderado de agregados, DMP, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

A tortuosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se linear e positivamente com o DMP da camada de 0,5-3,0 cm (Figura 10). O coeficiente de determinação da equação da reta (R^2), indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que para cada unidade de aumento no DMP, a tortuosidade ao acaso da superfície do solo é aumentada em 0,03 unidade. Assim, pode-se afirmar que a rugosidade superficial do solo é mais afetada pelo DMP, em valores numéricos, do que a tortuosidade superficial do solo. O tratamento SCE apresentou os menores valores de tortuosidade ao acaso da superfície do solo e DMP. O tratamento SQE, por outro lado, apresentou o maior valor de DMP e o segundo maior valor de tortuosidade ao acaso da superfície do solo. O PCE apresentou o segundo maior valor de DMP e o terceiro maior valor de tortuosidade ao acaso da superfície do solo, e, o STE, o terceiro

maior valor de DMP e o maior valor de tortuosidade ao acaso da superfície do solo. Para estes comportamentos, podem ser utilizadas as mesmas justificativas apresentadas para a rugosidade superficial.

4.4.2. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x CO

A rugosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se positivamente com o teor de carbono orgânico (CO), da camada de 0,5 a 3,0 cm (Figura 11). O coeficiente de determinação da equação da reta, R^2 , indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que para cada milímetro de aumento no teor de carbono orgânico, a rugosidade ao acaso da superfície do solo é aumentada em 0,27 milímetro. Assim, pode-se afirmar que a rugosidade superficial do solo é afetada mais fortemente pelo diâmetro médio ponderado do que pelo teor de carbono orgânico. O tratamento SCE apresentou os menores valores de teor de CO e rugosidade ao acaso da superfície do solo, seguido pelo PCE. Apesar dos dois tratamentos sofrerem preparo convencional duas vezes ao ano, a superioridade do PCE é explicada pela manutenção e incorporação de resíduos vegetais no solo, em relação ao SCE. Além disso, o SCE sofreu pulverização do solo com escarificações manuais, acelerando a mineralização da matéria orgânica. O tratamento SQE apresentou o maior teor de CO e o segundo maior valor de rugosidade ao acaso, enquanto que a STE apresentou o segundo maior teor de CO e o maior valor de rugosidade ao acaso. O desempenho do tratamento SQE é atribuído à não mobilização do solo na implantação do experimento há cinco anos e meio, e sua condução em sistema de semeadura direta, apesar da queima dos resíduos vegetais. No caso do STE, isto se deve ao fato do mesmo ter sido manejado em sistema de semeadura direta

mantendo os resíduos vegetais na superfície do solo, apesar de ter sido preparado convencionalmente na implantação do experimento há cinco anos e meio.

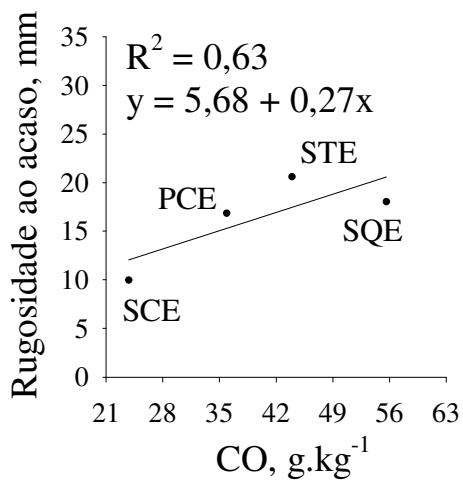


Figura 11. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e o teor de carbono orgânico, CO, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

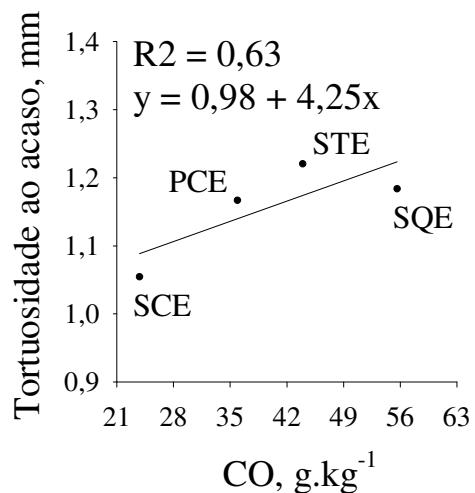


Figura 12. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e o teor de carbono orgânico, CO, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

A tortuosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se positivamente com o teor de CO da camada de 0,5-3,0 cm (Figura 12). O coeficiente de determinação da equação da reta (R^2), indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que, para cada unidade de aumento no teor de CO, a tortuosidade ao acaso da superfície do solo é aumentada em 4,25 unidades. Assim, pode-se afirmar que a rugosidade superficial do solo é menos afetada pelo teor de CO, em valores numéricos, do que a tortuosidade, e, ainda, a tortuosidade superficial do solo é afetada mais fortemente pelo teor de CO do que pelo DMP. O tratamento SCE apresentou

os menores valores de teor de CO e tortuosidade ao acaso, seguido pelo PCE. O tratamento SQE, por outro lado, apresentou o maior teor de CO e o segundo maior valor de tortuosidade ao acaso, enquanto que a STE apresentou o segundo maior teor de CO e o maior valor de tortuosidade ao acaso. Para estes comportamentos, podem ser utilizadas as mesmas justificativas apresentadas para a rugosidade superficial.

4.4.3. Rugosidade e tortuosidade superficial ao acaso do solo x Ds

A rugosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se linear e positivamente com a densidade do solo (Ds), da camada de 0,5-3,0 cm (Figura 13). O alto coeficiente de determinação da equação da reta (R^2), indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que para cada milímetro de aumento na densidade do solo, a rugosidade ao acaso da superfície do solo é aumentada em 41,06 milímetros. O tratamento SCE apresentou os menores valores de Ds e rugosidade ao acaso, seguido pelo PCE e SQE, enquanto o tratamento STE apresentou os maiores valores de Ds e de rugosidade ao acaso. Isto significa que a rugosidade da superfície do solo aumenta com o aumento da densidade do solo. Os menores valores de Ds e rugosidade ao acaso no tratamento SCE são decorrentes do preparo convencional e das escarificações manuais, durante os cinco anos e meio que antecederam este trabalho, mas, também, devido à ausência de resíduo vegetal. Os menores valores de Ds e rugosidade ao acaso no PCE em relação a SQE e a STE são explicados pelo revolvimento do solo com aração seguida de gradagens durante o período de cinco anos e meio, no PCE. Os maiores valores de Ds e rugosidade ao acaso na SQE, em relação ao SCE e PCE são atribuídos à não mobilização

do solo, bem como à condução em sistema de semeadura direta, apesar da queima dos resíduos vegetais na SQE. Os maiores valores dessas duas propriedades do solo na STE são explicados pelo não revolvimento do solo, o que resultou em maior consolidação da superfície do que nos demais tratamentos.

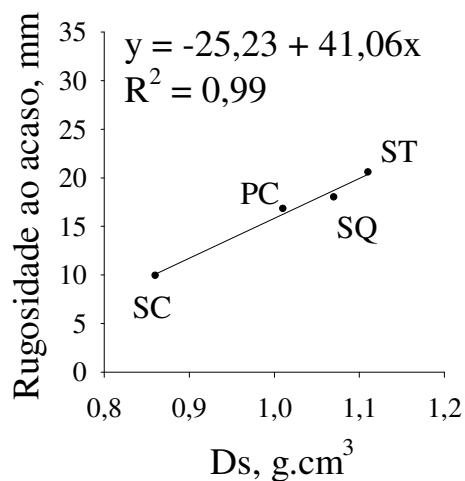


Figura 13. Relação entre a rugosidade ao acaso da superfície do solo e a densidade do solo, Ds, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

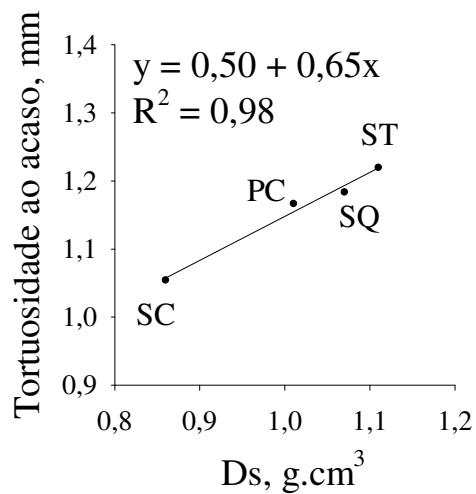


Figura 14. Relação entre a tortuosidade ao acaso da superfície do solo e a densidade do solo, Ds, da camada de 0,5 - 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições).

A tortuosidade ao acaso da superfície do solo relacionou-se positivamente com a densidade do solo (Ds), da camada de 0,5-3,0 cm (Figura 14). O coeficiente de determinação da equação da reta (R^2), indica certo grau de confiança na regressão linear dessas variáveis. O coeficiente angular da mesma equação indica que para cada unidade de aumento na Ds, a tortuosidade ao acaso da superfície do solo é aumentada em 0,65 unidade. Conclui-se daí que a tortuosidade do solo aumenta com o aumento da Ds, mas em proporção menor do que o caso da rugosidade. O tratamento SCE apresentou os menores

valores de Ds e tortuosidade ao acaso, seguido pelo PCE e SQE, enquanto o tratamento STE apresentou os maiores valores dessas duas propriedades da superfície do solo. Para estes comportamentos, podem ser utilizadas as mesmas justificativas apresentadas para a rugosidade superficial.

4.5. Influência da rugosidade superficial do solo na erosão hídrica

4.5.1. Teor de água no solo imediatamente antes do início dos testes de chuva simulada

O teor de água do solo no momento anterior à aplicação das chuvas simuladas teve variação de 0,28 a 0,41 g g⁻¹, nos diferentes tratamentos e testes de chuva simulada (Tabela 11). A variação entre tratamentos foi decorrente da homogeneidade da área experimental e, talvez, da elevada temperatura atmosférica na época de execução das chuvas. Assim, os resultados de perdas de solo e água devem ter sido pouco influenciados por esta variável. O tratamento SCE apresentou, em geral, menor teor de água no solo do que os demais tratamentos, em ambas as camadas. O fato do solo não ser cultivado, além de sofrer escarificações manuais, contribuiu para que a água evaporasse mais rapidamente neste tratamento.

Tabela 11. Teor de água em duas profundidades do solo antes de cada teste de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)

SCE	0,30	0,35	0,32	0,35	0,34	0,36	0,31	0,35	0,28	0,35
PCE	0,31	0,35	0,32	0,35	0,36	0,36	0,32	0,36	0,36	0,38
SQE	0,36	0,37	0,36	0,39	0,37	0,41	0,35	0,35	0,39	0,41
STE	0,36	0,40	0,39	0,35	0,39	0,40	0,34	0,39	0,38	0,39

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

4.5.2. Tempo de empoçamento e de início da enxurrada

O tempo de empoçamento compreende o tempo transcorrido desde o início da chuva até o momento em que a água inicia o processo hidrológico de armazenagem depressional na superfície do solo (Bertol 2005). Esse tempo variou com os testes de chuva simulada aplicada e com os tratamentos (Tabela 12).

O maior tempo de empoçamento da STE, em todos os testes de chuva simulada, foi observado no manejo em sistema de semeadura direta durante o período experimental, que influenciou positivamente a rugosidade superficial, a qual, embora estatisticamente igual a SQE e PCE, apresentou valor maior em termos absolutos. A SQE apresentou tempo de empoçamento maior que o PCE, e este maior que o SCE, em todos os testes de chuva simulada, justificando-se pelo fato do solo da SQE nunca ter sido revolvido mecanicamente. Este apesar da queima dos resíduos vegetais apresentou maior rugosidade superficial do que o PCE e o SCE. As principais diferenças do PCE para o SCE são as escarificações manuais realizadas e a ausência de resíduo vegetal no SCE, o que ocasionou menor rugosidade superficial neste tratamento.

Tabela 12. Tempo de empoçamento da enxurrada na superfície do solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
 minuto				
SCE	18	8	5	10	3
PCE	> 20	18	19	20	9
SQE	> 20	> 30	23	28	*
STE	> 20	> 30	30	36	23

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (*) – escoamento subsuperficial sem ocorrência de empoçamento.

O aumento do tempo de empoçamento refletiu diretamente no tempo necessário para iniciar a enxurrada (Tabela 13), ou seja, quanto maior o tempo de empoçamento maior o volume de água armazenada na superfície do solo, refletindo no aumento da infiltração de água no solo e na redução do escoamento superficial (Bertol 2005).

O maior intervalo de tempo entre o início da chuva simulada e o início do escoamento ocorreu no tratamento STE, o qual foi 67% maior do que a média dos demais tratamentos. Isto se justifica pelo manejo em sistema de semeadura direta, durante o período experimental que ocasionou maior rugosidade superficial por ocasião da escarificação. O tempo de início da enxurrada 24% menor na SQE do que na STE, na média dos testes de chuva simulada, é atribuído à queima dos resíduos vegetais do solo, menor rugosidade superficial e menor tempo de empoçamento no tratamento SQE. O PCE apresentou menor tempo de início da enxurrada do que o SQE que, apesar da queima, foi beneficiado pelo manejo em sistema de semeadura direta e, consequentemente, maior tempo de empoçamento. O menor tempo de início da enxurrada do SCE, em relação ao PCE, justifica-se pelas escarificações manuais realizadas durante o período experimental, ausência de cultivo do solo, menor rugosidade superficial e menor tempo de empoçamento, no SCE.

Tabela 13. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... minuto					
SCE	> 20	22	11	18	5
PCE	> 20	23	23	23	11
SQE	> 20	> 30	27	31	17
STE	> 20	> 30	32	40	27

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

4.5.3. Infiltração total de água no solo

O tratamento STE apresentou a maior infiltração total de água no solo (Tabela 14), sendo, 18%, 40% e 19% maior do que o SCE, PCE e SQE, respectivamente, na média dos testes de chuva simulada. Isto aconteceu porque a STE apresentou maior rugosidade superficial do solo em relação aos demais tratamentos, após o preparo do solo com escarificador (Tabelas 9 e 10) e, em relação ao SQE, devido também à menor declividade do terreno (Anexo 1). A maior infiltração total de água no solo na SQE em relação ao PCE, aconteceu porque não houve mobilização do solo na implantação do experimento há cinco anos e meio, sendo conduzido sob semeadura direta, apesar da queima dos resíduos vegetais. A alta infiltração total de água no solo do SCE justifica-se pelo alto volume de macroporos, principalmente dos primeiros 7,5 cm, resultante do preparo convencional, além das escarificações manuais. A maior infiltração de água no solo ocorreu no quarto teste, em todos os tratamentos, por causa do menor teor de água no solo, em relação aos demais testes de chuva simulada.

Tabela 14. Infiltração total observada de água no solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
	mm				
SCE	-	38Aab	41ABa	44Aba	32Bb
PCE	-	35Ba	25Cb	37Ba	33ABab
SQE	-	-	36Ba	43ABA	36ABA
STE	-	-	45Aa	47Aa	46Aa

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – infiltrou o volume total de chuva aplicada. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 8,07%.

4.5.4. Volume total de enxurrada

O volume total de enxurrada diferiu entre os tratamentos e entre os testes de chuva simulada aplicados (Tabela 15), cujo comportamento é inverso daquele verificado para a infiltração total de água no solo. O tratamento STE apresentou a menor perda de água pela enxurrada, equivalendo a 15%, 44% e 19% daquela ocorrida no SCE, PCE e SQE, respectivamente, na média dos testes de chuva simulada. Isto ocorreu porque, apesar do solo de ter sido preparado convencionalmente na implantação do experimento, este tratamento foi, a partir daí, manejado sob semeadura direta, mantendo-se os resíduos vegetais na superfície do solo. E justificado também pela maior rugosidade superficial criada pelo escarificador, em relação aos demais tratamentos, revelando a importância deste tipo de preparo, sobre a semeadura direta, no aumento da capacidade de armazenagem de água na superfície do solo e, consequentemente, na infiltração (Tabela 14), o que também foi constatado por Bertol et al. (2006). O maior volume total de enxurrada do PCE em

relação ao SQE é explicado pelo revolvimento do solo com uma aração + duas gradagens.

O maior volume total de enxurrada ocorreu no quinto teste, em todos os tratamentos, devido ao maior volume total de chuva aplicada.

Tabela 15. Volume total de enxurrada ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h^{-1} , em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
						mm
SCE	-	-	1,9Bb	8,2ABb	31,5Aa	
PCE	-	-	17,5Ab	15,4Ab	30,5ABA	
SQE	-	-	6,6Bb	9,3ABb	27,8ABA	
STE	-	-	-	5,9Ba	17,7Ba	

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinado por ausência de enxurrada. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 22,51%.

4.5.5. Concentração de sedimentos na enxurrada

A concentração de sedimentos na enxurrada, durante o período inteiro de sua ocorrência, foi 5, 3 e 10 vezes maior no SCE do que no PCE, SQE e STE, respectivamente, na média dos testes de chuva simulada (Tabela 16). Isto demonstra o efeito negativo do preparo convencional combinado com escarificações manuais executadas rotineiramente, além da ausência de cultivo do solo. A concentração de sedimentos na enxurrada foi 1,7 vezes maior na SQE do que no PCE, na média dos testes de chuva simulada, o que se justifica pela queima dos resíduos vegetais, apesar da não mobilização do solo na SQE. A menor concentração de sedimentos na enxurrada ocorreu na STE, apesar ter sido o solo preparado convencionalmente na implantação do experimento, foi, nesse período, manejada

sob semeadura direta, mantendo os resíduos vegetais na superfície do solo. Isto proporcionou reestruturação do solo e, também, revelou a importância do preparo com escarificador no aumento da rugosidade superficial do solo e, consequentemente, no aumento da retenção de sedimentos na superfície do solo, o que também foi constatado por Bertol et al. (2006).

Tabela 16. Concentração de sedimentos na enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... kg m ⁻³					
SCE	-	8,5Ad	17,8Ac	32,1Ab	74,8Aa
PCE	-	4,8Bb	4,4Cb	4,7Cb	11,2Ba
SQE	-	-	9,6Ba	12,1Ba	11,0Ba
STE	-	-	2,0Db	2,8Cb	5,6Ca

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinada por ausência de enxurrada. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 6,51%.

4.5.6. Perda total de solo

Os tratamentos SCE, PCE e SQE apresentaram 805%, 179% e 185% maior perda total de solo, respectivamente, do que o tratamento STE, na média dos tratamentos e dos testes de chuva simulada (Tabela 17). Isto mostra que, apesar do revolvimento do solo com uma aração + duas gradagens na implantação do experimento, o fato da STE ter sido manejada sob semeadura direta com permanência de resíduos vegetais na superfície do solo, desde então, proporcionou a reestruturação do solo. Na média dos testes de chuva simulada, a SQE apresentou perda de solo 3,4% maior do que o PCE, apesar dos valores

não diferirem estatisticamente. Esta tendência é atribuída à queima dos resíduos, apesar da não mobilização do solo na implantação do experimento, e à condução da SQE sob semeadura direta. A maior perda total de solo do SCE, em relação aos demais tratamentos, justifica-se pela mobilização do solo executada pela aração + duas gradagens, além de escarificações manuais, e pela ausência de cultivo do solo o que determinou maior concentração de sedimentos na enxurrada (Tabela 16), concordando com Mello (2002), Leite (2003) e Engel (2005), cujos trabalhos foram realizados sobre o mesmo experimento.

A perda total de solo apresentou tendência de aumento do segundo para o último teste de chuva simulada, em todos os tratamentos, embora, em alguns casos, sem diferença estatística, justificado pela progressiva degradação do solo ocasionada pela ação das chuvas e enxurradas.

Tabela 17. Perda total de solo ajustada para a intensidade e chuva planejada de 64 mm h^{-1} e para a declividade média das parcelas experimentais de $0,17 \text{ m m}^{-1}$, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos a escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
			kg ha ⁻¹		
SCE	-	114Bb	1.301Ab	5.809Ab	23.842Aa
PCE	-	398Ab	1.148Ab	1.295BCb	4.069Ba
SQE	-	-	1.128Ac	1.713Bb	2.513Ba
STE	-	-	171Bb	610Cb	2.112Ba

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinada por ausência de enxurrada. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 36,44%.

4.5.7. Índice D₅₀

O índice D_{50} expressa o tamanho de sedimentos transportados no escoamento superficial, onde 50% dos mesmos, em massa, possuem diâmetro inferior e, 50%, possuem diâmetro superior a tal tamanho. Esse índice é uma consequência da distribuição do tamanho dos sedimentos erodidos e, assim, quanto menor o tamanho dos sedimentos transportado menor será o valor do índice D_{50} (Amado, 1985).

No terceiro teste de chuva simulada, o maior D_{50} do PCE (Tabela 18), em relação ao SCE e a SQE, justifica-se pelo preparo do solo que provocou a separação mecânica dos agregados e pelo maior volume total de enxurrada. Ainda, neste teste de chuva simulada, a SQE não diferiu estatisticamente do SCE, explicado pela queima do resíduo vegetal na superfície do solo da SQE.

A STE apresentou D_{50} 28%, 48% e 57% menor do que respectivamente SQE, PCE e SCE, no quarto teste de chuva simulada, apesar do revolvimento do solo na implantação do experimento, o que foi compensado positivamente pela condução da STE sob semeadura direta durante cinco anos e meio, o que proporcionou a reestruturação dos agregados. O elevado D_{50} da STE, no quinto teste de chuva, se justifica pelo elevado volume total de chuva aplicada em relação aos testes anteriores, fazendo com que os sedimentos maiores fossem transportados.

Tabela 18. Índice D_{50} dos sedimentos transportados pela enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (média de duas repetições)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
SCE	-	-	0,526Bb	0,656Aa	0,568Bab

PCE	-	-	0,836Aa	0,540Bc	0,603Ab
SQE	-	-	0,530Ba	0,395Cb	0,364Db
STE	-	-	-	0,283Db	0,503Ca

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinado, por ausência ou por influência de enxurrada. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. CV: 3,84%.

5. CONCLUSÕES

1. O teor de carbono orgânico (CO) influenciou o diâmetro médio ponderado de agregados do solo (DMP), na camada de 0,5 – 3,0 cm de um Nitossolo Háplico alumínico; CO e DMP influenciaram a rugosidade e a tortuosidade ao acaso da superfície do solo.
2. Sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, conduzidos durante cinco e meio anos, não influenciaram a rugosidade superficial original do solo; por outro lado, tais sistemas de manejo influenciaram a rugosidade superficial do solo linear e ao acaso; a rugosidade ao acaso foi influenciada pelos sistemas de manejo do solo em pousio.
3. A tortuosidade superficial original, linear e ao acaso do solo foi influenciada por sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico conduzidos durante cinco e meio anos.
4. Diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, ao serem submetidos à operação de escarificador após cinco e meio anos de cultivo, resultaram em rugosidade e tortuosidade substancialmente maiores do que antes do referido preparo, diferindo nos distintos sistemas de manejo do solo.
5. A declividade do terreno e as marcas de preparo do solo executado com escarificador influenciaram a rugosidade e a tortuosidade ao acaso da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico; para o caso da rugosidade, o efeito da declividade foi menor do que o das marcas de preparo; para o caso da tortuosidade, ambas as variáveis acarretaram o mesmo grau de influência.
6. A rugosidade e a tortuosidade ao acaso da superfície de um Nitossolo Háplico alumínico, provocada por uma operação de escarificador após cinco e meio anos de manejo

do solo diminuiu cumulativamente com o aumento da erosividade das chuvas; no preparo convencional mantido sem cultivo por esse período, a rugosidade e tortuosidade ao acaso não se relacionaram com a erosividade.

7. Os tempos de empoçamento e de início da enxurrada diminuíram com o aumento cumulativo do volume de chuvas, de maneira distinta nos diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico manejado por cinco e meio anos e submetido à operação de escarificação; tais variáveis, uma vez ocorrentes, apresentaram maior retardamento de tempo nos sistemas de semeadura direta, em especial na semeadura direta tradicional, do que nos preparamos convencionais.

8. A semeadura direta tradicional, foi mais eficaz no aumento da rugosidade e da tortuosidade ao acaso da superfície do solo do que o foram a semeadura direta sobre campo natural com resíduos queimados, preparo convencional cultivado com resíduos vegetais incorporados e preparo convencional sem cultivo de um Nitossolo Háplico alumínico, todos conduzidos durante cinco e meio anos e submetidos à operação de escarificação; tal eficácia daquela semeadura direta resultou em maior benefício na infiltração de água no solo e na redução das perdas de água e solo por erosão hídrica do que nos demais tratamentos recém citados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, E. E.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R.. **Soil aggregates and primary particles transported in rill and interril-flow.** Soil Sci. Soc. of Am. J., Madison, v. 44, n. 3, p. 590-595, 1980.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. **Total porosity and roughness of the interrow zone as influenced by tillage.** [s. l.]: ARS: USDA, 22p. (Cons. Res. Report, 7), 1966.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E. & HOLT, R. F. **Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time.** Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 550-556, 1967.
- AMADO, T. J. C. **Relações da erosão hídrica do solo com níveis e formas de manejo do resíduo cultural de soja.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 104p. (Dissertação de Mestrado).
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. **Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura.** R. Bras. Ci. Solo, 21:105-112, 1997.
- BERTOL, I. **Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduos culturais de trigo.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1986. 148p. (Dissertação de Mestrado).
- 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.** R. Bras. Ci. Solo, 11:187-192, 1987.
- BERTOL, I. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Distrófico sob diferentes preparamos do solo e rotação de cultura.** R. Bras. Ci. Solo, 18: 267-271, 1994.
- BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparamos conservacionistas de solo.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado).
- BERTOL, I.; COGO, N. P. & MIQUELLUTI, D. J. **Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga.** Pesq. Agropec. Gaúcha, 3:199-206, 1997.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE D. & BATISTELA, O. **Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo.** Sci. Agr., 58:555-560, 2001.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V. & CARRAFA, M. R. **Nutrient losses by water erosion.** Sci. Agric., 60:581-586, 2003.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. & ZOLDAN JR., W. A. **Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo.** R. Bras. Ci. Solo, 28:155-163, 2004.

BERTOL, I. **Subfator rugosidade superficial do fator cobertura e manejo do solo do modelo equação universal de perda de solo revisada.** Coruña (Espanha), Universidade da Coruña, 2005. 52p. (Relatório de estágio pós-doutoral).

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; BARBOSA, F. T.; BRIGNONI, L. F. **Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água.** R. Bras. Ci. Solo, 30: 543-553, 2006.

BERTOL, I. GONZÁLEZ, A. P.; VÁZQUEZ, E. V. **Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada.** Pesq. Agropec. Bras., 2005. (No Prelo)

BOIFFIN, J. **La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l' action d' es pluies.** Paris, INA – PG, 1984. 320p. (Tese de Doutorado).

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R. & AMEMIYA, M. A. **Field measurement of total porosity and surface microrelief of soils.** Proc. Soil Sci. Soc. Am., 27: 697-700, 1963.

BURWELL, R. E. & LARSON, W. E. **Infiltration as influenced by tillage induced random roughness and pored space.** 1969.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R. & SLONEKER, L. L. **Structural alteration of soil surface s by tillage and rainfall.** J. Soil and Water Cons., 21:61-63, 1966.

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.** R. Bras. Ci. Solo, 30:339-352, 2006.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. **Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo.** R. Bras. Ci. Solo, 14:99-105, 1990.

- COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters.** West Lafayette, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado).
- COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C. & FOSTER, G. R. **Soil loss reductions from conservation tillage practices.** Soil Sci. Soc. Am. J., 48:368-373, 1984.
- CURRENCE, H. D. & LOVELY, W. G. **The analysis of soil surface roughness.** Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 13:710-714, 1970.
- DEXTER, A. R. **Effect of rainfall on the surface micro-relief soil.** J. of Terramech. No 1. 14:11-22. 1977.
- DULEY, F. L. **Surface factors affecting the rate of intake of water by soils.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., 4:60-64, 1939.
- ELLISON, W. D. **Soil erosion studies.** Agric. Eng., 28:145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.
- ELTZ, F. L. F. & Norton, L. D. **Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage, and canopy cover.** Soil Sci. Soc. Am. J., 61:1746-1755, 1997.
- ELTZ, F. L. F. **Surface roughness changes as affected by tillage and rainfall erosivity.** West Lafayette, Purdue University, 1993. 195p. (Tese de Doutorado).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROSÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1975. Londrina. Resumos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1975. p.107-120.
- ENGEL, F. L. **Erosão hídrica em diferentes estádios de crescimento da cultura da soja, em diferentes métodos de preparo do solo.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2005. 95p. (Dissertação de Mestrado).
- FOSTER, G. R. **Modelling the erosion process.** In C. T. Haan et al. (ed.) Hydrological modelling of smallwatersheds. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. p. 297-380, 1982.
- FOSTER, G. R. & MEYER, L. D. **Transport of soil particles by shallow flow.** Trans. ASAE 15:99-102, 1972.
- HUDSON, N. W. **Soil conservation.** Ithaca, Cornell University Press, 1995. 324p.
- JOHNSON, A. H.; BAKER, J. L.; SHRADER, W. D.; LAFLEN, J. M. **Tillage system effect on sediment and nutrients in runoff from small watersheds.** Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 22:1.110-1.114, 1979.

KAMPHORST, E. C.; JETTEN, V.; GUÉRIF, J.; PITKANEN, J.; IVERSEN, N. V.; DOUGLAS J. T. & GONZÁLES, A. P. **Predicting depressional storage from soil surface roughness.** *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1.749-1.758, 2000.

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. **Size distribution of aggregates.** In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, p. 499-510, 1965. (Agronomy, Monogr., 9).

KUIPERS, H. **A relief meter of soil cultivation studies.** *Neth. J. Agr. Sci.*, 5:255-262, 1957.

LIÑARES, L. M. & CASTRO, T. M. M. **Medida de la rugosidad del suelo en terrenos de cultivo.** En: ORTIZ, G. A.; FRANCH, S. F. Eds. *V Reunión Nacional de Geomorfología*. Barcelona, p. 731-734, 1998.

LARSON, W. E. **Tillage requirements for corn.** *J. Soil Wat. Conserv.*, 17:3-7, 1962.

LARSON, W. E. & GILL, W. R. **Soil physical parameters for designing new tillage systems.** In: *Conservation Tillage*. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1973. p.13-22.

LEITE, D. **Erosão hídrica sob chuva simulada em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes manejos.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 100p. (Tese de Mestrado).

LEHRSCH, G. A.; WHISLER, F. D. & RÖMKENS, M. J. M. **Soil surface roughness as influenced by selected soil physical properties.** *Soil Tillage Res.* 10:197-212, 1987.

LINDEN, D. R. **A model to predict soil water storage as affected by tillage practices.** Ph. D. Dissertation. Soils Dept. University of Minnesota (unpublished). 278p., 1979.

MELLO, E. L. **Erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo sob chuva simulada.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2002. 88p. (Tese de Mestrado).

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.** *R. Brs. Ci. Solo*, 27:901-909, 2003.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOW, S. **Effect of flow rate and canopy on rill erosion.** *Trans. of the ASAE*, St. Joseph, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

MIRANDA, J. G. V. **Análisis fractal del microrrelieve del suelo.** Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. 313 p., 2000.

MOORE, I. D. & LARSON, C. L. **Estimating micro-relief surface storage from point data.** *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 20:1073-1077, 1979.

ONSTAD, C. A. **Depressional storage on tilled soil surfaces.** Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 27:729-732, 1984.

PAZ GONZÁLES, A. & TABOADA CASTRO, M. T. **Medida del microrrelieve del suelo y estimación de la retención hídrica en depresiones de la superficie.** En: D'ANGLADE, G. A. & VALCARLOS, P. J. L. Eds. IV Reunión de Geomorfología. A Coruña. p. 829-841, 1996.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).** Washington, USDA, 1997. 384p. (Agricultural Handbook, 703).

RÖMKENS, M. J. M. & WANG, J. Y. **Effect of tillage on soil roughness.** Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 29:429-433, 1986.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O. & BALBINOT JR., A. A. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água.** R. Bras. Ci. Solo, 24:427-436, 2000.

STEICHEN, J. M. **Infiltration and random roughness of a tilled and untilled claypan soil.** Soil Tillage Res. 4:251-262, 1984.

SWANSON, N. P. **Suggestions for use rotating-boom field plot rainfall simulator to obtain data for application of the soil loss equation.** Entre-Ríos, FAO, 1975. 65p. (Report of FAO Consultant).

TACKETT, J. L. & PEARSON, R. W. **Some characteristics of soil crusts formed by simulated rainfall.** Soil Sci., 99:407-413, 1965.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Analise de solos, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

VIDAL VÁZQUEZ, E. **Influencia de la precipitación y el laboreo en la rugosidad del suelo y la retención de agua en microdepresiones.** Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad de Coruña. A Coruña, 2002, 430p.

WAGNER, L. E. **Profile meter program.** Documentation. United States. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Wind Erosion Research Unit. 27 p., 1992.

WAGNER, L. E. & YIMING YU. **Digitization of profile meter photographs.** Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 34(2): 412-416, 1991.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss.** Trans. Am. Geophys. Union, 39:285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H. **A rainfall erosion index for a universal soil loss equation.** Proc. Soil Sci. Soc. Am., 23:246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H. & MANNERING, J. V. **Relation of soil properties to its erodibility.** Proc. Soil Sci. Soc. Am., 33:131-137, 1969.

YODER, R. E. **A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses.** J. Am. Agron., 28:337-351, 1936.

ZOBECK, T. M. & ONSTAD, C. A. **Tillage and rainfall effects on random roughness: A review.** Soil Tillage Res. 9:1-20, 1987.

7. ANEXOS

Anexo1. Declividade média das parcelas experimentais (valor de cada repetição)

Parcelas	SCE1	SCE2	PCE1	PCE2	SQE1	SQE2	STE1	STE2
Declividade (m m ⁻¹)	0,190	0,179	0,157	0,165	0,211	0,196	0,129	0,144

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 2. Densidade do solo de um Nitossolo Háplico alumínico, determinada antes do preparo do solo com escarificador e após as chuvas simuladas aplicadas (valor de cada repetição)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
..... g cm ⁻³				
		Antes do preparo do solo		
SCE1	0,86	0,85	1,19	1,25
SCE2	0,86	0,88	1,22	1,25
PCE1	1,02	1,24	1,26	1,28
PCE2	0,99	1,26	1,28	1,29
SQE1	1,06	1,12	1,22	1,18
SQE2	1,07	1,15	1,22	1,19
STE1	1,12	1,17	1,21	1,19

STE2	1,10	1,19	1,15	1,22
Após a realização das chuvas simuladas				
SCE1	0,98	0,97	0,96	1,10
SCE2	0,98	1,01	0,99	0,99
PCE1	1,08	1,08	1,26	1,30
PCE2	1,03	1,03	1,26	1,30
SQE1	0,85	1,07	1,12	1,20
SQE2	0,85	0,99	1,10	1,19
STE1	0,91	0,97	1,19	1,20
STE2	0,90	0,99	1,20	1,21

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 3. Volume de macroporos antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
.....%.....				
SCE1	24,5	14,5	5,9	4,1
SCE2	25,0	13,6	5,3	4,7
PCE1	24,1	10,4	5,3	4,8
PCE2	25,6	10,8	5,9	4,9
SQE1	25,0	10,0	8,2	7,3
SQE2	26,0	10,8	8,8	7,5
STE1	11,4	7,5	6,5	5,7
STE2	11,7	7,0	6,6	5,6

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada

submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 4. Carbono orgânico do solo determinado antes do preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
	g kg ⁻¹			
SCE 1	23,32	23,11	29,75	26,26
SCE 2	24,30	22,24	28,12	26,37
PCE 1	37,35	33,44	23,00	20,94
PCE 2	34,42	29,20	27,24	23,32
SQE 1	52,03	35,83	31,15	25,44
SQE 2	59,21	38,00	28,54	24,11
STE 1	43,55	28,87	32,78	26,59
STE 2	44,35	30,83	33,11	26,37

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 5. Diâmetro médio ponderado de agregados do solo determinado antes o preparo do solo com escarificador, em um Nitossolo Háplico alumínico (valor de cada repetição)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	0,5-3,0	5,0-7,5	10,0-12,5	15,0-17,5
	mm			
SCE1	1,53	1,12	2,16	2,77
SCE2	1,66	1,02	2,26	1,97
PCE1	5,15	4,41	3,57	3,98
PCE2	5,52	4,37	3,94	3,70
SQE1	5,70	4,80	3,72	3,68
SQE2	5,68	4,92	3,92	3,33
STE1	5,22	4,31	2,92	3,54
STE2	5,29	4,48	2,91	3,32

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada

submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 6. Rugosidade do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de preparo de um Nitossolo submetido à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Momento da determinação	Tratamento							
	SCE1	SCE2	PCE1	PCE2	SQE1	SQE2	STE1	STE2
..... mm								
Valores originais lidos no campo								
ANP	28,35	27,15	28,80	14,41	33,91	33,26	27,23	25,25
APP	35,43	36,70	32,38	31,07	42,29	39,86	38,26	35,68
AT1	34,40	39,13	30,34	29,69	51,64	40,29	40,30	38,26
AT2	29,42	30,20	27,76	31,10	50,52	35,06	42,54	29,96
AT3	30,73	26,19	29,13	26,11	44,53	34,17	41,26	27,51
AT4	25,61	31,86	21,29	28,73	45,44	37,11	33,73	28,91
AT5	21,32	34,50	23,00	29,09	47,42	44,66	26,92	31,13
Valores sem o efeito do declive								
ANP	6,98	7,96	10,96	10,74	9,44	8,97	8,53	7,81
APP	17,98	14,76	26,09	19,17	29,27	24,98	25,71	24,79

AT1	17,66	15,67	22,89	17,74	22,72	20,58	23,73	22,65
AT2	16,07	14,15	22,39	15,38	20,17	20,20	30,92	18,16
AT3	15,55	11,25	20,10	14,05	18,38	16,99	17,62	14,73
AT4	14,63	14,44	14,87	12,98	15,65	15,32	17,27	12,51
AT5	14,71	23,86	11,28	14,77	16,25	13,17	16,37	11,35
Valores sem o efeito do declive e das marcas do preparo								
ANP	4,71	3,74	8,88	6,51	4,97	4,81	5,92	5,19
APP	11,46	8,46	19,02	14,61	18,83	17,18	20,59	20,56
AT1	8,19	8,19	16,37	12,50	15,20	14,94	18,01	17,08
AT2	8,25	6,85	14,01	10,02	13,82	13,96	13,41	12,40
AT3	7,11	3,11	10,74	8,48	10,23	11,06	13,59	10,18
AT4	7,13	4,13	10,33	8,46	9,87	9,11	14,08	8,30
AT5	8,45	10,66	7,93	8,99	10,60	6,80	11,54	7,25

SCE – solo sem cultivo, escarificado; PCE – preparo convencional, escarificado; SQE – semeadura direta queimada, escarificada; STE – semeadura direta tradicional, escarificada. AT: após teste de chuva simulada; 1, 2, 3, 4 e 5: testes de chuva simulada 1, 2, 3, 4 e 5.

Anexo 7. Tortuosidade do solo antes (ANP) e após (APP) o preparo do solo e após os testes de chuva simulada, em diferentes sistemas de preparo de um Nitossolo submetido à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Momento da determinação	Tratamento							
	SCE1	SCE2	PCE1	PCE2	SQE1	SQE2	STE1	STE2
Valores originais lidos no campo								
ANP	1,0059	1,0071	1,0233	1,0162	1,0109	1,0090	1,0141	1,0141
APP	1,1035	1,0692	1,2362	1,1652	1,1999	1,2417	1,2627	1,2442
AT1	1,0839	1,0646	1,1767	1,1152	1,1543	1,1790	1,1721	1,1938
AT2	1,0637	1,0676	1,1277	1,0818	1,1149	1,1445	1,1572	1,1221
AT3	1,0599	1,0333	1,0798	1,0521	1,0707	1,0988	1,0965	1,0762
AT4	1,0541	1,0423	1,0579	1,0449	1,0506	1,0748	1,0710	1,0513
AT5	1,0742	1,0844	1,0353	1,0526	1,0501	1,0477	1,0005	1,0359
Valores sem o efeito do declive								
ANP	1,0059	1,0071	1,0211	1,0162	1,0099	1,0090	1,0137	1,0141
APP	1,1039	1,0691	1,2366	1,1654	1,2002	1,2434	1,2628	1,2438
AT1	1,0843	1,0646	1,1777	1,1158	1,1544	1,1808	1,1722	1,1937
AT2	1,0636	1,0685	1,1277	1,0821	1,1149	1,1457	1,1571	1,1218
AT3	1,0597	1,0342	1,0794	1,0520	1,0699	1,1005	1,0964	1,0761

AT4	1,0551	1,0427	1,0578	1,0444	1,0496	1,0763	1,0710	1,0510
AT5	1,0747	1,0839	1,0349	1,0527	1,0495	1,0493	1,0005	1,0360
Valores sem o efeito do declive e das marcas do preparo								
ANP	1,0052	1,0060	1,0172	1,0114	1,0081	1,0065	1,0116	1,0128
APP	1,0676	1,0412	1,1996	1,1339	1,1763	1,1911	1,2218	1,2186
AT1	1,0253	1,0230	1,1401	1,0821	1,1332	1,1402	1,1431	1,1569
AT2	1,0296	1,0309	1,0992	1,0467	1,1000	1,1150	1,1229	1,0944
AT3	1,0330	1,0102	1,0551	1,0255	1,0527	1,0695	1,0732	1,0569
AT4	1,0287	1,0183	1,0387	1,0202	1,0376	1,0460	1,0549	1,0314
AT5	1,0404	1,0569	1,0248	1,0270	1,0385	1,0253	1,0004	1,0185

SCE – solo sem cultivo, escarificado; PCE – preparo convencional, escarificado; SQE – semeadura direta queimada, escarificada; STE – semeadura direta tradicional, escarificada. AT: após teste de chuva simulada; 1, 2, 3, 4 e 5: testes de chuva simulada 1, 2, 3, 4 e 5.

Anexo 8. Teor de água em duas profundidades do solo antes de cada teste de chuva simulada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
..... g kg ⁻¹										
SCE1	0,33	0,37	0,32	0,34	0,33	0,34	0,30	0,35	0,26	0,35
SCE2	0,27	0,33	0,32	0,35	0,35	0,37	0,32	0,34	0,30	0,35
PCE1	0,31	0,35	0,32	0,35	0,37	0,37	0,31	0,35	0,35	0,38
PCE2	0,31	0,35	0,32	0,34	0,34	0,35	0,33	0,36	0,36	0,37
SQE1	0,38	0,39	0,36	0,39	0,37	0,41	0,37	0,31	0,39	0,42
SQE2	0,34	0,35	0,35	0,38	0,37	0,40	0,33	0,39	0,38	0,40
STE1	0,34	0,39	0,39	0,35	0,38	0,40	0,35	0,40	0,38	0,40
STE2	0,37	0,40	0,39	0,35	0,39	0,39	0,33	0,38	0,37	0,38

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica.

Anexo 9. Tempo de empoçamento da enxurrada na superfície do solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... Minuto					
SCE1	18	8	5	10	3
SCE2	18	8	5	10	3
PCE1	-	18	19	20	9
PCE2	-	18	19	20	8
SQE1	-	-	22	28	*
SQE2	-	-	23	28	*
STE1	-	-	31	36	23
STE2	-	-	28	36	23

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (*) – escoamento subsuperficial sem ocorrência de empoçamento; (-) – não determinado.

Anexo 10. Tempo necessário para iniciar a enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... Minuto					
SCE1	-	23	11	18	5
SCE2	-	20	11	18	5
PCE1	-	23	23	23	11
PCE2	-	23	22	22	10
SQE1	-	-	27	30	16
SQE2	-	-	27	31	17
STE1	-	-	32	37	27
STE2	-	-	32	43	27

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinado.

Anexo 11. Infiltração total observada de água no solo, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... mm					
SCE1	-	37,86	41,91	45,30	36,15
SCE2	-	37,75	40,12	44,63	28,86
PCE1	-	34,97	28,31	40,16	35,95
PCE2	-	34,27	22,50	35,23	31,03
SQE1	-	-	36,15	43,27	31,76
SQE2	-	-	36,38	44,25	40,64
STE1	-	-	44,81	43,88	44,79
STE2	-	-	45,49	50,58	47,79

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – infiltrou o volume total de chuva aplicada.

Anexo 12. Volume total de enxurrada ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h⁻¹, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico submetido à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... mm					
SCE1	-	-	0,97	7,82	27,85
SCE2	-	-	2,76	8,49	35,14
PCE1	-	-	14,57	12,96	28,05
PCE2	-	-	20,38	17,89	32,97
SQE1	-	-	6,73	9,85	32,24
SQE2	-	-	6,50	8,67	23,36
STE1	-	-	-	9,24	19,21
STE2	-	-	-	2,54	16,21

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinado por ausência de enxurrada.

Anexo 13. Concentração de sedimentos na enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... kg m ⁻³					
SCE1	-	7,75	17,66	32,42	73,53
SCE2	-	9,21	17,99	31,68	76,15
PCE1	-	5,05	4,28	4,16	10,04
PCE2	-	4,63	4,51	5,30	12,40
SQE1	-	-	9,39	12,84	10,07
SQE2	-	-	9,73	11,33	12,01
STE1	-	-	1,75	2,87	5,00
STE2	-	-	2,31	2,63	6,12

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinada por ausência de enxurrada.

Anexo 14. Perda total de solo ajustada para intensidade e chuva planejada de 64 mm h⁻¹ e para a declividade média das parcelas experimentais de 0,171 m m⁻¹, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... kg ha ⁻¹					
SCE1	-	87	1.136	5.538	20.728
SCE2	-	142	1.466	6.079	26.955
PCE1	-	395	1.104	1.106	3.563
PCE2	-	401	1.191	1.485	4.576
SQE1	-	-	1.101	1.677	2.500
SQE2	-	-	1.155	1.749	2.526
STE1	-	-	167	816	2.091
STE2	-	-	175	404	2.134

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinada por ausência de enxurrada.

Anexo 15. Índice D_{50} dos sedimentos transportados pela enxurrada, em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico alumínico, submetidos à escarificação mecânica (valor de cada repetição)

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
..... mm					
SCE1	-	-	0,567	0,666	0,580
SCE2	-	-	0,485	0,646	0,557
PCE1	-	-	0,836	0,540	0,608
PCE2	-	-	0,836	0,540	0,599
SQE1	-	-	0,542	0,400	0,364
SQE2	-	-	0,518	0,389	0,364
STE1	-	-	-	0,288	0,492
STE2	-	-	-	0,278	0,513

SCE – solo sem cultivo submetido a uma escarificação mecânica; PCE – preparo convencional submetido a uma escarificação mecânica; SQE – semeadura direta queimada submetida a uma escarificação mecânica; STE – semeadura direta tradicional submetida a uma escarificação mecânica; (-) – não determinado, por ausência ou por influência de enxurrada.